IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT
FOLYÓIRATA

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG:

AMBRÓZY P. (Budapest), ANTAL E. (Budapest), BENGTSSON, L. (Reading), BÖHME, W. (Potsdam), BUDYKO, M. I. (Leningrad), FISHER, B. (Leatherhead), GEORGII, H.-W. (Frankfurt a. M.), GÖTZ G. (Budapest), GULYÁS O. (Budapest), HAMAN, K. (Warsaw), HUSAR, R. (St. Louis, Missouri), KAPOVITS A. (Budapest), KONDRATYEV, K. YA. (Leningrád), MAJOR GY. (Budapest), MESINGER, F. (Beograd), MILOSHEV, G. (Sofia), PRÁGER T. (Budapest), PRUPPACHER, H. R. (Mainz), RÁKÓCZI F. (Budapest), RENOUX, A. (Paris-Créteil), ŠAMAJ, F. (Bratislava), SPÄNKUCH, D. (Potsdam), STAROSOLSZKY Ö. (Budapest), SZEPESI D. (Budapest), TAYLOR, F. W. (Oxford), TÄNCZER T. (Budapest), VARGA-HASZONITS Z. (Budapest), VITEK, V. (Prague), WHELPDALE, D. M. (Downsview, Ont., Canada), WIRTH E. (Pécs)

ELNÖK:

MÉSZÁROS E. (Budapest)

SZERKESZTŐ:

SZEPESINÉ LŐRINCZ A. (Budapest)

90. ÉVFOLYAM — VOLUME 90
1986

BUDAPEST 1987

A TANULMÁNYOK SZERZŐI — AUTHOR INDEX

Ács F. (*Novi Sad*, Yugoslavia) 359
Bartha Imre *(Siófok)* 371
Bartholy Judit *(Budapest)* 350
Bede Gábor *(Budapest)* 77
Béll Béla *(Budapest)* 300
Borbély Edit *(Budapest)* 282
Böjti Béla *(Siófok)* 371
Dávid Aranka *(Budapest)* 24
Donáth Béla *(Budapest)* 84
Ecker, F. J. *(Frankfurt/a. M.*, FRG) ... 257
Fekete Katalin *(Budapest)* 32, 103
Gács Iván *(Budapest)* 77
Gavrilov, N. *(Beograd*, Yugoslavia) 1
Georgii, H.-W. *(Frankfurt/a. M.*, FRG) . 257
Gulyás Ottó *(Budapest)* 14
Gyenes Lajos *(Budapest)* 228
Hamed, A. F. *(Budapest)* 14
Haszpra László *(Budapest)* 115, 332
Horváth Ákos *(Siófok)* 371
Horváth László *(Budapest)* 131, 143
Hunkár Márta *(Budapest)* 221
Ihász István *(Budapest)* 32
Jakucs Pál *(Debrecen)* 150
Katkó Bertalan *(Budapest)* 44
Keller László *(Budapest)* 350
Ketskeméty László *(Budapest)* 14
Koflanovits-Adámy Erika *(Budapest)* .. 206
Koppány György *(Szeged)* 295
Láng István *(Budapest)* 67
Matyasovszky István *(Budapest)* 240
Mészáros Ágnes *(Budapest)* 122
Mészáros Ernő *(Budapest)* 69, 143
Mihailović, R. D. *(Novi Sad*, Yugoslavia) 359
Murányi Attila *(Budapest)* 169
Nathan, K. K. *(New Delhi*, India) 10
Ničković, S. *(Beograd*, Yugoslavia) 1
Pandžić, K. *(Zagreb*, Yugoslavia) 321
Pintér Ferenc *(Budapest)* 365
Popovics Mária *(Budapest)* 32, 131
Pretel, J. *(Prague*, Czechoslovakia) 193
Rákóczi Ferenc *(Budapest)* 365
Rédly Lászlóné *(Budapest)* 169
Reuter, H. *(Wien*, Austria) 217
Ruják László *(Budapest)* 44
Sándor Valéria *(Budapest)* 44
Srivastava, V. *(Roorcee*, India) 339
Smolen, F. *(Bratislava*, Czechoslovakia) . 193
Solymos Rezső *(Budapest)* 181
Somlyódi László *(Budapest)* 159
Szalma János *(Budapest)* 44
Szentimrey Tamás *(Budapest)* 206
Szepesi Dezső *(Budapest)* 89, 131
Takács Olga *(Budapest)* 24
Tänczer Tibor *(Budapest)* 365
Turányi Tamás *(Budapest)* 332
Várallyay György *(Budapest)* 169
Vir Singh *(Roorcee*, India) 339
Weidinger Tamás *(Budapest)* 266
Zelený, J. *(Prague*, Czechoslovakia) 193
Zotter Katalin *(Budapest)* 159

TARTALOMJEGYZÉK — TABLE OF CONTENTS

Tanulmányok — Papers

Ács Ferenc – Mihailović, T. D.: A talaj hőforgalmának évi menete Újvidéken (Annual course of heat exchange in the soil in Novi Sad) 359

Bartholy Judit – Keller, L.: Meteorological aspects of acute cerebrovascular diseases (Acut cerebreovascularis megbetegedések meteorológiai összefüggései) 350

Bede Gábor – Gács I.: Hazai forrásokból származó kén-dioxid és nitrogén-oxid emissziók jelenlegi és várható értékei (Present and future SO_2 and NO_x emissions from sources in Hungary) .. 77

Béll Béla: A Magyar Tudományos Akadémia meteorológiai kiadványai a XIX. században (Meteorological publications of the Hungarian Academy of Sciences in the 19th century) 300

Borbély Edit: A bolygóközi mágneses tér és a Föld légkörének változásai közötti kapcsolat (Relationship between changes in interplanetary magnetic field and the Earth's atmosphere) 282

Bartha Imre – Böjti B. – Horváth Á.: A balatoni viharjelzések optimalizálása a jelzőrendszer korszerűsítése után (Optimization of storm warnings at Lake Balaton after completing the reconstruction of the present warning system). 371

Dávid Aranka: – Takács O.: A rövidhullámú sugárzási egyenleg Magyarországon (Short-wawe radiation balance in Hungary) 24

Donáth Béla: A kén-dioxid és a nitrogén-dioxid emisszió csökkentésének lehetőségei Magyarországon (Possibilities of the reduction of SO_2 and NO_x emissions in Hungary) 84

Ecker, F. J. – Georgii, H.-W.: Analysis of airborne heavy metals in forest areas by a cascade impactor by chemical impinger (Légköri nehézfémek vizsgálata erdőben kémiai elnyeletővel ellátott többfokozatos mintaverő segítségével)..... 257

Fekete Katalin – Popovics M. – Ihász I.: Magyarország diffúz-klimatológiai felmérése. 2. rész: A transzport-réteg szélviszonyai (Diffusion climatological surveying for Hungary. Part 2: Wind characteristics for the transport layer) . 32

Fekete Katalin: A savas eső országos modellje (Simulation of acid deposition on a regional scale) 103

Gyenes Lajos: Jetek felismerése műholdképeken (Recognition of jets on satellite images) 228

Hamed, A. F. – Gulyás O. – Ketskeméty L.: Meteorológiai idősorok periodicitásának elemzése (Periodical analysis of meteorological time series) 14

Haszpra László: A légköri salétromsav keletkezésének numerikus modellezése (Numerical modeling of the production of atmospheric nitric acid) 115

Haszpra László – Turányi T.: A légköri salétromsav keletkezése különböző feltételek között (Production of nitric acid in the atmosphere under different conditions) 332

Horváth László – Mészáros E.: Savas ülepedés Magyarországon (Acid deposition in Hungary) 143

Hunkár Márta: Napsugárzásmérleg és fényhasznosulás kukoricaállományban (Solar radiation balance and efficience in a maize stand) 221

Jakucs Pál: A légköri eredetű savasodás hatása a természetes élővilágra (The impact of atmospheric acidification on living organisms). 150

Katkó Bertalan – Sándor V. – Szalma J. – Ruják L.: A repülésre veszélyes szélnyírás jellemzése, hatása a le- és felszálló repülőgépekre (Characteristics of lowe level wind shear and its effect on the aircraft in landing and take off) ... 44

Koflanovits-Adámy Erika – Szentimrey T.: The variations of the precipitation amounts in the Carpathian Basin during the present century (A csapadékmennyiség változása századunk folyamán a Kárpátok térségében) 206

Koppány György: Néhány megjegyzés az időjárás és éghajlat fogalmáról (Remarks on concepts of the weather and climate) 295

Láng István: Megnyitó az 1985. november 21–22-i Meteorológiai Tudományos Napok előadás-sorozatán (Operning address for the sessions of the Meteorological Scientific Days, held in November 21–22. 1985. 67

Matyasovszky István: Meteorológiai idősorok modellezése ARMA-folyamatok segítségével (Modeling of meteorological time series by ARMA processes) 240

Mészáros Ágnes: Szulfátionok képződése légköri koromrészecskék felületén (Sulfate formation on elemental carbon particles) 122

Mészáros Ernő: A légköri savas ülepedés (Atmospheric acid deposition) 69

Nathan, K. K.: A note on the relationship between photosynthetically active radiation and cloud amount (A fotoszintetikusan aktív sugárzás és a felhőzet mennyisége közötti kapcsolatról) .. 10

Ničković, S. – Gavrilov, N.: The problem of vertical grid staggering in a primitive equation model (Vertikális rácskonfigu-

ráció problémája primitív egyenletet alkalmazó modellben) 1
Pandžić, K.: Factor analysis of temperature field on a relatively small area (Faktoranalízis aránylag kis területű hőmérsékleti mezőre) 321
Pintér Ferenc – Rákóczi F. – Tänczer T.: Viharos szelek becsülhetősége a Balaton térségében műholdfelvételek alapján (On the possibility of estimation of wind storms in surroudings of Lake Balaton by satellite images) 365
Popovics Mária – Szepesi D. – Horváth L.: A levegő és csapadékminőség területi és időbeli változása Európában (Territorial and temporal variations of air and precipitation quality for Europa) 131
Pretel, J. – Zelený, J. – Smolen, F.: The Kopisty radiationturbulent experiment (Sugárzás- és turbulenciamérések Kopistyben) 193
Reuter, H.: The importance of synoptic in the modern meteorology (A szinoptika jelentősége a modern meteorológiában). 217
Solymos Rezső: Erdeink egészsége és a savas ülepedés (The health of Hungarian forests and the acid depositions) 181
Somlyódy László – Zotter K.: A savas ülepedés várható hatása vizeink minőségének alakulására (The expected effects of acid precipitation on the quality of water resources in Hungary) 159
Srivastava, V. – Singh, V.: Model calculation of hydrogen Balmer emissions in case of proton precipitation of different energy distribution. (A hidrogén különböző energia-eloszlású proton záporok alkalmával keletkező Balmer-emissziójának modell-számítása) 339
Szepesi Dezső: Savas anyagok nagyléptékű légköri transzmissziója Európában (Long-range transmission of acid pollutants in Europe) 89
Várallyay György – Rédly L. – Murányi A.: A légköri savas ülepedés hatása a talajra Magyarországon (The influence of acid deposition on soils in Hungary) . 169
Weidinger Tamás: A talajközeli légréteg néhány jellemzője a szarvasi toronymérések alapján (Some characteristics of the surface boundary layer on the basis of the tower observations near Szarvas, Southern Hungary) 266

II. Irodalom — Literature

Budiko, M. I.: Evolucija bioszferi (A bioszféra evolúciója) *(Mika János)* 57

Barry, R. G. – Chorley, R. J.: Atmosphere, Weather and Climate (Légkör, időjárás és éghajlat) *(Koppány Gy.)* 381

Dibi, N. M.: Modélisation du transfert de la pollution atmosphérique sur le site Fos-sur Mer (A légköri szennyeződés Fos-sur-Mer-ben való terjedésének modellezése). *(Renoux, A.)* 312

GAMS (kiadó): Comptes-rendus des secondes journées d'études sur les aérosols (Az aeroszolok vizsgálatával foglalkozó második nemzeti konferencia jegyzőkönyve *(Renoux, A.)* 382

Ghil, M. – Benzi, R. – Parisi, G. (szerk.): Turbulence and predictability in Geophysical Fluid Dynamics and Climate Proceedings of the I.S.P. Course 88 (A turbulencia és előrejelezhetőség az E. F. tanfolyamán elhangzott geofizikai folyadékdinamika- és klíma-előadások) *(Szalay Sándor)* 313

Haltiner, G. J. – Williams, R. T.: Numerical Prediction and Dynamic Meteorology (Numerikus előrejelzés és dinamikus meteorológia) *(Gyuró György)*. 252

Horváth M. – Bilitzky, L. – Hüttner J.: Ozon (Ózon) *(Mészáros Ernő)* 59

Houghton, D. D. (szerk.): Handbook of Applied Meteorology (Alkalmazott meteorológiai kézikönyv) *(Koppány (György)* 251

Marcsuk, G. I. – Dymnikov, V. P. – Zalesznyj, V. B. – Lykoszov, N. V., Galin V. J.: Matematicseszkoe modelirovanyije obscsej cirkuljacii atmoszfery i okeana (A légkör és az óceán általános cirkulációjának matematikai modellezése) *(Dévényi Dezső)* 311

Mouden, A.: Contribution a l'étude des propriétés physiques des aérosols naturelst et radioactifs en atmosphéres controlées (Légköri természetes és radioaktív aeroszolok fizikai tulajdonságainak tanulmányozása *(Renoux, A.)*.. 312

Nieuwstadt, F. T. M. – Van Dop, H. (szerk.): Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling (Légköri turbulencia és légszennyeződés modellezés) *(Mersich Iván)* 58

Schröder, W.: Das Phänomen Polarlichts (A sarki fény jelensége) *(Fiers Daniella)* 310

Vanhee, J.-M.: Contribution a l'étude des paramêtres physiques gouvernant la production d'aérosol monodispersés par centrifugation de liquides (Folyadékok centrifugálásával előállított monodiszperz aeroszolok keletkezését befolyásoló fizikai tényezők vizsgálata) *(Renoux, A.)* 312

III. Krónika — Chronicle

Ambrózy Pál: A WMO Éghajlati Bizottságának IX. ülése 63

Ambrózyné Mohácsi Mária: A WMO főtitkárának magyarországi látogatása .. 383

Bartholy Judit: Ösztöndíjjal Amerikában: Kutatási kísérletek és tapasztalatok ... 315

Faragó Tibor: Szakértői értekezlet a globális környezeti monitoring-rendszer XII/4. témájában 384

Kakas József: Mészáros Ernőné Nagy Ágnes (1935 – 1986) 253

H. Lépp Ildikó: Prof. H. Reuter az MMT tiszteleti tagja. Az Osztrák Meteorológiai Társaság új vezetősége 255

Saikó János: XII. ionoszféra és magnetoszféra szeminárium 64

Simon Antal: Meteorológiai feladatok a csernobili atomerőművi baleset hazai hatásának figyelembevételével 254

Tänczer Tibor: Koppány György doktori értekezése 384

Valkó Péter: Magyar – svájci napsugárzásmérések Pestlőrincen..... 60

TÁRGYMUTATÓ

A tárgymutatóban * = könyvismertetés

Aeroszol-mintavevő 257
Aeroszolok keletkezése 312*, 382*
Agrometeorológia 221, 266, 359
Albedó változása Magyarországon 24
Alkalmazott meteorológia 251*
Általános cirkuláció 311*
Atomerőművi balesetek 254

Balatoni Viharjelző Szolgálat 365, 371
Balmer-emisszió 339
Bartholy Judit ösztöndíjas 315
Bioszféra és az éghajlati rendszer 57*
Bolygóközi mágneses tér 282
Budapest levegőjének szulfátkoncentrációja 122

Csapadékkémia 9, 131, 143
Csapadékminőség változása Európában 136
Csapadékmennyiség hosszú távú változása 254
Csapadékvíz savassága Magyarországon 144
Csehországi energiamérleg 193
Csernobili atomerőmű-baleset 254

Diffúzióklimatológia 32
Dinamikus meteorológia 252*

Előrejelzés 1, 217, 252*, 313*
Emisszió intenzitása 69, 77, 89
– környezeti hatása 69, 77, 89
Erdőtalaj savasodása 97, 181

Éghajlat fogalma 295, 381*

Faktoranalízis 321
Felhőzet és növényfejlődés 10
Fényhasznosulás növényállományban 221
Fotoszintetikusan aktív sugárzás 10, 221
Föld légkörének örvényessége 282

Gázhalmazállapotú nehézfémek 257

Határréteg-meteorológia 58*
Háttérszennyezettség számítása 91, 384
Hidrogénemisszió proton záporok alkalmával 339
Hőmérsékleti mező 1, 321
– sorok periodicitása 19
Időjárás és az agyvérzéses megbetegedések 350
– fogalma 295, 381*
Idősorok periodicitása 14, 240
Ionoszféra szeminárium 24

Jet (orkáncsatorna) felismerhetősége 228

Kárpátok térségének csapadéka 206
Kén-dioxid emisszió 69, 77, 84, 96, 131
Koppány György doktori értekezése 384

Környezetszennyezés energiahordozók elégetésével 77
– és a kocsánytalan tölgy-pusztulás 150, 169, 181
– és a kontinentális folyamatok 95, 131
Környezetvédelem és az erdők egészsége 181
– füstgázok tisztításával 84
– konferencia Balatonlellén 384
– salétromsav-képződés csökkentésével 115
Kukoricaállomány sugárzásmérlege 221

Légkör és óceán cirkulációja 311*
Légköri ózon 59*
Légköri savas ülepedés 69, 89, 103, 143, 332
Légköri turbulencia 313
Légszennyeződés 32, 58*, 69, 77, 89, 122, 131, 143, 150, 159, 169, 181, 312*, 322
Levegőkémia 122, 131, 257

Meteorológiai idősorok 240
Meteorológiai Tudományos Napok 1985-ben 67
– Világszervezet Éghajlati Bizottsága 63
– Világszervezet főtitkára Magyarországon 383
Meteoropáthia 350
Mészáros Ernőné emlékezete 253
Modell az erdőtalaj savasodására 97
– hőmérséklet előrejelzésére 1
– légköri salétromsav képződésére 115
– savas eső vizsgálatára 89, 103
– transzmisszió számítására 69
MTA meteorológiai kiadványai 300
Műholdképes analízis 228, 365

Napsugárzásmérés Pestlőrincen 60
Napsugárzásmérleg kukoricaállományban 221
Nitrogén-oxid emisszió 69, 77, 84, 96, 332
Numerikus előrejelzés 252*

Orkáncsatorna (jet) 228
Orvosmeteorológia 350
Osztrák Meteorológiai Társaság 255

Periodicitás 14
Prandtl-réteg mérések Szarvason 266
Proton-záporok 339

Radioaktív aeroszolok 312*
Radioaktivitás hálózatszerű mérése 254
Rácskonfiguráció 1
Reuter, H. dr., az MMT tiszteleti tagja 255
Repülésmeteorológia 44
Rövidhullámú sugárzás 24
Rövidhullámú sugárzásmérleg 221

Salétromsav képződése a légkörben 115, 332
Sarki fény 310*, 339
Savas anyagok transzmissziója 89, 103
Savas eső 69, 103

– és erdeink egészsége 181
– folyóvizeink minősége 159
Savas ülepedés Magyarországon 143, 169
Savasodás hatása az élővilágra 150
Savterhelés Magyarországon 110
Sugárzás és felhőzet kapcsolata 10
– és turbulencia Kopistyben 193
Sugárzási egyenleg Magyarországon 24
Szélmező-típusok 32
Szélnyírás és a repülés 44
Szinoptika történeti fejlődése 217

Talaj hőforgalma 359
Talajközeli energiakicserélődés 193, 266
Talajsavanyodás okai 169
Tölgyerdők pusztulása és a légszennyeződés 181
Transzmisszió numerikus modellezése 69
– potenciál Európa területén 95
Transzport-réteg szélviszonyai 32
Turbulencia 193, 313

Vertikális rácskonfiguráció 1
Viharjelzés a Balatonon 365, 371
Vízminőség és légköri savterhelés 159

SUBJECT INDEX

The sing * denotes literature reviews

Acid deposition 69, 89, 103, 143, 332
Acid rain 69, 103
– and forest health 181
– and water quality of rivers 159
Acidification
– biospheric effects of 150
– causes of 169
– of forest soils 97, 181
Acidity of precipitation in Hungary 144
Aerosol formation 312*, 382*
Aerosol sampler 257
Agricultural meteorology 221, 266, 359
Air chemistry 122, 131, 257
Air pollution 32, 58*, 69, 77, 89, 122, 121, 143, 150, 159, 169, 181, 312*, 322
Albedo
– variations in Hungary 24
Applied meteorology 251*
Atmospheric and ocean circulation 311*
Atmospheric ozone 59*
Atmospheric turbulence 313
Austrian Meteorological Society 255
Aurora 310*, 339
Aviation meteorology 44

Background air pollution
– calculation of 91, 384
Balaton
– storm warning at Lake 365,371
Balmer emission 339
Bartholy, J.
– fellowship of 315
Biosphere and climate system 57*

Climate
– notion of 295, 381*
Cloudiness and plant growth 10

Diffusion climatology 32
Dynamic meteorology 252*

Efficiency of radiation in plant stands 221
Energy balance of Bohemia 193
Energy exchange in surface air 193,266
Environmental pollution
– and damages of sessile oaks 150, 169, 181
– by fossil fuel use 77
– on continental scale 95, 131
Environmental protection
– and health of forests 181
– by flue gas cleaning 84
– by reduction of nitric acid formation 115
– conference on, in Balatonlelle 384

Factor analysis 321

General circulation 311*
Grid configuration 1

Heat transport in soils 359
Heavy metals in gaseous phase 257
Hungary
– acid deposition in 110, 143, 169
Hydrogen emission during proton events 339
Ionosphere
– seminar on 24

Jets
– identification of 228

Koppány, Gy.
– doctoral dissertation of 384

Magnetic field
– in interplanetary space 282
Medical meteorology 255
Mészáros, Ágnes
– in memoriam 253
Meteorological publication of Hungarian Academy of Sciences 300
Meteorological Scientific Days in 1985, 67

Nitric acid formation 115, 332
Nitrogen oxide emission 69, 77, 84, 96, 332
Nuclear power plants
– accidents of 254

Numerical model
– of acid rain 89, 103
– of atmospheric nitric acid formation 115
– of forest soil acidification 97
– of pollutant transmission 69
– of temperature forecasting 1
Numerical weather prediction 252*

Oak forest damages and air pollution 181

Periodicity 14
Photosynthetically active radiation 10, 221
Planetary boundary layer
– meteorology of 58*
Pollutant emission
– environmental effects of 69, 77, 89
– intensity of 69, 77, 89
Prantl layer
– measurement of, in Szarvas 266
Precipitation chemistry 9, 131, 143
Precipitation quality
– variations in Europe 136
Precipitation quantity
– in Carpathian region 206
– long-range forecasting of 254

Radiation balance in maize stands 221
Radioactive aerosols 312*
Radioactivity
– measurements of, in network 254
Reuter, H.
– honorary member of the Hungarian Meteorological Society 255

Satellite pictures
– analysis of 228, 365
Short-wave radiation 24, 221
Solar radiation
– and cloudiness 10
– and turbulence 193
– balance in Hungary 24
– measurements in Pestlőrinc 60
Storm warning service
– at Lake Balaton 365, 371
Sulfate concentration
– in Budapest 122
Sulfur dioxide emission 69, 77, 84, 96, 131
Synoptic meteorology
– hystorical development of 217

Temperature field 1, 321
Temperature series
– periodicity of 19
Time series
– periodicity of 14, 240
Transmission
– numerical modelling of 69
– of acidifying pollutants 89, 103
– potential in Europe 95
Turbulence 193, 313

Vertical grid configuration 1
Vorticity of the atmosphere 282

Water quality and atmospheric acidity 159
Weather and cerebral hemorrhage 350
Weather forecasting 1, 217, 252*, 313*
Wind conditions in transport layer 32
Wind field types 32
Wind shear and aviation 44
World Meteorological Organization
– commission on climatology of 63
– secretary general's visit of, in Hungary 383

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

90. ÉVF. ★ 1. SZÁM ★ 1986. JANUÁR—FEBRUÁR

TARTALOM

Ničković, S.—Gavrilov, N.: Vertikális rácskonfiguráció problémája primitív egyenletet alkalmazó modellben (angol nyelven) 1

Nathan, K. K.: A fotoszintetikusan aktív sugárzás és a felhőzet mennyisége közötti kapcsolatról (angol nyelven) 10

Hamed, A. F.—Gulyás Ottó—Ketskeméty László: Meteorológiai idősorok periodicitásának elemzése 14

Dávid Aranka—Takács Olga: A rövidhullámú sugárzási egyenleg Magyarországon 24

Fekete Katalin—Popovics Mária—Ihász István: Magyarország diffúzklimatológiai felmérése. 2. rész: A transzport-réteg szélviszonyai 32

Katkó Bertalan—Sándor Valéria—Szalma János—Ruják László: A repülésre veszélyes szélnyírás jellemzése, hatása a le- és felszálló repülőgépekre 44

Irodalom 57

Krónika 60

CONTENTS

Ničković, S.—Gavrilov, N.: The problem of vertical grid staggering in a primitive equation model (in English) 1

Nathan, K. K.: A note on the relationship between photosynthetically active radiation and cloud amount (in English) 10

Hamed, A. F.—Gulyás, O.—Ketskeméty, L.: Periodical analysis of meteorological time series 14

Dávid A.—Takács, O.: Short-wawe radiation balance in Hungary 24

Fekete, K.—Popovics, M.—Ihász, I.: Diffusion climatological surveying for Hungary. Part 2: Wind characteristics for the transport layer 32

Katkó, B.—Sándor, V.—Szalma, J.—Ruják, L.: Characteristics of lowe level wind shear and its effect on the aricraft in landing and take off 44

Literature 57

Chronicle 60

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 90. ★ NO. 1. ★ JANUARY—FEBRUARY 1986 ★ BUDAPEST

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata
Journal of the Hungarian Meteorological Service

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG – EDITORIAL BOARD

AMBRÓZY P. (Budapest)
ANTAL E. (Budapest)
BENGTSSON, L. (Reading)
BÖHME, W. (Potsdam)
BUDYKO, M. I. (Leningrad)
FISHER, B. (Leatherhead)
GEORGII, H.–W. (Frankfurt a. M.)
GÖTZ G. (Budapest)
GULYÁS O. (Budapest)
HAMAN, K. (Warsaw)
HUSAR, R. (St. Louis, Missouri)
KAPOVITS A. (Budapest)
KONDRATYEV, K.YA. (Leningrad)
MAJOR GY. (Budapest)
MESINGER, F. (Beogra
MILOSHEV, G. (Sofia)
PRÁGER T. (Budapest)
PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
RÁKÓCZI F. (Budapest)
RENOUX, A. (Paris-Créteil)
ŠAMAJ, F. (Bratislava)
SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
STAROSOLSZKY Ö. (Budapest)
SZEPESI D. (Budapest)
TAYLOR, F. W. (Oxford)
TÄNZER T. (Budapest)
VARGA-HASZONITS Z. (Budapest)
VITEK, V. (Praha)
WHELPDALE, D. M. (Downsview, Ont.)
WIRTH E. (Pécs)

Elnök – Chairman of the Editorial Board:
MÉSZÁROS ERNŐ (Budapest)
Szerkesztő – Editor:
SZEPESINÉ LŐRINCZ ANNA (Budapest)

Szerkesztőség: 1525 Budapest, Postafiók 38.
Előfizetés: 1 évre 300 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán Budapest, 1024 Kitaibel Pál utca 1. Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Megjelenik kéthavonként.
Egyes szám ára 50 Ft

Editorial Office: H-1525 Budapest P. O. B. 38. This journal, published bimonthly can be purchased from the distributor: KULTURA, H-1389 Budapest P. O. B. 149
The actual subscription rate is determined by the distributor

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 1. szám. 1986. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No. 1. Jan – Feb. 1986 Budapest

The problem of vertical grid staggering in a primitive equation model

NIČKOVIĆ, S., *Departement of Meteorology, University of Belgrade YU—11001 Beograd, Dobračina 16.* and GAVRILOV, M., *Federal Hydrometeorological Institute, Belgrade, YU—11001 Beograd, Birčaninova 6. P.O.B. 604*

The problem of vertical grid staggering in a primitive equation model. Careful investigation of the vertica grid performances showed that the variable distribution known as C' grid eliminates computational noise in the temperature field. The operational Hydrometeorological Institute and Belgrade University (HIBU) model vertical differencing schemes were adapted for use on the C' grid. In order to test the performances of the modified schemes, real data integrations were made. The results indicated slight improvement of the 48-hour forecast in comparison to the control integration.

⁂

Vertikális rácskonfiguráció problémája primitív egyenletet alkalmazó modellben. A vertikális rácskonfiguráció jellemzőinek gondos vizsgálata azt mutatta, hogy a C' rácsként jelölt eloszlás megszünteti a hőmérsékleti mezőben fellépő számítási zajokat. Az operatív HIBU modell (Hidrometeorológiai Intézet és Belgrádi Egyetem) vertikális különbségképző rendszerét adaptálták a C'rácson való használatra. Annak érdekében, hogy a rendszer módosított változatának teljesítményét megvizsgálják, valós adatokat integráltak. Az eredmények a 48 órás előrejelzések némi javulását mutatták a kontroll integrálással történő összehasonlítása során.

⁂

In a recent study by *Tokioka* (1978), the problem of vertical grid staggering is investigated in order to find the most appropriate variable distribution which produce no computational noise due to vertical differencing in the temperature field. The C′ grid (in Tokioka notation) displayed in *Figure 1* is shown by Tokioka to be free of the false wave generation in the vertical and, at the same time, the internal waves are represented as internal. Using C′ grid, Tokioka has derived a set of conserving vertical finite differencing schemes. Some parameters appearing in the schemes are specified so that higher accuracy and proper simulation of vertical wave propagation are achieved.

The main purpose of this paper is to reproduce the Tokioka analysis for the vertical differencing schemes of the model formulated at *H*ydrometeorological *I*nstitute and *B*elgrade *U*niversity (HIBU), Yugoslavia (*Janjić*, 1977, 1979; *Mesinger*, 1977, 1981) defined on C′ grid, as well. This procedure leads to the modification of vertical model level positioning and of schemes originally used in the HIBU model, and garantees the appropriate simulation of vertical wave propagation. In order to test the performances of the model with modifications, real data simulations with one synoptic case were made. Comparison of the results shows a slight improvement in the experiments with the modified model version.

1. *Finite differencing analysis*

Following the *Tokioka* (1978) procedure – Section 4 in his article, here analogous consideration will be performed with the HIBU model schemes based on the C′ vertical grid. Determination of some of the unspecified Tokioka parameters for the HIBU model

a) requires the modification of the originally used HIBU vertical advection scheme for temperature, and

b) gives the answer about the vertical spacing

needed for appropriate simulation of the vertical wave propagation.

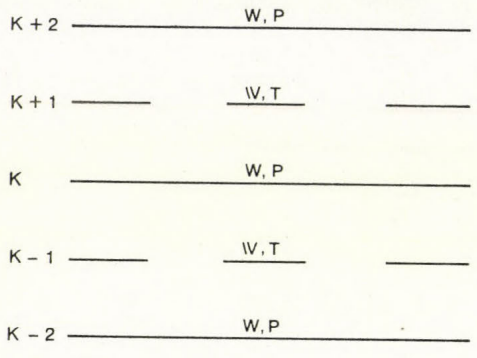


Fig. 1 : C' vertical grid

Let the perturbation quantities be of the harmonic form

$$q'_k = \hat{q}_k Re(e^{i(s\lambda + \nu t)}), \tag{1}$$

where k denotes the vertical grid index. If we define the isothermal atmosphere at rest as the basic state, the finite differencing set of the linearised model equations is given by

$$i\nu\hat{T}_k = \frac{T_o}{\triangle p_k}(\hat{\omega}_{k+1}R_k + \hat{\omega}_{k-1}S_k), \tag{2}$$

$$\hat{\Phi}_{k+1} - \hat{\Phi}_{k-1} = RC_k\hat{T}_k \tag{3}$$

$$i\nu\frac{1}{2}(\hat{\Phi}_{k+1} + \hat{\Phi}_{k-1}) = \frac{\Phi_o}{\triangle p_k}(\hat{\omega}_{k+1} - \hat{\omega}_{k-1}), \tag{4}$$

where $\triangle p_k = p_{k+1} - p_{k-1}$; $\hat{T}_k$, $\hat{\Phi}_k$ and $\hat{\omega}_k$ are temperature, geopotential and vertical velocity amplitudes, respectively; T_o and $\Phi_o = gH$ are basic state temperature and geopotential, respectively. Since σ and p levels coincide in a resting isothermal atmosphere with flat bottom, the p-coordinate system is used in (2) – (4) insthead of σ-system. Parameters R_k, S_k and C_k depend on the choice of vertical temperature advection scheme and hydrostatic approximation. From *Janjić's* (1977) hydrostatic approximation

$$\frac{\Phi_{k+1} - \Phi_{k-1}}{\ln p_{k+1} - \ln p_{k-1}} = -RT_k, \tag{5}$$

it directlyfollows that

$$C_k \equiv \ln \frac{p_{k+1}}{p_{k-1}}. \tag{6}$$

R_k and S_k are left unspecified. As in *Tokioka* (1978), they will be defined in the subsequent analysis regarding that

a) there can be no reflection at the upper boundary, and

b) the internal waves remain internal in the finite difference system.

Eliminating $\widehat{\Phi}$ and $\widehat{T}$ from (2), (3) and (4), we obtain

$$(\widehat{\omega}_{k+3} - \widehat{\omega}_{k+1}) - d_{k+1}(\widehat{\omega}_{k+1} - \widehat{\omega}_{k-1}) + 2\frac{C_{k+2}}{H}(R_{k+2}\widehat{\omega}_{k+3} + S_{k+2}\widehat{\omega}_{k+1}) +$$

$$+ 2d_{k+1}\frac{C_k}{H}(R_k\widehat{\omega}_{k+1} + S_k\widehat{\omega}_{k-1}) = 0, \tag{7}$$

$$\text{where: } H = \frac{gh}{RT_0} \text{ and } d_{k+1} = \frac{\triangle p_{k+2}}{\triangle p_k}.$$

Equation (7) is a finite difference analogue of the vertical structure equation

$$\frac{d^2\omega}{dp^2} + l^2\omega = 0. \tag{8}$$

Vertical wave number l is given by

$$l^2 = \left(\frac{n^2}{H} - \frac{1}{4}\right)^{1/2} \tag{9}$$

Let us now assume that a solution for the finite difference equation (7) has the form

$$\widehat{\omega}_{k+1} = p_{k+1}^{\mu}. \tag{10}$$

Substituting (10) into (7) we obtain

$$a_{k+1}X^{2+q} + b_{k+1}X + c_k = 0 \tag{11}$$

where the symbols in the above expression have the following meaning:

$$X = \left(\frac{p_{k+1}}{p_{k-1}}\right)^{\mu},$$

$$q = \frac{\ln \dfrac{p_{k+3}p_{k-1}}{p_{k+1}^2}}{\ln \dfrac{p_{k+1}}{p_{k-1}}},$$

$$a_{k+1} = 1 + \frac{C_{k+2}R_{k+2}}{H},$$

$$b_{k+1} = -(1 + d_{k+1}) + \frac{1}{H}(C_{k+2}S_{k+2} + d_{k+1}C_kR_k),$$

$$c_{k+1} = d_{k+1}\left(1 + \frac{C_kS_k}{H}.\right)$$

Solution of the differential equation (8) has the form $\omega = Ap^{\mu_1} + Bp^{\mu_2}$;

$\mu_{1/2} = \frac{1}{2} + il$. Following Tokioka, we require that

(i) there are two solutions for μ

(ii) $Re(\mu) = +\frac{1}{2}$

(iii) $Im(\mu)$ does not depend on height.

1.1. *Condition (i) — vertical level distribution.* Condition (*i*) is satisfied if $q=0$. This means that

$$\frac{p_{k+3}}{p_{k+1}} = \frac{p_{k+1}}{p_{k-1}} = \ldots = d = \text{const.} \tag{12}$$

The requirement (12) is satisfied when the model levels are spaced equi distantly with respect to ln (p). Then, the solutions of the quadratic equation (11) are

$$X_{1/2} = d^{\mu_{1/2}} = \frac{1}{2\left(1+\frac{C_{k+2}R_{k+2}}{H}\right)}\left[(d+1) - \frac{C_{k+2}S_{k+2} - dC_kR_k}{H}\right] \pm$$

$$\pm \left\{\left[(d+1) - \frac{C_{k+2}S_{k+2} + dC_kR_k}{H}\right]^2 - 4d\left(1+\frac{C_{k+2}R_{k+2}}{H}\right)\left(1+\frac{C_kR_k}{H}\right)\right\}^{1/2}. \tag{13}$$

1.2. *Condition (ii) — vertical temperature advection scheme.* Having in mind (13), condition (*ii*) can be rewritten as

$$C_{k+2}R_{k+2} = C_kS_k. \tag{14}$$

However, from (6) and (12)

$$C_{k+2} = C_k = \ldots = \ln d = \text{ const}, \tag{15}$$

and therefore

$$R_{k+2} = S_k. \tag{16}$$

As can be easily demonstrated the linearized form of the HIBU model vertical advection scheme for temperature (or potential temperature) (*Mesinger*, 1981)

$$\frac{\partial T_k}{\partial t} = -\frac{1}{\pi}\frac{\overline{\pi\dot{\sigma}\triangle_\sigma T_k}^{\sigma}}{\triangle\sigma} \tag{17}$$

does not satisfy the condition (16). In order to find a scheme which enables better simulation of the vertical wave propagation, for simplicity, instead of the expression (17) we shall start from

$$\frac{\partial \Theta_k}{\partial t} = -\frac{1}{\pi}\frac{\overline{\pi\dot{\sigma}\triangle_a\Theta_k}^{\sigma^*}}{\triangle\sigma}. \tag{18}$$

The symbol "$-\varsigma_*$" denotes the uncentered averaging operator defined by

$$(\overline{A}^{\sigma_*})_k = \alpha_k A_{k+1} + \beta_k A_{k-1}, \tag{19}$$

where

$$\alpha_k + \beta_k = 1. \tag{20}$$

Linearizing the right hand side of (18)

$$\triangle \sigma_k \pi \frac{\partial \Theta_k}{\partial t} + \alpha (\pi\dot{\sigma})_{k+1} (\Theta_{k+2} - \Theta_k) + \beta (\pi\dot{\sigma})_{k-1} (\Theta_k - \Theta_{k-1}) = 0, \tag{21}$$

about the basic state and introducing

$$\triangle p_k = \pi \triangle \sigma_k; \qquad \omega_k = \pi\dot{\sigma}_k,$$

we obtain

$$iv\hat{T}_k + \frac{T_0}{\triangle p_k} \left[\alpha \left(\frac{\bar{\Theta}_{k+2}}{\bar{\Theta}_k} - 1\right) \hat{\omega}_{k+1} + \beta \left(1 - \frac{\bar{\Theta}_{k+2}}{\bar{\Theta}_k}\right) \hat{\omega}_{k-1} \right] = 0. \tag{22}$$

Comparison of (22) and (2) leads to the definitions

$$R_k = \alpha \left(\frac{\bar{\Theta}_{k+2}}{\bar{\Theta}_k} - 1\right); \; S_k = \beta \left(1 - \frac{\bar{\Theta}_k}{\bar{\Theta}_{k-2}}\right). \tag{23}$$

Using the relation for potential temperature and the condition (12), it follows that

$$\frac{\bar{\Theta}_{k-2}}{\bar{\Theta}_k} = \frac{\bar{\Theta}_k}{\bar{\Theta}_{k+2}} = \ldots = \left(\frac{p_k}{p_{k-2}}\right)^{\varkappa} = d^{\varkappa} = \text{const}; \quad \varkappa = \frac{R}{c_p}. \tag{24}$$

Because of (24), R_k and S_k are constant with respect to height. As a consequence, we finally define

$$\alpha = \frac{d^{\varkappa}}{1 + d^{\varkappa}}; \; \beta = \frac{1}{1 + d^{\varkappa}}. \tag{25}$$

Note that in the limit, when $\triangle p$ (or $\triangle \sigma$) tends to zero, we obtain the weighting factors

$$\lim_{\triangle p \to 0} \alpha = \lim_{\triangle p \to 0} \beta = \frac{1}{2}. \tag{26}$$

1.3. *Condition* (iii) As shown by *Tokioka* (1978) when condition (*iii*) is applied to the solutions of the quadratic equation (13),

$$M = \frac{(d+1) - \frac{1}{H}(C_{k+2} S_k + d C_k R_k)}{1 + \frac{1}{H} C_{k+2} R_{k+2}}$$

must be constant with height. This will indeed be the case since, as we have shown, the parameters C, R and S do not depend on height.

Thus, summarizing, if a model is defined on the C' grid, with levels equally spaced with respect to ln (p), and if the proposed modified HIBU scheme for temperature advection is used, then the false internal wave reflection from the upper model boundary as well as the computational two-grid-interval temperature waves should be avoided. However, this approach may have a potential computational deficiency, i. e. the uncentered temperature advection scheme does not conserve energy within the vertical advection. This problem is expected not to be too serious because the deviation of the proposed scheme from the centered one is small. For example,

when the model atmosphere is divided into five layers, as was done in our experiments, the weighting factors α and β take the values of 0.48 and 0.52, respectively.

Finally, it is important to note that the finite difference analysis holds for the isothermal case. In our experiments, the temperature advection scheme is used for the tropospheric motion simulations, which is not isothermal, and therefore we should expect only the limited response.

2. *Experiments*

The limited area HIBU model used for the experiments is defined on the *E* (Arakawa notation) horizontal grid with longitude-latitude coordinates and the sigma vertical coordinate. Its horizontal advection scheme conserves *C* grid energy and enstrophy as well as *E* grid energy and momentum for the non-divergent motion (*Janjić*, 1984). The analogue of the hydrostatic equation is chosen so as to minimize the vertical discretization error (*Janjić*, 1977, 1979). The two-grid-interval noise existing on *E* horizontal grid is succesfully prevented by modifying the conventional centered schemes for the terms governing the propagation of the gravity waves by introducing auxiliary velocity points midway between the adjacent hight points and adding the contribution of the pressure gradient force. Making use of the velocity terms thus obtained, the divergence term of the continuity equation is calculated more accurately. This procedure (*Janjić*, 1979) used in the HIBU model was applied along the lines of the *Mesinger's* (1973) procedure.

The model of the so-called "physical processes" as used here, includes a formulation of the surface drag, a simple parametrization of the vertical momentum transport, and the standard dry convective adjustment.

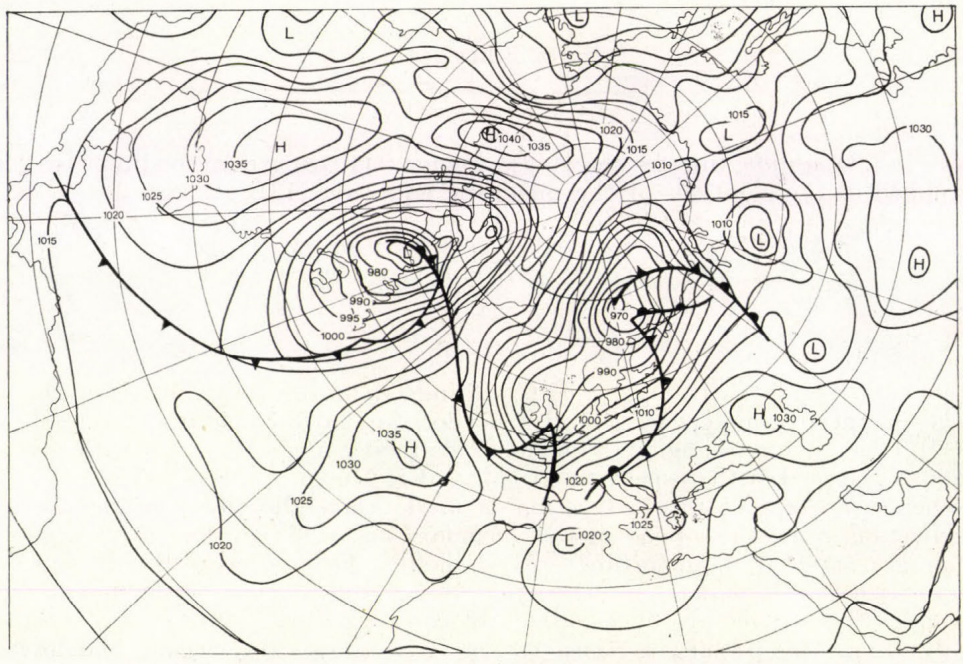


Fig. 2: Surface analysis 00 GMT 11 January 1978

Experiments to be shown here were all performed with a horizontal grid of 41x19 grid points (carrying the same variable), located at every intersection of a 1.5°x1.0° longitude x latitude mesh. In the vertical, the model was bounded by the model topography at the bottom and by $p_t = 200$ mb at the model top.

The experiments were performed with the following two model versions:

(a) the control version with 6 levels equidistantly spaced with respect to sigma coordinate and with operatively used vertical advection scheme for temperature – *HIBU – A version*, and

(b) the experimental version with 6 levels equidistantly spaced with respect to ln (p) and with the modified temperature advection scheme – *HIBU – B version.*

Second order diffusion terms were present in the momentum and temperature equations with the diffusion coefficients of $2 \times 10^4 m^2 s^{-2}$. For each experiment, time dependent boundary conditions were linearly interpolated from the sets of five previously prepared 00 GMT and 12 GMT analyses.

No initialisation procedure was used. However, divergence dumping (*Sadourny*, 1975) was performed during the first 6 hours of the integration time.

2.1. *The January 1978 case.* This was the case with a prominent cyclogenesis that occurred in the lee of the Alps.

One and a half days before the cyclogenesis developed, the "parent" cyclon with 990 mb in its centre was located over England (see the surface 00 GMT 11 January map displayed in *Figure 2*).

In the next 24 hours, the cyclon moved westward and the corresponding cold front passed over the Alps. As a consequence a typical deformation of the

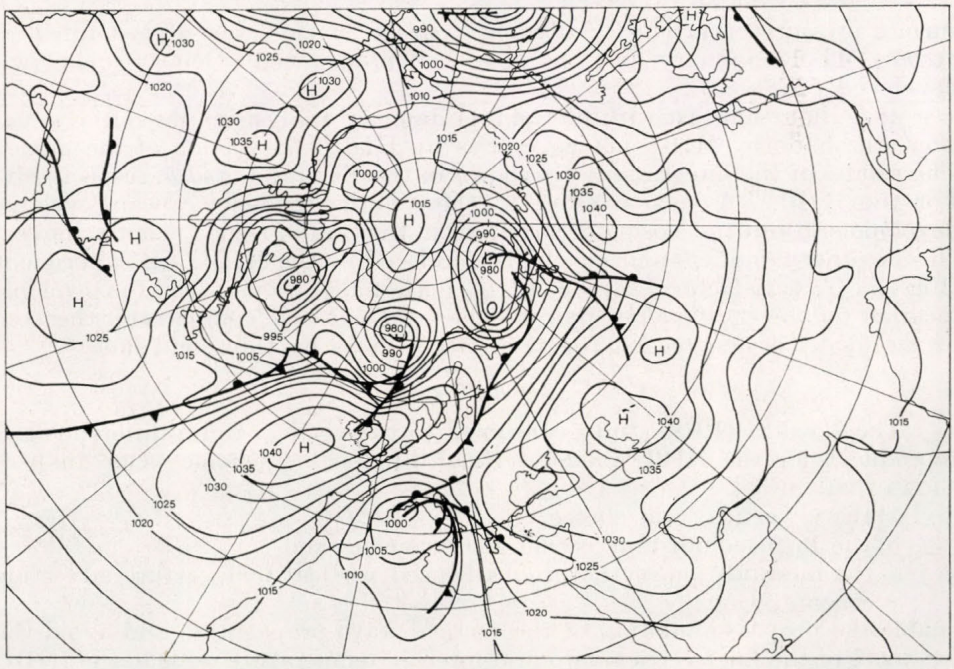


Fig. 3 : Surface analysis 00 GMT 13 January 1978

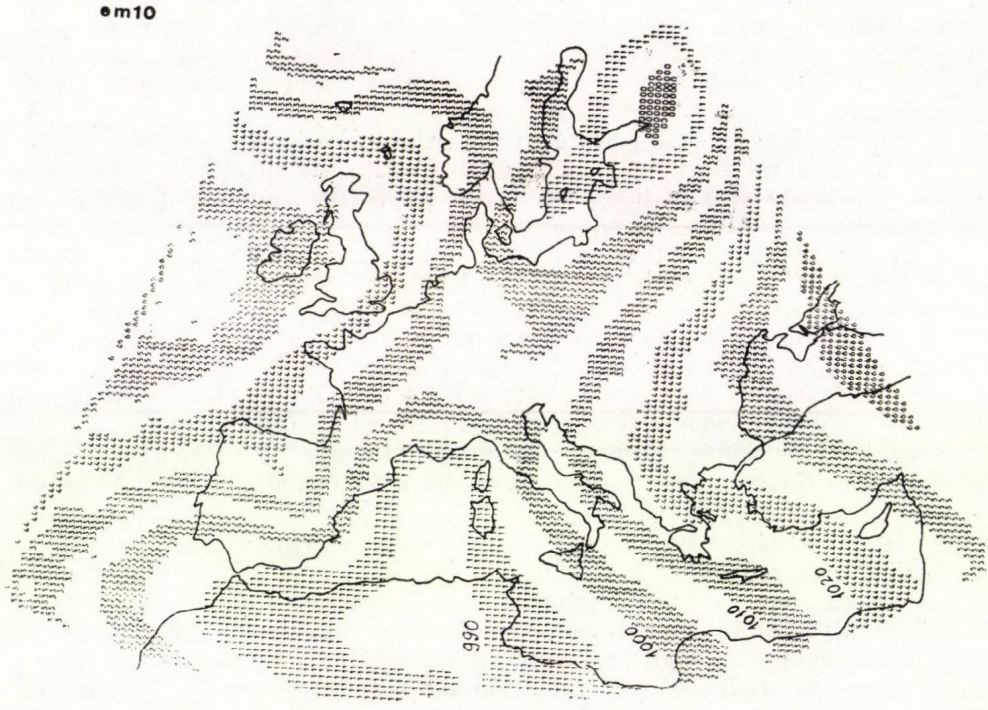


Fig. 4: HIBU – A 48-hour surface forecast, valid for 00 GMT 13 January 1978.

surface pressure occurred. Finally, the "parent" cyclon was almost filled up at 00 GMT 13 January, but the new, well pronounced, Genoa cyclon wa developed *(Figure 3)*.

48 – hour forecast with 00 GMT 11 January analysis as the initial situation was made by HIBU – A as well as by HIBU – B version of the model. The results of the integrations are shown in the *Figures 4. and 5*, respectively. For the HIBU – A version (Fig. 4), there is the tendency toward cyclonic development, but the closing of a contour in the Golf of Genoa is not achieved. On the other hand, contour closing is simulated by the HIBU – B experiment (Fig. 5). A satisfactory agreement of both integrations with the cyclonic location on the verification map is evident. For easier comparison, the area of the model is denoted on the verification maps by thin solid line.

3. Conclusion

The *Tokioka* (1978) study concerned to the vertical finite differencing is reproduced for the HIBU model vertical differencing schemes. Our analysis shows that

a) the C' vertical grid choice,
b) the $\ln(p)$ equidistant model level spacing, and
c) the modification of the originally used vertical temperature advection scheme

enable the proper simulation of the vertical wave propagation and avoid the existence of the false vertical two-grid-interval temperature noise in the HIBU integrations.

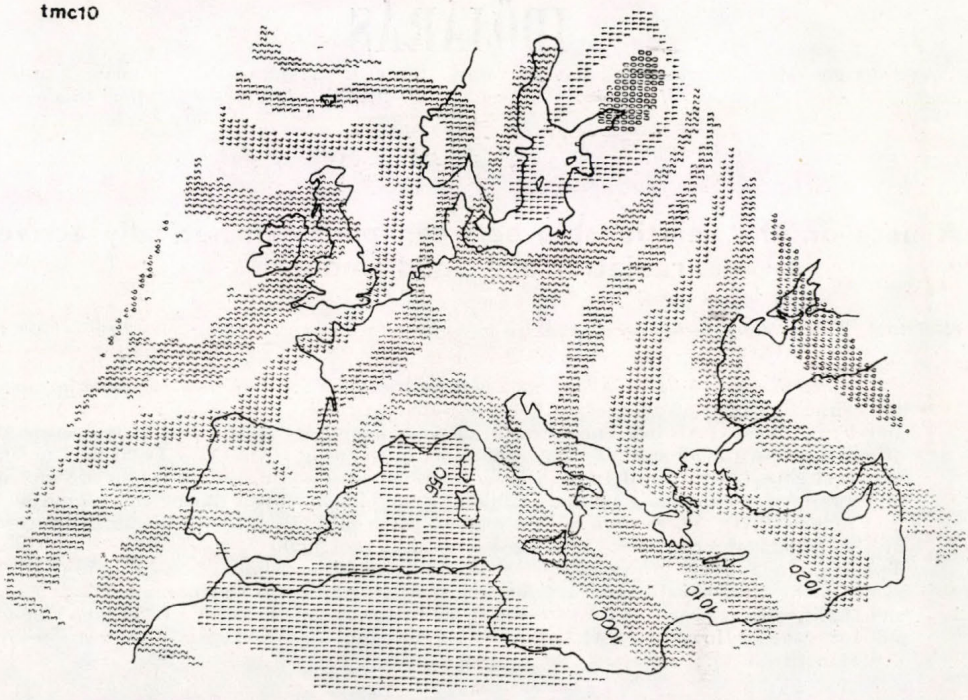


Fig. 5: HIBU – B 48-hour surface forecast, valid for 00 GMT 13 January 1978.

The sensitivity experiment has confirmed theoretical analysis. Experiment shows that slight improvement is obtained by the modified HIBU – B version of the model. However, certain definite conclusion cannot be given analysing one separate synoptic case.

Acknowledgement. The autors are grateful to Dr. *Zaviša Janjić*, Hydrometeorological Institute of the SR Serbia, Belgrade, for valuable comments and discussions.

REFERENCES

Arakawa, A., 1972: Design of the UCLA general circulation model. *Tech. Rept.* No. 7, Setp. of Meteorology, Univ. of California, Los Angeles, 116 pp.

Janjić, Z. I., 1977: Pressure gradient force and advection scheme used for forecasting with steep and small scale topography. *Contrib. Atmos. Phys.*, 50, 186 – 199.

Janjić, Z. I., 1979: Forward-backward scheme modified to prevent two-grid-interval noise and its application in sigma coordinate models. *Contrib. Atmos Phys.*, 52, 69 – 84.

Janjić, Z. I., 1984: Momentum and energy conserving advection scheme for semi-staggered grids with strictly controlled non linear energy cascade (in print)

Mesinger, F., 1973: A method for construction of second-order accuracy difference schemes permitting no false two-grid-interval wave in the height field. *Tellus*, 25, 444 – 458.

Mesinger, F., 1977: Forward-backward scheme, and its use in a limited area model. *Contrib. Atmos. Phys.*, 50, 200 – 210.

Mesinger, F., 1981: Horizontal advection schemes of a staggered grid-An enstrophy and energy conserving model. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 467 – 478.

Mesinger, F., Strickler, R. F., 1982. Effect of mountains on Genoa cyclogenesis. *J. Met. Soc. Japan*, 60, 326 – 338.

Sadourny, R., 1975: The dynamics of finite-difference models of the shallow-water equations. *J. Atmos. Sci.*, 32, 680 – 689.

Tokioka, T., 1978: Some considerations on vertical differencing. *J. Met. Soc. Japan*, 56, 98 – 111.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 1. szám. 1986. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No. 1. Jan – Feb. 1986 Budapest

A note on the relationship between photosynthetically active radiation and cloud amount

NATHAN, K. K., *Water Technology Centre, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi—110012*

A note on the relationship between photosynthetically active radiation and cloud amount. Quantification of photosynthetically active radiation (PAR) is an asset for plant growth and development. PAR influences evapotranspiration and dry matter production potential of many crops. Cloudiness play important role in reducing PAR. New Delhi falls under semi-arid zone (28°35' N) of India. During monsoon season (July – Sept.) crops are grown under rainfed conditions. Low and middle altitude clouds prevail during this period and thus reduce PAR. There is an inverse relation between PAR and cloud amount. Moisture in the clouds absorb PAR. Morning hour values are highly significant ($r = -0.69$). Two or more crops are grown with irrigation facilities during winter (Dec – Feb) in this region. During this period there is significant positive relation in the morning ($r = +0.64$) and significant negative relation ($r = -0.98$) in the noon between PAR and cloud amount values. However, PAR values could be computed by using the relationship equation (Table 1).

⁂

A fotoszintetikusan aktív sugárzás és a felhőzet mennyisége közötti kapcsolatról. A növények növekedése és fejlődése értékeléséhez célszerű ismerni a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) mennyiségét. A PAR hatással van sok növény evapotranspirációjára és szárazanyag termelésére. A PAR értékének szabályozásában a felhőzet fontos szerepet játszik. Új-Delhi Indiának a semi-arid övezetében van. A monszun időszakában (július – szeptember) a növényzet csapadékellátottsága jó. Ezen időszakban az alacsony szintű és közepes szintű felhőzetből van a legtöbb és ezek csökkentik a PAR mennyiségét. A felhőzet mennyisége és a PAR között inverz kapcsolat van. A felhőzet nedvessége elnyeli a PAR-t. Reggeli órákban a kapcsolat erősen szignifikáns ($r = -0.69$) Télen (december – február) ebben az övezetben néhány növény öntözésre szorul. Ebben az időszakban a reggeli órákban szignifikáns pozitív kapcsolat ($r = +0.64$), délben szignifikáns negatív kapcsolat ($r = -0.98$) van a PAR és a felhőzet mennyisége között. Az I. táblázatra támaszkodva a PAR-értékek az összefüggések alapján kiszámíthatók.

⁂

Introduction. Photosynthetically active radiation (PAR) is an important component of solar radiation which helps in understanding the plant growth and its development (*Szeicz*, 1974). It is a major element in the determination of evapotranspiration and dry matter production potential of various crops. Photosynthetically active radiation is not recorded as a routine meteorological parameter and thus the information of this parameter is lacking. New Delhi (28°35'N) is located in a semi-arid belt of India where two or more crops are grown depending on the availability of irrigation. However, during monsoon season (July – Sept.) crops are grown under rainfed conditions. There is not enough sunshine and radiation as cloud amount is very high. This reduces the solar radiation as well as PAR value available to the plants for its metabolism. Similarly in winter, mist, fog and dew particles may reduce their intensity. The relationship between PAR and cloudiness is not very much

quantified. In this paper an attempt is made to understand the location specific relationship between PAR and cloud amount in various seasons at New Delhi by adopting simple correlation technique and the regression equations are generated to estimate PAR from cloudiness.

Experimental Method

Daily recording of PAR and cloud amount were made at the farm area of Water Technology Centre's Micrometeorological observatory, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi (28°35′N) from June 1976 to December

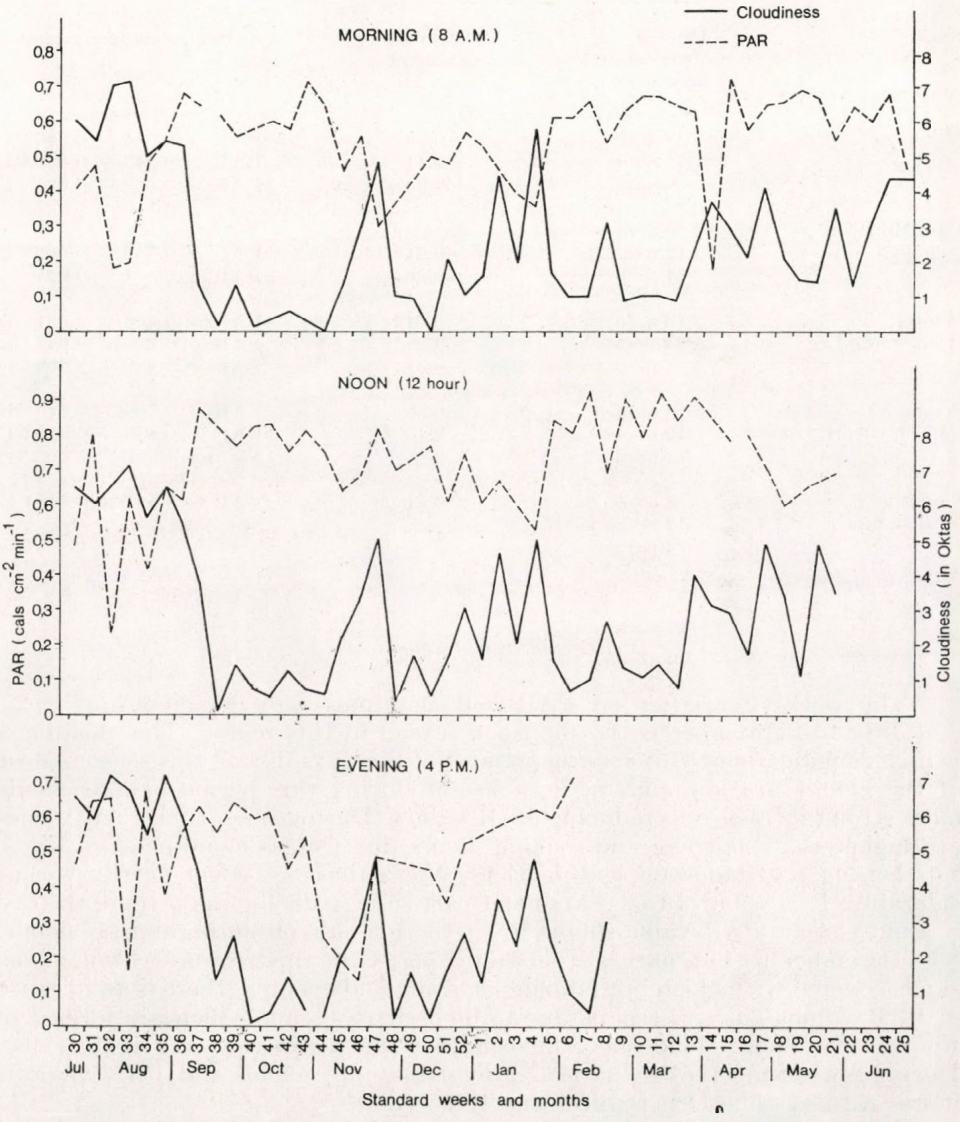


Fig. 1: The weekly variation of the photosynthetic active radiation (PAR) and cloudiness during morning (8 A.M.), noon (12 hours) and evening (4 P.M. local time)

1977. PAR was monitored at 0800, 1200 and 1600 hrs (local time). Simultaneously cloud amount were also recorded. The PAR was recorded using Lamda quantum sensors (*McCree*, 1966) belonging to LI−190 series (Lincoln Co., USA). Cloud amount is usually measured by visual method and its unit is in oktas. The daily values of PAR and cloudiness were computed for standard weeks.

TABLE I

Relationship between photosynthetic active radiation, (PAR) and cloudiness (CL) at New Delhi (28°35' N)

Season	Time of observation (local time)	Correlation coefficient r	Relationship equation
Monsoon (July – Sept)	8 a. m.	−0.69*	PAR = 0.684 − 0.046 CL
	12 noon	−0.41	PAR = 0.247 − 0.050 CL
	4 p. m.	−0.38	PAR = 0.696 − 0.031 CL
Post-Monsoon (Oct. – Nov.)	8 a. m.	–	Not recorded
	12 noon	+0.01	PAR = 0.752 + 0.002 CL
	4 p. m.	−0.26	PAR = 0.481 − 0.027 CL
Winter (Dec. – Feb.)	8 a. m.	+0.64*	PAR = 0.466 + 0.031 CL
	12 noon	−0.98*	PAR = 0.266 − 0.085 CL
	4 p. m.	+0.37	PAR = 0.489 + 0.259 CL
Spring (March – April)	8 a. m.	−0.35	PAR = 0.700 − 0.049 CL
	12 noon	−0.15	PAR = 0.858 − 0.012 CL
	4 p. m.	–	Not recorded
Summer (May – June)	8 a. m.	+0.51	PAR = 0.567 + 0.210 CL
	12 noon	–	Not recorded
	4 p. m.	–	Not recorded

*Significant at 5% level

Results and discussion

The weekly variation of PAR and cloudiness are depicted in *Fig. 1.*

July to September is the monsoon season in this region. The cloudiness is high ranging about 7 to 8 oktas in most of the days during this season. Most of the clouds are low and medium height during this period. These clouds have strong influence in reducing PAR values. During noon time PAR values are higher than morning and evening hours due to less cloudiness.

During post-monsoon season (Oct. – Nov.) the cloud cover decreases considerably. It is about 2 to 4 oktas and particularly during noon time, the sky is almost clear. PAR value shoots up as there is less obscuring due to clouds.

December to February is the winter period in this region. Although the sky is covered with cloud both during morning and evening, there is an increase of PAR value. This is perhaps due to high cirrus clouds which are formed in this season. These clouds may have least influence in reducing PAR value. During noon time the sky is less obscured by any cloud and PAR value is more. Also at times fog reduces the PAR value.

During the spring season (March and April), PAR value shows an increasing trend compared to cloud cover. May and June are termed as summer

season. In this period there is intense heat due to high atmospheric temperature. There is an increase of PAR value during part of May month. It is reduced by the formation of thunder clouds during noon time during June month. The reduction of PAR values is due to absorption of PAR by the water present in these clouds.

Table I depicts the relation of PAR and cloud amount in various seasons. We could see that during monsoon months there is negative relation between PAR and cloudiness and the correlation coefficient during morning hours is highly significant ($r = -0.69$). Similarly during winter season both in morning hours ($r = +0.64$) and noon time ($r = -0.98$) the relationship between them are quite significant. In PAR, red level band of the spectrum is more prone and sensitive to water vapour or moisture in the atmosphere. It is quite obvious that the negative relation of PAR and cloudiness in the monsoon season is due to significant absorption of water present in the monsoon clouds which absorbs PAR considerably. Also negative relation at times in winter season is perhaps due to little moisture present in fog or dew. Negative relation during April month presumably due to western disturbances and pre-monsoon thunder clouds which reduces PAR values.

Also from Table 1, weekly PAR can be worked out using cloud amount data for various seasons from the relationship equation.

Acknowledgement. The author sincerely acknowledges Dr. A. M. *Michael*, Project Director, Water Technology Centre and Director, I.A.R.I., New Delhi, for giving facilities in this study.

REFERENCES

McCree, K. J., 1966: A solarimeter for measuring photosynthetically active radiation. *Agri. Met. 3*, 353–366.

Szeicz, G., 1974: Solar radiation for plant growth. *J. Appl. Ecol. 11*, 617–636.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 1. szám. 1986. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No. 1. Jan – Feb. 1986 Budapest

Meteorológiai idősorok periodicitásának elemzése

AMED, A. F.—GULYÁS OTTÓ—KETSKEMÉTY LÁSZLÓ, *Központi Meteorológiai Intézet, H—1525 Budapest, Pf. 38*

Periodical analysis of meteorological time series. In the first part of the article, we dea with the mathematical basis of the periodical analysis and some meteorological aspects. Moreover we demonstrate two concrete applications: the periodical analysis of 80 year series of decade temperatures and that of the daily values of the 24 year series of the 500 mbar level. The numerical results are summarized in the Table I and Table IV.

⁂

Meteorológiai idősorok periodicitásának elemzése. A dolgozat első részében összefoglaljuk a periodicitás vizsgálat matematikai alapjait és néhány meteorológiai vonatkozását. A továbbiakban két konkrét vizsgálatot mutatunk be: a 80 éves hőmérsékleti dekádértékek sorozatainak, valamint az 500 mbaros szint napi sorozatának periodicitás elemzését. A számítási eredményeket az I. és a IV. táblázat tartalmazza.

⁂

Bevezetés. A periodikus függvények közelítése trigonometrikus függvények lineáris kombinációival — a Fourier-sorok elmélete — már régen alapvető fejezete a matematikának. Ebből a témából számos újabb, ma is élő matematikai résztudomány fejlődött ki, melyek a Fourier-sorok általánosításai, és amelyeket elsősorban a fizika, valamint a műszaki tudományok különböző problémáinak a megoldására sikeresen alkalmaznak. Az elmélet kiterjesztései között jelentkezett többek közt az az igény is, hogy trigonometrikus függvények lineáris kombinációival közelítsenek nem szigorúan periodikus függvényeket, esetleg sztochasztikus folyamatokat is. Az első fontosabb eredményt e területen — éppen meteorológiai idősorok vizsgálatával kapcsolatban — *Schuster* (1898) munkája jelentette, és a matematikai statisztikában ezt a munkát tekintik a statisztikus harmonikus analízis kezdetének.

Magyarországon — tudomásunk szerint — *Steiner Lajos* (1931) cikke jelezte a harmonikus analízis meteorológiai alkalmazásának kezdetét. Később *Jordan* (1949) ismét felhívta a figyelmet a periodicitás-vizsgálatok meteorológiai hasznosíthatóságára. Komolyabb adatsorok feldolgozására azonban csak az utóbbi időben (*Péczely* és *Csomor*, 1973, valamint *Oross* és *Vas*, 1974) került sor. A nemzetközi meteorológiai irodalom már gazdagabb. Mindenekelőtt a napfolttevékenységet jellemző ún. Wolf-szám 1700—1960 közötti éves sorának periódus-elemzése sokszor vizsgált kérdés (*Anderson*, 1971; *Yule*, 1927; *Waldmayer*, 1961; *Morris*, 1977 stb.). Találhatunk perióduselemzést a Balti jéghatár változásaira, különböző cirkulációs indexek ingadozásaira (*Lamb*, 1972) és számos más elemre, de általában azt mondhatjuk, hogy az ismert periódusokon kívül szignifikáns, prognosztikában is alkalmazható periódusokat nemigen találtak. Ennek következtében bizonyos meteorológiai körökben a perio-

dicitás-vizsgálattal szemben elég pesszimista nézetek alakultak ki. Ilyen vélemények összefoglalását találhatjuk például *Götz* és *Kaba* kéziratos anyagában, amelyből kiemelhető az USA Tudományos Akadémiájának állásfoglalása (NAS, 1975).

A küzdelem a hasznosítható és tudományos értékű rejtett ciklusok megtalálásáért azonban még nem ért véget. A jobb eredmények eléréséhez:

a) az elmélet fejlődése és rendszereződése a matematikai statisztikában;

b) az egyre hosszabb, szakmailag korrekt adatsorok megjelenése korszerű adathordozókon; valamint

c) az elektronikus számítógépek fejlődése, azok nagy pontossága és nagy sebessége

szolgálnak tartalékul. Ami a statisztikai módszerek fejlődését illeti, meg kll említeni, hogy számos kisebb-nagyobb előrelépés után a jelentős ugrást *Kolmogorov* (1941) és *Wiener* (1949) egymástól függetlenül elért eredményei jelentették, amelyekben nagy mértékben általánosították az addigiakat és számos alkalmazásnak nyitottak kaput. Nem célunk az azóta írt szakirodalom értékelése vagy monográfikus elemzése, helyette megemlítünk néhány korszerű, világszínvonalú összefoglaló könyvet: *Anderson* (1971), *Priestley* (1981) és *Hannan* (1970) munkáit. Ezek a könyvek a matematikai részletek után érdeklődőknek és a felhasználóknak jól rendszerezve megadják a legutóbbi időszak e területen elért eredményeit is. A számítógépek szerepe és az adatbázisok gazdagodása nem kíván további magyarázatot, valószínűleg mindenki számára világos a súlyuk az ilyen típusú kutatásokban.

Munkánkban célul tűztük ki, hogy a ma legkorszerűbbnek tűnő matematikai eszközökkel, igényes számítástechnikai feltételek mellett, a hazánkban fellelhető fontosabb, hosszú meteorológiai sorokra elvégezzük a periodicitás-vizsgálatot. Amennyiben találunk szignifikáns, rejtett periódusokat, akkor ezeket a megfelelő szakemberekkel együttműködve megpróbáljuk a prognosztikában és a klimatológiában alkalmazni, de számolunk a negatív eredmény lehetőségével is. Az ilyen irányú munkánk első fázisáról számolunk itt be, a matematikai alapok összefoglalásával és két konkrét vizsgálattal: a 80 évi dekád hőmérsékleti sorok, valamint a 24 évi 500 mbaros szint egy rácsponti adatának periodicitás-elemzésével.

1. A matematikai alapok összefoglalása

Vizsgálatunk tárgya a meteorológiai elemek olyan idősora, amelyet valamilyen sztochasztikus folyamat realizációinak

$$X(1),\ X(2),\ \ldots,\ X(n) \tag{1}$$

sorozatával írunk le. Ebben az idősorban $X(i)$ az i-edik időpillanatban észlelt vagy számított érték. Olyan idősorok analízisével kívánunk foglalkozni, amelyekben valamilyen periodikus jelenséget tételezhetünk fel. Vizsgálatunk célja éppen ezeknek a periódusoknak a felderítése, valamint annak jellemzése, hogy e periódusoknak milyen szerepük van a folyamat előállításában. Az X sorozatot a következő matematikai modellel írjuk le:

$$X(k)=\sum_{i=1}^{M} a_i \cos(\omega_i k+\Phi_i)+\mu(k),\quad k=1,\ 2,\ \ldots,\ n \tag{2}$$

ahol M természetes szám (a periodikus összetevők száma), az a_i és az ω_i számok valós számoknak egy sorozata, $\{\Phi_i\}$ a $(-\pi, \pi)$ intervallumon egyenletes eloszlású független valószínűségi változók vektora, $\mu(k)$ pedig a $\{\Phi_i\}$-ktől

független fehérzaj folyamat, azaz olyan valószínűségi változó sorozat, amelyiknek a várható értéke zérus:

$$M[\mu(k)]=0, \tag{3}$$

és a tagjai korrelálatlanok:

$$\operatorname{cov}(k,l)=M[\mu(k)\mu(l)]=\begin{cases}0, & \text{ha } k\neq l,\\ \sigma_\mu^2, & \text{ha } k=l.\end{cases} \tag{4}$$

Vagyis modellünknél azt tételezzük fel, hogy a vizsgált idősor előállítható trigonometrikus függvények lineáris kombinációi (a periodikus tag) és egy független zajtag összegeként. A feladat az, hogy a megfigyelések $X(i)$ sorának egyetlen realizációjával becslést adjunk az M, az $\{a_i\}$ és $\{\omega_i\}$, valamint a $\{\Phi_i\}$ értékekre.

Tekintsük az idősort modellező (2) kifejezés periodikus tagjának egy összetevőjét, és az legyen

$$Z(k)=a\cos(\omega k+\Phi). \tag{5}$$

A koszinusz függvény tulajdonságai miatt $Z(k)$ periodikus függvény a $2\pi/\omega$ *periódus* szerint. Az egységnyi hosszúságú intervallumba eső periódusok száma – amelyik nem feltétlenül egész szám – a periódus reciproka $\omega/2\pi$, amelyet *frekvenciának* nevezünk. Látható, hogy a $Z(k)$ függvény maximumait a

$$K_{\max}=-\frac{\Phi}{\omega}\pm\frac{2\pi}{\omega}l, \qquad l=0,\ 1,\ 2,\ \ldots$$

időpontokban veszi fel (szintén nem feltétlenül egész). Az a együtthatót *amplitúdónak* nevezzük. A Φ valószínűségi változó a *fázis*. Vizsgálatunkban – amikor a becslést egyetlen realizáció alapján végezzük – a fázist tekinthetjük konstansnak is, mivel egy realizáicón belül egyetlen értéket vesz fel. Ugyancsak az általánosítás megsértése nélkül feltehetjük, hogy $|\omega|\leq\pi$.

A fázis formailag kiiktatható a következő módon: a trigonometrikus összefüggések alapján világos, hogy a $Z(k)$ függvény felírható a

$$Z(k)=(A\ \cos\ \omega k+B\ \sin\ \omega k) \tag{6}$$

alakban is, ahol az (a, Φ) és az (A, B) párok között az alábbi egyértelmű összefüggések állnak fenn:

$$A=a\ \cos\ \Phi,\ a=\sqrt{A^2+B^2}, \tag{7}$$

$$B=-a\ \sin\ \Phi,\ \Phi=\operatorname{arc\ tg}\left(-\frac{B}{A}\right).$$

A továbbiakban a (2)-ben leírt idősort tehát a

$$X(k)=\sum_{i=1}^{M}[A_i\ \cos\ \omega_i k+B_i\ \sin\ \omega_i k]+\mu(k) \tag{8}$$

modellel kívánjuk közelíteni, ahol a jelölések megfelelnek az előzőkben megfogalmazottaknak.

A (8) kifejezésben az A_i és B_i amplitúdókat a legkisebb négyzetek módszerével becsüljük. Vagyis keressük azokat az A_i és B_i becsléseket, amelyekre az

$$R=R_n\{A_i,\ B_i\}=\sum_{k=1}^{n}[X(k)-\sum_{i=1}^{M}(A_i\cos\omega_i k+B_i\ \sin\ \omega_i k)]^2 \tag{9}$$

kifejezés a minimumát veszi fel. A szokásos eljárásnak megfelelően itt is úgy járunk el, hogy R-et differenciáljuk rendre A_i és B_i szerint, majd a differenciál-

hányadosokat zérussal tesszük egyenlővé. A felsorolt műveletek végrehajtása után a következő egyenletrendszert kapjuk:

$$\sum_{k=1}^{n} X(k) \cos \omega_j k = \sum_{i=1}^{M} A_i cc(\omega_i, \omega_j) + \sum_{i=1}^{M} B_i sc(\omega_i, \omega_j), \tag{10}$$

$$\sum_{k=1}^{n} X(k) \sin \omega_j k = \sum_{i=1}^{M} A_i sc(\omega_i, \omega_j) + \sum_{i=1}^{M} B_i ss(\omega_i, \omega_j), \tag{11}$$

ahol

$$cc(\omega_i, \omega_j) = \sum_{k=1}^{n} \cos \omega_i k \cos \omega_j k,$$

$$sc(\omega_i, \omega_j) = \sum_{k=1}^{n} \sin \omega_i k \cos \omega_j k,$$

$$ss(\omega_i, \omega_j) = \sum_{k=1}^{n} \sin \omega_i k \sin \omega_j k.$$

Ennek az egyenletrendszernek a gyökei adják a keresett $\hat{A}_i$ és $\hat{B}_i$ értékeket. A (10–(11) egyenletrendszer megoldása adott ω_i értékek rendszerére kiszámítható, azonban az ω_i értékeket előre nem ismerjük. Ezért olyan, a tényeges ω-kat jól közelítő ω_i értékeket választunk, amelyek lehetővé teszik az egyenletrendszer megoldását. Legyen

$$L = entier\left(\frac{n}{2}\right),$$

és a továbbiakban csak azokat az ω_i értékeket keressük, amelyekre

$$\omega_i = \frac{2\pi}{n} i, \quad i = 1, 2, \ldots, L,$$

és az ehhez tartozó $\hat{A}_i$, valamint $\hat{B}_i$ becslések az i/n frekvenciákhoz tartozó amplitúdók becslései. Mivel általában n nagy szám, és a $2\pi/n$ sűrűségű felosztás elegendően pontos, a két frekvencia eltérése nem nagy, az így definiált ω_i értékek $2\pi/n$ sűrűséggel fedhetik a $[0, \pi]$ intervallumot. Ugyanakkor az ω_i értékek ilyen választása esetén a (10)–(11) egyenletrendszer megoldása a $cc(.)$, $sc(.)$ és $ss(.)$ függvények ortogonális tulajdonságai miatt egyszerű lesz. Legyen ugyanis p, illetve q két olyan egész szám, amilyeneket most a frekvenciák definiálásakor megengedtünk. Ezekre a p és q értékekre fennállnak a következő azonosságok:

$$cc\left(\frac{2\pi}{n} p, \frac{2\pi}{n} q\right) = \begin{cases} 0, & \text{ha } 0 \leq p \neq q \leq L, \\ n/2, & \text{ha } 0 < p = q < n/2, \\ n, & \text{ha } p = q \text{ és } p = 0, \text{ vagy } n/2 \text{ és } n \text{ páros.} \end{cases} \tag{12}$$

$$sc\left(\frac{2\pi}{n} p, \frac{2\pi}{n} q\right) = 0 \quad \text{minden } p, q\text{-ra.} \tag{13}$$

és

$$ss\left(\frac{2\pi}{n} p, \frac{2\pi}{n} q\right) = \begin{cases} 0, & \text{ha } 0 \leq p \neq q \leq L, \\ n/2, & \text{ha } 0 < p = q < n/2, \\ 0, & \text{ha } p = q \text{ és } p = 0, \text{ vagy } n/2 \text{ és } n \text{ páros.} \end{cases} \tag{14}$$

Ezen azonosságok alapján viszont a (10–(11) egyenlőségrendszer könnyen megoldható, és a megoldás:

$$\hat{A}_i = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^{n} X(k) \cos\left(\frac{2\pi}{n} ik\right), \tag{15}$$

$$i = 1, 2, \ldots, M$$

$$\hat{B}_i = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^{n} X(k) \sin\left(\frac{2\pi}{n} ik\right), \tag{16}$$

míg speciálisan

$$\hat{A}_0 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} X(k) \text{ és } \hat{B}_0 = 0. \tag{17}$$

Így megkaptuk az amplitúdók becslését a legkisebb négyzetek módszeréve. Most még arról kell meggyőződnünk, hogy A_i és B_i valóban jó becslései A_i-nek és B_i-nek.

Könnyen bebizonyíthatjuk, hogy e becslések torzítatlanok és erősen konzisztensek, azaz

$$M(\hat{A}_i) = A_i,$$

$$M(\hat{B}_i) = B_i.$$

Az A_i amplitúdó becslésének a szórása:

$$D(\hat{A}_i) = \sqrt{\frac{2}{n} \sigma_\mu^2}, \quad \text{és} \quad D(\hat{B}_i) = \sqrt{\frac{2}{n} \sigma_\mu^2}.$$

Mint láttuk, az $\hat{A}_i$ és $\hat{B}_i$ becslések torzítatlanok és látható, hogy

$$\lim_{n \to \infty} D^2(\hat{A}_i) = \lim_{n \to \infty} D^2(\hat{B}_i) = 0,$$

ezért a két becslés erősen konzisztens is, vagyis

$$M[(\hat{A}_i - A_i)^2] \to 0, \text{ ha } n \to \infty,$$

és

$$M[(\hat{B}_i - B_i)^2] \to 0, \text{ ha } n \to \infty.$$

Mint azt tudjuk, ez az összefüggés implikálja a becslés konzisztenciáját, vagyis, hogy minden $\varepsilon < 0$-ra

$$P(|\hat{A}_i - A_i| < \varepsilon) \to 0, \text{ ha } n \to \infty,$$

és

$$P(|\hat{B}_i - B_i| < \varepsilon) \to 0, \text{ ha } n \to \infty.$$

Mindezeken túlmenően igazolható az is, hogy

$$\text{cov}(\hat{A}_i, \hat{B}_i) = 0$$

minden i-re. A periodikus tagot természetesen visszaalakíthatjuk úgy, hogy

$$\hat{a}_i = \sqrt{\hat{A}_i^2 + \hat{B}_i^2},$$

$$\hat{\Phi}_i = \text{arc tg}\left(-\frac{\hat{B}_i}{\hat{A}_i}\right),$$

és kereshetjük a folyamat előállítását az

$$X(k) = \sum_{i=1}^{L} \hat{a}_i \cos\left(\frac{2\pi}{n} ik + \hat{\Phi}_i\right) + \hat{\mu}(k) \tag{18}$$

alakban.

A becslések elvégzése után még ellenőrizni kell, hogy:

1. milyen $\widehat{a_i}$ értékek térnek el szignifikánsan a zérustól,
2. $\mu(k)$ milyen jó közelítéssel tekinthető fehérzajnak,
3. a zajtag $\widehat{\sigma_\mu}$ szórása kellően kicsi-e?

Az $\widehat{a_i}$ amplitúdó-becsléseket ábrázolhatjuk a megfelelően nagy amplitúdók szemléletes kiválasztása céljából. Mivel $\omega_i = 2\pi\, i/n$ és a frekvencia $\omega_i/2\pi$, ezért a vizsgált amplitúdók az i/n frekvenciához tartoznak. Az i/n frekvenciák függvényében az ábrán a becsült amplitúdók $\widehat{a_i^2}$ négyzeteit tartalmazó grafikont *periodogramnak* nevezzük. A periodogram csak a szemléltetést segíti, a pontosabb elemzést nem helyettesítheti. Ehhez két megjegyzés tartozik:

a) Az egyik arra vonatkozik, hogy valójában a folyamatot előállító frekvenciák nem feltétlenül $\omega_i = (2\pi/m)i$, $i = 1, 2, \ldots, n/2$ alakban írhatók fel. Azonban minden tényleges ω értékhez található olyan ω_i, hogy $|\omega - \omega_i| \leq \pi/n$ legyen, és itt n értéke általában igen nagy. Az $\widehat{A_i}$ és a $\widehat{B_i}$ becslések tulajdonságaiból megmutatható, hogy bármely ω-ra a legközelebbi ω_i értéket véve az ω_i-hoz tartozó A_i', B_i' amplitúdókra fennáll, hogy

$$M[\widehat{A_i}] = A_i' + o\left(\frac{1}{n}\right). \tag{19}$$

$$M[\widehat{B_i}] = B_i' + o\left(\frac{1}{n}\right) \tag{20}$$

b) A másik megjegyzés szerint természetesen meg kell vizsgálni az $\widehat{a_i}$ becsléseket is, hiszen az valószínűségi változó, és így eltérhet zérustól még akkor is, ha történetesen $a_i = 0$ lenne. Az elmondottak szerint világos, hogy ha $|a_i|$ kicsi, akkor a torzítatlanság és a konzisztencia miatt $|\widehat{a_i}|$ is statisztikusan kicsi lesz, de véletlenszerűen el is térhet attól. A ténylegesen nem zérus apmlitúdók becsléseinek a kiválasztásához hipotézis vizsgálati módzerekre van szükség. Ezek részletezése ebben a dolgozatban nem célunk (pontosan lásd például *Priestley*, 1981).

2. *A számítási eredmények*

2.1 *Hőmérsékleti sorok periodicitása.* A feldolgozott sorok az OMSZ – KMI Éghajlati Főosztályának összeállításai. Az adatsorokat a KSH IBM 370/155 elektronikus számítógépének adathordozóin tároljuk. Az adatsor többek között 10 állomás napi hőmérsékleti középértékét, hőmérsékleti maximumát és minimumát, valamint 10 állomás napi középértékeinek területi átlagát tartalmazza. Feldolgozásunk tárgya a kecskeméti és a budapesti, valamint a 10 állomás átlagát képező adatsor dekádosított (havi három rész, 10 – 10 + maradék nap) változata. A napi adatsor 1901. I. 1-én kezdődik és 1980. XII. 31-ével ér véget. A dekádosított adatsor hossza (n) 2880. Mind a napi, mind a dekádosított értékeket a gépi adatfelvitel után kiírattuk és azokat manuálisan ellenőriztük.

A három idősorban igen hasonló periodikus összetevőket találtunk, négy jelentősebbet, illetve Budapesten ötöt. Ezek az amplitúdók csökkenő sorrendben (években):

Kecskemét: 1,0; 0,5; 8,0 és 2,02

Budapest: 1,0; 0,5; 13,15; 2,02 és 8,0

10 állomás átlaga: 1,0; 0,5; 8,0 és 2,02.

I. TÁBLÁZAT

Hőmérsékleti sorok periodicitásvizsgálatának legfontosabb paraméterei
Dekád, 1901. 01. 01. – 1980. 12. 31. $n = 2880$

		n/i		Kecskemét		Budapest		10 állomás átlaga	
	i	periódus dekád	periódus év	a_i	Φ_i	a_i	Φ_i	a_i	Φ_i
	6	480	13,15			0,3313	0,0906		
	10	288	8,0	0,3636	1,0209	0,2692	1,0240	0,3467	0,9908
	39	73,85	2,02	0,3384	−0,5962	0,2860	0,6365	0,3000	0,6435
	80	36	1,0	11,4084	−0,3666	11,1823	−0,3639	11,0810	−0,3703
	160	18	0,5	0,7350	−0,2615	0,6800	−0,0147	0,6774	−0,1482
Konstans tag	0^2			10,39		11,21		10,35	
	σ^2			73,74		69,95		69,44	

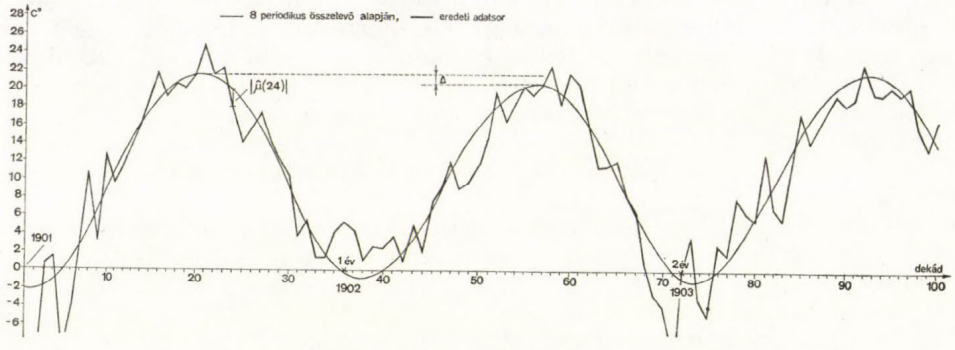
Az ide tartozó számítások fontosabb paramétereit az *I. táblázat* tartalmazza. A táblázat alapján például Kecskemét sorának periodikus közelítése

$$X(k) = 10{,}39 + 11{,}41 \cos\left(\frac{80}{n} 2\pi k - 0{,}3666\right) + 0{,}735 \cos\left(\frac{160}{n} 2\pi k - 0{,}2615\right) +$$

$$+ 0{,}364 \cos\left(\frac{10}{n} 2\pi k - 1{,}0209\right) + 0{,}338 \cos\left(\frac{39}{n} 2\pi k - 0{,}5962\right) + \hat{\mu}(k),$$

alakú, és így felírható mindhárom sor közelítése is. E kifejezésekből jól látható Kecskemét és a területi átlag sorának hasonlósága, valamint a budapesti sor ezektől való eltérése is.

A szemléletesség kedvéért az *1. ábrán* bemutatjuk a 10 állomás hőmérsékleti átlagának eredeti sorát és a kiszámított periodikus jellegű előállítást. Jól látható grafikusan is a közelítés pontossága, bár az csak a sorozat elejét (közel három évet, azaz 100 dekádot) tartalmazza. (A periodikus rész a nyolc $\hat{a}_i$ szerint legfontosabb periodikus tagból áll.) Az ábrán △-val jelöltük 1901. és 1902. évek 21. dekádjai közötti eltérést. A $\hat{\mu}(k)$ zajtag folyamatot a köve kezőképpen jellemezhetjük:



1. ábra. A dekádsorozat és a periódikus rész kapcsolata

A zaj átlaga: $M[\widehat{\mu(k)}] = 0{,}004$;
A zaj szórása: $\widehat{S}\,\widehat{\mu} = 2{,}630$;
A zaj korrelációja: $(\text{cov}\,(\widehat{\mu(k)}\widehat{\mu(k+l)}) = C(l)\,)$.

II. TÁBLÁZAT

A zajtag korrelációja

l	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C (l)	1,00	0,35	0,11	0,05	0,04	0,01	0,008	0,009	−0,001	−0,009

A 2. *ábrán* és a *II. táblázat*ban látható, hogy $\{/\widehat{\mu(k)}/\}$ valóban jó közelítéssel zaj, memóriája legfeljebb egy vagy két lépésre lehet lényeges. Az 1. ábrán feltűnő, hogy a „csúcsok" változóak. Megvizsgáltuk egy tetszőlegesen kiválasztott dekád 80 évi sorozatát is. Ez a választás a $(10 + K \cdot 36,\ K = 0, 1, 2, \ldots, 79)$ (március 1 — március 10.) dekádsorozatra esett.

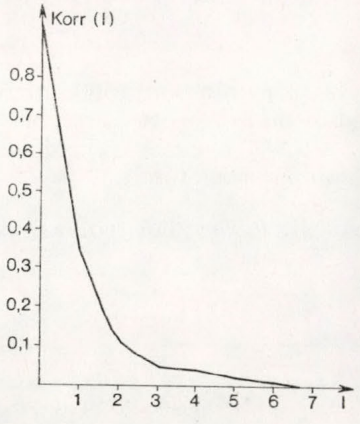
III. TÁBLÁZAT

A zajtag néhány statisztikai jellemzője

	Tényleges idősor	Periodikus tag	μ(k) zaj
Átlag	9,22	8,86	0,37
Szórás	2,13	0,53	1,99

A *III. táblázat*ból látható, hogy bár az éves periódus a domináns, a többi periodikus összetevő is jelentős eltérést okoz; az átlagosan kb. 9° C-os március első dekádjának hőmérsékletében kb. 0,5 fokos ingadozást eredményeznek. Ami a zajtagot illeti, csupán azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a dekád klimatológiai előrejelzése (sokévi átlag) helyett némi (szórásban 7%-os) javulást jelent annak a periodikus sorral történő klimatológiai előrejelzése. A sokévi átlagtól való eltérés szórása 2,13, a periodikus tagtól pedig 1,99.

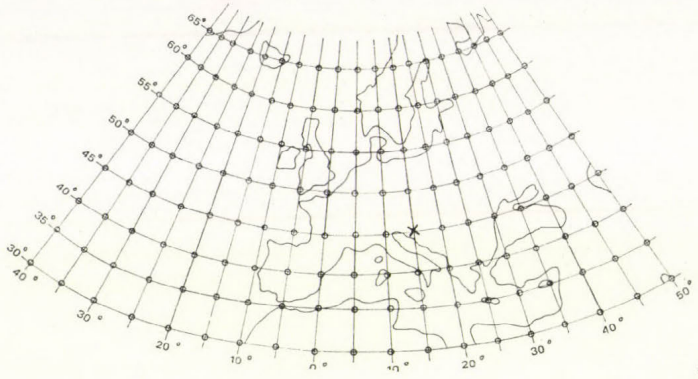
2.2 *Az 500 mbaros abszolút topográfia vizsgálata.* Az 500 mbaros szint adatait a Bracknell-i távprognosztikai adatbázisból leválasztott, mágnesszalagon



2. ábra. A zajfolyamat korrelációja

tárolt, rácspontokra inerpolált értékek képezték. A rácsponthálózatot (kis körökkel) a *3. ábra* mutatja. Egy rácsponthoz rendelt adatsor hossza 8766 adat, 1949. I. 1.–1972. XII. 31. közötti napi interpolált értékek.

Budapesthez legközelebb az 5. sor 7. oszlop (20. keleti hosszúság, 45. északi szélesség, további jelentésükben (5, 7), az ábrán x-szel jelölt) rácspont esik. A hibaellenőrzés során az — elenyésző számú — hiányzó adatokat 5500-as



3. ábra. A rácshálózat (500 mbar-os szint)

értékkel helyettesítettük. Az adatsoron simítást hajtottunk végre, amely szerint

$$X_i = \frac{\frac{1}{4}X_{i-2} + \frac{1}{2}X_{i-1} + X_i + \frac{1}{2}X_{i+1} + \frac{1}{4}X_{i+2}}{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}} .$$

IV. TÁBLÁZAT

Az 500 mbar-os szint periodicitás-vizsgálatának néhány paramétere

i	$\omega_i/2\pi$	Periódus nap	Periódus év	a_i	Φ
0	0			5732,32	
24	0,00274	365,25	1,00	149,32	−0,56105
48	0,00548	182,62	0,50	17,14	−0,9503
62	0,00707	141,38	0,387	9,72	−1,2354

Az (5,7) rácspont 500 mbaros szintjének adatsorozatában két jelentős periódus mutatkozott csak, az 1,0 éves és a 0,5 éves, továbbá egy kisebb, a 0,387 éves. A *IV. táblázat* tartalmazza a periodicitás-vizsgálat legfontosabb paramétereit.

Az *V. táblázat*ból leolvasható, hogy a $\widehat{\mu}(k)$ zajfolyamat korrelációfügg

V. TÁBLÁZAT

A zajtag korrelációja

l	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C(l)$	1	0,926	0,759	0,568	0,411	0,300	0,227	0,179	0,147	0,122

vénye sokkal lassabban cseng le, mint a hőmérséklet esetében; $\mu(\hat{k})$ nem tekinthető fehérzajnak.

A zaj átlaga: $M[\hat{\mu}(k)] = 5{,}057$

A zaj szórása: $D[\hat{\mu}(k)] = 59{,}33$

3. Megjegyzések

Ebben a dolgozatban munkánk első fázisáról számoltunk be. A következőkben néhány tapasztalatunkat és tervünket foglaljuk össze:

1. Szükségesnek látszik a jelenlegi programok általános célú univerzális, célprogramrendszerré történő átdolgozása. Ez meggyorsítaná a további adatsorokon végzendő munkát és annak kiértékelését.

2. Célszerű lenne pontosítani a legkisebb négyzetek módszerét arra esetre is, amikor a zaj nem fehérzaj (hanem például autoregresszív folyamat).

3. Hasznos lenne az $X(k)$ folyamat szórásának becslésére (és annak pontosságára) megbízható és számítógépen kiszámítható jó becslést adni.

4. Tisztázni kell a tényleges frekvenciákhoz tartozó a_i amplitúdók hipotézis-vizsgálattal történő módszereit arra az esetre, amikor nem minden $A_i = B_i = 0_i$ Ezek fokozatos kiválasztását a programba be kell építeni.

5. Pontosabban kell ellenőrizni, becsülni az eredeti $X(k)$ idősorok statisztikai tulajdonságait (eloszlását stb.).

6. A simítások hatását finomabban kell korlátolni. Most az empirikus vizsgálatok azt mutatják, hogy a szórást jelentősen, de a periodikus összetevőt alig változtatta meg a simítás. Tisztázni kell a simítások hatását.

7. A hőmérsékleti sor dekádosított alakján végzett periodicitás-vizsgálat aktív frekvenciáinak környezetében napi adatokkal célszerű finomabb vizsgálatot végezni.

8. További adatsorokon (maximum, minimum, további állomások, illetve rácspontok, külföldi adatok) folytatni kell a periodicitás-analízist és az összehasonlító elemzéseket.

IRODALOM

Anderson, T. W., 1971: *The Statistical Analysis of Time Series.* John Wiley and Sons

Jordan, K., 1949: Periodikus menetet mutató észlelések megközelítése trigonometrikus függvénnyel. *Időjárás 53.* 226–231.

Hannan, E. J., 1970: *Multiple Time Series,* John Wiley and Sons.

Kolmogorov, A. N., 1941: Sztacionarnüe poszledovatyelnosztyü v gilbertovom prosztransztve, *Bulletin MGI. 2.* 6. 1–40.

Lamb, H. H., 1972: *Climate: Present, Past and Future.* 2. Methuen, London.

Morris, J., 1977: Forecasting the sunspat cycle *[. Royal Statist. Soc.* A. *140.* 437.

NAS, 1975: *Understanding climat change.* Appendix A, US National Academy of Sciencies. Washington D. C.

Péczely, Gy. és *Csomor, M.* 1973: Magyarország nyári csapadékának periodicitásai. *MTA X. Oszt. Közl. 6.* 1–4. 31–36.

Priestley, M. B., 1981: *Spectral Analysis and Time Series.* Academic Press.

Schuster, A., 1898: On the investigation of hidden periodicites with application to a supposed 26-day period of meteorological phenomena. *Terr. Mag. Atmos. Elect. 3,* 13.

Sneyers, R., 1976: Application of Least Squares to the Search for Periodicites. *Journal of Applied Meteorology 15.* 4. 387–393.

Waldmayer, M., 1961: *The sunspat activity in the years 1610–1960.* Technische Hochschule, Zürich.

Wiener, N., 1949: *The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series.* Technology Press of the Massachusetts Institute of Technology Cambridge. Mass.

Yule, G. U., 1927: On a method for investigating periodicites in disturbed series, with special references to Wolfer's sunspot number. *Phil. Trans. Roy. Soc.* London, *A226.* 267–298.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 1. szám. 1986. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No. 1. Jan – Feb. 1986 Budapest

A rövidhullámú sugárzási egyenleg Magyarországon

DÁVID ARANKA, *Központi Meteorológiai Intézet, H—1525 Budapest, Pf. 38* és TAKÁCS OLGA, *Központi Légkörfizikai Intézet, H—1675 Budapest, Pf. 39*

Short-wave radiation balance in Hungary. The areal and time distribution of the two components of the short-wave radiation balance, that is the albedo and the global radiation, are reviewed by the authors, following by a detailed analysis of the short-wave radiation balance computed from these components. The amount of radiation absorbed by different kind of surfaces are compared in each periods. The investigation is based on a 30-year (1951 – 1980) series of observations.

⁂

A rövidhullámú sugárzási egyenleg Magyarországon. Szerzők ismertetik a rövidhullámú sugárzási egyenleg két komponense, az albedó és a globálsugárzás területi és időbeli változását az ország területén, majd részletesen elemzik az ezekből számított rövidhullámú sugárzási egyenleget. Végül összehasonlítják a különböző felszínfajták által elnyelt sugárzásmennyiségeket az egyes időszakokban. A vizsgálat 30 év (1951 – 1980) megfigyelései alapján készült.

⁂

Az 1901 – 1950 évek adatait tartalmazó, ma is korszerű térkép- és adatgyűjtemény, Magyarország Éghajlati Atlasza, 1960-ban jelent meg. Az elmúlt harminc év alatt gyűjtött éghajlati adatok, valamint a korszerű sugárzás- és hőháztartás-mérések azonban olyan adatbázist hoztak létre, amely lehetővé tesz egy újabb összegező-elemző munkát, és ennek eredményeként egy új – 1951 – 1980-as adatokon alapuló – éghajlati atlasz összeállítását.

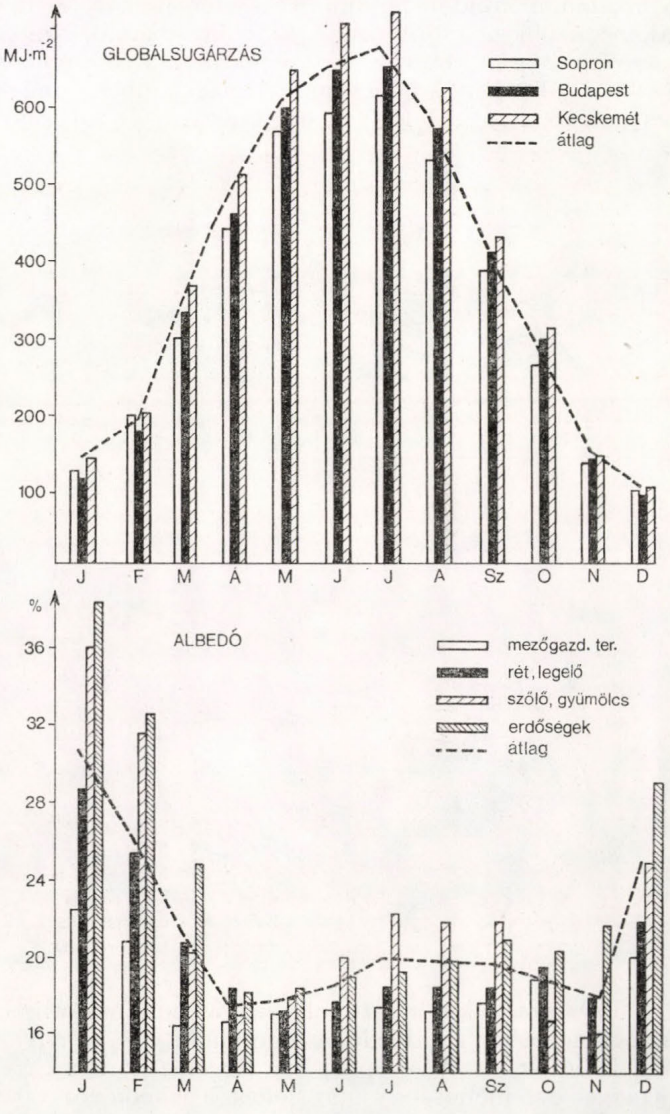
Éghajlatunk hő- és vízháztartásának alapvető jellemzője az aktív felszín sugárzásháztartása. A sugárzási komponensek területi és időbeli eloszlásának feltérképezése megkezdődött; először a globálsugárzás (*Major* és *Takács*, 1984; *Major* és *Takács*, 1985), majd az albedó (*Dávid*, 1984, 1985) felmérése és térképezése útján. Jelen dolgozat a rövidhullámú sugárzási egyenleg előállításának problémáit és területi változékonyságát ismerteti. A rövidhullámú sugárzási egyenleg, más néven elnyelt sugárzás a felszínre érkező rövidhullámú globálsugárzás és az onnan visszavert, ugyancsak rövidhullámú sugárzás különbsége. Nagysága tehát e két komponenst befolyásoló tényezők együttes hatásától függ.

Egy adott felszínre jutó globálsugárzást a napmagasság, a nappal-hosszúság, a tengerszint feletti magasság, a felhőzet mennyisége és a mérési hely fölötti légkör átlátszósága szabja meg.

Valamely felszín albedója — a visszavert és a beérkező sugárzás hányadosa — ugyancsak függ a napmagasságtól, de a globálsugárzással ellentétes irányban. Jelentősen befolyásolja még az albedó nagyságát a felszín fajtája, állapota, hóborítottsága és a növénytakaró fajtája.

A napmagasság-függés, valamint a felszín állapotának változása miatt mindkét komponensnek markáns az évi járása. *1. ábrán*kon egy-egy szaggatott görbe tünteti fel a globálsugárzás, ill. az albedó *országos* átlagának évi menetét.

Ugyanitt a globálsugárzás területi különbségeinek bemutatására három állomás havonkénti átlagait adtuk meg: a nyugati határszélre jellemző Sop-

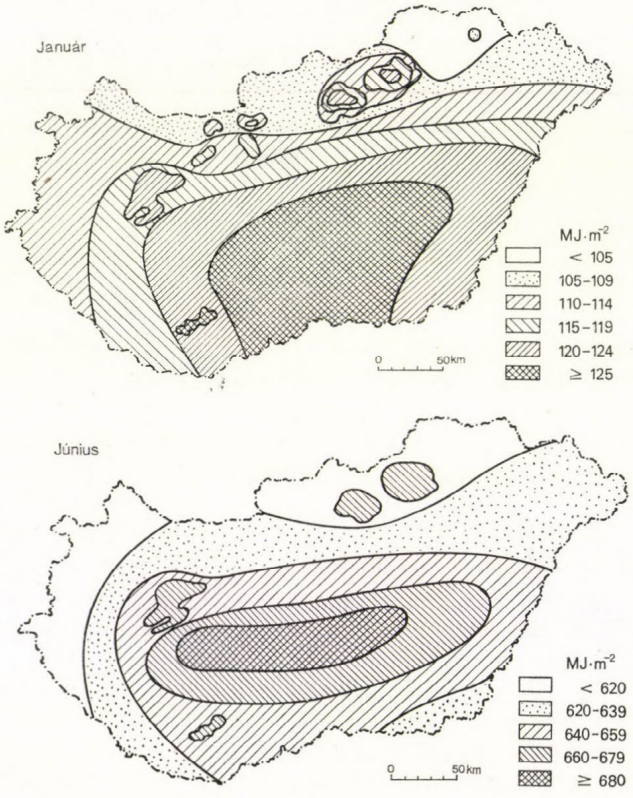


1. ábra: A globálsugárzás és az albedó átlagos évi menete

ronét, a központi fekvésű és nagyvárosi jellegű Budapestét és az Alföld középső részének sugárzásbőségét jellemző kecskeméti adatokat. Jól látható – különösen a nyári hónapokban – Kecskemét besugárzás-többlete a másik két állomáséhoz viszonyítva. Sopronban a kevesebb besugárzást az átlagosan nagyobb borultság okozza. Budapest adatai az év nagyobb részében középső helyet,

átlag körüli értéket foglalnak el, kivéve a téli hónapokban, amikor a nagyváros szennyezett levegője és az ebből eredő nagyobb ködgyakoriság miatt a globálsugárzás Sopronénál is kevesebbnek adódott.

Az albedó átlagos évi menetét bemutató görbe mellett az eltérő felszínfajták albedóinak havonkénti alakulását különböző oszlopokkal jellemeztük. A maximum minden felszínfajta esetén januárban figyelhető meg. Ez a hótakarós napok nagyobb számával magyarázható. Különösen magas ez az érték a kevésbé tagolt réteken és mezőgazdasági területeken, és valamivel alacsonyabb a jól tagolt erdőségeken. A magas albedó ebben a hónapban alacsony besugárzással együtt lép fel, ezért az elnyelt sugárzás igen alacsony.



2. ábra: Az átlagos globálsugárzás januárban és júniusban (1951–1980)

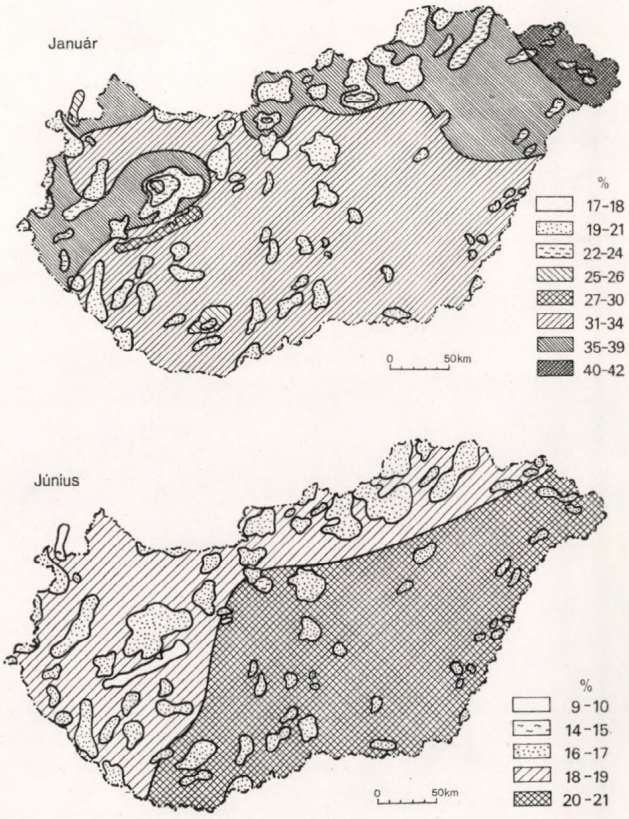
Tavasszal a különböző felszínek albedói már alig különböznek egymástól. Az évi menetben az albedó első minimuma – a nedves talajok és az alig lombosodó erdők miatt – áprilisban figyelhető meg. Erre az időszakra a globálsugárzás évi menetében már jelentős emelkedés tapasztalható, s mindezek hatására az elnyelt sugárzás összegei magasabbak lesznek.

A nyári hónapokban a mezőgazdasági növények érése és sárgulása az albedó növekedését vonja maga után a mezőgazdasági területeken, nyár vége felé nő a száradó, helyenként sárguló fűfelszín albedója is. Az erdőségek és a gyümölcsösök albedója lombosodástól őszig alig változik. Ezekre a hónapokra esik azonban a besugárzás évi maximuma, amely az elnyelt sugárzás legmagasabb értékeit eredményezi.

Ősszel, novemberben egy másodminimum mutatkozik az albedó évi menetében csaknem minden felszínfajtán, decemberben viszont a hótakarós napok számának emelkedése miatt ismét nő az albedó. Ezt a folyamatot a besugárzás erőteljes csökkenése kíséri, s mindezek hatására az elnyelt sugárzás is jelentősen csökken.

A tengerszint feletti magasság hatását a következőkben foglalhatjuk össze.

A globálsugárzás magasság szerinti változásában kétféle típust különböztethetünk meg (*Major* és *Takács*, 1979):



3. ábra: Az átlagos albedó januárban és júniusban (1951–1980)

– az egyik az ún. „nyári típus", amikor a globálsugárzás a magassággal mintegy 500–600 m-ig (a felhőalap átlagos magasságáig) nő, majd csökken,

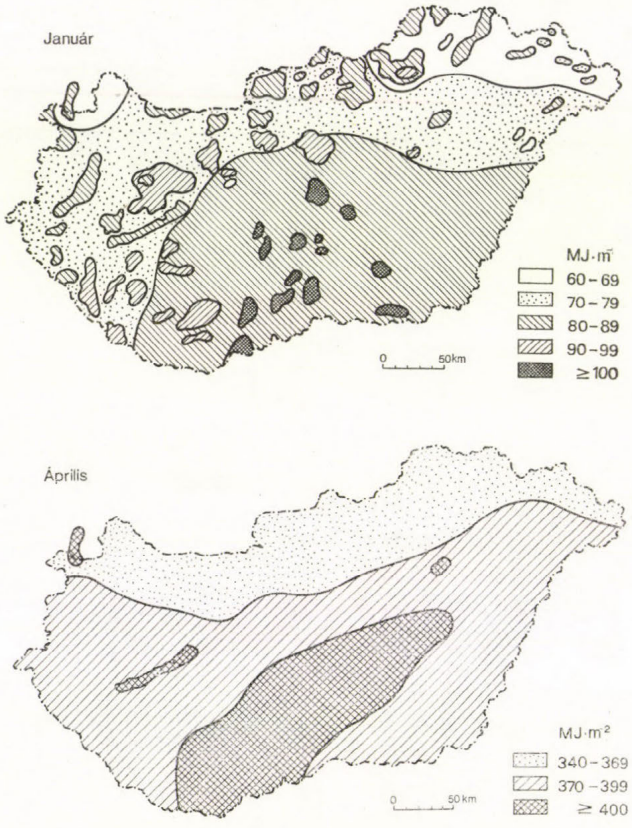
– a másik az ún. „téli típus", amikor a globálsugárzás a magassággal mindvégig nő. Ennek oka az, hogy télen az alacsony szintű felhőzet a gyakoribb, mennyisége pedig a magassággal általában csökken.

Az albedó változását a magassággal a nyári hónapokban semmi nem indokolja, mégis hegyvidékeink legtöbbször szigetként tűnnek ki az albedó területi eloszlását bemutató térképeken. Ennek az a magyarázata, hogy a hegyvidékek legnagyobb részét összefüggő erdőségek borítják, ezeknek az albedója kisebb, mint a környező mezőgazdasági területeké. Télen a hótakarós napok

számának növekedése a magassággal az albedó növekedését vonná maga után, ám éppen az összefüggő erdőségek télen is alacsonyabb albedója ezt a növekedést nem engedi érvényesülni.

Az elnyelt sugárzás fenti két összetevőjének területi és időbeli változását az alábbiakban foglaljuk össze.

A globálsugárzás havonkénti térképeit áttekintve kétféle eloszlás-típust különböztettünk meg. Az egyik a téli hónapokra jellemző, ezt reprezentálja januári térképünk *(2. ábra)*. Ekkor a globálsugárzás eloszlása a szélességi körökkel párhuzamos övezetességet mutat: a minimum az ország legészakibb



4/a–b ábra: Az elnyelt sugárzás átlagértéke (1951–1980) januárban és áprilisban

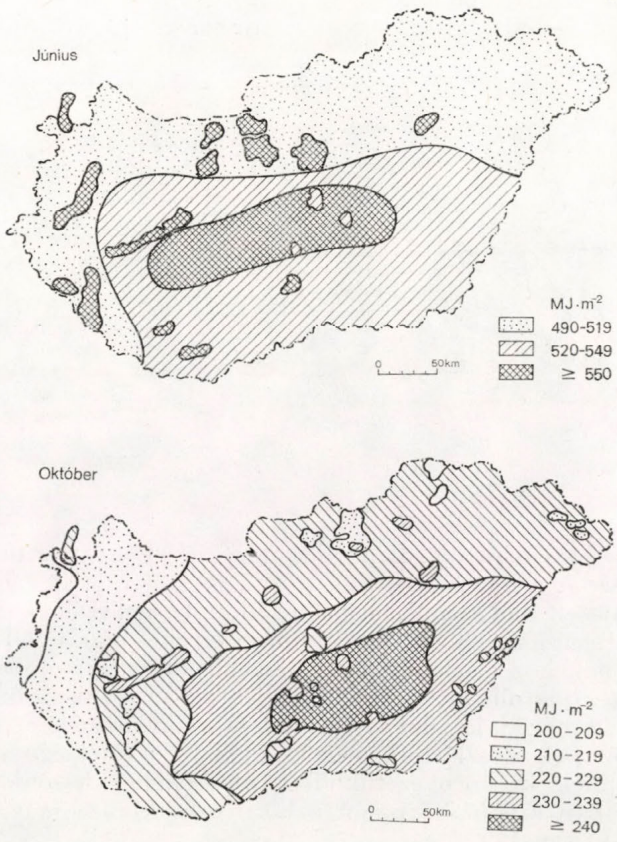
szegletében helyezkedik el, majd délfelé haladva a globálsugárzás fokozatosan nő, és maximumát az Alföld déli részén éri el. A másik, a nyári hónapokra jellemző eloszlás kora tavasztól őszig látható, amint ezt a júniusi térképünk szemlélteti. Ebben az esetben az izovonalak a Balaton medencéjét érintő, központi fekvésű maximum körül futnak, így a legalacsonyabb értékek nemcsak az északi országrészben, hanem az átlagosan felhősebb nyugati határszélen is jelentkeznek.

Az albedó területi eloszlását ugyancsak egy téli és egy nyári térképen mutatjuk be *(3. ábra)*.

A téli hónapokban, pl. januárban, a hótakarós napok számának átlagos

eloszlása döntő módon befolyásolja az albedó alakulását. Minthogy átlagosan legtöbb hótakarós nap az ország északi, északkeleti részén fordul elő, itt található az albedó maximuma, innen dél felé haladva fokozatosan csökken. Az erdőségek (a térképeken körülhatárolt kis területek) jól tagolt felszíne alacsonyabb albedójával kiválik a rétek és mezőgazdasági területek télen homogénebb felszínéből.

A hótakaró eltűnésével a csupasz talajok, majd a különféle növénytakarós felszínek változatossága hozza létre az albedó területi változékonyságát. Az erdőségek sötétebb lombkoronája általában kiválik a mezőgazdasági kör-



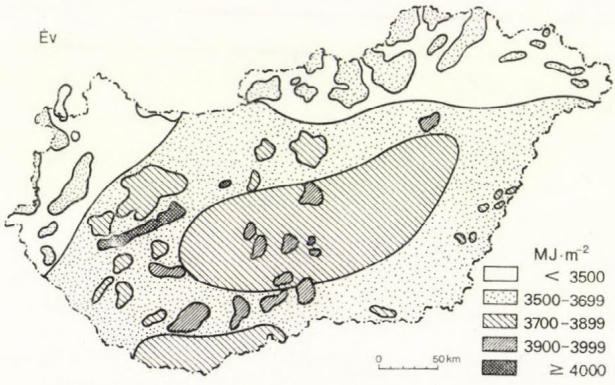
4/c–d ábra: Az elnyelt sugárzás átlagértéke (1951–1980) júniusban és októberben

nyezetből. A növényzet fejlődésében mutatkozó különbségek a nyár folyamán az albedó elég jelentős különbségeit eredményezi. Jól látható ez a 3. ábrán példaként bemutatott júniusi térképen: az Alföld délkeleti és középső részein, ahol előbb sárgul és érik a gabona, mint a hűvösebb, nedvesebb nyugati vagy északi területeken, az albedó magasabb, innen északnyugati irányba haladva csökken.

Az elmondottakból az következik, hogy egy adott földrajzi helyen számos tényező figyelembevételére van szükség az elnyelt sugárzás kiszámításához. Az elnyelt sugárzás havi és évi összegeit 44 éghajlatkutató állomás, 66 markánsan eltérő albedójú pont és 32 rácspont adatai alapján állítottuk elő.

A számítás eredményeként megkaptuk a rövidhullámú sugárzási egyenleg havonkénti értékeit az ország különböző tájaira, és környezetüktől markánsan eltérő felszínfajtákra (tavak, erdőségek stb.). A havonként megszerkesztett térképek közül itt csak néhányat mutatunk be.

Az aktív felszín által elnyelt sugárzás januári eloszlását a *4a. ábránk* mutatja be. Amint láttuk, ebben a hónapban a globálsugárzás minimuma is az ország északi, északkeleti területén helyezkedik el, vagyis ez egybeesik az albedó maximumával. Nyilvánvaló, hogy országos eloszlásban itt találhatók az elnyelt sugárzás legkisebb értékei. Innen délfelé haladva a növekvő besugárzás és a csökkenő albedó miatt a havi összegek a globálénál gyorsabb ütemben nőnek. Az erdőségek által elnyelt sugárzás — alacsonyabb albedójuk miatt — általában nagyobb, mint a környező területeké.



5. ábra: Az elnyelt sugárzás átlagos évi összege (1951–1980) Magyarországon

Áprilisra *(4b. ábra)* a besugárzás jelentős mértékben emelkedik, az albedó viszont a hótakaró eltűnése és a nedves talajok nagy gyakorisága miatt erőteljesen csökken. A megnövekedett besugárzás és csökkent sugárzásveszteség hatására az elnyelt energia havi értékei már jóval magasabbak az előző hónapokéhoz viszonyítva. Az országos eloszlás a globáléhoz hasonlóan még övezetes (az elnyelt sugárzás havi összegei északról dél felé haladva nőnek), de kezd már kialakulni a nyári időszakra jellemző központi maximum is. A tavaszi hónapok eloszlástérképeinek egyik jellegzetessége az, hogy az erdőségek nem tűnnek ki környezetükből a vetésekéhez hasonló albedójuk miatt. Annál jobban kiválnak viszont a környezetükből a már jégmentes, alacsony albedójú tavaink.

Júniusban *(4c. ábra)* az elnyelt sugárzás területi eloszlása sok hasonlóságot mutat a globálsugárzással. A maximum az ország középső részén helyezkedik el, de ez nem olyan kiemelkedően magas érték, mint a globál esetében, mivel itt viszonylag magasabb az albedó is. Ez utóbbi annak a következménye, hogy az ország középső, déli és délkeleti részén előbb sárgul, előbb érik a gabona, mint a hűvösebb, nedvesebb északi és nyugati területeken, és ez jóval nagyobb reflexiót eredményez. Az erdőségek sötétedő lombkoronájának alacsonyabb albedója miatt már néhol ismét kitűnnek környezetükből.

Októberre *(4d. ábra)* a besugárzás országszerte csökken és a mezőgazdasági növények betakarítása miatt csökken a mezőgazdasági területek albedója is. Minthogy a betakarításra délkeleten előbb kerül sor, ott az albedó-

csökkenés is előbb következik be, mint északon, vagy nyugaton. Ennek eredményeképpen az elnyelt sugárzás maximuma a besugárzás maximumához képest kissé keletebbre tolódik.

Az elnyelt sugárzás havonkénti eloszlástérképeit (*Dávid* és *Takács*, 1985) megvizsgálva azt tapasztaltuk, hogy decembertől februárig, azaz azokban a hónapokban, amikor a hótakaró gyakorisága nagyobb, az albedó és a besugárzás egyenlő mértékben vesz részt a rövidhullámú sugárzási egyenleg területi eloszlásának kialakításában. A nyári hónapokban az elnyelt sugárzás területi eloszlását mindenekelőtt a globálsugárzás eloszlása szabja meg, az albedókülönbségek elsősorban a markánsan eltérő felszínek egyenlegének különbözőségeit hozzák létre.

Előállítottuk az elnyelt sugárzás, vagyis a rövidhullámú sugárzási egyenleg átlagos évi eloszlását is az 1951–1980-as időszakra *(5. ábra)*. Az eredmények szerint 3500 MJ m^{-2}nél kevesebb energiát nyelnek el a nyugati és az északi országrészek mezőgazdasági területei, rétjei, legelői. 3500–3699 MJ m^{-2} közötti az elnyelt sugárzás a fenti területek erdőségein, valamint az ország központi részét övező mezőgazdasági területeken. 3700–3899 MJ m^{-2} közötti a sugárzáselnyelés a legmagasabb besugárzású központi részeken, az Alföld és a Dunántúl legdélibb szegélyén, és a Bakony erdőségeiben. 3900–3999 MJ m^{-2} közötti az elnyelt sugárzás a déli és a központi fekvésű erdőségekben, s végül 4000 MJ m^{-2} feletti sugárzáselnyelés már csak a magasabb besugárzást élvező, alacsonyabb albedójú tavainkon fordult elő.

Végezetül az erdőségek, rétek és mezőgazdasági területek által elnyelt sugárzást a leghomogénebb természeti felszín, a víz által elnyelt sugárzáshoz hasonlítottuk. Eredményeink szerint a szárazföldi felszínek közül a kevésbé tagolt rétek és mezőgazdasági területek (egész esztendőben magasabb albedójuk miatt) 2–16%-kal kevesebb sugárzást nyelnek el, mint a vízfelszín. Az erdőségek márciustól novemberig 2–11%-kal kevesebbet, ám a téli hónapokban 3–11%-kal több energia elnyelésére képesek, mint a tavak jéggel borított felszíne.

A rövidhullámú sugárzási egyenleg döntő módon meghatározza azt az energiamennyiséget, amellyel a felszín gazdálkodhat. Ennek az energiának azonban még bizonyos hányada veszendőbe megy hosszúhullámú kisugárzás útján. Következő lépés tehát a sugárzási egyenleg területi eloszlásának meghatározásához az effektív kisugárzás klimatológiai sorainak) előállítása lesz.

IRODALOM

Dávid, A. 1984: Az albedó alakulása Magyarországon az 1951–1980-as periódusra végzett számítások alapján. *OMSZ Beszámolók az 1984-ben végzett kutatásokról* (Kézirat).

Dávid, A. 1985: Néhány felszínfajta albedójának területi és időbeli változása Magyarországon. *Időjárás 89.* 25–31.

Dávid, A. és *Takács, O.* 1985: A rövidhullámú sugárzási egyenleg idősorai és területi eloszlása Magyarországon. *OMSZ Beszámolók az 1985-ben végzett kutatásokról* (Kézirat).

Major, Gy. és *Takács, O.* 1979: A napfénytartam és a globálsugárzás változása a magassággal Magyarországon mért adatok alapján. *Időjárás, 75,* 281–287.

Major, Gy. és *Takács, O.* 1984: Main characteristics of solar irradiation in Hungary. *Internat. Agrophys. 1*(1), 67–73.

Major, Gy. és *Takács, O.* 1985: A globálsugárzás területi és havonkénti változása Magyarországon. *Térképgyűjtemény a Nemzeti Atlaszhoz.* (Kézirat)

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 1. szám. 1986. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No. 1. Jan – Feb. 1986 Budapes

Magyarország diffúzióklimatológiai felmérése. 2. rész: A transzport-réteg szélviszonyai

FEKETE KATALIN—POPOVICS MÁRIA—IHÁSZ ISTVÁN, *Központi Légkörfizikai Intézet, H —1675 Budapest, Pf. 39*

Diffusion climatological surveying for Hungary. Part 2: Wind characteristics for the transport layer. A method was developed for the determination of input wind data both of the surface-based and upper transport layers for the simulation of regional-range transmission. This method based on routine meteorological data. The wind condition of the surface-based transport layer is characterised by wind fields of 26 types and joining average wind speed. Wind for the upper transport layer is given by one average wind direction and speed value for the whole country. A one-year data set was evaluated and wind parameters characterised by average and frequency values.

⁎

Magyarország diffúzióklimatológiai felmérése. 2. rész: A transzport réteg szélviszonyai A regionális léptékű légszennyeződési folyamatok szimulálásához, szerzők módszert dolgoztak ki a felszínközeli és a felső transzport réteg bemenő széladatainak rutin meteorológia. adatokból történő meghatározására. A légáramlást az ország felszínközeli transzport réte-i gében 26 típusba sorolt szélmezővel és az ezekhez tartozó átlagsebességgel jellemzik. A felső rétegben az áramlást a szél irányának és szél sebességének egyetlen országos átlag értékével adják meg. Egy évi adatsor segítségével a szélparaméterek átlagos és gyakorisági adatait bemutatják.

⁎

1. Bevezetés. Tanulmányunk tárgya a bemenő széladatok előállítása és értékelése regionális léptékű szennyezési folyamatokat leíró operatív számítási módszerek széles körű alkalmazásához. Ezeket az adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat hálózatában rendszeresen mért, rutin-meteorológiai adatokból határozzuk meg, külön a felszínközeli és külön a közvetlenül fölötte levő felső transzport-rétegre.

Transzport-rétegnek azt a földfelszín feletti légréteget nevezzük, amelyben a légszennyező anyagok elszállítódnak, szóródnak, átalakulnak, majd pedig kikerülnek a légkörből. Gyakorlati alkalmazás szempontjából a transzport-réteg két zónáját különböztetjük meg; a felszínközeli zónát, mely a kevert réteg vastagságával egyezik meg, illetve a felsőt, mely a kevert réteg felső szintjétől – regionális léptékű folyamatoknál – átlagosan 1500 m magasságig terjed. A kevert réteg vastagsága jellegzetes nap- és évszakos menetet mutat; sajátosságait korábbi tanulmányunkban (*Fekete* és *Popovics*, 1985) részleteztük.

2. Módszerek a szélirány és szélsebesség bemenő adatainak meghatározására

Az eredő szélvektort a légkör két rétegére, naponta több időpontra, manuálisan előállítani, meglehetősen munkaigényes feladat. Ezért a szélvektorok származtatására egyszerűbb, közelítő módszereket kerestünk. Az össze-

hasonlíthatóság érdekében az eredő szélvektor egy adatsorát, a téli és a nyári félév 30–30 kiválasztott esetére Budapest-Pestlőrinc adataiból manuális munkával elkészítettük, mind a felszínközeli, mind a felső transzport-rétegre. Ehhez az adatsorhoz mérve állapítottuk meg azután a különböző módszerekkel előállított adatok megfelelőségének mértékét.

A felszínközeli transzport-réteg szélparaméterei. A felszínközeli transzport-réteg szélirány és szélsebesség input (bemenő) adatainak meghatározását háromféle módszerrel végeztük el. A különféle eljárással nyert adatokat egybevetettük a Budapest-Pestlőrinc állomásra előállított eredő szélvektor megfelelő adatsorával. A módszerek megnevezését és az összehasonlítások eredményét az *I. táblázat*ban tüntettük fel, mind a felszínközeli, mind a felső transzport-rétegre vonatkozóan.

I. TÁBLÁZAT

A szélirány és szélsebesség bemenő adatainak meghatározására szolgáló módszerek és az eredő szélvektortól számított eltérések gyakorisága (%) a felszínközeli és a felső transzport-rétegben

Módszerek	Széliránveltérés		Szélsebesség-eltérés	
	≤ 15°	> 30°	≤ 3 m/s	> 6 m/s
	gyakoriság %			
A felszínközeli rétegre				
Középső réteg	80	8	98	0
Rétegekre osztott	60	23	88	2
Talajszél-adatok magassági korrekcióval	17	67	72	4
A felső rétegre				
Rétegekre osztott	38	50	60	18
Geosztrófikus szél	25	67	67	20

A felszínközeli rétegre alkalmazott *„középső réteg"* módszer lényege, hogy a vizsgált időpontban a kevert réteg vastagság középső szintjére határoztuk meg a szél irányának és sebességének értékét. A *„rétegekre osztott felszínközeli transzport-réteg"* módszer esetében mint az elnevezés is mutatja, a felszínközeli transzport-réteget több rétegre osztjuk, és ezek mindegyikére irány- és sebességadatot határozunk meg, végül ezeket átlagoljuk. A *„talajszéladatok magassági korrekcióval"* eljárás alkalmazásakor a felszínközeli szélsebességet *Béll*, 1954-ben megjelent munkájában közreadott magassági széladatok alapján a nyári félévben 2,5 m/s, a téli félévben 4,6 m/s értékkel növeltük. A felszínközeli szélirányokat pedig a légköri stabilitás és a szélsebesség összefüggése alapján kimutatott (*Kriston*, 1972) átlagos előfordulási szögértékekkel korrigáltuk. Az I. táblázatból azonnal kitűnik, hogy a három közül a középső réteg módszerrel nyert eredmények közelítik legjobban az eredő szélvektor adatsorát, az irányeltérés az esetek 80%-ában nem haladja meg a 15 fokot, a sebesség pedig az esetek 98%-ában kisebb, mint 3 m/s. A 30°-nál nagyobb irányeltérés már alig, a 6 m/s-nál nagyobb sebességeltérés pedig egyáltalán nem fordult elő. Számításainkat a felszínközeli rétegre tehát ezzel a módszerrel végeztük.

A felső transzport-réteg szélparaméterei. Meghatározásukra akkor kerül sor, ha a felszínközeli transzport-réteg vastagsága 1000 m-nél kisebb. Ekkor a felső transzport-réteg szélirány- és szélsebességadatait 1500 m magasságig állapít-

juk meg. Az eredő szélvektor helyettesítését két módszerrel kíséreltük meg *(I. táblázat)*. A *„rétegekre osztott felső réteg"* módszer alkalmazásakor ugyanúgy járunk el, mint a felszínközelinél, az egyes rétegekre meghatározott paraméterek átlagolása útján kapjuk a végeredményt. A másik a *„geosztrofikus szél"* módszer esetében a 850 h Pa-szintre határozzuk meg a szélparamétereket. Az I. táblázaton látható eredmények szerint a rétegekre osztott eljárással adódtak jobb eredmények, tehát a számításoknál azt célszerűbb alkalmazni.

Az elmondottakat összefoglalva regionális léptékű szennyezési folyamatok bemenő áramlási adatainak meghatározása tehát a következőképpen történik.

Budapest-Pestlőrincen végzett mérési adatokból, a valamely időpontban megállapított kevert réteg vastagságától függően, kiválasztjuk a bemenő széladatokat.

Magassági szélmérések napi két, ill. négy adatát (1, 7, 13, 19 óra) az ország nyolc mérőállomásáról vesszük figyelembe. Ezek az állomások a következők: Budapest, Debrecen, Győr, Miskolc, Pécs, Siófok, Szeged, Szombathely.

2.1 A felszínközeli transzport-réteg bemenő széladatai; szélmezőtípusok

Magyarországon eddig csak néhány városra történt meg a felszínközeli szélmező áramlási típusba sorolása. Így *Szepesi* et al. (1976, 1977) a vizuális analógiakeresés módszerével, Pécs térségére 6 állomás egy évi adatsora alapján 29 szélmezőtípust alakított ki. Hasonló eljárással Budapestre *Fekete* és *Szepesi* (1980), majd *Probáld* (1980) 9 állomás 1 évi adatsora alapján 36 típust határozott meg. A tipizálásnál a Budai-hegység áramlásmódosító hatását és a városi hősziget-cirkuláció jelenségét is figyelembe vették. Tatabánya, illetve Miskolc térségére a dinamikus, centroid elvű clusteranalízis alkalmazásával *Tutsek* (1983) számítógépes módszerrel 1-1 évi adatsor alapján 24, illetve 30 áramlási típust különített el.

Egész Magyarország területére magassági szélmérések adatai alapján szélmezőtípusokat eddig még nem határoztak meg.

Jelen vizsgálatunk során a felszínközeli transzport-réteg középső szintjére a vizuális analógiakeresés módszerével nyolc magyarországi magassági szélmérőállomás egy évi adatsora alapján 26 típust képeztünk, gyakorlatilag a következő módon: A korábban felsorolt nyolc magyarországi magassági

II. TÁBLÁZAT

A felszínközeli transzport-réteg középső szintjére meghatározott 26 szélmezőtípus jellemzői (g = görbült áramvonalakkal jellemezhető szélmezőtípus)

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
N	N–NW	N–NE	NE	NE–N	NE–E	E	SE	SE–E
3	g			g			g	

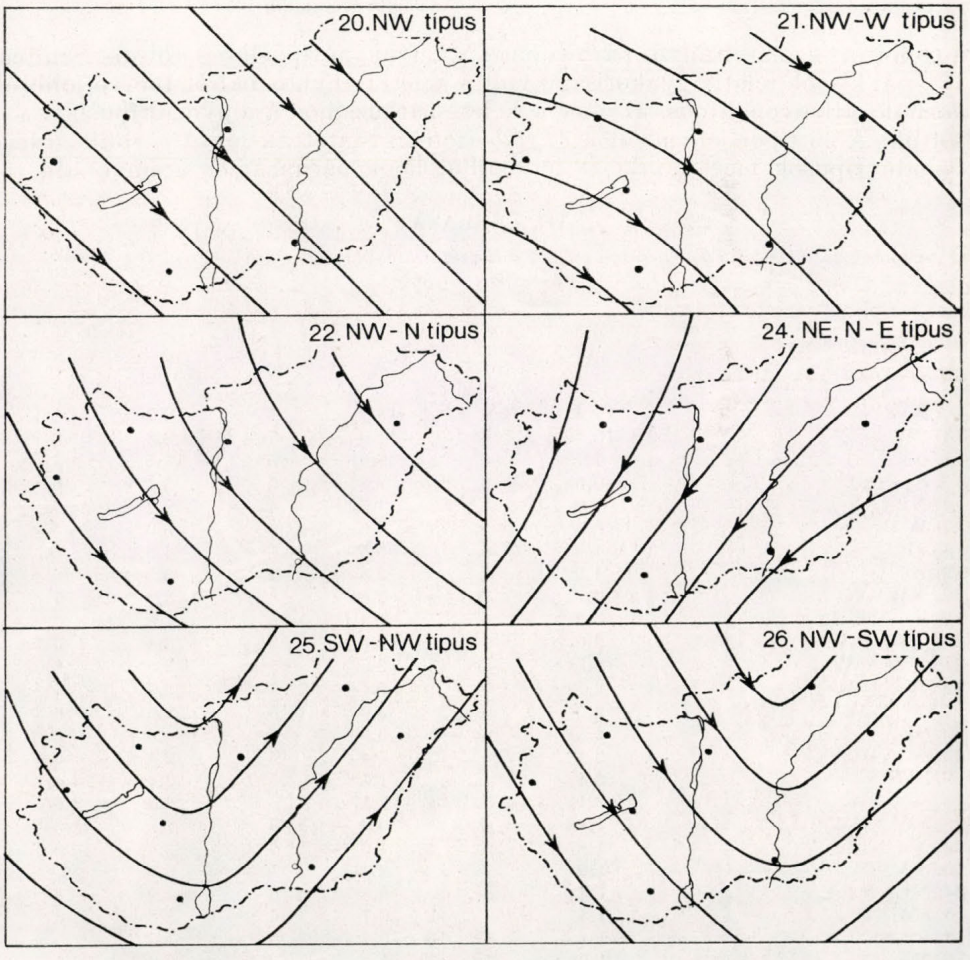
10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
SE–S	S	S–SE	S–SW	SW	SW–S	SW–W	W	W–SW
g		g			g			

19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.
W–NW	NW	NW–W	NW–N	N, NW–NE	NE, N–E	SW–NW	NW–SW
g		g		összeáramlási		nagy szélirány-különbség	

szélmérő-állomásnak a réteg középső szintjére jellemző eredő szélvektorát felvittük térképre. A szélvektorok alapján napi négy áramvonal-térképet készítettünk. Minden egyes térkép adataiból meghatároztuk az országra jellemző átlagsebességet. Ilyen módon végül az 1970. év adatai alapján, 1460 db áramvonal-térképünk volt.

Az áramvonal-térképekből első közelítésben 42 szélmezőtípust határoztunk meg, később a kis relatív gyakoriságú típusokat a hozzá leghasonlóbb típusokhoz soroltuk át, így alakult ki a végleges 26 típus. A 42 típust a következők szerint alakíthattuk ki: A 8 fő égtájirány mindegyikéhez egyenként három típusú áramvonal-térkép volt hozzárendelhető, egy a fő égtájiránnyal párhuzamos, egy főirányhoz jobbról, egy pedig balról görbülő áramvonalakat mutató térkép, ez tehát $8 \times 3 = 24$ db. További két típus a főirányok mentén össze-, ill. széttartó áramvonal-térképből $8 \times 2 = 16$ db.

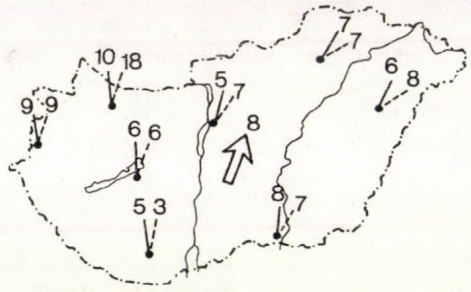
Végül két típust alkotott az a speciális áramvonal-konfiguráció, amelyet



1. ábra. Néhány jellegzetes szélmező típus a felszínközeli transzport-rétegben

az ország nyugati és keleti része közötti jelentős, 30°-nál nagyobb szélirány-különbség jellemzett.

Később az évi 1%-nál kisebb relatív gyakoriságú típusokat a hozzájuk legközelebb álló típusokhoz soroltuk. Így az össze- és széttartó áramvonaltípusok közül csak az északi és északkeleti összeáramlási típus maradt meg,



2. ábra. Példa a felső transzportréteg szélparamétereinek meghatározására. Az állomásokhoz húzott vonalak a szélirányt jelölik, a pontozottak a 250–450 m, a szaggatottak pedig a 850–1050 m vastag légrétegben; a vonalak felső végéhez írt számok az irányokhoz tartozó szélsebességet (m/s) jelentik. Az ország közepére rajzolt vastag nyíl és szám a széliránynak és a szélsebességnek a felső transzport-rétegre jellemző, nyolc állomásból meghatározott országos átlagértékét jelöli.

a többit az azonos irányú, párhuzamos áramvonalú típushoz soroltuk. Szintén 1%-nál kisebb relatív gyakoriságú volt a keleti irányhoz balról, illetve jobbról görbülő áramvonaltípus. Ezeket a keleti párhuzamos áramvonaltípushoz soroltuk. A 26 típus jellemzőit a *II. táblázat*ban tüntettük fel. A görbült áramvonalú típusok megállapítását indokolja, hogy párhuzamos áramvonalú tí-

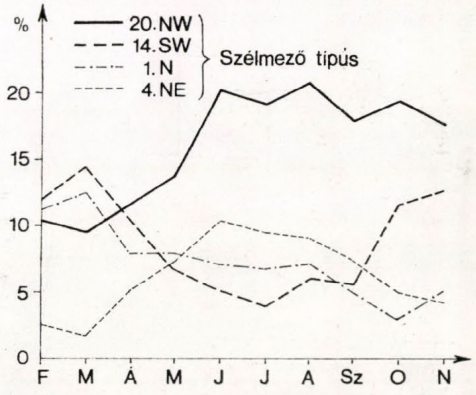
III. TÁBLÁZAT

A szélmezőtípusok relatív gyakorisága (%) *és a hozzátartozó átlagos szélsebesség* (m/s) *a felszínközeli transzport-rétegben*

Szélmezőtípus	Év		Tél		Nyár	
	%	m/s	%	m/s	%	m/s
20. NW	17,4	8	18,1	7	16,7	8
14. SW	10,1	6	11,9	7	8,3	6
1. N	7,7	6	8,0	5	7,5	7
11. S	6,6	6	8,3	6	5,1	6
4. NE	6,0	6	4,7	4	7,2	7
17. W	6,0	5	5,9	5	6,0	5
8. SE	4,9	6	5,5	6	4,3	6
7. E	4,2	5	2,8	4	3,5	6
22. NW–N	3,3	7	2,6	8	3,9	7
13. S–NW	3,2	6	4,4	6	1,9	5
26. NW–SW	2,9	6	2,5	7	3,4	5
21. NW–W	2,7	5	2,5	5	2,9	6
19. W–NW	2,7	7	2,6	7	2,7	7
2. N–NW	2,5	6	3,0	6	2,0	6
10. SE–S	2,5	6	3,3	6	1,6	6
23. N, NW–NE	2,4	6	2,4	6	2,4	6
9. SE–E	2,4	4	1,4	5	3,4	4
18. W–SW	2,1	5	2,1	5	2,2	6
25. SW–NW	1,8	5	0,8	5	2,9	5
3. N–NE	1,8	6	1,0	5	2,6	6
16. SW–W	1,6	7	2,4	7	0,8	7
24. NE, N–E	1,4	6	0,8	6	1,9	6
15. SW–S	1,4	6	0,7	6	2,2	6
12. S–SE	1,1	5	0,7	5	1,5	5
5. NE–N	1,0	5	1,3	5	0,6	5
6. NE–E	1,0	6	0,3	4	1,8	6

pus, a típusok összevonása után is, csak az esetek 67%-ában fordult elő, míg előtte csak 54%-ban. A 33% relatív gyakoriságú görbült áramvonalú típus közül 21%-ban ciklonális a görbület, 12%-ban anticiklonális.

Az *1. ábrán* példaként hat jellegzetes áramvonaltípust mutatunk be. A 20. NW típus a leggyakoribb, relatív gyakorisága évi 17,4%. A 21. NW—W



3. ábra. A négy leggyakoribb szélmezőtípus évi menetének simított gyakorisága a felszínközeli transzport-rétegben, %

és 22. NW—N a görbült áramvonalú típusokra jellemző. A 24. NE, N—E az északkeleti összeáramlási típus, míg a 25. SW—NW és 26. NW—SW az ország nyugati és keleti része közötti nagy szélirány-különbséget mutató szélmezők esetei. Ez utóbbi két típus között az a különbség, hogy 25.-nél az ország nagyobb részére SW, míg 26.-nál NW áramlás jellemző.

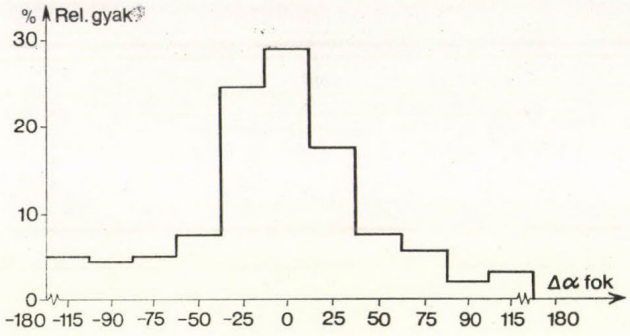
2.2 A felső transzport-réteg bemenő széladatai. Ha a felszínközeli transzport-réteg 1 km-nél sekélyebb, az ország nyolc pontjára a felső réteg szélparamétereit a rétegvastagságtól függően egy vagy két rétegre meghatározzuk és térképre visszük. A felrajzolt széladatokból egyetlen országos, közepes szélirány- és szélsebességértéket állapítunk meg, amint ezt példaként a *2. ábrán* bemutatjuk. Ezek szerint regionális léptékű szennyezési folyamatok vizsgálatához a felső transzport-réteg áramlása az egész ország területére egy közepes szélirány- és szélsebességértékkel jellemezhető.

3. A légáramlás sajátosságai egyévi adatok alapján

A 2. fejezetben leírt módszerekkel egy évre (1970) előállítottuk a felszínközeli és a felső transzport-rétegre a bemenő szélparamétereket, majd elemeztük sajátosságaikat.

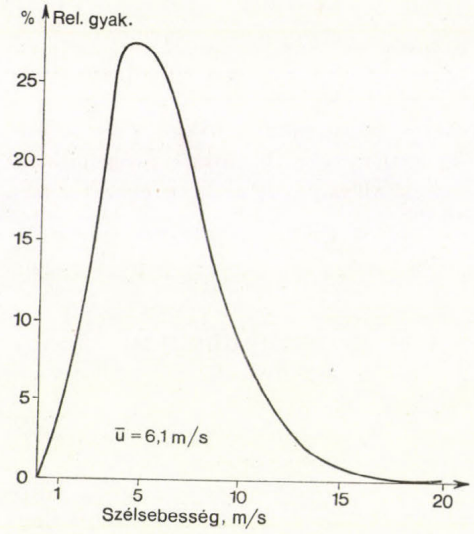
3.1 A felszínközeli transzport-réteg légáramlásának sajátosságai. A szélmezőtípusok téli és nyári félévi, valamint évi relatív gyakoriságait a *III. táblázat* tartalmazza. Itt az évi közepes szél súlyozott átlag. A típusokat az évi gyakoriság szerint csökkenő sorrendbe rendezve látható, hogy az első nyolc leggyakoribb típusba a nyolc fő égtájiránnyal jellemzett típusok tartoznak. A téli és nyári félévben is a NW és a SW típus a leggyakoribb, de a többi típus gyakoriságának sorrendje természetesen az évitől eltérő. A legnagyobb évi közepes szélsebesség az északnyugati áramlású 20. típusnál lép fel, 8 m/s értékkel. A legkisebb szélsebesség (4 m/s) ezzel közel ellentétes irányú 9. típushoz tartozik.

A négy leggyakoribb típus átkaroló közepeléssel számított havi gyakoriságait a *3. ábra* mutatja. Évi átlagban leggyakoribb 20. NW párhuzamos áramvonalú északnyugati típus, amely az év első hónapjainak kivételével minden hónapban szintén a leggyakoribb. Ezzel párhuzamos futású az északkeleti típus, míg a délnyugati típus inkább ellentétes lefutású.



4. ábra. A ténylegesen előfordult és a tipizált szélirány közötti különbség relatív gyakoriságaDebrecen, Győr és Szeged január, április, július és október hónapjának együttes adatából számítva.

A ténylegesen előfordult és a tipizált szélirány közötti eltérés ($\triangle\alpha$, fok) vizsgálata céljából kiválasztottuk 12 hónapból a január, április, július, október hónapokat. Az említett négy hónap átlagában a típus és sebességgyakoriság jól közelíti az évi értékeket, így az ezen adatokból levont következtetés általánosítható az egész évre. Győr, Debrecen és Szeged városokra együtt a tény-

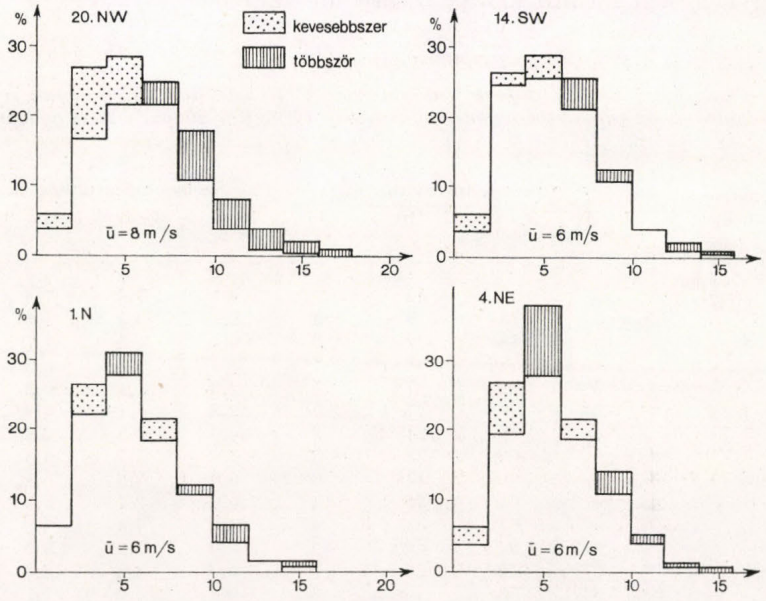


5. ábra. Az átlagos szélsebesség relatív gyakorisága a felszínközeli transzport-rétegben.

legesen előfordult és a tipizált szélirány közötti előjeles hiba $-4°$, az abszolút hiba értéke 31°. Az eltérés nagyság szerinti eloszlását a *4. ábrá*nk mutatja be. Az eltérés az esetek 67%-ában 35°-nál kisebb volt.

A nyolc magassági mérőállomás adataiból származtatott, egész országra

jellemző átlagos szélsebesség gyakorisági eloszlása az *5. ábrán* látható. A felszínközeli transzport-réteg középső szintjén a leggyakoribbak a 4, 5 m/s körüli átlagsebességű esetek, míg ezen a szinten az évi átlagsebesség értéke 6,1 m/s. A szélsebesség nagyság szerinti eloszlása típusonként jelentősen különbözik. A típusonként eltérő átlagsebesség értékek 4 – 8 m/s között változnak.



6. ábra. A NW, SW, N, NE iránnyal jellemzett négy leggyakoribb típusban az esetek sebesség szerinti relatív gyakorisága, %.

A legszelesebb a párhuzamos áramvonalú északnyugati, a ciklonális görbületű délnyugati és északnyugati, valamint az ország két része közötti jelentős szélirányfordulással jellemzett 26. számú típus. A legkevésbé szeles típus egész évben az anticiklonális görbületű délkeleti típus, a téli félévben ezenkívül még a párhuzamos áramvonalú keleti, északkeleti és az anticiklonális görbületű északkeleti.

A négy leggyakoribb típus gyakoriságának sebesség szerinti megoszlását a *6. ábrán* mutatjuk be. Az ábrán feltüntettük az adott típus eseteinek és az összes esetnek a sebesség szerinti eloszlásában mutatkozó különbséget is. A különbségek indokolják, hogy a transzmissziós modellszámításoknál az egész évre átlagosan jellemző sebességeloszlás helyett a típusra jellemző sebességeloszlást vegyük figyelembe.

A különböző szélerősségeknek az egyes típusokban, valamint az egyes típusoknak a különböző sebességintervallumokban kapott relatív gyakoriságát a *IV. táblázat*ban tüntettük föl. A táblázat 1. része mutatja, hogy a 15., 16., 19. és 20. típus kivételével, a többi 22 típusnál a 3 – 6 m/s-os intervallumba eső szélsebesség a leggyakoribb. E sebességkategória dominanciája a 12. típusnál a legfeltűnőbb, mivel itt mérsékelt szélsebesség 94% gyakorisággal fordul elő. A gyenge szelek (1 – 2 m/s) legnagyobb gyakorisága a 18. típusnál (19%), másodmaximuma a 17. típusnál (18%) volt. A 12., 13.

és 24. típusnál gyenge szél egyáltalán nem fordult elő. Mérsékelt szélerősség (3–6 m/s) leggyakrabban (94%) az előbb említett 12. típusnál tapasztalható, gyakorisága azonban tetemes (89%) a 9. típus esetében is. Az erős szél (7–10 m/s) maximális gyakorisága a 15. típusnál lép fel; igen ritka a 12. és 5. típus előfordulásakor. A legalább 11 m/s-ot elérő szélsebesség a W–NW típusnál maximális gyakoriságú (20%), öt típus esetén (6., 9., 12., 15. és 25. típus) egyszer sem fordult elő a vizsgált időszakban.

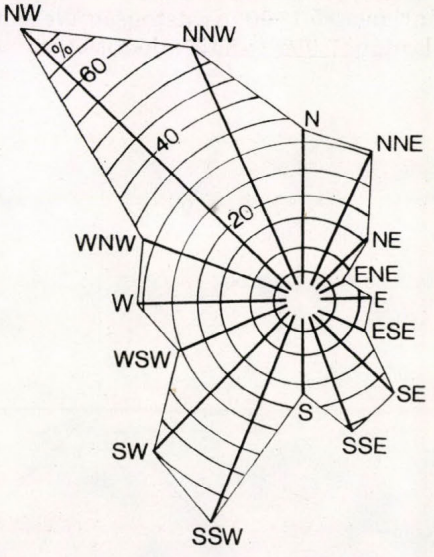
IV. TÁBLÁZAT

Az egyes sebességintervallumok előfordulása a különböző típusokban (I.), *valamint a különböző típusok előfordulása az egyes sebességintervallumokban* (II.). *Évi átlagos relatív gyakoriságok*, %

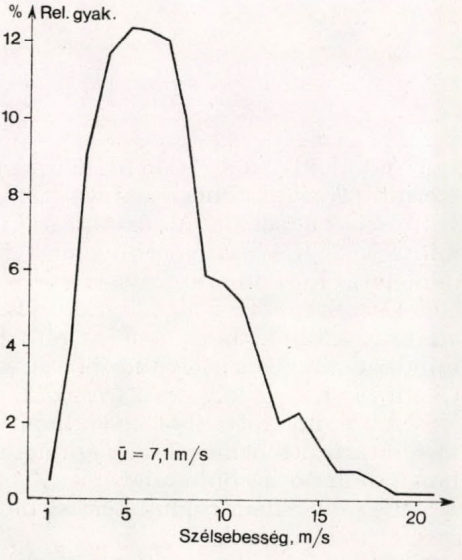
Szélmező-típusok	I. Szélsebesség-intervall., m/s				II. Szélsebesség-intervall., m/s			
	1–2	3–6	7–10	>11	1–2	3–6	7–10	>11
	%				%			
1. N	6	56	32	6	8,1	7,8	7,5	7,2
2. N–NW	5	73	19	3	2,3	3,3	1,5	1,0
3. N–NE	12	48	32	8	3,4	1,5	1,7	2,1
4. NE	4	58	34	4	4,6	6,5	6,2	4,1
5. NE–N	13	73	7	7	2,3	1,4	0,2	1,0
6. NE–E	13	60	27	0	2,3	1,1	0,8	0,0
7. E	4	66	24	2	4,6	4,3	2,8	1,0
8. SE	6	63	28	3	4,6	5,7	4,3	2,1
9. SE–E	0	89	11	0	0,0	3,8	0,8	0,0
10. SE–S	0	61	25	14	0,0	2,7	1,9	5,2
11. S	4	61	31	4	4,6	7,4	6,6	4,1
12. S–SE	0	94	6	0	0,0	1,9	0,2	0,0
13. S–SW	0	72	26	2	0,0	4,2	2,6	4,7
14. SW	5	53	36	6	9,3	9,6	11,1	9,3
15. SW–S	14	29	57	0	3,4	0,7	2,6	0,0
16. SW–W	4	42	50	4	1,1	1,2	2,6	1,0
17. W	18	51	27	4	17,2	5,3	4,7	3,1
18. W–SW	19	52	23	6	6,9	2,0	1,5	2,1
19. W–NW	5	36	39	20	2,3	2,0	3,6	9,2
20. NW	3	40	44	13	9,3	12,3	23,1	33,0
21. NW–W	13	60	24	3	5,7	2,9	1,9	1,1
22. NW–N	4	53	31	12	2,3	3,2	3,2	6,2
23. N, NW–NE	6	44	44	6	2,3	1,9	3,2	2,1
24. NE, N–E	0	75	20	5	0,0	1,9	0,9	1,0
25. SW–NW	4	70	26	0	1,1	2,4	1,5	0,0
26. NW–SW	5	55	33	7	2,3	3,0	3,0	3,1
Összes eset száma:					84	808	471	97

A IV. táblázat 2. részéből kitűnik, hogy a gyenge szélsebesség kategóriában (1–2 m/s) kiemelkedően gyakran számíthatunk a W típus előfordulására (17,2%). 8–9% gyakoriságú ebben a szélsebesség-intervallumban a N., a SW. és a NW. típusok megjelenése. Mérsékelt szélsebesség (3–6 m/s) esetén a 20. típus dominál (12,3%). Számottevő itt még az 1., 11. és 14. típusok előfordulása. Ha a szél erős (7–10 m/s), a 20. típus kialakulása várható leggyakrabban (23,1%). Másodgyakoriságú (11,1%) a 14. típus fellépte. A 11 m/s-ot elérő szélsebesség-kategóriában a NW-áramlással jellemzett 20. típus észlelhető az esetek egyharmadában. Az erős szelek esetén másodgyakoriságú 9% körüli előfordulással a 14. és a 19. típus. A többi típus előfordulása csekély mértékű.

3.2 A felső transzport-réteg áramlási viszonyainak sajátosságai. A szélirányok évi átlagos gyakoriságát a *7. ábrán* tüntettük fel. Megfigyelhető, hogy évi átlagban az északnyugati szélirány a leggyakoribb (15,2%), legritkábban a kelet–északkeleti irány fordult elő (1,9%). Jelentős gyakoriságú



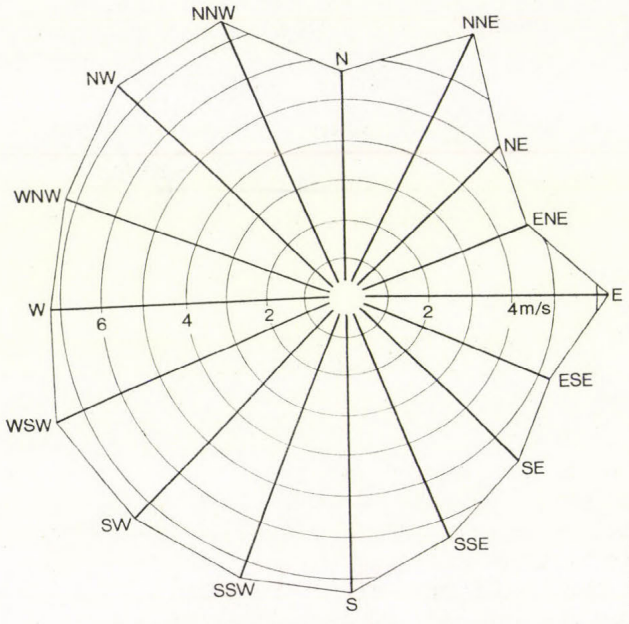
7. ábra. A 16 szélirány évi átlagos relatív gyakorisága az országban, a felső transzport-rétegben



8. ábra. Az átlagos szélsebesség relatív gyakorisága a felső transzport-rétegben

még az észak-északnyugati és a dél-délnyugati szél is. Ez az eloszlás összhangban van *Béll* (1978) megállapításával, amely szerint az általunk is vizsgált rétegben a nyugati alapáramlás viszonylag ritkán fordul elő, az uralkodó szélirányok a délnyugati és északnyugati kvadránsokban csoportosulnak, a ciklonális tevékenység és a domborzat módosító hatása következtében.

A felső transzport-rétegben a szélsebesség gyakorisági eloszlását a *8. ábra* mutatja. Látható, hogy maximális gyakoriságú (12,4%) az 5 m/s-os szélsebesség. A vizsgált időszakban a legerősebb szél 21 m/s-ot ért el. Az átlagos szélsebesség 7,1 m/s volt. Összehasonlításként itt ismét *Béll* (1954) hosszú sorozatú adatsorokon alapuló vizsgálatára utalunk, amelynek eredménye szerint az alsó 1500 m vastagságú légréteg átlagos szélsebessége, 5 állomás adatai alapján 7,9 m/s-nak adódott.



9. ábra. Különböző szélirányokhoz tartozó évi átlagos szélsebesség, m/s az országban, a felső transzport-rétegben

A különböző szélirányokhoz tartozó sebességeloszlás országos évi átlaga szerint *(9. ábra)* ebben a felső rétegben a szélsebesség széliránnyal történő változása mérsékelt. Az észak-északnyugattól déli irányig terjedő szektorban mintegy 2 m/s-mal erősebb szelek fordulnak elő, mint az északkelettől dél-délkeletig húzódó szektorban.

Összehasonlítva a felszínközeli és a felső transzport-réteg légáramlási adatait, kitűnik, hogy a felső rétegben a szél átlagosan 1 m/s-mal erősebb; mindkét rétegben leggyakoribb az északnyugati szélirány, minimuma a keleties irányú szeleknek van (*Szabó* Éva, 1984, kéziratban).

Az elmondottakból megállapítható, hogy a bemutatott módszerekkel meghatározott bemenő szélparaméterek adatai jól egyeznek a szakirodalomban található hasonló adatokkal.

Későbbiekben célunk a vizsgálatot négyévi adatsoron számítógépes módszerrel is elvégezni.

4. Összefoglaló következtetések

A bemutatott módszerekkel rutin meteorológiai adatokból meghatározható a regionális léptékű légszennyezési folyamatok modellezéséhez megfelelő bemenő adatbázis.

A rétegekre meghatározott légáramlási adatok jól egyeznek a szakirodalomban található, hosszú adatsorok alapján nyert hasonló adatokkal.

Az ország területén a felszínközeli transzport-réteg légáramlása szélmezőtípusokkal és a típusokhoz tartozó szélsebességadatokkal jellemezhető, a felső transzport-rétegé pedig egyetlen közepes szélirány- és szélsebességértékkel.

Későbbiekben célunk, hogy a vizsgálatot négyévi adatsoron, számítógépes módszerrel is elvégezzük.

IRODALOM

Béll, B., 1954: A troposzféra éghajlata Magyarország fölött. *Orsz. Met. Int. Kisebb Kiadványai*, 28.

Béll, B., 1978: A domborzat áramlásmódosító hatása a Kárpát-medencében, a magyar meteorológiai szakirodalom tükrében. *Meteorológiai Tanulmányok*, No. 27.

Fekete, K.—Popovics, M., 1985: Magyarország diffúzióklimatológiai felmérése. 1. rész: A kevert réteg, a légköri stabilitás és a csapadék előfordulás. *Időjárás*, 89, 132—140.

Fekete, K.—Szepesi, D., 1980: Városok levegőminőségének tervezése. Szakvélemény, készült az OKTH Levegőtisztaság-védelmi Intézet megbízásából.

Kriston, I., 1972: A szélirány változása a légkör alsó 300 méteres rétegében Budapesten. *Időjárás*, 76, 112—118.

Probáld, F., 1980: A felszínközeli áramlási mező típusai Budapesten. *Földrajzi Értesítő*, XXIX, 171—192.

Szepesi, D.—Fekete, K.—Popovics, M.—Mersich, I., 1976: Az emisszió és az immisszió összefüggésének experimentális vizsgálata Pécs térségében. Szakvélemény, készült az ÉVM Építésügyi Igazgatási Fő. megbízásából.

Szepesi, D.—Popovics, M.—Nárai, K.—Iványi, Zs.—Mersich, I., 1977: A városi légszennyeződés meteorológiai szimulálása. 2. rész: A transzmisszió szimulálásának diffúzióklimatológiai alapjai. *Időjárás*, 81, 129—146.

Tutsek, E., 1983: Szélmezőtípusok előállítása cluster-analízissel. *Időjárás*, 87, 38—51.

PÁLYÁZATI FELHÍVÁS!

Az osztrák Meteorológiai és Geodinamikai Intézet igazgatóhelyettese: *Dr. F. Neuwirth*, 1985 szeptemberében Budapesten magyar kollégákkal tárgyalt a magyar—osztrák kutatási együttműködésről. Ez alkalommal felajánlotta, hogy a Prof. *Gerhart Schinze*-ről elnevezett díjra magyar meteorológus kutatók is pályázhatnak, s egyben kérte, hogy lapunkban a pályázati feltételeket tegyük közzé.

SCHINZE-DÍJ, 1988: 1988-ban másodszor ítélik oda a *Gerhart Schinze* professzor által 1984-ben (Lions Club, Lungau, Ausztria) alapított díjat. G. Schinze röviddel halála előtt közölt kívánsága szerint a pályamunkák német nyelven nyújtandók be, és a szinoptikus időjárási térképek analízise során alkalmazott légtömegméretű munkamódszerek modern meteorológiai kutatásával foglalkozzanak. Tehát a pályamunkáknak — bár tematikájuk nincs szigorúan behatárolva —, elméleti vagy gyakorlati vonatkozásban kell állniuk a légtömegszinoptikával. Lényeges, hogy a szinoptikus analízisre kidolgozott munkamódszer amellett, hogy természetesen túlmegy a jelenleg használatos numerikus módszereken, az időjárás előrejelzéséhez feltétlenül szükséges, a meteorológus munkájának nélkülözhetetlen eszköze legyen és ezen a területen jelentős előrehaladást eredményezzen.

A Schinze-díj 50 000 osztrák schilling elnyerését jelenti, amely összeget az odaítélő bizottság saját megítélése szerint egy összegben, vagy két munka között egyenlő arányban megosztva adja ki. A fenti összeg egy (kisebb) része publikációs célra is felhasználható.

Az odaítélő bizottság tagjai: Elnök: dr. Heinz *Reuter*, nyug. egy. tanár, a ZAMG nyug. igazgatója — Tagok: dr. Konrad *Cehak* egy. tanár, dr. Helmut *Pichler* egy. tanár, dr. Peter *Steinhauser* egy. tanár, a ZAMG igazgatója.

A pályaműveket legkésőbb 1987. december 31-ig kell az alábbi címre eljuttatni:

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik,
Hohe Warte 38, A—1190 WIEN

Már megjelent munkák különlenyomatai is benyújthatók.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 1. szám. 1986. január—február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No. 1. Jan—Feb. 1986 Budapest

A repülésre veszélyes szélnyírás jellemzése, hatása a le- és felszálló repülőgépekre

KATKÓ BERTALAN—SÁNDOR VALÉRIA—SZALMA JÁNOS—RUJÁK LÁSZLÓ, *Központi Előrejelző Intézet, H—1675 Budapest, Pf. 32*

Characteristics of low level wind shear and its effect on the aircraft in landing and take off. During the investigations of the flight accidents caused by weather during landing and take off the attention was turned to low level wind shear as early as the beginning of the 60's. A detailed analysis was made by T. Fujita in the USA, wich indicated the most serious chrashes took place due to wind shear associated with thunderstorms. Fujita's study become the basis of further research both in flight expert circles and in flight meteorology. The autors in this paper not only give a description of the nature of wind shear, but also try to give an explanation for the fact why the flight accidents connected with wind shear came into the limelight after the jet-engined aircraft had become dominant in air transport. The autors make an attempt to give a more precise definition of wind shear and summarise the possibilities of observing and measuring it. The abovementioned events pressed for the development of instruments for detecting the wind shear. The autors describe the observation, measuring and information system, wich has developed between the air traffic and flight meteorological services and the pilots at the recommendation of ICAO in 1983. Experience shows that the accidents related to wind shear are more and more avoidable with the increase of the pilots' meteorological knowledge, the practising of dangerous situations, the introduction of the wind shear measurements and a perfect functioning of the information system suggested by ICAO.

⁎

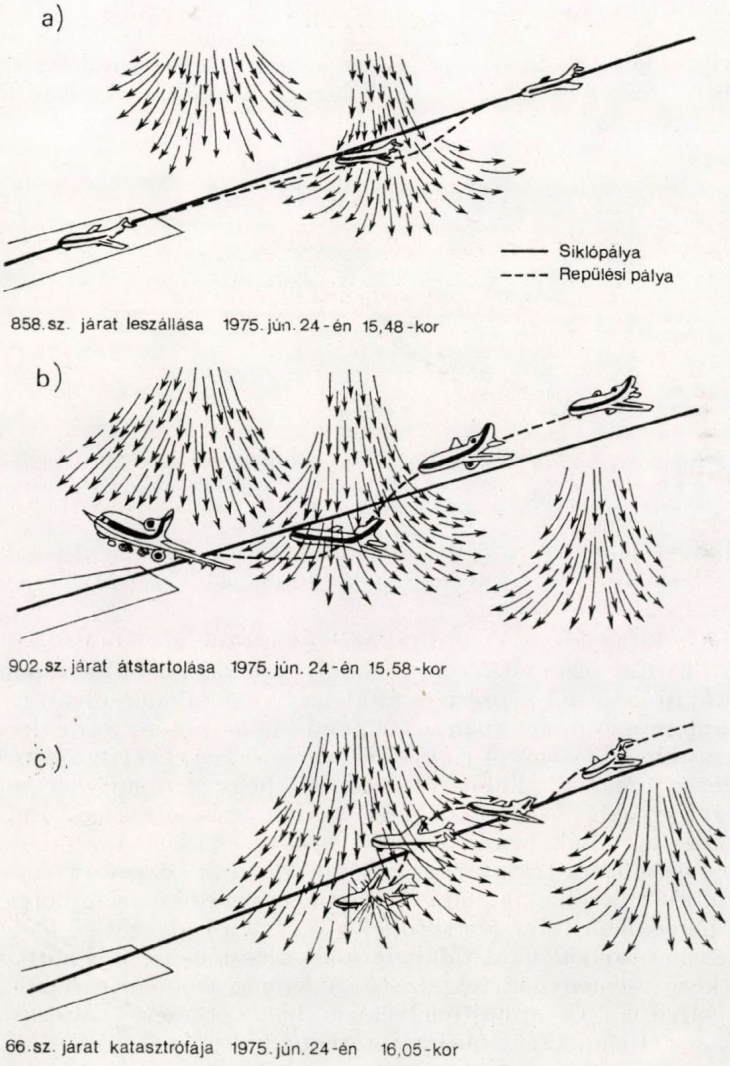
A repülésre veszélyes szélnyírás jellemzése, hatása a le- és felszálló repülőgépekre. Az 1960-as évek eleje óta az időjárási okok miatt a le- és felszállási szakaszban bekövetkező légi katasztrófák kivizsgálása során a figyelem egyre inkább az alacsony szintű szélnyírás felé fordult. Részletes elemzést végzett többek között *T. Fujita* az Egyesült Államokban, ahol a legsúlyosabb események a zivatarokkal fellépő szélnyírások miatt következtek be. Tanulmánya mind a repülési szakkörökben, mind a repülésmeteorológiában a további vizsgálatok alapjául szolgál. A szerzők a szélnyírást nemcsak leíró oldalról ismertetik, hanem magyarázatot is keresnek arra, hogy a szélnyírással kapcsolatos repülési események miért a sugárhajtású utasszállító gépek tömeges forgalomba állításával kerültek előtérbe. A szerzők kísérletet tesznek a szélnyírás fogalmának pontosítására, áttekintést nyújtanak a szélnyírás megfigyelésének és mérésének lehetőségeiről. Az események meggyorsították a szélnyírás detektálásával kapcsolatos műszerek fejlesztését. A szerzők ismertetik azt a mérő- és megfigyelő-, valamint információs rendszert, amely az ICAO ajánlására 1983 óta a légiforgalmi és repülésmeteorológiai szolgálatok, illetve a repülőgép személyzete között kialakult. A tapasztalat azt igazolja, hogy a repülőgépvezetők meteorológiai ismeretének fokozásával, a veszélyhelyzetek gyakorlásával, a szélnyírás mérések bevezetésével és az információs rendszer tökéletes működésével a szélnyírással kapcsolatos balesetek mindinkább elkerülhetők.

⁎

Bevezetés. A közforgalmú repülésben szerzett tapasztalatok alapján 1960-as években a WMO és az ICAO kezdeményezésére tervszerű kutatások kezdődtek a talajközeli szélnyírás természetének vizsgálatára. A vizsgálati eredményeket sok ország megküldte a Meteorológiai Világszervezetnek, amelyet az 1969-ben publikált (WMO Technical Note, 1969).

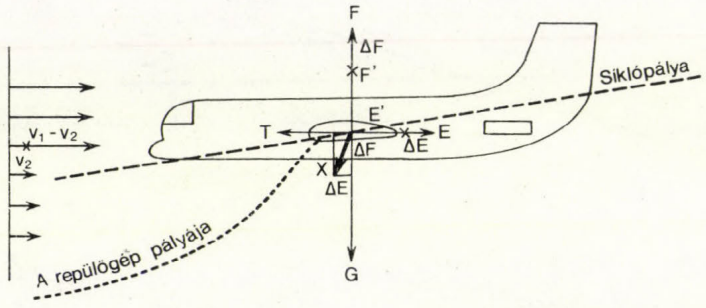
A repülést irányító szolgálatok közreadtak olyan tájékoztatásokat, amelyek szerint, feltehetőleg szélnyírás következtében, főként leszállás közben a repülőgépek erősen eltértek a siklópályától. Utólag értékelve az eseményeket, mondhatjuk, hogy ezek a publikációk komoly figyelmeztetések voltak, amelyekből messzemenő következtetéseket kellett volna levonni.

Az egyik legnagyobb repülési katasztrófa New-York Kennedy-repülőterén történt, 1975. június 24-én. Egy Boeing 727 típusú, menetrendszerű utas-



1. ábra: Zivatarral kapcsolatos szélnyírás hatása három repülőgépre 1975. június 24-én a New York-i Kennedy-repülőtéren: *a)* A 15.48-kor érkező gépnek az erős szélnyírás ellenére sikerült leszállnia; *b)* a 10 perccel később érkező járat pilótája csak gázadással és átstartolással tudta elkerülni a katasztrófát; *c)* a 16.05-kor érkező gép pontosan az erős leáramlás közepén haladt keresztül: a futópálya előtt a földnek ütközött (*Nat. Geogr.* 1977/2. nyomán)

szállító repülőgép a leszállópálya megközelítésekor ellenszélbe, majd egy heves zivatar leáramlási zónájába került *(1. ábra)*. A személyzet a hajtóművek teljesítményét felszálló fokozatra növelte, azonban ez sem volt elegendő a levegőben maradáshoz, így a repülőgép a futópálya küszöbe előtt 730 m-rel a földnek ütközött. A katasztrófát senki nem élte túl. Erről a katasztrófáról igen részletes jelentés készült, amely mind a mai napig a szélnyírással foglalkozó tanulmányok és hivatkozások alapjául szolgál. Érthető tehát, hogy a meteorológia és a repülés szakterületén világszerte megélénkültek a talajközeli rétegekben fellépő szélnyírásokkal kapcsolatos kutatások. A korábbi és az 1975. június 24-e utáni repülési események újbóli felülvizsgálata alapján kimutatható volt a szélnyírás befolyásoló szerepe. Ezért a talajközeli szélnyírást a közforgalmi repülésben veszélyes időjárási jelenségnek minősítették. Ebben a témában



2. ábra: A repülőgépre ható erők egyensúlyának megbomlása a szembeszél hirtelen csökkenése esetén; F = felhajtóerő, F' = csökkent felhajtóerő, E = ellenállás, E' = csökkent ellenállás, G = súly, T = tolóerő, X = eredő erő

mérföldkövet jelentett a WMO és az ICAO által 1979-ben, Genfben megtartott repülésmeteorológiai technikai konferencia (TECAM), amely kiemelten foglalkozott a szélnyírással.

A KGST tagországokban is előtérbe kerültek a szélnyírással kapcsolatos vizsgálatok. Ezt bizonyítják az irodalmi tájékoztatások, a repülőgépvezetők és az irányítók továbbképzése és általában véve minden olyan módszer bevezetése, amely az országokban a szélnyírás felderítésére irányult.

Hazánkban *Bodolai* (1983) és *Bodolai—Jakus* (1971) végzett úttörő tevékenységet e témában. Felmerül a kérdés, hogy a repülésben miért csak az utóbbi évtizedekben vált veszélyessé a szélnyírás jelensége? Ennek felvetése jogos kérdésnek tűnik, hiszen a repülés 80 éves, és a közforgalmú repülés is több mint 50 éves múltra tekint vissza. Egyik, de csak közvetett oka ennek az útvonalrepülések számának ugrásszerű megnövekedése. Nagyforgalmú repülőtereken percenként több gép száll fel és le, így a kedvezőtlen időjárási jelenségekkel és hatásokkal való találkozások valószínűsége megnőtt, sőt biztosan bekövetkező eseménynek tekinthető. A lényeg azonban a repülőgépek méreteiben, súlyában és a hajtóművekben bekövetkezett változásokra, illetve ezeknek aerodinamikai hatására vezethető vissza.

Annak érdekében, hogy a sugárhajtóműves utasszállító gépek szélnyírással szembeni érzékenységét szemléltessük, összehasonlítjuk a „kis"- és a „nagy" repülőgépek legfontosabb műszaki tulajdonságait. A kis gépek kategóriájában választásunk a „Góbé"-ra (kétüléses oktató vitorlázógép), a „Jantar 1"-re (műanyag építésű verseny vitorlázógép) és az igen széles körűen alkalmazott „AN—2"-re (kétfedeles motoros gépre) esett. Ha a kis gépeket összehasonlítjuk

a hazai légiforgalmi vállalat teher-, illetve utasszállító gépeivel, akkor több paraméterben is nagyságrendi különbségek adódnak *(I. táblázat)*. A szélnyírásérzékenység szempontjából egyik meghatározó tényezőnek tekinthető a leszállásban levő repülőgépek inerciája. Adalékul szolgálnak ehhez a táblázat alsó sorában feltüntetett számításaink: a TU 154-es gép átlagos kinetikus energiája leszálláskor három nagyságrenddel nagyobb, mint a vitorlázó repülőgépeké.

I. TÁBLÁZAT

Néhány vitorlázó- és utasszállító repülőgép legfontosabb műszaki adatai

Repülőgéptípus	Feszítáv	Súly, kg			Leszálló sebesség, km/h		Sikló szám	Megengedett terhelési többsz., g	Átl. kinetikus energia leszálláskor, J 10^4
		üres	Maximális						
			repülési	leszálló	min.	átlag			
Góbé	14	222	420	420	56	75	24	5,3 – 2,65	0,44
Jantár 1	19	295	515	417	65	80	47	–	0,46
AN – 2	18								
	14	3325	5500	5250	90	90	–	–	6,6
IL – 18	37	34 10^3	64 10^3	52 10^3	235	270	–	2,5	195
TU – 134 A	29	29 10^3	47 10^3	43 10^3	240	280	–	2,5	167
TU – 1542B	37	52 10^3	98 10^3	78 10^3	240	270	–	2,5	292

Az inerciális okok és a hajtóművek viszonylag lassú, kb. 10 s körüli teljesítményfelvételi időszükséglete miatt a repülőgépvezető nem készül fel tudatosan előre a szélnyírásra, akkor a kis magasságkülönbségen belül bekövetkező szélsebesség-változás szélső eseteit nem tudja kellően kivédeni.

Az utasszállító gépeknek a kis gépekkel ellentétben leszálláskor a siklópályát pontosan kell tartaniok. Ezt a követelményt az egységesített leszállítóberendezések szabják meg. A rádióhullámokat kibocsátó berendezések, ilyen pl. az ILS (Instrument Landing System – műszeres leszállító-rendszer), amelyek keskeny nyalábú irányított rádióhullámokat bocsátanak ki, a repülőgépet pontosan a repülőtér tengelyébe és a küszöbre hozzák be. A siklópálya átlagosan 3°-os szöget zár be a vízszintesnek vett talajjal.

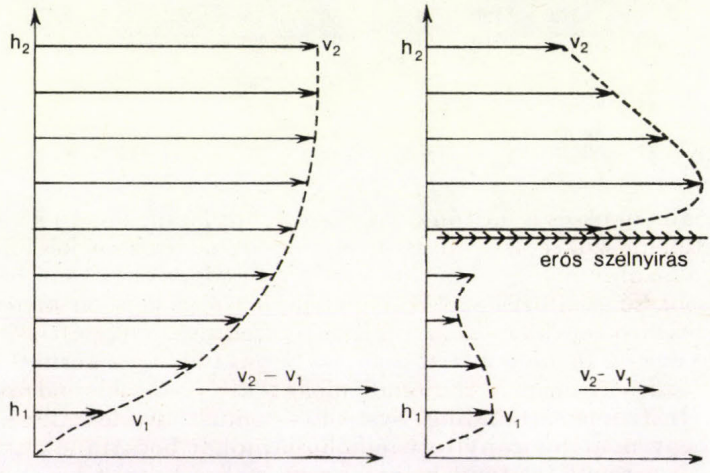
Leszálláskor a repülőgépre ható erők egyensúlyának megbomlását a *2. ábra* szemlélteti (feltételeztük, hogy a pilóta a hirtelen szélnyírási zóna tálépésekor sem a magassági kormányhoz, sem a gázkarhoz nem nyúlt, azaz a tolóerő változatlan maradt). Amikor a repülőgép eléri azt a szélnyírási szintet, ahol a szembeszél sebessége hirtelen csökken, a levegőhöz viszonyított sebesség is a $v_1 - v_2$ értékkel csökkenni fog *(2. ábra)*. Emiatt a felhajtóerőben is jelentős csökkenés áll elő. Az itt jelentkező veszteség a repülőgép gyorsulását idézi elő a megváltozott erők eredőjének az irányába. Mivel a repülőgép összsúlyában nem következett be változás, és mivel a felhajtóerő ekkor nem egyenlő a repülőgép bruttó súlyával, ezért a gép a siklópálya alá süllyed.

A megváltozott erők hatására bólintónyomaték lép fel (a repülőgép orrnehéz lesz) és addig gyorsul, amíg ismét el nem éri az egyensúlyi állapotot. Ha mindez a talajhoz közel történik, akkor nincs elegendő hely az aerodinamikai „önkorrekcióhoz", és a gép „rövidre" jön (a pálya előtt ér földet). Természetesen nem végzetes a szélnyírás jelenléte ebben a vonatkozásban sem, ha kellően tájékoztatták a repülőgépvezetőket. Vezetéstechnikailag úgy készül fel a személyzet, hogy növelik a leszállási sebességet és a hajtóművek

teljesítményét, miközben figyelniük kell a túlkorrigálás veszélyére, ami a „hosszúra" való bejövetelt eredményezheti.

A szélnyírás fogalma

A szélnyírás, mint meteorológiai jelenség, a levegő áramlásának természetes velejárója, amely a levegő különböző tartományainak eltérő mozgása miatt jön létre. A legelterjedtebb meghatározás szerint szélnyírásnak nevezzük a levegő sebességvektorának kis távolságon belüli jelentős térbeli változását. Ennek a meghatározásnak az alapján az áramló gáz halmazállapotú anyagban fellépő „nyírást" a mechanikában ismert nyíráshoz lehet hasonlítani. A fenti definíció alapján meghatározható a szélnyírás mértékegysége, mely SI-rendszerben (m/s)/m. Ennek további formális egyszerűsítése nem célszerű, mert akkor elveszíti a definíció nyújtotta szemléletességet.



3. ábra: A szélsebesség eloszlása a súrlódási rétegben

A szélnyírás veszélyességi mértékének megítélésekor figyelembe kell venni azt a hatást is, amelyet a szélnyírás okoz. Míg nagyobb magasságban a zivatarfelhőben vagy futóáramlásban fellépő szélnyírás elsősorban szilárdsági szempontból veszélyes, addig az alacsony szintű szélnyírásnál a siklópályától való nagymértékű eltérítő hatás okozhat veszélyhelyzetet. Az alacsony szintű szélnyírás veszélyességi küszöbértékének megítélésében körültekintően kell eljárni, mivel a hagyományos eszközökkel, rádiószondával vagy pilotléggömbbel végzett szélmérések a szélnyírásról kielégítően nem tájékoztatnak, sőt némely esetben félrevezetők lehetnek. Ilyen eset látható a *3. ábrán*, mely két olyan szélprofilt mutat be, amit a 100 m-es felbontású, hagyományos szélmérés tévesen érzékelt.

A szélprofilokon az egyszerűség kedvéért a magasság függvényében csak a szél sebessége változik, az iránya állandó marad. A *3a. ábrán* látható szélprofil a talajközeli súrlódási rétegben gyakran kialakuló szélsebesség-eloszlás képe, mely azokban a szeles időjárási helyzetekben fordul elő, amikor a talajközeli és a magasabb rétegek között határozott levegő kicserélődés történik.

Mint látható, a h_1 és h_2 magasságban mért v_1 és v_2 szélvektor közti különbség nagy, ugyanakkor az egymás melletti vektorok különbsége, vagyis a szélnyírás kicsi. A *3/b. ábra* egy zivatarfelhő kifutó szelének szélprofilját mutatja be, ahol a v_1 és v_2 szélvektor közötti különbség kisebb az előző esetnél, ugyanakkor az ≫-vel jelölt rétegben veszélyes mértékű szélnyírás található.

A szélnyírás típusai

A meteorológiai és a repülési szakirodalomban általában háromféle szélnyírást különböztetnek meg:

- függőleges szélnyírás: a szélvektornak a magassággal történő megváltozása,
- vízszintes szélnyírás: a szélvektornak vízszintes irányú megváltozása,
- le- és feláramlási szélnyírás: a szélvektor függőleges komponensében bekövetkező változás.

A szélnyírásnak a repülőgépre gyakorolt hatását tanulmányozva, a szélvektort célszerű a repülőgépre vonatkoztatott koordinátarendszer szerint komponensekre bontani, és ezen komponensek változását vizsgálni. Ily módon megkülönböztethető:

- szembeszélnyírás,
- hátszélnyírás,
- oldalszélnyírás,
- le- és feláramlási nyírás *(Fujita* and *Caracena 1977)*

A különböző típusú szélnyírások hatása. A szembeszél és hátszélnyírást a szélvektor repülés irányába mutató komponensének változása okozza. Hatására megváltozik a repülőgép levegőhöz viszonyított sebessége, s ezzel a felhatóerő, ami maga után vonja a repülési pályától való függőleges irányú eltérését fel-, illetve lefelé.

Az oldalszélnyírás a repülési irányra merőleges, oldalirányú vízszintes szélkomponens megváltozásának a következménye. Ennek hatására a replülőgép oldalirányban lesodródik a leszállópályáról. A szélvektor függőleges irányú komponensének megváltozása okozza a le- és feláramlási nyírást. Ez szintén a felhajtóerő megváltozásában és repülési pályától való függőleges irányú eltérésben nyilvánul meg. A legtöbb esetben a fenti szélnyírásfajták együttesen hatnak, és ez a repülőgépvezető számára még bonyolultabbá teszi a helyzetet.

Szélnyírást előidéző meteorológiai okok

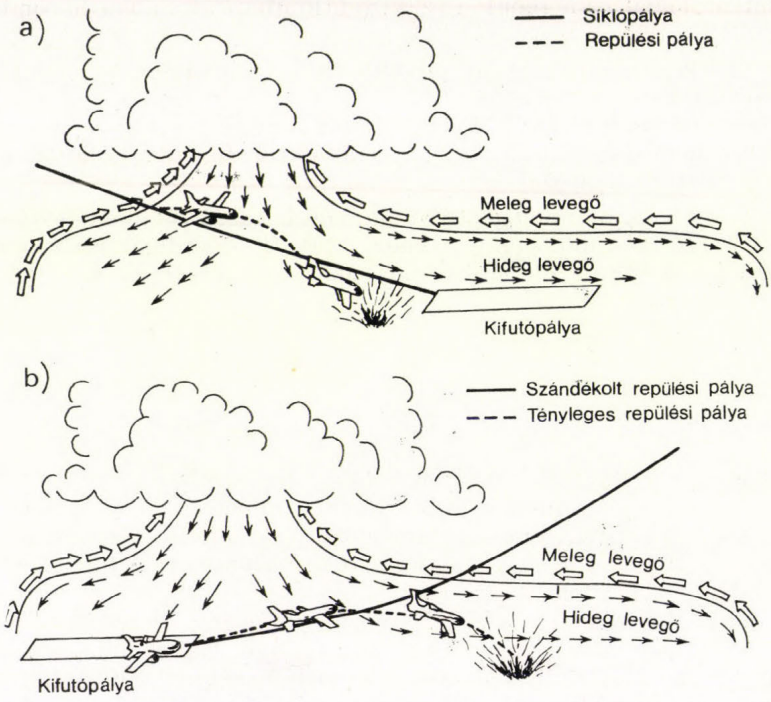
Az alacsony szintű szélnyírást több, egymástól eltérő meteorológiai folyamat hozhatja létre. Ilyenek lehetnek:

- alacsony szintű futóáramlás,
- erős szél hegyvidéken, vagy dombos terep felett,
- orografikus hullámok,
- tengeri és parti szél frontjai *(sea breeze)*
- hideg- és melegfrontok,
- zivatarok vagy erős, termikus feláramlások.

Bár mindegyik meteorológiai tényező által létrehozott szélnyírás komoly nehézséget okozhat a repülőgépvezetőnek, a tapasztalatok azt mutatják, hogy messzemenően a zivatarokkal kapcsolatos szélnyírás a legveszélyesebb. Bizo-

nyíték erre, hogy azok a repülőgép-katasztrófák, amelyeket minden kétséget kizáróan az alacsony szintű szélnyírás okozott, zivatarokkal együtt fordultak elő.

A troposzféra felső rétegeibe felnyúló zivatarfelhők feloszló stádiumát gyakran igen heves leáramlások jellemzik. A leáramlás sebessége meghaladhatja a repülőgép emelkedési képességét. Ha egy repülőgép 100 m alatt belerepül ilyen leáramlásba, nem sok az esélye a baleset elkerülésére. Mivel



4. ábra: A zivatarral kapcsolatos szélnyírás hatása a repülőgép le- (*a*), ill. felszállására (*b*)

ezeknek a heves leáramlásoknak a kiterjedése kicsi, legtöbbször nem érik el az 5 km-t, az élettartamuk pedig a néhányszor 10 percet. Még nagy forgalom esetén is véletlenszerű, hogy melyik repülőgép találkozik velük a le- és felszállás folyamán. A repülőesemények elemzésekor kitűnt, hogy zivataros időjárásban fel- és leszálláskor az egymást követő gépek nagyon eltérő meteorológiai viszonyok közé kerültek.

A *4/a,b ábra* egy zivataros időjárási helyzetben megkísérelt le- és felszállás katasztrofális következményeit mutatja be. Mindkét szerencsétlenség 1975 nyarán történt az USA-ban. (Az ábrák nem léptékhelyesek). A 4/a ábrán a leszálló repülőgép erős leáramlásba és záporba került, miközben a korábban említett összes szélnyírástípussal találkozott. A katasztrófát a hajtóművek felszálló teljesítménybe állítása sem tudta megakadályozni, a gép a küszöb előtt a földnek ütközött. A másik esetben (4/b ábra) egy felszálló gép került hasonló helyzetbe, a gép 30 méteren 5 másodperc alatt 290-ről 210 km/h-ra vesztette sebességét, a személyzet a további csökkenést nem tudta már meg-

akadályozni. Meg kell jegyezni, hogy mindkét esemény néhány perccel azután történt, hogy más gépek kedvező körülmények között fel-, illetve leszálltak, ami az ilyen szélnyírásos időjárási helyzet változékonyságát igazolja.

A szélnyírás jellemzői

a) Év- és napszakos gyakoriság. *b)* Hőmérsékleti rétegződéstől való függés. *c)* Nagyságrend. *d)* Kiterjedés, időtartam. A *WMO* 1969-ben megjelent kiadványában bővebben foglalkozott a légkör alsó szintjében fellépő szélnyírással. Ebben néhány WMO-tagország közölte a szélnyírással kapcsolatos kutatómunkájának eredményét. Mivel hazai meteorológiai tornyokon szélnyírásmérések ezideig nem történtek, ezért a kanadai mérőtornyokon végzett feldolgozások néhány eredményét ismertetjük, mivel ez a feldolgozás a legrészletesebb. A kanadai tanulmányban két meteorológiai mérőtornyon végzett szél- és hőmérsékletmérés alapján végzett számítások eredményeit közlik. Megvizsgálták a szélnyírás évszaktól, napszaktól, szélsebességtől, széliránytól, vertikális hőmérsékleteloszlástól való függését. A következőkben ezeknek a vizsgálatoknak néhány eredményét mutatjuk be. A vertikális szélnyírást két torony mérési adataiból származtatták, a montreali és a whiteshelli adataiból. A montreali tornyon 10 és 60 m-en (35 és 200 láb), a Whiteshellben levő tornyon 6 és 60 m-en (20 és 200 láb) mértek.

a) A szélnyírás év- és napszakos gyakorisága. Az 1962 júniusától 1963 májusáig tartó egy év mérési sorozatának elemzése során arra a következtetésre jutottak, hogy a vertikális szélnyírásnak télen van a maximuma, az átmeneti évszakokban közel azonos gyakoriságú, míg a minimum nyáron van *(II. táblázat)*. Az éjszakai és nappali gyakoriság között a különbség általában kicsi a nappal javára.

II. TÁBLÁZAT

A vertikális szélnyírás évszakos és napszakos eloszlása

Montreál, 1962. jún. – 1963. máj.				Whiteshell, 1963. szept. – 1965. máj.			
Évszak	Napszak		Összes	Időszak	Inverziós	Inverzió-mentes	Összes
	nappal	éjszaka					
tavasz	182	163	345	ápr. + okt.	352	517	869
nyár	96	41	137	nyár	365	724	1089
ősz	201	152	353	tél	260	889	1149
tél	265	195	460	összes	977	2130	3107

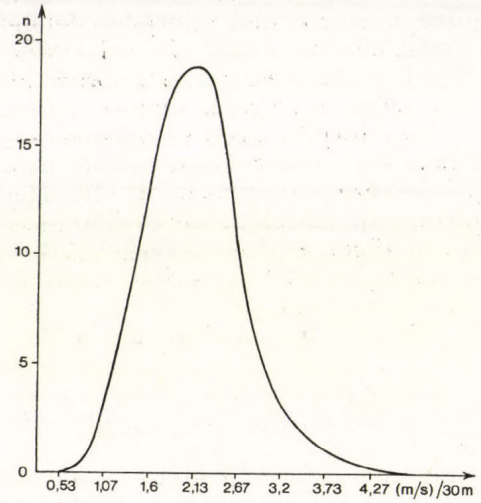
b) A szélnyírás függése a hőmérsékleti rétegződéstől. A szélnyírás előfordulását a légkör egyensúlyi állapotának tanulmányozásával is összekapcsolták, ugyanis erős vertikális szélnyírás esetén általában feltételezik a légkör stabilis egyensúlyi állapotát, mivel labilizálódás esetén a megélénkülő kicserélődés a szélnyírást csökkenti, illetve megszünteti.

A szélnyírás előfordulását különböző stabilitási viszonyok között, a whiteshelli torony hőmérséklet- és szélmérései alapján vizsgálták

$$T_{200\text{láb}} \geqslant T_{20\text{láb}} \quad \text{inverzió}$$
$$T_{200\text{láb}} < T_{20\text{láb}} \quad \text{inverziómentes.}$$

A kutatások szerint az inverziós, illetve inverziómentes időszakban fellépő szélnyírások közel egyforma gyakorisággal fordulnak elő, a szélnyírás gyako-

riságai tehát nem mutatnak lényeges eltérést az inverzió jelenléte miatt. Ez a megoszlás arra utal, hogy szélnyírás kialakulása és fennmaradása — a kicserélődési hipotézis ellenére — nincs közvetlen kapcsolatban az alsó légréteg egyensúlyi állapotával. A magyar szakirodalomban az alacsony szinti jetekben előforduló szélnyírások vizsgálatánál *Bodolai* és *Jakus* (1974) is hasonló eredményre jutott.



5. ábra: A 30 m-re eső vertikális szélnyírás értékeinek gyakorisági eloszlása (Montreal)

c) Nagyságrend. A szélnyírás mértékegysége (m/s)/m, amelyet a WMO ajánlása alapján 30 m-es légrétegre szoktak számolni. Nagyságrendileg a legnagyobb érték 1,5—3 (m/s)/30 m között van. A kanadai tornyokon előfordult maximális érték 6,8 (m/s)/30 m volt *(5. ábra)*.

Szovjet ajánlások a következő fokozatokat javasolják:

gyenge	0—2 (m/s)/30 m,
mérsékelt	2—4 (m/s)/30 m,
erős	4—6 (m/s)/30 m,
nagyon erős	>6 (m/s)/30 m.

Ezeket az értékeket a szélnyírás fel- és leszállásra gyakorolt hatásából kiindulva állapították meg. A repülésre veszélyes szélnyírást 5 (m/s)/30 m értékben jelölik meg.

d) Kiterjedés, időtartam. Mint láttuk, szélnyírást makro- és mikro-léptékű folyamatok is előidézhetnek, de általában mezo-léptékű jelenségekkel hozható összefüggésbe. Ide tartoznak az instabilitási és konvergencia-vonalak, a nagy magasságba felnyúló zivatarok stb. Ezek kiterjedése néhányszor 10 km, élettartamuk pedig néhány óra. Az esetek 80%-ban az 1—1,5 (m/s)/30 m-nél nem nagyobb szélnyírás 1-2 óra időtartamú, az erősebbeké ennél rövidebb. A hosszan tartó szélnyírást főként a hidegfrontok, tájfunok, monszunok okozzák. A szélnyírás tehát rövid időtartamú meteorológiai jelenség, ezért, ha a mérések ritkák, a jelenség két mérés között elvész. Így a szélnyírás létének felderítése a méréstechnika függvénye, felismerésének elengedhetetlen feltétele a folyamatos műszeres mérés, az alsó határréteg álladó szondázása.

A szélnyírás megfigyelése és mérése a repülés során

Az alacsony szintű szélnyírás mérése terén lényegében két különböző koncepció van. Az *egyik* szerint a mérőműszereket magán a „biztosítandó" repülőgépen szerelik fel, és az így nyert információ közvetlenül a repülőgép-vezető rendelkezésére áll. A *másik* eljárás esetén a mérés a földfelszínről történik, és a folyamatosan előállított szélnyírás adatoka ta repülésirányítás használja, illetve juttatja a fedélzetre a fel- és leszállítás során (*Petróczy*, 1983).

Fedélzeti mérőberendezések. A légi járművön elhelyezett mérőberendezések előnye, hogy az így felszerelt gép vezetője a földi kiszolgálástól függetlenül, megfelelő információk birtokába jut a szélnyírás hatásainak felismerésére. Az információszerzés tehát a repülés során folyamatos és gyors. Előnye ezeknek a műszereknek a viszonylag olcsó beszerzési ár és a könnyű felszerelhetőség. Jelentősen korlátozza a jelenleg kifejlesztett szélnyírásjelző berendezések használhatóságát az a körülmény, hogy ezek csak a már szélnyírásba került gépen jeleznek, és a szélnyírás elkerüléséhez szükséges előkészületekre nem adnak módot. Ezért a jelenleg létező műszerek működésmódja elvileg sem alkalmas olyan továbbfejlesztésre, amely lehetőséget nyújtana a repülőgép-vezetőnek a megelőző, veszélyt elkerülő manőverek végrehajtására.

A fedélzeti mérőrendszerek egyik csoportjához hagyományos érzékelőket, légnyomás-, sebesség-, magasságváltozás- vagy gyorsulás-adókat alkalmaznak. A kapott jeleket egy berendezés értékeli, és amennyiben az összetartozó adatok alapján szélnyírásra lehet következtetni, ezt a műszerfalon egy külön kijelző indikálja.

Az eddig elkészült fedélzeti műszerek közül az angol Smiths Industria LTD kétmutatós variométere látszik a legjobban használhatónak. Szerkezeti felépítése rendkívül egyszerű, nem jelent külön kijelzőegységet a műszerfalon, sőt a két mutató egymás fedésében mozog, és az alsó, feltűnőbb színű csak akkor tűnik elő, ha a gép szélnyírásba került. Egyúttal jelzi a szükséges manőverezés irányát és nagyságát is. Ez a műszer a földi berendezések mellett hasznos kiegészítésként is működhet.

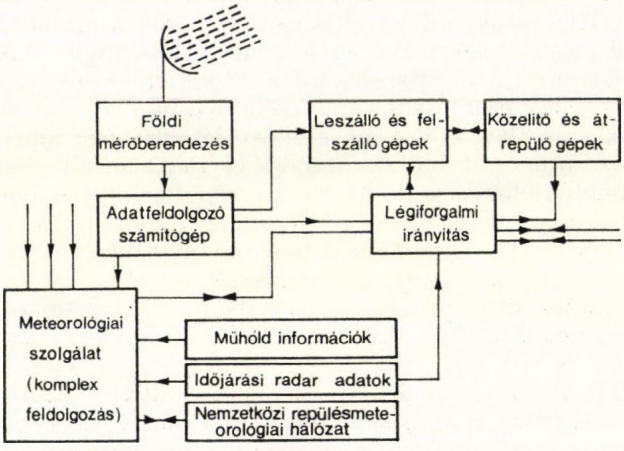
Földi mérőberendezések. A földi telepítésű berendezések, mérőrendszerek esetén elérhető a repülőtér fel- és leszállósávjának folyamatos megfigyelése. Ez az úgynevezett monitorizálás szükség esetén alkalmat ad a veszélyhelyzetet elkerülő eljárások megindítására. Az így működő rendszerek alapvetően két különböző kategóriába sorolhatók. Egyrészt a közvetlenül az áramló közegbe helyezett szenzorok segítségével működő műszerek, másrészt a radarelven alapuló berendezések.

A közvetlen érzékelős módszerek közül a legelterjedtebb a *rádiószondás, ballonos* szélmérési mód. Ez a meteorológiai gyakorlatban általánosan elterjedt megoldás nem teszi lehetővé azt a sűrű mintavételezést, amely a szélnyírás repülés által igényelt térbeli és időbeli pontosságának meghatározásához szükséges.

A szélnyírás földről történő mérésének hagyományos eszköze a *mérőtorony*. A meteorológiai mérőtornyok építése a 60-as években érte el a virágkorát. A meteorológia a turbulencia természetének megismerésében sokat köszönhetett a tornyokon végzett méréseknek. Ezek a berendezések már lehetővé teszik a szükséges felbontást és mérési pontosságot, azonban nagy méreteiknél fogva (30 – 300 m) a repülőtereken nem helyezhetők el, így ilyen célra csak néhány helyen telepítettek. A távolság miatt viszont az információ értékének csökkenésével kell számolni. Ezen kívül más nehézségek is adódnak. Csak nagyon jó

minőségű érzékelők bírják a tornyokon fellépő szélsőséges igénybevételt,általában nehézkes és költséges a karbantartás, és nem utolsósorban csak kevés helyen tudták megoldani a szélvektor háromdimenziós mérését. A torony saját hatása az áramló levegőre sem elhanyagolható, így az hamisítja a mérés eredményét.

Kísérletek történtek a szélnyírás meghatározására *közvetett úton* is oly módon, hogy a földfelszíni hagyományos repülőtéri szélmérőhálózatok kibővítésével (5 vagy több mérőpontra) és adatainak magas technikai színvonalú real-time-feldolgozásával következtetni lehet a magasabb légrétegekben létrejött szélnyírásra. Ezek, a ma már több műszergyártó cég (pl. ELECMA)



6. ábra: A szélnyírás földi mérésének és az információ továbbításának integrált rendszere

által kereskedelmi forgalomba hozott berendezések elsősorban a zivatarok kifutószelével, illetve a nagyméretű repülőgépek keltette úgynevezett „wake-turbulence"-szel párosult szélnyírás jelzésére alkalmasak.

A repülés biztonságát legjobban szolgáló szélnyírásmérő berendezések az utóbbi időben fejlődésnek indult *távérzékelés* alapján működő, általában a Doppler-radarelvet felhasználó eszközök. A mérőberendezések csoportjának számtalan előnye van a közvetlen sensoros rendszerekkel szemben. Leglényegesebb előnyük, hogy nem befolyásolják a mérendő közeg mozgásállapotát, nem jelentenek akadályt. Alapvetően három fajtáját különböztethetjük meg: a hanghullámokkal működő (pl. SODAR), a lézertechnika felhasználásával működő (pl. LIDAR) és a mikrohullámú elektromágneses sugárzás visszaverődésével működő Doppler-radarokat. Ezeknek a mérőeszközöknek és a megfelelő számítógépeknek (általában mikroprocesszoros rendszerek) összekapcsolása, a szélviszonyok térbeli szerkezetének real-time feltérképezése, a szélnyírás és a turbulencia pontos térbeli és intenzitás szerinti felismerése és nyomon követése a feladata.

Az ilyen rendszerek nyújtanak segítséget a repülőtéri meteorológiai szolgálat számára, a repülésbiztonságot veszélyeztető rossz látás és alacsony felhőalap létrejöttének és elmúlásának előrejelzésében is. Ezeknek a berendezéseknek a telepítése a repülés biztonságát növelő hatásán túl, várhatóan gazdasági eredményekkel is járna. A Doppler-radarelven működő eszközökkel elérhető 10 m-es térbeli felbontás, 10 s nagyságrendű átlagolás, gyors, perc körüli mintavétel, a háromdimenziós szélértékelés (vízszintes és függőleges kompo-

nensek), 1 km körüli letapogatott tartomány, valamint az ehhez kapcsolódó fejlett technikájú real-time adatfeldolgozás és adatátvitel elérik, illetve meghaladják a repülésbiztonság szempontjából várható maximális követelményeket is.

Az információáramlás vázlata. A szélnyírás földi mérésének és az információ továbbításának komplexen integrált rendszerét mutatja be a *6. ábra.* Egy ilyen rendszernél az akusztikus vagy lézer, illetve mikrohullámú Dopplerrendszer elsődleges információit számítógép értelmezi és a feldolgozás után továbbítja az irányítás, a meteorológiai szolgálat és a leszálló gép személyzete részére. A meteorológiai szolgálat a számos csatornán érkező egyéb meteorológiai információk (radar, műhold, földfelszíni és magaslégköri megfigyelések stb.) együttes elemzésével riasztást ad. A szélnyírás fejlődésének, mozgásának előrejelzésével megteremti az alapot az irányítás hatékony munkájához, a veszélyes szélnyírási területek elkerüléséhez. Nagy jelentősége van az időjárási radarmegfigyelések figyelembevételének is. A rendkívül veszélyes zivatarok kifutószél keltette szélnyírásos helyzeteiben, az eddigi légi katasztrófák elemzése során kitűnt, hogy egy speciális, ún. „ländzsahegy-echo" észlelhető az időjárási radar ernyőjén.

Összefoglalva az elmondottakat megállapítható, hogy a földfelszíni mérőberendezések jóval pontosabbá teszik a szélnyírás felismerését, emellett segítségükkel a repülőgép-vezető számára előrejelezhető, hogy hol és milyen intenzitású szélnyírással fog találkozni. Alkalmas továbbá a repülőtér körzetében mozgó összes repülőgép „védésére". A fedélzeti berendezésekhez képest ugyan nagyobb a telepítési kiadás, ám kisebb az egy gépre vonatkoztatott fajlagos költség. Lényeges körülmény, hogy a Doppler-elven működő műszernek adatai más veszélyes jelenségek elleni védekezésben is segítséget nyújtanak. A földi telepítésű berendezések folyamatos mérései és adatrögzítése-archiválása teszi lehetővé a szélnyírás természetének, élettartamának, előfordulási gyakoriságának pontosabb megismerését. Alkalmas továbbá az esetleg bekövetkezett repülőesemények időjárási okainak pontosabb felderítésére is.

A repülésmeteorológiai szolgálat feladatai

Mint láttuk, a szélnyírás veszélyének elhárítása, illetve csökkentése érdekében több irányban megindultak és még ma is folytatódnak a kutatások. Az éveken át folyó, s az ICAO és WMO által támogatott vizsgálatok és kísérletek eredményeképpen nyilvánvalóvá vált, hogy a szélnyírások, különösen a zivatarokkal kapcsolatos szélnyírások előrejelzése nem oldható meg a kívánt pontossággal. Ezek ugyanis mezo- és mikro-léptékű jelenségek és az, hogy éppen a megközelítési vagy a felszállási szakaszban fordulnak elő, véletlennek tekinthető.

Az is nyilvánvalóvá vált, hogy a kutatásokat elsősorban olyan mérőeszközök kifejlesztésére kell összpontosítani, amelyek képessé teszik a repülőgép-vezetőt a veszély elhárítására.

Nagyon fontos, hogy a repülőgép-vezető a szélnyírást idejében felismerje, s a szükséges korrekciókat el tudja végezni. Ehhez a fedélzeti berendezések nagy segítséget nyújtanak.

Az ICAO az összegyűjtött tapasztalatok alapján a repülés biztonsága érdekében a szélnyírás veszélyének csökkentésére különböző ajánlásokat dolgozott ki. Többek között felhívta a légitársaságok figyelmét arra, hogy milyen fontos a szélnyírás felismerésének gyakoroltatása. A személyzet a ma már

sok helyen alkalmazott szimulátorokon végezhet ma ilyen gyakorlatokat. Továbbá hagnsúlyozta a szélnyírásról szerzett információk fedélzetre juttatásának szükségességét. Ennek formáját az *ICAO Annex 3* (1983) módosításában szabályozta is. E szerint a meteorológiai szolgálat 1983 novembere óta figyelmeztetést ad ki, ha a megközelitési, illetve a felszálló szakaszban a repülést befolyásoló szélnyírás fordul elő, vagy várható a talaj és 500 m magasság közötti rétegben.

A meteorológus a szélnyírásra vonatkozó adatokhoz földi berendezésekkel történő megfigyelés révén, vagy a repülőgépek jelentéséből juthat. Az ICAO előírásai szerint ugyanis minden le- és felszálló repülőgép személyzete, amely szélnyírást észlel az alsó 500 m-es légrétegben, köteles ezt a légiforgalmi irányító szolgálatnak jelenteni. Az irányító szolgálat a jelentést továbbítja a meteorológiai szolgálatnak, amely ennek alapján angol nyelvű, rövidített nyílt szövegben figyelmeztetést ad ki, és ezt eljuttatja az irányítókhoz, azok pedig közlik a le- és felszállni készülő repülőgépek személyzetével (lásd a 6. ábrát). A figyelmeztetésben a jelentést adó repülőgép típusát is közölni kell. Ez fontos információ, mert — mint említettük — a szélnyírás hatása a géptípustól is függ. Ezenkívül a meteorológiai szolgálat, mint kiegészítő információt (szintén angol nyelvű nyílt szövegben) a METAR-jelentés végén is ad figyelmeztetést a szélnyírásról. Ha a repülőgépről származó jelentések szerint a szélnyírás megszűnt, egy meghatározott idő elteltével a figyelmeztetést törölni kell, és erről természetesen a repülő személyzetet is tájékoztatni kell.

A magyar meteorológiai szolgálat nyilvánvalóan eleget tesz a nemzetközi előírásoknak. Földi távérzékelő berendezésünk azonban egyelőre nincs, ezért repülőgépektől kapott információk alapján adunk ki figyelmeztetést a szélnyírásról. Ezeket a jelentéseket felhasználhatjuk még az alacsony szinti szélnyírást okozó időjárási helyzetek elemzéséhez, továbbá a repülőtér éghajlatának leírásához, valamint a repülő személyzet oktatásában is.

A szélnyírás előrejelzése a meteorológus számára igazi „nowcasting" probléma. Ahhoz azonban, hogy szélnyírást, akár csak rövid időre is, előrejelezzünk, tendenciát vagy fennmaradási prognózist adjunk, folyamatos műszeres megfigyelésre lenne szükség, amely azonban jelenleg szolgálatunknál még nincs megoldva.

IRODALOM

Bodolai, I., Jakus, E., 1971: *Mezoszinoptika*. Tankönyvkiadó, Budapest.

Bodolai, I., Jakus, E., 1974: Vertikális szélnyírás alacsony szinti jetekben. *Időjárás 78*, 5—15.

Bodolai, I., 1983: *A planetáris határréteg főbb sajátosságai*. OMSZ kisebb kiadvány, No. 52.

Fujita, T. and *Caracena, F.*, 1977: An analysis of three weatherrelated aircraft accidents. *Bulletin of the American Meteorological Society* 58.

ICAO ANNEX 3, 1983: Meteorological Service for International Air Navigation, 64. sz. módosítás.

Long, M. E., 1977: The air-safety challenge. *National Geographic* 152.

Petróczy, Gy. 1983: A szélnyírás észlelési módszereinek továbbfejlesztése a földi és a fedélzeti berendezések által nyerhető adatok figyelembevételével, javaslatok kidolgozása a repülésbiztonság javítására. KGST-tanulmány.

WMO, 1969: Vertical wind shear in the lower layers of the athmosphere. *WMO Technical Note*, No. 93. 1969. Geneva.

IRODALOM

BUDIKO, M. I.: **Evolucija bioszferi** *(A bioszféra evolúciója)* Gidrometizdat, Leningrád 1984. (Szerk. *Bjutner, E. K.*)

„A tudományban nincsenek korlátozott témák, csak korlátozott tudósok vannak". E tételt igazolja *Budiko* legújabb munkája, amelynek vezérfonala: a fizika megmaradási tételei az élő anyagra is érvényesek. Közelebbről a szerző arra vállalkozik, hogy főként az energia, valamint a víz és a szén megmaradási törvényeit alkalmazva megmagyarázza, s részben rekonstruálja a bioszféra múltját, megismertesse jelenét és előrevetítse az emberi tevékenység nyomán gyorsuló változást sejtető jövőt. E munka folytatása, kiteljesítése annak a sorozatnak, amelyben a szerző 1971-től kezdődően több könyvében szintetizálja a változó éghajlat elméleti és tapasztalati törvényszerűségeit. A 226 szovjet és 285 külföldi hivatkozást számláló irodalomjegyzékben 37 szovjet és 55 külföldi tanulmány (könyv) 1980 után jelent meg, vagyis a korábbi összegezés nemcsak új gondolatokkal, de szükségszerűen új ismeretekkel is gazdagodott.

A könyv tíz fejezetre oszlik, ebből az első öt a jelennel, három a földtörténeti múlttal, kettő pedig az ember megjelenésével és a bioszféra jövőjével foglalkozik. A bevezető jellegű első fejezetből kitűnik, hogy a szerző a bioszférán a troposzféra, a hidroszféra (beleértve ennek szilárd fázisát) és a litoszféra vékony felső rétege által határolt tartományt érti. (E közegeket a sztratoszférával kiegészítve az ún. éghajlati rendszerhez jutunk.) Mértéktartó, olvasmányos, információs, minimum a légkör, a hidroszféra és a litoszféra legfontosabb jellemzőiről. A második és a harmadik fejezet a napsugárzás és az évi középhőmérséklet eloszlásával, a felszín és a Föld-légkör rendszer energia-mérlegével, a víz körforgalmával, a sarkvidéki jégtakaró energia-mérlegével, az éghajlat és a természeti zónák kapcsolatával foglalkozik. A tárgyalás gerincét a szerzőnek és munkatársainak korábbi vizsgálatai képezik. A felszíni energia-mérleg összetevői a szerző újabb (1978) számításai nyomán kerültek bemutatásra. A negyedik és az ötödik fejezet a növény- és állatvilágot mutatja be, természetesen szintén a fizika megmaradási tételeinek szemléletén keresztül. A biológiában járatlan olvasó ugyanakkor érdekes és fontos ismeretekhez juthat.

A hatodik fejezet a bioszféra kialakulásával, valamint a litoszféra és a hidroszféra történetével foglalkozik. A légkör összetételének változásai, miként a paleoklímák egymásutánja is, a leghosszabb, hetedik fejezetben kapott helyet. E rész talán legérdekesebb eredménye az a számítás, amelyben az elmúlt 470 millió évre a szerző rekonstruálja a globális középhőmérséklet változásait a CO_2-koncentráció, csillagászati napállandó, valamint a rendszeralbedó független úton generált adatai alapján. Az eredmények a paleoklimatológiai rekonstrukció pontossági korlátain belül egyeznek a hőmérséklet közvetlenül becsült értékeivel. Ezen értékek a jelenkorihoz viszonyítva többszörös CO_2-koncentráció miatt a mainál 4—10 fokkal magasabbak voltak. *Budiko* szerint a CO_2-koncentráció változásai a glaciális-interglaciális váltakozásban is szerepet játszottak pozitív visszacsatolásként erősítve a pályaelem-változásokkal kapcsolatos elsődleges hatásokat. A nyolcadik fejezet az élő szervezetek evolúcióját tárgyalja. Külön pont foglalkozik a földtörténet kritikus ökológiai időszakaival, amelyeket a szerző szerint döntően az éghajlat változásai okoztak. Bevezeti továbbá a makroevolúció fogalmát, és 6 pontba foglalja annak törvényszerűségeit. A kilencedik fejezet az ún. nooszféra (az értelem szférája) és az ember kialakulását tárgyalja, majd az ősember, illetve az árutermelő ember által a bioszférára gyakorolt hatást elemzi, kivéve a légkör összetételének módosulását.

Ez utóbbi témáról szól a tizedik fejezet első két pontja, beleértve a jövő század közepéig szóló előrejelzéseket. S ez az a pont, ahol a szerteágazó ismeretek egy fejben való összeérése iránti csodálatba a rendteremtés erőszakoltságának feltételezése keveredik. Noha a globális hőmérsékletváltozások lehetséges okait és hozzávetőleges mértékét ismerjük, a jövőbe extrapolálás és a területi részletezés még hosszú, fáradságos munkát és valószínű meglepetéseket tartogat a kutató számára. Így például több szerző szerint a CO_2-koncentráció növekedése nem olyan gyors, mint azt akár két évvel ezelőtt feltételeztük, ugyanakkor a többi nyomgáz (CH_4, N_2O, freonok stb.) hatása várhatóan tovább erősíti az üvegház-hatást (erről a könyvben semmilyen mennyiségi becslés nem olvasható). A kontinensek csapadéka pedig már *Drozdov* szerint is nem monoton függvénye a globális hőmérsékletnek. Csak remélni tudjuk, hogy a többi fejezetben a szerző meg-

állapításait nem lengi körül hasonló bizonytalanság. (A könyvnek egy nem meteorológus akadémikus és egy biológiai doktor lektora van.) A tizedik fejezet a világegyetem értelmes lényeiről szóló oldalakkal, majd a bioszféra megőrzéséről szóló gondolatokkal zárul. Ezek lényege, hogy a biológiai élet fizikai és kémiai tartománya túlságosan szűk ahhoz, hogy a földi környezetet tudományos körültekintés nélkül megváltoztassuk.

A 2–4. fejezetekben a felszíni energia-mérleggel kapcsolatos megfontolások nyomán levezetés található a tengeri jég olvadási sebességéről, a párolgás, a csapadék és a sugárzási mérleg összefüggéséről, a fotoszintézis sebességéről, a növényzet és az ember energia-háztartásáról. A 7. fejezetben ugyanezzel a módszerrel becslés található a globális átlaghőmérséklet és az óceáni párolgás (földi csapadékösszeg) kapcsolatáról; a 8. fejezetben pedig a dinoszauruszok kihalásának okáról. Más planetáris léptékű megfontolásokkal előáll az évi középhőmérséklet övezetes eloszlásának stacionárius modellje, illetve a kontinensek advektív és helyi összetevőinek aránya (3. fejezet); s mód nyílik a vulkánosságnak az aeroszolok és a CO_2 földtörténeti léptékű változásaira gyakorolt hatásának szimulálására. Követhetjük az elfolyás, a talajnedvesség, a csapadék és a párologtatóképesség közötti közelítő kapcsolat felállításának gondolatmenetét, megismerkedhetünk a különböző populációk együttélését leíró differenciál-egyenletekkel és néhány speciális analitikus megoldással (5. és 9. fejezet). Becslési módszert találunk az éghajlati rendszer termikus relaxációs idejére (kb. 2,5 év). E rendkívül egyszerű levezetéseken keresztül már a meteorológiai és matematikai ismeretek alacsony (kezdeti) szintjén is el lehet sajátítani az éghajlat fizikai szemléletét. El(számító)gépiesedő gondolkodásunkat érdemes megmeríteni a racionális (igaz, nem minden körülmények között kielégítő) egyszerűsítő megfontolások budikoi világában.

Budiko könyve végül is nem monográfia; ahhoz túl széles területet ölel fel, és viszonylag kevés explicite ismertetett adatot tartalmaz. (A könyvben 75 ábra és 34 táblázat található, vagyis a szöveget átlag 4 oldalanként szakítja meg valamilyen koncentrált információ.) A cél bizonyára nem is ez, hanem egy nagyszabású szintézis megfogalmazása anélkül, hogy a következtetéseket a szerző minden oldalról bizonyítani akarná (tudná). Így ugyan nehéz megítélni az egyes megállapítások helyességét, sőt az egész vállalkozás (ti. a bioszféra evolúciójának magyarázata és előrejelzése a fizika megmaradási törvényei segítségével) sikerét, az azonban biztos, hogy a részletek figyelmes tanulmányozása nyomán a meteorológia sok területén (klímamodellezés, agrometeorológia, biometeorológia stb.) teremhetnek új gondolatok. A tájékozódást a részletekben négyoldalas tárgymutató is segíti.

Mika János

F. T. M. NIEUWSTADT and H. VAN DOP (szerk.): **Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling** *(Légköri turbulencia és lég szennyeződés modellezés)* D. Reidel Publishing Company Dordrecht/Boston/Lancester, 1984. XX+358 oldal. Atmo-s pheric Sciences Library sorozat.

A kötet alapját az 1981. szeptemberben Hágában tartott „Légköri turbulencia- és légszennyeződés-modellezés" c. tanfolyamon elhangzott előadások képezik. Jelen könyv, amely az OMSZ könyvtárában található, az előadásokról megjelent második, javított kiadás.

A légköri turbulenciával kapcsolatos vizsgálatok az utóbbi években jelentősen előrehaladtak. Az előrelépés elsősorban a határréteg-meteorológia terén volt tapasztalható. Ami elsősorban abban nyilvánult meg, hogy a felszíni rétegre vonatkozó vizsgálatokat egyre inkább a teljes határrétegre vonatkozó kutatások váltották fel. A fejlődés a megfigyelések, az elméleti vizsgálatok és a numerikus modellezés területén egyaránt jelentős volt.

A légszennyeződés modellezése terén ugyanakkor nem volt jellemző a hasonlóan gyors fejlődés. A turbulenciával kapcsolatos tudományos haladásból csak kismértékben profitált a légszennyeződés-modellezés, amely még mindig elsősorban a felszíni réteg megfigyelésein és elméletén nyugszik.

A jelen kötet a határréteg-meteorológia újabb eredményeinek összefoglalását és néhány, a légszennyeződés-modellezéssel kapcsolatos lehetséges felhasználási módot ismertet. Az egyes fejezeteket a témakörök jeles ismerői írták és adták elő. A szerkesztők érdemének tudható be, hogy egységes könyvet sikerült alkotni e magas szintű, de nem szervesen kapcsolódó előadásokból.

A kötet első négy fejezete a határréteg meteorológiájával kapcsolatos ismereteket foglalja össze. Az 1. fejezetben a határréteg meteorológiai folyamatait leíró egyenletekkel és a szokásos vizsgálati koncepciókkal ismerteti meg az olvasót *J. A. Businger*. A 2. fejezetben *H. Tennekes* a Rossby szám és a Monin-Obukhov hasonlósággal, valamint a turbulenciaelemek karakterisztikus méretével és a spektrum tulajdonságaival foglalkozik. *J. C. Wyngaard* a határréteg-modellezés különböző lehetőségeit elemzi a 3. fejezetben. A határréteg turbulens tulajdonságaival foglalkozó rész lezárásaként a 4. fejezetben *S. J. Canghey* a konvektív és a stabil határréteg fontosabb mért adatait ismerteti, jól kiegészítve és alátámasztva ezzel a megelőző fejezetek elméleti fejtegetéseit.

A kötet második felét a szennyezőanyagok turbulens diszperziójával kapcsolatos újabb vizsgálatok ismertetése tölti ki. A turbulens diffúzió folyamatát az előző fejezetekben bevezetett határréteg-paraméterek függvényében elemzik a szerzők. Az 5. fejezetben *R. G. Lamb* a konvektív határréteg, a 6. fejezetben *J. C. R. Hunt* a stabil határréteg turbulens diffúziós folyamatait vezeti le, újnak mondható gondolatok felhasználásával. A 7. fejezetben *S. R. Hanna* a szennyezőanyag-diszperzió gyakorlati kérdéseivel foglalkozik. A befejező, 8. fejezetben *L. Kristenzen* a tanfolyam során felmerült kérdéseket, észrevételeket összegzi.

A szöveg olvasását a könyv elején elhelyezett szimbólum-jegyzék, a könyv végén található részletes tárgy- és névmutató könnyíti meg. Az elsősorban a témakörben már alapfokú ismeretekkel rendelkező kutatóknak ajánlható érdekes, jól használható kötet értékét növeli a több mint 300 – lényegében az utóbbi évtizedben megjelent – irodalmi hivatkozást tartalmazó irodalomjegyzék is.

Mersich Iván

HORVÁTH, M., BILITZKY, L. és HÜTTNER, J.: **Ozone** *(Ózon)*. Akadémiai Kiadó és Elsevier Science Publishers. Budapest 1985. 350 oldal, 128 ábra, 47 táblázat, tárgymutató, 485 irodalmi hivatkozás.

Az ózon az egyik legfontosabb légköri nyomanyag. Egyrészt elnyeli a bioszféra számára halálos ibolyántúli napsugarakat, másrészt, éppen abszorpciós tulajdonságai következtében, szabályozza a sztratoszféra hőmérlegét. A meteorológusok számára ezek a hatások közismertek. Kevesen gondolunk azonban arra, hogy ezt az anyagot elsősorban az ötvenes évek kezdete óta a mezőgazdaságban, valamint az élelmiszer- és vegyiparban is igen elterjedten alkalmazzák. Jelentőségét bizonyítja, hogy „*Ozone Science and Engineering*" címmel a Nemzetközi Ózon Aszszociáció folyóiratot is jelentetett meg.

Jelen könyvnek elsősorban az az érdeme, hogy az ózonnal kapcsolatos minden kérdésről áttekintést ad az alábbi fejezetekben: 1. Az ózon tulajdonságai és kimutatásának módszerei. 2. Légköri ózon. 3. Az ózon előállításának módszerei. 4. Az ózon stabilizálása és tárolása. 5. Az ózon felhasználási területei.

Az első fejezetből az olvasó a fizikai és kémiai tulajdonságok mellett az ózon fiziológiai hatásaival ismerkedhet meg. Az analitikai kémiával foglalkozó részben egyebek között megtalálhatja a levegőkémiai gyakorlatban elterjedt jodometriás és kemilumineszenciás módszerek leírását. A számunkra legérdekesebb második fejezet lényegében korrekt összefoglalása a légköri ózonra vonatkozó korszerű ismereteknek. Látszik, hogy a budapesti Oxigén- és Dissous-gázgyárban dolgozó szerzők áttekintették a légköri ózonnal kapcsolatos levegőkémiai irodalmat. A légkör szerkezetének és az ózon keletkezésének felvázolása után tárgyalják a különböző légszennyező anyagok ózonra gyakorolt hatását. A szerzők külön érdeme, hogy művükben nemcsak a nitrogén-oxidok és halogénezett szénhidrogének okozta sztratoszferikus változásokról, hanem a fotokémiai szmog képződéséhez vezető troposzferikus folyamatokról is olvashatunk. A harmadik fejezetből megtudhatjuk, hogy az ózont az iparban elsősorban elektromos kisülésekkel és fotokémiai eljárásokkal állítják elő. Az 1950-es évek elején úgy gondolták (negyedik fejezet), hogy az előállított ózont azonnal fel kell használni, mivel tárolása és szállítása nem megoldható. Tekintve azonban, hogy az ózon rakéták hajtóművében is felhasználható, a hatvanas években intenzív kutatások indultak megbízható tárolási módok kidolgozása céljából. Ezek eredményeként sikerült kiküszöbölni a termikus bomlást és sikerült megoldani a robbanásbiztos tárolást.

Az ózon felhasználása molekuláinak erős oxidáló hatásán alapul. Alkalmazásának klasszikus területe a víztisztítás, a sterilizálás és a színtelenítés. Újabban azonban a vegyiparnak, a gyógyszeriparnak, sőt az analitikai kémiának is fontos alapanyagává vált. Így használják különböző anyagok és ércek tisztítására, peroxidok előállítására, olefinek kezelésére, és számos, egyébként nehezen mérhető vegyület kimutatására (pl. a levegőben az NO_x koncentrációjának regisztrálására). Az élelmiszeriparban és mezőgazdaságban gyümölcs, zöldség, tojás stb. tárolásánál, illetve különböző élelmiszerek (pl. keményítő, liszt, szalonna) fehérítésénél és szagtalanításánál alkalmazzák.

Az ismertetett kötetből kitűnik, hogy az utóbbi két évtizedben az ózon iránt kialakult érdeklődésnek két oka van. Az egyik ipari és mezőgazdasági hasznosíthatósága, a másik a légköri ózon esetleges antropogén módosításának veszélye. Célszerű ezért, hogy a két területen dolgozó szakemberek legalább vázlatosan megismerjék a másik területen folyó munkákat. *Horváth* és szerzőtársai könyvükkel bizonyítják, hogy az ipari szakemberek ismerik a légköri ózonnal kapcsolatos kérdéseket. Művükkel egyúttal a meteorológusoknak is lehetőséget adnak, hogy mélyebb tudást szerezzenek az ózon fizikai és kémiai tulajdonságairól, biológiai hatásairól és gyakorlati alkalmazásairól.

Mészáros Ernő

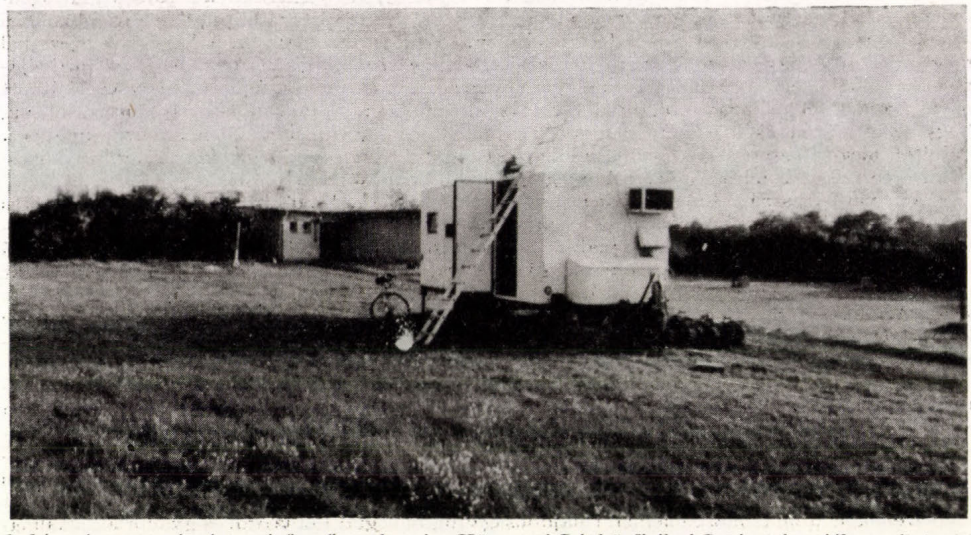
KRÓNIKA

MAGYAR–SVÁJCI NAPSUGÁRZÁSMÉRÉSEK PESTLŐRINCEN

Az Országos Meteorológiai Szolgálat és a Schweizerische Meteorologische Anstalt közös sugárzásmeteorológiai mérőprogramot dolgozott ki. A program keretében a svájciak napsugárzásmérő műszerkocsija a Központi Légkörfizikai Intézet területén az elmúlt év szeptemberében egész hónapon át üzemben volt.

A mérések a helyi sugárzásmérésekkel párhuzamosan folytak. Mint annak idején nyolc éven (1969–1976) át, sugárzási osztályunk a kampány során a vízszintes felületre eső sugárzásáramokon kívül újból mérte a függőleges felületekre eső globálsugárzást is. A négy főégtáj irányába néző piranométereket a mérési időszak első felében a sugárzási osztály épületének tetőteraszán, a második felében pedig – a régebbi mérőhelyszínnek megfelelően – a fűterület felett állították fel. A függőleges felületre eső globálsugárzást, ugyancsak a négy főégtáj irányában, a svájci intézet is sok éven át mérte Locarno-Montiban, az Alpok déli oldalán. Az egyidejűleg mért vízszintes globál- és diffúzsugárzás óraösszegeinek bevonásával mindkét állomáson előállították a négy függőleges felületre eső diffúzsugárzás sokévi adatsorát is.

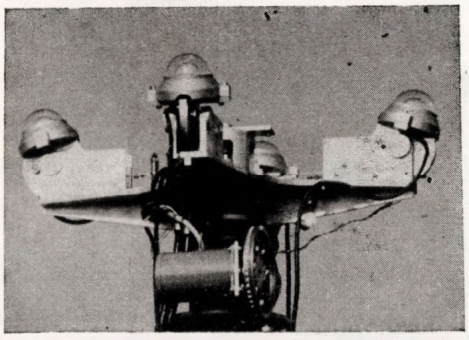
Az azonos helyen, hosszú időn át működő műszerek a klimatológiai adatgyűjtést szolgálják. A svájci mérőrendszer ezzel szemben koncepciója értelmében mozgó állomás; feladata elsősorban a rövidhullámú napsugárzás teljes szögeloszlásának felmérése különböző meteorológiai és különböző helyszíni viszonyok között, különböző napállásoknál, különböző évszakokban. A rendszer méri a közvetlen napsugárzást a beesés irányára merőleges felületen, a szórt sugárzás sűrűségét (radiancia, [Watt m^{-2} szteradian^{-1}]) az égbolt 121 pontjában, valamint az alsó térfélből visszavert sugárzás sűrűségét 77 különböző irányban – utóbbit 10 m magas oszlopra szerelt radiométerrel. A kocsi felszereléséhez tartozik továbbá két piranométer; ebből négy, előírt mozgássémát követve, a vízszintes és függőleges helyzetek között összesen 77 különböző irány- és dőlésszög alatt méri a globál-



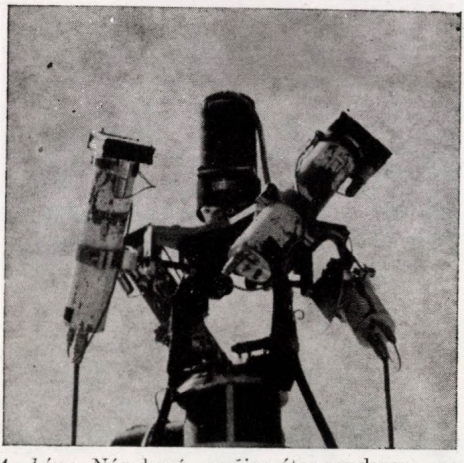
1. kép: A napsugárzást mérő műszerkocsi a Központi Légkörfizikai Intézet kertjében. A napot követő műszerek a kocsi tetejéről mérnek, a többi műszer részben a sugárzási osztály pavilonjának tetőteraszán (a háttérben, részben eltakarva), részben a fűterületen van felállítva, és kábellel csatlakozik a kocsihoz.

sugárzást, az ötödik piranométer vízszintes felállításban, a hatodik a Nap irányát állandóan követő síkban regisztrál. A hetedik műszer a vízszintesen lefelé néző és függőleges határhelyzetek között összesen 77 különböző irány- és dőlésszög alatt a 10 m magas oszlop tetejéről mér.

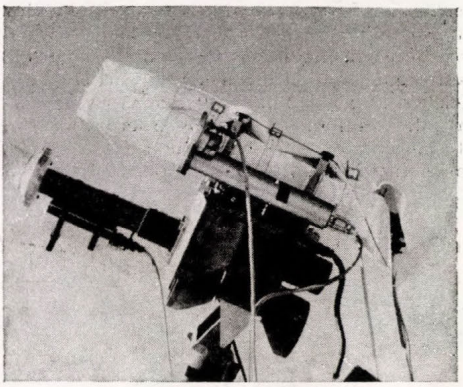
Kedvező (esőmentes) időben a műszerek általában napkeltétől napnyugtáig üzemben vannak. Az egyes műszerek mérési ciklusa igen különböző. A radiométerek szilíciumdióda érzékelői nyomban követik a sugárzás intenzitásának változását, a piranométerek, nagyobb tehetetlenségüknél fogva, csak 20 má-



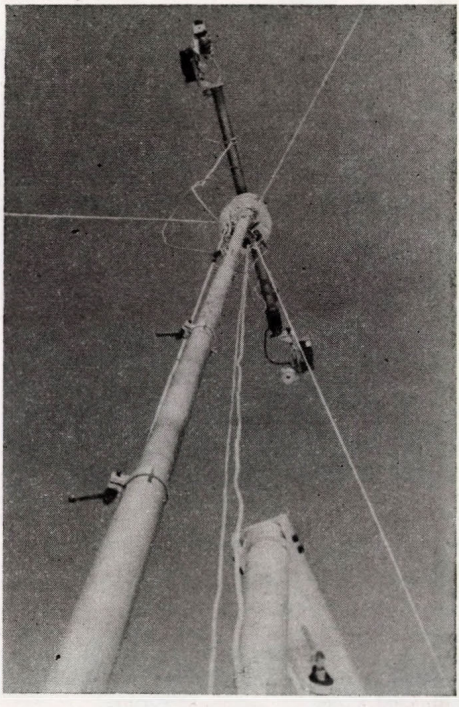
3. kép: Szakaszos motorokkal vezérelt piranométer-műszernégyes a 77 különböző helyzetű síkra érkező globálsugárzás mérésére



4. kép: Négykarú radiométer-rendszer — a tubusokba épített szilícium-dióda érzékelők a diffúz sugárzás sűrűségét az égbolt 121 pontjában tapogatják le: először a színkép teljes tartományában és utána rendre a 368, 500 és 778 mm hullámhosszak 10—15 mm félértéksávszélességű környezetében. A sugárnyaláb az érzékelőket 4,65° nyílásszög alatt (0,0052 szteradián látótérből) éri.

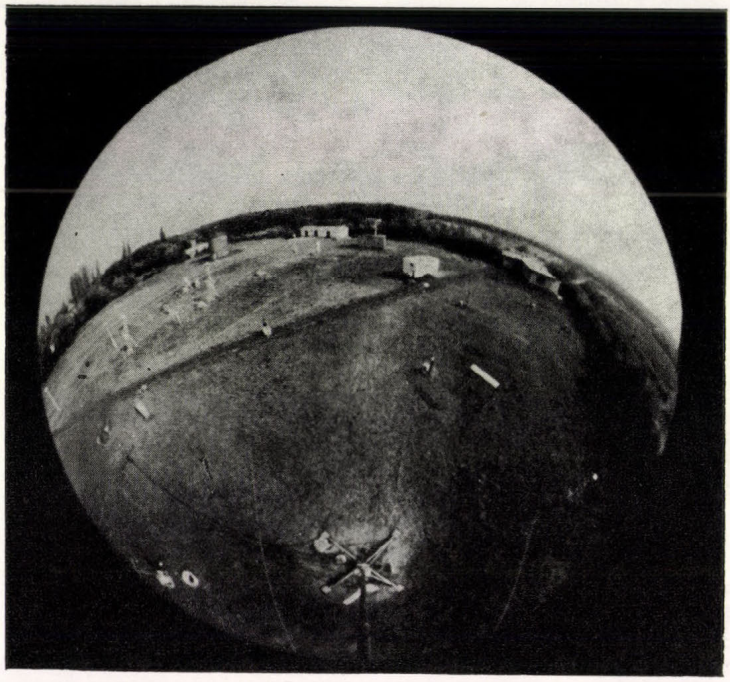


2. kép: A mérőkocsi tetejéről egy piranométer, két Davos típusú abszolút radiométer, egy spektroradiométer (fehér izoláló huzatba burkolva) és egy Volz típusú, 500 mm-es fotométer követi a Napot. A műszerek részben elfedik egymást.



5. kép: Az alsó térfél szögtartományát hidraulikusan kifuttatott, 10 m magas teleszkopikus árbóc tetejéről szintén piranométer és 4,65° nyílásszögű radiométer pásztázza. A 3. és 4. képen bemutatott műszerek az árboc csúcsán átfektetett és e körül vízszintes síkban forgatott keresztrúd két végéről különböző dőlésszögek alatt mérnek.

sodperces frekvenciával mérnek. Ily módon a radiométeres mérések időtartamát csak a rendszer mechanikája szabja meg: a négykarú égboltradiométerrel egy teljes, 121 adatot felölelő kimérés 2 perc 10 másodpercig tart, a reflex-radiométer mozgás-programjának a 10 m-es oszlop tetején viszont a lassú piranométeréhez kell igazodnia, ezért egy teljes ciklus sokból a közvetlen napsugárzás megfelelő komponensét levonva megadja az összes mért síkra érkező diffúzsugárzást. További lépésekben a felső térfél 121, illetve az alsó térfél 77 pontjában mért sugárzássűrűség-adatokból kvadratikus interpolálással finom felbontású eloszlásokat állít elő (térfelenként 32 401 pontban).



6. kép: A mérőterep 10 m magasból halszemlencsével felvett látképe 36°'kal a vízszintes alá hajló és a déli iránytól 54°-kal keletre eltérő tájolásban. A kép középpontjából kissé jobbra fent a mérőkocsi, alul középen a mérőárboc talapzata látható.

mindkét műszer esetén $77 \times 20 \approx 25$ perc 20 másodpercet vesz igénybe. A négytagú piranométer-rendszer ezzel szemben 6 perc 20 másodperc alatt végez 77 mérést. A horizontális és a Napot követő piranométrek $20 - 20$ másodperc, a közvetlen sugárzást mérő két abszolútradiométer pedig 32 másodperc frekvenciával mérnek. A felhőállapotról halszemlencsés (180° nyílásszögű) fényképezőgéppel felhőtlen ég esetén egy, változó felhőzet és teljes borultság esetén három felvétel készül egy-egy 25 perc 20 másodperces üzemszakasz során.

Az egész rendszert PDP8 – E típusú számítógép vezérli kocsiból; ugyancsak ez a gép gyűjti be és rendezi el mágneses szalagon a mért adatokat. Az adatokat, a halszemlencsés felvételek digitális formában kiértékelt anyagával együtt, később a zürichi műegyetem CDC típusú géprendszere dolgozza fel. A rutinprogram első lépésben a mért globálsugárzásokból a közvetlen napsugárzás megfelelő komponensét levonva megadja az összes mért síkra érkező diffúzsugárzást. További lépésekben a felső térfél 121, illetve az alsó térfél 77 pontjában mért sugárzássűrűség-adatokból kvadratikus interpolálással finom felbontású eloszlásokat állít elő (térfelenként 32 401 pontban).

Ezek után a sugárzássűrűség-eloszlás függvényeknek a polárkoordináták szerinti integrálásával a teljes diffúzsugárzásnak mind az égboltról eredő, mind az alsó térfélből visszavert összetevői a 2×77 piranométeres mérésnek megfelelő 154 sík mindegyikére különkülön megadhatók. A kétféle irradiancia persze szétválasztható úgy is, hogy a piranométeres teljes diffúzsugárzásból például az égboltra vonatkozó kettős integrálokat vonjuk le. A különböző szögfüggvények ezután a napmagasság, a homályosság és egyéb változók szerint vizsgálhatók. A fényképdokumentáció az eloszlásminták vizsgálatát felhőzet fajtája, mennyisége és térbeli eloszlásánnk függvényében teszi lehetővé.

A pestlőrinci mérőkampány elsődleges célja a diffúzsugárzás helyszíni szerkezetének feltárása. További fontos része a közös programnak a függőleges felületekre eső globál- és

diffúzsugárzás Locarnóban és Pestlőrincen mért sokévi adatsorainak összevetése, illetve közös analízise is. Az együttes feldolgozás általánosabb érvényű eredményekre vezethet, mint a csupán egyedi vizsgálatok. A feladat attraktivitását növeli, hogy a mozgó mérőrendszer a mostani egyhónapos pestlőrinci mérősorozatot megelőzően már Locarnóban is működött az ottani piranométerekkel párhuzamosan, ugyancsak egy teljes hónapon át. A különböző helyekről származó sokévi adatsoroknak ily módon egyrészt van közös vonatkoztatási bázisa, másrészt a párhuzamos adatmintákkal előállíthatók olyan paraméteres összefüggések, amelyek az alsó és felső térfelekből eredő sugárzásáramok szétválasztását közelítőleg megengedik a hosszú adatsorok teljes anyagában is.

A pestlőrinci mérések sikeréhez a kedvező időjárás nagymértékben hozzájárult: a gyűjtött anyag összesen 233, egyenként 25 perc 20 másodpercet átfogó méréssorozatot ölel fel. Ennek az anyagnak a felhőzet mennyisége szerinti eloszlásából az alábbi táblázat tájékoztat:

Felhőzet [okta]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	össz.
Méréssorozat	48	67	21	14	12	16	18	7	5	12	233
%	21	29	9	6	5	7	7	11	5		100

A fényképpel dokumentált sugárzássűrűségeloszlásminták száma ezen belül, korábbiak értelmében, 3 (233 − 48) = 555. A napmagasság a mérések során 2,5° és 49,2° között váltakozott.

Valkó P.

(Schweizerische Meteorologische Anstalt)

⚹

A WMO ÉGHAJLATI BIZOTTSÁGÁNAK IX. ÜLÉSE

1985. december 2 − 13. között zajlott le Genfben a Meteorológiai Világszervezet Éghajlati Bizottságának (CCl) kilencedik ülésszaka, amelyen Magyarország képviseletében *Barát* József, az OMSZ elnöke és *Ambrózy* Pál, a KMI igazgatója vett részt.

Az ülésszakot J. *Rasmussen* (USA), a Bizottság elnöke nyitotta meg. Rövid üdvözlő beszédet tartott G.O.P. *Obasi*, a WMO főtitkára. Utalt arra a növekvő érdeklődésre és elvárásra, ami a tudományos életben és a mindennapi életben is az éghajlati kérdések s ezen belül az éghajlatváltozások irányában megnyilvánul.

A továbbiakban ismertetjük az ülés legfontosabb megállapításait és határozatait.

I. Éghajlati adatprogram (WCDP)

Hálózati és megfigyelési követelmények. Az éghajlat rövid és hosszabb távú ingadozásainak, változásainak globális nyomonkövetésére megfelelő sűrűségű és színvonalú éghajlati állomások hálózatára van szükség. A megkívánt sűrűség 250 000 km²-enként minimálisan egy állomás, ami a trópusi és szubtrópusi övezetben még sok helyen nem teljesül.

Éghajlati adatfeldolgozás, tárolás. Sürgető feladatként tűzte ki a Bizottság az automata állomások adataiból és a távérzékelésből származtatható éghajlati adatok meghatározásának módszerét. Fontos, hogy az így nyert adatok összevethetők legyenek a hagyományos éghajlati megfigyelési adatokkal.

Az éghajlati adatsorok nemzetközi katalógusát az INFOCLIMA Project kívánja megvalósítani. Az első katalógus a közelmúltban megjelent (WCP − 101). A későbbiekben ez hivatalos WMO-publikációvá válik, két évenkénti felújítással.

Adatcsere, adatszolgáltatás. Általános megelégedést váltott ki a Bizottság tagjaiban a CBS 1985. évi rendkívüli ülésnek döntése a CLIMAT-állomások számának lehetséges növeléséről és a csapadékadatok globális cseréjéről. Mindkét döntés hozzájárulást jelent az éghajlat rövid skálájú anomáliáinak nyomon követéséhez (éghajlat-monitoring).

Ugyancsak ezt a célt szolgálja a Bizottság azon ajánlása, amely éghajlati referenciaállomások globális hálózatának megvalósítását sürgeti.

A Bizottság − egyetértésben a WMO többi technikai bizottságával − változatlanul a díjmentes adatcserét szorgalmazza a tagországok között.

CLICOM. A Bizottság VIII. ülését követően merült fel a WCP Adatprogramja (WCDP) keretén belül egy olyan komplex éghajlati adatfeldolgozási rendszer kifejlesztésének gondolata, amely mini- vagy mikroszámítógépes hardware-t, felhasználó-orientált software-t (adatbevitel, ellenőrzés, statisztikai feldolgozás, tárolás, visszakeresés stb.) és kiképzést (oktatást) tatalmaz. Az USA-ban kifejlesztett ilyen komplex rendszer ára kb. 50 ezer dollár.

A WMO-nak az a terve, hogy az elkövetkezendő tíz év alatt a világ valamennyi szolgálata rendelkezzék valamiféle CLICOM rendszerrel. A végrehajtáshoz a tehetősebb országok anyagi segítségnyújtását fogják kérni.

II. Éghajlati alkalmazási programok (WCAP)

Energia. A Bizottság a meteorológusok és az energetikai döntéshozók közötti személyes és sokoldalú kapcsolat kiépítését tartja legfontosabbnak. Útmutatókat, szakvéleményeket, segédleteket kell készíteni az éhaglati információk optimális felhasználására az egyes ágazatok energiafelhasználásának racionalizálása érdekében.

Város- és épületklimatológia, területtervezés. Széles körű véleménygyűjtés alapján a Bizottság arra a következtetésre jutott, hogy klimatológusokat nagyon ritkán vonnak be építészeti és várostervezésbe. Itt nemcsak az éghajlati erőforrások kihasználatlansága, hanem a

félreértelmezés miatt is nagy veszteségek keletkezhetnek. Éppen ezért nagy súlyt kell helyezni az építészekkel közösen tartandó szemináriumokra, aktívabb éghajlati propagandára.

Légszennyeződés. A rapportőri jelentés (Szepesi D. munkája) egyebek között két fontos kiadvány kéziratának elkészítéséről számol be: „Meteorológiai alkalmazások a légszennyeződési problémákban" és „Levegőminőségszabályozó szimulációs modellek gyűjteménye"

A Bizottság fontosnak tartja a légszennyező anyagok nagy távolságú terjedésének vizsgálatát, a lokális szennyeződések klimatológiai vonatkozásainak feltárását, atomerőművek esetleges szennykibocsátásának meteorológiai tanulmányozását, stb.

Éghajlati térképek és atlaszok. Lassan és egyenlőtlenül halad előre a regionális éghajlati atlaszok szerkeszténe és publikálása. Míg Európában már a második térképsorozat vár kiadásra, addig Afrikában – ahol nagyobb szükség lenne rá – még szinte semmi sem történt. El kell érni, hogy az atlaszok olcsóbbak legyenek, jussanak el az oktatási intézményekhez, tartalmazzanak táblázatos anyagot is, és ott jelenjenek meg elsősorban, ahol a legnagyobb az igény rá.

III. Az éghajlati világprogram egyéb elemei

Aszály és elsivatagosodás. Minthogy ma még az aszály szinte előrejelezhetetlen, ezért az éghajlat folyamatos nyomonkövetése nagyon fontos feladat az aszály időben történő felderítése szempontjából. Igen fontos, hogy mindazon országokban, amelyeket aszály sújthat, megfelelő intézkedési terv álljon rendelkezésre, amely magában foglalja az aszály mezőgazdasági, vízgazdálkodási, ipari stb. vonatkozásait és következményeit is.

Nemzeti éghajlati program. Az éghajlati világprogram célkitűzéseinek megvalósításában jelentős szerep hárul a nemzeti szolgálatokra. Épp ezért kívánatos, hogy minden országban fogalmazódjon meg saját éghajlati program.

A Bizottság a fentieken kívül véleményezte a WMO második hosszú távú tervét, áttekintette a Technikai Szabályzat, az Éghajlati Útmutató és más WMO-kiadványok helyzetét. Az ülésszakon négy tudományos előadást is elhangzott. Szomorú eseménye volt *H. E. Landsbergnek*, a CCl egykori elnökének váratlan halála.

A Bizottság újabb négy évre megválasztotta elnökéül *J. L. Rasmussen*-t és elnökhelyettesül *W. J. Maunder*-t (Új-Zéland). *Ambrózy P.*

*

XII. IONOSZFÉRA ÉS MAGNETOSZFÉRA SZEMINÁRIUM

Az MTESZ Központi Asztronautikai Szakosztálya és az MTA Interkozmosz Tanács, a korábbi években közreműködő társintézmények küldötteinek részvételével, a XIII. *Ionoszféra és Magnetoszféra-fizikai Szemináriumot* 1985. október 15. és 18. között Noszvajon, a Heves megyei Oktatási Igazgatóság épületében rendezte meg. A szervezőbizottság a szeminárium témáját „A Föld és a bolygók magnetoszférája" cím alatt jelölte meg, amelyen belül előadások hangzottak el a magnetoszférában és az ionoszférában lejátszódó folyamatokról, az egyenlítői köráramról, az ionoszféra-magnetoszféra csatolásról, az űrkutatás újabb eszközeiről, valamint e tárgykörhöz tartozó egyéb kutatásokról.

A szemináriumon az Országos Meteorológiai Szolgálat részéről 5 fő vett részt, akik közül *Borbély Edit* az interplanetáris mgáneses tér és a Föld légkörének örvényessége közötti kapcsolatról, *György István* a norvégiai tanulmányútról, *Saikó János* a felső ionoszféra naptevékenységgel kapcsolatos változásairól és *Kovács Sándor* az extraterresztrikus hatások és az időjárás-előrejelzés beválása között lehetséges kapcsolatok problémaköréről tartott előadást. A beszámolókat élénk viták és hozzászólások követték, bizonyítva a Nap–Föld kapcsolatok kutatásának fontosságát és egyben bonyolultságát is. Az előadások teljes terjedelmükben az Asztronautikai Közleményekben jelennek meg.

A szeminárium körültekintően kiválasztott helye és ideje, valamint a kitűnő szervezés, nagymértékben hozzájárult a tudományos program sikeres lebonyolításához. *Saikó J.*

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

Az IDŐJÁRÁS célja az elméleti és alkalmazott meteorológia tárgykörébe tartozó tanulmányok publikálása. A tanulmányok új kutatási eredményeket tartalmazó beszámolók, illetve adott szakterület időszerű kérdéseit összefoglaló kritikai szemlecikkek lehetnek. A közlés nyelve: magyar vagy angol. A kettes sortávolsággal gépelt kéziratok két példányban küldendők be a következő címre: **Időjárás Szerkesztősége 1525 Budapest, Pf. 38.**

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektorálatja. A lektor nevét a szerzővel nem közöljük. A kéziratnak a következő formai igényeket kell kielégítenie:

Címrész: Tartalmazza a tanulmány címét, a szerző(k) nevét, munkahelyét és ez utóbbi pontos címét.

Összefoglalás: Külön oldalakon, magyar és angol nyelven, tartalmazza a kutatás célját, módszerét és a kapott eredményeket.

Szövegrész: Alcímekkel értelemszerűen fejezetekre tagolandó.

Irodalmi hivatkozások: Szövegben a hivatkozás tartalmazza a szerző(k) nevét aláhúzva és a publikálás évét. Pl. egyetlen szerző esetén: *Róna* (1909), vagy ha a szerző neve a szövegbe nem illeszthető be: *(Róna,* 1909); két szerző esetén: *Gamow* és *Cleveland* (1973); több szerző esetén: *Bacsó* et al., (1953). Ha adott szerzők ugyanazon évben publikált több cikkére hivatkozunk, akkor az évszámhoz *a*, *b* stb. betűket írunk. Az irodalom felsorolása a **cikk végén a** szerző(k) neve szerinti betűrendben történik. Folyóirat esetén: szerző(k) neve, évszám, a cikk címe, a folyóirat neve, kötetszám, kezdő és befejező oldalszám. Pl.: *Dési, F.*, 1955: A meteorológiai kutatás időszerű kérdései. *Időjárás 57*, 65—70. Könyv esetén: Szerző(k) neve, évszám, könyvcím, kiadó, megjelenés helye. Pl. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Ábrák: A kézirat első példányához az ábrákat pausz- vagy mm-papíron, a másodikhoz az eredeti ábrák másolatát kell csatolni. Az ábrák aláírásait külön lapon kell mellékelni. Fényképek fekete-fehér színben, fényes, kontrasztos minőségben nyújthatók be.

Táblázatok: A táblázatokat római számozással, szövegükkel együtt, külön lapon kell mellékelni.

Matematikai formulák és jelölések: A nem latin betűket és kézzel írott jeleket a margón ceruzával írt magyarázattal kell ellátni.

A szerzők megjelent tanulmányukért tiszteletdíjat és térítésmentesen 30 db **különlenyomatot** kapnak. Több különlenyomat a szerző költségére a kézirat elküldésével egyidejűleg rendelhető.

NOTES TO THE AUTHORS

The purpose of IDŐJÁRÁS is to publish papers in the field of theoretical and applied meteorology. These may be reports on new results of scientific investigations or critical review articles summarizing current problems in certain subject. Authors may be of any nationality but papers are published only in Hungarian or English. Two copiees of the manuscripts, typed with double space, should be sent to the **Editorial Office of Időjárás.** Address: **Budapest, P. O. B. 38, H-1525, Hungary.**

Papers will be subjected to constructive criticism by unidentified referees.

The manuscript should meet the following formal requirements:

Title: Should contain the title of the paper, the name(s) of the author(s) with indication of the name and address of employment.

Abstract: Should contain the aim, method and conclusions of the scientific investigation on a separate page.

References: The text citation should contain the name(s) of the author(s) underlined and the year of publication. In case of one author: *Róna* (1909), or of the name of the author cannot be fitted into the text: *(Róna,* 1909); in case of two authors: *Gamow* and *Cleveland* (1973); there are more than two authors: *Bacsó:* et al. (1953). When referring to several papers published in the same year by the same author, the year of publication should be followed by letters, *a*, *b* etc. At the end of the paper the list of references should be arranged alphabetically. For an article: the name(s) of author(s), year, title of article, name of journal, volume number, pages. E. g. *Dési, F.* 1955: Current problems of meteorological research. *Időjárás 57*, 65—70. For a book: the name(s) of author(s), year, title of book, publisher, place of publication. E. g. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Figurens: Should be prepared entirely in black India ink upon transparent paper and be attached to the first copy of the manuscript; a copy of the original figures should be attached to the second manuscript copy. The legends of figures should be given on a separate sheet. Photographs of good quality may be provided in black and white.

Tables: Should be marked by Roman numbers and provided on separate sheets together with relevant captions.

Mathematical formulas and symbols: Non-Latin letters and hand-written marks should be explained by making marginal notes in pencil.

Authors are receiving 30 **reprints** free of charge. Additional reprints may be ordered at the authors expense when submitting the manuscript.

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

A szerkesztésért felel: dr. Szepesiné Lőrincz Anna

Szerkesztőség: 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.
Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Tel.: 353-500

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, Budapest VII., Lenin körút 9—11. Telefon: 221-285. Levélcím: 1906 Budapest, Pf. 223.
Felelős kiadó: Siklósi Norbert vezérigazgató

85.2718 Athenaeum Nyomda, Budapest — Íves magasnyomás
Felelős vezető: Szlávik András vezérigazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA
90. ÉVF. ★ 2—3. SZÁM ★ 1986. MÁRCIUS—JÚNIUS

ÖSSZEVONT SZÁM

A LÉGKÖRI SAVAS ÜLEPEDÉS OKAI ÉS KÖVETKEZMÉNYEI

SPECIAL ISSUE

CAUSES AND CONSEQUENCES OF ATMOSPHERIC ACID DEPOSITIONS

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 90. ★ NO 2—3. ★ MARCH—JUNE 1986 ★ BUDAPEST

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata
Journal of the Hungarian Meteorological Service

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG – EDITORIAL BOARD

AMBRÓZY P. (Budapest)
ANTAL E. (Budapest)
BENGTSSON, L. (Reading)
BÖHME, W. (Potsdam)
BUDYKO, M. I. (Leningrad)
FISHER, B. (Leatherhead)
GEORGII, H.–W. (Frankfurt a. M.)
GÖTZ G. (Budapest)
GULYÁS O. (Budapest)
HAMAN, K. (Warsaw)
HUSAR, R. (St. Louis, Missouri)
KAPOVITS A. (Budapest)
KONDRATYEV, K.YA. (Leningrad)
MAJOR GY. (Budapest)
MESINGER, F. (Beograd)
MILOSHEV, G. (Sofia)
PRÁGER T. (Budapest)
PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
RÁKÓCZI F. (Budapest)
RENOUX, A. (Paris-Créteil)
ŠAMAJ, F. (Bratislava)
SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
STAROSOLSZKY Ö. (Budapest)
SZEPESI D. (Budapest)
TAYLOR, F. W. (Oxford)
TÄNCZER T. (Budapest)
VARGA-HASZONITS Z. (Budapest)
VITEK, V. (Praha)
WHELPDALE, D. M. (Downsview, Ont.)
WIRTH E. (Pécs)

Elnök – Chairman of the Editorial Board:
MÉSZÁROS ERNŐ (Budapest)
Szerkesztő – Editor:
SZEPESINÉ LŐRINCZ ANNA (Budapest)

Szerkesztőség: 1525 Budapest, Postafiók 38.
Előfizetés: 1 évre 300 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán Budapest, 1024 Kitaibel Pál utca 1. Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Megjelenik kéthavonként.
Egyes szám ára 50 Ft

Editorial Office: H-1525 Budapest P. O. B. 38. This journal, published bimonthly can be purchased from the distributor: KULTURA, H-1389 Budapest P. O. B. 149
The actual subscription rate is determined by the distributor

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2–3. szám. 1986. március–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2–3. March–June 1986 Budapest

TARTALOM

Mészáros Ernő: Előszó 65
Láng István: Elnöki megnyitó az 1985. november 21–22-i Meteorológiai Tudományos Napok előadás-sorozatán.. 67
Mészáros Ernő: A légköri savas ülepedés 69
Bede Gábor–Gács Iván: Hazai forrásokból származó kén-dioxid és nitrogén-oxid emissziók jelenlegi és várható értékei 77
Donáth Béla: A kén-dioxid és a nitrogén-oxid emisszió csökkentésének lehetőségei Magyarországon 84
Szepesi Dezső: Savas anyagok nagyléptékű transzmisszió ja Európában 89
Fekete Katalin: A savas eső országos modellje 103
Haszpra László: A légköri salétromsav képződésének numerikus modellezése.. 115
Mészáros Ágnes: Szulfátionok képződése légköri koromrészecskék felületén 122
Popovics Mária–Szepesi Dezső–Horváth László: A levegő- és csapadékminőség területi és időbeli változása Európában 131
Horváth László–Mészáros Ernő: Savas ülepedés Magyarországon 143
Jakucs Pál: A légköri eredetű savasodás hatása a természetes élővilágra 150
Somlyódy László–Zotter Katalin: A savas csapadék várható hatása vizeink minőségének alakulására 159
Várallyay György–Rédly Lászlóné–Murányi Attila: A légköri savas ülepedés hatása a talajra Magyarországon 169
Solymos Rezső: Erdeink egészsége és a savas ülepedés 181

CONTENTS

Mészáros, E.: Editorial 65
Láng, I.: Opening address for the sessions of the Meteorological Scientific Days, held in November 21–22, 1985 67
Mészáros, E.: Atmospheric acid deposition 69
Bede, G.–Gács, I.: Present and future SO_2 and NO_x eimssions from sources in Hungary 77
Donáth, B.: Possibilities of the reduction of SO_2 and NO_x emissions in Hungary 84
Szepesi, D.: Long-range transmission of acid pollutants in Europe 89
Fekete, K.: Simulation of acid deposition on a regional scale 103
Haszpra, L.: Numerical modeling of the production of atmospheric nitric acid 115
Mészáros, Á.: Sulfate formation on elemental carbon particles 122
Popovics, M.–Szepesi, D.–Horváth, L.: Territorial and temporal variations of air and precipitation quality for Europe 131
Horváth, L.–Mészáros, E.: Acid deposition in Hungary 143
Jakucs, P.: The impact of atmospheric acidification on living organisms 150
Somlyódy, L.–Zotter, K.: The expected effects of acid precipitation on the quality of water resources in Hungary 159
Várallyay, Gy.–Rédly, L.–Murányi, A.: The influence of acid deposition on soils in Hungary 169
Solymos, R.: The health of Hungarian forests and the acid deposition..... 181

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2–3. szám, 1986. március–június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2–3. March–June 1986. Budapest

ELŐSZÓ

Folyóiratunk jelen kettős száma az MTA Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának Meteorológiai Tudományos Bizottsága és az Országos Meteorológiai Szolgálat által 1985 novemberében rendezett Meteorológiai Tudományos Napok ülésein a légköri savas ülepedés okairól és következményeiről elhangzott előadássorozat anyagát tartalmazza. Tekintve a kérdéskör komplex voltát az előadások nem csak a légköri savas ülepedés kialakulásával, mérésével és numerikus modellezésével, hanem a savas légszennyező anyagok kibocsátásával és hatásaival is foglalkoztak. Folyóiratunk az összes elhangzott előadás anyagát közli. Összevont számukból így a savas ülepedéssel kapcsolatos minden kérdésről felvilágosítást nyerhet az olvasó. Jelen kötet ezért nem csak meteorológusoknak, hanem minden érintett szakembernek, így környezetvédelmi mérnököknek, biológusoknak, hidrológusoknak, talajkémikusoknak és erdészeknek ajánljuk.

Mészáros Ernő
a Szerkesztő Bizottság elnöke

EDITORIAL

The present special issue of the IDŐJÁRÁS contains the lectures on the causes and consequences of the atmospheric acid depositions, presented at the Meteorological Scientific Days in November, 1985, organized by both the Scientific Commission on Meteorology of the Department of Earth Sciences and Mining of the Hungarian Academy of Sciences as well as the Meteorological Service of Hungary. Considering the complexity of the problem the lectures dealt not only with the formation, measurement and numerical modeling of atmospheric acid depositions, but also with the emission and effects of acidifying pollutants. In this special issue all the lectures presented are published. In this way, the Hungarian readers become aquainted with all the questions related to acid deposition. Our foreign readers are encouraged to contact the authors directly for obtaining details which can not be found in the English summaries. This volume is recommended not only to meteorologists but also to engineers and scientists interested in acidification of our environment.

E. Mészáros
Chairman of the Editorial Board

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2–3. szám, 1986. március–június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2–3. March–June 1986. Budapest

Megnyitó az 1985. november 21—22-i Meteorológiai Tudományos Napok előadás-sorozatán

Megtiszteltetésnek tartom a felkérést, hogy a mai tanácskozás megnyitásaként mondjak néhány gondolatot a légköri savas ülepedés okai és következményei c. témakörrel kapcsolatban.

Először is azt kell kiemelni, hogy rendkívül aktuális a témaválasztás. Nagyon jó, hogy megfelelő áttekintésre kerül ma és holnap sor. Üdvözölni tudom azt a gondolatot, hogy a problémát, a feladatot a maga komplex egészében tűzik vitára, kezdve az emisszió kérdéseitől a savas ülepedés környezeti hatásáig, beleértve a biológiai és korróziós hatásokat is. Azt hiszem, ez a komplex szemlélet az, amely cselekvéseinket a jövőben befolyásolni fogja; hiszem, hogy ebben az irányban kell a továbbiakban is előremennünk.

A környezetszennyeződés jelentős mértékben módosítja a légkör összetételét, valamint a földi és a vízi ökoszisztémák számára oly fontos légköri ülepedést. A szén-dioxidnak nagyobb mértékű levegőbe kerülése különböző gondokat okoz. Világszerte felerősödtek azok az irányzatok, amelyek erre felfigyeltek. Egyébként teljes joggal meghúzták helyenként a vészharangokat is. A kormányokat abba a helyzetbe hozták, hogy komolyan gondolják végig rövidebb és hosszabb távú cselekvési programjukat ezeknek a gondolatoknak figyelembe vételével. Utalni szeretnék arra a felvetésre is, amelyet az ún. globális felmelegedés kérdéseként emlegetnek, amely végső soron szintén ezekkel a tényezőkkel kapcsolatos. Az utóbbi esztendőben világszerte több elemző tanulmány jelent meg a globális felmelegedés kérdéseiről, érvek és ellenérvek hangzottak el. Úgy vélem, nekünk magyaroknak különösen nagy gondossággal kell ezeket a munkákat figyelemmel kísérni. Amennyiben ilyen tendencia valóban kialakul, akkor a mi sajátos természeti adottságaink következtében valószínűleg hamarabb a sérülékeny országok csoportjába fogunk tartozni. Ez a felmelegedési tendencia ugyanis nem is annyira a hőmérséklet, mint inkább a csapadék eloszlás következtében hozhatja kritikus helyzetbe a magyar mezőgazdaságot. Figyelemmel kell kísérnünk ezeket a munkákat, hiszen megfelelő adaptív stratégiák kidolgozása válhat szükségessé.

Visszatérve a mai és holnapi tanácskozás főbb problémaköréhez, úgy gondolom, megállapíthatjuk, hogy a savas esőknek nevezett jelenség tulajdonképpen nem új. Irodalmi hivatkozások már a múlt században is találhatók erről. Igaz, hogy az utolsó évtizedben halmozódtak fel és váltak világossá elsősorban azok az adatok, tények, károsodások, amelyek nagyon alapos gondolkodásra késztettek mindenkit. Európa különösen nehéz helyzetbe került. Közép-Európa több országában, NSZK-ban, NDK-ban, Lengyelor-

ságban, Csehszlovákiában elsősorban, valamint Belgiumban az erdőpusztulás méretei jelentőssé, a korróziós problémák és a humánegészségügyi kérdések akuttá váltak. Nem véletlen, hogy ezekkel a kérdésekkel az Európai Gazdasági Bizottság illetékes környezetvédelmi fórumain évek óta foglalkoznak. Megnyugtató számunkra és egy kicsit a Helsinki Záróokmány végrehajtásának is az eredménye, hogy ezen a területen nemzetközi megállapodások születtek. A megállapodások korlátozni óhajtják a veszély továbbterjedését, csökkentéseket irányoznak elő. Hazánk szintén csatlakozott ezekhez a csökkentési megállapodásokhoz. Egy évvel ezelőtt vált szükségessé, hogy Magyarországon is pontosabb képet alkossunk magáról a jelenségről és hatásairól. Akkor született az a döntés, hogy az Országos Környezet és Természetvédelmi Hivatal elnöke, illetve a Magyar Tudományos Akadémia elnöke együttes bizottságot hozzon létre, amelynek az a feladata, hogy a magyar környezet savasodásával kapcsolatos helyzetet feltárja és javaslatokat dolgozzon ki a kormány számára. A munka végéhez közeledik, a jelentés első változata elkészült, hamarosan szélesebb-körű szakmai vitára kerül. Bízom abban, hogy hozzá fog járulni majd a következő időszak hazai környezetvédelmi koncepciójának, cselekvési programjának konkretizálásához, módosításához, az ennek megfelelő tényszerű cselekvéshez.

A Meteorológiai Tudományos Napok c. rendezvény keretében elhangzó előadások a kibocsátástól a környezeti hatásig teljes képet igyekeznek felrajzolni, segítik azt, hogy a következő ötéves tervidőszakban végrehajtandó nagyobbszabású környezetvédelmi kutatási programjainkban ez a kérdéscsoport kellő súlyt kapjon. Meggyőződésem, akárcsak sokaknak a jelenlévők között, hogy az országnak feltétlenül szüksége van jól meghatározott, alaposan átgondolt és a jövő problémáit megközelítő, azoknak elébemenő környezetvédelmi kutatási programra, amely a következő időszak, a 90-es évek környezetvédelmi kormányzati politikájának tudományos megalapozását szolgálja. Szeretném kifejezni azt a reményemet és meggyőződésemet, hogy a tanácskozás eredményes lesz és hozzá fog járulni ismereteink megvitatásához, elterjesztéséhez és a megfelelő következtetések levonásához. Kívánok eredményes tanácskozást. Köszönöm.

Láng István
az MTA rendes tagja, főtitkár

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2—3. szám, 1986. március—június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2—3. March—June 1986. Budapest

A légköri savas ülepedés

MÉSZÁROS ERNŐ, *Központi Légkörfizikai Intézet, 1675 Budapest, Pf. 39*

Atmospheric acid deposition. The aim of this paper is to summarize the causes, formation and damages of acid deposition. After presenting the temporal variations of SO_2 and NO_x emissions, the chemical transformation, deposition and transport of acidifying pollutants are briefly discussed. The bases of numerical modeling of the transmission are outlined. Finally, the consequences of the acidification of the environment are enumerated.

⁂

A légköri savas ülepedés. A tanulmány röviden összefoglalja a légköri savas ülepedés okait, kialakulását és káros hatásait. Ismerteti az SO_2 és NO_x emisszió időbeli változását, a kibocsátott savképző anyagok kémiai átalakulását, ülepedését és terjedését. Felvázolja a transzmisszió numerikus modellezésének alapjait. Végül felsorolja a környezet savasodásának következményeit.

⁂

Bevezetés. A savas eső, pontosabban szólva a savas ülepedés korunk egyik legsúlyosabb környezeti problémája. A jelenséget, mint ismeretes, az emberi tevékenység, elsősorban az energiatermelés folyamán a levegőbe kerülő savképző tulajdonságú kén- és nitrogén-oxidok okozzák. Ezek a gázok ugyanis egyrészt a tereptárgyakon, a talajban és a vizekben, másrészt a levegőben és csapadékvízben savakká alakulnak át.

Jelen tanulmány célja a kén- és nitrogén-oxidok emissziójának, átalakulásának, ülepedésének és légköri transzportjának rövid áttekintése, illetve az okozott károk felvázolása. Az egyes kérdések részleteivel, illetve a hazai vonatkozásokkal az e számban közölt tanulmányokból ismerkedhet meg az olvasó.

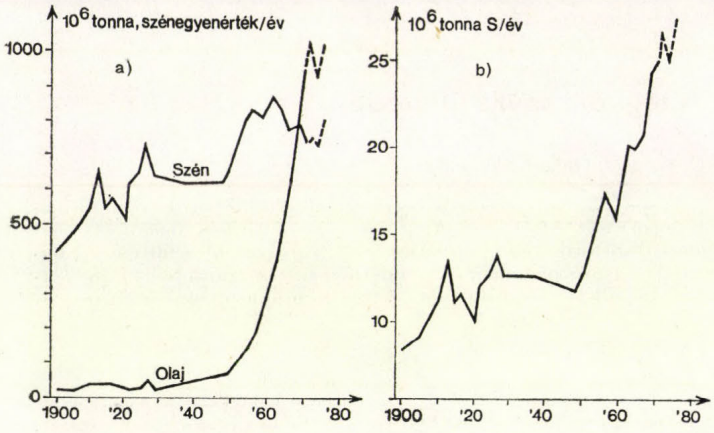
1. Emisszió

A kén-dioxid antropogén emisszióját elsősorban a fosszilis tüzelőanyagok (szén, olaj) elégetése okozza. Ezek az anyagok kis mennyiségben (0,1—1 súly %) ként tartalmaznak, amelynek egy része a tüzelési technikától és egyéb tényezőktől függően kén-dioxid formájában a levegőbe kerül. Viszonylag kisebb egyes ipari folyamatok (olajfinomítás, ércfeldolgozás, kénsavgyártás) kibocsátása. Az emisszió megbecslésében az egyes folyamatokra ún. emisszió faktorokat állapíthatunk meg. Ezek pl. tüzelőanyagok esetén megadják, hogy egységnyi tömegű szén vagy olaj elégetése mekkora kibocsátással jár.

Az *1. ábra Dovland* és *Semb* (1980) alapján az európai szén és olajfogyasztást, illetve a teljes kén-emissziót adja meg. Látható, hogy az ötvenes évektől

az emisszió kb. két és félszeresére emelkedett. Ez az időszak egybeesik a környezet savasodásának időszakával.

A magyar kén kibocsátást az *I. táblázat* alapján ítélhetjük meg. Az adatok 1 lakosra vonatkoznak, így egymással közvetlenül összevethetők. Először sorrendben a hat legjelentősebb európai kibocsátót tűntettük fel, majd a szaggatott vonal alatt az egyik magas emisszióval rendelkező nyugat-európai



1. ábra: Szén- és olajfelhasználás (*a*), valamint kén-emisszió (*b*) Európában 1900 és 1972 között (*Dovland* és *Semb*, 1980)

I. TÁBLÁZAT

Néhány európai ország 1 lakosra jutó kénemissziója Grennfelt (1981) *szerint*

Ország	kg év.fő
NDK	118
Csehszlovákia	103
Magyarország	71
Jugoszlávia	69
Luxemburg	67
Bulgária	57
– – – – – –	
Egyesült Királyság	44
Svédország	34
NSZK	29
Ausztria	29

ország, az Egyesült Királyság következik. Végül a sort három, viszonylag kis relatív emissziójú ország zárja. Látható, hogy Magyarország kibocsátása meglehetősen nagy, kb. két és félszer haladja meg az ausztriai értéket. A magyar emisszió-adat azonban meglehetősen bizonytalan, mint ezt *Bede* és *Gács* (1986) részletesebben kifejti.

A nitrogén-oxid (elsősorban NO) kibocsátás főként a tüzelőanyagok elégetésekor keletkező magas hőmérséklet eredménye. Magas hőmérsékleten ugyanis a levegő nitrogénje oxidálódik. A nitrogén-oxid kibocsátást jelentős mértékben mobil források (autók) hozzák létre. Jóval jelentéktelenebb emissziója van az ipari (pl. salétromsav és műtrágya gyártás) és mezőgazdasági (pl. hulladékégetés) forrásoknak.

A *II. táblázat* az Egyesült Államok nitrogén-oxid kibocsátását tartalmazza 1940 és 1970 között (*Urone*, 1976). Mint az értékekből kitűnik, az emlí-

II. TÁBLÁZAT

Az Egyesült Államok NO_x-kibocsátása 1940 és 1970 között 10^6 tonna/év nitrogénegyenértékben (Urone, *1976*)

Forrás	1940	1950	1960	1970
Stacionárius (tüzelés)	1,0	1,3	1,6	3,0
Közlekedés	1,0	1,6	2,4	3,6
Egyéb	0,3	0,3	0,2	0,3
Σ	2,3	3,2	4,2	6,9

tett harminc év alatt különösen a közlekedési kibocsátás emelkedett meg jelentősen. Összehasonlításképpen közöljük, hogy becsléseink szerint (*Bónis* et al., 1980) a teljes európai antropogén NO_x—N kibocsátás 1970-ben 3,5—8,0 10^6 tonna volt.

2. Kémiai átalakulás

Mint láttuk, jelentős mennyiségű antropogén kén- és nitrogén-oxid kerül a légkörbe. Tekintve, hogy a légkör oxidatív közeg, ezek az anyagok a levegőben oxidálódnak, majd savakká alakulnak át. Az oxidáció oka azonban nem közvetlenül az oxigén, hanem valamilyen szabad gyök, általában hidroxil (OH), vagy hidroperoxil (HO_2). Ezek az elektromos töltéssel nem rendelkező atomok, vagy atomcsoportok igen reakcióképesek, mivel páratlan számú elektront tartalmaznak.

A folyamat lényegének megértése céljából tételezzük fel (részletesebben lásd *Heicklen*, 1976), hogy a fűtés miatt kén-dioxid és nitrogén-monoxid, a közlekedés miatt nitrogén-monoxid és szén-monoxid kerül a levegőbe (az egyszerűség érdekében tekintsünk el a szerves vegyületektől). Ezek az elsődleges szennyezőanyagok számos kémiai átalakuláson mennek keresztül, amelyek lényegét az 1—11 reakcióegyenletek írják le (a * jelölés a gerjesztett állapotra utal):

$$2\,NO + O_2 \Rightarrow 2\,NO_2 \quad (1)$$
$$NO_2 + h\nu \Rightarrow NO + O \quad (2)$$
$$O + O_2 + M \Rightarrow O_3 + M \quad (3)$$
$$O_3 + h\nu \Rightarrow O_2 + O^* \quad (4)$$
$$NO + O_3 \Rightarrow NO_2 + O_2 \quad (5)$$
$$O^* + H_2O \Rightarrow 2\,OH \quad (6)$$
$$CO + OH \Rightarrow CO_2 + H \quad (7)$$
$$H + O_2 + M \Rightarrow HO_2 + M \quad (8)$$
$$NO + HO_2 \Rightarrow NO_2 + OH \quad (9)$$
$$NO_2 + OH \Rightarrow HNO_3 \quad (10)$$
$$SO_2 + 2\,OH \Rightarrow H_2SO_4 \quad (11)$$

A folyamat kulcsa az ózonkeletkezés, amelyet fotókémiai folyamatok segítenek elő. Ehhez azonban NO_2 molekulákra van szükség. Tekintve, hogy az (1)-es reakció igen lassú, a nitrogén-dioxid keletkezést az (5)-ös, illetve a (9)-es reakció gyorsítja fel. Az ózon szerepe azért meghatározó, mivel belőle keletkeznek az OH gyökök, amelyek jelenléte végül is savképződéshez vezet (10. és 11. reakció). A keletkezett salétromsav és kénsav gőz-halmazállapotú. A savmolekulák a vízgőzzel együtt kondenzálódnak és aeroszol részecskéket hoznak létre. A telítettségi gőznyomás értékének különbsége miatt a kénsavgőz teljes egészében, a salétromsavgőz csak részben kondenzálódik. Amennyiben a levegőben ammónia is van, a kondenzálódott kén- és salétromsav cseppecskék részben, vagy egészben semlegesítődnek.

A felvázolt folyamatot hazai méréseink is alátámasztják. Az átalakulásra jellemző szulfát és kén-dioxid koncentráció aránya ugyanis a nyári félévben egyenes arányban van a fotókémiai reakciókat meghatározó napsugárzás intenzitásával (*Mészáros*, 1973). Télen azonban nem kaptunk ilyen összefüggést. Ebben a félévben a szulfát koncentrációja elsősorban az aeroszol részecskék tömegével (és felületével) korrelál (*Mészáros*, 1974). Nem kizárt ezért, hogy a

kén-dioxid átalakulás, adszorpció után a részecskék felületén megy végbe. Újabb vizsgálatok szerint (*Novakov*, 1984) ebben a folyamatban az elemi szén részecskék alapvető szerepet játszanak, mint ezt a részecskék elektronmikroszkópos megfigyelése is valószínűvé teszi (*Mészáros, A.* 1986).

Másik lehetőség, hogy az SO_2 a felhő- és ködcseppekben oxidálódik. Az oxidáns ebben az esetben a levegőből szintén elnyelt ózon, vagy hidrogénperoxid (*Penkett* et al., 1979). Ez utóbbi anyag a (9)-es reakcióval keletkezett HO_2 gyökökből jön létre:

$$HO_2 + HO_2 \Rightarrow H_2O_2 + O_2 \quad (12)$$

$$SO_2 + H_2O_2 \Rightarrow H_2SO_4. \quad (13)$$

A kénsavat alkalikus anyagok részben vagy egészben semlegesíthetik. Amennyiben a felhő vagy köd elpárolog, a szulfát a levegőben aeroszol fázisban marad jelen. Ha a felhőből csapadék hullik, akkor a szulfát nedves ülepedéssel a felszínre kerül.

3. Száraz és nedves ülepedés

Az elsődleges és másodlagos szennyező anyagok száraz és nedves ülepedéssel kerülnek ki a légkörből. A száraz ülepedés alapvető oka a turbulens diffúzió, amely a gázokat és aeroszol részecskéket a felszín közelébe szállítja. Minden felületet vékony lamináris réteg borít. Ezen a rétegen a gázok molekuláris diffúzióval, az aeroszol részecskék Brown-féle mozgással, vagy szedimentációval jutnak át. A nehézségi erő miatti szedimentáció az igen nagy részecskék ülepedését a lamináris réteg fölött is meghatározza.

Az anyagok turbulens fluxusa (F) a következő egyszerű formulával írható le (*Garland*, 1978)

$$F = K \frac{\delta C}{\delta z} \quad (14)$$

ahol K a kicserélődési állandó, C az illető anyag koncentrációja, míg z a magasság. A fluxus tehát úgy határozható meg, hogy a talaj fölött megmérjük a koncentráció gradiensét, illetve a szélsebesség és hőmérséklet függélyes változásából kiszámítjuk K értékét. Az áramlás lefelé irányul, ha a koncentráció kisebb a talaj közvetlen közelében. Feltételezve, hogy ez a fluxus a száraz ülepedéssel (D_{sz}) egyenlő, definiálható egy sebesség dimenziójú szám, amelyet ülepedési sebességnek (v) nevezünk:

$$v = \frac{D_{sz}}{C} \quad (15)$$

Amennyiben a mért ülepedési sebesség értékeit adott felszínre általánosítjuk, akkor D_{sz} értéke a koncentrációból egyszerűen adódik.

Fűfelszín felett végzett megfigyelések szerint (*Garland*, 1978) a kéndioxid száraz ülepedése (kb. 1 cm s^{-1}) gyorsabb, mint a szulfát tartalmú aeroszol részecskéké. Ezt az első pillanatra meglepő eredményt az okozza, hogy egyes talajok (és növények) a kén-dioxidot erősen elnyelik, lecsökkentve így a talajközeli koncentrációt. Másrészt a kondenzációval keletkezett szulfát részecskék sugara kisebb, mint 1 μm, így szedimentációs sebességük elhanyagolható. A nitrogén-oxidok családjából elsősorban a salétromsavgőz száraz ülepedése jelentős (*Huebert*, 1983).

A nedves ülepedés a csapadékvízzel egységnyi területre egységnyi idő

alatt érkező anyagmennyiséget jelenti. Számszerűen értéke a csapadékvízben levő koncentráció és a lehullott vízmennyiség szorzatával egyenlő.

A felhő- és csapadékvízbe az aeroszol részecskék és gázok a következő, ún. kimosódási folyamatok hatására kerülnek. A felhőcseppek aeroszol részecskéken, kondenzációs magvakon keletkeznek. Tekintve, hogy a vízben oldódó anyagok igen aktív kondenzációs magvak, a szulfát és nitrát jelentős része ily módon már a felhőkeletkezés pillanatában a felhővízbe kerül. A felhőelemek ezt követően Brown-féle koagulációval további aeroszol részecskéket fognak el, míg az esőcseppek és hópelyhek a felhő alatt tehetetlenségi okok miatt ütköznek a részecskékkel.

A vízben oldódó gázok a felhő- és csapadékvízben abszorbeálódnak. Az elnyelt kén-dioxid a folyadékban kénsavvá alakul (lásd előző fejezet). Tekintve, hogy a vízben a salétromsav-gőz is elnyelődik, ezek a folyamatok tovább növelik a csapadékvíz savasságát, különösen akkor, ha semlegesítő anyagok (pl. ammónia, karbonátos porrészecskék) nem állnak elegendő mennyiségben rendelkezésre. Európai és hazai vizsgálatok szerint a csapadékvíz savasságát elsősorban a kénvegyületek okozzák (*Horváth* és *Mészáros*, 1986), és a nitrogén-oxidok csak másodlagos szerepet játszanak. Ez utóbbiak emissziója azonban egyrészt az elmúlt években jelentősen emelkedett, másrészt az NO_x, mint láttuk, a kén-dioxid kénsavvá alakításában is fontos szerepet játszik. Kibocsátásának csökkentése ezért igen lényeges a savas esők elleni küzdelemben.

A savas ülepedés vizsgálatának fontos kérdése a száraz és nedves ülepedés arányának meghatározása. Általában azt mondhatjuk, hogy a savas ülepedést források közelében elsősorban a száraz, a forrásoktól távol főleg a nedves ülepedés szabályozza. Közepesen szennyezett területek fölött, mint Magyarországon is (*Horváth* és *Mészáros* 1986), a száraz és nedves ülepedés értéke összehasonlítható nagyságú.

4. Transzmisszió

A kibocsátott szennyező anyagok a forrástól távolodva, a levegőben kémiailag átalakulnak, majd a száraz és nedves ülepedéssel elhagyják a légkört. Az említett folyamatokat együttesen transzmissziónak nevezzük. Adott emissziós- és terepviszonyok esetén a transzmisszió teljes egészében a levegő mozgásától és állapotától, egyszóval a meteorológiai helyzettől függ. A transzmissziót ezért meteorológiai modellekkel írjuk le. Ezek nagy jelentősége az, hogy segítségükkel az emisszió és immisszió (légköri koncentráció) összekapcsolható. Ilyen meteorológiai modellekkel számítható ki a megengedhető emisszió, hogy az ülepedés savassága adott érték alatt maradjon. Azt is kiszámíthatjuk, hogy meghatározott területen honnan származnak a savas anyagok. Végül azt is megbecsülhetjük, hogy a várható energiatermelés, közlekedés és településfejlesztés a környezetre milyen hatással lesz.

A savasságot okozó anyagok napos nagyságrendű tartózkodási idejét figyelembe véve ezek a modellek általában regionális, sőt kontinentális léptékűek. Legismertebb közülük *Eliassen* (1978) kénvegyületekre kidolgozott modellje, amelyet az OECD, az Európai Gazdasági Bizottság (ECE) és az International Institute for Applied System Analysis (Laxenburg, Ausztria) megfelelő programjaiban alkalmaznak.

A modell lényege a következő. Adott nyomásfelületen megfigyelt légáramlással (trajektóriával) egységnyi alapterületű légoszlop mozog együtt,

amelynek magassága a keveredési réteg vastagságával egyenlő. A trajektóriát emisszió-kataszter térképre helyezzük rá, amelyből kivehető, hogy a légoszlopba minden időintervallumban mennyi kéndioxid kerül. Igy a levegő kén-dioxid (C_1) és szulfát (C_2) koncentrációjának időbeli (t) változása a következő lesz:

$$\frac{dC_1}{dt} = \frac{Q}{H} - k_1C_1 - k_2C_1 - k_3C_1 \tag{16}$$

$$\frac{dC_2}{dt} = k_1C_1 - k_4C_2 - k_5C_2, \tag{17}$$

ahol Q az emisszió, H a keveredési rétegvastagság ($\sim$ 1 km), k_1 a $SO_2 \Rightarrow SO_4$ átalakulás sebessége (értéke $3{,}10^{-4}s^{-1}$ körül mozog), k_2 és k_3, illetve k_4 és k_5 a kén-dioxid illetve szulfát időegységnyi fogyása a száraz és a nedves ülepedés miatt. Száraz ülepedésnél $k = v/H$, míg nedves ülepedés esetén k értéke pl. a levegő és csapadékvíz koncentrációjának csapadékhullás alatti változásából becsülhető meg (értéke 10^{-5} s^{-1} nagyságrendű). Mint látjuk, a modell elvileg igen egyszerű. A „k" értékek meghatározása azonban közel sem könnyű.

Nem lezárt kérdés a koncentrációk nedves ülepedéssé történő átszámítása sem. Száraz ülepedés esetén ez egyszerűen a (15)-ös formula segítségével végezhető el. Nedves ülepedésnél erre a célra általában méréseken alapuló regressziós egyenleteket használnak. Ezek azonban csak statisztikus érvényűek. Az említett problémák ellenére a számított *átlagos* kén ülepedési értékek jól megegyeznek a mérési adatokkal. Igy pl. kiszámítható, hogy a Magyarországon leülepedő kén kb. 60%-a külföldi forrásokból származik (lásd: *Szepesi*, 1986).

Hangsúlyoznunk kell, hogy ilyen jellegű modelleket elsősorban kénvegyületekre dolgoztak ki. A nitrogén-oxidok nagyléptékű transzmissziójának matematikai szimulálása a jövő feladatai közé tartozik. Másrészt nyilvánvaló, hogy a kapott kén- és nitrogén ülepedési adatokat hidrogénion ülepedésekké kell átszámolni. Ez utóbbi problémát megkönnyíti az a méréseken alapuló feltételezés, hogy a talajok savassága közvetlenül a kénülepedéssel hozható összefüggésbe (*Ulrich*, 1983).

5. A környezet savasodásának következményei

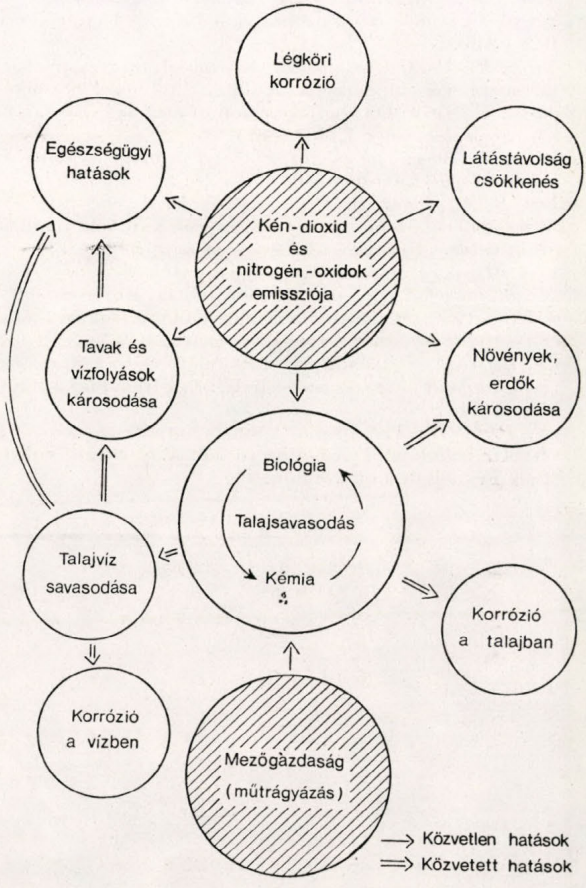
A kén- és nitrogén-oxid kibocsátás közvetlen és közvetett hatásait a *2. ábra* foglalja össze. Az ábrán a teljesség kedvéért a műtrágyázás esetleges talajsavanyító hatását is feltűntettük.

Az ábrából látható, hogy a légköri ülepedés közvetlenül hat a talaj, a tavak és vízfolyások savasságára, illetve a növények és erdők növekedésére. A savas aeroszol részecskék csökkentik a látástávolságot, valamint belélegezve károsan befolyásolják az egészséget. Végül a savas anyagok komoly korróziós károkat okoznak.

A közvetett hatások szintén igen sokrétűek. A talaj kémiai és biológiai folyamatainak megváltoztatásán keresztül a savasodás a talajban és vízben levő műtárgyak korróziójától az ivóvíz összetételének módosításáig számos káros következménnyel jár.

A káros hatások egyszerű felsorolása is érzékelteti, hogy milyen lényeges környezetvédelmi problémáról van szó. A hatások részletes tanulmányozása ezért a kérdéskör fontos részét képezi. Erről jelen konferencia ezzel a kérdés-

sel foglalkozó előadásai is tanúskodnak. Anélkül, hogy a részletekbe bocsátkoznánk megjegyezzük, hogy az ilyen jellegű kutatások végső célja az egyes hatások matematikai szimulálása a légköri ülepedés függvényében. A légköri ülepedést viszont transzmissziós modellekkel írjuk le, amelyek az ülepedést az emisszióval kötik össze. A savasodás folyamatát leíró modell így lényegében három részből, három szubmodellből áll: emisszió, légköri transzmisszió



2. ábra: A kén- és nitrogén-oxid-emisszió közvetlen és közvetett káros hatásai *(Schwedish Ministry of Agriculture*, 1982)

és környezeti hatások. Kidolgozásuk elengedhetetlen a savképző anyagok kibocsátása és a káros hatások összefüggésének megállapításához, és végső soron a környezet savasodásának mérséklését célzó környezetvédelmi intézkedések megalapozásához.

IRODALOM

Bede G. és *Gács I.*, 1986: Hazai forrásokból származó SO_2 és NO_x emissziók jelenlegi és várható értékei. *Időjárás 90.* 77–83.

Bónis K., *Mészáros E.* and *Putsay M.*, 1980: On the atmospheric budget of nitrogen compounds over Europe. *Időjárás 84,* 57–68.

Dovland, H. and *Semb, A.*, 1980: Atmospheric transport of pollutants. In *Ecological impact of acid precipitation* (Eds.: D. Drablos and A. Tollan), 14–21. SNSF Project, Oslo.

Eliassen, A., 1978: The OECD study of long range transport of air pollutants: long range transport modelling. *Atmospheric Environment 12*, 479–487.

Garland, J. A., 1978: Dry and wet removal of sulphur from the atmosphere. *Atmospheric Environment 12*, 349–362.

Grennfelt, P., 1981: Sources and sinks of acidifying compounds. *Report of the European Conference of Acid Rain*, 31–47, Göteborg, 9–12 May 1981.

Heicklen, J., 1976: *Atmospheric chemistry*. Academic Press New York, San Francisco and London.

Horváth L. és *Mészáros E.*, 1986: Savas ülepedés Magyarországon. *Időjárás 90*. 143–149

Huebert, B. J., 1983: The dry deposition of HNO_3 vapour as sink of NO_y. Presented at the *CACGP Symposium on Tropospheric chemistry*. Oxford, U. K.

Mészáros Á., 1986: Szulfátionok keletkezése légköri koromrészecskék felületén. *Időjárás 90*. 122–130.

Mészáros, E., 1973: Evidence of the role of indirect photochemical processes in the formation of atmospheric sulphate particulate. *J. Aerosol Science 4*, 249–434.

Mészáros, E., 1974: On the formation of atmospheric sulphate particulate in the winter months. *J. Aerosol Science 5*, 483–485.

Novakov, T., 1984: The role of soot and primary oxidants in atmospheric chemistry. *The Science of the Total Environment 36*, 1–10.

Penkett, S. A., Jones, B. M. R., Brice, K. A. and *Eggleton, A. E. J.*, 1979: The importance of atmospheric ozone and hydrogen peroxide in oxidising sulphur dioxide in cloud and rainwater. *Atmospheric Environment 13*, 123–137.

Swedish Ministry of Agriculture, 1982: *Acidification today and tomorrow*. The 1982 Stockholm Conference on the Acidification of the Environment.

Szepesi D., 1986: Savas anyagok nagyléptékű légköri transzmissziója Európában. *Időjárás 90*. 89–102.

Ulrich, B., 1983: Soil acidity and its relations to acid deposition. In *Effects of accumulation of air pollutants in forst ecosystems* (eds.: B. Ulrich and J. Pankrath), 127–146. D. Reidel Publ. Co. Dordrecht.

Urone, P., 1976: The primary air pollutants-gaseous. Their occurrence, sources and effects. In *Air pollution* (Third edition) (ed. A. C. Stern) vol. I, 23–75. Academic Press, New York, San Francisco and London.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2—3. szám, 1986. március—június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2—3. March—June 1986. Budapest

Hazai forrásokból származó kén-dioxid és nitrogén-oxid emissziók jelenlegi és várható értékei

BEDE GÁBOR és GÁCS IVÁN, *BME Hő- és Rendszertechnikai Intézete, H—1521 Budapest, XI. Műegyetem rkp. 3.*

Present and future SO_2 and NO_x emissions from sources in Hungary. The paper deals with some methodologycal problems of the determination of SO_2 and NO_x emissions, the actual, and desired calculational methods. Specific emission data are presented as well as their uncertanities for different fuels. The direct emission measurements and data obtained are evaluated. The difficulties in the actual Hungarian emission data collecting system are described and the importance of the data calculatted on the basis of the used fuels is emphasized. For the determination of the future emissions, problems arise not only from the specific emission factors' accuracy but also from the forecasted values of the fuel consumption. Calculated emission data are presented till the end of this century.

⁂

Hazai forrásokból származó kén-dioxid- és nitrogén-oxid-emissziók jelenlegi és várható értékei. A dolgozat tárgyalja az SO_2 és NO_x emissziók meghatározásának néhány metodikai kérdését, a jelenlegi és a kívánatos számítási módszereket. Bemutatja az egyes tüzelőanyag-fajták fajlagos emisszióit és ezek bizonytalanságát. Értékeli a közvetlen emisszió-méréseket és a mérésekkel kapott adatokat. A szerzők vázolják a „saját bevallás" alapján a közelmúltban készült emisszióbecslések buktatóit és a felhasznált tüzelőanyagfajták alapján számított értékek jelentőségét. Rámutatnak arra, hogy a jövőben várható emissziók meghatározásánál nemcsak a fajlagos emisszióadatok, hanem a várható tüzelőanyag-fogyasztás bizonytalansága is problémát okoz. Végül számított adatokat mutatnak be, amelyek az emissziót az ezredfordulóig adják meg.

⁂

Bevezetés. A légszennyeződés — ezen belül a savas ülepedés — forrásai közül a legjelentősebb a különféle égési folyamatokból származó emisszió. Az égési folyamatokban szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú energiahordozókat használunk fel, alapvetően két berendezési típusban: tüzelő berendezésekben (kazánok, kályhák stb.), vagy motorokban. Az égési folyamatokból származó emisszió nagyobb része — a tüzelőanyag felhasználás arányaiból következően — a tüzelőberendezésekből származik.

A továbbiakban a tüzelőberendezések SO_2 és NO_x emisszió meghatározásának módszereivel foglalkozunk, majd a hazai energiahordozó felhasználás jelenlegi és várható alakulása alapján becsléseket mutatunk be a kén- és nitrogén-oxid kibocsátások alakulására.

1. A kibocsátások meghatározása

A levegőt szennyező anyagok kibocsátásának meghatározása kétféleképpen lehetséges: „pontosnak" tekintjük a méréssel történő megállapítást,

„közelítőnek" a számításon alapuló értékeket. A számítások megkönnyítése érdekében pedig általában valamilyen fajlagosított értékkel („emissziófaktor") dolgozunk. Tanulságos az előbbiek átgondolása.

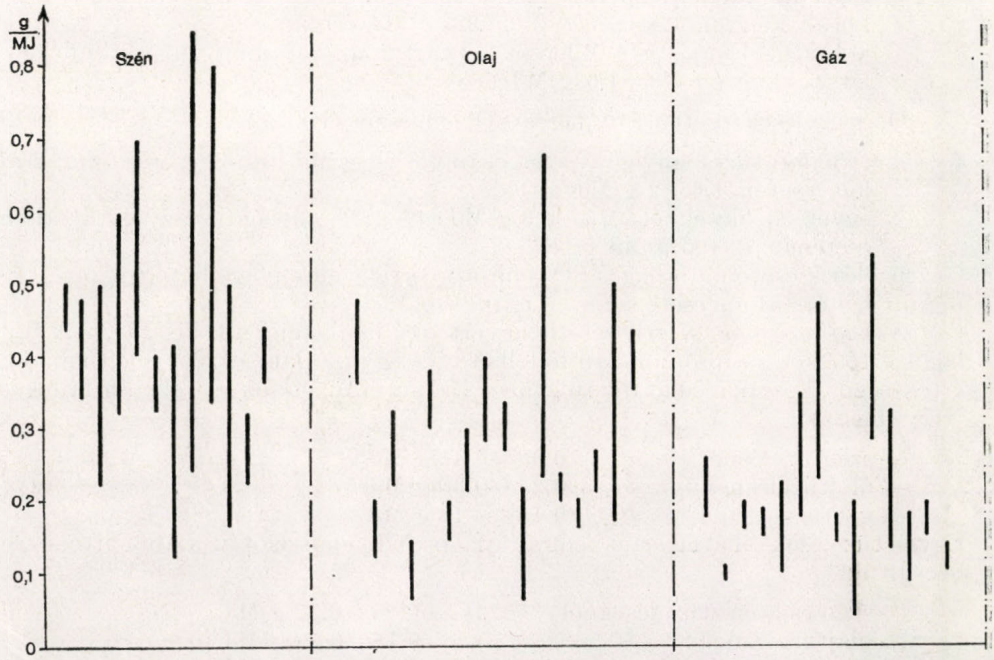
A méréssel történő kibocsátás-meghatározás a leginkább elfogadott eljárás. Hazánkban is szabványsorozat rögzíti (MSZ 21853) a légszennyezőanyagok hordozógázban mért koncentrációjának meghatározására szolgáló eljárásokat és berendezéseket.

Nagyméretű erőművi füstcsatornák, kémények esetében azonban az egyszeri koncentrációmérés önmagában semmit nem ér, a füstgáz koncentráció-, hőmérséklet- és sebességeloszlása ugyanis soha nem homogén. Az emisszió meghatározásához mindhárom eloszlás elegendően pontos kimérése szükséges (ehhez az MSz 21853/2 szabvány ad útmutatást). A legnagyobb problémát a füstgázmennyiség meghatározása jelenti, ugyanis a gyakorlatban érvényesíthetetlen az egyetlen sebességmérésből történő mennyiségmeghatározás — szerkezeti okok miatt. A teljes sebességmező felvétele pedig részben konstrukciós okokból nehéz, részben pedig azért, mert a keresztmetszeti eloszlás maga is mennyiségfüggő. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy a kazánterhelés, a tüzelőanyagminőség, a tüzelési körülmények — erőművi viszonyok között elég gyakori — megváltozása az említett jellemzőket és eloszlásaikat is megváltoztatja. Így még a legrészletesebb egyszeri felmérés sem ad elégséges információt az emisszionak még a becsléséhez sem, nemhogy a meghatározáshoz. A folyamatos, teljes körű, részletes mérés előírása megoldhatatlan feladat elé állítaná az üzemeltetőket. A kibocsátásokat legjobban befolyásoló jellemzők — mint paraméterek — szerinti vizsgálatok pedig még a nemzetközi irodalomban is csak elszórtan állnak rendelkezésre, az adatok pedig nem kellően dokumentáltak ahhoz, hogy azokból általánosítható összefüggések felállítását lehessen megkísérelni.

A kibocsátás elvben számítással is meghatározható. Ennek megbízhatósága esetenként szélsőségesen eltérő lehet. Jól meghatározható pl. az olajtüzelésből származó kén-dioxid kibocsátás, hiszen a felhasznált olajmennyiség és annak kéntartalma általában elegendően pontosan ismert és feltehető, hogy az olajjal a kazánba bevitt teljes kénmennyiség kén-dioxidként a füstgázokkal távozik (a füstgázjárat fémfelületein kiváló, azt elmaró kén-dioxid mennyisége igen kevés). Bizonytalanságot csak a kén-oxid formák (SO_2 ill. SO_3) aránya jelent. Ugyanakkor széntüzelés esetén már 20—50% bizonytalanságot okozhat, hogy az esetek többségében nem, vagy csak közelítően ismerjük a tüzelőanyag kéntartalmának a salakban és pernyében szilárd formában visszamaradó hányadát. Régebben a problémát úgy hidalták át, hogy bevezették és az összes kéntartalom helyett alkalmazták az ún. éghető kén fogalmát. (A szén éghető kéntartalmát laboratóriumi körülmények között az MSz 12000/12, ill. az MSz 18000 szerint lehet meghatározni.) Az elmúlt évek során azonban beigazolódott az a már régebbi keletű feltevés, hogy az így meghatározott éghető kéntartalom általában nem azonos a kazánokban üzemi viszonyok között kén-dioxid képződést okozó résszel. A tényleges tüzelési körülmények között keletkező kén-oxid mennyiség — a tüzelőberendezéstől, annak üzemállapotától, a hamuösszetételtől, a légfeleslegtől stb. függően — nagymértékben akár felfelé, akár lefelé, eltérhet az éghető kéntartalomból számított értéktől, sőt adalékanyagokkal is befolyásolható.

Ennél is bizonytalanabb a helyzet a nitrogén-oxidok képződése területén (itt még olyan fogódzókat sem találunk, mint pl. a szén éghető vagy összes

kéntartalma a kén-oxid kibocsátás esetére). Nem lehet anyagmérlegből kiindulni, viszont rendelkezésre állnak reakciókinetikai egyenletek a különféle nitrogén-oxidok képződésére, de ezeket eddig még nem sikerült valóságos körülményekre igazán eredményesen alkalmazni. Vannak egyes berendezéseken — sokszor nem kellően dokumentált körülmények között — végzett mérésekből származó eredmények, amelyek nem általánosíthatók. Újabban szovjet kutatók több — mérési adatokkal is alátámasztott — számítási eljárást hoztak nyilvánosságra a nitrogén-oxidok kibocsátásának becslésére,



1. ábra: Fajlagos emisszió-adatok tüzelésekre

azonban ezek mind egy-egy kazánra, legjobb esetben kazántípusra vonatkoznak, és nem biztos, hogy a hazánkban alkalmazott kazántípusokra egyszerűen alkalmazhatók lennének (az adaptációhoz, vagy ugyanannak lehetetlensége bizonyításához szükséges mérésekbe eddig még senki nem fogott!)

Az „emissziós faktorok" (fajlagos kibocsátási értékek) alkalmazása is sok buktatót rejt. Nem vitatva az általunk ismert irodalomban publikáló szerzők lelkiismeretességét, úgy gondoltuk, érdemes megmutatni — egymás mellett — az egyébként nem kielégítő alapossággal dokumentált néhány, szakmai körökben elismert közlemény adatait a nitrogén-oxid emissziók fajlagos értékeiről. (A közlemények hivatkozásától is eltekintünk, felsorolásuk megtalálható *Bede* és *Gács* (1981) tanulmányában.) Az *1. ábrán* szén, olaj, illetve gáztüzelés esetére meghatározott nitrogén-oxid emissziós tényezőket tűntettünk fel, erőművi méretű berendezésekre. A vonalak a tényezők értéksávját mutatják, közép-, vagy várható értéket nem lehet egyedileg megjelölni, a szerzők sem tették ezt. Pontszerű adatot az előzőkben részletezett okok miatt nem ábrázoltunk. Az ábrán is látható (bár számszerű értékkel igen nehezen jellemezhető) a tényező bizonytalansága.

Az ország kén- illetve nitrogén-oxid kibocsátására vonatkozó vizsgálatainkban — a fentiek figyelembevételével — az alábbiakból indulunk ki.

A kén-oxidok vonatkozásában feltételeztük, hogy az csak SO_2 formában képződik (az SO_3 formában keletkezés mértéke csekély és bizonytalan). Széntüzelések esetében a fajlagos SO_2-emisszió az *összkénből* kiindulva és a *kénlekötés* figyelembevételével (hazai szeneinkre):

— energetikai szénre az átlagnak vehető 2,6 g/MJ össz-kéntartalom, valamint 20% körüli kénlekötés esetén 4—4,5 g/MJ érték,
— ipari háztartási szenekre 2,1 g/MJ össz-kéntartalom, valamint 20% körüli kén-lekötés esetén 3,2—3,6 g/MJ érték,
— koksztüzelésre, 0,8 g/MJ össz-kéntartalom, valamint 10% körüli kénlekötés esetén 1,3—1,6 g/MJ érték.

Olajtüzelések esetén a fajlagos SO_2 emisszió értéke:

— erőművi tüzelőanyagra: átlagosan 0,8—1 g/MJ (3—4%) össz-kéntartalom esetén 1,6—2 g/MJ érték,
— egyéb tüzeléseknél 0,25—0,3 g/MJ (1—1,2%) átlagos össz-kéntartalom esetén 0,5—0,6 g/MJ érték.

Gáztüzelések esetén a fajlagos SO_2 emisszió értéke elhanyagolható (pl. 50—100 mg/m^3 kéntartalom esetén 2,8—5,6 10^{-3} g/MJ).

Nitrogén-oxidok keletkezését „kevert oxidban" fejezzük ki (NO_x). A fajlagos értékeket az irodalomban fellelhető (és egymásnak sokszor ellentmondó) értékmező „közepén" határoztuk meg. Erőművi tüzelések esetében a fajlagos NO_x emisszió:

— széntüzelésnél	0,38—0,45 g/MJ
— olajtüzelésnél	0,25—0,30 g/MJ
— gáztüzelésénél	0,15—0,18 g/MJ

Egyéb tüzeléseknél átlagértékként a fajlagos NO_x emissziót az alábbi értékekre becsültük:

— szén és koksztüzeléseknél	0,25—0,32 g/MJ
— olajtüzelésnél	0,18—0,22 g/MJ
— gáztüzelésnél	0,10—0,12 g/MJ

Mégegyszer hangsúlyozni szeretnénk, hogy a fenti fajlagos NO_x emisszió értékek nem tekintendők alsó-felső határnak (ezektől lényegesen kisebb és nagyobb adatok is léteznek), inkább a nemzetközi szakirodalomban fellelhető értékmező „közepe" jellemzésére alkalmasak, emiatt bizonytalanságuk lényegesen nagyobb, mint az SO_2 esetén. (A belső égésű motorok nitrogén-oxid kibocsátását más szerzők adataira támaszkodva [*Flamisch*, 1983] 0,9—1,1 g/MJ-ra tehetjük, ez a szénhidrogén tüzeléseknél adódó értékek háromötszöröse).

2. *A hazai energiahordozók felhasználásának jelenlegi és várható alakulása*

Az energiahordozó-felhasználás adatainak gyűjtése a KSH és az AEEF felé kötelező adatszolgáltatás alapján történik. Az eltérő statisztikai feldolgozási módszerek miatt azonban a két helyen feldolgozott adatok csak nehezen vethetők össze. A távlati becslésekben további gondot okoz, hogy a hazánkban alkalmazott eljárás más felosztást alkalmaz a fogyasztói csoportok vonatkozásában, mint a KGST ajánlás (bár e nomenklatura szerint is készülnek számítások).

Hazánk jelenlegi és az ezredfordulóig tervezett tüzelőanyag felhasználásának adatait a „Hazai energiaellátásunk alternatívái 2000-ig" című OMFB tanulmányból (száma: 1—8101-Et; megjelenési idő 1984. július), valamint „A szénfelhasználás és a levegőtisztaság-védelem összefüggései" című OMFB tanulmányból (száma: 20—8301-T; megjelenési idő 1984. november) vettük át. Az energiaellátás múltbeli és tervezett adataiból csak a levegőszennyezésre vezető energiahordozók igény-adatait vettük figyelembe. Vizsgálatainkban különválasztottuk az erőművek igényeit, az egyéb tüzelések (ipar, mezőgazdaság és a lakossági-kommunális szektor) energiafelhasználását a közlekedési célú energiahordozó igényeket, és a nem energetikai jellegű felhasználásokat (pl. alapanyagkénti alkalmazások). Az adatokat táblázatos formában adjuk meg *(I. táblázat)*.

I. TÁBLÁZAT

A savas emissziót okozó tüzelőanyag-felhasználás alakulása Magyarországon

Tüzelőanyag	1980	1985	1990	2000
	Összes felhasználás			
Szén	309	306	303	449
Koksz	66	60	56	48
Kőolajtermék	453	418	432	399
Gáz	334	348	334	376
Összesen	1162	1132	1125	1272
	Ebből erőművi felhasználás			
Szén	160	161	156	283
Kőolajtermék	43	11	31	10
Gáz	109	115	107	128
Összesen	312	287	294	421

A táblázatban csak az erőművi felhasználás adatait választottuk külön, tekintettel az iparág nagy energiahordozó felhasználására, továbbá arra, hogy ez hordozza az előrebecslésekben a legnagyobb bizonytalanságot. A feltüntetett változat abból indul ki, hogy az 1990-es évek első felében megkezdődik és 2000-ig tart a Bükkábrányi Erőmű folyamatos üzembelépése. Ettől eltérő erőműépítési változat az energiahordozó felhasználásokat lényegesen módosíthatja.

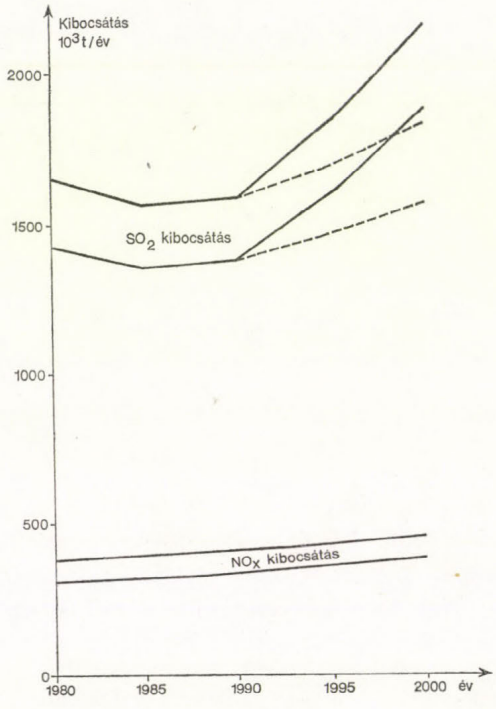
Újólag hangsúlyozzuk, hogy a táblázatban nem tüntettük fel azokat az energiahordozókat, amelyek alkalmazása nem (atomenergia, import villamos energia), vagy csak elhanyagolható mértékben vezet savas emisszióra (fatüzelések stb.). Így a táblázatban szereplő összesítés nem az ország adott időpontra vonatkozó összes energiahordozó igényét adja meg, hanem annál lényegesen alacsonyabb értéket.

A táblázatból az is látható, hogy a nem erőművi emissziók adatait területi bontásban ma nem lehet megadni, és ennek az az oka, hogy a lakossági tüzelőanyag fogyasztásról, valamint az ipari tüzelőanyag felhasználásról sincs olyan adatsor, amely a forrást is megjelölné a felhasználás helyén, így még arra vonatkozóan is igen megbízhatatlan adatok állnak rendelkezésre,

hogy valamely földrajzi helyen felhasznált összes energiahordozó milyen módon tevődik össze az energiahordozó fajtákból (talán a legpontosabb a vezetékes gáz adatsora, ez azonban önmagában kevés).

3. *Becslés a hazai, savasodást okozó, légszennyező emisszióra*

Az I. táblázatban feltüntetett adatok (ezeket a becslésnél a már említett részletesebb bontásban használtuk fel), valamint az előzőkben megadott kibocsátási tényezők értékei alapján végzett kén-dioxid és nitrogénoxid emissziók várható alakulását a *2. ábrán* mutatjuk be. Látható, hogy a kén-



2. ábra: Hazai kén-dioxid- és nitrogén-oxid-kibocsátás 1980–2000 évek során

oxid emisszió-értéke — ha csak ellene valamilyen műszaki intézkedés nem történik — a jelenleg tapasztalható enyhe csökkenés helyett (ennek oka az atomerőmű üzembelépése, és az elmúlt időszakban az ipari fejlesztések visszafogása) jövőben növekedni fog. A nitrogén-oxid kibocsátások értékei az egész vizsgált időszakban monoton nőnek.

A kén-oxid kibocsátásoknál is, a nitrogén-oxid kibocsátásoknál is a feltüntetett sáv az alapadatokban adott „tűrésmező" eredménye. A kén-oxid emissziók esetében 1990 után egy újabb lehetőség — kénleválasztó létesítése az esetleg létesítendő széntüzelésű erőműbe, vagy az erőmű létesítésének elmaradása (ez a kettő kén-oxid kibocsátás vonatkozásában alig ad eltérést) — esetén várható értékek is feltüntetésre kerültek (az ábrán szaggatott vonallal jelölve), azonban látható, hogy e lehetőség sem oldja meg az emisszió növekedésének gondját.

4. *Következtetések és javaslatok*

Amint az a megelőző fejezetekből látható, mind az SO_2, mind az NO_x kibocsátások várható alakulásának becslése sok bizonytalanságot tartalmaz. A pontosabb adatok megállapítása elsősorban mérési eredményeken kell alapuljon. Ezért: *Létre kell hozni egy reális emissziókatasztert az országra,* időbeni, területi és forrás-magasság szerinti bontásban. Ennek megalapozásához tudományos alapossággal meg kell határozni:

— a széntüzelésekből származó SO_2 emisszió függését a szén és hamu összetételtől és a tüzelőberendezéstől a tüzelőanyag fajtánként és főbb felhasználó típusonként,

— mérési eredmények alapján az SO_2 emisszió széntüzelések esetén érvényes számítási metodikáját (éghető kén alapján, vagy az összes kéntartalomból kiindulva),

— tüzelőanyagfajtánként és tüzelőberendezésenként az NO_x képződés mennyiségi viszonyait.

A fenti feladat megoldásához:

— részletes, jól átgondolt és dokumentált, széles körű méréssorozattal fel kell mérni minden fontosabb kazántípus kibocsátásainak alakulását az összes befolyásoló tényező (kazánterhelés, tüzelőanyag jellemzők, légfelesleg stb.) figyelembevételével,

— a mérési eredmények alapján elméletileg is jól megalapozott, általánosításra is lehetőséget adó törvényszerűségeket kell kimunkálni,

— a fentiek alapján kidolgozható emisszió meghatározási módszereket kell rögzíteni számítási segédletekben, műszaki irányelvekben vagy szabványokban,

— minden további — szokásostól nem túlzottan eltérő — esetben az emisszió meghatározására a fenti metodika szerinti számítást kell végezni.

Az előző gondolatokból is látható, hogy a jelenlegi, önbevalláson alapuló levegőszennyezési adatsorok nem alkalmasak tudományos alaposságú vizsgálatokra. A levegőtisztaság-védelemmel kapcsolatos előírások módosításának (ez most van folyamatban) is csak akkor lesz valóban kézzelfogható és érezhető eredménye, ha a javasolt teendők elvégzésre kerülnek.

IRODALOM

Bede G. és *Gács I.*, 1981: Az MVMT budapesti erőműveiből származó légszennyezés vizsgálata. *BME–HRI K–13.*

Flamisch, O., 1983: *Gépjárműmotorok gazdaságos üzeme.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2–3. szám, 1986. március–június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2–3. March–June 1986. Budapest

A kén-dioxid és a nitrogén-oxid-emisszió csökkentésének lehetőségei Magyarországon

DONÁTH BÉLA, *Országos Környezet- és Természetvédelmi Hivatal, H—1365 Budapest, Pf. 732*

Possibilities of the reduction of SO_2 and NO_x emissions in Hungary. The anthropogenic SO_2 and NO_x pullution in the atmosphere is mostly due to fossil fuel burning. While sulfur emission depends primarily on the sulfur content of fuels, NO_x formation is influenced by burning technology and temperature. Technological effluents are much more concentrated then stack gases, what makes scrubbing more rational. Satisfying results are foreseen by taking coordinated measures on the followings: a) efficient scrubbing of flue gases; b) desulphurisation of fossil fuels, for NO_x: modifikation of burning processes; c) energy saving: application of more effective boilers and technical equipment in the industry and households as well, utilization of waste-heat, reuse of wastes etc; d) more general use of nuclear and renewable energy sources (biomass, geothermal, solar and hydro energies). The implementation of the measures requires much investment, moreover the operational costs of some control technologies are considerable, therefore a well elaborated strategy is essential. This is reflected in the concepts of the next national five years plans in which the environment protection, including air quality management, is considered as an essential task.

⁂

A kén-dioxid- és a nitrogén-oxid-emisszió csökkentésének lehetőségei Magyarországon. A légkör antropogén SO_2 és NO_x szennyezése döntő mértékben a fosszilis energiahordozók elégetéséből származik. Míg a kén-kibocsátás elsődlegesen a tüzelőanyag kéntartalmától függ, addig a nitrogén-oxidok keletkezését a tüzelés technológiája, a magas égési hőmérséklet befolyásolja. A technológiai emissziók szennyező gázkoncentrációja a füstgázokéhoz képest nagyságrendekkel nagyobb lehet, ami a leválasztás szempontjából kedvező. Eredmény az alábbi módszerek összehangolt alkalmazásától várható: *a)* hatékony füstgáz, ill. véggáz tisztítás; *b)* a fosszilis energiahordozók kéntelenítése, NO_x esetén az égési folyamat módosítása; *c)* energiatakarékosság (jobb hatásfokú tüzelőberendezések, kisebb fogyasztású technológiák, valamint ipari és háztartási berendezések, hulladékhő-hasznosítás, hulladékok újra hasznosítása stb.); *d)* egyéb: nukleáris és megújuló energiaforrások (biomassza, geotermikus, nap- és vízi energia stb.) fokozottabb hasznosítása. A megoldások többsége erősen beruházásigényes, sőt egyesek – pl. a leválasztó berendezések – üzemköltségei is számottevők, ezért megalapozott intézkedésekre, stratégiára van szükség. Középtávú feladatainkat a VII. ötéves tervkoncepció tartalmazza, amelyben a környezetvédelem és azon belül a levegőtisztaság-védelem a fő témák közé került.

⁂

Bevezetés. A kén-emisszió csökkentésének megoldási lehetőségei már mintegy 100 éves múltra tekintenek vissza. Továbbfejlesztett formái még ma is használatosak a technológiai (kénsavgyári, metallurgiai, kőolajipari, vegyipari stb.) kén-hidrogén és kén-dioxid szennyezés hatékony visszafogására. Lényegesen nagyobb problémát jelentett a füstgázok kéntelenítése, hiszen az előbbieknél számottevően nagyobb mennyiségű, de kisebb koncentrációjú gázok kezelése speciális műszaki megoldásokat igényelt és igen költségesnek bizonyult. Európában a 30-as évek közepén úttörő kísérletnek számított

a dél-londoni Batter Sea erőmű füstgáz-mosása, amelyet azonban pár nap múlva le kellett állítani, mert a lehült páradús füstgáz beterítette a környéket, mivel ekkor még nem oldották meg a füstgáz újra melegítését.

Az utóbbi évtizedekben megnövekvő környezeti károk a kéntelenítési technológiák terén is felgyorsították a fejlesztést, ami egyben a költségek csökkentését is eredményezte. A még mindig igen jelentős — a porleválasztásnál nagyságrenddel nagyobb — ráfordításokat vállalva ipari-erőművi kénleválasztók tucatjai létesültek Japánban, Észak-Amerikában, sőt az utóbbi évtizedben Európa számos országában is.

Egyre fokozódik az igény és a nemzetközi elvárás a nitrogén-oxidok csökkentésére is: nemcsak a savas csapadékokban levő, mintegy 30%-os részvételük, hanem az általuk képződő, erősebben egészségkárosító és növénypusztító fotó-oxidánsok (ózon, PAN stb.) miatt is.

Az Összeurópai Magasszintű Környezetvédelmi Tanácskozáson (Genf, 1979. nov.) a nagy távolságra, országhatárokon átterjedő légszennyezés csökkentésére aláírt Konvenció végrehajtásának lépéseként ez év júliusában Helsinkiben az ENSZ—EGB-hez tartozó 21 ország — köztük hazánk is — vállalta, hogy kén-kibocsátását 1993-ig 30%-kal csökkenti, az 1980. évi szinthez képest. Következő lépésként hasonló megállapodás előkészítése folyik az NO_x kibocsátásra is.

Mivel a légszennyezés nem ismer országhatárokat, a környezeti károk fokozódásának megelőzése, vagy legalább mérséklése csak kontinentális méretű nemzetközi összefogással oldható meg.

A nemzetközi vállalások teljesítése az országok többségétől jelentős intézkedéseket, anyagi ráfordításokat igényelnek. Az energiastruktúra, a rendelkezésre álló tüzelőanyagok minősége, az árviszonyok és a gazdasági szabályozók országonként erősen eltérnek, ezért széles körű elemzésen alapuló stratégia kidolgozásával érhető el, hogy a ráfordítások révén a lehető legjobb eredményeket érjük el.

A témakör ismeretanyaga óriási, ezért az emissziót csökkentő technológiákról, valamint a nem kevésbé fontos alternatív megoldásokról vázlatos áttekintést adunk, a teljesség igénye nélkül. Mivel a technológiai emissziók országos viszonylatban mindössze néhány százalék részarányt képviselnek, elsődlegesen az energetikai kibocsátások csökkentési lehetőségeit ismertetjük.

1. *Füstgázok tisztítása*

Jelenleg világszerte legracionálisabbnak tartott megoldás, hogy a kis fogyasztókat jó minőségű tüzelőanyaggal látják el, a rossz minőségű, nagy kéntartalmú szenet és olajat pedig nagy erőművi létesítményekben tüzelik el és a füstgázokat jó hatásfokú technológiával tisztítják.

A füstgáz kéntelenítésére száznál több módszer ismeretes, de eddig mindössze tucatnyi került nagyüzemi alkalmazásra. Az eljárásokat csoportosíthatjuk aszerint, hogy azok száraz, vagy nedves módszerrel üzemelnek, továbbá aszerint, hogy azok jelentős elhelyezési problémát okozó hulladékot, vagy hasznosítható melléktermékeket eredményeznek.

Az eljárások közötti különbségeket a legelterjedtebb mészköves mosás és a Wellman-Lord eljárás példájával lehet érzékeltetni. Míg egy 350 MW teljesítményű barnaszéntüzelésű erőmű esetén a mészköves eljárásnál napi 690 tonna mészkőre van szükség és 1300 tonna gipsz keletkezik, addig a

Wellmann-Lord eljárás napi 19 tonna nátronlúgot igényel és 200 tonna, az iparban használható kén, a végtermék.

A nedves gáztisztító berendezéseknél szükséges a füstgáz hőcserélő segítségével történő előzetes lehűtése, majd a kéménybe bocsátást megelőző ismételt felmelegítése is. Természetesen nem maradhat el a ma már szokásos porleválasztó berendezés sem.

A már üzemelő erőműveknél a gáztisztító technológiák utólagos létesítése költségesebb, sőt számos esetben helyhiány miatt nem oldható meg.

A *száraz* kéntelenítések közül az aktívszenes adszorpciós eljárás — amelynek révén tömény SO_2, kénsav, vagy elemi kén nyerhető — magas költségei miatt aligha jöhet számításba.

A mészkőporos adszorpció hatásfoka erősen függ a mészkő fajtájától és minőségétől, 50%-nál jobb kéntelenítést csak kivételes esetben biztosít. Viszonylag olcsó módszer és nincs szükség a füstgáz újramelegítésére, de a megnőtt portartalom leválasztása és a hulladék elhelyezése problémát jelent.

A *nedves módszerek* közül viszonylag legolcsóbb a mésztejes, vagy mészkőpor-szuszpenziós mosás, ezért hazai viszonylatban is elsősorban ez jöhet számításba. A számos eljárás közül kiemelhető még az ammóniás vizes eljárás, amelynek semleges ammónium-szulfit melléktermék műtrágyaként hasznosítható, míg a nátronlúgos és Mg-hidroxidos eljárásokkal tiszta SO_2 gáz, kénsav, vagy elemi kén nyerhető.

A kéntelenítési eljárások egyidejű NO_x csökkentése általában nem jelentős. Az utóbbi években felgyorsult fejlesztések az NO_x-ra a szelektív katalikus eljárást helyezik előnybe. Az első nagyüzemi berendezések Európában a közelmúltban létesültek.

Az SO_2 és NO_x együttes leválasztására kísérletek folynak kettős aktívszenes reaktorral.

Egy teljesen új, Japánban kidolgozott elektron besugárzásos eljárás a gázokból elektrofilterrel leválasztható aeroszol keletkezik. Ez a jövő szempontjából ígéretes megoldással kecsegtet.

Az NO_x emissziók csökkentése terén fejlettebb, kidolgozott technológiák léteznek a gépjármű kipufogógázok vonatkozásában. Az USA-ban a benzinmotorokhoz kifejlesztett 3 utas platina katalizátor az NO_x mellett a CO és CH vegyületeket is mintegy 90%-os hatásfokkal ártalmatlanítja. Alkalmazásának előfeltétele ma még az ólommentes benzin használata, ennek megfelelően módosított motor és elektronikus gyújtás. Viszonylag magas ($\sim$ 500$) ára miatt több nyugat-európai országban kedvezményekkel ösztönzik elterjesztését, a 90-es években történő kötelezővé tétel előtt. A gépjárműparkunk jelenlegi és közeljövőben várható struktúrája ilyen katalizátor alkalmazását belátható időn belül nem teszi lehetővé. Benzinüzemű járműveink NO_x emissziójának részaránya az országoshoz képest 10—15%, így az e téren teendő intézkedések elsődlegesen a forgalmasabb települések levegőtisztaságvédelmi célkitűzései szempontjából lennének jelentősek.

2. *A tüzelési mód megváltoztatása*

Az SO_2 és különösen az NO_x szennyezés befolyásolható a tüzelési mód megváltoztatása révén is. Az együttes csökkentést segítik a fluid ágyas kazánok, amelyben az adagolt mészkőzúzalék biztosítja az SO_2 adszorpcióját. Mivel az égés ezekben a kazánokban alacsony hőmérsékleten történik, az NO_x keletkezés kb. 60%-kal kevesebb. A továbbfejlesztett, cirkulációs és magas-

nyomású típusok már megfelelő kis- és középméretű ipari berendezésnek tekinthetők. Erőművi méretű típusok kifejlesztése után — amelyet az ENSZ-EGB programba vett — a jövő egyik ígéretes környezetkímélő kazánjai lehetnek. A fluid ágyas kazánok a tüzelőanyagokat igen jó hatásfokkal hasznosítják, de a hagyományos kazánoknál jelenleg jóval drágábbak, még a hasonló kibocsátást biztosító por, illetve kén-dioxid leválasztó figyelembevétele esetén is.

A lépcsőzetes égetés, a légfelesleg csökkentés és részleges füstgáz recirkuláció révén a különféle kazántípusoknál sikerült mérsékelt NO_x csökkentést elérni. Az utóbbi években külföldön kifejlesztett olaj- és gázégők, szénporfúvók — alacsonyabb égési maghőmérséklet biztosításával — a NO_x keletkezését jelentősebben mérséklik.

Általánosságban megállapítható, hogy a tűztér, illetve az égő módosítása olcsóbb, mint a füstgáz tisztítás.

3. *Tüzelőanyagok kéntelenítése*

A tüzelőanyagok kéntelenítése a legtermészetesebb megoldásnak tűnik, bizonyos esetekben a fajlagos beruházási költség tekintetében egyenrangú, vagy kedvezőtlenebb a füstgáz kéntelenítési eljárásokhoz képest.

A szenek kéntartalmának csökkentési lehetősége nagymértékben függ azok fajtájától, pirittartalmának eloszlásától. Míg egyes külföldi szénféleségek fizikai és kémiai kezelésével 50% fölötti kénkinyerést is elértek, a *barnaszén dúsításával* — így hazai szénfajtáink esetében is — a csökkentés mértéke 5—15% közötti. Kedvező, hogy a visontai lignit tervezett dúsítása 20%-os kénkinyerést biztosít, az energetikai előnyök mellett.

A Központi Bányászati Fejlesztési Kutatóintézet kidolgozta a füst-és egyben *kénszegény brikett* gyártási technológiáját, amelynek elterjesztése feltétlenül kívánatos lenne hazánkban.

Gyakorlatilag 100%-os kéntelenítést eredményez a *szén gázosítása* vagy *cseppfolyósítása*. Ezen technológiák egyelőre igen magas fajlagos beruházásai csökkenthetők, ha megfelelő koopreációra képes vegyi üzemek vagy kőolajfinomítók közelébe telepítik.

A kőolaj kéntelenítése igen költséges eljárás. A kénes fűtőolaj elégetése helyett krakkolással történő további bontása kénsavmentes, vagy kénszegény könnyű frakciókra és a maradék kéntelenítése a javasolható megoldás. Az 1985. elején hazánkban üzembehelyezett krakkolómű révén a jelentős mennyiségű benzin kihozatal mellett lehetővé vált a diesel és tüzelőolajok 1%-os kéntartalmának 0,5% alá csökkentése. További feladatnak tartjuk a fűtőolajok 3%-os kéntartalmának jelentős mérséklését.

A hazai és importált szovjet *földgáz* kéntartalma jelentéktelen. Az utóbbi évtizedben kiszélesedő földgázprogram előrelépést jelent számos települések SO_2 szennyezettségének a csökkentése terén. A földgáz magas égési hőmérséklete következtében azonban valamelyest nő az NO_x szennyezettség.

4. *Alternatív energiaforrások alkalmazása, energiatakarékosság*

Kevés környezetsavasodást okozó megújuló energiaforrás a *biomassza*. A szalma és fahulladék energetikai hasznosításával már évente sokezer tonna olajat váltanak ki. A nemrég létesült biobrikett üzem több mint kétezer háztartás részére termel környezetkímélő tüzelőanyagot.

A referencia üzemek jó tapasztalatait felhasználva a mezőgazdaságban lassan terjed a *biogáz* hasznosítása is.

Tiszta, alternatív energiaforrás a nukleáris –, a vízi –, a geotermikus –, a szél- és napenergia. Mint ismeretes, villamosenergia igényünk növekedését a századfordulóig szinte kizárólag nukleáris energiával — a PAV 80-as években létesülő 4 blokkján túlmenően, a 90-es években további bővítéssel — tervezzük fedezni. A Bős-Nagymarosi vízlépcsőrendszer elkészülte után a termelt villamosenergiából Csehszlovákia és Magyarország 50—50%-ban részesül.

Felgyorsultak a fejlesztések a *geotermikus energia* hasznosítása terén is, bár itt a beruházási források korlátozott volta miatt problémát jelent a melegvíz nagy ásványi tartalma is. Az üvegházi primőrtermesztésen túlmenően néhány településrész távfűtését oldják meg így.

A *napenergia* háztartási melegvíz ellátásra és kisegítő fűtésre történő felhasználásával kapcsolatban egyre több kísérletről hallunk. A szélenergia hasznosításának a lehetőségei nagyon korlátozottak hazánkban.

Az *enerigatakarékosság* is egy — közvetett, de nem lebecsülendő — módja a légszennyezés csökkentésének. A termelő ágazatok és a kommunális energiaracionalizálási, takarékossági programban foglaltak elterjedését kormányunk jelentős támogatással ösztönzi (5 évre 35 Mrd Ft). Főbb irányai:

— a melegvíz-ellátás és kommunális fűtés területén a hőellátó berendezések jellemzőinek és az épületek hőszigetelő-képességének a javítása (energiatakarékos háztartási készülékek, világítótestek);

— az ipari energiafelhasználás területén a technológiai folyamathő csökkentése, hulladékhő hasznosítása és a hulladékanyagok újrafelhasználása (utóbbira példa: vas- és színesfémhulladék esetében 50—70%, alumíniumnál 90% energiamegtakarítás);

— a távhőellátás részarányának a növelése, az erőművi energiatermelés lehetőségeinek a kihasználása.

5. *Tervek, elképzelések*

Az elkövetkezendő évek főbb elképzelései az alábbiak:

a) A kén-dioxid kibocsátás csökkentésére az ÁTB előírása alapján az IpM, az OKTH, MTA, OMFB bevonásával programot készít. Ebben feltárjuk az előzőekben ismertetett eljárások alkalmazásának műszaki és gazdasági lehetőségeit. Tekintettel a kén-dioxiddal súlyosan szennyezett térségeinkre, olyan beruházások megvalósítását szorgalmazzuk, amelyek az országos kibocsátás csökkentésén túlmenően a helyi légszennyezettség csökkentéséhez is aktívan hozzájárulnak. Igy kiemelten fontosnak tartjuk a kommunális célú tüzelőanyagok kéntartalmának mérséklését, és azon erőművek füstgázkéntelenítővel történő felszerelését, ahol a legsúlyosabb helyi problémák jelentkeznek.

b) A nitrogén-oxidok emissziójának csökkentésével kapcsolatos elképzelések még jóval kidolgozatlanabbak. A Magyar Szénhidrogén Ipari Kutató- és Fejlesztő Intézetben olyan kutatás indítását tervezzük, amely a kommunális ipari és erőművi gáz, illetve olajtüzelésű berendezésekhez dolgoz ki NO_x csökkentő eljárásokat.

c) Szorgalmazzuk, hogy a győri fluidágyas kazán sikeres beüzemelése után elkezdődjön e technika széles körű elterjedése. Kilátások vannak a hazai gyártás licenc alapján történő beindítására is.

d) Végül, de nem utolsósorban támogatunk minden energiamegtakarítást eredményező intézkedést, amely a légszennyezés csökkentésének is egyben a leghatékonyabb módja.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2—3. szám, 1986. március—június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2—3. March—June 1986. Budapest

Savas anyagok nagyléptékű légköri transzmissziója Európában

SZEPESI DEZSŐ, *Központi Légkörfizikai Intézet, H—1675 Budapest, Pf. 39*

Savas anyagok nagyléptékű légköri transzmissziója Európában. A tanulmány levegőminőség-tervezők, ill. az országhatárokon átáramló légszennyeződés különböző aspektusaival foglalkozó szakemberek számára készült. A szerző értelmezi a légköri savas anyagok nagy léptékű transzmissziójának fogalomkörét, meghatározta a transzmisszió-potenciál értékét Európára, majd Budapest, Magyarország, Közép-Európa és az európai kontinens területére megadja a kén- és nitrogén-oxid regionális, kontinentális és hemiszférikus háttérszennyezettségének értékeit. Végül bemutatja Magyarország jelenlegi kén- és nitrogén-oxid egyenlegét.

⁂

Long-range transmission of acid pollutants in Europe. This study aims to air quality planners and specialists dealing with the different aspects of transboundary pollution. The concept of long-range transmission of the acid pollutants is interpreted. Quantitative values of transmission potential for Europe are given in areal details. Regional, continental and hemispheric scale background pollution values for the city of Budapest, Hungary, Central Europe and for the European continent are presented. Actual sulfur and nitrogen oxides budgets are also determined and presented.

⁂

1. *A savas anyagok transzmissziójának fogalomköre*

A savas eső okainak, keletkezésének és következményeinek vizsgálata legcélszerűbben dinamikus modell létrehozásával és annak interaktív működtetésével végezhető. Ilyen rendszeranalitikai alapon nyugvó multidiszciplináris jellegű szimulációs modell került kidolgozásra a IIASA savas eső programjának keretében (*Alcamo* et al., 1984), melynek szerkezeti felépítését folyamatábrán szemléltetjük *(1. ábra)*.

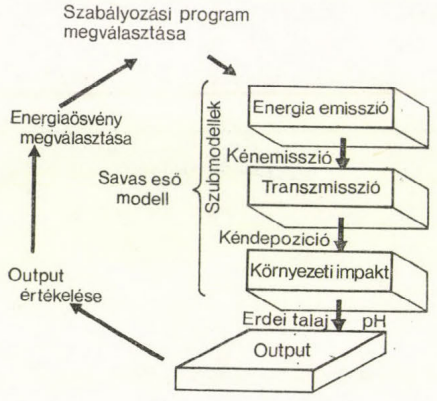
Az első generációs IIASA modell szemikvantitatív, azaz az impakt szintjét (jelentősebb, illetve mérsékelt kárhatás alatt álló terület) és nem mennyiségi egységben kifejezett mértékét becsli. A modell fő célja, hogy a savas eső hatását és a szabályozási stratégiát egész Európára becsülje. Arra való, hogy szűrési módszerként az érzékeny ökoszisztémájú és a nagyszennyezettségű területek valószínű egybeesését megállapítsa.

A bemutatott IIASA modell fő érdeme a kérdés rendszeranalitikai alapokon nyugvó interdiszciplináris közelítése. Korlátait jelenti viszont, számos vonatkozás túlzott egyszerűsítése, ill. az, hogy néhány feltételezése tudományos szempontból bizonytalan, sokszor ellentmondó nézeteken alapszik:

a) A modell kén-alapú, az NO_x, illetve más anyagok hatása csak később lesz figyelembe véve.

b) Az erdőkár, illetve az eshetőség arra, hogy erdőkár keletkezzen több okra visszavezethető jelenség. A talaj pH hatása nem izolálható más tényezőktől, mint például az ózon és a nehézfémek vagy az éghajlati tényezők hatása.

c) A IIASA jelenleg alkalmazott kontinentális léptékű savas eső modellje transzmissziós szubmodellként *Eliassen* és *Saltbones* (1983) által, 1978—79-re számított transzmissziós mátrixot használja. A mátrixban szereplő kéndepozició értékei a reálisan várhatónál lényegesen nagyobbak.



1. ábra: A IIASA savas eső modelljének folyamatábrája (*Alcomo*, et al., 1984)

A második generációs modell részletesebb területi bontásban, kîsebb területi fedéssel, részletesebb kár, illetve emisszió szabályozási költség becslésre lesz képes. Míg az első generációs modell egész Európára vonatkozó stratégiát értékel, a második generációs modell azt kutatja, hogyan lehet ezen stratégiákat egy adott országra vagy Európa szubrégiójára véghez vinni. Ilyen második generációs országos méretű savas eső modellt dolgozott ki Fekete K. 1986-ban.

A kontinentális méretekben alkalmazható savas eső modell energia/emisszió, transzmisszió, ill. impakt szubmodellekből áll. Az energia ösvény, az emisszió, a lerakódás és a környezeti impakt összefüggő következetes rendszerét itt szcenáriónak és ennek vizsgálatát szcenárióanalízisnek nevezik.

1.1 *Energia/emisszió szubmodell.* A szubmodell alkalmazása a következőképpen történik. A felhasználó először kiválaszt egy energia ösvényt minden egyes országra. Utána meghatározza az emissziószabályozás mértékét. A modell ezután kiszámítja mindenegyes országra az emissziókatasztert, majd az ebből várható szennyezőanyag lerakódást, és a várható környezeti impaktot.

Az eredménytől függően a modellező egy másik energia-ösvényt, illetve szabályozási program lehetőséget is választhat és ezekre értékelheti ki a modellt.

1.2 *Transzmissziós szubmodell.* A légszennyező anyagok transzmisszióját (T) célszerű az emisszió (E) és az immisszió (I) vagy depozició (D) alábbi szimbolikus összefüggéseinek felhasználásával értelmezni:

$$\left.\begin{matrix} I(t) \\ D(t) \end{matrix}\right\rangle \sim B + T \cdot E(t) \qquad (1)$$

$$\left.\begin{matrix} \Delta I(t) \\ \Delta D(t) \end{matrix}\right\rangle \sim T \Delta E(t) \qquad (2)$$

ahol B a háttérszennyezettség értéke és t az idő.

A T transzmissziós faktor $(0<T<1)$ a légköri mechanizmusok által a kibocsátott szennyező anyagokra gyakorolt komplex hatást foglalja magában, melynek eredményeként azok elszállítódnak, higulnak, átalakulnak, majd végül száraz, ill. nedves ülepedéssel kikerülnek az atmoszférából.

A transzmissziós tényező időben invariánsnak tételezhető fel, ha azt a meteorológiai elemek (szél, léghőmérséklet, csapadék stb.) reprezentatív adatsorai alapján értékeltük ki. Területi változása a régió diffúzióklimatológiai sajátosságaitól függ.

A transzmissziós tényező megbízható meghatározásának fontossága azonnal világossá válik, ha arra akarunk választ adni, hogy például egy kontinens kén emissziójának 30—50%-os tervezett csökkentése, vagy várható növekedése a levegő minőségét, ill. a leülepedett szennyezőanyagok mennyiségét milyen mértékben változtatná meg. Az adandó válasz fontosságát érzékelteti, hogy ilyen mértékű emissziócsökkentés költsége csak dollár milliárdokban fejezhető ki (*Hidy*, 1984). Az ilyen irányú vizsgálatoknál jelenleg a depozició és az emisszió között részarányos összefüggést tételezünk fel, mely csak első közelítésben fogadható el. A nem-linearitás fokának meghatározása az ez irányú meteorológiai kutatások egyik fontos célja.

Ha finomabb térbeli és időbeli ülepedés eloszlásra van szükség, a legfontosabb tényezőket megfelelően parametrizálni kell. Ez a parametrizálás nagymértékben a kellő pontosságú és felbontású adatbázis létezésétől és rendelkezésre állásától függ.

1.2.1 *Légszennyező anyagok transzmissziójának változékonysága.* Levegő- és csapadékkémiai adatok tér- és időbeli analízise világosan mutatja milyen jelentős azok éven belüli, illetve évről-évre történő változékonysága, melynek oka elsősorban a cirkulációs, csapadék, hőmérsékleti és sugárzási viszonyok eltéréseiben keresendők. Az adatok változékonyságának ismeretében lehet például egy emissziócsökkentési javaslat megfelelőségét, ill. megalapozottságát értékelni. Ha az évről-évre történő változékonyság kicsiny, a javaslatnak nyilván nagyobb a megbízhatósága.

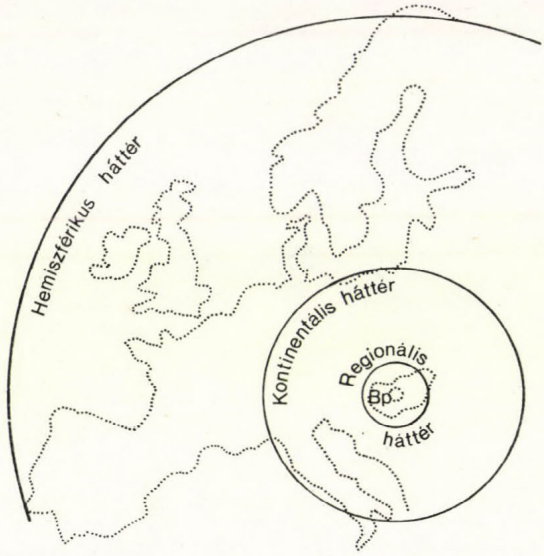
A *MOI* (1982) munkacsoport véleménye szerint Észak-Amerika keleti részén a depoziciós értékek évről-évre történő változékonysága 2-szeres szorzótényezőn belül van. *Samson* (1984) véleménye szerint egyes forrás/receptor kombinációkra kizárólag az eltérő transzmissziós viszonyok hatására egymást követő években a teljes kéndepozició 80—100%-os eltérést mutathat.

Szükség van tehát az egyes meteorológiai tényezők hatásának tisztázására, a mért levegő, illetve csapadékkémiai adatsorok transzmissziós hatásoktól független trendjének megállapítására, illetve emisszió csökkentési javaslatokhoz átlagos transzmissziós viszonyokra normált depoziciós értékekből való kiindulásra.

A levegő- és csapadékkémiai adatok normalizálása az általános cirkuláció, a kevert réteg vastagsága, a csapadék mennyisége és a levegő hőmérsékletének az átlagostól való eltérése alapján történik. Ilyen irányú vizsgálataink folyamatban vannak.

1.2.2 *A háttérszennyezettség figyelembe vétele.* A háttérszennyezettség számított, ill. mért értéke magába foglalja a természetes források, a vizsgálat

tárgyát nem képező közeli, ill. a távoli antropogén források szennyező hatását. A háttérszennyezettség általában jelentős részét képezi a szennyező források közvetlen hatása alatt nem álló alacsony szennyezettségű területeken mérhető koncentrációknak. Ezért a háttérszennyezettség figyelembevétele a levegő- és csapadékminőség regionális, ill. kontinentális méretű modellezésénél igen lényeges.



2. ábra: A háttérszennyezettség számításánál figyelembe vett különböző léptékű hatáskörzetek

A vizsgált légszennyezési folyamat méretétől függően megkülönböztetünk lokális regionális, kontinentális, hemiszférikus ill. globális háttérszennyezettséget (*Szepesi*, 1979, 1986). A háttérszennyezettség mérések, ill. számítások alapján határozható meg. A háttérszennyezettség számításánál figyelembevett hatókörzeteket a *2. ábra* szemlélteti. Értékelését célszerű kritikus átlagolási időtartamokra elvégezni (*EPA*, 1984).

A háttérszennyezettség fogalma a légköri csapadék vonatkozásában is értelmezhető. Ehhez azonban meg kell különböztetni a felhőképződés rétegében, illetve a felhő alatt lejátszódó kimosódási folyamatokat. A fenti állítást például a légköri kénvegyületek vonatkozásában a következő regressziós egyenlet bemutatásával igazoljuk:

$$D = \lambda_1 P_1 C_1 + \lambda_2 P_2 C_2 + \lambda_3 P_3 C_3, \qquad (3)$$

ahol D, mg $(SO_4—S)m^{-2}$ $év^{-1}$ a légköri csapadékkal a talajra került szulfát mennyisége,

λ_1, $\frac{\text{mg } (SO_4—S)l^{-1}}{\mu g(SO_2—S)m^{-3}}$ a felhőzóna alatti rétegben a kén-dioxid kimosódásának arányossági tényezője,

P, mm $év^{-1}$ a csapadék mennyisége,

C_1, μg $(SO_2—S)$ m^{-3} a felhőzóna alatti rétegben elsősorban a lokális és regionális antropogén forrásokból származó kén-dioxid átlagos koncentrációja,

λ_2, $\frac{\text{mg } (SO_4—S)\ l^{-1}}{\mu g\ (SO_4—S)\ m^{-3}}$ a felhőzóna alatti rétegben a szulfát aeroszol kimosódásának arányossági tényezője,

C_2, $\mu g\ (SO_4—S)\ m^{-3}$ a felhőzóna alatti rétegben elsősorban a lokális és regionális antropogén forrásokból származó szulfát aeroszol átlagos koncentrációja,

λ_3, $\frac{\text{mg S } l^{-1}}{\mu g\ S\ m^{-3}}$ a felhőképződés zónájában a kénvegyületek kimosódásának arányossági tényezője,

C_3, $\mu g\ S\ m^{-3}$ a felhőképződés zónájában elsősorban a természetes és távoli (kontinentális, ill. hemiszférikus) forrásokból származó kénvegyületek átlagos koncentrációja.

A nedves ülepedés háttérszennyezettségből származó részének számszerű értékét tehát, a regressziós egyenlet jobboldali harmadik tagjának felhasználásával határozhatjuk meg.

A szennyezőanyagok koncentrációjához a háttérszennyezettség jelentős hányaddal járul hozzá. Ezért — mint korábban megjegyeztük — a levegő- és csapadékminőségi vizsgálatok végrehajtásához, a háttérszennyezettség figyelembevétele elengedhetetlen.

Kén- és nitrogénoxidok koncentrációjának a háttérszennyezettségből származó hányadát az *I. táblázat* szemlélteti.

I. TÁBLÁZAT

Kén- és nitrogén-oxid koncentrációk háttérszennyezettségből származó komponensének számított értéke (számlálóban), mért tényleges értékének évi átlaga (nevezőben) és ebből a háttérszennyezettség százalékban kifejezve regionális (Reg.), kontinentális (Kont.) és hemiszférikus (Hem.) léptékben

Kén- és nitrogén-oxidok	Budapest				Magyarország				Közép-Európa		Európa	
	Reg.		Kont.		Kont.		Hem.		Hem.		Hem.	
	arány	%	arány	%	arány	%	arány	%	arány	%	arány	%
SO_2-S, $\mu g\ m^{-3}$	$\frac{7{,}0^a}{30{,}0^a}$	23	$\frac{3{,}85^b}{30{,}0^a}$	13	$\frac{3{,}85^b}{6{,}10^d}$	63	$\frac{1{,}25^c}{6{,}10^d}$	19	$\frac{1{,}25^c}{6{,}20^b}$	20	$\frac{1{,}25^c}{3{,}87^b}$	33
SO_4-S, $\mu g\ m^{-3}$	—		—	—	$\frac{1{,}44^b}{2{,}88^d}$	50	$\frac{1{,}00^c}{2{,}88^d}$	35	$\frac{1{,}00^c}{2{,}47^b}$	40	$\frac{1{,}00^c}{1{,}57^b}$	64
SO_4-S, $mg\ l^{-3}$	—	—	—	—	—	—	$\frac{0{,}385^c}{2{,}0^d}$	19	$\frac{0{,}385^c}{1{,}673^b}$	23	$\frac{0{,}385^c}{1{,}062^b}$	36
NO_2-N, $\mu g\ m^{-3}$	$\frac{2{,}1^a}{12{,}0^a}$	18	$\frac{1{,}51^b}{12{,}0^a}$	13	—	—	$\frac{0{,}40^c}{2{,}12^d}$	19	$\frac{0{,}40^c}{1{,}73^b}$	23	$\frac{0{,}40^c}{0{,}905^b}$	44
HNO_3-N, $\mu g\ m^{-3}$	—	—	—	—	$\frac{0{,}37^b}{0{,}60^e}$	62	$\frac{0{,}05^c}{0{,}60^e}$	8	—	—	—	—
NO_3-N, $\mu g\ m^{-3}$	—	—	—	—	—	—	$\frac{0{,}05^c}{0{,}50^e}$	10	—	—	—	—
NO_3-N, $mg\ l^{-3}$	—	—	—	—	—	—	$\frac{0{,}213^b}{0{,}59^d}$	36	$\frac{0{,}213^b}{0{,}569^b}$	37	$\frac{0{,}213^c}{0{,}366^b}$	58

A betűjelek a számadatok eredetére utalnak: *a* = *BFT*, *b* = *Szepesi—Fekete* (1986), *c* = *Fekete* (1985), *d* = *Popovics—Szepesi* (1985; A levegő és a csapadék háttérszennyezettsége Európában, kézirat), *e* = *Mészáros* (1985).

a) A táblázatból megállapítható, hogy Budapest kén-dioxid szennyezettségének 23%-a regionális, 13%-a kontinentális léptékű forrás területekről származik. A közép-európai források emissziójának 30%-os csökkentése tehát Budapest kénterhelésének 4%-os csökkenését eredményezné.

b) A kén-dioxid terhelésnek hemiszférikus háttérszennyezettségből Magyarországon 19%-a, Közép-Európában 20%-a és egész Európa viszonylatában 33%-a származik.

c) Magyarországon a csapadék szulfáttartalmának 19%-a és nitráttartalmának 36%-a hemiszférikus háttérszennyezettségből ered.

1.2.3 *Arányosság, linearitás.* A savas eső kialakulásának jelenleg alkalmazott modellezésénél feltételezik, hogy egy adott receptornál a koncentráció vagy depozició valamennyi forrás hozzájárulásának összege, és a hozzájárulások arányosak az emissziók mértékével. Az átalakulási és kikerülési folyamatok parametrizációja a modellekben lehetővé teszi a fenti közelítést, azonban az emisszió mértékével való lineáris összefüggés valószínűleg nem teljesen korrekt és további vizsgálatra szorul.

Minél magasabb rendű az SO_2 oxidációja, annál hatékonyabban csökkenti az emissziószabályozás a keletkezett SO_4^{2-} mennyiségét. Ha más szennyezőanyagok igen fontos tényezői az átalakulásnak (pl. a nehéz fémek), esetleg ezek emissziójának csökkentése, kisebb ráfordítással eredményesebben csökkentheti a keletkezett SO_4^{2-} mennyiségét.

Az emisszió/depozició közötti összefüggés linearitásának kérdésében számos kutató foglalt állást. *Eliassen*, (1982) szerint „a légköri kén átalakulása és kikerülése nem szélsőségesen nemlineáris". Szerinte a kén emisszió/depozició közötti nemlineáris kapcsolatot a kén-dioxid szulfáttá alakulásának nemlineáris összefüggése okozza. Ugyanis az $SO_2 \rightarrow SO_4$ átalakulást más szennyezőanyagok pl. nitrogén-oxidok, szénhidrogének jelenléte is befolyásolja. Mivel ezek tartózkodási ideje eltérő, az ülepedés területi megoszlása is módosulni fog. Eliassen szerint több szennyezőanyag kataszterét figyelembevevő transzmissziós modell futtatása csak esettanulmányokra terjedhet ki.

Az emisszió/depozició közötti összefüggés kérdésében az Egyesült Államok Tudományos Akadémiája (NAS) 1983-ban állást foglalt. Megállapította, hogy

a) az e téren rendelkezésre álló ismeretek komolyan akadályozzák a forrás/receptor összefüggés bármilyen érdemleges interpretálását,

b) nincs bizonyíték arra, hogy hosszabb távon és nagyobb területeken az emisszió és a szulfát depozició között nemlineáris (nonproportional) összefüggés állna fenn,

c) az SO_2 emisszió csökkentése a szennyezőforrások hatása alatt álló területeken a szulfát depozició csökkenéséhez fog vezetni.

A nem-linearitás kérdésének vitáját tehát a NAS állásfoglalás nyitva hagyta sőt még stimulálta is.

Levegő- és csapadékminőségi vizsgálatok gyakorlatban történő végrehajtása szempontjából a forrás/receptor összefüggés linearitásának kérdése a következőképpen foglalható össze:

a) A kénemisszió és a kén-dioxid immisszió megváltozása között közel részarányos (egy az egyhez) összefüggés tételezhető fel. Ettől való eltérés elsősorban a kibocsátás magasságának függvénye.

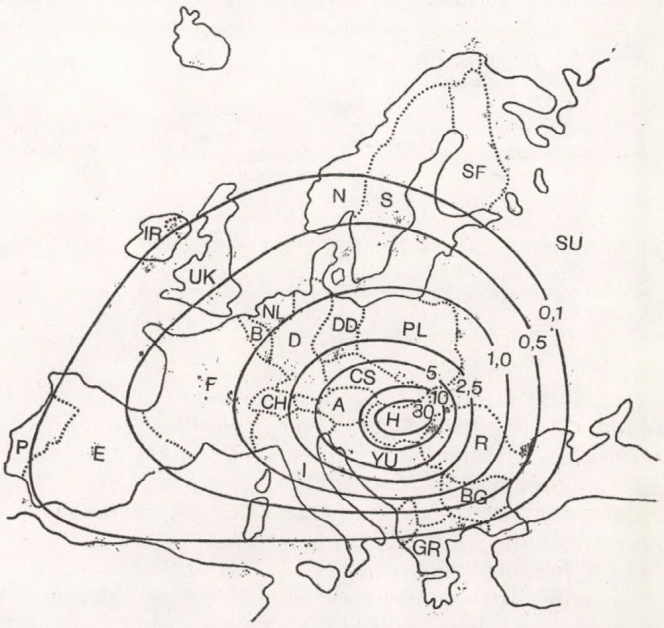
b) A kénemisszió és a csapadék szulfát tartalma közötti lineáris összefüggés feltételezésére *Popovics* et al., (1986) 30 évi mérési adatokon nyugvó vizsgálatai szerint már kevésbé korrekt. A nem-linearitás mértéke az átalakulási és kimosódási mechanizmusok egyéb tényezőktől is függő (kén-, nitrogén-oxidok, szénhidrogének egyidejű koncentrációi) időben nem lineárisan változó

paramétereinek alkalmazásával szimulálható csak. Amíg ilyen irányú verifikált vizsgálatok megbízható eredményekhez nem vezetnek, az emisszió és a depozició között részarányos (egy az egyhez) összefüggés alkalmazása javasolható.

1.2.4 *Transzmisszió potenciál.* Regionális, ill. kontinentális méretű légszennyezési folyamatokból származó depozició számításhoz a forrás/receptor összefüggést az (1) egyenlet felhasználásával a következőképpen fejezhetjük ki:

$$D = T_p E \qquad (4)$$

D (kg S/ha év): Európa egyes országaiból pl. Magyarország területegységére száraz, ill. nedves ülepedéssel jutó kénszennyeződés mértéke,



3. ábra: A transzmisszió potenciál értékei Európa területén

T_p (kg S ha^{-1} év^{-1}/Tg S év^{-1}): a forrás, ill. receptor területek viszonylatában fennálló és azok diffúzióklimatológiai adottságaitól függő transzmisszió potenciál értéke,

E (Tg S év^{-1}): a donor ország összes kénemissziója.

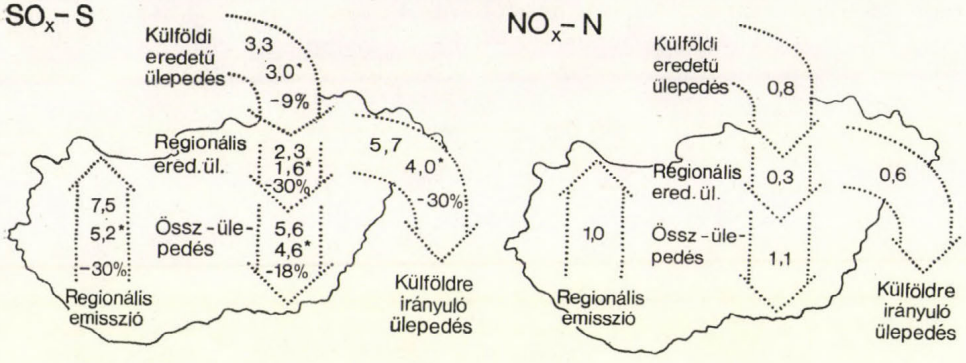
A transzmisszió potenciál jelen esetben az 1978—82 évekre rendszeresen megállapított kén-fluxus számítások eredményeit tartalmazó transzmissziós mátrixból került meghatározásra. Nagyobb felbontású mátrix esetén további területi finomítása lehetséges. Területi megoszlását elsősorban a cirkulációs és csapadékviszonyok eltérései befolyásolják. A száraz, ill. a nedves ülepedés transzmisszió potenciálja jelentősen eltérhet a csapadékos és csapadékmentes időjárási helyzetek különböző jellegzetességei következtében.

A transzmisszió potenciál alkalmazásával kijelölhetők a hazai kéndepozició csökkentése szempontjából leghatékonyabbnak bizonyuló külföldi forrás területek.

Például 1 Tg S év^{-1} (10^6 t S év^{-1}) kén emisszió csökkentés a TP = 1,0 sáv egy pontján Magyarország minden hektárnyi területén 1 kg kén depozició

csökkenéssel járna. A *3. ábrán* bemutatott transzmisszió potenciál értékeinek felhasználásával bármilyen szcenárióanalízis percek alatt elvégezhető.

1.2.5 *A légköri kén- és nitrogén-oxidok magyarországi mérlege.* A légszennyező anyagok transzmisszióját leíró egyszerű mérlegszámítások is már tá-



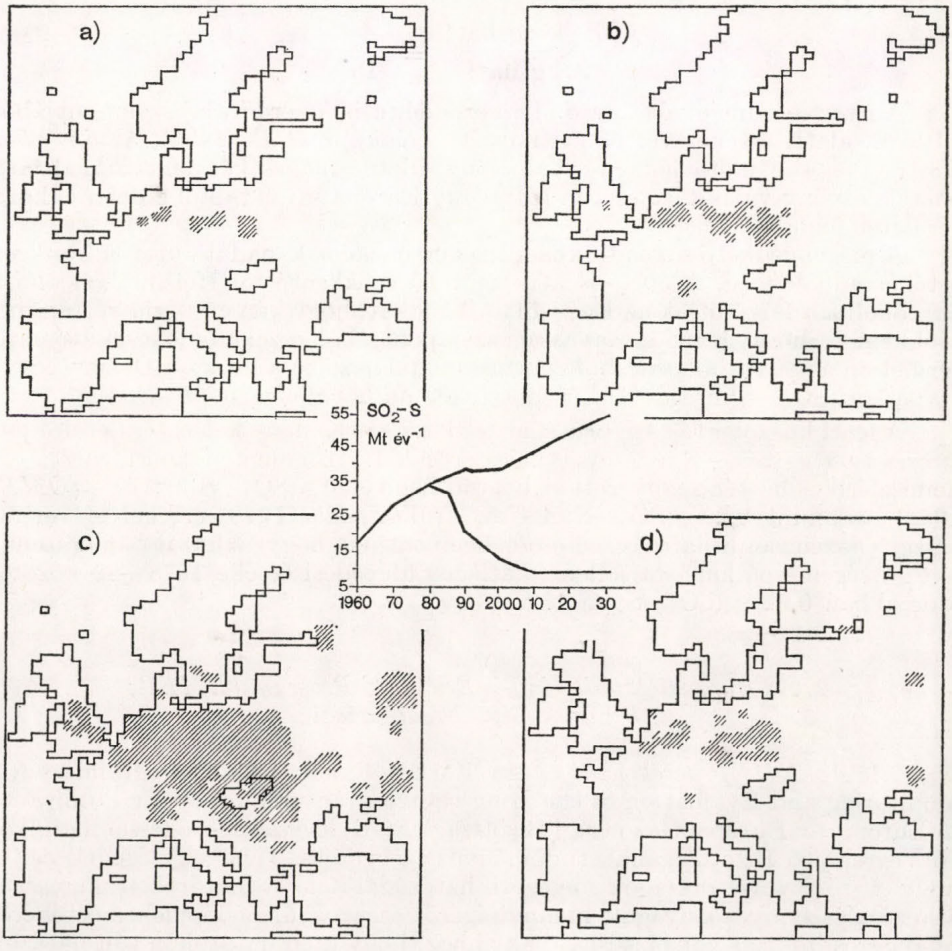
4. ábra: A légkörből a talajra ülepedő kén-oxidok ($SO_x - S$) és nitrogén-oxidok ($NO_x - N$) egyenlege Magyarországon 10^5t/év kén, ill. nitrogén egyenértékben. A kénre vonatkozó egyenleg az EMEP 1978–1982-re vonatkozó számításain alapszik. (*-gal jelölt értékek a Közép-Európában végrehajtandó 30%-os kénemisszió-csökkentés és a „lineáris kibocsátás/ülepedés" összefüggés feltételezése esetén várható kéndepozíció mennyiségét jelentik)

jékoztatást adhatnak első közelítésben az atmoszférikus savas depozíció mértékének, ill. jelentőségének megítéléséhez. A kén- és nitrogénvegyületek légköri körforgalmát Magyarországra már több kutató meghatározta *(Bónis,* 1981. *Zavodsky* és *Mitosinkova,* 1984, *Eliassen,* 1984). A fenti kutatók vizsgálatainak eredményeit az 1980-as referencia évre vonatkozóan a *4. ábrán* szemléltetjük.

A kén légköri mérlegének számításához az EMEP — lineáris emisszió-depozició változást feltételező — 1978—82 évi transzmissziós mátrixát alkalmaztuk. Az EMEP számítások szerint tehát hazánk területén száraz és nedves ülepedéssel $5{,}6 \cdot 10^5$ tonna kén ülepedik le. Magyarország átlagos kénterhelése 6,0 gS/(m².év). Feltételezve, hogy Csehszlovákia, az NDK és az NSZK 30%-kal csökkenti kénemisszióját, Magyarország területén a kénülepedés 5%-kal fog csökkenni; ez egységnyi területre vonatkoztatva 5,7 gS/(m².év) kénülepedést jelentene. Amennyiben Magyarország is végrehajtja a 30%-os kénemisszió csökkenést, a kénülepedés 18%-kal kisebb lenne. Igy az egységnyi területre jutó kénülepedés 5,0 gS/(m².év) lesz. A 2.3 fejezetben bemutatott összehasonlítás eredményeire hivatkozva meg kell azonban említeni, hogy a Magyarország felett az EMEP számítás szerint leülepedő $5{,}6 \cdot 10^5$ tS $év^{-1}$ kén mennyisége, a hazai háttérszennyezettség-méréseken alapuló vizsgálatokkal összevetve, bizonyos mértékű túlbecslést (kb. kétszeres) jelent.

A légköri nitrogén-oxidokra vonatkozó mérleg számítás Bónis és Zavodsky fentebb idézett vizsgálatainak eredményein alapszik. A hazai szennyező források nitrogén-oxid emisszióinak mértékét az újabb felmérések adatai alapján 1980-as referencia évre $1{,}0 \cdot 10^5$ tN $év^{-1}$-nek vettük. A nyert eredmények szerint a külföldi eredetű, ill. a külföldre irányuló nitrogénoxid fluxus hozzávetőleg megegyezik. Ennek következtében hasonló egyenleget mutat a hazai NO_x emisszió és a talajra ülepedett nitrogén-oxidok teljes mennyisége.

A kén- és a nitrogén-oxidok légköri mérlegeiben jelentkező néhány tizedet kitevő eltérés elhanyagolható bizonytalanságot jelent csak, az emisszió korábbi években becsült — esetenként 100%-ban is eltérő — értékeihez képest.



5. ábra: Savanyú erdőtalajok (pH<3,5) kiterjedése *a)* 1973-ban, *b)* 1980-ban, c) 2010-ben nagymértékű kénemisszió-növekedés, ill. *d)* 2010-ben kénemisszió-csökkentés esetén, *e)* Az európai kontinens jelenlegi, ill. a IIASA által becsült, várható kénemissziója (*Kauppi*, et al., 1984)

1.3 *Impakt szubmodell.* Az erdőtalaj savasodása kedvezőtlen jelenség, melyet a fakitermelés, a biomasszának az ökoszisztémában való felgyülemlése és a savas ülepedés okoz. A savasodás károsíthatja a növény gyökérzetét és ezen keresztül károsíthatja az ökoszisztéma produktivitását.

Az erdőtalaj kontinentális léptékű savasodásának szimulálására kidolgozott IIASA modell éves átlagban kiszámítja az erdőtalajok pH-ját a savas stressz és a talajok semlegesítő mechanizmusának függvényében. A savas stresszt a talaj felső rétegébe jutó hidrogén ion inputként definiálja. A talaj semlegesítő mechanizmusa a hidrogén ion fluxus nyelője. A semlegesítő mechanizmust a semlegesítés mértékével és a semlegesítési kapacitással kvan-

tifikálja. A modell összeveti a savas stressz (évi mennyiségét) mértékét és a felhalmozódott stresszt (több év alatt) a semlegesítő kapacitással. Ezen összevetés alapján ad becslést, a talaj pH értékére. A savas stressz mértékét az EMEP transzmissziós mátrixából vették úgy, hogy a kéndepozíciót savas stresszé a következő egyszerűsített konverziós faktorral végezték

$$\frac{H^+ \text{ k eq ha}^{-1}}{\text{S kg ha}^{-1}} = \frac{1}{16}.$$

A nyert eredményeket az *5. ábra* szemlélteti. Az erdőtalaj szempontjából pH = 3,5 alatti értéket vették kritikusnak *(Kauppi, et al.*, 1984). Az *5/a—5/d ábrák* világosan mutatják, hogy alacsony, illetve magas kén emisszióval járó energia ösvény választása esetén *(5/e ábra)* Európa savas talajú erdei mekkora területet foglalnak majd el.

A megengedhető savas fluxus küszöbértékeként kanadai kutatók konkrét értéket adnak meg. A 30%-os kén emisszió csökkentésről Helsinkiben aláírt Protokollban felszólítják az Egyesült Államokat, hogy kén emisszióját annyira csökkentse, hogy Kanada savasság szempontjából érzékeny ökoszisztémájú területein a nedves ülepedésből származó kéndepozíció a 20 kg $(SO_4)ha^{-1}.év^{-1}$ [= 0,67 g $(SO_4—S)m^{-2}.év^{-1}$] küszöbértéket ne haladja meg *(ECE*, 1985).

A fenti küszöbérték szigorúságát jelzi, ha azt Kanada keleti területeire jellemző 1,08 g $(SO_4—S)m^{-2}$ $év^{-1}$ mért értékkel, ill. ennek a kontinentális és hemiszférikus háttérszennyezettségből származó 0,40 g $(SO_4—S)m^{-2}$ $év^{-1}$ *(OME*, 1982), valamint 0,20 g$(SO_4—S)m^{-2}$ $év^{-1}$ *(Whelpdale*, 1978) értékeivel vetjük össze. Összehasonlíthatóság céljából bemutatjuk, hogy a hazai háttérszennyezettség mérőállomásra jellemző átlagos ülepedési értéke 1978—82 közötti időszakban 0,92 g $(SO_4—S)$ $m^{-2}.év^{-1}$.

2. *Az Európai Monitoring és Értékelési Program (EMEP) transzmissziós vonatkozásai*

2.1 *Az EMEP tevékenysége.* Az EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe) az Európai Gazdasági Bizottság (EGB) légszennyeződéssel foglalkozó Végrehajtó Bizottságának tudományos szervezete. Tevékenységének célja, hogy a résztvevő országok nemzeti hatóságai felé a határokon keresztül érkező légszennyezőanyagok mennyiségéről és azok ülepedésének mértékéről rendszeres információt biztosítsanak ahhoz, hogy ezen határokon túli hatások figyelembevételével a szennyezőanyag emisszió megengedhető mértékét lokális és regionális méretben meghatározhassák.

Az EMEP 1977-ben alakult, jelenleg III. szakaszában tart, a IV. szakasz (1987—89) munka programjának tervezése most folyik. Tervek szerint a nehéz fémek és az alsó légrétegek ózon tartalmának rendszeres mérésére is a közeljövőben sor fog kerülni.

Az EMEP Európa jelentős részére kiterjedő mérőhálózatból, Kémiai Koordináló Központból (Oszló) és két Meteorológiai Szintetizáló Központból (Moszkva, Oszló) áll. A levegő- és csapadék kémiai mérések irányítását és ellenőrzését az Oszló-i Kémiai Központ végzi. A rendelkezésre álló meteorológiai adatok felhasználásával az Oszló-i Meteorológiai Központ kéndepozíció számításokat végez és ezeket transzmissziós mátrix formájában évente közli.

2.2 *Az EMEP mérőhálózata.* Európában 1984 végén 24 országban már 86 EMEP monitor állomás működött. A célnak legjobban megfelelő automatikus csapadékgyűjtővel csak az állomások 55 százaléka van felszerelve. A levegő- és csapadék minőségi minták kémiai analízise sajnos még mindig nem egységes. Az állomáshálózat sűrűsége nem egyenletes. Magyarországon az EMEP programjában az OMSZ Központi Légkörfizikai Intézete vesz részt. Jelenleg 3 háttérszennyezettségmérő állomást (K-puszta-Kecskemét, Szarvas, Farkasfa) és 7 csapadékkémiai állomást (Keszthely, Tihany, Fűzfő, Siófok, KLFI, Fertőrákos és Napkor) működtet. Hivatalos adatközlésre csak a K-pusztai monitor állomáson mért következő komponensek kerülnek: csapadékvízben mért szulfát, nitrát, ammónium, kalcium, nátrium, magnézium, klorid, pH, vezetőképesség; aeroszol részecskék szulfát és ammónium tartalma; lebegő részecskék tömege; kén-dioxid és nitrogén-dioxid.

II. TÁBLÁZAT

Az EMEP modellel számított és K-pusztán mért kénvegyületek koncentrációjának értékei

Év	Kén-dioxid $\mu g\ S\ m^{-3}$		Szulfát aeroszol $\mu g\ S\ m^{-3}$		Csapadékszulfát $mg\ S\ l^{-1}$	
	számított	mért	számított	mért	számított	mért
1978	14,0	8,0	3,7	4,2	2,7	2,6
1979	14,0	4,0	3,8	4,4	2,6	2,1
1980	15,0	11,0	–	11,6	2,4	1,5
1981	15,0	7,0	3,7	4,0	2,6	2,0
1982	14,0	5,0	4,0	4,3	2,3	2,5
Átlag, 1978–82	14,0	7,0	3,8	5,7	2,5	2,7

2.3 *A kénfluxus számítása.* Európa fölött az alsó 1,5 km vastag légrétegben végbemenő kén fluxus rendszeres számítását az oszlói központ végzi. A számításokat a légpályák mentén áthelyeződő légoszlop (mozgó box) modellel végzi. A modell számítások kiindulási adata a kén emisszió, ill. annak területi megoszlását részletező emisszió kataszter. Bár a kelet-európai országok kén emissziójuknak hivatalosan csak évi összmennyiségét adták meg, a norvég központ ezen országokra is végez rendszeres fluxus számítást a kén emisszió feltételezett területi megoszlása alapján.

A moszkvai központ Európa keleti, ill. nyugati országai közötti határvonalon áthaladó kén fluxus számítását végzi és a számított adatokat telexen az oszlói központba továbbítja.

A jelenleg alkalmazott oszlói EMEP modell túlbecsli a magas és alábecsli az alacsony kén koncentrációkat. A *II. táblázat* tanúsága szerint például a K-pusztai háttérállomásra, a környezeti levegő kén-dioxid és a csapadék szulfát tartalmának számított koncentrációi a mért értékeket meghaladják. Az 1982-ben végrehajtott mintavétel változtatást követően a szulfát aeroszol mért értékei ($2{,}7 \mu g\ S\ m^{-3}$) is alacsonyabbak a számítottnál.

Mivel a számított kéndepozíciónak kb. fele szárazülepedésből származik, — melyet mérhetőség hiányában a számított SO_2 ill. SO_4 koncentrációinak v_d ülepedési sebességekkel való szorzatából nyernek — megállapítható, hogy az EMEP adatok Magyarországra jelentős túlbecslést mutatnak.

2.4 *Az emissziócsökkentés lehetőségei és stratégiája,* A kénemisszió csökkentése, mely redukálná a savas ülepedést, költséges lesz. *Hidy* (1984) becslése

szerint az Egyesült Államokban a jelenlegi kén emisszió 50%-os csökkentése 10—50 milliárd dollárba kerülne. Az NSZK-ban előzetes tervek szerint 1988-ig végrehajtandó kénemisszió csökkentés beruházási költsége 15 milliárd DM, évi üzemeltetési költsége 5—7 milliárd DM kerülne. Svéd szakértők számításai szerint a kénemisszió csökkentésének költsége nálunk is tetemes összegeket tenne ki (1993-ig 600 millió $ egyszeri beruházás és 200 millió $ üzemeltetés évente *(Elam*, 1979).

A fentiek értelmében fontos, hogy az emissziószabályozás költsége olyan alacsony legyen amilyen csak lehet, mégis elegendő legyen ahhoz, hogy védje az érzékeny ökoszisztémájú területeket. Vizsgálatunk célja ezért olyan módszerek körvonalazása, melyek lehetővé teszik annak optimális meghatározását, hogy érzékeny receptor területek szempontjából hol szükséges nálunk, ill. Európa más területein emisszió-csökkentést végrehajtani. Az emisszió-csökkentés optimalizálásának többsége a forrásterületek szelektív megválasztásán alapszik. A rangsorolásnak több változata létezik. Rendszerint a legnagyobb mértékű savas depozícióban részesülő receptor szempontjából célszerű az emissziócsökkentés optimalizálását megkezdeni.

Ha elfogadjuk a modellben az emisszió/depozíció összefüggés linearitásának feltételét és ebből következően azt, hogy a transzmissziós mátrix alkalmas ezirányú becslések végzésére, nincs szükség arra, hogy az emisszió megváltozása esetén a modellel költséges újrafuttatásokat végeztessünk. Elegendő ha a transzmissziós mátrix megfelelő elemeit az új emissziós értékekkel szorozzuk meg és az összes forrásra elvégezzük a szummázást.

A transzmissziós mátrix felhasználásával lehetőség nyílik arra, hogy a receptor területeken a szükséges mértékre csökkentendő ülepedési értékekből kiindulva határozzuk meg az új emisszió mezőt. Ez a következő iteratív lépésekből áll:

a) Az emisszió csökkentése néhány ill. valamennyi forrás területen,

b) Csökkentett emisszió értékek alkalmazása a transzmissziós mátrix megfelelő értékeire a csökkentett depoziciós értékek számítása érdekében,

c) A csökkentett depoziciós értékeknek, a savas ülepedés norma értékeivel való összevetése,

d) Ha ezek a norma értéket nem érik el, az emissziók további csökkentése és a (d)—(d) lépések iteratív ismétlése.

A fentiek alapján felmerül, nem biztos, hogy például egy nagyobb régióban, vagy kontinensen az azonos százalékú emissziócsökkentés lenne a probléma leghatékonyabb megközelítése. Esetleg hatékonyabb lehet azon forrásterületek szabályozása, melyeken az emisszió igen nagy, vagy jelentős transzmissziós hatást gyakorolnak érzékeny receptor területekre.

1985. július 12-én az EGB tagországainak jelentős része megállapodást írt alá a kén emisszió 1993-ra történő 30%-os csökkentésére *(Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution on the Reduction of Sulfur Emissions or their Transboundary Fluxes by at least 30 per cent)*.

A megállapodás értelmében a résztvevő országok évenként jelentik az EGB-nek kén emissziójukat, a kibocsátás számítás módszerével együtt. Az EMEP a bejelentett emisszió értékkel kén depozíció, ill. fluxus számításokat végez és ennek eredményét a korábbi évek hasonló eredményeivel együtt a résztvevő országok részére rendelkezésre bocsátja.

A Konvencióhoz az EGB nem minden tagországa csatlakozott. Az Egyesült Államok például a kén emisszió további csökkentését nem fogadta el,

amíg — véleménye szerint — a jelenlegi kutatások eredményei be nem bizonyítják, hogy azok a kén ülepedés csökkenése szempontjából hatékonyak lesznek.

Az EGB 1985 őszén hasonló konvenció előkészítését kezdte meg a nitrogén-oxidokra vonatkozóan.

3. Következtetések

3.1 A savas eső folyamatának tudományos igényű szimulálásának még jelentős mértékű bizonytalanságokkal kell szembenéznie; egyes kérdésekben ugyanis ellentmondó nézetek uralkodnak,

3.2 Légszennyezőanyagok transzmissziójának modellezésénél az emisszió és a depozíció között lineáris összefüggést célszerű feltételezni addig, amíg a következő tényezők figyelembevételének megbízhatósága nem változik:

a) Az emissziókataszterek csak első közelítésnek tekinthetők. *Hidy* (1984) véleménye szerint ennek ellenére rendkívül kevés történik az alkalmazott kataszterek megbízhatóságának minősítésére. Az NO_x, a szénhidrogének, a lebegő részecskék és nehéz fémek emissziós adatai még a kén-oxidoknál is bizonytalanabbak. Célszerű ezért idő, terület és forrásmagasság szerinti bontásban országos emissziókatasztert kialakítani.

b) Európa szerte egységesített mérési (mintavételi és analitikai) módszerekkel végzett hosszúsorozatú levegő- és csapadék kémiai adatokra van szükség megbízható trendek megállapításához, a transzmissziós paraméterek optimalizálásához és második generációs modellek verifikálásához.

A fenti nehézségek ellenére a jelenleg rendelkezésre álló transzmissziós modellek közelítő választ adhatnak a levegőkészlet- gazdálkodás, ill. a levegő- és csapadék minőség szabályozás által feltett gyakorlatias kérdésekre, ha azok megbízhatóságának korlátait világosan megadják.

3.3 Nemzetközileg koordinált, interdiszciplináris közelítésű és az integrált környezeti monitoring speciális igényeit figyelembe vevő mérésekre, ill. adatgyűjtésre lenne szükség ahhoz, hogy dózis/hatás összefüggések megállapíthatók, ill. reális ökológiai normák kidolgozhatók legyenek.

3.4 A savas ülepedés témakörének célszerű lenne esetleges gazdasági kihatásait is figyelembevevő tudományos igényű interdiszciplináris hazai kutatását mielőbb megkezdeni az energia/emisszió, transzmisszió és impakt diszciplinák kollaborációjában.

SZAKIRODALOM

Alcamo, J., P. Kauppi, M. Posch and *E. Runca*, 1984: Acid Rain in Europe: A Framework to Assist Decesion Making. WP-84-32. IIASA, 2361 Laxenburg, Austria.

BFT, 1984: Budapest hosszútávú környezetvédelmi koncepciója. Helyzetfeltárás. Budapest Főváros Tanácsa, Közmű- és Mélyépítési Főigazgatósága, Környezetvédelmi Osztály. Budapest.

Bónis, K., 1981: Nitrogénvegyületek légköri mérlege Magyarország fölött. *Időjárás, 85.* 149–156.

ECE, 1985: Report of the Third Session of the Executive Body. ECE/EB. AIR/7. United Nations. Economic and Social Council. Geneva.

Elam, N., 1979: Present and Future Levels of Sulphur Dioxide Emissions in Northern Europe. Summary and Conclusions. The Swedish Ministry of Agriculture. Stockholm, Sweden.

Eliassen, A., 1982: Non-linear Atmospheric Chemistry and the Emission-deposition Relationship for Sulphur Pollutants. EMEP/MSC–W, Note 1/1982, ECE, Geneva.

Eliassen, A. and *J. Saltbones*, 1983: Modeling of Longrange Transport of Sulphur over Europe:

A Two-year Model Run and some Model Experiment. Atmos. Environ., 17. 8. 1457–1473.
EPA, 1984: Guideline on Air Quality Models (Revised Draft) U. S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, N. C. 27711.
Fekete K., 1986: A savas eső országos modellje. *Időjárás, 90.* 103–114.
Hidy, G. M., 1984: Source-receptor Relationships for Acid Deposition: Pure and Simple? A Critical Review. JAPCA, 34. 5. 518–531.
Kauppi, P., M. Posch, E. Matzner, L. Kauppi and *J. Kämäri*, 1984: Acidification of Forest Soils: Model Development and Application for Analyzing Impacts of Acid Deposition in Europe. CP-84-16. IIASA, 2361 Laxenburg, Austria.
Mészáros E., 1985: On the Wet Removal of Gaseous and Particulate Sulfur and Nitrogen Species from the Atmosphere. J. of Atmos. Chemistry, 2.
MOI, 1982: Atmospheric Sciences and Analysis-Work Group 2. US-Canada Memorandum of Intent on Transboundary Air Pollution. Offices of Environmental Processes and Effects Research, U.S. EPA, Washington, D.C.
NAS, 1983: Acid Deposition-Atmospheric Processes in Eastern North America. National Academy of Sciences. Report of the Committee on Atmospheric Transport and Chemical Transformation in Acid Precipitation. National Academy Press, Washington, D.C.
OME, 1982: Second Report of the United States-Canada Research Consultaiton Group on the Long-range Transport of Air Pollutants. Ontario Ministry of the Environment. Canada.
Popovics M., Szepesi D., Horváth L., 1986: A levegő- és a csapadék-minőség területi és időbeli változása Európában. *Időjárás, 90.* 131–142.
Samson, P. J., 1984: The Meteorology of Acid Deposition. JAPCA 34. 1. 20–24.
Szepesi, D., 1979: An Attempt to Generalize the Concept and Factors of Air Quality Management. Special Environmental Report No. 14. WMO–No. 549. Geneva.
Szepesi, D., 1986: Applications of Meteorology to Atmospheric Pollution Problems. Technical Note. SMO. Geneva. (Megjelenés alatt)
Szepesi, D., Fekete, K., 1986: Background Levels of Air and Precipitation Quality for Europe. Presented at the EURASAP Meeting, Budapest, April 22–24, 1986.
Whelpdale, D. M., 1978: Atmospheric Pathways of Sulphur Compounds, MARC Report 8, Chelsea College, University of London.
Závodsky, D., M. Mitosinkova, 1984: Estimation of Atmospheric Budget of Nitrogen Compounds over Czechoslovakia. *Időjárás, 88*, 202–209.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2–3. szám, 1986. március–június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2–3. March–June 1986. Budapest

A savas eső országos modellje

FEKETE KATALIN, *Központi Légkörfizikai Intézet, H—1675 Budapest, Pf. 39*

Simulation of acid deposition on a regional scale. An operative model for the simulation of the air and precipitation quality is presented. The aim of the simulation is to take into account quantitatively the complex effect of the following factors, parameters and input data: Source inventory for sulfur and nitrogen oxides, effective height of the source, wind pattern in the transport layer, mixed layer height, precipitation conditions, transformation, wet and dry deposition, continental and hemispheric background values of air and precipitation quality. The output of the model is regional scale territorial distribution of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, aerosol sulfate and nitrate and precipitation sulfate and nitrate. This first generation model estimates yearly average concentrations and it is validated based on 5 years of data measured at the Regional Background Pollution Station in Hungary. According to the findings two-thirds of the maximum acid deposition results from sulfur compounds while one-third from nitrogen compounds. The maximum acid deposition is considerable in the central part of Hungary (280 $[H^+]_{max}$ meq/($m^2 \cdot a$), while it is the lowest at the south eastern part (< 200 $[H^+]_{max}$ meq/$m^2 \cdot a$) of the country.

⁂

A savas eső országos modellje. A tanulmány a légköri kén- és nitrogénvegyületek koncentrációjának, száraz- és nedves ülepedésének, valamint az általuk okozott maximális savterhelésnek a meghatározására kidolgozott transzmissziós modellt ismerteti. A hosszú sorozatú mérés alapján vertifikált modellel meghatározható Magyarországra a területi- és magas forrásokból, valamint a külföldi forrásokból eredő regionális szennyezettség évi átlagos mértéke. A savas eső szimulációs modellje a levegőminőség-tervezés gyakorlatában első közelítésként alkalmazható. A számítási eredmények azt mutatták, hogy a maximális savterhelés kb. kétharmada a légköri kénvegyületekből származik. A hidrogénion egyenértékben kifejezett maximális savterhelés Magyarország középső részén számottevő, a fővárostól északra eső maximális értékkel (280 $meH^+_{max}/(m^2 \cdot év)$). A legkisebb savterhelés a délkeleti országhatár közelében alakul ki [< 200 $meH^+_{max}/(m^2 \cdot év)$].

⁂

Bevezetés. Az ásványi eredetű tüzelőanyagok égetésekor kén- és nitrogénoxidok keletkeznek, amelyek a légkörbe kerülve tovább oxidálódnak és savas vegyületek jönnek létre. Ezek az anyagok hosszabb-rövidebb idő után a légkörből a felszíni vizekbe, a talajba kerülnek, rárakódnak a növényekre, az épületek felületére stb. Bár a figyelem középpontjába újabban a savas eső került, ez tulajdonképpen magába foglalja a savas vegyületek kikerülését légkörből száraz ülepedés, illetve csapadék kimosódás útján. Minthogy a légköri szennyezés hosszúidejű hatásai nagyobb veszélyt jelentenek, ezért károsodás szempontjából a savas vegyületek hosszabb időtartam (hó, évszak, év) alatt lerakodó mennyisége a meghatározó.

A savas vegyületek a légáramlással terjedve több száz, illetve néhány

ezer kilométer távolságra is eljuthatnak, ezért a savasodás problémája elsősorban kontinentális, illetve regionális léptékben jelentkezik.

Jelen vizsgálat célja: a légköri savas ülepedés országos léptékű modelljének kidolgozása, és alkalmazása Magyarország különböző , lokális források közvetlen hatásától mentes vidékeire.

1. Szakirodalmi áttekintés

A nagy távolságú transzmissziós modellek—amelyek összefüggést teremtenek a megfelelő léptékű emissziós mező között—három alaptípusát különböztetjük meg.

1. *Lagrange-féle módszer:* a forrás, az immisszió, ill. az ülepedés közötti kapcsolatot a légáramlással együtt mozgó levegőtérfogatra számítja ki,

2. *Euler-féle módszer:* az emissziós- és transzmissziós mező, valamint az átalakulási és ülepedési folyamatok térbeli változását helyhez kötött koordináta rendszerben szimulálja,

3. *Statisztikai módszer:* a forrásokból emittált szennyező anyagokat az átlagos szél mentén helyezi át, miközben azok szóródnak, ill. kikerülnek a légkörből.

A modellek alkalmazásához általában ismernünk kell a szennyező anyagok emisszió-sűrűségét, a kevert réteg vastagságát és a kevert rétegre jellemző légáramlást.

A levegőbe került kén- és nitrogén-oxidok a savasodást előidéző legfontosabb szennyezőanyagok. A kén- és a nitrogénvegyületek nagytávolságú transzmissziójának szimulálásával több kutató foglalkozott. Sor került már a legsikeresebb modellek összehasonlítására is. *Ruff et al.*, (1985) 42 modellből kiválasztott három regionális modellel határozta meg a kén-dioxid és a szulfát koncentrációját és ülepedését. A modellek 24 óra vagy ennél rövidebb átlagolási időtartamra nem adtak a gyakorlati alkalmazás szempontjából használható eredményt, relatív hozzájárulásuk mértéke is tisztázásra szorul. A bizonytalanságokat a szerzők megbízható terepmérések alapján látják kiküszöbölhetőnek. *Mei-Kao Liu et al.*, (1982) Mathematical model for the analysis of acid deposition, a kézirat hét regionális léptékű transzmissziós modellt hasonlított össze. A modelleket alkalmasnak találták források relatív hozzájárulásának becslésére, minthogy azonban a nedves ülepedést csak nagyságrendileg adják meg, szabályozás orientált alkalmazásra nem megbízhatók. A modellek közül nem tudták a legjobbat kiválasztani; a mérésekkel való aránylag jó egyezés az ún. Monte-Carlo módszernél adódott.

Az Európai Gazdasági Bizottság Európai Monitoring és Értékelési Programja (EMEP) keretében a Nyugati Meteorológiai Szintetizáló Központ, trajektória mentén mozgó box-modell alkalmazásával, rendszeres számításokat végez egyes európai országokban — a különböző országokból eredő — leülepedő kén mennyiségére vonatkozóan *(Lehmhaus et al.*, 1983).

Hollandiában négy intézet közreműködésével országos modellt dolgoztak ki az évi átlagos kén-dioxid szennyezés meghatározására *(Niewstadt et al.*, 1976, *CEP Report*, 1981). Figyelembe vették az összes belföldi, valamint a környező országok kén-dioxid emittáló forrásait; pont- és területi forrást különböztettek meg. 5 km×5 km-es rácshálózatra számított SO_2 értékeik a — számos ponton végzett méréssel összevetve — 20 százalékkal magasabbak voltak.

Hazánkban a kén-dioxid és a szulfát-aeroszol nagy távolságra történő terjedésének szimulációs modelljét *Szepesi et al.* (1982) dolgozták ki. A modell egyes transzmissziós paramétereit Kecskemét mellett lévő regionális háttér-

szennyezettség-mérő állomáson egy évre, illetve két nyári hónapra végzett számítások és mérések alapján optimalizálták. A mért és a számított 24 órás átlagolási időtartamra vonatkozó koncentrációk közötti korrelációs koefficiens 0,72 volt. *Iványi és Mersich* (1984) három magyar regionális háttérszennyezettségmérő állomásra — az általuk kidolgozott egyszerű, objektív számítógépes trajektória-modellel — kettő és négy napos trajektóriákat szerkesztettek egy évi időtartamra. Ezáltal lehetővé vált a legvalószínűbb forrásterületek megjelölése.

Závodsky és *Mitošinkova* (1984) a kémiai átalakulás és az ülepedés hatását is figyelembe vevő egyszerű trajektória-modellel kilenc kelet-európai országra határozta meg a nitrogén-oxidok ülepedését.

A nagytávolságú transzmisszió szimulálására — mint a fentiekből is kitűnt — különböző modelleket dolgoztak ki, ennek ellenére a probléma — különösen a nitrogénvegyületek esetében — nem megoldott. A modellek alkalmazhatóságának főbb korlátait az alábbiakban látjuk:

— Nem ismeretesek az emisszió kataszterek, vagy nagyon bizonytalanok.

— A magaslégköri adatok idő- és térbeli felbontása erősen korlátozott.

— A teljes száraz- és nedves ülepedés modellszimulációja nehezen ellenőrizhető, mivel a száraz ülepedés mérése nem megbízható.

A légköri savas ülepedés transzmissziójának modellezésére még csak kezdeti lépések történtek, részben a probléma összetettsége következtében, részben amiatt, hogy a „savas eső" kvantitatív leírása csak néhány éve került a figyelem előterébe. A légköri savasság keletkezésének tudományos értelmezése terén a bizonytalanság jelentős, több kérdést illetően ellentétes nézetek uralkodnak. A modellezés ezideig elsősorban csak a savasságot előidéző tényezők valamelyikére irányult.

A légköri savas ülepedés szimulálása terén úttörő kezdeményezésnek számít a IIASA (International Institute for Applied Systems) első generációs, kontinentális léptékű modellje, amellyel a kénemisszió, a kénülepedés, ill. az erdőtalajok pH értékének összefüggése szimulálható Európára *(Alcamo et al.*, 1984). Fő céljuk volt, hogy a savasság problémáját komplex közelítésben derítsék fel, amely az európai szabályozási stratégiához útmutatóul szolgálhat. Számításaik az országok egész területére irányultak, így az ezen belüli régiók savasságára nem adnak információt.

2. *A savas ülepedés transzmissziós modellje*

A légköri savas ülepedés országos léptékű modelljének kidolgozásakor az alábbi alapelvet követtük.

Kiindultunk a hazai alacsony- és magas-, valamint a külföldi források kén-dioxid és nitrogén-dioxid emisszió kataszteréből. A belföldi- és külföldi alacsony forrásokból eredő koncentrációt légpálya mentén mozgó box-modellel, a magas forrásokból származót a Gauss-modellel szimuláltuk; majd a nyert szennyező hatásokat a háttérszennyezettség értékeihez hozzáadtuk. A vizsgálat során a kikerülési és átalakulási paraméterek újabb parametrizációja vált szükségessé, ami a számítások és a mérések adatainak összevetése alapján történt. A megfelelő parametrizáció figyelembe vételével nyertük a kén-dioxid, a szulfát-aeroszol, a nitrogén-dioxid, a nitrát-aeroszol és a salétromsav-gőz száraz ülepedéssel kikerülő mennyiségeit. Más módszerrel történt a légköri szulfát és a nitrát nedves ülepedésének meghatározása, aholis a mért adatok szerint kapott regressziós összefüggést alkalmaztuk.

A különbözőképpen megállapított száraz- és nedves ülepedési értékekből *Horváth* (1985; Savas eső, kézirat) maximális savterhelést számítottunk.

A továbbiakban rátértünk a légköri savas ülepedés országos léptékben kidolgozott modelljének részletes ismertetésére.

A maximális savterhelés számítása hidrogénion egyenértékben kifejezve $[eH^{+}_{max}/(m^2 \cdot év)]$ a következő algoritmus felhasználásával történik:

$$eH^{+}_{max}/(m^2 \cdot év) = \frac{1}{16}\,[D_{sz}\,(SO_2 - S) + D_{sz}\,(SO_4^{2-} - S) + D_n\,(SO_4^{2-} - S)] +$$

$$+ \frac{1}{14}[D_{sz}\,(NO_2 - N) + D_{sz}\,(NO_3^{-} - N) + D_{sz}\,(HNO_3 - N) + D_n\,(NO_3^{-} - N)], \quad (1)$$

ahol: $D_{sz}\,(SO_2 - S)$, $D_{sz}\,(SO_4^{2-} - S)$, $D_{sz}\,(NO_2 - N)$, $D_{sz}\,(NO_3^{-} - N)$, $D_{sz}(HNO_3 - N)$; $g/(m^2 \cdot év)$ = a kén-dioxid és a szulfát-aeroszol, ill. a nitrogén-dioxid, a nitrát-aeroszol és a salétromsav-gőz receptorpontra számított száraz ülepedése,

$D_n\,(SO_4^{2-} - S)$, $D_n\,(NO_3^{-} - N)$; $g/(m^2 \cdot év)$ = a légköri szulfát és nitrát receptorpontra számított nedves ülepedése.

Az (1) összefüggésben a száraz ülepedéssel kikerülő szennyezőanyag mennyiségét az alábbi kifejezéssel számítjuk:

$$D_{sz} = cIv_d, \quad (2)$$

ahol: c, $(g \cdot s)/(\mu g \cdot év)$ = átszámítási tényező,

I, $\mu g/m^3$ = adott szennyezőanyag esetén a receptorpontra számított évi átlagos regionális koncentráció érték,

v_d, m/s = a légszennyező anyag fajtájától függő ülepedési sebesség *(Szepesi et al.* 1982; *Mészáros* és *Horváth*, 1984; *Závodsky* és *Mitošinkova*, 1984)

A légköri szulfát nedves ülepedésének számításához Európában, 1978—82 között folyó csapadék-szulfát-, kén-dioxid- és szulfát-aeroszol regionális háttérkoncentráció, valamint csapadékmennyiség mérések átlagos évi adatai alapján megállapított területi eloszlásból *(Szepesi* et. al. 1985) indultunk ki. Közép-Európa 260 rácspontjára leolvasott értékekből az alábbi regressziós összefüggést kaptuk (korrelációs együttható 0,73):

$$D_n\,(SO_4^{2-}) = 0{,}001\,P[0{,}038\,I\,(SO_2 - S) + 0{,}426\,I\,(SO_4^{2-} - S) + 0{,}385]. \quad (3)$$

A légköri szulfát nedves ülepedését a számított kéndioxid- és szulfát-aeroszol koncentrációk felhasználásával a (3) kifejezéssel határoztuk meg.

A légköri nitrát nedves ülepedésének számításához a K-pusztai regionális háttérszennyezettség-mérő állomáson 1982. júl.—1984. jún. között folyó csapadéknitrát-, nitrogén-dioxid-, nitrát-aeroszol- és salétromsav-gőz koncentráció (csapadékos napokon vett minták alapján), valamint csapadékmennyiség mérések adataiból *Mészáros* és *Szentimrei* (1985) által megállapított regressziós összefüggést (korrelációs együttható 0,56) alkalmaztuk. Ennek egy évre vonatkozó, módosított alakja a következő:

$$D_n\,(NO_3^{-} - N) = 0{,}001\,P[0{,}02\,I(NO_2 - N) + 0{,}29\,I\,(NO_3^{-} - N) + 0{,}23\,I\,(HNO_3 - N) + 0{,}40]. \quad (4)$$

A (2) és a (4) kifejezésekben P mm-ben a receptorpontban, egy átlagos évben előforduló csapadékmennyiség.

Az (1)—(4) összefüggések alkalmazásához valamely lokális források közvetlen hatásától mentes területen levő receptorpontban, a kén- (kén-dioxid, szulfát-aeroszol) és a nitrogénvegyületek (nitrogén-dioxid, nitrát-aeroszol,

salétromsav-gőz) évi átlagos koncentrációjának ismerete szükséges. A koncentrációnak ez az értéke különböző típusú hazai, illetve különböző távolságban lévő külföldi légszennyező forrásokból származó koncentrációk összegeződéséből alakul ki, vagyis

$$I = I_t + I_m + I_{k1} + I_{k2}, \tag{5}$$

ahol I_t, I_m, I_{k1}, I_{k2}; $\mu g/m^3$ = a belföldi területi- (I_t), a belföldi magas- (I_m), illetve a legfeljebb 800 km-re (I_{k1}), valamint azon túl (I_{k2}) lévő külföldi forrásokból eredő koncentrációk. Területi forráson az ország 25 km × 25 km-es területegységén elhelyezkedő, legfeljebb 100 m magas légszennyező források összességét értjük. Magas forrásokhoz a 100 m feletti kémények tartoznak.

I. TÁBLÁZAT

Légköri kén- és nitrogénvegyületek I_{k2} *koncentrációi,* $\mu g/m^3$

Kénben		Nitrogénben		
Kén-dioxid	Szulfát-aeroszol	Nitrogén-dioxid	Nitrát-aeroszol	Salétromsav-gőz
1,2	1,0	0,4	0,05	0,05

Az I_{k2} koncentráció — mely az *I. táblázat*ban látható — a hemiszférikus háttérszennyezettség becsült értéke. Kén-dioxid, szulfát-aeroszol és nitrogén-dioxid esetén ezt a becsült értéket az európai hálózatban 1978—82 között végzett koncentráció mérések évi átlagos területi eloszlásából, az Atlanti-óceán francia partjainál valószínűsíthető érték szerint vettük. A nitrát-aeroszol és a salétromsav-gőz háttérszennyezettsége *Bónis et al.* (1980) által megadott érték.

A belföldi és a közeli külföldi források által okozott évi átlagos koncentrációt a nyolc égtáj-iránynak megfelelő 45 fokos szektorra számított koncentrációknak (I_t^Θ, I_{k1}^Θ) az 500 m-en mért f_k szélirány gyakoriság *(Béll,* 1954) szerint súlyozott átlaga adja:

$$I_{t,k1} = \frac{\sum_{k=1}^{8} f_k I_{t,k1}^\Theta}{100} \tag{6}$$

Valamely szennyezőanyag adott receptorpont körüli, 45 fokos szektorból származó évi átlagkoncentrációját belföldi területi források esetén három szektorrészből összeadódóan, külföldi források esetén pedig az ország területén kívül a receptorponttól 800 km távolságig található forrásokból számítjuk *(1. ábra)*, a következő összefüggések segítségével *(Szepesi et al.* 1982):

Kén- és nitrogén-dioxidra:

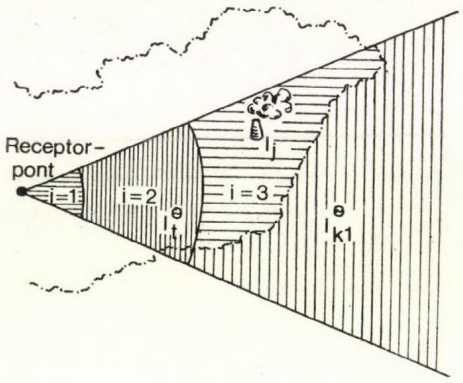
$$I_{t,k1}^\Theta = \frac{E \, \Delta t}{H_{max}} \exp\left[-0{,}693\left(\frac{dt_1}{\tau_1} + \frac{dt_2}{\tau_2} + \frac{dt_3}{\tau_3}\right)\right]. \tag{7}$$

Szulfát- és nitrát-aeroszolra, valamint salétromsav-gőzre:

$$I^{\Theta}_{t,k1} = \frac{k\ C\ E\ \Delta t}{H_{max}} \left\{ \exp\left[-0{,}693 \left(\frac{dt_4}{\tau_4} + \frac{dt_5}{\tau_5} \right) \right] - \right.$$

$$\left. - \exp\left[-0{,}693 \left(\frac{dt_1}{\tau_1} + \frac{dt_2}{\tau_2} + \frac{dt_3}{\tau_3} \right) \right] \right\}, \qquad (8)$$

$$C = \frac{dt_2/\tau_2}{dt_1/\tau_1 + dt_2/\tau_2 + dt_3/\tau_3 - dt_4/\tau_4 - dt_5/\tau_5}$$



1. ábra: Adott receptorpont környezetéből kiválasztott 45 fokos szektor és részei, amelyek alapján az emissziót a koncentráció-számításoknál figyelembe veszik

A receptorpontban a magas források által okozott évi átlagos koncentrációt az egyes forrásokból eredő koncentrációk (I_j) összegezése adja:

$$I_m = \sum_j I_j \qquad (9)$$

A j-edik magas forrásból eredő évi koncentrációt az (u_j, S_j, P_j) előforduló értékegyütteseire számított koncentráció értékekből [I_j (u_j, S_j, P_j)] következőképpen állapítjuk meg:

$$I_j = \frac{\sum_{u_j} \sum_{S_j} \sum_{P_j} f_{\Theta j}\ I_j\ (u_j, S_j, P_j)}{8760}, \qquad (10)$$

ahol $f_{\Theta j}$ = azon órák évi száma, amikor a j-edik magas forrás által a receptorpontot szennyező 45 fokos Θ_j szélirány szektorban az (u_j, S_j, P_j) értékegyüttesek előfordulnak *(Béll*, 1954; *Szepesi*, 1967).

Az I_j (u_j, S_j, P_j) koncentráció értékeket az alábbi összefüggésekkel számítjuk *(Szepesi et al.* 1982; *Fekete* et al., 1983):

Kén- és nitrogén-dioxidra:

$$I_j\ (u_j, S_j, P_j) = \frac{2{,}032\ E_j}{\sigma_{zj}\ u_j\ x_j} \exp\left(-\frac{H_j^2}{2\sigma_{zj}^2} \right) \cdot$$

$$\cdot \left\{ \exp\left[-0{,}693 \left(\frac{x_j}{u_j\ \tau_1} + \frac{x_j}{u_j\ \tau_2} + \frac{x_j\ P_j}{u_j\ \tau_3} \right) \right] \right\}, \qquad (11)$$

Szulfát- és nitrát-aeroszolra, valamint salétromsav-gőzre:

$$I_j\ (u_j,\ S_j,\ P_j) = \frac{2{,}032\ k\ C_j\ E_j}{\sigma_{zj}\ u_j\ x_j} \exp\left(-\frac{H_j^2}{2\,\sigma_{zj}^2}\right) \cdot \left\{\exp\left[-0{,}693\left(\frac{x_j\ P_j}{u_j\ \tau_4} + \frac{x_j}{u_j\ \tau_5}\right)\right]\right.$$
$$\left. - \exp\left[-0{,}693\left(\frac{x_j}{u_j\ \tau_1} + \frac{x_j}{u_j\ \tau_2} + \frac{x_j\ P_j}{u_j\ \tau_3}\right)\right]\right\}, \qquad (12)$$

$$C_j = \frac{\dfrac{x_j}{u_j\ \tau_2}}{\dfrac{x_j}{u_j\ \tau_1} + \dfrac{x_j}{u_j\ \tau_2} + \dfrac{x_j\ P_j}{u_j\ \tau_3} - \dfrac{x_j\ P_j}{u_j\ \tau_4} - \dfrac{x_j}{u_j\ \tau_5}}$$

A (7), (8), (11) és (12) kifejezésekben használt jelölések:

E, $\mu g/(m^2 \cdot s)$ — az emisszió átlagértéke, mely adott 45 fokos szektorban

I_t számításakor: az i-edik részben lévő hazai területi forrásokból,

I_{k1} számításakor: az ország területén kívül, a receptorponttól 800 km távolságig elhelyezkedő forrásokból származik. Az emisszió átlagát I_t-re 25 km × 25 km, I_{k1}-re pedig 100 km × 100 km rácselem felbontású, évszakos kén-dioxid, valamint évi nitrogén-dioxid (nitrogénben kifejezve) emisszió kataszterből határozzák meg.

Δt, s — az áramvonal időbeli felbontása, mely

I_t számításakor: 3, 6 és 12 órás időtartam,

I_{k1} számításakor: az az időtartam, amely alatt a légpálya mentén mozgó légrészecske 800 km-es távolságból eléri az országhatárt.

H_{max}, m — a kevert réteg vastagságának évi, illetve évszakos átlagos maximális értéke *(Fekete* et al., 1983),

dt_1, dt_2, dt_3, dt_4, dt_5; s — rész-időtartamok, amelyek alatt a légszennyező anyag a száraz ülepedés (dt_1: SO_2-re vagy NO_2-re ; dt_5: SO_4^{2-}-re vagy $NO_3^- + HNO_3$-ra), az átalakulás (dt_2) és a nedves ülepedés (dt_3: SO_2-re vagy NO_2-re, dt_4: SO_4^{2-}-re vagy $NO_3^- + HNO_3$-ra) hatása alatt állt,

τ_1, τ_2, τ_3, τ_4, τ_5; s — a szennyezőanyag parciális felezési idői, amelyek a száraz ülepedési (τ_1, τ_5), az átalakulási (τ_2) és a nedves ülepedési (τ_3, τ_4) mechanizmusok sebességétől függő koefficiensek. Ezek a légszennyező források típusától, illetve helyétől, valamint a légszennyező anyag fajtájától függő értékek *(Szepesi* et al., 1982; *Závodsky* és *Mitošinkova*, 1984),

k értéke — a szulfát-aeroszol számításakor 1,53; különben 1,

E_j, $\mu g/s$ — a j-edik magas forrás évi átlagos kén-dioxid, valamint nitrogén-dioxid emissziója,

σ_{zj}, m — a j-edik magas forrás füstfáklyájának szélre merőleges turbulens szóródási együtthatója *(Fekete* et al. 1983),

S_j, — a légköri stabilitási indikátor,

u_j, m/s — a j-edik magas forrás füstfáklyájára jellemző szélsebesség,

x_j, m — a j-edik magas forrás és a receptorpont közötti távolság,

H_j, m — a j-edik magas forrás kibocsátásának effektív magassága,

P_j, — a csapadék előfordulást figyelembevevő tényező; száraz időszakban értéke 0, csapadék esetén 1.

A fentiekben részletezett transzmissziós modellel számításokat végeztünk a Kecskemét mellett lévő K-pusztai regionális háttérszennyezettség-mérő

II. TÁBLÁZAT

Kén- és nitrogénvegyületek számított és mért értékei. K-puszta, 1978–1982

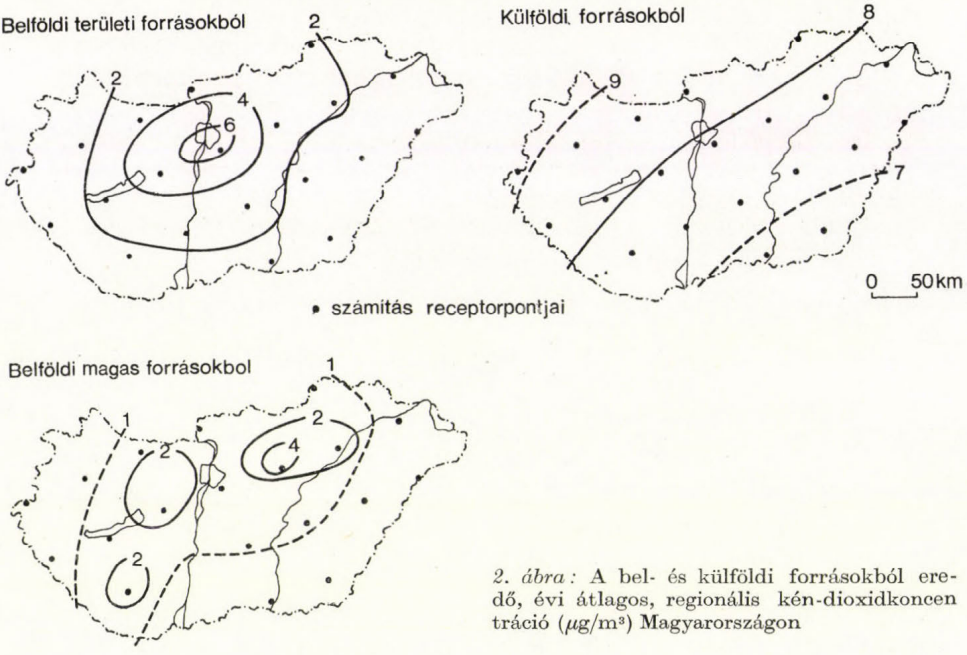
Érték	Évi átlagos koncentráció, $\mu g/m^3$					Nedves ülepedés, $g/m^2 \cdot év$	
	Kénben		Nitrogénben			Kénben	Nitrogénben
	Kén-dioxid	Szulfát-aeroszol	Nitrogén-dioxid	Nitrát-aeroszol	Salétromsav-gőz	Szulfát	Nitrát
Számított	7,4	2,7	2,3	0,5	0,5	0,79	0,36
Mért	7,4	2,3*	2,3	0,5	0,6	0,92	0,37

* 1983. évi adat

állomásra. A számítási eredményeket az állomáson 1978—82 közötti időszakban mért adatok évi átlagértékeivel vetettük össze *(II. táblázat)*. Látható, hogy a mért és a számított koncentrációk igen jó egyezést mutattak: az eltérés még szulfát-aeroszolnál is csak 0,4 $\mu g/m^3$ volt. Ugyancsak jó egyezést kaptunk a légköri nitrát nedves ülepedésénél. A számított és mért értékek leginkább a szulfát nedves ülepedésénél különböztek; a számítás közel 30 százalékkal alacsonyabb értéket adott. A száraz ülepedésre és a maximális savterhelésre vonatkozóan mérési adatok nem voltak, de más elméleti vizsgálatokkal ezek is jó egyezést mutattak *(Szepesi* et al. 1985).

3. *A légköri kén- és nitrogénvegyületek koncentrációja, ülepedése és maximális savterhelése Magyarországon*

A légköri kén- és nitrogénvegyületek évi maximális savterhelésének meghatározására kidolgozott transzmissziós modellel Magyarország különböző—



2. ábra: A bel- és külföldi forrásokból eredő, évi átlagos, regionális kén-dioxidkoncentráció ($\mu g/m^3$) Magyarországon

lokális források közvetlen hatásától mentes — receptorpontjaira számításokat végeztünk. E számítások részeredményeként a következőket határozhattuk meg:

— a belföldi területi- és magas forrásokból, valamint a külföldi forrásokból eredő regionális évszakos, illetve évi átlagos kén-dioxid- és szulfát-aeroszol-, valamint évi átlagos nitrogén-dioxid, nitrát-aeroszol- és salétromsav-gőz koncentráció,

— az előbbiekre vonatkozóan a talajra száraz ülepedési mechanizmussal lerakódott szennyezőanyag mennyiségei,

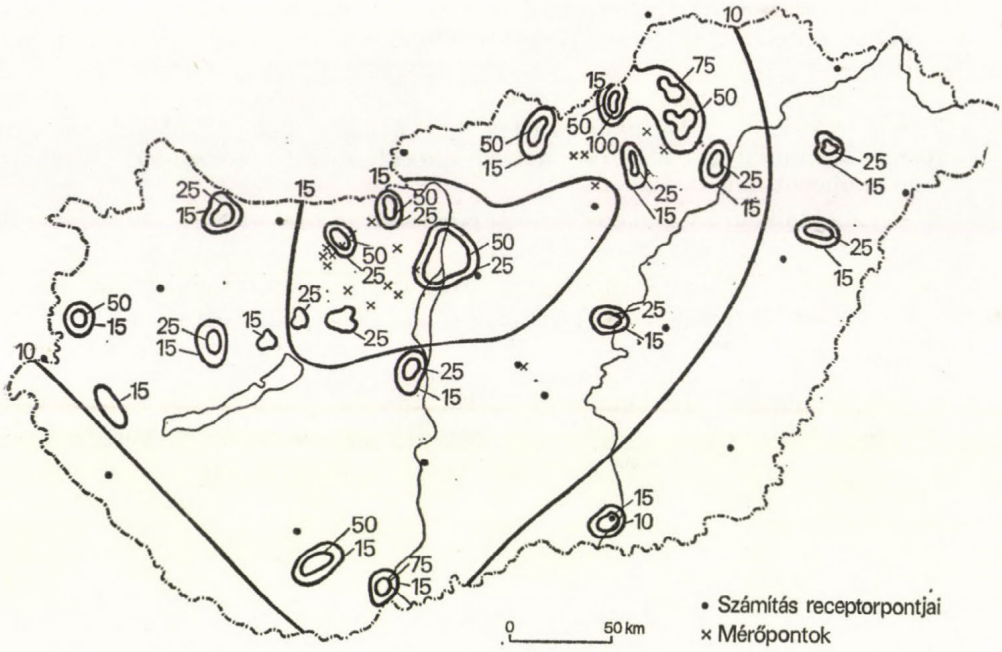
— a légköri szulfát és nitrát csapadék útján kimosott évi mennyiségei.

E részeredmények is jól alkalmazhatók a levegőminőség-tervezés gyakorlatában, értékes információval szolgálnak a szennyezettség eredetére, mértékére vonatkozóan az ország különböző tájain.

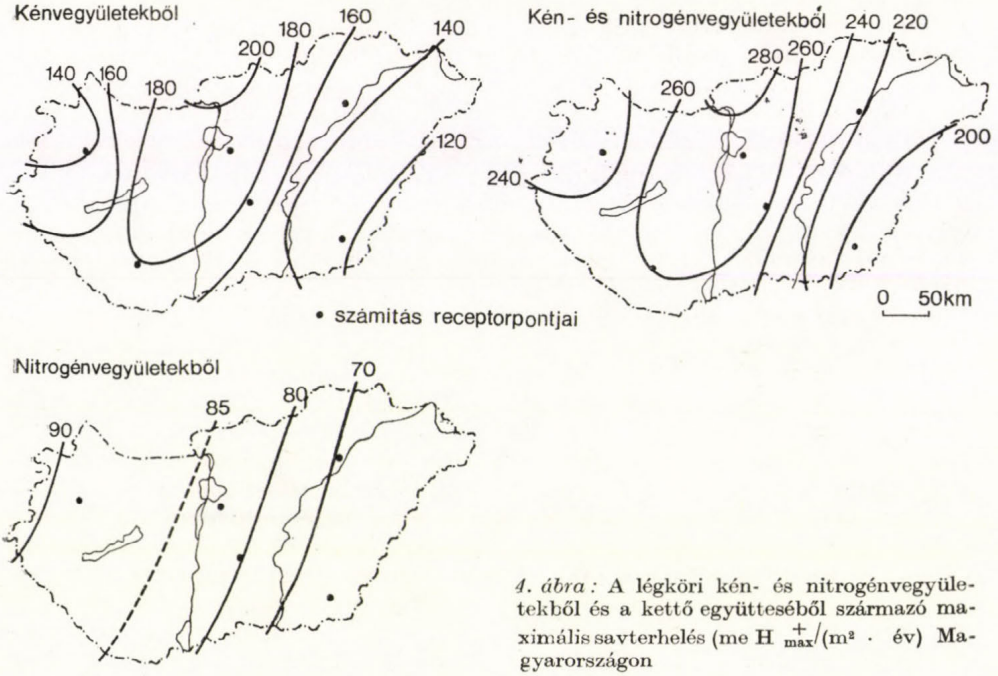
A legrészletesebb térbeli vizsgálatot a kén-dioxid évi átlagos koncentrációjának meghatározására végeztük. A számítás az országban egyenletesen elosztva, 20 receptorpontra történt.

A különböző forrásokból eredő évi átlagos regionális kén-dioxid koncentráció mezejét a *2. ábra* szemlélteti. Látható, hogy a belföldi területi források a főváros környezetében okozták a legnagyobb szennyezettséget (6 $\mu g/m^3$), mely hatás innen kiindulva északkelet-délnyugat felé elhúzódva csökkenő tendenciát mutatott. A legkisebb regionális koncentrációk keleti-, déli- és nyugati határrészeken alakultak ki. A belföldi magas források által okozott kén-dioxid terhelés ott nagyobb, ahol a vizsgálati pontok nagy erőművek közelébe estek. Így a 4 $\mu g/m^3$-es érték a Visontai Hőerőmű szennyező hatását tükrözi. A külföldi források okozta szennyezettség az ország északnyugati részéből délkelet felé haladva csökken. A különböző forrásokból eredő koncentrációk országos eloszlása összhangban van a nagy kén-dioxid emissziójú területek elhelyezkedésével, valamint az országra jellemző leggyakoribb északnyugati áramlással. Magyarország regionális kén-dioxid háttérszennyezettségének kb. kétharmada — más vizsgálatokkal összhangban *(Szepesi et al.* 1982; *Lehmhaus et al.*, 1985) — országos átlagban külföldi forrásokból ered. A belföldi források közül a területi források szennyező hatása a jelentősebb.

A *3. ábra* a kén-dioxidnak a regionális és lokális léptékű szennyező folyamatok együttes hatására kialakult évi átlagos koncentrációját ($\mu g/m^3$) mutatja Magyarországon. A regionális összetevő a 2. ábrán bemutatottak összegezéséből származik *(Szepesi* et al. 1982). A lokális és települési léptékű szennyező folyamatok hatásának kimutatására az Országos Közegészségügyi Intézet által városokban, az 1977—78 években rendszeresen végzett 24 órás, valamint a rendelkezésünkre álló időszakos (ábrán x-el jelölve) kén-dioxid koncentráció mérések adatait használtuk fel *(Popovics,* 1982. Az évi kén-dioxid koncentráció településeken, kézirat). Az ábrán a regionális és lokális összetevő értékei alapján kihúzott koncentráció izovonalai láthatók. Települések esetén csak a külterületre jellemző izovonalakat húztuk ki. Az ábrából kitűnik, hogy Magyarországon regionális léptékben (10—15 $\mu g/m^3$-es értékek) egy északkelet-délnyugat irányítottságú szennyezett tengely húzódik. A települések, szennyezettségükkel kisebb vagy nagyobb mértékben kiemelkednek ebből. A kidolgozás alatt álló levegőtisztaságvédelmi jogszabálytervezet kén-dioxidra vonatkozóan éves átlagolási idejű normákat is megad. Eszerint Magyarország regionális kén-dioxid szennyezettsége alacsony, a tervezett kiemelten védett területi 50 $\mu g/m^3$-es normának egy-harmadát sem érte el.



3. ábra: A kén-dioxidnak a regionális és lokális léptékű szennyező folyamatok együttes hatására kialakult évi átlagos koncentrációja ($\mu g/m^3$) Magyarországon



4. ábra: A légköri kén- és nitrogénvegyületekből és a kettő együtteséből származó maximális savterhelés (me $H^+_{max}/(m^2 \cdot év)$ Magyarországon

Ezzel szemben egyes szennyezett városokban — különösen a belterületen — a védett területi 80 $\mu g/m^3$-es határértéket meghaladó koncentrációk alakultak ki.

A maximális savterhelés meghatározását a *4. ábrán* látható hat receptorpontra végeztük el. Minthogy a kén-dioxid koncentráció országos átlaga húsz, illetve hat pontra történő számítás esetén csak 6 százalékkal tért el egymástól, feltételezzük, hogy a kiválasztott receptorpontok megfelelően jellemzik az országos átlagviszonyokat.

III. TÁBLÁZAT

A levegő- és a csapadékminőség számított, országos átlagértékei

Országos átlag	Kénben		Nitrogénben			Kénben	Nitrogénben
	Kéndioxid	Szulfátaeroszol	Nitrogéndioxid	Nitrátaeroszol	Salétromsavgőz	Szulfát	Nitrát
Koncentráció, $\mu g/m^3$	6,2	2,2	2,1	0,47	0,47	–	–
Száraz ülepedés, $g/(m^2 \cdot év)$	1,57	0,081	0,40	0,015	0,29	–	–
Nedves ülepedés, $g/(m^2 \cdot év)$	–	–	–	–	–	0,75	0,40

A maximális savterhelés megállapítása során nyert részeredmények országos átlagértékeit a *III. táblázat* tartalmazza. A számított értékek általában jól egyeztek az ország regionális háttérszennyezettségmérő állomásain mért adatokkal *(Szepesi el. al.*, 1985; *Mészáros* és *Horváth*, 1984). A legnagyobb eltérést (maximálisan 50%) a szulfát koncentrációjánál és ülepedésénél kaptuk. A táblázatból kitűnik, hogy a kénvegyületek ülepedése nagyobb mint a nitrogénvegyületeké. Az is látható, hogy mind a kén-, mind a nitrogénvegyületek száraz ülepedése a nedves ülepedés értékével közel azonos mértékű. Tehát ha savas esőről beszélünk, nem hagyhatjuk figyelmen kívül a savas nyomanyagok kihullásának száraz formáját sem.

A *4. ábrán* a légköri kén- és nitrogénvegyületekből, valamint az ezek együtteséből kialakuló maximális savterhelést mutatjuk be. Magyarországon légköri kén az északi határszélen okozza a legnagyobb savterhelést [200 $meH^+_{max}/(m^2 \cdot év)$]. Minimumát a délkeleti országhatárnál éri el, ahol 120 $meH^+_{max}/(m^2 \cdot év)$. Országos átlaga 160 $meH^+_{max}/(m^2 \cdot év)$. A légköri nitrogénvegyületekből származó maximális savterhelés országos átlagban 79 meH^+_{max} / $(m^2 \cdot év)$, az észak-nyugati határszéltől délkelet felé haladva csökken. A légköri kén- és nitrogénvegyületek okozta savterhelést egymással összehasonlítva kitűnik, hogy a kénvegyületek hatása a nagyobb, a teljes értéknek kb. kétharmadát teszi ki. A két vegyület összegezett savterhelési mezejében is az ország középső részén mutatkozik jelentős terhelés, a fővárostól északra eső maximális értékkel [280 $meH^+_{max}/(m^2 \cdot év)$]. Ettől északnyugat és délkelet felé haladva a savterhelés csökken, legkisebb értékét, a délkeleti országhatár közelében éri el, ahol 200 $meH^+_{max}/(m^2 \cdot év)$ alatt marad. Országos átlagértéke 239 $meH^+_{max}/(m^2 \cdot év)$.

4. Összefoglaló értékelés

Az elvégzett vizsgálatok eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

A légköri kén- és nitrogénvegyületek koncentrációjának, száraz- és nedves ülepedésének, valamint maximális savterhelésének — a nagytérségű légszennyeződési folyamatokból eredő — meghatározására kidolgozott számítási módszer országos léptékben alkalmazható a lokális szennyező hatástól mentes területek évi átlagos szennyezettségének jellemzésére.

Az alkalmazott módszerrel kapott számítási eredmények jól egyeznek a regionális háttérszennyezettség-mérő állomásokon végzett mérések adataival, valamint korábbi elméleti vizsgálatok eredményeivel.

A kidolgozott számítási módszer alapján meghatározható, hogy egy új, nagy forrás üzembeállítása, vagy egy nagyobb terület kén- és nitrogéndioxid emissziójának megváltozása regionális léptékben milyen hatással lesz a levegő és a csapadék szennyezettségének évi értékére. A regionális léptékű szennyezés számított értéke a kisebb léptékű folyamatok hatásának kiszámításához a háttérszennyezettség mértékét adják meg. A módszerrel nyert eredmények tehát felhasználhatók levegőminőség-tervezési feladatokhoz.

Az ismertetett számítási módszer, bár az eddigi vizsgálatoknál komplexebben fogja meg a savas eső problémáját, első közelítésnek tekinthető. Részletes vizsgálat, amely pontosabb emisszió-kataszterből indul ki, és amelynek során a transzmissziós paraméterek tovább optimalizálhatók, a jövő feladata.

IRODALOM

Alcamo, J., Kauppi, P., Posch, M. and *Runca, E.*, 1984: Acid Rain in Europe: A Framework of Assist Decision Making. *WP-84-32*, Laxenburg.

Béll B., 1954: Troposzféra éghajlata Magyarország felett. *Akadémia Kiadó*, Budapest.

Bónis, K., Mészáros, E. and *Putsay, M.*, 1980: On the Atmospheric Budget of Nitrogen Compounds over Europe. *Időjárás, 84.*, 57–68.

CEP Report, 1981: System for Calculating Air Pollution Committee for Environmental Projects. 1 st October 1978.

Fekete K., Popovics M. és *Szepesi D.*, 1983: Légszennyező anyagok transzmissziójának meghatározása. *Orsz. Met. Szolg. Hiv. Kiadványai LV.*, Budapest.

Iványi, Zs. and *Mersich, I.*, 1984: A Climatological Analysis of Two- and Four-day Backward Trajectories. *Időjárás, 88.*, 145–153.

Lehmhaus, J., Saltbones, J. and *Eliassen, A.*, 1985: Deposition Patterns and Transport Sector Analyses for a Four-year Period. *EMEP/MSC–W Report 1/85*, Oslo.

Mészáros, E. and *Horváth, L.*, 1984: Concentration and Dry Deposition of Atmospheric Sulfur and Nitrogen Compounds in Hungary. *Atmospheric Environment, 18*, 1725–1730.

Mészáros, E. and *Szentimrei, T.*, 1985: On the Wet Removal of Gaseous and Particulate Sulfur and Nitrogen Species from the Atmosphere. *Journal of Atmospheric Chemistry 2.* 405–413.

Niewstadt, F. T. M., Verheul, C. M. and *Addicks, J.*, 1976: The Validation of the Gaussian Dispersion Model for Long-term Average Ground Level Concentrations in the Rijnmond Region. 7th International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and its Application. Virginia, Sept. 7–10.

Ruff, R. E., Nitz, K. C., Ludwig, F. L., Bhumralkar, C. M., Shannon, J .D., Sheih, C. M., Lee, I. Y., Kumar, R. and *McNaughton, D. J.*, 1985: Evaluation of Three Regional Air Quality Models. *Atmospheric Environment, 19*, 1103–1115.

Szepesi D., 1967: Légszennyező anyagok turbulens diffúziójának meteorológiai feltételei. *Orsz. Met. Int. Hiv. Kiadványai XXXII.*, Budapest.

Szepesi D., Popovics M. és *Fekete K.*, 1982: A légköri kén nagytávolságú transzmissziója. *OMSZ Hivatalos Kiadványai LII.*, Budapest.

Popovics M., Szepesi D. és *Horváth L.*, 1986: A levegő és a csapadék háttérszennyezettsége Európában. *Időjárás, 90.*

Závodsky, D. and *Mitošinkova, M.*, 1984: Estimation of Atmospheric Budget of Nitrogen Compounds over Czechoslovakia. *Időjárás, 88.*, 202–209.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2–3. szám, 1986. március–június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2–3. March–June 1986. Budapest

A légköri salétromsav keletkezésének numerikus modellezése

HASZPRA LÁSZLÓ, *Központi Légkörfizikai Intézet, H—1675 Budapest, Pf. 39*

Numerical modeling of the production of atmospheric nitric acid. In the atmosphere the transformations of nitrogen compounds are controlled by complicated nonlinear interactions. Therefore, the relations between the emissions, concentrations and depositions can be described only by complex mathematical models. In the present paper the main steps of the nitrogen oxide → nitric acid transformation are reviewed and a mathematical model describing the gas-phase chemical transformations is presented. On the basis of the calculations we find that the relation between the emission of nitrogen oxides and the atmospheric concentration of nitric acid is linear only in a certain emission range, and that the rate of the nitrogen oxide → nitric acid transformation strongly depends on the chemical composition of the atmosphere.

✳

A légköri salétromsav képződésének numerikus modellezése. A légkörben bonyolult, nem lineáris kölcsönhatások szabályozzák a nitrogénvegyületek átalakulásait, ezért az emissziók, koncentrációk és depozíciók közötti kapcsolatot csak komplex matematikai modellekkel írhatjuk le. A tanulmányban ismertetjük a nitrogén-oxid → salétromsav átalakulás legfontosabb lépéseit és azt a matematikai modellt, amellyel nyomon követhetjük a gázfázisban lejátszódó kémiai átalakulásokat. A modell-számítások alapján megállapítottuk, hogy a nitrogén-oxid-emisszió és a salétromsav-koncentráció közötti kapcsolat csak egy bizonyos emissziótartományon belül tekinthető lineárisnak, és hogy a nitrogén-oxid → salétromsav-átalakulás sebessége erősen függ a légkör pillanatnyi kémiai összetételétől.

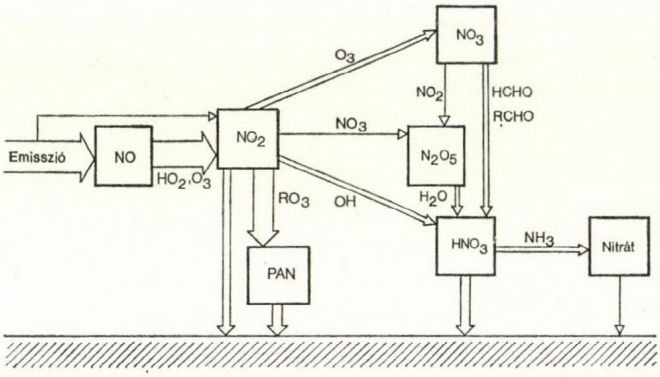
✳

Bevezetés. A talaj és a felszíni vizek savasodása, a vegetáció, az épületek, létesítmények, műemlékek károsodása az utóbbi években egyre nagyobb gondot okoz a világ számos országában. Ezeket a folyamatokat a légkörből kiülepedő savas anyagok, elsősorban a kénsav és a salétromsav okozza.

A légkörben képződő kénsav és salétromsav jelentős része az emberi tevékenység révén a légkörbe kerülő kén-dioxidból és nitrogén-oxidokból keletkezik. Az elmúlt két évtizedben a környezetvédelmi intézkedések és a technikai fejlődés következtében a legtöbb iparilag fejlett országban a kéndioxid emisszió csak mérsékelten emelkedett, ugyanakkor a nitrogén-oxid emisszió jelentősen nőtt *(McLean,* 1981). Ennek következtében a nitrogénvegyületek szerepe a savas ülepedésben szintén nagyobb lett *(Söderlund,* 1977). Jelenleg Európában és Észak-Amerikában a csapadékvíz savasságát körülbelül 25%-ban okozzák a nitrogén-vegyületek *(Galloway* és *Likens,* 1981), de a teljes légköri ülepedésben arányuk elérheti a 40%-ot is *(Horváth* és *Mészáros,* 1986). A jelenlegi tendenciák alapján a nitrogén-vegyületek, köztük a salétromsav szerepe tovább nő. Ezért a salétromsav képződés vizsgálata jelentős helyet foglal el a környezetvédelmi kutatások sorában.

1. A nitrogén vegyületek átalakulása a légkörben

A nitrogén-oxidok, elsősorban nitrogén-monoxid formájában, a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása, a belső égésű motorok üzemeltetése során jutnak a levegőbe. A nitrogén-monoxidot (NO) a légkörben található ózon (O_3) és hidroperoxil gyök (HO_2) rövid idő alatt nitrogén-dioxiddá (NO_2) oxidálja. *(1. ábra)*. A nitrogén-dioxid sorsa bonyolultabb. Egy része közvetlenül, illetve peroxi-acetil-nitráttá (PAN) alakulva kiülepszik a levegőből. Egy másik részét a légkörben levő hidroxilgyök (OH) salétromsavvá (HNO_3) oxidálja. A nitrogén-dioxidot az ózon is oxidálhatja, ekkor nitrogén-trioxid (NO_3) keletkezik. Ebből aldehidek jelenlétében salétromsav képződik, illetve továbbalakulhat dinitrogén-pentoxiddá (N_2O_5). A dinitrogén-pentoxid + víz



1. ábra: A nitrogén-oxidok sorsa a légkörben. A nyilak vastagsága hozzávetőlegesen arányos a szennyezett levegőben 24 óra alatt átalakuló nettó anyagmennyiséggel (*Russel* et al., 1985)

reakció szintén salétromsavhoz vezet. Ez a folyamat lejátszódhat gáz-fázisú homogén reakcióként is, de vízcseppek és aeroszolok felületén heterogén folyamatként is *(Calvert* és *Stockwell*, 1983; *Seigneur* és *Saxena*, 1984). Fény hatására a nitrogén-trioxid gyorsan elbomlik, ezért nappal koncentrációja alacsony. Ekkor a nitrogén-dioxid + hidroxil gyök reakció termeli a salétromsav túlnyomó részét. Éjszaka a helyzet más. A fotokémiai reakciók szünetelése miatt a hidroxil gyök koncentrációja lecsökken, míg a nitrogén-trioxid koncentrációja megnő. Éjszaka ezért a salétromsav képződésben a nitrogén-trioxidon keresztül vezető reakcióutak a jelentősebbek *(Russel* et al., 1985).

A salétromsav kialakulásához vezető legfontosabb reakciókat a következőkben foglalhatjuk össze:

nappal:

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$
$$NO + HO_2 \longrightarrow NO_2 + OH$$
$$NO_2 + OH \longrightarrow HNO_3$$

éjjel:

$$NO_2 + O_3 \longrightarrow NO_3 + O_2$$
$$NO_3 + NO_2 \longrightarrow N_2O_5$$
$$N_2O_5 + H_2O \longrightarrow 2\ HNO_3$$
$$NO_3 + HCHO \longrightarrow HNO_3 + HCO$$

A salétromsavnak számottevő kémiai nyelője nincs. Kis mennyisége nitrát-tartalmú aeroszollá alakulhat, nagy része azonban salétromsavként ülepszik ki a légkörből *(Levine* és *Schwartz*, 1982). A keletkező salétromsav mennyiségét a nitrogén-oxid emisszión kívül alapvetően meghatározza a légkörben jelenlévő oxidánsok koncentrációja. Ezek szabják ugyanis meg az egyes ké-

miai átalakulások sebességét, az átalakuló anyagok mennyiségét. Az oxidánsok koncentrációja viszont függ a fényintenzitástól, a hőmérséklettől, a légnedvességtől és a légkör általános kémiai összetételétől. Ezért bármennyire is kényelmes lenne, nem teremthető egyszerű kapcsolat a nitrogén-oxid emisszió és a salétromsav képződés, illetve kiülepedés között.

2. *A légköri salétromsav képződés matematikai modellje*

A levegőben lévő nyomanyagok kölcsönhatásait, az egyes kémiai reakcióknak a környezeti feltételektől függő jelentőségét csak matematikai modellekkel tanulmányozhatjuk. Ezek a modellek segítséget nyújtanak a savas ülepedéshez vezető folyamatok megértéséhez, az összefüggések felismeréséhez, így fontos információkat nyújthatnak a környezetvédelmi döntésekhez.

Ilyen matematikai modell megalkotásának első lépése a megfelelő kémiai reakció-modell, más néven kémiai reakciómechanizmus összeállítása. Ennek a savképződéshez vezető reakciókon kívül valamennyi lényeges kapcsolódó reakciót is tartalmaznia kell. Ilyenek például az oxidánsok keletkezéséhez vagy fogyásához vezető folyamatok. Minden egyes nyomanyag légköri koncentrációjának *(c)* időbeli *(t)* megváltozását a kémiai reakciók révén történő keletkezés *(P)* és fogyás *(k)* sebessége, valamint az emissziós *(E)* és ülepedési *(D)* folyamatok intenzitása szabja meg:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = P_i - k_i c_i + E_i - D_i c_i$$

Fejlettebb modellek még további folyamatokat is figyelembe vehetnek (pl. transzport, vertikális és horizontális irányú diffúzió stb.). Mivel a kémiai úton való keletkezés és fogyás sebessége függ a légkörben jelenlévő többi nyomanyag koncentrációjától, ezért a nyomanyagok koncentráció-változására egy csatolt differenciálegyenlet-rendszert kapunk. Ezt megoldva képet nyerhetünk az egyes nyomanyagok koncentrációjának időbeli menetéről és az adott viszonyoknak megfelelő átlagos koncentrációjáról.

A matematikai modellekben az egyes paraméterek értéke (emisszió, hőmérséklet, légnedvesség, fényintenzítás) viszonylag tág határok között szabadon változtatható. Ezért ezek a modellek alkalmasak a jövőben várható savas ülepedés előrejelzésére, illetve a különböző beavatkozások hatásának előzetes elemzésére is.

A környezetet érő károsodások növekedése miatt az elmúlt években több országban is hozzáfogtak olyan matematikai modellek kidolgozásához, amelyek lehetővé teszik a savképződés leírását.

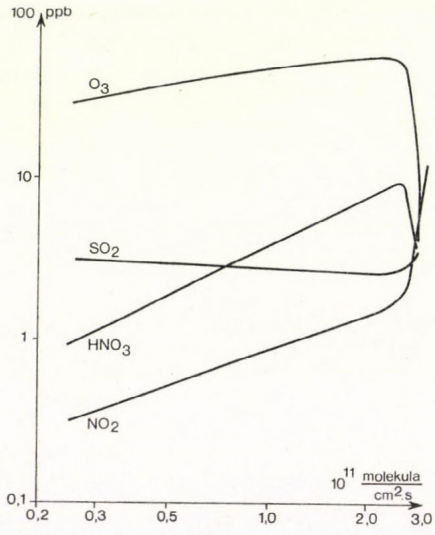
Magyarországon a Központi Kémiai Kutató Intézet munkatársaival közösen foglalkozunk a légköri kémiai folyamatok matematikai modellezésével. Az elmúlt évben olyan modellt készítettünk, amely alkalmas a közvetlenül nem szennyezett levegőben lejátszódó salétromsav képződés leírására, de a gázfázisban lezajló homogén kénsav-képződésről is szolgáltat bizonyos információkat *(Bérces* et al., 1986).

Modellünk egyszerű box-modell, amellyel zárt légtérfogaton belül kialakuló állapotokat vizsgálhatunk. Kidolgozás alatt áll egydimenziós változata, amellyel a nyomanyagok magasság szerinti koncentráció eloszlását is tanulmányozhatjuk. Ez hasznos lehet egy később kifejlesztendő savas csapadék modellben.

A modellben használt kémiai mechanizmus 22 nyomanyag 48 reakciójából áll. A szénhidrogének közül csak a metán oxidációs folyamatait tartalmazza. A nitrogén-oxidok, a szén-monoxid, a metán és a kén-dioxid emisszióját veszi figyelembe és lehetőséget ad a hőmérséklet, a légnedvesség valamint a földrajzi szélesség, a dátum és a borultság megadásával a fényintenzitás megválasztására.

3. Számítási eredmények

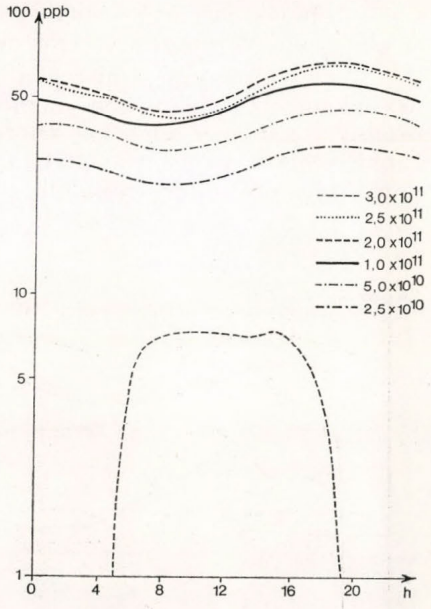
A modellünk kidolgozása, tesztelése csak a közelmúltban fejeződött be, ezért egyelőre csak a nitrogén-oxid emisszió megváltozásának hatását vizsgáltuk. A kén-dioxid emisszióját, valamint a szén-monoxid és a metán koncentrációját az irodalmi adatoknak megfelelően rögzítettük. A vizsgálatok során derült nyári időjárást tételeztünk fel.



2. ábra: Néhány nyomanyag koncentrációja az NO_x-emisszió (95% NO + 5% NO_2, *Pitts* [1973]) függvényében

A számításokból kiderült, hogy a salétromsav koncentrációja és a nitrogén-oxid emissziója között egy bizonyos tartományon belül többé-kevésbé lineáris összefüggés van *(2. ábra)*. Az emisszió növekedésével, ha nem is lineárisan, de emelkedik az oxidánsok koncentrációja is, mivel a nitrogén-oxidok nemcsak fogyasztják az oxidánsokat, hanem a szénhidrogének oxidációs láncába bekapcsolódva képződésükben is szerepet játszanak. A növekvő oxidáns koncentráció elősegíti a kén-dioxid kénsavvá alakulását, ezért a kéndioxid koncentráció csökken.

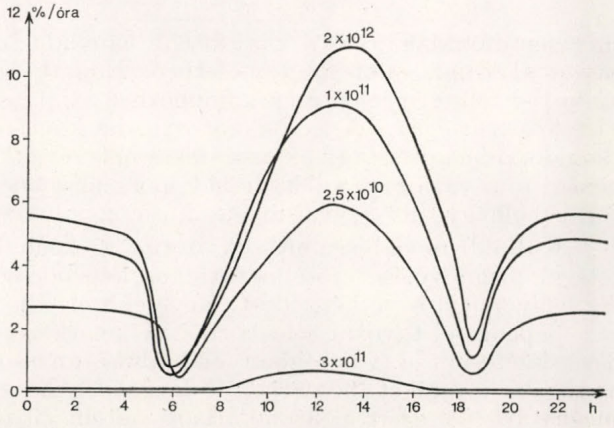
Minőségi változás akkor következik be a légkör kémiai összetételében, amikor már nincs elegendő oxidáns a légkörbe bocsátott nagymennyiségű nitrogén-oxid oxidálásához. Az oxidáns koncentráció nagyon alacsonnyá, éjjel — a fotokémiai folyamatok szünetelése idején — csaknem nullává válik *(3. ábra)*, az oxidációs folyamatok lelassulnak (lásd még *Calvert* és *Stockwell*, 1983). Ennek következtében a nitrogén-oxidok nem tudnak továbbalakulni, felhalmozódnak a légkörben, az oxidációs termék, a salétromsav koncentrációja pedig lecsökken.



3. ábra: Az ózon koncentráció napi menete különböző nitrogén-oxid-emissziók mellett. A nitrogén-oxid-emisszió értékei az ábrán molekula $cm^2\ s^{-1}$ mértékegységben szerepelnek

A nitrogén-oxid emisszió megváltoztatása — mint láttuk — módosítja a légkör általános kémiai összetételét, ez pedig befolyásolja az egyes kémiai átalakulások sebességét. A *4. ábrán* a nitrogén-dioxid—salétromsav átalakulás eredő sebességét tüntettük fel %/órában, különböző nitrogén-oxid emissziók mellett.

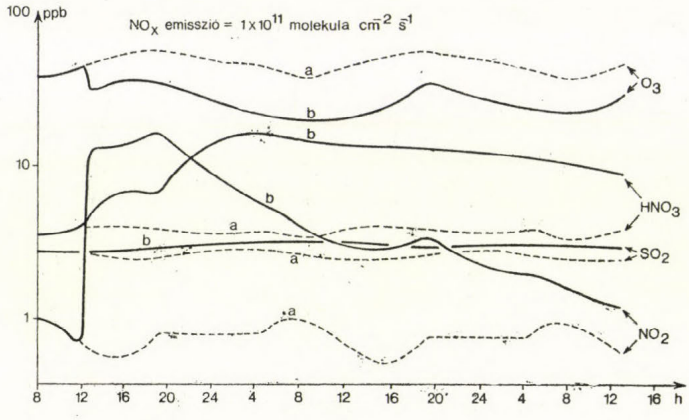
A modell lehetőséget ad arra, hogy rögzített emisszió értékek mellett adott időpontban megváltoztassuk az egyes nyomanyagok koncentrációját. így hozzávetőlegesen szimulálhatjuk azt a helyzetet, amikor a levegő egy nagy hozamú, de kis terjedésű forrás felett halad el. Az *5. ábrán* olyan számítás eredményeit mutatjuk be, amelyben déli 12 órakor a nitrogén-monoxid koncentrációját pillanatszerűen százszorosára emeltük. A kiindulási alap az



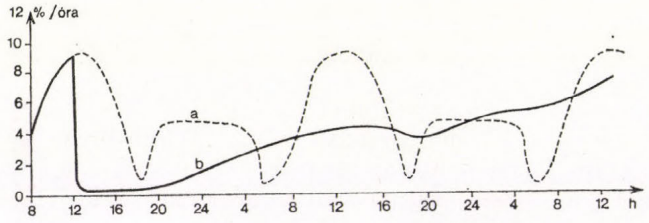
4. ábra: Az $NO_2 \rightarrow HNO_3$ átalakulás eredő sebességének (%/óra) napi menete a nitrogén-oxid emisszió (molekula /cm^2/s) függvényében

1×10^{11} molekula $cm^{-2}s^{-1}$ nitrogén-monoxid emissziójú eset volt. Ez áll legközelebb a magyarországi átlagos emisszióhoz *(Bónis*, 1981).

A nagymennyiségű nitrogén-monoxid oxidálása, salétromsavvá alakítása lecsökkenti az oxidáns koncentrációt. Az *5. ábrán* az oxidánsok közül csak az ózonra vonatkozó adatokat tüntettük fel, de hasonló esést tapasztalunk a többi oxidáns koncentrációjában is. Nagymennyiségű salétromsav képződik annak ellenére, hogy a rendelkezésre álló csekély oxidáns mennyiség miatt a



5. ábra: Néhány nyomanyag koncentrációjának időbeli menete az alapesetben (*a*), és abban az esetben, ha az NO koncentrációt déli 12 órakor pillanatszerűen százszorosára növeljük (*b*)



6. ábra: Az $NO_2 \rightarrow HNO_3$ átalakulás eredő sebességének időbeli menete az alapesetben (*a*) és abban az esetben, ha az NO koncentrációt déli 12 órakor pillanatszerűen százszorosára növeljük(*b*)

nitrogén-dioxidnak csak sokkal kisebb hányada tud időegység alatt salétromsavvá alakulni, mint az alapesetben. Emiatt a források közelében az átalakulási sebesség jelentősen különbözhet az átlagos viszonyok között tapasztaltaktól *(6. ábra)*. A lecsökkent oxidáns koncentráció miatt lelassul a kéndioxid oxidációja is, így az az érdekes helyzet áll elő, hogy a kén-dioxid koncentráció a változatlan kén-dioxid emisszió ellenére a nagy nitrogén-monoxid forrást elhagyó levegőben magasabb lesz, mint az alapesetben.

Külföldi modell-számítások szerint a szénhidrogén koncentráció hasonló jellegű megnövelése erőteljes oxidáns képződéssel jár *(Rodhe* et al., 1981). Ez felgyorsítja a savképződést. Kevesebb elsődleges szennyezőanyag tud száraz ülepedéssel távozni a légkörből. A keletkező össz-savmennyiség ezért nő. Természetesen, a valóságban előforduló források a különböző szennyezőanyagok keverékét bocsátják a levegőbe. A reális átalakulási sebességek meghatározása ezért az átalakulások matematikai modellezése vagy költséges és nehezen kivitelezhető mérések nélkül teljesen reménytelen.

4. Összefoglalás

Összefoglalásul megállapíthatjuk, hogy a légkörben bonyolult, nem-lineáris kölcsönhatások szabályozzák a szennyezőanyagok átalakulását, így koncentrációját is. A savas ülepedés csökkentését célzó intézkedések kidolgozásánál ezt mindenképpen figyelembe kell venni. A bemutatott számítási eredmények bizonyítják, hogy az elsődleges szennyezőanyagok átalakulási sebessége erősen függ a légkör pillanatnyi kémiai összetételétől és a külső feltételektől. Ezért a transzport-modellekben gyakran alkalmazott állandó szennyezőanyag átalakulási sebesség a kémiailag aktív anyagok, például a nitrogén-vegyületek esetében pontatlanságokat eredményezhet.

IRODALOM

Bérces, T., Turányi, T. and *Haszpra, L.*, 1986: The kinetics of reactions occuring in the unpolluted troposphere I. Formulation of the reaction mechanism. *Acta Chimica Hungarica 121,* (In print)

Bónis K., 1981: A nitrogénvegyületek légköri mérlege Magyarország fölött. *Időjárás 85,* 149–156.

Calvert, J. G. and *Stockwell, W. R.*, 1983: Acid generation in the troposphere by gas phase chemistry. *Envir. Science and Technology 17,* 428–443.

Galloway, J. N. and *Likens, G. E.*, 1981: Acid precipitation: the importance of nitric acid. *Atmospheric Environment 15,* 1081–1085.

Horváth L. és *Mészáros E.*, 1986: Savas ülepedés Magyarországon. *Időjárás 90,* 143-149.

Levine, S. Z. and *Schwartz, S. E.*, 1982: In-cloud and below-cloud scavenging of nitric acid vapor. *Atmospheric Environment 16,* 1725–1734.

McLean, R. A. N., 1981: The relative contributions of sulfuric and nitric acids in acid rain to acidification of the ecosystem. Implications for control strategies. *J. Air Pollution Control Ass. 31,* 1184–1187.

Pitts, J. N., Jr., 1973: Photochemistry of urban atmospheres. In: Excited states of matter (ed.: Shoppee, C. W.). *Grad. Studies Texas Tech. Univ. 2.*, 21–42.

Rodhe, H., Crutzen, P. and *Vanderpol, A.*, 1981: Formation of sulfuric and nitric acid in the atmosphere during long-range transport. *Tellus 33,* 132–141.

Russel, A. G., McRae, G. J. and *Cass, G. R.*, 1985: The dinamics of nitric acid production and the fate of nitrogen oxides. *Atmospheric Environment 19,* 893–903.

Seigneur, C. and *Saxena, P.*, 1984: A study of atmospheric acid formation in different environments. *Atmospheric Environment 18,* 2109–2124.

Söderlund, R., 1977: NO_x pollutants and ammonia emissions – a mass balance for the atmosphere over Northwest Europe. *Ambio 6,* 118–122.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2—3. szám, 1986. március—június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2—3. March—June 1986. Budapest

Szulfátionok képződése légköri koromrészecskék felületén

MÉSZÁROS ÁGNES, *Központi Légkörfizikai Intézet, 1675 Budapest, Pf. 39*

Sulfate formation on elemental carbon particles. The sources, formation mechanisms and properties of the atmospheric elemental carbon particles and their role in the tropospheric chemistry are discussed reviewing the results of the most important research in this field. Some results of studies carried out at the Institute for Atmospheric Physics concerning the number concentration and size distribution of atmospheric black carbon particles and sulfate particles in suburban Budapest and at a regional background station are presented, as well as the fraction of the sulfate particles internally mixed with black carbon. On the basis of a short sampling series performed in winter at IFAP it is demonstrated that there is no correlation between the sulfate and elemental carbon mass in day-time, while at night rather strong positive correlation can be found. The avarage fraction of the sulfate mass attached to carbon particles is 37% (2.4 $\mu g\ m^{-3}$) and 90% (8,7 $\mu g\ m^{-3}$) at noon and night, respectively. In foggy weather the mass of sulfate mixed with given carbon mass is considerably higher. We conclude that the catalytic heterogeneous oxidation of SO_2 may be an important sulfate formation mechanism in winter (especially at night) in polluted atmosphere.

⁂

Szulfátionok képződése légköri koromrészecskék felületén. Az elemi szénrészecskék keletkezését, tulajdonságait és a légköri kémiában játszott szerepüket vizsgáljuk, áttekintve a legfontosabb idevágó kutatások eredményeit. Saját, több éves mérési sorozatunk alapján bemutatjuk a korom- és szulfátrészecskék nagyság szerinti eloszlását Budapest külterületén, valamint K-puszta háttérállomáson, valamint a szulfátrészecskéknek azt a hányadát, amelyek korommal vegyes részecskékben találhatók. Budapesten télen, nappal és éjszaka végzett mintavételek alapján kimutatjuk, hogy nappal nincs kapcsolat a két elem tömegkoncentrációja között, míg éjszaka jó korreláció található. Ködös időben magasabb SO_4 koncentráció tartozik adott korommennyiséghez. Meghatározzuk a szulfát tömegének azt a hányadát, mely koromhoz kapcsolódik, ez nappal 37% (2,6 $\mu g\ m^{-3}$), éjszaka pedig 90% (8,7 $\mu g\ m^{-3}$). Azt a konklúziót vonjuk le, hogy télen (elsősorban éjszaka) a koromrészecskék szerepe a szulfátképződésben jelentős lehet.

⁂

Bevezetés. A savas ülepedés kialakulása szempontjából meghatározó jelentőségű légköri szulfát a levegőben lévő, túlnyomórészt antropogén kéndioxid oxidációja útján keletkezik. A légköri SO_2 oxidációjának jelenleg három alapvető módját ismerjük:

1. Fotokémiai gázreakciókból s az ezt követő termikus reakciókból következő *homogén oxidáció.*

2. Köd és felhőcseppekben végbemenő *heterogén oxidáció.*

3. Aeroszol részecskék, elsősorban elemi szénrészecskék felületén végbemenő katalitikus *heterogén oxidáció.*

Az első két folyamatot már viszonylag régóta és behatóan tanulmányozták a levegőkémia kutatói (lásd pl. *Mészáros*, 1981), míg az elemi szénrészecskéken lejátszódó katalitikus oxidációs folyamat jelentősége csak az utób-

bi években *Novakov* és munkatársainak a Berkeley Egyetemen végzett úttörő munkája nyomán vált ismertté *(Novakov* et al., 1974; *Chang* és *Novakov*, 1981; *Novakov*, 1984 stb.). Ennek részben az a magyarázata, hogy az utóbbi évekig nem álltak rendelkezésre megfelelő mérési módszerek az aeroszolban lévő elemi szén mennyiségének meghatározására. A mérési technika fejlődése azonban lehetővé tette ennek a fontos légköri komponensnek beható tanulmányozását.

A továbbiakban először röviden felvázoljuk az elemi szénrészecskéken végbemenő szulfátképződés folyamatát, majd ismertetjük a Központi Légkörfizikai Intézetben ezen a területen végzett kutatások eredményeit.

1. Az elemi szén részecskék keletkezése és légköri hatása

Az elemi szén szennyezett helyen az aeroszolnak egyik legjelentősebb komponense. Ezt tanúsítja az *I. táblázatban* bemutatott néhány jellemző adat, ahol összehasonlítás céljából a kén átlagos koncentrációját is feltüntettük.

I. TÁBLÁZAT

Az elemi szén (EC) *és szulfát-kén* (S) *átlagos koncentrációja néhány nagyváros levegőjében*

		EC $\mu g/m^3$	S $\mu g/m^3$
New York City	(a)	4,2 – 13	2 – 7 (*d*)
Portland OR	(a)	10	2 – 7 (*d*)
Washington, DC	(a)	6,5	2 – 7 (*d*)
Los Angeles	(a)	3,1 – 4,2	2 – 7 (*d*)
Denver, CO	(a)	5,4	2 – 7 (*d*)
Hamburg (*b*)		2,3	6
Ljubljana (*c*)		70	10

(*a*): *Wolff* (1981); (*b*): *Heintzenberg* és *Mészáros* (1986); (*c*): *Bizjak* et al. (1984); *Rahn* (1976).

Az elemi szénrészecskék forrása a széntartalmú anyagok elégetése. Minden energiahordozó (szén, kőolaj, földgáz, fa stb) elégetésekor nagymennyiségű elemi szén, vagy más néven grafit-szén keletkezik, amit köznapi szóhasználattal koromnak nevezünk. Meg kell azonban jegyezni, hogy az elégetett anyag tulajdonságaitól és az égési körülményektől függően a koromban viszonylag nagy mennyiségben különböző szerves szénvegyületek is keverednek az elemi szénnel, a továbbiakban azonban az egyszerűség érdekében csak az elemi szénrészecskéket nevezzük *korom*nak.

Az égés során keletkező elemi szén mikrokristály szerkezete hasonló a grafitéhoz, makrokristály skálán azonban amorf, benne a hatszögű C_6 gyűrűkből álló kristálylapok szabálytalanul helyezkednek el s a keletkező elsődleges részecske gömbalakú. A szabálytalan szerkezet miatt fellépő diszlokációs és diszkontinuitási helyeken nagy koncentrációban páratlan elektronok vannak jelen a részecske felszínén s emiatt a környezeti levegőben végbemenő reakciók a felületi komplexek széles skáláját hozzák létre, melyek az elemi szén-részecske katalitikus tulajdonságait meghatározzák.

Az elsődleges gömb alakú szénrészecske nagysága 10^{-2} μm nagyságrendű. Ezek a kicsiny részecskék a Brown-mozgás hatására igen hajlamosak a koagulációra, de mivel szilárdak és kémiailag inertek, az ütközés következ-

tében csak összetapadnak, de ezt nem követi összeolvadás. Így a részecskék koagulációs növekedése során az elsődleges részecskékre jellemző igen nagy felület/tömeg arány lényegében megmarad. Ezért a légkörben lévő elemi szén egyik legfontosabb tulajdonsága a nagy fajlagos felszín, értéke több 100 m^2/g lehet. Ez viszont igen kedvező feltételeket teremt a részecske felszínén végbemenő heterogén reakciók számára.

Az elemi szénrészecskéknek a kén-dioxid katalitikus oxidációjában játszott fontos szerepét szennyezett levegőben egyidejűleg végzett szulfát és elemi szén-koncentráció mérések tették valószínűvé, ugyanis szoros pozitív korreláció mutatható ki az aeroszol e két komponense között (lásd pl. *Bizjak*, 1984). Laboratóriumi kísérletek is megerősítették, hogy koromrészecskéket kontaktusba hozva kén-dioxiddal szulfátképződés indul meg a részecskék felületén *(Chung* et al., 1979; *Benner* et al., 1982; *Cofer* et al., 1984).

Különböző környezeti feltételek között végrehajtott kísérletek alapján a következő oxidációs folyamat látszik a legvalószínűbbnek *(Novakov*, 1984): Amint a frissen képződött koromrészecske kikerül a levegőbe, oxigén kemiszorbeálódik a felszínére és aktiválódik az adszorpció által. Ahogy a kiáramló füstgáz hűl, vékony vízréteg kondenzálódik a részecskén, melyben a kéndioxid feloldódik. A keletkezett vizes szulfit kontaktusba kerül a folyadék-szilárd fázis határfelületén lévő aktív oxigénnel, azonnal reakcióba lép vele és szulfát képződik. A keletkező szulfát feloldódik a vizben s a részecskefelület ideiglenesen oxigén nélkül marad. A folyamatnak ez a kezdeti része igen gyorsan zajlik le, melyet egy lassúbb diffúziós folyamat követ. Ennek során az oldott oxigén a vízből lassan a szilárd részecske felszínen lévő aktív helyre diffundál s a kezdetihez hasonló felületi oxigén komplexet hoz létre, mely ismét reakcióba lép a szulfittal és az egész folyamat kezdődik elölről. Mivel az oxidáció a folyadék-szilárd fázis határfelületén megy végbe, fenntartásához néhány monomolekuláris kondenzálódott vízréteg elegendő.

Arra nézve, hogy az előbbiekben vázolt oxidációs folyamat mennyire hatékony a természetes légkörben, s a homogén oxidáció és a ködcseppekben végbemenő egyéb heterogén oxidáció mellett mekkora a jelentősége, jelenleg kevés a megbízható ismeretünk. *Novakov* (1984) szerint bizonyos idő elteltével telítődés következik be, mivel míg a kezdeti időszakban a teljes részecskefelszín a reakció rendelkezésére áll, addig a légkörben való hosszabb tartózkodás után a felszínt szulfát és más anyagok borítják, s az eredetitől kémiailag és fizikailag erősen eltérő felszín jön létre, ami általában kevésbé aktív.

Chang et al. (1979) modellszámításai szerint vízcseppekben vagy nedves felületű aeroszol részecskék esetén, a légkörben feltételezhető különböző katalitikus folyamatokat figyelembe véve, a korom részecskék bizonyulnak a legaktívabbaknak az SO_2 oxidációja szempontjából.

Middleton et al. (1980) elméleti becslései szerint nappal, fotokémiai aktivitás idején, egyértelműen az SO_2 homogén oxidációja, valamint vízcseppekben H_2O_2 hatására végbemenő oxidáció a domináns folyamat. Éjszaka, elsősorban télen, a koromrészecskéken végbemenő katalitikus oxidáció a legjelentősebb.

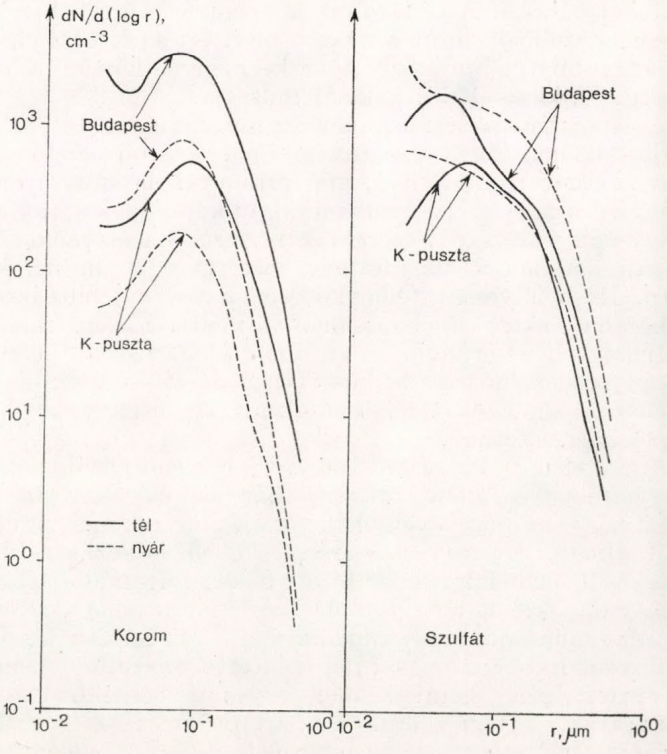
Mindkét számítás azonban, a szerzők saját véleménye szerint is, számottevő bizonytalanságot tartalmaz, egyrészt a reakció konstansok és egyéb paraméterek nem kielégítő ismerete miatt, másrészt mivel a koromrészecskék katalitikus tulajdonságai nagymértékben függnek a korom eredetétől. *Chang* et al. (1979) erre vonatkozó vizsgálataiknál a széntüzelésből származó korom

aktivitását egyáltalán nem tanulmányozták, mivel az USA-ban ez csak egészen elhanyagolható frakcióját képezi a légköri elemi szénnek. Magyarországon télen feltehetőleg a szénfűtés az egyik legjelentősebb forrás. Ilymódon csak további ismeretek szerzése és a számítások pontosabbá tétele adhat választ arra a kérdésre, hogy mekkora jelentőségű szerepet játszanak a légköri koromrészecskék a szulfátképződés folyamatában.

2. A Központi Légkörfizikai Intézetben végzett kutatások eredményei

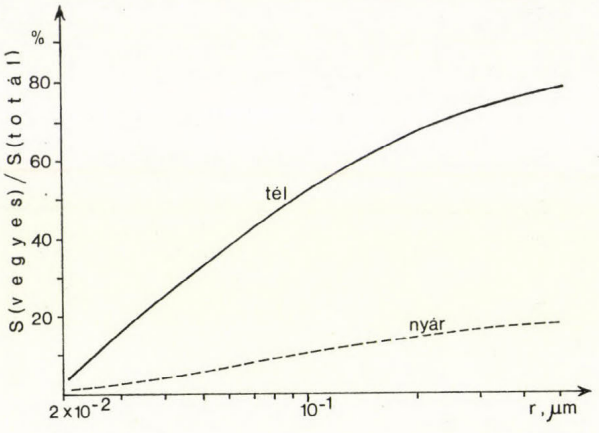
E témával kapcsolatos vizsgálataink során első lépésként meghatároztuk az elemi szén- és szulfátrészecskék *számszerű* koncentrációját és nagyság szerinti eloszlását különböző szennyezettségű helyeken. Ehhez aeroszol mintákat gyűjtöttünk Budapest külterületén (a KLFI kertjében) és K-puszta háttérállomáson.

A mintavételhez 0,3 μm pórusnagyságú membrán szűrőt használtunk. A mintavételek általában a déli órákban történtek, az átszívott levegő mennyisége a légköri koncentrációtól függően 0,05 és 2 m^3 között változott. A szűrőn felfogott aeroszol minták analízise elektronmikroszkóppal történt, s ennek során meghatároztuk a szulfát [$(NH_4)_2SO_4$, NH_4HSO_4 és H_2SO_4] és koromrészecskék koncentrációját és nagyság szerinti eloszlását a 0,02—1,0 μm nagyságtartományban. A vizsgált részecskéket morfológiailag azonosítottuk. (Részletesebben lásd *Mészáros*, 1977, *Mészáros* 1978; *Mészáros*, 1984; *Mészáros* és *Vissy*, 1974). A kapott eredményeket az *1. ábrán* foglaljuk össze.



1. ábra: Az elemi szén- (korom-) részecskék és szulfát- [H_2SO_4, $(NH_4)HSO_4$, $(NH_4)_2SO_4$] részecskék számszerű koncentrációjának nagyság szerinti eloszlása Budapest külterületén, és K-pusztán télen, illetve nyáron

Az ábrán külön tüntettük fel a korom- és szulfátrészecskék télen (december—február) és nyáron (június—augusztus) mért nagyság spektrumát a budapesti és K-pusztai mintavételi helyen. Látható, hogy a koromrészecskék spektrumának mindkét helyen 0,08—0,1 μm körüli sugárértékeknél van maximuma. Az eloszlások hasonlók, nem tekintve a budapesti téli görbét, amely 0,04 μm körül kismértékű növekedést mutat a kisebb részecskék irányában. Ez feltehetően a télen nagyobb számban előforduló közeli források



2. ábra: A korommal vegyes szulfátrészecskék aránya a szulfáthoz viszonyítva, a számszerű koncentráció alapján

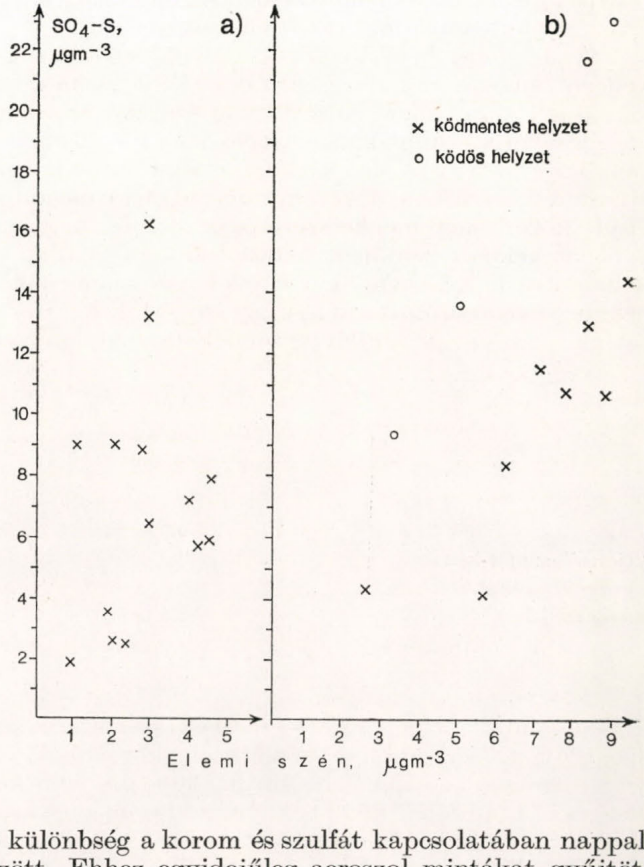
hatását tükrözi. A téli korom koncentráció értékek mindkét helyen lényegesen magasabbak, mint a nyáron mért értékek. Ez nyilvánvalóan nem csupán a nagyobb téli emisszió következménye, hanem a télen kialakuló kisebb vertikális kicserélődés hatását mutatja.

A szulfátrészecskék nagyság szerinti eloszlásának télen mindkét helyen 0,05—0,8 μm körül van maximuma. Nyáron azonban nincs maximumérték a vizsgált tartományban, ami arra utal, hogy nyáron nappal a kén-dioxid homogén oxidációjával folyamatosan képződnek a nukleációs módusba tartozó nagyságú részecskék, ezért a számszerű koncentráció nagyság szerinti eloszlásának maximuma az általunk vizsgált 0,02 μm-nél kisebb sugárértékeknél van. Ez a folyamat télen kevésbé hatékony, feltehetőleg nem csak a fotokémiailag aktív sugárzás hiánya miatt, hanem mivel az egyéb oxidációs folyamatok — így a jelen tanulmányban vizsgált elemi szénrészecskék felületén végbemenő katalitikus SO_2 oxidáció — a kén-dioxid jelentős hányadát elhasználják. Ezek a folyamatok általában nagyobb vegyes részecskék keletkezéséhez vezetnek.

Az elemi szén részecskéken végbemenő katalitikus heterogén SO_2 oxidáció hatékonyságának szükséges (bár nem elégséges) bizonyítéka olyan részecskék nagy számban való jelenléte a légkörben, melyek elemi szénből és szulfátból állnak. Ilyen vegyes részecskék keletkezhetnek koagulációval is, így létezésük nem feltétlenül bizonyítja a folyamat hatékonyságát a légkörben, hiányuk viszont egyértelműen arra mutat, hogy az SO_2 oxidációja, azaz a szulfát képződés más módon megy végbe. Az aeroszol minták elektronmikroszkópos analízise lehetővé tette a szulfát azon frakciójának meghatározását, mely elemi szénnel vegyes részecskékben található. A *2. ábrán* bemutatjuk, hogyan alakul ez az arány a részecskenagyság függvényében télen és nyáron. Látható, hogy nyáron (a déli órákban vett mintákban) a szulfát-

részecskéknek csak elenyészően kis hányada kapcsolódik koromrészecskékhez, télen viszont a 0,1 μm-nél nagyobb sugarú szulfátrészecskéknek több, mint felét alkotják ilyen vegyes szulfát-koromrészecskék. Ez mindenképpen arra utal, hogy télen a koromrészecskéken végbemenő oxidáció jelentős szulfát képződési folyamat lehet a légkörben.

Fenti vizsgálataink kiegészítéséül rövid mérési sorozatot hajtottunk végre 1985 telén (február 12—március 5 között), azzal a céllal, hogy megvizsgáljuk,



3. ábra: Az elemi szén és szulfát-kén tömegkoncentrációjának kapcsolata Budapest külterületén télen. *a* — nappal; *b* — éjszaka. Az átlagos hőmérséklet, relatív nedvesség- és kén-dioxid-kénértékek a következők: nappal — T = −4 °C, RH = 70%, SO_2−S = 54 $\mu g/m^3$; éjszaka — T = −10 °C, RH = 95%, SO_2−S = 72 $\mu g/m^3$.

mutatkozik-e számottevő különbség a korom és szulfát kapcsolatában nappali és éjszakai viszonyok között. Ehhez egyidejűleg aeroszol mintákat gyűjtöttünk a szulfát és elemi szén tömegkoncentrációjának meghatározására, valamint elektronmikroszkópos analízishez. A mintavételeket a KLFI kertjében végeztük délben, illetve hajnali 5 óra körül. A tömegméréshez teflonszűrőt használtunk, a szulfát tömegét izotóphigításos analízissel, az elemi szénét a szűrőn lévő aeroszol réteg által okozott fényelnyelődés alapján határoztuk meg. Kimutatható ugyanis, hogy az aeroszol rétegen áthaladó fény gyengülését az elemi szén részecskéken való abszorpció okozza *(Hansen* et al. 1979). A szűrőn áthaladó fénysugár intenzitásának meghatározására egyszerű optikai berendezést készítettünk. Az exponálás előtt *(I_0)* és utáni *(I)* fényintenzitás arányából a következőképpen számítható ki az elemi szén koncentrációja (EC):

$$EC = ATN/\sigma \ \mu g/cm^2,$$

ahol $ATN = -100 \ln (I_o/I)$,

ς pedig az 1 $\mu g/cm^2$ elemi szén koncentrációhoz tartozó specifikus fénygyengülés, amelynek értéke *Gundel* et al. (1984) szerint 25. Meg kell jegyezni, hogy az általunk használt mérőberendezés és szűrő típus eredményeként a σ értéke különbözhet 25-től, pontos értékét közvetlen kalibráció adhatná meg. Ennek hiányában a $\sigma = 25$ felhasználásával számított elemi szén koncentrációk csak becslésnek tekinthetők. Vizsgálatainkhoz azonban csak a koncentráció relatív változásainak ismerete szükséges, ezért jelen tanulmányban az abszolút értékek pontosságának nincs jelentősége.

A *3. ábrán* bemutatjuk az egyidőben mért kén és elemi szén tömegkoncentrációkat délben és éjszaka. Mint látható, délben nincs kimutatható kapcsolat a két elem között, míg éjszaka a korom koncentrációjának növekedésével a szulfát-koncentráció jelentős megnövekedése jár együtt. Külön tüntettük fel azokat az éjszakai eseteket, amikor a mintavétel idején köd volt. Mindkét helyzetben a korom-koncentráció megduplázódásával a szulfát tömege közelítőleg megkétszereződik, ködös helyzetben azonban adott szén koncentrációhoz csaknem kétszer akkora szulfát mennyiség tartozik, mint ködmentes helyzetben. Az esetek kevés száma miatt nem tartottuk ésszerűnek regresszió számítását, az egyedi értékek azonban elég meggyőzően mutatják a korom és szulfát közötti kapcsolat létezését.

II. TÁBLÁZAT

	Nappal	Éjszaka
Teljes szulfát-kén	6,9 $\mu g/m^3$	9,7 $\mu g/m^3$
„Tiszta" szulfát-kén	63% = 4,3 $\mu g/m^3$	10% = 1 $\mu g/m^3$
„Vegyes" szulfát-kén	37% = 2,6 $\mu g/m^3$	90% = 8,7 $\mu g/m^3$
Elemi szén	2,8 $\mu g/m^3$	6,9 $\mu g/m^3$

Elektronmikroszkópos analízissel meghatároztuk mind a déli, mind az éjszakai mintákban a szulfátrészecskék számszerű koncentrációját és nagyság spektrumát, valamint a szulfátnak korommal vegyes frakcióját. Minden vegyes részecskében megbecsültük a benne lévő korom mennyiségét s ezt a részecske tömegéből kivontuk. Ilymódon meghatároztuk a vegyes részecskékben lévő szulfát tömegét, illetve azt, hogy ez hány százalékát jelenti a teljes szulfát mennyiségnek délben, illetve éjszaka. Az eredmény a *II. táblázatban* látható. Az adatok egyértelműen azt mutatják, hogy télen éjszaka (ködmentes időben is) számottevő mennyiségű szulfát kapcsolódik elemi szénrészecskékhez.

4. Következtetések

Az elemi szén- és szulfátrészecskék együttes vizsgálatából a következő konklúziók vonhatók le:

1. Az elemi szénrészecskék számszerű koncentrációja a 0,02—0,5 μm sugártartományban mind Budapesten, mind K-pusztán télen lényegesen magasabb, mint nyáron, a szulfát-koncentráció lényegében hasonló mindkét évszakban. A koromrészecskék koncentrációja Budapesten télen lényegesen

meghaladja a szulfát koncentrációját, K-pusztán télen a két elem közel azonos koncentrációban van jelen a légkörben. Nyáron a szulfát koncentrációja mindkét helyen lényegesen magasabb, mint a koromé.

2. Nyáron a szulfátrészecskéknek csak kis hányada (~10%), télen több, mint fele van korommal vegyes részecskékben.

3. Télen nappal Budapest külterületén nincs korreláció az elemi szén és szulfát tömegkoncentrációja között, éjszaka viszont jó kapcsolat mutatható ki. Köd esetén adott korom-koncentrációhoz közelítőleg kétszer akkora szulfát-koncentráció tartozik, mint ködmentes esetben.

4. Télen nappal a szulfát *tömegének* mintegy 37%-a, éjszaka 90%-a van korommal vegyes részecskékben.

Az eredmények arra utalnak, hogy az elemi szénrészecskéken végbemenő katalitikus heterogén SO_2 oxidáció jelentős szulfátképződési folyamat lehet a légkörben, elsősorban télen éjszaka.

Ez a körülmény két szempontból is jelentős. Egyrészt feltehető, hogy a szennyezett levegőjű környezetben lévő műtárgyak és műemlékek fokozott károsodást szenvednek a rájuk rakódott koromrétegen keletkező kénsav miatt. Másrészt a koromrészecskék emissziójának csökkentése lényegesen egyszerűbb és olcsóbb feladat, mint a kén-dioxidé, ugyanakkor kisebb légköri korom-koncentráció esetén föltehetően azonos kén-dioxid emisszió esetén is kevesebb szulfát keletkezik a légkörben, ami környezetvédelmi szempontból nem elhanyagolható körülmény.

IRODALOM

Benner, W. H., Ljungstrom, E. and *Novakov, T.*, 1982: SO_2 oxidation of soot particles exposed to water. Lawrence Berkeley Laboratory, Atmospheric Aerosol Research, LBL 13500

Bizjak, M., Hudnik, V., Gomiscek, S., Hansen, A. D. A. and *Novakov, T.*, 1984: Aerosol Studies In Llubljana under conditions of combustion-derived winter pollution. *The Science of the Total Environment 36*, 377–382.

Chang, S.-G., Brodzinsky, R., Toossi, R., Markowitz, S. S. and *Novakov, T.*, 1979: Catalytic oxidation of SO_2 on carbon in aqueous suspensions. In *Proc. Carbonaceous Particles in the Atmosphere, March 20–22, 1978 Lawrence Berkeley Laboratory Univ. of California*, 122–130.

Chang, S.-G. and *Novakov, T.*, 1981: Chemical and catalytic properties of elemental carbon. In *Particulate Carbon: Atmospheric Life Cycle*, Plenum Press, New York, 135–142.

Chung, T. T., Dash, J. and *O'Brien, R. J.*, 1979: Preliminary observations of SO_2-soot interaction by controlled atmosphere transmission electron microscopy. In *Proc. Carbonaceous Particles in the Atmosphere, March 20–22, 1978, Lawrence Berkeley Laboratory, Univ. of California*, 141–144.

Cofer, III. W. R., Schryer, D. R. and *Rogowsky, R. S.*, 1984: Oxidation of SO_2 by NO_2 and O_3 on carbon: Implication to tropospheric chemistry. *Atmospheric Environment 18*, 243–245.

Gundel, L. A., Dod, R. L., Rosen, H. and *Novakov, T.*, 1984: The reltaionship between optical attenuation and black carbon concentration for ambient and source particles. *The Science of the Total Environment 36*, 197–202.

Hansen, A. D. A., Rosen, H., Dod, R. L. and *Novakov, T.*, 1979: Optical characterization of ambient and source particulates. In *Proc. Carbonaceous Particles in the Atmosphere, Marc 20–22, 1978, Lawrence Berkeley Laboratory, Univ. of California*, 116–121.

Heintzenberg, J. and *Mészáros, A.*, 1985: Elemental carbon, sulfur and metals in aerosol samples at a Hungarian regional air pollution station. *Időjárás 89*, 313–319.

Mészáros, A., 1977: On the size distribution of atmospheric aerosol particles of different composition. *Atmospheric Environment 11* 1075–1081.

Mészáros A., 1978: On the concentration and size distribution of atmospheric sulfate particles under rural conditions. *Atmospheric Environment 12*, 2425–2428.

Mészáros A., 1984: The number concentration and size distribution of the soot particles in the 0.02–0.5 μm radius range at sites of different pollution levels. *The Science of the Total Environment 36*, 283–288.

Mészáros, A. and *Vissy, K.*, 1974: Concentration, size distribution and chemical nature of atmospheric aerosol particles in remote oceanic areas. *Journal of Aerosol Science 5*, 101 – 109.
Mészáros, E., 1981: *Atmospheric Chemistry*, Akadémiai Kiadó, Budapest.
Middleton, P., Kiang, C. S. and *Mohnen, V. A.*, 1980: Theoretical estimates of the relative importance of various urban sulfate aerosol production mechanisms. *Atmospheric Environment 14*, 463 – 472.
Novakov, T., 1984: The role of soot and primary oxidants in atmospheric chemistry. *The Science of the Total Environment 36*, 1 – 10.
Novakov, T., Chang, S.-G. and *Harker, A. B.*, 1974: Sulfates as pollution particulates: Catalytic formation on carbon (soot) particles. *Science 186*, 259 – 261.
Rahn, K. A., 1976: *The chemical composition of the atmospheric aerosol.* Tehn. Report. Grad. School of Oceanography, Univ of Rhode Island.
Wolff, G. T., 1981: Particulate elemental carbon in the atmosphere. *Journal of the Air pollution Control Association 31*, 935 – 938.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2—3. szám, 1986. március—június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2—3. March—June 1986. Budapest

A levegő- és csapadékminőség területi és időbeli változása Európában

POPOVICS MÁRIA, SZEPESI DEZSŐ és HORVÁTH LÁSZLÓ, *Központi Légkörfizikai Intézet, H—1675 Budapest, Pf. 39*

Territorial and temporal variations of air and precipitation quality for Europe. Air and precipitation quality on continental scale were evaluated based on 30 year data series. The trend fitting encounters many difficulties at present. Therefore, in the course of sampling, chemical analysis and data interpretation a more effective quality control seems necessary in the future. The territorial variations of the different air and precipitation trace elements are considerable. Maximum concentrations appear usually in the vicinity of the main source areas, namely in Central Europe. The anthropogenic effect is clearly visible mostly for SO_2 concentrations in air and sulfate concentrations in precipitation. In the latest 30 years the sulfur emission of the continent has grown 2.7 times, the concentration of precipitation sulfate 1.4 times. The sulfurdioxide concentration from 1973—74 to 1978—82 has grown 1.1 times. Comparing the continental scale trends to local scale variations different results were obtained. For example based on 25 years of data the sulfurdioxed concentration of the ambient air and the precipitation sulfate concentration showed more pronounced decrease than the sulfur emission reduction of Budapest, due mostly to the effective abatement policy for low sources.

*

A levegő- és csapadékminőség területi és időbeli változása Európában. A szerzők a levegő- és csapadékminőséget Európában az 1950-es évektől rendelkezésre álló adatok alapján vizsgálják. Céljuk a különböző nyomelemek trendjének kimutatása, de ez jelenleg még számos nehézségbe ütközik. Ezért a mérés, a kémiai analízis és az adatfeldolgozás során a jövőben hatékonyabb minőségellenőrzés látszik szükségesnek. A különböző levegő- és csapadékkémiai komponensek változása az európai kontinensen nagymértékű. A maximális koncentrációk a fő forrásterületek közelében, Közép-Európában alakulnak ki. Jelenleg a kén-dioxid a kontinens területének 27%-át, a szulfát pedig 21%-át szennyezi jelentős mértékben. Az elmúlt, közel 30 évben az európai kontinensen a kén emissziója 2,7-, a csapadékvíz szulfátkoncentrációja 1,4-szeresére növekedett. A kén-dioxid-koncentráció növekedése 1973—74 és 1978—82 közötti adatok alapján 1,1-szeres, ugyanekkor a kénemisszióé 1,2-szeres volt. Budapesten az elmúlt 25 évben a kénemisszió 1/3-ára, a kén-dioxid-koncentráció 1/6-ára csökkent az alacsony források hatékony szabályozása következtében.

*

Bevezetés. Szennyező források közvetlen hatásától mentes, ún. háttér területeken a levegő- és csapadékminőség vizsgálata Európában már több, mint három évtizedes múltra tekint vissza. A rendszeres, nagy-területre kiterjedő levegő- és csapadékkémiai méréseket a skandináv országokban az ötvenes évek elején kezdték el és ezek eredményeinek értékelésére is sor került *(De Bary* és *Junge,* 1963). Hazai kutatók e vizsgálatokba már a 70-es évek elején bekapcsolódtak *(Mészáros,* 1973).

Jelenlegi vizsgálatunk célja a kontinentális léptékű levegő- és csapadékkémiai nyomelemek alkalmazott klímatológiai vizsgálata, a tér- és időbeli változások kimutatása az antropogén hatások függvényében. E vizsgálatok

végső célja, a transzmissziós hatásoktól függetlenített koncentráció-trendek meghatározása, amelynek megalapozását ez a dolgozatunk szolgálja. Ahhoz azonban, hogy az antropogén források emissziói és a kialakuló levegőminőség között kapcsolatot állapíthassunk meg, és hogy ennek eredményét levegőtisztaság-védelmi programok realizálása során felhasználhassuk, az adatfeldolgozás, ill. értelmezés során számos meggondolás, valamint esetleges korrekciók alkalmazása látszik szükségesnek. Ezekkel a problémákkal foglalkozunk dolgozatunk első részében.

1. Levegő- és csapadékkémiai adatok minőség ellenőrzése

A levegő és a csapadék kémiai összetételének változását, ill. trendjét az emisszió és a transzmissziós viszonyok módosulása okozza. Az időjárási hatások kiszűrésének fontosságára koncentráció trendek vizsgálatánál *Munn* és *Rodhe* (1970) már korábban felhívta a figyelmet. A különböző monitoring programok adatainak értékelésénél azonban mindeddig nem került sor a meteorológiai tényezők hatásától függetlenített trendek meghatározására. Ez azonban csak akkor lehetséges, ha a mért adatok már egyéb befolyásoló hatásoktól mentesítettek. Ezt szolgálja a mintavétel, ill. mérés, a kémiai analízis és az alapadatok minőségellenőrzése. Mind a Meteorológiai Világszervezet (WMO), mind az Európai Megfigyelési és Értékelési Program (EMEP) mérő-hálózatában minőségellenőrzést a mérések kezdete óta végeznek. Ez jelenleg főleg a mintavételi és analitikai módszerek laboratóriumi interkalibrációjára és a szórványos, terepen végzett összehasonlító mérésekre terjed ki.

A minőségellenőrzés célja pontos, hiánytalan, reprezentatív és összehasonlítható alapadatok szolgáltatása. Ez rendkívül nehéz feladat, mivel a monitoring programban résztvevő országok különböző mérési, analitikai és feldolgozási módszereket alkalmaznak. Pl. a csapadékvíz nyomelem tartalmát az EMEP mérőhálózat 65%-án ma is állandóan nyitott mintavevőkkel mérik, így a mintákat különböző szennyezőhatások, pl. talajeredetű por befolyásolhatja. *Rodhe* és *Granat* (1984) arra mutat rá, hogy Dániában és Svédországban az elmúlt évtized megváltozott mezőgazdasági művelési gyakorlata, azaz a tavasszal korábban kezdett földművelés nagymértékben befolyásolja a nyitott mintavevőkből származó csapadékvíz szulfát tartalmát. A nyitott és automatikus mintavevők közötti különbség, a csapadékmennyiség függvényében, szulfát esetében 5—45%-ra tehető *(Söderlund*, 1982; *Horváth*, 1980).

Jelentős mértékben függnek a mérési adatok a mérés során alkalmazott mintavételi, ill. analitikai módszertől is. Pl. kén-dioxid esetén ötféle, csapadékvízben mért szulfát esetén pedig hat különböző módszert alkalmaznak az EMEP programban. Terepen történt összehasonlító vizsgálatok eredményei szerint *(WMO Operations Manual*, 1974) TCM (tetrakloromerkurát) elnyelő oldat használata esetén négyszer kisebb SO_2 koncentráció mérhető, mint hidrogénperoxidos oldatot alkalmazva. Fent említett kézikönyv megállapítja, hogy a West-Gaeke módszer használata eredményezi a legkisebb, a Thorin módszeré pedig a legnagyobb kén-dioxid értékeket.

Lényeges koncentráció különbséget eredményez a különböző átszívási sebességek használata. Az átbuborékolással gyűjtött mintáknál ennek átlagértéke az EMEP hálózatban 3,2 m^3/nap. A résztvevő országok kb. 20%-a a KOH módszert (kálium-hidroxiddal impregnált papírszűrőn történő átszivatás) alkalmazza, amelynél sokkal nagyobb az átszívott levegőmennyiség, 16—60 m^3/nap között van. A nagyobb átszívási sebesség az alsó méréshatást csökkenti és így kisebb SO_2 koncentráció detektálását teszi lehetővé.

A különböző mérési időtartamok is hatnak a mért nyomelemkoncentrációkra. A két párhuzamos monitoring program közül a WMO hálózatban havi, az EMEP hálózatban pedig napi mintavétel folyik. Az egyedi csapadékmintákkal analizált koncentrációk átlaga eltér az egy hónapon keresztül gyűjtött minták koncentrációjától, a hosszabb expozíciós időszak alatt végbemenő különböző folyamatok hatására. Az eltérés kb. 10% *(Horváth*, 1980). Hazai tapasztalat, hogy a csapadékvíz nitrát koncentrációja napi, ill. havi mintavételezés esetén ellentétes trendet mutat.

A mérőállomásokat különböző tengerszint feletti magasságú helyekre telepítették, az állomások magassága 2 és 3600 m között van. Ezért a területi, ill. időbeli változás vizsgálatakor célszerű a mérőállomások azonos magassági szintre vonatkoztatása. Kén-dioxid és az aeroszolok szulfát tartalma esetére ezt a korrekciót már elvégeztük és az általunk vizsgált koncentráció adatokra már alkalmaztuk. Egyéb komponensekre a magassági korrekciós tényező még meghatározandó.

Az említett példák bizonyítják, hogy a mérési alapadatok előállítása során számos tényező hatását kell figyelembe venni, a koncentrációk tér- és időbeli menetének meghatározása előtt.

A reális levegő- és csapadékminőségi alapadatokat a jövőben célszerű volna szabványosított minőségellenőrzési terv végrehajtása után előállítani, amelynek módszerei a következők lehetnek:

— különböző komponensek arányának, pl. nitrát/szulfát, ellenőrzése, a városi források hatásának kiszűrésére,

— csapadékkémiai mintavevő és csapadékmérő gyűjtési arányának összehasonlítása, a gyűjtési hatékonyság vizsgálatához,

— kálium, ill. klorid ionok összegének vizsgálata, a talaj, ill. tengeri eredetű hatások kiszűréséhez,

— az ion-egyenleg ellenőrzése, ill. a mért és számított vezetőképesség különbségének összevetése, a kémiai analízis pontosságának utólagos ellenőrzésére.

Fentieken kívül az alábbi statisztikai módszerek alkalmazása célszerű, mint a

— változékonyság, szórás, konfidencia és szignifikancia vizsgálatok,
— kumulatív gyakorisági eloszlások összehasonlítása,
— optimális térbeli interpoláció alkalmazása,
— szektor analízis,
— szerkezeti függvény analízis,
— többszörös tér- és időbeli regresszió analízis,
— trend vizsgálatok.

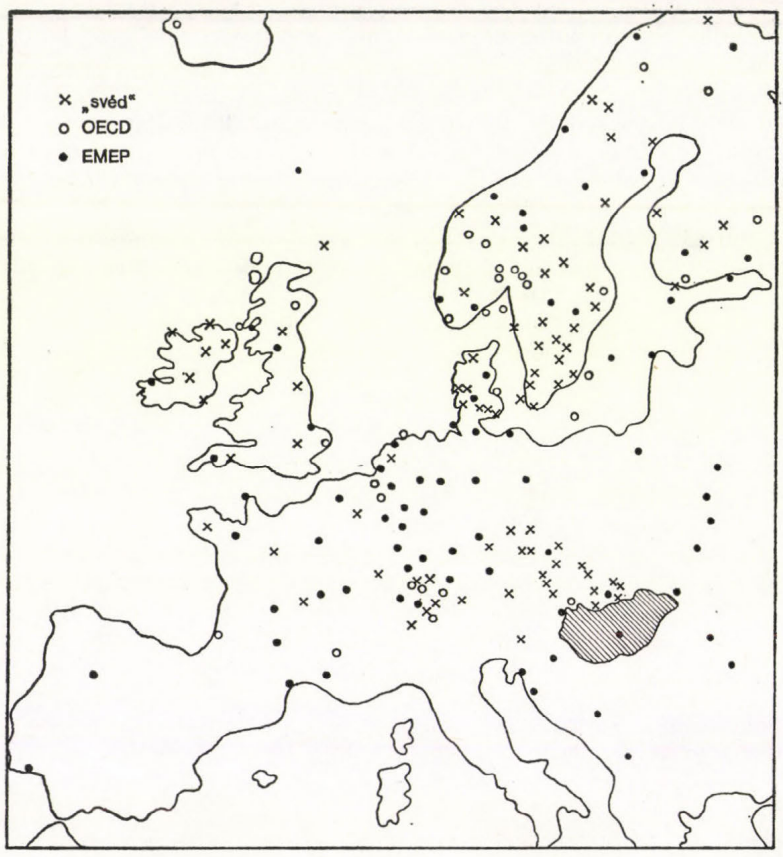
E módszerek segítségével a mért koncentráció mezők rekonstruálhatók, a lokális források hatása izolálható, a fizikai és kémiai folyamatok zavaró hatása kiküszöbölhető és transzmissziós hatásoktól függetlenített trendek állíthatók elő.

2. A levegő- és csapadékminőség kontinentális léptékű térbeli megoszlása

A nagytávolságról származó nyomelemek vizsgálatára a globális, ill. kontinentális léptékű monitoring program 1973-ban kezdődött a WMO kezdeményezésére; jelenleg 54 ország 130 állomásán végeznek levegő- és csapadékkémiai méréseket. Az EMEP program 1977-ben indult, tevékenysége 20 ország, mintegy 80 állomására terjed ki.

E két párhuzamos monitoring program, valamint a korábbi mérések adatai révén már lehetővé vált az európai levegő- és csapadékminőség tér- és időbeli elemzése.

Analízisünkbe bevont levegő- és csapadékkémiai nyomelemek a következők: kén-dioxid és nitrogén-dioxid, a csapadékvíz szulfát, nitrát és ammónium tartalma, továbbá az aeroszolok szulfát tartalma.

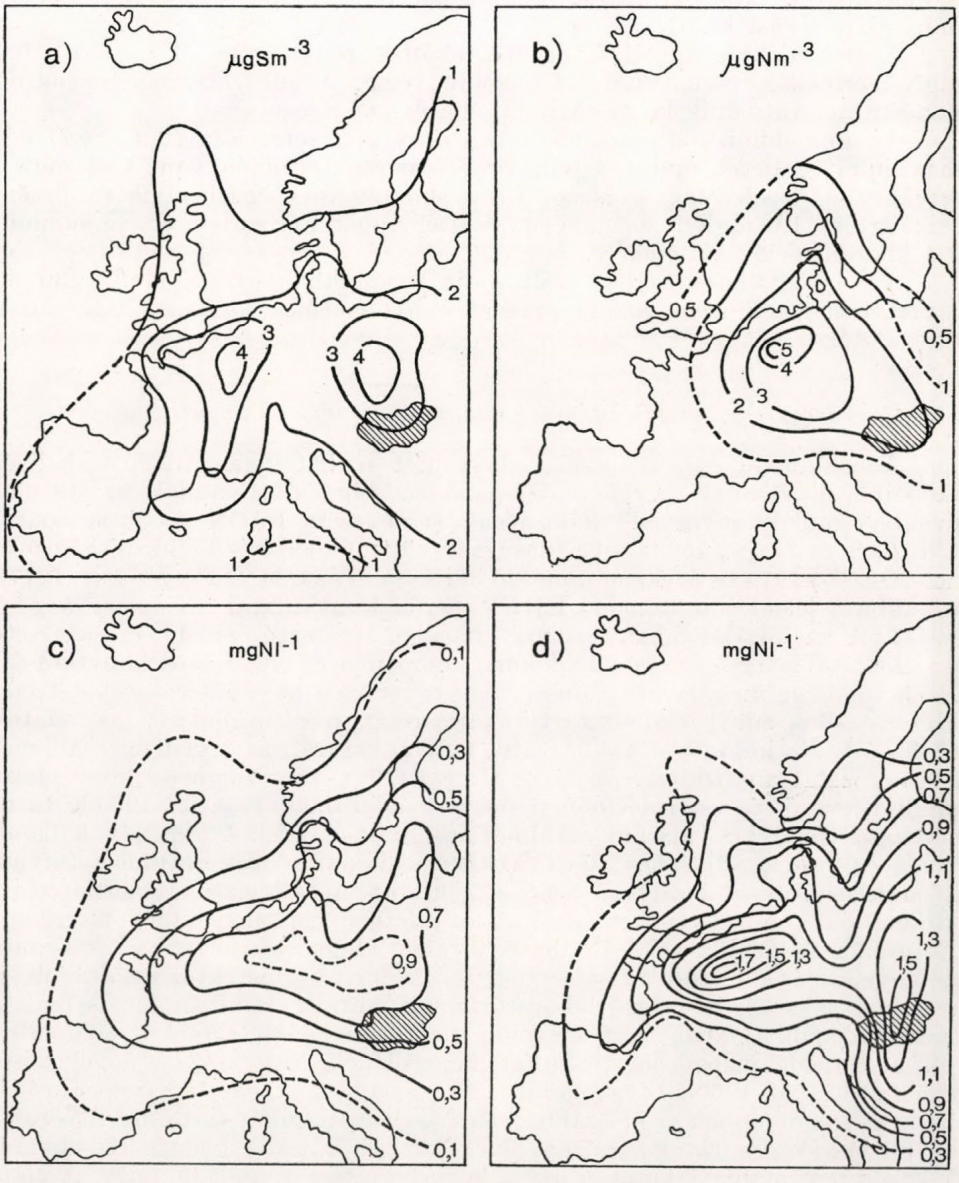


1. ábra: Levegő- és csapadékkémiai mérőhálózatok Európában

A levegő- és csapadékminőség térbeli megoszlását az EMEP által közzétett (*Summary Report*, 1984), 1978—82 időszakra vonatkozó ötévi koncentráció átlagértékek alapján vizsgáljuk. A mérőállomások elhelyezkedését az *1. ábrán* láthatjuk. Az ábrán együttesen tűntettük fel az 50-es években működött Európai Levegőkémiai Mérőhálózat (EACN), és a jelenleg üzemelő WMO, valamint EMEP hálózatok mérőállomásait. Látható, hogy jelenleg is még meglehetősen hiányos a hálózat, főleg Dél- és Északkelet-Európában. Így a kontinens jelentős nagyságú területéről nincsenek adataink.

Az aeroszolok szulfát tartalmát mutatjuk be elsőként *(2/a. ábra)*. Látható, hogy az európai kontinensen maximálisan 4,5 $\mu gS/m^3$ értékű, amely koncentráció Belgium területén jön létre. Lengyelországban és Csehszlová-

kiában másodmaximum található, 4 $\mu gS/m^3$-t meghaladó értékkel. Az aeroszolok szulfáttartalma legalacsonyabb Norvégia és Svédország középső részén. Az aeroszolok szulfáttal való szennyezettségének mértékét *Mészáros* (1978) munkája alapján értékelhetjük: valamely terület szennyezett, ha a szulfáttartalom 3,0 $\mu gS/m^3$-rel egyenlő, v. ennél nagyobb; mérsékelten szennyezett, ha legalább 1,7 $\mu gS/m^3$ értékű. Fenti kritériumok figyelembevételé-



2. ábra: 1978–1982 között Európában *a)* az aeroszolok szulfáttartalma, *b)* a nitrogén-dioxid-koncentráció, *c)* a csapadékvíz nitrátkoncentrációja, *d)* a csapadékvíz ammóniumkoncentrációja

vel Európa területének 16%-a szennyezett, 56% pedig mérsékelten szennyezett az aeroszolok szulfát tartalmát tekintve.

A nitrogénvegyületek közül először a nitrogén-dioxid koncentráció megoszlását szemlélve *(2/b. ábra)* megállapítható, hogy a legnagyobb mértékben Hollandia és az NSZK területe a szennyezett, közel 6 $\mu gN/m^3$-es koncentrációval. Mind északkeleti, mind délnyugati irányban a koncentráció gradiens nagy. Európa határán 0,1—0,3 $\mu gN/m^3$ a nitrogén-dioxid koncentráció. A nagymértékű koncentráció azonban a kontinens területének csak a csekély hányadára terjed ki.

A csapadékvíz nitrát koncentrációjának maximuma *(2/c. ábra)* 0,9 mgN/l értékkel Közép-Európán húzódik végig. A környezeténél magasabb koncentrációval tűnik ki Ausztria, Dánia és Dél-Svédország.

Az ammónium ion csapadékvízben mért koncentrációja *(2/d. ábra)* két maximum területet mutat, egyik Franciaország területén van, 1,83 mgN/l értékkel, a másik Magyarország, Lengyelország és Csehszlovákia területére esik, értéke 1,6 mgN/l. Északkelet- és Délnyugat-Európában az ammónium ion koncentráció igen csekély.

A kénvegyületek térbeli változását módunkban áll az elmúlt 30 év távlatában áttekinteni, amely átvezet e nyomelemek időbeli változásának vizsgálatához.

3. *A levegő- és csapadékminőség kontinentális léptékű időbeli változása*

A kén-dioxid és a csapadékvízben mért szulfát koncentráció térbeli és időbeli változásának egyidejű vizsgálatára lehetőséget adnak az 1950-es években működött „svéd" hálózatnak is nevezett EACN program adatai (*De Bary* és *Junge*, 1963), a Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet (OECD) 1970-es években működő hálózata (*The OECD Programme*, 1977), továbbá a jelenleg is üzemelő EMEP mérőhálózat adatai (*Summary Report*, 1984). A szakirodalomban számos vizsgálat található, amely megkísérelte a különböző levegő- és csapadékkémiai komponensek trendjének kimutatását. Ezek többsége megegyezik abban, hogy egyrészt a mérési sorozatokat trend kimutatására túl rövidnek tartják, másrészt megkérdőjelezik az adatok realitását. Ez különösen akkor válik nyilvánvalóvá, ha egyedi mérőállomások sorozatát analizálják. *Rodhe* és *Granat* (1984) rámutat arra, hogy pl. az angliai levegő- és csapadékkémiai mérések adatainak 1958-tól 1980-ig tartó sorozata trend vizsgálatára alkalmatlan. A 60-as évek közepén a holland, belga és francia adatok, a 70-es években a dániai adatok realitását tartják kérdésesnek. Svédországban 1965—75 között új állomásokat létesítettek, kicserélték a mintavevőket, ezáltal az adatsorok homogenitása megszűnt. E problémák áthidalására Rodhe és Granat állomáscsoportokba összevonta az egyedi mérőállomásokat, a tengertől és a forrásterületektől való távolság, továbbá az analízist végző laboratóriumok szerint. Azonban így is csak a Közép-Skandináviában mért adatokat tartják reálisnak. Ennél az adatsornál pl. a csapadékvízben mért szulfát koncentráció 20—50%-os növekedését tapasztalták az 1960-as évek során, azután pedig csökkenést. Közép-Európában ugyancsak ebben az időszakban a csapadékvíz szulfát tartalma 40—60%-os növekedést mutatott, a 70-es évek közepétől pedig gyenge csökkenést. Végül a fent említett kutatók azt a következtetést vonják le, hogy az alapadatok különböző tér- és időbeli csoportosításával eltérő eredményre juthatunk. Ez a nemrégen megjelent munka is felhívja a figyelmet arra, hogy a

mérőhálózatok adatainak értelmezésénél számos problémával, ill. ellentmondással állunk szemben.

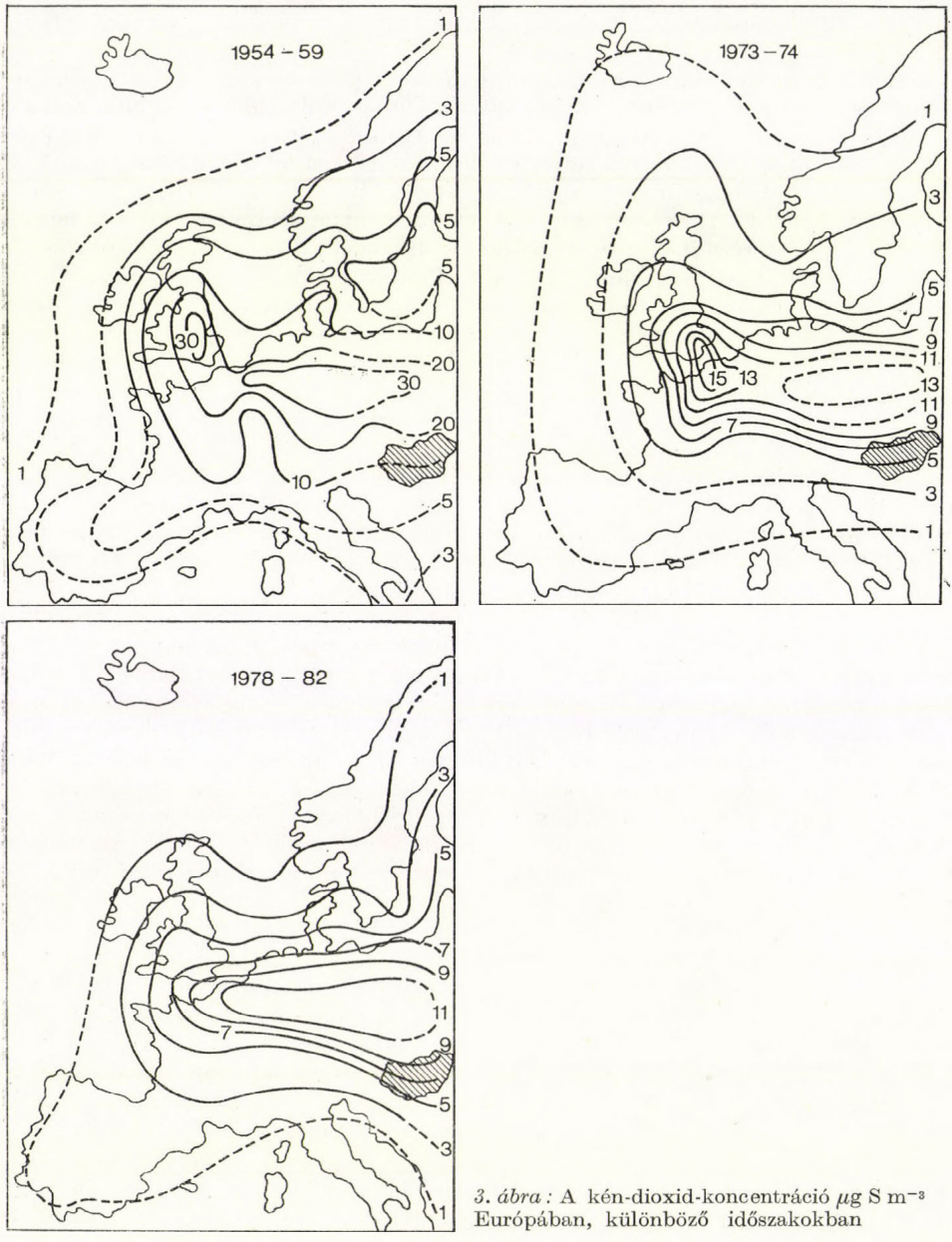
Fenti tapasztalatok figyelembevételével, korábbiaktól eltérő módszer alkalmazásával megkíséreltük, hogy a kén-dioxid és csapadékvíz szulfát koncentrációjának időbeli változását kimutassuk, ill. ezek és a kénemisszió időbeli változásának kapcsolatát meghatározzuk. A „svéd" hálózat 1954—59 közötti, az OECD 1973—74 évre vonatkozó és a EMEP 1978—82 között mért adatait Európa térképére felvittük és az adatokból, az azonos emisszió sűrűségű területeket figyelembevéve, simított koncentráció mezőket szerkesztettünk. Az interpolált értékeket szaggatott görbék jelzik. A *3. ábrán* együttesen szemlélhető az ilymódon előállított kén-dioxid koncentráció az 1950-es, 70-es és 80-as években. Látható, hogy 30 ill., 20 évvel ezelőtt Anglia délkeleti része és Közép-Európa volt a legszennyezettebb, a 80-as években pedig a leglegnagyobb mértékű szennyezettség a kontinens területén található. 1954—59 között az SO_2 maximuma a 30 $\mu gS/m^3$-t meghaladja, 1973—74-ben 15 $\mu gS/m^3$-t ért el, 1978—82 közötti időszak átlagában értéke 11 $\mu gS/m^3$, amely Franciaországtól Csehszlovákiáig húzódik. Az európai kontinensen a levegő szennyezettségének mértékét *Mészáros* (1978) kritériumával határoztuk meg. Ennek alapján a terület szennyezett, ha a kén-dioxid koncentráció legalább 7,5 $\mu gS/m^3$, mérsékelten szennyezett, ha 4 $\mu gS/m^3$ értéket ér el. Ezek szerint jelenleg Európa területének 21%-a szennyezettnek, 27%-a pedig mérsékelten szennyezettnek tekinthető.

A *3. ábrán* bemutatott, az 50-es évekre vonatkozó SO_2 koncentrációt nem tekinthetjük reálisnak. Az abban az időben kibocsátott kénemisszió sokkal csekélyebb volt, mint amennyit a 80-as években emittáltak. Több feltételezést tettünk. Bár a mérési adatokban mutatkozó hibának nem akadtunk okára, valószínű, hogy a különbséget méréstechnikai eltérések okozzák. A Központi Légkörfizikai Intézetben a közeljövőben kezdendő összehasonlító SO_2 mérések remélhetőleg pontosabban felderítik a hiba forrását.

A csapadékvíz szulfát koncentrációját Európában ugyancsak az általunk szerkesztett simított mezők alapján, 30 évre visszamenőleg az *4. ábrán* mutatjuk be. Az 50-es években a maximum érték, 2,5 mgS/l, Közép-Európán húzódik végig. Dánia és Anglia területén 2 mgS/l értékű másodmaximum található. 20 évvel ezelőtt Közép-Európa keleti részén volt legnagyobb a csapadékvíz szulfát koncentrációja 2,0 mgS/l értékkel; a korábbihoz viszonyítva Anglia területén csökkent a koncentráció. 1978—82 évek átlagában három maximum terület található, 2,5 mgS/l-t meghaladó koncentrációval. A legkiterjedtebb Közép-Európán húzódik végig kelet felé és a Szovjetunió területére is átterjed. A második maximum Délkelet-Európában alakul ki, a harmadik pedig Dánia déli részén. A koncentráció gradiens gyenge. Európa határát 0,5 mgS/l értékű izokoncentráció vonal övezi. A szakirodalomban közzétett dolgozat *(Mészáros, Várhelyi* és *Haszpra*, 1978) valamely vizsgált területet szennyezettnek tekint, ha a szulfát koncentráció legalább 1,9, mérsékelten szennyezettnek, ha az 1,4 mgS/l értéket eléri. Fenti kritériumokat alkalmazva jelenleg az európai kontinens 27%-a szennyezett, 33%-a pedig mérsékelten szennyezett a csapadékvíz szulfát tartalmát figyelembe véve.

A bemutatott kén-dioxid és szulfát koncentráció mezőket *(3. és 4. ábra)* ezután 200 km távolságú rácspontokban kiértékeltük. A szulfát koncentráció értékeket Európa hosszúsorozatú csapadékmennyiségének ugyancsak azonos rácspontokra meghatározott adatai szerint súlyoztuk. Ezt követően a kontinens átlagos kén-dioxid és szulfát koncentrációit az 1950-es, 1970-es és 1980-as

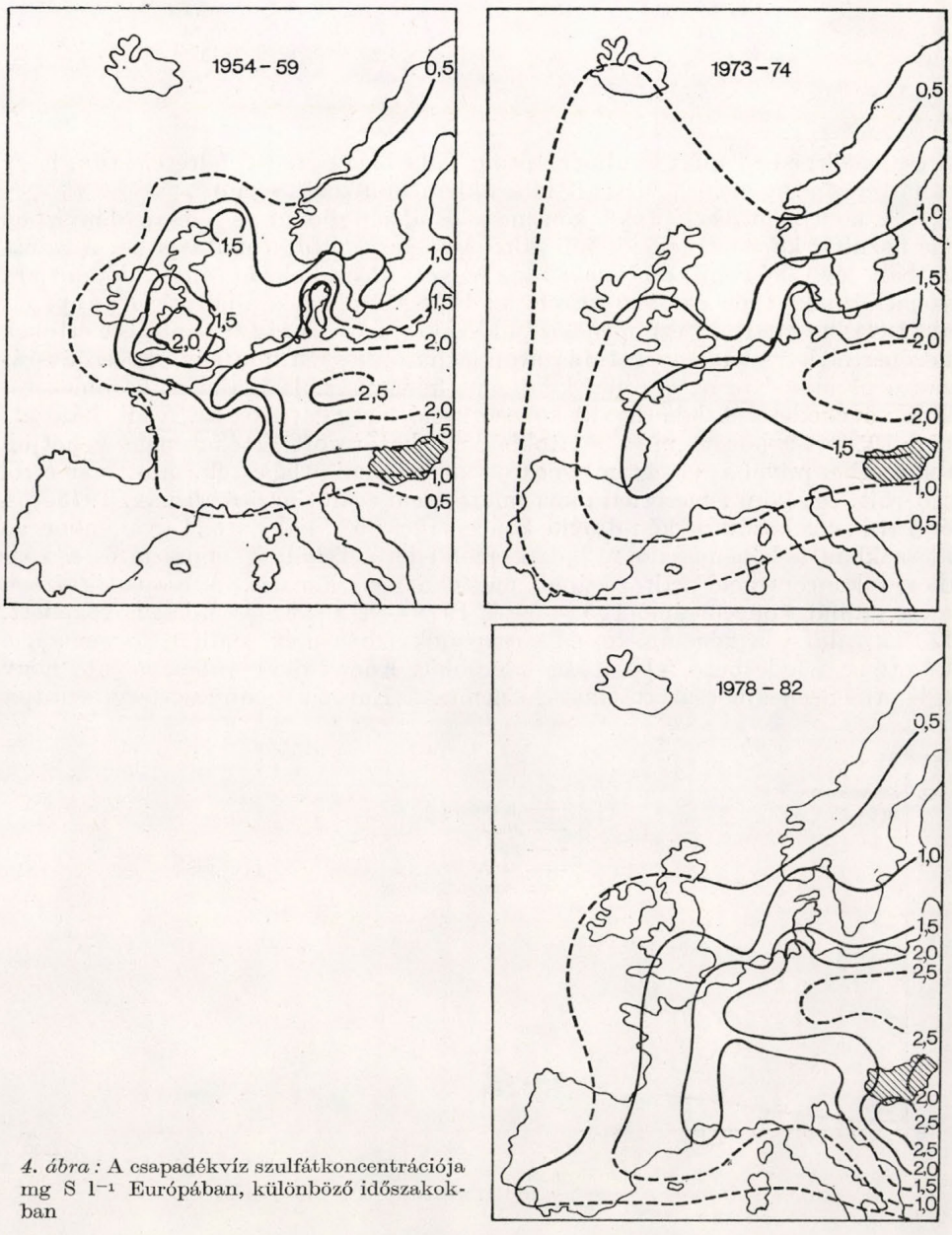
évekre meghatároztuk, az időbeli változás kimutatása céljából. A kén-emisszió értékeit a rendelkezésre álló szakirodalmi adatokból gyűjtöttük össze (*Bettelheim—Littler*, 1979; *Highton* és *Chadwick*, 1982; *Houlliers*, 1984; *Kauppi—Posch* et. al. 1984). A kénemisszió időbeli változását 1860 és 2030 között a *5. ábrán* tüntettük föl. A kénemisszió nagyarányú növekedése 1950-től kezdődik és lényegében még a mai napig is tart, bár a 70-es évektől a növekedés üteme lassult. Az 1980 utáni időszakra is készültek már becslések



3. ábra: A kén-dioxid-koncentráció $\mu g\ S\ m^{-3}$ Európában, különböző időszakokban

(*Highton* és *Chadwick*, 1982; *Kauppi* et. al., 1984). Ezek szerint ha nagymértékű energiafelhasználás folytatódik, 2030-ra az emisszió a 70-es évek értékének kétszeresére nőhet. Az energia felhasználás nagymértékű visszafogásával és hatékony szabályozással viszont elérhető, hogy a kénemisszió az 50-es évek előtti, kb. 10 MtS/év értékre csökkenjen.

A koncentráció adatokból a hemiszférikus háttérkoncentráció értékét (*Szepesi*, 1986) levontuk. Kén-dioxidra ez a háttérkoncentráció 1,25 μgSm^{-3},



4. ábra: A csapadékvíz szulfátkoncentrációja mg S l^{-1} Európában, különböző időszakokban

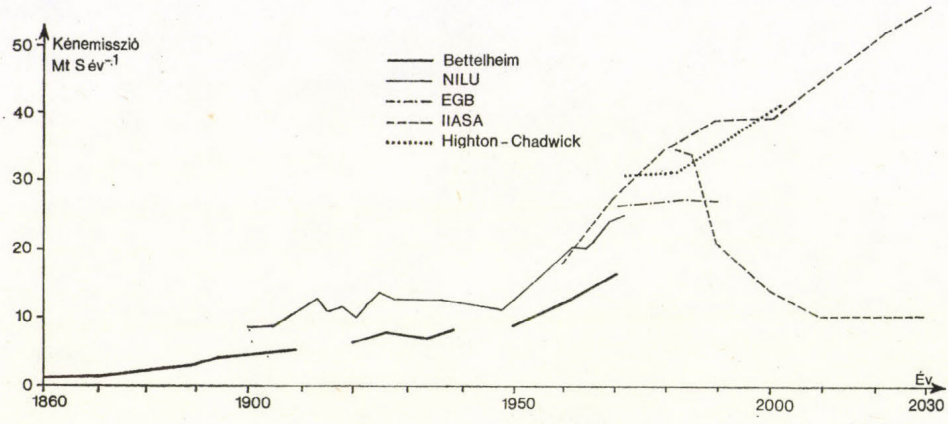
I. TÁBLÁZAT

A kénemisszió, a kén-dioxid- és a csapadékvízben mért szulfátkoncentráció időbeli változása Európában

Időszak	$SO_2 - S$ Mt $év^{-1}$	$SO_2 - S$ $\mu g\ m^{-3}$	$SO_4^{2-} - S$ mg l^{-1}
1954 – 59	13,0	–	0,71
1973 – 74	29,0	4,00	0,74
1978 – 82	35,0	4,25	1,02

a csapadékvízben mért szulfátra pedig 0,38 mgSl^{-1}. Itt feltételeztük, hogy a háttérkoncentráció a vizsgált időszakban változatlan volt.

A kontinentális léptékű kénemisszió, a kén-dioxid és a csapadékvízben mért szulfát koncentráció időbeli változását az *I. táblázat* mutatja be. A táblázatban lévő kénemisszió adatok az egyes időszakok középső időpontjára vonatkoznak. 1960 és 1980 között az IIASA emissziós adatait (*Kauppi* et. al., 1984) használtuk, ezt megelőző időszakra az *5. ábrán* feltüntetett értékek középértékét vettük. Az I. táblázaton látható, hogy a mintegy negyed évszázados periódusban az európai kontinens kénemissziója csaknem háromszorosára növekedett. A kén-dioxid koncentráció vizsgálatakor a „svéd" hálózatban 1954—59 között mért adatokból meghatározott értéket nem vehetjük tekintetbe, mivel a 8,6 μgSm^{-3}-nek adódó európai átlagérték, mint már erről szó volt, egyelőre ismeretlen okok miatt, nem tekinthető reálisnak. 1973—74 és 1978—82 között a kén-dioxid koncentráció 6%-kal nőtt. Ugyanebben az időszakban a kénemisszió 21%-kal emelkedett. Tehát az emisszió és a kéndioxid koncentráció változásának mértéke nem lineáris. A csapadékvízben mért szulfát koncentráció 1954—59 és 1978—82 között 44%-kal növekedett. Látható, hogy a kénemisszió és a csapadékvízben mért szulfát koncentráció között sem fedezhető fel lineáris kapcsolat. Ennek okát abban látjuk, hogy a kontinensen kibocsátott emisszió nemcsak Európa szennyezettségi szintjét



5. ábra: A kénemisszió Európában 1860 – 2030 között

növeli, hanem az egész hemiszférára terjed. A kevert réteg „lélegzése" során az emisszió egy része a szabadlégkörbe kerül, majd a forrásterülettől távoli vidékeken érezteti hatását. A vizsgált koncentráció értékekben viszont az európai kontinensen mutatkozó hatás mértéke tükröződik.

Összehasonlításként, lokális léptékű szennyezési folyamatra is bemutatjuk a kénemisszió és a kén-dioxid koncentráció egyidejű változását, Budapest 1958—82 közötti adatai (*BFT*, 1984) alapján *(II. táblázat)*. A mért koncentráció értékekből a $7 \mu g Sm^{-3}$-es regionális háttérkoncentrációt levontuk, feltételezve, hogy a vizsgált időszakban a háttérszennyezettség mértéke

II. TÁBLÁZAT

A kénemisszió és a kén-dioxid-koncentráció időbeli változása Budapesten

Időpont	SO_2-S kt $év^{-1}$	SO_2-S $\mu g\ m^{-3}$
1958	120	120
1960	112	103
1965	95	73
1970	80	55
1975	62	37
1980	45	25
1982	40	21

változatlan volt. Az II. táblázat adatai szerint, közel negyed évszázad alatt Budapest kénemissziója 67%-kal csökkent, a kén-dioxid koncentráció pedig 82%-kal mérséklődött. Az emisszió és a koncentráció időbeli változásának összefüggése tehát lokális léptékben sem lineáris, a hatás viszont ellentétes értelmű, mint azt a kontinentális léptékű szennyezési folyamatnál tapasztaltuk. Budapesten az emisszió csökkentés mértékét nagyobb arányú koncentráció csökkenés követte, mivel főleg a felszínközeli immissziómérésekre döntő hatást gyakorló alacsony források kibocsátását korlátozták, a gázprogram megvalósítása, a távfűtés elterjesztése során.

5. Összefoglaló következtetések

A kontinentális léptékű levegő- és csapadékminőség tér- és időbeli megoszlásának vizsgálatára a „svéd", az OECD és az EMEP monitoring hálózatok különböző időszakokban mért adatai alapján került sor.

A levegő- és csapadékminőség tér- és időbeli változásának meghatározásához reális, objektív alapadatok szükségesek. Az adatokban fellelhető ellentmondások kiszűrése hatékony minőségellenőrzés útján lehetséges. A dolgozat kitér néhány zavaró tényező ismertetésére, amelyek korrekciója lehetővé teszi a reális alapadatok előállítását, majd pedig a transzmissziós tényezőktől függetlenített trendek meghatározását.

Az egyes levegő- és csapadékkémiai komponensek térbeli változása az európai kontinens területén nagymértékű. A maximális koncentrációk általában a fő forrásterületek közelében, Közép-Európában alakulnak ki, az antropogén eredetű emissziók hatását tükrözik. A különböző levegő- és csapadékkémiai komponensek hatásának területi kiterjedése változó. Pl. a

kén-dioxid Európa területének 27%-át, a csapadékvízben mért szulfát pedig 21%-át jelentős mértékben szennyezi.

A kontinentális léptékű kénemisszió és a koncentrációk párhuzamos adatainak értékelése 1954—59 és 1978—82 közötti időszakra terjed. Ezalatt az európai kontinens kénemissziója 169%-kal nőtt, a csapadékvíz szulfát koncentrációja 44%-os emelkedést ért el. A kén-dioxid koncentráció változása csak 1973—74 és 1978—82 között értékelhető. Ebben a periódusban 6%-kal növekedett, ugyanekkor az emisszió 21%-os emelkedést mutatott. Így a kibocsátás és a felszínközelben kialakuló koncentrációk változása között lineáris összefüggés nem fedezhető föl.

Budapest 1958—82 közötti adataiból megállapítható, hogy bár ellentétes értelemben, de lokális léptékben sem arányos a kénemisszió és a kén-dioxid koncentráció párhuzamos időbeli változása. A kénemisszió 67%-os csökkentése 82%-os kén-dioxid csökkenést eredményezett.

IRODALOM

De Bary, E.—Junge, C., 1963: Distribution of sulfur and chlorine over Europe. Tellus, XV, 370—382.

Bettelheim, J.—Littler, A., 1979: Historical trends of sulphur oxide emissions in Europe since 1865. PL—GS/E/1/79. Central Electricity Generating Board.

BFT, 1984: *Budapest hosszútávú környezetvédelmi koncepciója. Helyzetfeltárás.* Budapest Főváros Tanácsa, Közmű- és Mélyépítési Főigazgatóság Környezetvédelmi Osztálya. Budapest.

Highton, N. H.—Chadwick, M. J., 1982: The effects of changing patterns of energy use on sulfur emissions and depositions in Europe. *Ambio*, 11, 324—329.

Horváth, L., 1980: Effect of sampling period and method on the measured rate of wet deposition of inorganic compounds. *Időjárás, 84*, 130—134.

Houlliers, C., 1984: Emissionssituation in Frankreich — Französische Strategie der Emissionsminderung und eigeleitete Masshanmen. *VDI-Berichte*, 495, 21—28.

Kauppi, P.—Posch, M.—Matzner, E.—Kauppi, L.—Kämäri, J., 1984: Acidification of forest soils: model development and application for analysing impacts of acidic deposition in Europe. CP-84-16. IIASA, Laxenburg.

Mészáros E., 1973: A csapadékvíz kémiai összetétele Közép-Európában. *Időjárás, 77*, 35—47.

Mészáros, E., 1978: Concentration of sulfur compounds in remote continental and oceanic areas. Sulfur in the atmosphere. (Ed.: Husar, R. B., Lodge, J. P. Jr. and Moore, D. J.). Pergamon Press.

Mészáros, E.—Várhelyi, G.—Haszpra, L., 1978: On the atmospheric sulfur budget over Europe. *Atmospheric Environment*, 12, 2273—2277.

Munn, R. E.—Rodhe, H., 1970: On the meteorological interpretation of the chemical composition of monthly precipitation samples. *Tellus, XXIII*, 1—12.

Rodhe, H.—Granat, L., 1984: An evaluation of sulfate in European precipitation 1952—1982. *Atmospheric Environment, q18*, 2627—2639.

Söderlund, R., 1982: A note on the difference between bulk and wet-only precipitation collectors. *ECE — EMEP meeting on chemical matters.* Geneva, March, 1982. No. 820604.

Summary report from the Chemical Co-ordinating Centre for the second phase of EMEP. EMEP/CCC — Report 24, 1984. NILU.

Szepesi D., 1986: Savas anyagok nagyléptékű légköri transzmissziója Európában. *Időjárás, 90*, 89—102.

The OECD Programme on long range transport of air pollutants. Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris, 1977.

WMO, 1974: *Operations Manual for sampling and analysis techniques for chemical constituents in air and precipitation.* 1974. WMO — No. 299., Geneva.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2—3. szám, 1986. március—június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2—3. March—June 1986. Budapest

Savas ülepedés Magyarországon

HORVÁTH LÁSZLÓ és MÉSZÁROS ERNŐ, *Központi Légkörfizikai Intézet, H—1675 Budapest, Pf. 39.*

Acid deposition in Hungary. The results of the Hungarian precipitation network show that the mean p_H of monthly precipitation samples is 4.7 for the period of 1978—82. The maximum calculated p_H (without neutralization processes) is 3.8. The acidity of precipitation water is mainly caused by sulfuric acid (around 3/4 of the total acidity), however, the relative importance of nitric acid is continuously increasing. Dry deposition rates of atmospheric nirtogen and sulfur compounds were calculated on the basis of background air pollution monitoring network in Hungary. The ratio of the dry deposition of sulfur and nitrogen compounds is 3:2. The maximum total (wet + dry) deposition of acidic materials, expressed in H^+ equivalents, is 0.2 g $m^{-2}yr^{-1}$. Approximately 60 and 40% of the total deposition are connected with dry and wet deposition, respectively.

✳

Savas ülepedés Magyarországon. A magyar csapadékkémiai hálózat eddigi eredményei azt mutatják, hogy a havi minták átlagos p_H-értéke 4,7 körül van. A számított maximális (semlegesítő hatás nélküli) savasságnak megfelelő p_H = 3,8. A csapadékvíz savasságáért a kén- és nitrogénvegyületek körülbelül 3:1 arányban felelősek, utóbbiak relatív jelentősége azonban egyre nő. A légköri kén- és nitrogénvegyületek száraz ülepedését a háttérszennyezettség-mérő hálózatban mért koncentráció-adatokból és a száraz ülepedési sebesség értékeiből határoztuk meg. A kén- és nitrogénvegyületek száraz ülepedésének mértéke 3:2 arányban viszonyul egymáshoz. A savas anyagok összes (nedves + száraz) ülepedése H^+ egyenértékben kifejezve 0,2 g m^{-2} $év^{-1}$. Ennek 60, illetve 40%-a köszönhető a száraz, illetve a nedves ülepedésnek.

✳

Bevezetés. A légköri savas ülepedés következtében fellépő savasodás az egyik legjelentősebb környezeti problémává vált Európában és a világ más iparosított területein. Környezetünk megóvása a további savasodástól igen összetett feladat. Ennek egyik első lépése a légköri savas vegyületek fluxusainak pontos meghatározása a különböző, vízi és szárazföldi ökológiai rendszerek fölött. Jól ismert tény, hogy a légköri száraz és nedves ülepedés, legalábbis regionális léptékben, hasonló mértékű. Ezért a nemzeti és nemzetközi mérőhálózatok célja kettős. Vizsgálnunk kell egyrészt a csapadékvíz kémiai összetételét a nedves ülepedés meghatározása céljából. Másrészt a száraz ülepedés értékének kiszámításához folyamatosan mérnünk kell a légköri kén- és nitrogénvegyületek talajközeli koncentrációját.

Magyarországon a csapadékvíz kémiai összetételének vizsgálata 1965-ben, míg a savas légköri anyagok háttérkoncentrációjának mérése 1974-ben kezdődött. E tanulmány célja, hogy rövid összefoglalót adjon a légköri savas ülepedésre vonatkozó vizsgálatainkról.

1. Hálózat, mintavételi és mérési módszerek

A mintavételi állomások elhelyezkedését Magyarországon az *1. ábra* mutatja be. A regionális háttérszennyezettség-mérő állomások telepítési követelményei (Farkasfa, K-puszta, Szarvas) gyakorlatilag megegyeznek a WMO (1978) által javasoltakkal. Mindhárom állomáson a kén-dioxidot *West* és *Gaeke* (1956), míg a nitrogén-dioxidot *Levaggi* et al. (1973) módszerével határoztuk meg. Salétromsav mintavételhez (K-puszta) impregnált szűrőt használunk *(Forrest* et al., 1980). Az ezt követő spektrofotometriás meghatározás a szalicilsav nitrálásán alapul.



1. ábra: A mintavételi helyek elhelyezkedése Magyarországon. ●: háttérszennyezettség-mérő állomás, automatikus csapadékminta-vevővel; ○: automatikus csapadékminta-vevő

Az aeroszol részecskéket a szulfát és nitrát meghatározásához teflon szűrő felületén fogjuk fel (K-puszta, Farkasfa). Mintavétel után a szulfátot izotóphigításos analízissel *(Klockow* et al., 1974), míg a nitrátot a salétromsav kimutatásához hasonló módszerrel mérjük.

A napi mintavételeket a felszín fölött 1,5 méter magasságban végezzük.

A magyar csapadékkémiai hálózat 10 állomásból áll (ld.: 1. ábra). Minden állomáson havi mintavételeket végzünk, csak a csapadékhullás során nyitott, ún. automatikus mintavevőkkel. A hálózat különösen sűrű a Balaton környékén, ezért a következőkben csak a két hosszabb ideje működő állomás adatait (Tihany, Keszthely) használjuk fel. Ezen kívül, a két újonnan telepített állomás (Farkasfa, Napkor) esetében viszonylag rövid a mérési periódus, ezért e két állomás adatait nem vettük számításba. A csapadékminták savasságát és kémiai összetételét üvegelektróddal és p_H-mérővel, valamint spektrofotometriás és izotóphigításos módszerekkel határozzuk meg. Az állomáshálózatról a mintavételi és analitikai módszerekről bővebben tájékoztat *Horváth* és *Mészáros* (1984), valamint *Mészáros* és *Horváth* (1984) tanulmánya.

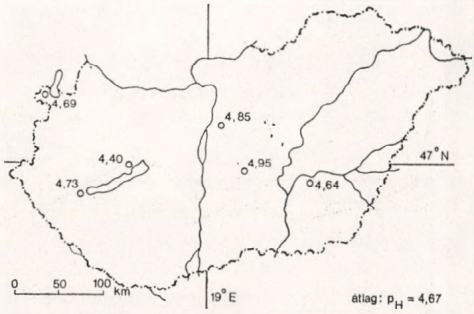
2. A csapadékvíz savassága

Az 1978/82-es ötévi időszakra vonatkozó átlagos p_H értékek az egyes állomásokon a *2. ábrán* láthatók. Az országos átlagos p_H 4,67-tel egyenlő, azaz a csapadékvíz körülbelül tízszer savasabb a levegőkémiában semlegességi pontnak tekintett $p_H = 5{,}6$-es értéknél. Az átlagértéktől azonban jelentős eltérések mutatkoznak. A *3. ábrán* láthatjuk, hogy a csapadékvíz hidrogénion koncentrációja hat nagyságrenden belül változik Magyarországon. A legsavasabb p_H 3,35 volt az említett időszakban. Az esetek 6%-ában a csapadék

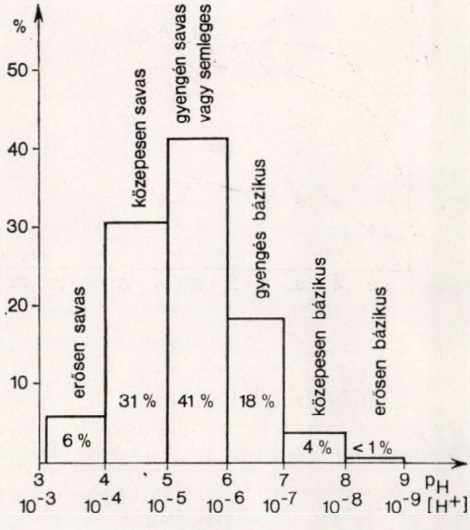
erősen savas volt ($3 < p_H < 4$). A közepesen savas minták ($4 < p_H < 5$) száma ennél jóval magasabb, 31%-ot tesz ki. A csapadékvíz gyengén savas vagy semleges ($5 < p_H < 6$) az esetek 41%-ában, míg a minták 22%-a bázikus, a talajeredetű karbonát és hidrogén-karbonát tartalmú aeroszol részecskék kimosódása következtében. A havi csapadékminták p_H-jának gyakorisági eloszlása gyakorlatilag normál.

A csapadékvíz p_H-jának értelmezésekor azonban legalább három zavaró tényezőt figyelembe kell vennünk.

a) Magyarországon a csapadékvíz p_H-ját nagymértékben befolyásolják a talajeredetű bázikus részecskék *(Horváth,* 1981). A gázhalmazállapotban vagy



2. ábra: A csapadékvíz átlagos p_H értékei a különböző állomásokon (1978/82)

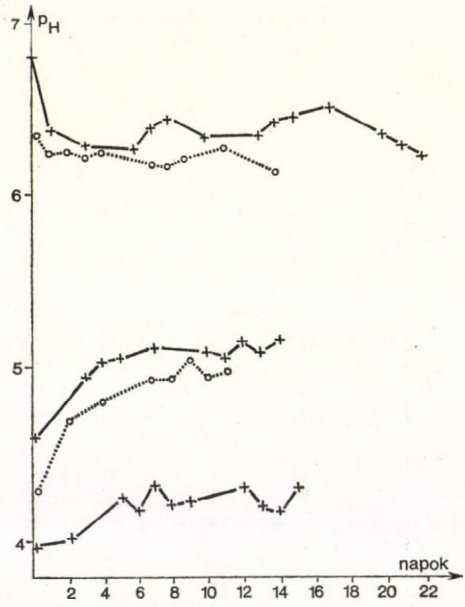


3. ábra: A havi csapadékminták p_H-jának gyakorisági eloszlása (1978/82)

kisméretű részecskék formájában ($r < 1$ μm) lévő savas kén- és nitrogénvegyületek hatására adott régión belül a csapadékvízben meghatározott p_H érték alakul ki. Ezt a „háttér" savasságot befolyásolhatja, a mérési helytől függően eltérő mértékben, a rövid tartózkodási idejű, nagyméretű ($r > 1$ μm), nagy térbeli változékonyságú, bázikus részecskék kimosódása.

b) Havi mintavételek során a savas és bázikus minták semlegesítődhetnek az egyedi csapadékminták összeöntésekor. E nivelláló hatás nélkül a 3. ábrán bemutatott gyakorisági eloszlás szélsőségesebb lenne. Ennek egyik legfontosabb következménye, hogy az átlagos p_H is savasabb tartományba tolódna el, a hidrogénion-koncentráció és a p_H logaritmikus összefüggése miatt.

c) A csapadékvíz p_H-ja változhat a havi csapadékminták tárolása során is. A csapadékhullás és a p_H-mérés közt eltelt időszakban általában mind a savas mind a bázikus minták p_H-ja semleges irányba tolódik el. Ezt a folyamatot illusztrálja a *4. ábra.* Látható, hogy a p_H változás a csapadékhullást követő napokban különösen jelentős. Ez a jelenség szintén a minták homogenizálódásához vezet, hasonló következménnyel a *b)* pontban elmondottakhoz.



4. ábra: A p_H változása a csapadékvízben, mint az idő függvénye

Fentiekből következik, hogy *a), b)* és *c)* zavaró hatások nélkül a Magyarországra jellemző átlagos p_H savasabb lenne, mint a mért érték (4,67). Emiatt ez utóbbit a savasság alsó határának kell tekintenünk (p_H, max.).

A savasság felső határának megállapításához vegyük figyelembe azt a tényt, hogy a csapadékvíz savasságát az iparosított területeken elsősorban a kénsav és a salétromsav szabályozza, melyek antropogén eredetű kéndioxidból és nitrogén-monoxidból keletkeztek. E savak anionjai, a szulfát és a nitrát az oxidációs folyamatok stabil termékei a csapadékvízben. A szulfát- és a nitrátion egyenértékben kifejezett koncentrációinak összege megadja a savasság lehetséges felső határát, azaz a p_H minimális értékét. Magyarországon az átlagos szulfát-, illetve nitrátkoncentráció 119, illetve 41 μekv l^{-1} *(Horváth* és *Mészáros,* 1984). Ebből következik, hogy legfeljebb 160 μekv l^{-1}

lehet a csapadékvízben a hidrogénionok koncentrációja. Az ennek megfelelő p_H 3,8-del egyenlő. Valószínű tehát, hogy a magyar csapadékvizek átlagos p_H-ja 3,8 és 4,7 közé esik.

3. A savas kén- és nitrogénvegyületek száraz ülepedése

A savasodás szempontjából legjelentősebb légköri koncentrációval rendelkező vegyületek a kén-dioxid, a nitrogén-dioxid és a salétromsav, valamint a szulfát- és nitráttartalmú részecskék. A száraz ülepedés mértéke az említett nyomanyagok talajközeli koncentrációinak és száraz ülepedési sebességeinek ismeretében határozható meg. Utóbbi mennyiség egy-egy adott típusú felszín (vízfelület, csupasz talaj, fűvel borított talaj stb.) esetén viszonylag állandó érték. A talajközeli koncentráció és a száraz ülepedési sebesség szorzata adja meg a fluxust, azaz a száraz ülepedés mértékét.

I. TÁBLÁZAT

A savas légköri kén- és nitrogénvegyületek átlagos háttérkoncentrációja, ülepedési sebessége és száraz ülepedése Magyarországon

Vegyület	Koncentráció ($\mu g\ m^{-3}$)	Ülepedési sebesség		Száraz ülepedés ($g\ m^{-2}$)
		($cm\ s^{-1}$)	irodalom	
SO_2	11,9	0,6	*Várhelyi* (1980)	2,25
SO_4^{2-}	8,4	0,024	*Mészáros* (1971), *Hidy* (1973)	0,06
NO_2	8,2	0,5	*Várhelyi* (1980)	1,29
HNO_3	1,7	2,0	*Huebert* (1983)	1,05
NO_3^-	3,2	0,03	*Mészáros* (1971), *Hidy* (1973)	0,03

Az *I. táblázat* összegezi a légköri savas vegyületek száraz ülepedésére vonatkozó vizsgálataink eredményeit. Meg kell jegyezni, hogy a kén-dioxid és a nitrogén-dioxid regionális háttérkoncentrációját három állomás (Farkasfa, K-puszta, Szarvas) adataiból, míg az aeroszol szulfát és nitrát adatokat két mérőhely (Farkasfa, K-puszta) mérési eredményeiből átlagoltuk. Salétromsav méréseket egy állomáson (K-puszta) végzünk. Az I. táblázat első oszlopában látható kén- és nitrogénvegyületek koncentrációit részben *Mészáros* és *Horváth* (1984), részben *Horváth* (1985) munkáiból vettük át.

A háttérkoncentrációkon kívül az I. táblázat a legvalószínűbb száraz ülepedés értékeket is tartalmazza. Aeroszol részecskék esetében (szulfát és nitrát) a részecskék közepes átmérőjét *Mészáros* (1971) nagyság szerinti eloszlás adataiból, míg az ilyen átmérőjű részecskék ülepedési sebességét a *Hidy* (1973) által publikált Chamberlain-görbéből határoztuk meg. Magától értetődik, hogy a fűfelszínre vonatkozó ülepedési sebességek általánosítását óvatosan kell kezelnünk. Az ülepedés reális értéke a megadott adatok körül valószínűleg 2—3-as faktoron belül van.

A táblázat utolsó oszlopa adja meg a száraz ülepedés értékeit, amelyeket az átlagos koncentrációk és a sebességek szorzatából kaptunk meg. Láthatjuk, hogy a részecskék száraz ülepedése elhanyagolható a gáznemű anyagokéhoz (kén-dioxid, nitrogén-dioxid, salétromsav) képest. Valószínű, hogy a részecskék inkább a nedves ülepedésben játszanak lényeges szerepet.

4. *A savas ülepedés különböző formáinak összehasonlítása*

A *II. táblázatban* a savas száraz és nedves ülepedés mértékének összehasonlítása látható. A száraz ülepedés adatokat az I. táblázatból, míg a nedves ülepedés értékeit a magyar csapadékkémiai hálózat eredményeiből *(Horváth* és *Mészáros,* 1984) vettük át. A táblázat adatai szerint a kénvegyületek száraz és nedves ülepedésének mértéke azonos, míg a savas nitrogénvegyületeknél a száraz ülepedés jóval felülmúlja a nedves kihullás hatását.

II. TÁBLÁZAT

A légköri savas vegyületek száraz és nedves ülepedésének összehasonlítása. SO_x *a kénvegyületeket* (SO_2, SO_4^{2-}), NO_x *pedig a nitrogénvegyületeket jelöli* (NO_2, NO_3^-, HNO_3)

Vegyületek	gN vagy S m^{-2} $év^{-1}$			H^+ egyenérték m^{-2} $év^{-1}$		
	száraz	nedves	összes	száraz	nedves	összes
Kén SO_x	1,1	1,1	2,2	0,07	0,07	0,14
Nitrogén NO_x	0,63	0,33	0,96	0,05	0,02	0,07
Összes ülepedés H^+, max.				0,12	0,09	0,21

A kén- és nitrogénvegyületek savas ülepedésének egymáshoz viszonyított arányát a táblázat jobb oldalának adatai segítségével hasonlíthatjuk össze, ahol az ülepedéseket hidrogénion egyenértékben fejeztük ki. Megfigyelhetjük, hogy a száraz és a nedves ülepedésben a kén- és nitrogénvegyületek aránya hozzávetőlegesen 3:2, illetve 3:1. Utóbbi azt is kifejezi, hogy a szulfát/nitrátionok aránya a csapadékvízben 3:1. Ez az érték azonban időben nem állandó. Világszerte megfigyelhetjük, hogy a nitrátionok csapadékvízben mért mennyisége mind abszolút értékben, mind a szulfáthoz viszonyítva egyre nő. Magyarországon például a századfordulón *Kazay* (1904) által mért nitrát mennyiségének jelenleg már körülbelül a hétszeresét mérjük *(Horváth,* 1983).

Végeredményben az összes savas ülepedés 0,21 g m^{-2} $év^{-1}$ értéket tesz ki, hidrogénion egyenértékben Magyarországon. Ennek 2/3-a a kénvegyületeknek, míg 1/3-a a nitrogénvegyületeknek köszönhető. Ezt az értéket azonban úgy kell tekinteni, mint a savas ülepedés felső határát (H^+, max.) mivel a II. táblázatban is a csapadékvíz savasságának felső határát (ld. 2. pont) vettük figyelembe.

IRODALOM

Forrest, J., Tanner, R. L., Spandau, D., D'Ottavio, T. and *Newman, L.,* 1980: Determination of total inorganic nitrate utilizing collection of nitric acid on NaCl-impregnated filters. *Atmospheric Environment 14,* 137–144.

Hidy, G. M., 1973: Removal processes of gaseous and particulate pollutants. In: *Chemistry of the Lower Atmosphere* (edited by Rasool S. I.), pp. 121–176. Plenum Press, New York.

Horváth, L., 1981: A csapadékvíz kémiai összetétele Magyarországon. *Időjárás 85,* 201–212.

Horváth, L., 1983: Trend of the nitrate and ammonium content of precipitation water in Hungary for the last 80 years. *Tellus 35 B,* 304–308.

Horváth, L., 1985: Légköri nitrogénvegyületek háttérkoncentrációja és ülepedése Magyarországon. *Időjárás 85,* 262–268.

Horváth, L. and *Mészáros, E.*, 1984: The composition and acidity of precipitation in Hungary. *Atmospheric Environment 18*, 1843–1847.

Huebert, B. J., 1983: The dry deposition of HNO_3 vapour as sink for NO_y. Presented at the *CACGP Symposium on Tropospheric Chemistry*. Oxford, U. K.

Kazay, E., 1904: A légköri csapadékok chemiai analysise. *Időjárás 8*, 301–306.

Klockow, D., Denzinger, H. und *Rönicke, G.*, 1974: Anwendung der substöchiometrischen Isotopenverdünnunganalyse auf die Bestimmung von atmosphärischen Sulfate und Chloride in „Background" Luft. *Chemie-Ingenieur-Technik 46*, 831.

Levaggi, D. A., Siu W. and *Feldstein M.*, 1973: A new method for measuring average 24-hours NO_2 concentration in the atmosphere. *J. Air. Pollut. Control Ass. 23*, 30–33.

Mészáros, E., 1971: The size distribution of water soluble particles in the atmosphere. *Időjárás 75*, 308–314.

Mészáros, E. and *Horváth, L.*, 1984: Concentration and dry deposition of atmospheric sulfur and nitrogen compounds in Hungary. *Atmospheric Environment 18*, 1725–1730.

Várhelyi, G., 1980: Dry deposition of atmospheric sulfur and nitrogen compounds. *Időjárás 84*, 15–20.

West, P. W. and *Gaeke, G. C.*, 1956: Fixation of sulfur dioxide and disulfitomercurate (II) and subsequent colorimetric estimation. *Anal. Chem. 28*, 1816–1819.

WMO, 1978: *International Operations Handbook for Measurement of Background Atmospheric Pollution*. No. 491. Geneva.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2—3. szám, 1986. március—június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2—3. March—June 1986. Budapest

A légköri eredetű savasodás hatása a természetes élővilágra

JAKUCS PÁL, *KLTE Ökológiai Tanszék, H—4010 Debrecen*

The impact of atmospheric acidification on living organisms. Atmospheric pollutants — including the ones which cause acidification — have a direct or indirect impact on living organisms and their populations and communities. A direct impact is established when air pollutants (for example, SO_2, NO_x, O_3 molecules) entering the living organism set off chemical processes with toxic effects, or by means of their ion-exchange mechanisms they disrupt the normal functioning of cells. A large part of the direct effects are so called „residue-pathological phenomena", that is, such molecular processes in which inorganic free residue reactions start in the course of auto-oxidation. In the case of indirect effects, the pollutant first initiates processes of change in some other large exterior group of factors (for example, water and soil) which, in turn, influence the tolerance spectrum of living organisms directly and actually. While signs of direct effects can be soon and easily detected, indirect effects — for their complex and accumulative character — can only be revealed and determined by means of rigorous ecological investigations. This paper presents cases of damages of both types in Hungary as well as the response (indication) living organisms give to them. A detailed discussion of the results obtained from the investigation of dying sessile oaks in Hungary is offered. The paper proves that aluminium and other toxic heavy metals becoming water soluble in acidic forest soils decrease the intake capacity of root-systems of trees primarily through the destruction of mikorrhiza-fungi. This, in the end, causes the trees to die in a state of water and nutrient circulation stress. The paper offers a new complex ecological diagram showing such ways of tree-dying which are not caused by natural effects (natural catastrophies and aging). The bold line indicates the proved indirect path of death of sessile oaks in consequence of air pollution.

*

A légköri eredetű savasodás hatása a természetes élővilágra. A légköri szennyező anyagok — így a savasodást okozók is —, az élő szervezetekre, ill. ezek populációira, társulásaira közvetlenül, vagy áttételesen hatnak. Közvetlen hatásról akkor beszélünk, ha a légszennyező anyagok (pl. SO_2, NO_x, O_3-molekulák) bejutva az élő szervezetekbe, olyan kémiai folyamatokat indítanak el, amelyek toxikus hatásúak, vagy ion-kicserélő mechanizmusuk révén megzavarják a sejtek normális működését. A közvetlen hatások nagy része ún. „gyökpatológiai jelenség", azaz olyan molekuláris folyamatok, amelyekben az autooxidáció során szervetlen szabadgyök-reakciók indulnak meg. Az áttételes vagy közvetett hatásnál a szennyező anyag először valamelyik másik külső nagy tényező-csoportban (pl. víz, talaj) indít el olyan változás-folyamatokat, amelyek azután az élő szervezetek tűrőképességi tartományára már közvetlenül és ténylegesen jelentenek változtató hatást. Amíg a közvetlen hatás jelei hamar és könnyebben észrevehetők, az áttételes hatások — bonyolultságuk és akkumulációs jellegük miatt —, csak részletes ökológiai vizsgálatokkal tárhatók fel és bizonyíthatók. A közlemény magyarországi példákat mutat be mindkét típusú károsításokból és az élővilág ezekre adott válaszreakcióiból (indikátorság). Részletesen tárgyalja a magyarországi kocsánytalan tölgy pusztulása terén végzett vizsgálatokkal nyert eredményeket. Ezekben bizonyítja, hogy az elsavanyodó erdőtalajokban vízoldékonnyá váló alumínium és más toxikus nehézfémek elsődlegesen a mikorrhiza-gombák pusztításán keresztül csökkentik a fák felszívó gyökérrendszerét, ami miatt végül a fa víz- és tápanyag-cirkulációs stressz-állapotba kerülve elpusztul. Egy új, komplex ökológiai diagramon be-

mutatja a fák nem elemi kár, vagy természetes öregedéssel történő elhalási útjait, vastag vonallal jelezve a diagramon a kocsánytalan tölgyek légszennyeződésből eredő elhalásának bizonyított áttételes útját.

Bevezetés. A bioszférában az élőszervezetek faji változatossága és egyedszáma igen nagy. Közösségekbe — populációkba és társulásokba rendeződve — hosszú idő alatt adaptálódási folyamat eredményeként élnek együtt élőhelyük (környékük) ténylegesen ható biotikus és abiotikus tényezőivel. A közösségek tűrőképességi tartománya és a ható tényezők között a biológiai evolúció során létrejött szabályozottság biztosította és biztosítja ma is az ún. „ökológiai stabilitást", amely lehetővé teszi az ember számára is egészséges életfeltételeinek fennmaradását Földünkön.

A ható faktorokban történő olyan változások, amelyek túllépik az élő egyedek, ill. közösségeik tolerancia-határait, eltolódásokat okoznak az adott élőlény-környezeti rendszer mennyiségi és minőségi viszonyaiban. Emiatt a korábbi idők ökológiai értelemben vett „stabil" élőközösségei „labilissá", sérülékennyé válnak. A közösségek „kompartmentjei" közötti strukturális és funkcionális kapcsolatokban „törések", „hiányok" lépnek fel, egyes populációk egyedszáma robbanásszerűen növekszik, mások elpusztulnak. Ha a ténylegesen ható faktorok változása gyors, és nagyságrendje túllépi a tűrőképességi küszöböt, az élőszervezetekben és közösségeikben védekezési mechanizmusok lépnek fel, de tartóssá váló és erős hatás esetén már ez sem tudja biztosítani a szervezet, ill. a közösség önszabályozó- és vezérlő képességét.

Az emberiség exponenciális mértékben gyorsuló műszaki-technikai-kémiai tevékenysége — amelyeket az ember általában a saját életfeltételeinek gyors javítása érdekében végez — igen sok olyan hatással jár, amely korábban nem létezett a bioszférában (veszélyes hulladékok, víz-, levegő- talajszennyezés stb.). Ezen felgyorsuló, antropogén eredetű folyamatok közé tartozik a levegőbe jutó „szennyező" anyagok mértékének megnövekedése és a növekedési ütem folyamatossá válása. Közülük kerülnek ki a fosszilis tüzelőanyagok égetéséből származó és a környezet savasodásában döntő szerephez jutó kén- és nitrogén-oxidok is. A levegőbe jutó többi szennyező anyag (főleg szerves eredetű molekulák) száma a többszázat is meghaladja. Utóbbiaknál azonban igen kevés még az ismeretanyag lebomlási idejükről, katalitikus, színenergetikus és akkumulációs képességeikről, főleg pedig az élőszervezetekre gyakorolt tényleges hatásaikról. Amikor a levegőszennyeződésről beszélünk, külön hangsúlyozni kell, hogy az élőkre gyakorolt „káros" hatásokat mindig az összes légszennyező anyaggal együtt lenne kívánatos értékelni!

A levegőbe jutó kén- és nitrogén-oxidok, ill. az ezekből keletkező vegyületek, szabadgyök-formák az élőszervezetekkel, azok populációival és társulásaival vagy közvetlenül a levegővel történő érintkezés útján kerülnek kapcsolatba (száraz, ill. nedves ülepedés a földfelszín feletti részekre), vagy áttételesen, valamely más közegen (víz, talaj) átjutva fejthetik ki hatásukat. A savasodásnak az élőszervezetekre gyakorolt hatásairól megjelent nemzetközi irodalom könyvtárnyi nagyságrendű. Emiatt részletes idézésüktől el kell tekintenünk. Inkább arra törekedtünk, hogy példáinkat magyarországi, közölt, vagy még nem publikált konkrét kutatási eredmények alapján, legfrisebb tudásunk szerint állítsuk össze.

1. *A közvetlen (direkt) hatás*

Közvetlen hatásról akkor beszélünk, ha a légszennyező anyagok (pl. kén-dioxid-molekulák) bejutva az élőszervezetbe, olyan kémiai folyamatokat indítanak el, amelyek toxikus hatásúak, vagy ion-kicserélő mechanizmusuk révén megzavarják a sejtek normális működését. A növényi asszimiláló szervek (levelek) közvetlen károsodását számos olyan kísérlettel igazolták, ahol általában rövid életű, vagy fiatal növényeket zárt kamrákba tettek ki szennyezett levegő hatásának. Így pl. bizonyították azt is, hogy a levegő SO_2 koncentrációjának növekedése a klorofill destrukciója révén gátolja a fotoszintézis folyamatát, károsítja a levelek szöveti állományát, kedvezőtlenül hat a szállító szövetrendszerre és gátolja a virágpor-képződését.

Az SO_2 tartalmú gáz a növények leveleinek légzőnyílásán jut be a szervezetbe és ott a sejtközötti járatokban lévő víztartalmú közegben — az adott pH és egyéb abiotikus viszonyoktól függően — szulfittá, hidrogén-szulfittá vagy kénessavvá alakul. A sejtfalat, majd a sejtmembránokat megbontva eljuthat a klorofill-molekulák központjába is és ott pl. a Mg-ionokat a H-ionokra lecserélheti, megváltoztatva ezzel annak szerkezetét és működését. Aktivizálhatja a klorofilláz enzimet is, amely tovább bontja a klorofill molekulát. Gátolva a karboxiláz-enzimeket, az elsődleges CO_2-fixáción keresztül közvetlenül is gyengítheti a fotoszintézis erősségét (hatékonyságát).

A legújabb irodalmi adatok azt hangsúlyozzák, hogy a kén-dioxid közvetlen hatásában a legveszélyesebb molekuláris folyamat az, hogy az autooxidáció során szervetlen szabadgyök-reakciók indulnak meg. Ezek folytán különböző aktív oxigén-formák, mint hidrogén-peroxid, szerves peroxidok, szuperoxid-gyök, szingulett oxigén, hidroxil-gyök és más, a szervezetre potenciálisan szintén igen veszélyes termékek keletkeznek. E termékek pl. oxidálhatják a membránok telítetlen zsírsavait; az így kialakuló membrán-átjárhatóság igen sok élettani funkció szabályozását gyengíti. Emiatt módosulnak olyan folyamatok, mint a légzés, a víz- és ionösszetétel-, a fotoszintetikus szabályozottság. Mai kifejezéssel élve tehát az SO_2 mérgező hatása — legalábbis nagyrészt — „gyökpatológiai jelenség" (*Pólya*, 1979; *Shimazaki* et al. 1980; *Tanaka* és *Sugahara*, 1980; *Lizada* és *Yang*, 1981; *Schlee* és *Koch*, 1982, *Matkovics* és *Szöllősy*, 1976).

Itt jegyezzük meg, hogy a légszennyező anyagok másik nagy csoportja (nitrogén-oxidok) nemcsak közvetlenül gyökpatológiát elindító anyagok, hanem elsősorban felelősek a légköri ózon felszaporodásában, amely hatását szintén az előbbiekhez hasonló gyökreakciókon keresztül fejti ki. Sőt az újabb kutatások szerint az SO_2 és az O_3 hatása egymással szinergizmusban jelentkezik, így gyorsítja a savhatást (*Domergues* és *Louguet*, 1980).

A gyökreakciók káros hatásai ellen a szervezet védekezik. A védekezésben elsősorban a mikrotápelemekben (Fe, Mn, Cu, Zn) gazdag kismolekulájú ún. antioxidáns vegyületek (egyrészük vitamin), és más komplex anyagok jelentősek. A mikrotápelemhiány vagy azoknak éppen a savhatás miatti csökkenése a gyökreakciót elindító anyag (pl. SO_2) mérgező hatását fokozza.

A savasodás közvetlen hatása a természetben elsősorban ipari gócokban, városi körzetekben és szűkebb környékükön jelentkezik feltűnőbben.

A közvetlen hatás legismertebb indikátor-szervezetei a zúzmófajok. Már több mint 100 éve megfigyelték és leírták azt, hogy a széntüzelésű lakások füstgázai egyes zúzmófajokat károsítják vagy elpusztítják. Laboratóriumi kísérletekkel is igazolták, hogy e károsodások mind alak-, ill. színváltozásban, mind élettani, biokémiai és sejttani vonatkozásban is kimutathatók.

Az 1950-es évek körül elkészítették a világ több országában a nagyvárosok, ipari centrumok, sőt országrészek ún. zúzmótérképeit, korrelációt találva a levegő SO_2-koncentrációjának nagysága és a zúzmókárosodás között.

Hazai nagyvárosainkban, ipari centrumaink és hőerőműveink körzetében is kialakultak a zúzmósivatagok, pl. a Gagarin Hőerőmű körzetében teljesen eltűntek egyes zúzmó-populációk *(Kovács* et al., 1985).

Hangsúlyozni kell azonban azt is, hogy a sok zúzmófaj között találhatók SO_2-re rezisztens, vagy kevésbé érzékenyek is. Így az is előfordulhat, hogy a többi zúzmófaj eltűnésének zónájában egy-egy rezisztens faj populációi elfoglalják azok helyeit, és sűrű borítású állományokat alkothatnak erősen szennyezett levegőjű területen is.

Miután az élőszervezeteknek az SO_2-vel szembeni érzékenysége fajilag is eltérő, az egyedfejlődés stádiumaitól függően is változik, a természetben vizsgálatuk igen nehéz. Az bizonyos, hogy pl. a lombhullató, mérsékeltövi erdők fáinál, az évenkénti lombhullás miatt e károk kisebb mértékűek, mint pl. az örökzöld, többéves lombu fenyőféléknél. A tavasszal kihajtó új lomblevél ugyanis „tiszta lappal" fogadhatja az azévi savasító hatásokat. A nyugat-európai fenyőkárosodásokban bizonyára jelentősebb szerepe van a direkt károsító útnak. E helyen csak utalunk arra, hogy a levelekre rakódó szilárd ülepedés (por, korom stb.) egyrésze a savas, nedves vagy száraz ülepedések közvetlen hatását csökkentheti.

Hazai megfigyelések szerint nem, vagy alig mutat közvetlen károsodást a levegő SO_2-hatására pl. a burgonya, hagyma, zab stb. Eléggé tűri a fagyal, nyír, tölgyek, nyárak, platán, ezüstfenyő, örökzöldek. Igen érzékenyek viszont a közvetlen kén-dioxid szennyeződésre a vörösfenyő, jegenyefenyő, lucfenyő, a bükk, gyertyán, hárs, termesztett növényeink közül pedig a lóhere, árpa, búza stb.

Külső jelei szerint a növények levelein a kén-dioxid károsodás akut, vagy krónikus lehet. Akút hatásnál a károsodott részek (levelek) szélein és az erezet között fehér-csontszínű, néhány fajnál barnás elváltozások lépnek fel. A krónikus mérgezést jelzi, hogy nem az egész levél, hanem pl. csak a sejtek egy része károsodott, a szín a sárgától a barnás-vörösön át a fehérig változhat. A közvetlen hatás miatt a fák struktúrájában elváltozások léphetnek fel, a fa produkciója is csökken *(Bauch,* 1983; *Schütt,* 1982; *Wentzel,* 1983; *Materna* és *Jančarik,* 1982). Tartós behatás esetén az alacsonyabb koncentráció is káros lehet s létrehozhatja a szulfát-toxicitás révén a növény pusztulását.

2. *A közvetett (áttételes) hatás*

Általánosságban közvetett vagy áttételes hatásról akkor beszélünk, ha a hatóképes külső faktor (jelen esetben pl. a levegő kén-dioxid- és nitrogénoxid többlete) először valamelyik másik külső tényezőcsoportban (pl. víz, talaj) indít el olyan változás-folyamatokat, amelyek azután az élő szervezetek tűrőképességi tartományára már közvetlenül és ténylegesen jelentenek változtató-hatást.

A közvetett hatások közös jellemzői közül kiemeljük azt, hogy

— rendszerint nehezebben ismerhetők fel, mert a jobban megfigyelhető élőközösségek — többnyire a táplálékláncc zavarain keresztül — időben csak később indikálják,

— jelentős szerep jut bennük az akkumulációknak és a közvetlenül érintett közeg toleráló-pufferoló képességének,

— a hatáskapcsolódások először (az esetek többségében) a szabad szemmel nem látható mikroorganizmus populációk károsításával indulnak, zavart okozva a táplálékhálózatokban, elemcirkulációkban, a versengés (kompetíció) szabályozottságában, stb.

— gyakran jelen van egyidejűleg a közvetlen károsítás is, amely a közvetett hatás felismerését eltakarhatja, vagy megnehezíti,

— bizonyításuk bonyolult ökológiai kutatásokat igényel, amelyeknek ki kell terjedniük az adott terület abiotikus és biotikus hatóképes faktorainak feltárására, a hatásfolyamatok és az élőközösségek tér-időbeni védekezési képességeinek megismerésére is.

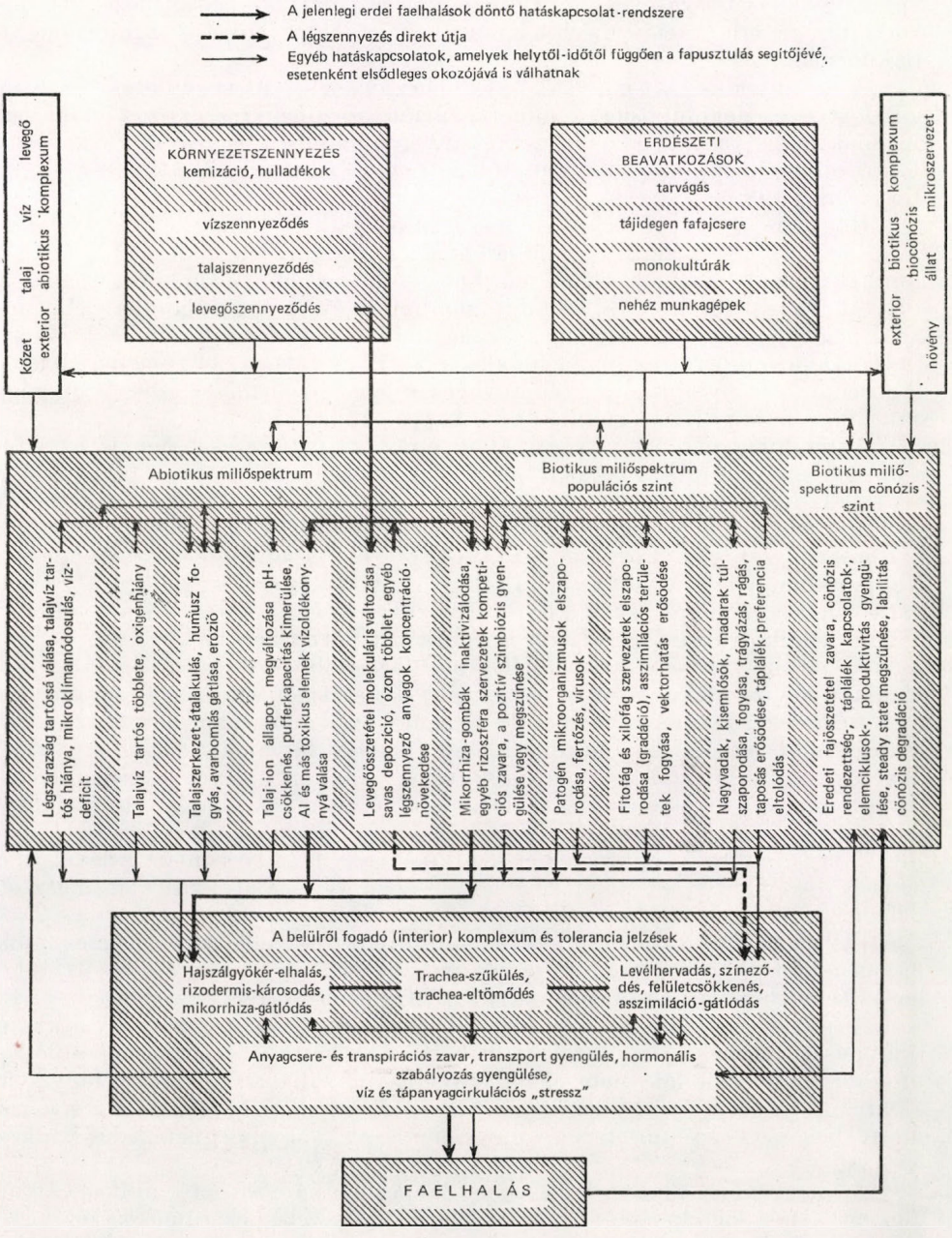
A vizeken keresztül történő közvetett hatásról csak rövid említést teszünk, mert a magyarországi vizeink többségére gyakorolt savasító hatás eltér a sokat emlegetett és idézett észak-európai és kanadai víztereken kimutatott hatásoktól. Ennek okát vizeink viszonylag magas sótartalmában, ezen belül is a karbonát, ill. hidrogén-karbonát tartalmában kereshetjük. Ez okozza ugyanis azt, hogy hazai vizeink nem savanyodnak el úgy mint a skandináv tavak, s pufferkapacitásuk olyan mértékű, hogy az esetek többségében az elkövetkezendő időben sem kell számolni a kizárólag a pH csökkenéséből levezethető vízi élőszervezetek károsodásával.

A talajon keresztül történő közvetett hatást elsősorban a természetes növénytakaró (pl. erdők) példáján mutatjuk be. A kérdés összetettsége miatt röviden ismertetnünk kell az erdők talajában bekövetkező kémiai változásokat.

A levegőbe jutó kén- és nitrogén-oxidok, nagy távolságokra is eljutva, bekerülhetnek az erdőkbe. Ott vagy a leveleken, törzseken, vagy az avaron deponálódnak először. Innen lemosódva, ill. az avaron átmosódva kerülnek be a talaj felső rétegeibe, ahol az erdő növényeinek víz- és táplálékfelszívása történik *(Jakucs* et al., 1981). A Déli-Mátrában 1965-ben folyt, majd 1984-ben megismételt vizsgálatok azt mutatják, hogy az elmúlt 20 év alatt a fák leveleit érő közvetlen savhatás miatt csökkent a fák leveinek pufferolási képessége is. A levelekben kevesbedő alkálifém, és alkáli-földfém koncentráció miatt a lehulló levél (avar) pufferképessége is csökkent s így a közvetlen talajfelszínre jutó csapadék pH-ja akár 1 értékkel alacsonyabbá vált *(Kovács,* 1985).

Az avaron át a talajba jutó és a korábbi időknél nagyobb koncentrációjú szennyezőanyagok a talajok kialakult ion-egyensúlyát megbontják, a savgyökök reakcióinak hatására hidrogénion koncentrációjuk növekszik, vagyis maguk a talajok is mérhető módon savanyodnak. Az utóbbi évtizedekben folyamatosan, vagy lökésszerűen plusz savhatásnak kitett talajok egyrészében ezen akkumulálódó hatásfolyamat révén megváltozott az ion-egyensúly, gátlódott és gyengült a talaj pufferkapacitása.

Az elsavanyodó talajban lévő olyan elemek, amelyek addig az élőlények tolerancia-tartományaira közömbösek voltak, hirtelen vízben oldódóvá és ezzel felszívhatóvá váltak. Az Al és egyes nehézfémek (Fe, Mn) kationjai részben toxikusak egyes élőkre, részben a talaj abszorpciós egyensúlyában a kémhatást maguk is tovább befolyásolhatják *(Ulrich* et al., 1979; *Ulrich,* 1983). Közben a kation-kicserélődési folyamatban fontos tápelemek, pl. a Ca, Mg, K eltűnnek a gravitációs vízzel a talaj gyökérfelszívó zónájából *(Jakucs* et al., 1981). A talajsavanyodás igen bonyolult kémiai reakcióinak változatos útjait most nem ismertetve azt hangsúlyozzuk, hogy az ilyen



1. ábra: Erdei fák elhalásának ökológiai értelmezhetősége a hatóképesnek minősíthető miliőspektrum (károsítás) és a fogadóképesnek minősíthető toleranciaspektrum (károsodás) kapcsolatában (*Jakucs*, 1985)

típusú gyors változásokat a talajban élő populációk igen nehezen tudják tolerálni, az adaptációs mechanizmusuk sem tudja követni a hirtelen átalakulásokat.

A savanyodás, a toxikussá váló nehézfémek és Al-vegyületek hatására sok fontos és dekompozíciót, mineralizációt végző mikroszervezet elpusztul, de inaktívvá válnak a víz- és tápanyagfelvételben egyes szervezeteknél döntő mikorrhiza-gomba kapcsolatok is (*Blaschke*, 1981; *Hüttermann*, 1983; *Vogelmann* 1982).

Hogy ez a levegő kén- és nitrogén-oxidjaiból kiinduló talajátalakító hatás hazánkban is kezd akkumulálódva felerősödni, jelzik pl. a mikorrhiza-gombák termőtestjeinek eltűnései. Igen sok tájunkon eltűnt vagy megritkult pl. a rókagomba, a trombitagomba, vagy a tinórúgomba. Hasonló tendenciát jeleznek Európa más országaiból is (*Winterhoff* és *Krieglsteiner*, 1984). De a mikorrhiza-gomba fonalak inaktivvá válását jelzik azok a magasabbrendű növények is, amelyek anyagcseréjéhez és vízfelvételéhez ezen gombák hifa-fonalaival való szimbiotikus kapcsolat hozzátartozik.

Az élővilág evolúciója során több erdőalkotó fánk esetében is létrejött a fa-gomba szimbiózis. A kocsánytalan tölgyünk (Quercus petraea) pl. tipikusan olyan fa, amelynél a szimbionta-gombák fonalai — különösen száraz időperiódusokban — szorosan összekapcsolódnak a fák hajszálgyökérzetével, három-négyszeresére növelve ezzel a víz- és tápanyagfelszívó rendszert. Napjainkban a felgyorsulóvá váló talajsavanyodás összetett jellegű közvetett hatása miatt nemcsak a fák felszívó hajszálgyökérzete károsodik közvetlenül, hanem a mikorrhiza-kapcsolatok is gátolt állapotba kerülnek.

A gátolt víz- és tápanyagfelvételű fa egyik védekező-toleráló mechanizmusa a vízszállító járatok (tracheák) keresztmetszetének szűkítése, különböző gélszerű tömőanyagokkal. E szűkítés fiziológiásan ugyanaz a jelenség, mint az őszi lombhullás idején történő folyamat. Csakhogy a védekezés már tavasszal és nyáron történik, amikor a levelek asszimilációs, transzpirációs tevékenysége a legerősebb lenne. A hatás drasztikusan jelentkezhet a fa hirtelen elszáradásában, vagy a levélhez el nem jutó fontos makro-és mikroelemek szállításának elakadása miatt a levélszíneződésben és a fa stresszállapotba kerülésében. Vizsgálatokkal alátámasztott véleményünk szerint (*Papp* és *Papp*, 1984; *Mészáros*, 1984; *Jakucs* és *Tóth*, 1984) a hazánkban hirtelen fellépő kocsánytalan-tölgy elhalásban és más fajoknál is fellépő károsodásokban egyre erősödőbben ez a közvetett (áttételes) hatás tekinthető az elsődleges oknak (*Jakucs*, 1984; 1985).

A mellékelt komplex ökológiai diagramon *(1. ábra)* a magyarországi tölgypusztulás példáján összefoglaltuk mindazokat a lehetséges kapcsolódási utakat, amelyek a fák, nem elemi kárként (pl. villámcsapás, tűz, fagy, vízelöntés, széldöntés stb.) jelentkező, vagy nem az elöregedéssel és a versengés miatt bekövetkező (ún. természetes) elhalását, vagy megbetegedését okozhatják.

A diagramon egyesítettük a hatóképesnek minősíthető miliőspektrum elemeit a fák fogadóképesnek minősíthető toleranciaspektruma összekapcsolásában. A diagram alapján adott hely beteg, vagy pusztuló fája (erdője) esetében kijelölhetők hipotézisként azok az elsődlegesnek feltételezett hatás-kapcsolat-lehetőségek, amelyek kritikus pontjainak ellenőrző, méréses kutatáson alapuló vizsgálatával bizonyítható a döntő hatás-fogadás kapcsolat útja. Ennek biztos ismeretében már megtervezhető a védekezési stratégia is.

A diagramon vastagabb vonallal jelöltük azt az elsődleges kapcsolatrendszert amely a nagymértékű hazai faelhalások, levegőszennyeződésből

eredő áttételes vonalát jelzi. A kritikus pontokat vizsgálatokkal is alátámasztva kijelenthető, hogy Magyarországon jelenleg a fapusztulásban a kén- és nitrogén-oxidok levegőben történő koncentráció-növekedéséből kiinduló és a talajon keresztüli áttételes hatás sokkal nagyobb mértékű és elsődlegesebb, mint pl. a levegőn keresztül a fát érő direkt savasító hatás (szaggatott vonal), vagy pl. a patogén szervezetek közvetlen károsítása. Az ökológiai diagram elvileg a világ bármely részén lényegében használható és kisebb változtatással bármely élőlény pusztulási útjának kijelölésére is alkalmas.

A fák pusztulása miatt módosul az erdő egykori stabil rövidhullámú sugárzási mérlege, albedója, sugárzási-, valamint csapadékvíz-intercepciója. Az erdő belsejébe a korábbinál lényegesen több sugárzás jut be. Különösen a száradási gócokban a meleg napokon mikroklímatikusan meleg (hő-) szigetek lépnek fel, éjszaka viszont innen erősebb a kisugárzás. E mozaikosság befolyásolja az egész állományklímát (*Nagy* és *Justyák*, 1985).

Végeredményben a megindult károsodás az egész társulás strukturális és anyagcirkuláltatási szervezettségét megbontja úgy, hogy a továbbiakban már ez is elindít olyan folyamatokat, amelyek az erdő továbbfokozódó értékcsökkenését fogják jelenteni.

Összefoglaló megjegyzés: A légszennyeződésből eredő savasodásnak a természetes élővilágra gyakorolt hatásait (különösen a sokténye zős reakciók eredményeként jelentkező áttételes hatásokat), Magyarországon hazai kutatásokkal és a védekezés módjának helyi sajátságaival lehet csak megoldani. Külföldi példák és kutatási eredmények e téren alig adaptálhatók, ezért ezek ismerete (tanulmányozása) szükséges ugyan, de nem elsődleges. A Kárpát-medence sajátos adottságaiból következik, hogy mind az abiotikus és biotikus hatóképes tényezők, mind az e hatásokat fogadó életközösségek másként fognak viselkedni, mint a világ többi pontján.

Igen fontosnak ítéljük az e téren valóban kívánatos interdiszciplináris kutatási együttműködést, ahol koncentrált mintaterületeken teljes vertikumban lehet a légszennyeződésből eredő savanyodásnak az élővilágra gyakorolt degradációját — hosszútávú kutatási program keretében — mind a meteorológiai mind az ökológiai, valamint más tudományágak módszereivel összekapcsoltan, közösen vizsgálni.

IRODALOM

Bauch, J., 1983: Biological alterations in the stem and root of fir and spruce due to pollution influence., In Ulrich, B., Pankrath, J. (eds.): *Effect of accumulation of air pollutants in forest ecosystem.* D. Reidel Publ. Co., 377–386.

Blaschke, H., 1981: Veränderungen bei der Feinwurzelentwicklung in Weisstannenbeständen, *Forstwiss, Cbl., 100,* 190–195.

Domergues, M. J. et *Louguet, Ph.*, 1980: La pollution atmosphérique par l'ozone et les végétaux, *Année Biologique, 19,* 289–330.

Hüttermann, A., 1983: Imissionsschäden im Bereich der Wurzeln von Waldbaumen. In: *Imissionsbelastungen in Waldökosystemen*, Erw. Neuaufl, LÖLF, Nordrhein-Westfalen, 26–31.

Jakucs P., 1984: A kocsánytalan tölgyek pusztulásának ökológiai magyarázata. *Az Erdő, 33,* 342–345.

Jakucs P., 1985: Az erősödő savasodás hatása a természetes élővilágra. *Magyar Tudomány, 30,* 731–741.

Jakucs P., Kovács M., Mészáros L. I., Papp B. L., Szabó Cs. M. and *Tóth J. A.*, 1981: Trends in element circulations in the forest ecosystem of the „Síkfőkút Project". In Stefanovits, P. (ed.): *MAB, Survey of 10 years activity in Hungary.* MTA, KESZ, Budapest, 15–48.

Jakucs P. és *Tóth J. A.*, 1984: A szijács tracheáinak eltömődése a megbetegedő kocsánytalan tölgyeknél. *Az Erdő, 33,* 348–350.

Kovács M., 1985: A fák leveleinek pufferképesség-változása a savas ülepedés hatására. Kézirat.
Kovács M., Podani J., Tuba Z. és *Turcsányi G.*, 1985: A környezetszennyezés biológiai indikátorai. Mezőg. Kiadó, Budapest. Kézirat.
Lizada, M. C. C. and *Yang, S. F.*, 1981: Sulfite-induced lipid peroxidation. *Lipids, 15*, 189–194.
Materna, J., Jančarik, V., 1982: Nové a měně známe příznaky poškozeni lesnih drevin. *Lešnická práce*, 163–167.
Matkovics B. és *Szöllősy-Varga I.*, 1976: A molekuláris oxigénből keletkező gyökök. *A Biol. Akt. Probl.*, Akad. Kiadó, Budapest, 7, 203–268.
Mészáros L. I., 1984: A talaj, a gyökér és a levél összehasonlító kémiai elemzése. *Az Erdő, 33*, 367–369.
Papp B. L. és *Papp M.*, 1984: Összehasonlító vizsgálatok egészséges és pusztuló kocsánytalan tölgyek gyökérzetén. *Az Erdő, 33*, 245–247.
Pólya L., 1979: Szabadgyök reakciók a szervezetben. In Haraszty Á. (szerk.): *Növényszervezettan és élettan*. Tankönyvkiadó, Budapest, 487–491.
Schlee, D. und *Koch, M.*, 1982: SO_2 Toxicität als Folge einer Sauerstofftoxicität. *Biol. Rundschau, 20*, 231–232.
Schütt, P., 1982: Das Krankheitsbild verschiedene Baumarten, gleiche Symptomen. In: *Der deutsche Wald stirbt. Bild d. Wissenschaft, 12*, 86–101.
Shimazaki, K., Sakaki, T., Kondo, N. and *Sugahara, K.*, 1980: Active oxygen participation in chlorophyll destruction and lipid peroxidation in SO_2-fumigated leaves. *Plant and Cell Physiol., 21*, 1193–1204.
Tanaka, K. and *Sugahara, K.*, 1980: Role of superoxide dismutase in defense against SO_2 toxicity and an increase in superoxide dismutase activity with SO_2 fumigation. *Plant and Cell Physiol., 21*, 601–611.
Ulrich, B., 1983: Gefahren für das Waldökosystem durch saure Niederschläge. In: *Imissionsbelastung von Waldökosystemen*, LÖLF, Nordrhein-Westfalen, 9–25.
Ulrich, B., Mayer, R. und *Khanna, P. K.*, 1979: Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen im Waldökosystemen im Solling. *Schrift. Forstl. Fak. Univ. Göttingen, 58*, 1–191.
Vogelmann, H. W., 1982: Catastrophe on Camels Hump. *Nat. Hist., 91*. 8–14.
Wentzel, K. F., 1983: Höhenzuwachs-Analysen zur Diagnose von Imissionswirkungen. *Allg. Forstzschrift.*, 342.
Winterhoff, W. und *Krieglsteiner, G. J.*, 1984: Gefährdete Pilze in Baden-Württenberg. *Beih. zu den Veröffentl. f. Naturschutz u. Landschaftspflege in Bad.-Württbg.* Karlsruhe, *40*, 1–120.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2—3. szám 1986. március—június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2—3. March—June 1986. Budapest

A savas ülepedés várható hatása vizeink minőségének alakulására

SOMLYÓDY LÁSZLÓ és ZOTTER KATALIN, *Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóközpont, H—1432 Budapest, Pf. 27*

The expected effects of acid precipitation on the quality of water resources in Hungary. World-wide environmental problems caused by acid deposition justify the need for analysing the sensitivity of the quality of Hungarian waters to acid depositions. Data of the regular water quality monitoring network and the results of impact analyses carried out with different waters indicate that an overwhelming majority of Hungarian waters tolerate acid atmospheric inputs, due to their high buffer capacity fairly well. The results of experiments and studies based on chemical balance models seem to support an optimistic conclusion, namely, that acid loads will be neutralized even on a long-term scale. Exceptions are the drinking water reservoirs of the North Hungarian Hills especially those of the Mátra Mountain.

⁂

A savas ülepedés várható hatása vizeink minőségének alakulására. A savas ülepedéssel kapcsolatban világszerte jelentkező gondok indokolttá teszik a hazai vizek savasodással szembeni érzékenységének vizsgálatát. A törzshálózat vízminőségi adatok és a különböző vizekkel végzett terhelés-vizsgálatok azt bizonyították, hogy felszíni vizeink döntő hányada nagy pufferkapacitása miatt jól tolerálja a jelenlegi légköri savas terhelést. Titrálási kísérletek és kémiai egyensúlyi modellel végzett vizsgálatok arra engednek következtetni, hogy még növekvő savterhelést is hosszú távon kiegyenlítenek. Kivételt képeznek az Északi-Középhegység (különösen a Mátra) ivóvízellátás céljára létesített tározói.

⁂

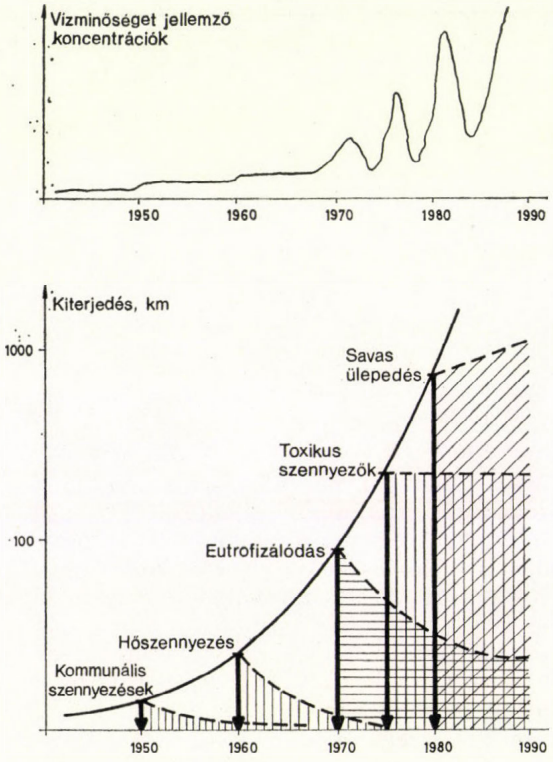
Bevezetés. A légköri savas ülepedés vízminőségre gyakorolt kedvezőtlen hatása tíz évvel ezelőtt gyakorlatilag ismeretlen probléma volt. A hetvenes évek végén, nyolcvanas évek elején robbanásszerű változás volt tapasztalható ebben a tekintetben: számos országban — mint például Kanadában és Svédországban — a savas ülepedés a vízek (elsősorban tavak) minőségét fenyegető elsődleges veszéllyé lépett elő, amely eredményeként kutatók százai kezdtek el a kérdéskörrel foglalkozni. A rendelkezésre álló tapasztalatok alapján a savasodást kiváltó szennyezők országhatárokat „nem tisztelő" terjedésének ismeretében az aggodalom világszerte nő. Kevéssé veszélyeztetett országokban is végeznek kutatásokat annak érdekében, hogy az elmúlt két évtized környezeti ártalmaiból és azok gyakori, nem megfelelő szabályozási és védekezési tapasztalataiból okulva felkészüljenek megelőző intézkedések megtételére.

Hazánkban az országos megfigyelőrendszer vízminőségi adatai alapján a savanyodás jelei nem mutathatók ki. Emellett, vízeink összetétele a savas terhelés közömbösítése szempontjából kedvező. Első megközelítésben tehát vízeink kevéssé veszélyeztetetteknek tűnnek, ami talán magyarázza azt a tényt, hogy a savas ülepedés vízminőségi kihatásainak kutatásával szervezett formában ma Magyarországon nem foglalkoznak.

A jelen tanulmány célkitűzése az, hogy elsősorban irodalmi ismeretekre támaszkodva *(a)* áttekintse az elmúlt néhány évtized fontosabb, globális vízminőségi problémáit és a savas ülepedés ezekhez való kapcsolódását; *(b)* megvizsgálja természetes vízeink érzékenységét a savas ülepedés hatására; *(c)* feltárja, milyen típusú befogadóknál lehet a jövőben az élővilág és a vízhasználat szempontjából károsodásra illetve korlátozásra számítani; és *(d)* kijelölje a fontosabb kutatási és gyakorlati teendőket.

1. *Napjaink átfogó vízminőségi problémái és a savas csapadék*

A vízminőség az elmúlt néhány évtized során fokozatosan vált a vízzel való gazdálkodás számottevő, esetenként pedig meghatározó elemévé. Ez túlnyomóan annak a következménye, hogy a jelentkező főbb vízminőségi prob-



1. ábra: Az elmúlt néhány évtized átfogó vízminőségi problémái; folyamatos vonal: kiterjedés, szaggatott vonal: a probléma jelentőségének változása

lémák tulajdonságai lényeges változást mutattak, amelyet tájékoztató jelleggel az *1. ábra* szemléltet. Az ábrán feltüntettük az ok-okozat kapcsolatban lévő befogadó (folyó, tározó, tó, stb.) és az ahhoz tartozó térség (ahonnan szennyezők juthatnak a befogadóba) kiterjedésének jellemző léptékét, a vízminőséget jellemző koncentrációk (pl. kémiai oxigénigény foszfor, nitrogén, nehéz fémek) időbeli változását és az egyes problémák „lecsengését". Látható, hogy a hatvanas évek végéig a problémák viszonylag egyszerűek voltak, hiszen azokat pontszerű szennyezőforrások, a vízminőség statikus

jellege és az érintett térség (például valamely szennyvízbevezetés és az az alatti folyószakasz) kis kiterjedése jellemezte. A fenti tulajdonságoknak megfelelően rövid időn belül kidolgozták azokat a technológiai és szabályozási módszereket, melyek alkalmazásával a vízminőség nem kívánatos romlása megakadályozható volt.

Az elmúlt két évtized globális vízminőségi problémáit már lényegesen eltérő tulajdonságok jellemzik. Igy a mesterséges eutrofizálódás a tó — vízgyűjtő rendszer együttes problémája (a jellemző lépték több száz, esetleg ezer kilométer), a toxikus anyagok vándorlása pedig az atmoszférikus transzport következtében még nagyobb térségeket érint. Mindkét esetre jellemző a nem-pontszerű szennyezések növekvő hányada a teljes terhelésen belül; a vízminőség időbeli változásának fokozódása a váratlan kölcsönhatások és havária jellegű szennyezések következtében; az üledék és a felszíni vizek elszennyeződése eredményeként nagymértékű késleltetések megjelenése a probléma felismerésében és a szabályozás hatásának megjelenésében: végül pedig a szabályozási stratégia kidolgozásának bonyolulttá válása a regionális jelleg erősödése következtében.

Az eddig felvázolt képbe — sajnálatos módon — logikusan illeszkedik bele a savas ülepedés problémája, amelyet az érintett térség kiterjedésének további, a légköri transzport által meghatározott növekedése, az előzőkben vázolt tulajdonságok erősödése és többek között a nemzetközi jogi szabályozás kérdésének megjelenése jellemez. Az 1. ábra kapcsán célszerű arra is felhívni a figyelmet, hogy az elmúlt 30—40 év során fokozatos eltolódás volt megfigyelhető az „egy komponensűtől" a „sok komponensű" vízminőségi problémák irányába. Igy például az észak-amerikai tavak jelentős hányadára a túlzott tápanyagfeldúsulás, a toxikus szennyezés és a savas terhelés egyidejű megjelenése jellemző, aminek eredményeként a befogadókban és a tisztítástechnológiai láncban (amelyeket általában egyetlen szennyező eltávolítására terveztek) ez ideig feltáratlan kölcsönhatások léphetnek fel. A savas kihullásnak éppen az az egyik legnagyobb (közvetett) veszélye, hogy még viszonylag kis mértékű savasodás is a kémiai környezet olyan mérékűt módosulását idézheti elő, amely számos, korábban is előfordult folyamat lejátszódását változtatja meg és vezethet káros következményekhez.

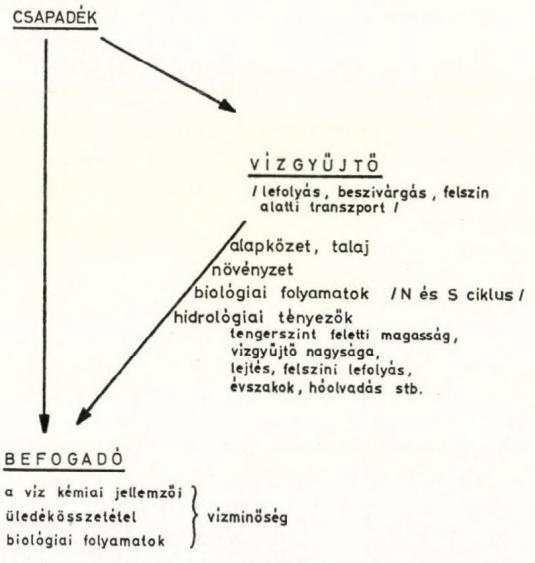
2. *Savas ülepedés és a befogadók vízminőségének kapcsolata*

A környezet savasodását számos tényező kiválthatja (vulkáni tevékenység, biológiai folyamatok, savas szennyvizek, mezőgazdaság kemizálása, intenzív erdőgazdálkodás stb.), azonban napjaink legjelentősebb, az egész környezetet érintő veszélyforrása a kén-dioxid és nitrogén-oxid emissziók révén savassá vált csapadék. A légköri eredetű savas ülepedés a befogadó víz minőségét közvetlen és közvetett módon befolyásolja. A közvetlen hatást a befogadó felszínére hulló csapadék idézi elő, míg a lényegesen fontosabb közvetettben a vízgyűjtőn lejátszódó összes olyan folyamat szerepe érvényesül, amely módosítja a tápláló, csapadékból származó vizek kémiai összetételét. A kétféle hatást, valamint azok kifejtését befolyásoló főbb tényezőket és folyamatokat egyszerűsített módon a *2. ábra* szemlélteti *(NRCC*, 1981).

A vízgyűjtőre hulló savas csapadék felszíni lefolyás, beszivárgás és felszín alatti transzport útján éri el a befogadót, miközben összetétele nagymértékben megváltozik.

A savas csapadék meggyorsítja a vízgyűjtőn lejátszódó kőzetmállási folyamatokat, így a befogadó vizekben megnő a fokozott mállásból eredő anyagok koncentrációja.

Mészköves, dolomitos területeken a csapadék megnövekedett hidrogénion koncentrációjának megkötése gyorsan és tökéletesen végbemegy, miközben az egyébként is nagymértékű természetes kalcium és magnézium kioldás mértéke alig nő. Az ilyen típusú területek befogadó vízeinek hidrogénkarbonát koncentrációja jellegzetesen nagy. A savas csapadéknak — a mállás szempontjából — jobban ellenálló alumínium-szilikátos területeken a fentitől eltérő viszonyok alakulnak ki. A hidrogénion-megkötése adszorpciós vagy oldódási



2. ábra: A vízminőséget alakító főbb tényezők

reakciómechanizmussal, lassan megy végbe. 4,5-nél nagyobb pH értékeknél a felületi ioncsere reakciók jutnak érvényre, amelyek során az ásványi szemcsék felületén adszorbeálódott kationokat hidrogénionok cserélik le. Ilymódon savanyodás hatására a pufferkapacitás hamar kimerül és az alumínium-szilikátos területeken megnő a Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+} és Al^{3+} ionok kimosódása *(NRCC,* 1981).

A vízgyűjtőterület növényzete, és a mikroorganizmusok (N és S ciklus) nagymértékben módosíthatják a savas ülepedés vízgyűjtőre gyakorolt hatását. A növényzet megkötheti a savas komponensek jelentős részét, ami átmenetileg lassítja a talajsavanyodási folyamatokat. A nitrogén és kén természetes körforgalmának egyensúlya azonban megbomlik és hidrogénion termelő folyamatok kerülhetnek túlsúlyba, ami ugyancsak a mállási folyamatok felgyorsulásához és a talaj elsavanyodásához vezethet.

Mind a kémiai, mind a biológiai folyamatok dinamikus hidrológiai rendszerben mennek végbe. A kémiai reakciók lejátszódásának mértékét jelentősen korlátozza az esőből származó víz tartózkodási ideje a hidrológiai körforgás egyes szakaszaiban (például felszíni lefolyás). Általában csak a felületi reakciók (ioncsere, adszorpció) elég gyorsak ahhoz, hogy lejátszódhassanak. Amennyiben a vízgyűjtőterület kicsi, a lejtési szög nagy, növényzet

nincs, a talajalkotó ásványok (különösen az alumínium-szilikátok) pufferoló hatása nem juthat érvényre és a befogadót gyakorlatilag a csapadékvízzel azonos kémiai összetételű víz fogja érni.

A vízminőség alakulásában figyelemre méltó tényező az évszakok váltakozása. A csapadék fizikai tulajdonságainak (eső, hó, jég) és a talaj fizikai tulajdonságainak (fagyott-felengedett) megváltozása módosíthatja a felszíni vizek pH értékét és szennyezőanyag koncentrációját is. Ez a hatás elsősorban télen, kora tavasszal fontos, amikor a jeges felületeken nincs mód a kémiai reakciók lejátszódására, a savanyú csapadék pufferolására. Számos irodalmi adat igazolja, hogy a befogadók elsavanyodása szempontjából a legveszélyesebb

I. TÁBLÁZAT

Kanadai érzékenységi kategóriák felszíni vizekre

Az érzékenység fokozatai	Vízminőségi paraméterek			
	Lúgosság mgeé l^{-1}	HCO_3^- mg l^{-1}	Ca^{+2} mg l^{-1}	Vezetőképesség $\mu S\ cm^{-1}$ 25 °C
Nagyon	0,0 – 0,2	1,0 – 12,0	0 – 4	0 – 35
Közepesen	0,2 – 0,4	12,0 – 24,0	4 – 8	22 – 78
Kevéssé	> 0,4	> 24,0	> 8	> 60

időszak a tavaszi hóolvadás, amikor a hóban a száraz és nedves ülepedés során felhalmozódott szennyezőanyagok lökésszerűen terhelik a felszíni vizeket *(NRCC*, 1981).

Összefoglalva megállapítható, hogy a befogadó vizek elsavanyodása elsősorban a vízgyűjtőterület puffer-rendszereinek függvénye. Ha e rendszerek puffer-kapacitása csökken vagy kimerül, a savas ülepedés hatása a befogadóra döntően a vízgyűjtőről érkező nem-pontszerű szennyezésként jelentkezik.

A vízgyűjtőről a befogadóra áttérve, utóbbi elsavanyodása sem gyors, látványos folyamat, Magának a befogadónak is van bizonyos mértékű pufferkapacitása, amely vizes közegben elsősorban a hidrogén-karbonátionok eredménye.

Nagyszámú külföldi tapasztalat alapján ma már a befogadó vizeket savanyodási hajlamuk szerint, durva megközelítésben osztályozni lehet. A kategorizálás alapja a víz kémiai összetétele, azon belülis elsősorban a pH érték, a HCO_3^-, Ca^{2+} Mg^{2+} koncentráció illetve a vezetőképesség, amelyek a savasodás szempontjából leggyakrabban használt vízminőségi indikátorok. A kanadai tapasztalatok alapján megállapított érzékenységi osztályokat (amelyek felszíni vizekre vonatkoznak) az *I. táblázat* tartalmazza *(NRCC*, 1981.)

A kémiai indikátorok alapján érzékenynek mutatkozó befogadó viszonylag kis hidrogén-karbonát tartalma egy ideig pufferolja a légkörből és a vízgyűjtőről érkező savas terhelést. Emellett az élővizekben lejátszódó biokémiai folyamatok is tompíthatják a savas szennyezőanyagok hatását (például fotoszintézis, denitrifikáció, szulfát redukció). Ha a víz hidrogén-karbonát koncentrációja 0,1 mgeé l^{-1} körüli, a víz pH értéke ingadozóvá válik, érzékenyen reagál lökésszerű savas hatásokra (például nagy záporok, gyors hóolvadás) és a biológiai élettevékenység időszakos felborulásához (például halpusztulás) vezethet.

Amennyiben a befogadó vize tartósan, minden évszakban pH 5 érték alatt marad, a víz elsavanyodottnak tekinthető. Az ilyen típusú vizekben számottevően megnő az alumínium koncentráció. Gyengén savanyú vizekben az alumínium hidroxo-komplexek formájában, erősen elsavanyodott vizekben (pH 4,5) hol a víz lúgossággal már nem rendelkezik alumíniumionként, van jelen. Elsősorban az alumíniumion erősen toxikus hatása váltja ki a halpusztulásokat és módosítja a vízi környezet élővilágának összetételét. *(Swedish Ministry of Agriculture,* 1982).

A savanyodás egyik legveszélyesebb következménye a befogadókban a toxikus fémformák megjelenése (Nriagu, 1984). Viszonylag ritkán fordul elő, hogy a nehézfémek kizárólag a pH érték csökkenésének következtében mennek oldatba. Az újraoldódásban rendszerint fontos szerepe van a jelenlévő ligandumoknak és a redoxipotenciálnak is. A hidrogénion koncentráció növekedése elsősorban a hidroxid- és karbonátformában levő fémek oldatbamenetelét segíti elő. A vas- és mangáncsapadékon megkötött egyéb nehézfémek is oldódni fognak. Hasonló folyamat megy végbe, ha a kalciumkarbonát koprecipitáció folytán tartalmazott nehézfémeket. A savanyodó vizekben a fém-hidroxidkomplexeknek meghatározó jelentőségük van. pH 7 érték alatt az Al mellett a legveszélyesebb nehézfémek (Hg, Pb, Cd) általában hidroxid-komplexeket képeznek. A pH érték csökkenésével nő a biológiai szempontból hozzáférhetőbb és toxikusabb fémionok koncentrációja. *(Förstner* és *Wittmann,* 1983).

A savanyodás hatására feltűnően megnő a vizek átlátszósága, amelynek magyarázatára az irodalomban eltérő hipotézisek találhatók. A jelenség egyik valószínű oka, hogy a pH érték csökkenésével csökken a szervesanyag tartalom illetve a vas- és mangán kolloidok oldatba mennek. Újabb elmélet szerint a megnövekedett alumínium beoldódás okozza a szervesanyag kicsapódást, melynek következménye az átlátszóság növekedése. *(NRCC,* 1981).

A vízi környezet savanyodásának a kémiai paramétereknél lényegesen érzékenyebb indikátorai a vízi életközösségek. A vizek savas kémhatása illetve a megnövekedett oldott fémkoncentráció együttesen váltja ki károsító hatását az ökoszisztémában. Az ökoszisztéma egyensúlyának megbomlása következtében csökken a primér és szekunder produkció. A savanyúvá vált vizek életközösségeire a fajok elszegényedése, a diverzitás csökkenése jellemző. Azok a fajok szaporodnak el illetve válnak egyeduralkodóvá, melyek ökológiai plaszticitása nagy, vagy savas közeget kedvelők.

Hosszantartó savas terhelés hatására nemcsak a felszíni vizek, hanem a felszín alatti vízkészletek is elsavanyodhatnak. A felszín alatti vizek — azon belül pedig a talajvíz — elsavanyodását mindig hosszantartó talajsavanyodási folyamat előzi meg. Skandináv tapasztalatok szerint ott válik savassá a talajvíz, ahol mészszegény talajon vannak és a talajvízszint magas, 1 m körüli (azaz a pufferoló hatás kicsiny). A talajvízsavanyodás jellegzetes tünete a magas oldott alumínium koncentráció *(Swedish Ministry of Agriculture,* 1982).

Az elsavanyodott felszíni és felszín alatti vizek erősen korrozív tulajdonságuk és egészségre káros oldott fémtartalmuk (ezek részben a vízelosztó hálózat csővezetékeiből oldódnak ki) miatt alkalmatlanná válnak vízfelhasználás céljaira. Míg a kisebb vízfolyások, tavak vízét vegyszeres (tüneti) kezeléssel átmenetileg regenerálni lehet, az elsavanyodott felszín alatti vízkészletek minőségének javítására nincsen mód. Alapvető gyakorlati feladat

ezért az elsavanyodás megelőzése, hiszen a természetes regenerálódás — a savas terhelés elkésett redukálását követően — több évtizedet is igényelhet, a víztisztítási technológiák adaptálása a megváltozott feltételekhez pedig irreálisan magas költségekhez vezet (ha a feladat egyáltalán megoldható).

3. *Hazai vizek érzékenysége a savas ülepedésre*

Fontosabb vízfolyásaink és sekélyvízű, általában tápanyagban gazdag tavaink víze lúgos kémhatású, a pH értéke a törzshálózati észlelések alapján az egész év folyamán 7 feletti. Felszíni vízeink túlnyomó része jól pufferolt rendszer, amelynek hatékonyságát a kalciumhoz, magnéziumhoz, szikes vizek esetében nátriumhoz kötődő $CO_2 - HCO_3^- - CO_3^{2-}$ — egyensúly biztosítja.

II. TÁBLÁZAT

pH, *vezetőképesség és fontosabb ionkoncentrációk magyarországi felszíni vizekben*

Felszíni vizek	pH	Vezető-képes-ség μS cm	Ionkoncentráció mgeé l^{-1}					
			Ca^{2+}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	SO_4^{2-}	Lúgos-ság
Duna	8,1	366	2,8	1,1	0,43	0,07	0,9	3,0
Tisza	7,6	468	2,5	0,7	1,37	0,16	1,0	2,6
Sajó	7,5	424	3,3	1,3	0,54	0,13	1,6	2,8
Hernád	7,7	510	3,5	1,5	1,17	0,17	1,8	3,5
Balaton	8,5	554	1,7	3,7	1,21	0,18	2,2	3,9
Velencei-tó	8,6	2408	1,2	14,8	14,84	1,49	9,3	20,0
Csórréti tározó	6,9	180	1,3	0,5	0,24	0,03	1,0	0,6

A savasodást jellemző, indikátor jellegű paramétereket néhány fontosabb hazai befogadóra a *II. táblázatban* tüntettük fel. A táblázat tíz év (1974—1984) megfigyeléseinek átlagértékeit tartalmazza. Megjegyzendő, hogy a vizsgált adatsorok alapján egyetlen komponens trendjellegű változása sem volt kimutatható. A lényeges vízkémiai jellemzők koncentrációi egymáshoz közeli

III. TÁBLÁZAT

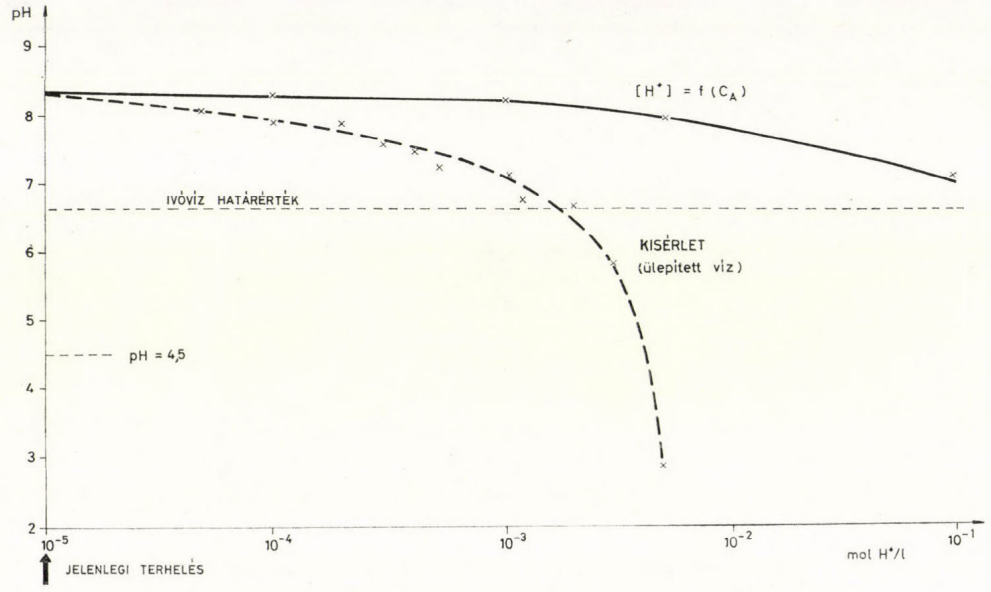
Felszíni vizek pH- *és lúgosság-értékeinek változása savadagolás hatására*

(A lúgosság mgeé l^{-1}-ben kifejezve)

	Felszíni vizek					
	Balaton		Duna		Csórréti tározó	
	pH	lúgosság	pH	lúgosság	pH	lúgosság
Nyers víz	8,20	4,10	7,60	2,45	6,60	0,53
H_2SO_4-adagolás						
10^{-5} geé l^{-1}	8,15	4,05	7,60	2,45	6,55	0,43
10^{-4} geé l^{-1}	7,90	4,00	7,45	2,40	6,15	0,34
10^{-3} geé l^{-1}	7,05	3,30	7,10	1,65	2,30	–

értékeket mutatnak. Kivétel a Velencei-tó, melyre a szokatlanul nagy sótartalom, és a Csórréti tározó (Mátra), melynek vízére a hazai viszonylatban nagyon kis oldott anyag tartalom jellemző. A kémiai jellemzők és az adatsorok alapján első közelítésként az a megállapítás tehető, hogy a magyarországi felszíni vizek döntő többsége hosszantartó savas terhelést is tolerál. Ez utóbbi feltevést támasztják alá azok a kísérleti eredmények is, melyek a

különböző típusú, ülepített felszíni vizek savterhelésre adott válaszát mutatják be *(III. táblázat)*. Hangsúlyozni kell, hogy a szilárd kalcium-karbonátot tartalmazó üledékkel egyensúlyban levő rendszerek (például Balaton) pufferkapacitása a III. táblázatban feltüntetettnél is nagyobb (szinte kimeríthetetlen). Ez a megállapítás elméleti és kísérleti úton egyaránt igazolható.



3. ábra: Balaton-víz pH-értékének változása savas terhelésre

Egyensúlyi kémiai reakciókat feltételezve *(Stumm* és *Morgan,* 1970), a Balatonra jellemző feltételek esetében, víz-lebegőanyag rendszerre, az adott vízre jellemző hidrogénion koncentráció és a savterhelés (C_A) közötti kapcsolatra a következő összefüggés vezethető le:

$$C_A + \frac{K_H\, pCO_2\, (\alpha_1 + \alpha_2)}{\alpha_0} + \frac{K_W}{[H^+]} - \frac{2\,(K_{SO}/K_H\, pCO_2)\, \alpha_0}{\alpha_2} - [H^+] = 0$$

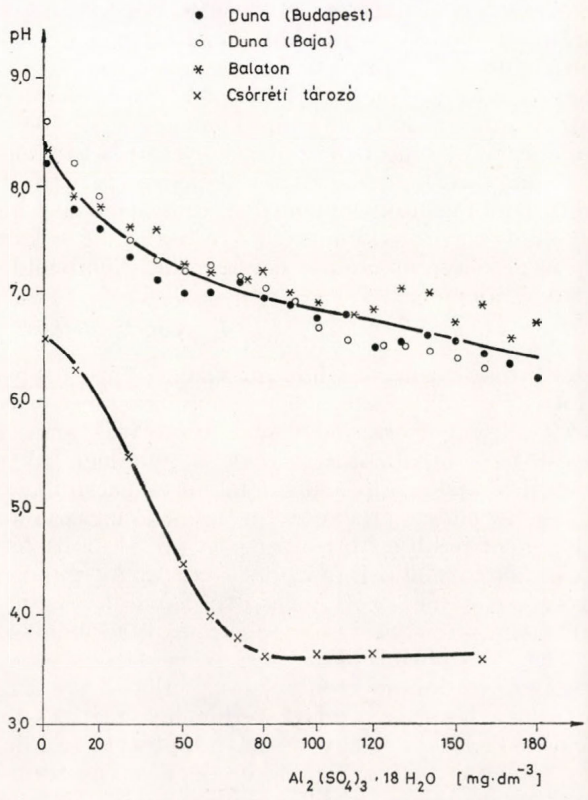
ahol C_A savterhelés ($molH^+l^{-1}$),
α_i ionizációs állandók,
K_W víz disszociációs állandó,
K_H szénsav hidrolizis állandó,
K_{SO} $CaCO_3$ oldhatósági szorzat,
pCO_2 CO_2 parciális nyomás.

Az egyenlet megoldása alapján készített *3. ábra* szerint a tóvíz pufferkapacítása több nagyságrendű terhelésnövekedés hatásának tolerálását is biztosítja. Az elvégzett titrálási kísérletek eredményei alapján (lásd 3. ábrát) hasonló megállapítás érvényes ülepített, üledékkel egyensúlyban nem levő vízre is.

A hazai felszíni vizek vízminőségi paramétereit feltüntető II. táblázatban a Csórréti-tározó (Mátra) kitűnik vízének kis pH és lúgosság értékeivel.

Savanyodási hajlama megközelíti a „kevéssé érzékeny" kategóriát (l. I. táblázat).

Külföldi tapasztalatok egyértelműen bizonyítják, hogy azok a befogadók hajlamosak elsavanyodásra, melyek kis vízgyűjtővel rendelkeznek és a vízgyűjtőn karbonát-szegény talajok vannak (lásd korábban). Az esettanulmány



4. ábra: Különböző felszíni vizek pH-értékének alakulása $Al_2(SO_4)_3$ adagolás hatására

színhelyéül választott tározó a vízgyűjtő nagysága (8,3 km²), a talajtípus (savanyú erdei talaj), a vízminőségi paraméterek és a csapadék összetétele alapján savas ülepedésre várhatóan érzékeny terület (*Licskó* és *Zotter*, 1985). Ezt látszik alátámasztani az az üzemi tapasztalat is, hogy koratavasszal, hirtelen felmelegedés hatására a befagyott tározó felületén és vízgyűjtőjén felhalmozódott hótömeg megolvadása kismértékű pH csökkenést okoz a tározóban.

1985 telén a vizsgált területet közel 3 hónapig hó borította, mely mindvégig fagyott állapotban maradt. A hóminták átlagos pH értéke 4 volt. A tavaszi gyors hóolvadás felszíni lefolyás révén $7{,}12 \cdot 10^4$ eé H^+ mennyiséggel terhelte a tározót, ami — figyelembe véve a tározott víz hóolvadékból származó térfogatnövekedését —, $4{,}75 \cdot 10^{-5}$ eé dm^{-3} H^+ adagolásnak felel meg. Ez a savterhelés 0,2—0,4 pH érték csökkenést okozott a 22 m mély tározó különböző mélységű rétegeiben. A pH érték csökkenése csupán 2—3 napos, átmeneti jelenség volt, mivel a hőmérséklet emelkedésével meginduló algatevékenység széndioxid elvonó hatása révén a pH érték újra emelkedett. Ez a

megfigyelés egyúttal utal az eutrofizálódás és a savas ülepedés közötti kölcsönhatásra is a vízminőség alakításában.

A tározóra telepített vízmű az ivóvízkezelés során derítőszerként alumínium-szulfátot alkalmaz a lebegőanyag eltávolítására. A koaguláns erősen savas hidrolízise során a víz pH értéke és lugossága jelentősen csökken. A *4. ábra* érzékelteti, hogy a tározó vize hazai viszonylatban feltűnően érzékeny savas hatásra. Hangsúlyozva azt, hogy jelenleg az ivóvízelőkészítés során alkalmazott alumínium-szulfát pH érték csökkentő hatása sokkal jelentősebb a légköri eredetű savas terhelés okozta csökkenésnél, várható, hogy a közeljövőben az ivóvízkezelési technológia kialakításakor figyelembe kell venni az időszakosan jelentkező, légköri eredetű savas hatásokat is, mivel ezek az eljárások csak bizonyos pH tartományban hatékonyak.

Magyarországon savas ülepedés okozta talajvíz-savanyodásról eddig nincs tudomásunk. Jelenleg a mezőgazdaság kemizálása, a helytelen hulladékelhelyezés (meddőhányók) valószínűleg sokkal veszélyesebb tényező a talajvíz elszennyezésében (savanyodás, fémbeoldódás, nitrátosodás stb.), mint a savas ülepedés.

4. Következtetések

A magyarországi felszíni vizek döntő többsége — a vízgyűjtők földrajzi adottságai következtében — nem érzékeny savas ülepedésre. A természetes vizek nagy pufferkapacitása a biztosíték arra, hogy hosszantartó savas terhelést is kompenzálni tudnak a jelenlegi savterhelés mértékének feltételezésével. Tájékozódó jellegű felmérés szerint azonban lokálisan előfordulnak savas ülepedésre érzékeny területek. Vízgazdálkodási szempontból ezek közül a legjelentősebb a Mátra térsége, mivel az itt létesített tározók biztosítják az egész Mátra-vidék ivóvízellátását. Vízük minőségének megőrzése fontos népgazdasági érdek, ezért javasolt a tározók vízgyűjtőjén komplex vizsgálatsorozat megindítása a káros folyamatok időbeni előrehaladásának tisztázására.

Savas ülepedés okozta talajvízsavanyodást egyelőre nem észleltek Magyarországon. Indokolt azonban savas ülepedésre érzékeny, mezőgazdaságilag nem művelt talaj és az adott területhez tartozó talajvíz savanyodási folyamatának vizsgálatára egy mintaterületet kijelölni.

Amennyiben a légköri eredetű savas terhelés mértéke a következő évtizedekben sem csökken, vízeink védelme érdekében fel kell készülni az érzékenynek nyilvánított vízgyűjtők fokozott védelmére, esetleg regenerálására.

A savas hatásokra érzékenyen reagáló felszíni (esetleg felszín alatti) vizek ivóvízellátási vagy ipari célú felhasználásánál a hagyományos víztisztítási technológiákat módosítani kell az új feltételekhez, hogy a hálózatba kerülő víz egészségkárosító és korrozív hatását kiküszöböljék.

IRODALOM

Förstner, U. and *Wittmann, W.*, 1983: *Metal pollution in the aquatic environment.* Springer Verlag, Berlin.

Licskó, I. and *Zotter, K.* 1985: Modification on the treatment technology of waters affected by acid rain. *Int. Conf. on Acid Precipitation: Water Quality Control and Human Health.* Uppsala, Sweden, Conference Preprints 6/13–22.

NRCC (Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality), 1981: *Acidification in the Canadian Aquatic Environment.* NRCC Publication No. 18475, 369.

Nriagu, J. O. ed., 1984: Environmental Impacts of Smelters. *Wiley Series in Advances in Environmental Science and Technology, Vol.* 15, 608.

Stumm, W. and *Morgan, J. J.*, 1970: *Aquatic chemistry.* Wiley Interscience, New York.

Swedish Ministry of Agriculture, 1982: *Acidification today and tomorrow.* Swedish Ministry of Agriculture, Stockholm.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2–3. szám, 1986. március–június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2–3. March–June 1986. Budapest

A légköri savas ülepedés hatása a talajra Magyarországon

VÁRALLYAY GYÖRGY, RÉDLY LÁSZLÓNÉ és MURÁNYI ATTILA, *MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, H—1022 Budapest, Herman Ottó út 15.*

The influence of acid deposition on soils in Hungary. Soil acidification is one of the most significant unfavourable soil degradation processes. It is due to natural factors and/or anthropogenic effects, and results in a decrease of soil fertility in ever increasing areas. We defined soil acidification as a decrease in equilibrium pH value, that is, in the buffer capacity of soils. The main reasons and consequences of soil acidity and soil acidification are summarized in the present paper. The degree of soil acidity depends on the quantity, concentration and chemical composition of substances getting into the soil from various sources, as well as on the buffer-capacity of soils which is determined by numerous soil properties. The relationships between buffer-capacity and various soil characteristics have been studied in detail and described by stepwise-regression analysis. On the basis of „titration-curves" determined in a representative soil sample collection, Hungarian soils were classified into 6 groups according to their susceptibility to acidification:

1. Strongly acidic soils. Their further acidification is not significant under the influence of acid loads (13% of the total area of Hungary). 2. Highly susceptible soils due to their low buffer-capacity (non-calcareous, slightly acidic soils with light texture, low clay and organic matter contents) (14%). 3. Susceptible soils due to their medium buffer-capacity (non-calcareous, slightly acidic soils with medium texture and organic matter content) (5%). 4. Moderately susceptible soils due to their high buffer-capacity (non-calcareous, slightly acidic soils with heavy texture, high clay and/or organic matter contents) (23%). 5. Slightly susceptible soils (salt affected soils non-calcareous from the surface) (4%). 6. Non-susceptible soils which are calcareous from the surface (41%). There is no considerable change in their reaction (pH) until the complete neutralization (dissolution, mobilization) of their carbonate content. The map of these categories was drawn on both 1:500 000 and 1:100 000 scales. In Hungary high-rate mineral fertilization (especially N-fertilization using NH_4NO_3 and urea) has much more significant influence on soil acidification than acid deposition. The spatial variability and time distribution of acid loads may – locally and periodically – result in special stress situations. The chemical composition of acid depositions has particular importance, because some of the components (in addition to their acidifying effect) may be directly toxic for the plants and/or soil microorganisms (e.g. NO_x,SO_2, heavy metals, etc.). The drastic deterioration in areas under permanent vegetation cover (forest, grassland) is due – in most cases – to the direct physiological influences of certain toxic components. If soil acidification is caused by the non-toxic components of acid depositions, the unfavourable processes and their consequences can be prevented and/or eliminated by liming, which is an indispensable part of agrotechnics in such cases. For the determination and characterization of the effects of acid loads and acid (dry and wet) depositions average values are not satisfactory. The comprehensive analysis of various (actual and potential) stress situations developed under the given conditions is necessary, requiring the establishment of an adequate, well coordinated, multi-factorial, national monitoring system.

*

A légköri savas ülepedés hatása a talajra Magyarországon. A természeti okok, vagy emberi beavatkozások hatására bekövetkező káros, a talaj termékenységét csökkentő degradációs folyamatok közül egyik legjelentősebb és legelterjedtebb a talajsavanyodás. Ezt a talaj egyensúly pH-értékének, illetve „savtompító képességének" csökkenéseként definiáltuk. Összefoglaltuk a talajsavanyúság, illetve a talajsavanyodás okait, anyagforgalmi

következményeit. A talaj savanyodásának mértéke a talajba jutó anyagok mennyiségétől, koncentrációjától és kémiai összetételétől, valamint a talaj puffer-kapacitásától, „savtompító-képességétől" függ, amit számos talajtulajdonság befolyásol. Részletesen vizsgáltuk és stepwise regresszióval elemeztük a köztük fennálló összefüggéseket. Magyarország talajait — reprezentatív talajminta anyag titrálási görbéinek felvétele alapján — a savas behatásokkal szembeni érzékenység szempontjából 6 csoportba osztottuk: 1. Erősen savanyú talajok. Savas behatásokra további savanyodással alig reagálnak (az ország területének 13%-a). 2. Savanyodásra erősen érzékeny, kis pufferkapacitású talajok (14%). 3. Savanyodásra közepesen érzékeny, közepes pufferkapacitású talajok (5%). 4. Savanyodásra mérsékelten érzékeny, nagy pufferkapacitású talajok (23%). 5. Savanyodásra kevéssé érzékeny (nem felszíntől karbonátos szikes) talajok (4%). 6. Savanyodásra nem érzékeny, felszíntől karbonátos talajok (41%). Ezek kémhatása a karbonátok semlegesítődéséig alig változik. Megszerkesztettük e kategóriák 1:100 000 és 1:500 000 méretarányú térképeit. Megállapítottuk, hogy a talajt érő savterhelésben a műtrágyázásnak (elsősorban a nagy adagú nitrogén [NH_2NO_4, karbamid] műtrágyázásnak) jóval nagyobb szerepe van, mint a légköri savas ülepedésnek. Ez utóbbinál különös jelentősége van a légköri savas ülepedés térbeli megoszlásának és időbeni dinamizmusának, ami bizonyos esetekben stresszhelyzeteket teremthet; valamint a légköri savas üledékek kémiai összetételének, hisz néhány komponens a savanyító hatáson kívül közvetlenül is toxikus lehet (NO_x, SO_2, nehézfémek stb.). Növényzettel állandóan vagy tartósan borított felszín (erdő, gyep) esetén a gyakran megfigyelhető drasztikus károsodások például többnyire bizonyos komponensek közvetlen fiziológiai hatásainak tulajdoníthatók. Ha a savanyodást a légköri savas ülepedés nem közvetlenül toxikus komponensei okozzák, a kedvezőtlen hatás az agrotechnikai rendszerbe épített fenntartó meszezéssel eredményesen megelőzhető, kiküszöbölhető. A talaj „sav-terhelésének" és a savas ülepedés hatásának megállapításához az átlag-adatok nem elegendőek, hanem a különböző körülmények között kialakuló stressz-helyzetek elemzése szükséges, amelyhez feltétlenül indokolt egy megfelelő országos monitoring-rendszer kiépítése.

*

Bevezetés. A talaj termékenységét a talajtulajdonságok együttese határozza meg, ami a talajban végbemenő anyagforgalmi folyamatok eredménye. A talaj termékenységét gátló tényezők közül világszerte, így Magyarországon is nagy jelentőségű a talaj szélsőséges, erősen savanyú, vagy erősen lúgos kémhatása *(Szabolcs* és *Várallyay,* 1978). Ez közvetlenül és közvetve (a talaj egyéb tulajdonságainak, biológiai tevékenységének, tápanyagforgalmának befolyásolásán keresztül) egyaránt kedvezőtlen változásokat eredményez a természetes növényzet és a termesztett növények talajökológiai környezetében, akadályozza víz- és tápanyagfelvételüket, zavartalan növekedésüket és fejlődésüket. A talaj termékenységét csökkentő, káros talajdegradációs folyamatok természeti okok, vagy emberi beavatkozások hatására egyaránt bekövetkezhetnek *(Várallyay,* 1986). Az általános társadalmi fejlődés (intenzív mezőgazdasági és ipari termelés, közlekedés, településfejlesztés stb.) egyre több és egyre súlyosabb ilyen veszéllyel fenyeget. A káros következmények megelőzése, elhárítása, kiküszöbölése, vagy legalább bizonyos tűrési határig történő mérséklése csak megfelelő ellenintézkedések tudatos és összehangolt rendszerének kialakításával biztosítható *(UNEP-FAO,* 1983).

A talajdegradációs folyamatok közül egyik legelterjedtebb a talaj kémhatásának szélsőségessé válása, s ezek közül is a talajsavanyodás *(Acidification . . .,* 1982; *Kauppi* et al., 1984; *Stefanovits,* 1977).

1. *A talajsavanyodás és okai*

A talajsavanyodás szűkebb értelemben véve a talaj egyensúlyi pH-értékének csökkenése. Tágabb értelemben azonban talajsavanyodásnak tekinthető a talaj „savanyú-tompító képességének" csökkenése is, amely — bizonyos határig — nem okvetlenül jár egyidejű pH-csökkenéssel.

Talajsavanyodást természeti okok és emberi beavatkozások egyaránt előidézhetnek. Ezek közül legfontosabbak a következők:

a) Természeti okok (természetes talajképződési folyamatok):

1. Savanyú kémhatású (karbonátmentes, bázis-szegény) talajképző kőzet;
2. A növényi élettevékenység során és a növényi maradványok elbomlásakor végbemenő „sav-termelő" folyamatok (gyökérlégzés, és szervesanyagok lebomlásakor képződő CO_2; humuszsavak és egyéb szerves savak; egyéb savanyú bomlástermékek);
3. A semleges és lugos kémhatású mállástermékek, valamint a talaj „pufferkomponenseinek" kilugzódása a talajban végbemenő állandó (vagy uralkodó) lefelé irányuló vízmozgás következtében (amelynek feltételei: a sok csapadék; a sík vagy enyhe lejtésű felszín miatti kis felszíni lefolyás; a talaj gyenge víztartó- és nagy vízáteresztő képessége);
4. Természetes forrásokból származó légköri savas ülepedés.

Fenti okok megléte vagy hiánya, egymáshoz viszonyított aránya határozza meg a talaj kémhatását kialakító anyagforgalmi folyamatokat, és eredményezi a talajok kémhatás-szerinti igen nagy változatosságát (*Stefanovits*, 1963; *Várallyay* et al., 1980). Ezt a képet egyre több és erősebb emberi beavatkozás közvetlen vagy közvetett hatása módosítja.

b) Emberi beavatkozások:

1. Területhasználat (művelési ágak, vetés-szerkezet) megváltozása: erdő → → gyep → szántó → erdő). Ennek eredményeképpen megváltozik a talajfelszín növényborítottsága (tartam, fedettség); a talajba kerülő növényi maradványok mennyisége, térbeli eloszlása, kémiai összetétele; s megváltoznak ezek lebomlási folyamatai.
2. Agrotechnika megváltozása. A növényborítás nélküli talajfelszín, a mélyművelés, mélylazítás, öntözés és drénezés jelentős változásokat okoz a talaj anyagforgalmában. Céltudatosan vagy mellékhatásként fokozza vagy fokozhatja a lefelé irányuló vízmozgást, elősegítve ezzel a kilugzási folyamatokat. Ez külső „savterhelés" nélkül is a talaj savanyodását, „savanyúságtompító képességének" csökkenését eredményezheti.
3. Nem megfelelő műtrágyázási rendszer. A termőhelyi adottságokhoz és a növény igényeihez igazodó műtrágyázásnak még a nagy termések eléréséhez szükséges nagy adagok alkalmazása esetén sem szükségszerű következménye a talajsavanyodás. Az csak nem megfelelő műtrágya-féleség (savanyúan hidrolizáló, vagy „fiziológiailag savanyú" kémhatású műtrágyák) nagy és túlzott adagjainak alkalmazása, illetve a savanyító hatást közömbösítő anyagok (például: mész) párhuzamos adagolásának elmulasztása esetén következik be, tehát kivédhető, megelőzhető.
4. Tudatosan alkalmazott talajjavító anyagok (savak, savanyúan hidrolizáló anyagok).
5. Szennyvízzel, szennyvíziszappal és hulladékokkal a talajba juttatott savanyító anyagok.
6. Légköri savas ülepedés. Ennek során az ipari, városi, közlekedési és egyéb légszennyeződések miatt egyrészt közvetlenül jutnak savanyító anyagok a talaj felszínére, másrészt a növényre hulló anyagok egy része mosódik be, vagy kerül növényi maradványként a talajba, s válik ott a lebomlás során savanyító anyagok forrásává.

2. *A talajsavanyodás következményei*

A talaj egyensúlyi pH-jának, illetve „savanyúság-tompító képességének" csökkenése az alábbi következményekkel járhat:

— mállás fokozódása (esetleg szabad Al és Fe felszabadulása);
— növényi tápanyagok (Ca, Mg stb.) kilúgzódása;
— kiadagolt műtrágyák hatékonyságának csökkenése (pl. a foszfor fixációja, immobilizációja a szabad Al és Fe megjelenésének hatására);
— növénytáplálkozási zavarok (bizonyos elemek hiánya; oldékonysági viszonyok megváltozása → oldott tápelemek arányának megváltozása → kiegyensúlyozatlan tápanyag arányok → esetleges zavaró antagonista hatások stb.);
— mikroszervezetek életfolyamatainak megváltozása (mikrobiális populáció számának, faj-spektrumának és biológiai-biokémiai aktivításának megváltozása);
— toxikus anyagok „tűrési küszöbértéket" meghaladó mértékű felhalmozódása: talajban lévő anyagok (Al, Mn, stb.) mobilizációja, vagy más forrásokból a talajba jutó anyagok (nehézfémek, stb.) oldhatóvá válása.

A talaj savanyodásának fenti következményei általában kedvezőtlenek a növények számára. Tény azonban, hogy a pH csökkenése javítja néhány mikroelem „mozgékonyságát", növény általi felvehetőségét. Más kérdés, hogy ez a harmonikus tápanyagellátást biztosító tápelem-arányok szempontjából az esetleges antagonista hatások miatt ténylegesen mennyire érvényesülhet kedvezően. A légköri savas ülepedés N és S tartalma — ha az nem toxikus vegyületek formájában jut a talajba —, növényi tápanyagul szolgálhat; savanyító hatása szélsőségesen lúgos kémhatású talajokon (pl. a Duna-Tisza-közi szódás szoloncsákokon és szoloncsák-szolonyeceken) kifejezetten előnyös lehet.

3. *A talaj savanyodását meghatározó és befolyásoló tényezők*

A talaj savanyodásának mechanizmusát, mértékét, sebességét alapvetően 3 tényező határozza meg:

1. Milyen forrásokból származó, milyen koncentrációjú és kémiai összetételű anyag kerül a talaj felszínére, illetve a talajba.

2. A területre hulló anyag milyen felszínre jut: milyen hányada kerül a növényre , illetve közvetlenül a talaj felszínére, ez utóbbinak milyen hányada folyik el a felszínen, illetve jut a talajba. A három hányad aránya a terület növényborítottságától, illetve domborzati viszonyaitól függ.

3. A talajba jutó anyagok savanyító hatása elsősorban az alábbi talajtulajdonságoktól függ:

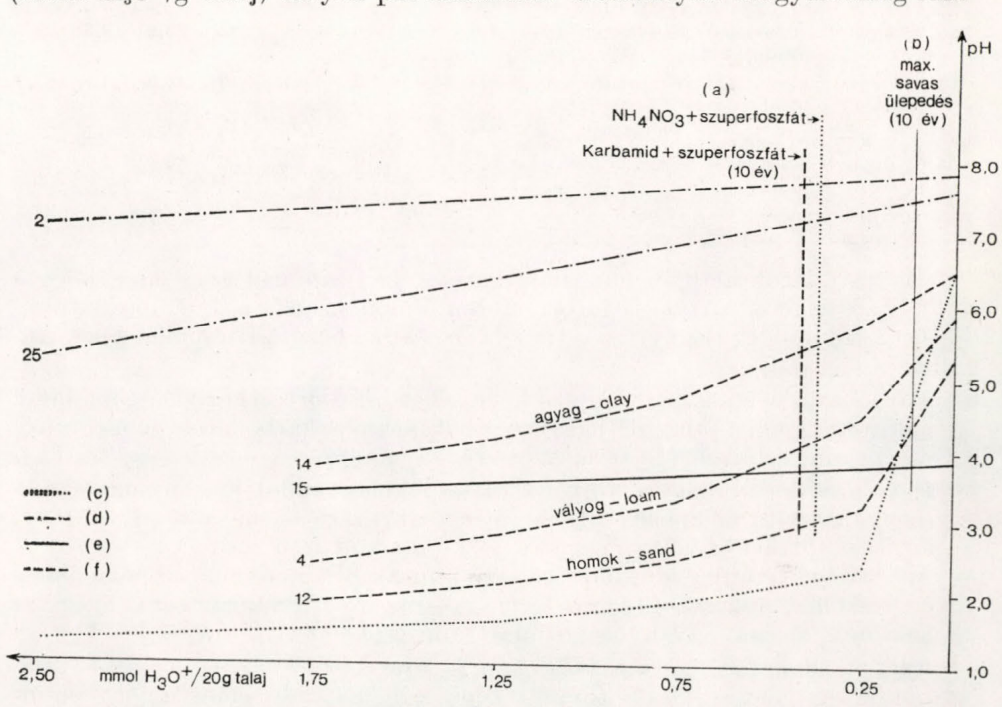
— a talaj kémhatása;
— a szilárd fázis tulajdonságai, így kémiai összetétele (elsősorban a lugos alkotórészek és karbonátok mennyisége); mechanikai összetétele (fizikai talajféleség); az előforduló agyagásványok és egyéb szervetlen kolloidok mennyisége, típusa, állapota; a szervesanyagok mennyisége, lebomlottsági foka, típusa, állapota; a talaj adszorpciós kapacitása, annak telítettsége, a kicserélhető kationok összetétele;
— a talajoldat koncentrációja és kémiai összetétele;
— a talajlevegő összetétele;

— a három fázis aránya, térbeli (vertikális és horizontális) variabilitása és időbeni dinamizmusa;
— a talajban végbemenő fázis-átalakulások, fázis-kölcsönhatások.

Ezek együttesen határozzák meg a talaj „puffer-kapacitását", „savanyúság-tompító képességét". Fenti — nagyon vázlatos — összeállításból következik, hogy a különböző emberi beavatkozások hatására bekövetkez(het)ő talajsavanyodás nagyon különböző. Mértékét, térbeli elterjedését (talajfolt, tábla, kisebb-nagyobb régió, térség), időbeni jelentkezését (hosszú tartamhatás többé-kevésbé szabályos ciklikusság, esetenkénti hatás, stressz-helyzetek) és következményeit tekintve egyaránt. Legalább ennyire különböző mélységűek, részletességűek és pontosságúak adataink, ismereteink is az egyes hatások mechanizmusáról, szerepéről, befolyásolhatóságának mértékéről és lehetőségeiről. A káros következményeket kivédő, tudatos szabályozásnak pedig a hatások regisztrálása, elemzése, a folyamatok alapos megismerése egyaránt nélkülözhetetlen előfeltétele.

4. Magyarország talajainak érzékenysége savanyodásra

A talajok „savanyodás-érzékenységét" szemléletesen fejezik ki az ún. „titrálási görbék", amelyek azt mutatják, hogy egységnyi „sav-terhelés" (mmol H_3O^+/g talaj) milyen pH-csökkenést eredményez. Magyarország tala-



1. ábra: Különböző tulajdonságú talajok titrálási görbéi. Függőleges tengely: eredeti pH, vízszintes tengely: a talaj savterhelése; (a) 10 év utáni ásványi savterhelés, (b) 10 év utáni maximális savterhelés, (c) talaj nélkül, (d) karbonátos talajok, (e) erősen savanyú láptalaj, (f) nem karbonátos ásványi talajok

Fig. 1: *Titration curves of various soils. Vertical axis: original pH. Horizontal axis: acid load mmol H_3O^+/20 g soil. (a) after 10 years of mineral fertilization; (b) after 10 years of max. acid deposition; (c) without soil; (d) calcareous soils; (e) strongly acidic peat; (f) non-calcareous mineral soils*

jainak „savanyodás-érzékenységét" ilyen titrálási görbék segítségével jellemeztük. Vizsgálatainkhoz a Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet „talajbankjából" Magyarország különböző típusú és tulajdonságú talajait reprezentáló 36 feltalaj mintát választottunk. Vizsgálati anyagunkból 6 — típusában, fizikai és kémiai tulajdonságaiban nagymértékben különböző — talaj titrálási görbéit mutatjuk be az *1. ábrán.* A talajok főbb jellemzőit foglaltuk össze az *I. táblázatban.*

I. TÁBLÁZAT

Néhány vizsgált talaj főbb jellemzői — *Relevant characteristics of the studied soils* Jelölések — *Remarks;* (a) hidrolitos aciditás — *hydrolytic acidity,* (b) szerves anyag — *organic matter content,* (c) Arany-féle kötöttségi szám — *sticky point according to Arany* (≈SP), (d) agyagtartalom (<0,002 mm) — *clay content,* (e) kationkicserélő kapacitás — *cation exchange capacity* (CEC, meq/ /100 g soil), (f) bázistelítettség — *base saturation. No of sample and soil type:* (2) *Hydromorphic meadow soil,* (25) *and* (4) *Lessivated brown forest soil,* (14) *Chernozem brown forest soil,* (15) *Peat,* (12) *Brown forest soil with alternating thin layers of clay substance („kovárvány"), (sand)*

Minta száma No of Sample	Talajtípus Soil type	Mintavétel helye Place of Sampling	pH (H_2O)	$CaCO_3$ %	(a)	(b) %	(c)	(d) %	(e) mgeé/ 100 g	(f) %
2.	Réti talaj	Agyagos-szergény	7,8	1,3	–	6,6	41	23,0	47,0	100
25.	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj	Szilvásvárad	7,6	0,7	–	2,0	42	23,2	19,3	99
14.	Csernozjom barna erdőtalaj	Kompolt	6,5	–	9,3	3,3	49	46,0	41,8	87,9
15.	Láptalaj	Tiborszállás	3,8	–	55,7	>10	90	24,3	135,5	32,0
4.	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj	Nagykanizsa	5,9	–	10,2	1,5	36	15,7	12,3	57,1
12.	Kovárványos barna erdőtalaj	Nyírlugos	5,3	–	7,0	0,4	27	4,8	4,8	25,3

A vizsgálatok alapján megállapítható, s az 1. ábráról is kitűnik, hogy a különböző talajok titrálási görbéi erősen különböznek, a különböző tulajdonságú talajok egységnyi „savterhelésre" különböző pH-csökkenéssel reagálnak:

— Karbonátos talajok „savtompító-képességét" elsősorban karbonáttartalmuk határozza meg, a talaj pH-ja savas behatásokra a karbonátok semlegesítődéséig alig csökken (1. ábra, 2. és 25. sz. minta);

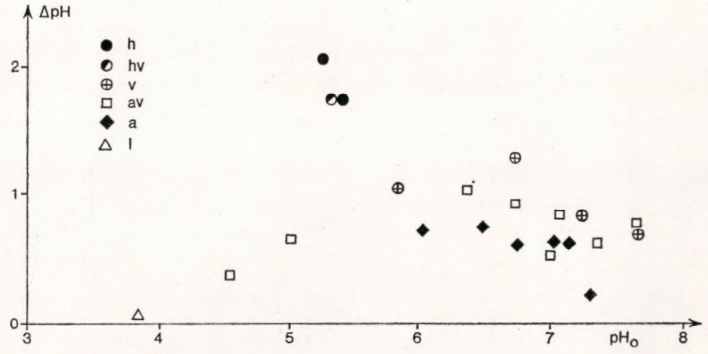
— Egységnyi savterhelésre történő pH-csökkenés annál kisebb, minél alacsonyabb a talaj eredeti pH-ja (már csak azért is, mert a pH a H_3O^+ ion koncentrációjának — negatív — logaritmusa);

— Az erősen savanyú láptalaj (15. sz. minta) pH-ja tehát sav-adagolásra egyrészt nagy szervesanyagtartalma (→nagy pufferkapacitása), másrészt igen erős eredeti savanyúsága miatt alig csökken (1. ábra);

— Nem karbonátos ásványi talajokon a titrálási görbék lefutását a talaj „puffer-kapacitása", „sav-tompító képessége" határozza meg, amely —mint az előbbiekben erre utaltunk — számos talajtulajdonság együttes hatásának eredménye. Az 1. ábráról látható, hogy a kis szervesanyag- és anyagtartalmú nyírlugosi kovárványos barna erdőtalaj (12. sz. minta) egységnyi savterhelésre (alacsonyabb eredeti pH-ja ellenére) sokkal érzékenyebben, nagyobb pH-csökkenéssel reagált, mint a nagykanizsai, vályog mechanikai összetételű agyagbemosódásos barna erdőtalaj (4. sz. minta),

vagy az agyagos vályog mechanikai összetételű, nagyobb szervesanyag tartalmú kompolti csernozjom barna erdőtalaj (14. sz. minta). Hasonló megállapítások tehetők a *2. ábra* alapján is.

Ezen 22 vizsgált talaj azonos savterhelés (0,25 mmol H_3O^+/20g) hatására bekövetkező pH-csökkenésének mértékét tüntettük fel a talajok eredeti pH-jának függvényében. A mérési pontok mellett a talaj fizikai féleségét is megjelöltük. Mint látható, legérzékenyebbek savanyodásra a karbonát-mentes,



2. ábra: Nem karbonátos talajok pH-változása azonos savterhelés (0,25 mmol H_3O^+/20 g talaj) hatására. Függőleges tengely: a pH változása, vízszintes tengely: eredeti pH; h = homok, hv = homokos vályog, v = vályog, av = agyagos vályog, a = agyag, l = organikus talaj

Fig. 2: *Change in the pH of various non-calcareous soils under the influence of uniform acid load (0.25 mmol H_3O/20 g soil). Vertical axis: change in pH. Horizontal axis: original pH; h = sand; hv = sandy loam; v = loam; av = clay loam; a = clay; l = organic soil.*

gyengén savanyú kémhatású, kis pufferkapacitású homok talajok, lényegesen kevésbé a nagy pufferkapacitású, agyag és agyagos vályog mechanikai összetételű talajok, vagy a már eredetileg is erősen savanyú talajok *(Murányi* és *Rédly*, 1986).

Részletes vizsgálatokat végeztünk a talajok „savanyodásérzékenysége", puffer-kapacitása és az ezt meghatározó, illetve befolyásoló talajtulajdonságok közötti összefüggések megállapítására. A vizsgálatba 27 talajtulajdonságot vontunk be, és az adatokat stepwise-regresszióval elemeztük. Eddigi eredményeink szerint a titrálási görbe alatti terület nagyságaként értelmezett pufferkapacitás nem karbonátos ásványi talajok esetében elsősorban a talaj eredeti pH-értékével, mechanikai összetételével, kicserélhető Ca és Al tartalmával mutatott összefüggést. Az elemzés azt is kimutatta, hogy a titrálási görbe különböző pH-tartományaiban különböző talajtulajdonságok befolyása válik meghatározóvá *(Murányi*, 1986).

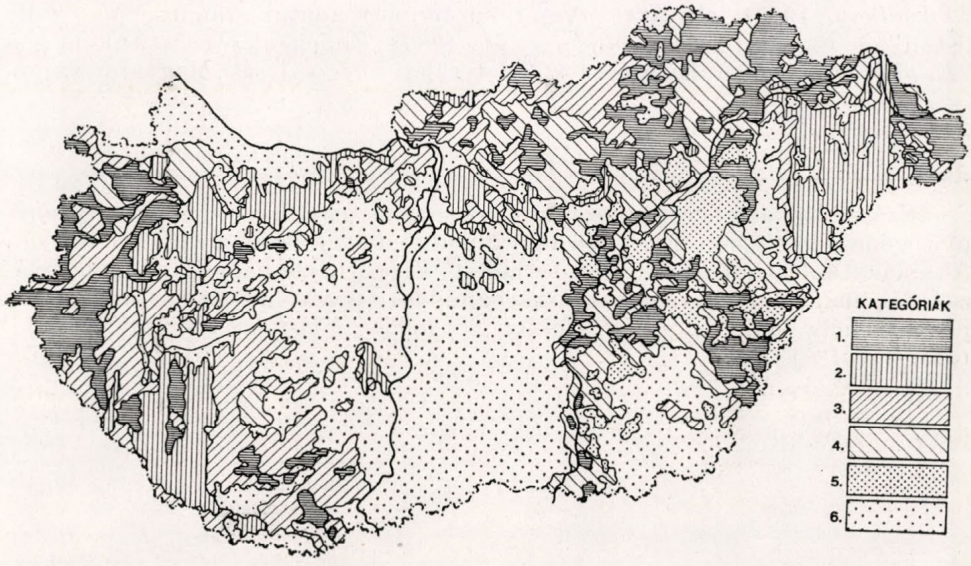
Vizsgálataink alapján kidolgoztuk Magyarország talajainak a savanyodással szembeni érzékenység szerinti kategóriarendszerét. A kategória-rendszert a *II. táblázat*ban foglaltuk össze. A táblázatban megadtuk a besorolás alapját képező talajtulajdonságokat is, mégpedig a „Magyarország agroökológiai potenciáljának felmérése" c. program keretében a termőhelyi adottságokat meghatározó talajtani tényezőkre kidolgozott 8-kódszámos rendszerünk kategóriái szerint *(Várallyay* et al., 1979 és 1980). A megkülönböztetett 6 alap-kategória a következő:

II. TÁBLÁZAT

Magyarország talajainak kategóriái savanyodással szembeni érzékenységük szerint — Classification of Hungarian soils according to their susceptibility to acidification

Kategóriák Categories		Talajtulajdonságok — Soil characteristics					Terület az ország egész területének %-ában Acreage in % of the total area of Hungary
No	Definition	Talajképző kőzet Parent material	pH és mészállapot pH and carbonate status	Fizikai féleség Texture	Szervesanyag-készlet Organic matter, t/ha	Termőréteg vastagsága Depth of solum, cm	
1	Erősen savanyú Strongly acidic	–	Erősen savanyú Strongly acidic	–	–	–	13
2	Savanyodásra – erősen érzékeny To acidification – highly susceptible	– Bármely, kivéve lösz Anything except loess	↑	Homok Sand Durva vázrész Coarse fragments ↑ Homokos vályog Sandy loam	– < 200	– < 70	14
3	– közepesen érzékeny – susceptible	Lösz Loess –	Gyengén savanyú Slightly acidic	↓ Vályog Loam	< 200 > 200 < 200 > 200	< 70 > 70 < 70 > 70	5
4	– mérsékelten érzékeny – moderately susceptible	–		Agyagos vályog Clay loam Agyag Clay Szerves Organic soil	–	–	23
5	– gyengén érzékeny – slightly susceptible	–	Nem felszíntől karbonátos, szikes Non-calcereous from the surface	–	–	–	4
6	– nem érzékeny – non-susceptible	–	Felszíntől karbonátos Calcareous from the surface	–	–	–	41

1. Erősen savanyú talajok. Savas behatásokra további savanyodással alig reagálnak.
2. Savanyodásra erősen érzékeny talajok. Ide tartoznak egyrészt a gyengén savanyú kémhatású homoktalajok és sok durva vázrészt tartalmazó talajok; másrészt a nem lösz alapkőzeten kialakult, gyengén savanyú kémhatású, kis pufferkapacitású, homokos vályog-mechanikai összetételű, kis szervesanyagkészletű, nem mély termőrétegű talajok.



3. ábra: Magyarország talajainak érzékenysége savanyodásra. Kategóriák: 1. Erősen savanyú talaj, 2. Savanyodásra erősen, 3. közepesen, 4. mérsékelten, 5. kevéssé érzékeny, 6. nem érzékeny talaj. Eredeti lépték: 1:500 000

Fig. 3: *Map of susceptibility of soils to acidification in Hungary. Original scale 1:500 000. Categories: Strongly acidic soil (1), to acidification highly susceptible (2), susceptible (3), moderately susceptible (4), slightly susceptible (5), non-susceptible (6)*

3. Savanyodásra közepesen érzékeny talajok. Ide tartoznak egyrészt a löszön kialakult, gyengén savanyú kémhatású, homokos vályog mechanikai összetételű, kis szervesanyagkészletű, nem mély termőrétegű talajok; másrészt a gyengén savanyú kémhatású, nagyobb szervesanyagtartalmú, mélyrétegű, homokos vályogtalajok, továbbá a kisebb szervesanyagtartalmú és nem mélyrétegű vályogtalajok.
4. Savanyodásra mérsékelten érzékeny talajok. Ide tartoznak a gyengén savanyú kémhatású, nagy pufferkapaictású talajok: nagyobb szervesanyag tartalmú, mélyrétegű vályogtalajok; a nehezebb mechanikai összetételű (agyagos vályog, agyag) ásványi talajok; és a nagy szervesanyagtartalmú láptalajok.
5. Savanyodásra kevéssé érzékeny talajok. Ide tartoznak a nem felszíntől karbonátos, A-szintjükben semleges vagy gyengén savanyú kémhatású szikes talajok.
6. Savanyodásra nem érzékeny talajok. Ide tartoznak a felszíntől karboná-

tos talajok, amelyek semleges vagy lugos kémhatása savas „terhelésre" a karbonátok semlegesítődéséig alig változik.

A *II. táblázatban* összefoglalt kritériumok alapján megszerkesztettük „Magyarország talajainak érzékenysége savanyodásra" c. térképet 1 :100 000 és 1:500 000 méretarányban *(Várallyay* et al., 1986). Ez utóbbi egyszerűsített vázlatát mutatjuk be a *3. ábrán.* A térképek szerkesztésénél a talajtani információbázist „Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők *(Várallyay* et al., 1979. és 1980). c. 1:100 000 méretarányú térkép és Magyarország 1:100 000 méretarányú agrotopográfiai térképe *(Várallyay,* 1985) jelentette. A térkép területi adatai számítógépes „foltlistán" is rögzítettek *(Várallyay* et al., 1980). Ennek alapján adtuk meg a *II. táblázat*ban a 6 kategória %-os területi megoszlását Magyarországon.

A talajt érő savas behatások és ezek várható következményei

Számításokat végeztünk a talajt érő legfontosabb „savterhelések" mennyiségének becslésére. Ez irányú adatainkat foglaltuk össze a *III. táblázatban.* A táblázatból látható, hogy „sav-terhelést" elsősorban a nagyadagú műtrágyázás, főként az ammonnitráttal és karbamiddal végzett nitrogén műtrágyázás jelent, amely pedig az ország N-műtrágya felhasználásának több mint 70%-a (41,5+28,7%).

III. TÁBLÁZAT

A talajt érő „savterhelések" Magyarországon — *Acid loads in Hungary*

Savterhelés forrása — *Source of acid loads*		Becsült átlagos savterhelés *Estimated average of acid loads* kmol/ha/év	Közömbösítéshez szükséges *Necessary for neutralization* $CaCO_3$ kg/ha***
NH_4NO_3 műtrágya — *Fertilizer*	118 kg N/ha*	5,1	252
Karbamid műtrágya — *Urea fertilizer*	118 kg N/ha*	5,8	286
Szuperfoszfát — *Superphosf. fert.*	78 kg P_2O_5/ha*	0,5	24
Savas eső — *Acid rain*	573 mm	0,2	9
Savas S- és N-vegyületek összes (száraz+nedves) ülepedése max. 2,0** (stressz) *Total (wet+dry) acid deposition of S and N containing substances*			90

* Magyarország szántó-, kert-, gyümölcsös és szőlőterületére felhasznált átlagos N-műtrágya hatóanyag (*Mezőgazdasági Statisztikai Zsebkönyv,* 1983.), **Horváth—Mészáros* (1985), ***in: *Sarkadi* (1975)

Ilyen szempontból sajnálatos a jelentős mennyiségű $CaCO_3$-t is tartalmazó pétisó hazai forgalmazásának és felhasználásának erős visszaesése. A savanyító hatás azonban az agrotechnikai rendszerbe épített fenntartó meszezéssel így is eredményesen megelőzhető (*Boldis* és *Jeney,* 1983. *Máté* és *Pusztai,* 1977, *Pusztai,* 1977). A III. táblázatban a savanyító hatás biztonságos és teljes közömbösítéséhez szükséges $CaCO_3$ mennyiségére vonatkozóan is közlünk adatokat *Sarkadi* (1975). nyomán. Itt jegyezzük meg, hogy a jelenlegi gazdasági szabályozók sajnos nem ösztönöznek a műtrágyázás okozta „sav-terhelés" folyamatos és rendszeres ellensúlyozására. Mivel csak a nagyadagú meszezés minősül meliorációnak (így állami támogatás csak arra

jár), ezért a mezőgazdasági üzemek túlnyomó része nem alkalmazza a műtrágyázás savanyító hatását megelőző fenntartó meszezést az agrotechnikai rendszer elemeként (hisz arra nem nyújt az állam dotációt), hanem megvárja, míg a savanyodás olyan mértékűvé válik, hogy megszűntetése melioratív mészadagok alkalmazását teszi szükségessé. Ez eredményezi azután azt, hogy a MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központjának ez irányú felmérései szerint az ország jelentős területén következett be olyan nagymértékű talajsavanyodás, ami — összes következményeivel együtt — már feltétlenül a talajtermékenység csökkenését eredményezi, s akadálya az intenzív növénytermesztésnek.

A műtrágyázáshoz viszonyítva nagyságrenddel kisebb a *légköri savas ülepedésből* származó talajt érő „sav-terhelés". *Mészáros* (1984), valamint *Horváth* és *Mészáros* (1986) átlagos csapadék-összetétel adataival számolva 573 mm évi csapadék csak mintegy 0,2 kmol/ha/év „sav-terhelést" jelent a talajra, ami 9 kg/ha $CaCO_3$ adagolásával közömbösíthető. Sajnos azonban itt az átlag-adatok nem sokat mondanak, hisz ismeretes a légköri ülepedés mennyiségének és kémiai összetételének igen nagy térbeli és időbeni variabilitása. Ez azt jelenti, hogy bizonyos helyeken, bizonyos időszakokban (időjárási és légszennyezési helyzetek esetén) az átlagos „sav-terhelést" sokszorosan meghaladó légköri savas ülepedés „stresszekkel" lehet és kell számolni. A talaj savanyodása szempontjából ezek jelentik a fő veszélyt. A talajt érő „sav-terhelés" még így is elmarad a nitrogén műtrágyázás hasonló hatásától, tehát rendszeres meszezéssel viszonylag egyszerűen kiküszöbölhető.

A légköri savas ülepedésnek véleményünk szerint a „savterhelésnél" jóval nagyobb az a kedvezőtlen hatása, amit a közvetlenül toxikos komponensek (NO_x, SO_2, nehézfémek stb.) mennyisége okoz. Akár a talajban, illetve a talajon keresztül, akár a növény felületére jutva közvetlenül. Növényzettel állandóan vagy tartósan borított felszín (erdő, gyep) esetében a gyakran megfigyelhető drasztikus károsodások például többnyire bizonyos komponensek közvetlen fiziológiai hatásainak tulajdoníthatók.

A különböző forrásokból származó „sav-terheléseknek" a talaj pH-értékére gyakorolt hatása a titrálási görbék alapján nagy valószínűséggel előre jelezhető, mint ezt az 1. ábrán bemutatjuk. Az ábrán feltüntettük, hogy a maximális légköri savas ülepedés, illetve az N_{118} P_{78} kg/ha adagú műtrágyázás 10 év alatt milyen pH-csökkenést eredményez a vizsgált talajokon, ha nem történik megfelelő ellenintézkedés. Jól látható a nem karbonátos talajok — pufferkapacitástól függő mértékű — de egyaránt erős elsavanyodása, ami ismételten hangsúlyozza az agrotechnikai rendszerbe épülő fenntartó meszezés elengedhetetlen szükségességét.

6. *Következtetések, javaslatok*

1. Szükséges a talajt érő „sav-terheléseket" (mi hull? hova hull?) és ezek talajtani hatásait folyamatosan regisztráló monitoring-rendszer kiépítése.

2. További kutatások szükségesek a savanyodás mechanizmusának tisztázására, az azt meghatározó és befolyásoló tényezők hatásának és kölcsönhatásának elemzésére.

3. Fentiekkel párhuzamosan összehangolt program kidolgozása szükséges a vizsgált tényezők térbeli megoszlásának és időbeni dinamikájának elem-

zésére, ami a pontszerű mérési adatok térbeli kiterjesztését (térképszerű ábrázolását), illetve az időbeni változások előre jelzését, így tudatos szabályozását, és a nem kívánt következmények időben történő megelőzését teszi lehetővé.

4. A talajsavanyodás és káros következményeinek felszámolásában legfontosabb a m e g e l ő z é s, a kiváltó ok(ok) megszüntetése: pl. a talajhasználat megváltoztatása; racionális műtrágyázási rendszer; agrotechnikai rendszerbe illesztett fenntartó meszezés; légszennyeződés-kontroll.

5. Biztosítani kell a már bekövetkezett káros változások korrekcióját célzó meliorációs és agrotechnikai beavatkozások elterjesztését, körültekintő tervezését, gondos kivitelezését és folyamatos „karbantartását".

IRODALOM

Acidification today and tomorrow, 1982: A Swedish study prepared for the *1982 Stockholm Conference on the acidification of the environment.* Ministry of Agriculture, Stockholm.

Boldis O. és *Jeney I.*, 1983: A talajsavanyodás és a mésztrágyázás. *Magyar Mezőgazdaság 38*, 9–12.

Horváth L. és *Mészáros E.*, 1986: Savas ülepedés Magyarországon. *Időjárás 90*, 143–149.

Kauppi, P., Kamari J., Posch M., Kaupi, L. and *Matzner E.*, 1984: Acidification of forest soils. Model development and application for analyzing impact of acidic deposition in Europe. *Collaborative paper IIASA.* Vienna.

Máté F. és *Pusztai A.*, 1977: Műtrágyázás és a meszezés. „*A mezőgazdaság kemizálása*" (Ankét, Keszthely, júl. 11–16.) NEVIKI kiadv. Veszprém. 11–17.

Mészáros E., 1984: Savas esők Magyarországon. *Magyar Tudomány 29.* 529–536.

Murányi A., 1986: Soil acidification and the soil properties. (*Trans. Conf. on the problems of soil acidification in Poland and Hungary.* Pulawy, 1–3. 10. 1985) Pamietnik Pulawski (nyomtatás alatt).

Murányi A. és *Rédly M.*, 1986: The susceptibility of Hungarian soils to acidification (*Trans. Conf. on the problems of soil acidification in Poland and Hungary.* Pulawy, 1–3. 10. 1985) Pamietnik Pulawski (nyomtatás alatt)

Pusztai A., 1977: Talajaink elsavanyodása és a meszezés. *Magyar Mezőgazdaság 32*, 8–9.

Sarkadi J., 1975: *A műtrágyaigény becslésének módszerei.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Stefanovits P., 1963: *Magyarország talajai.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Stefanovits P. (szerk.), 1977: *Talajvédelem, környezetvédelem.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Szabolcs I. és *Várallyay Gy.*, 1978: A talajok termékenységét gátló tényezők Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan 27*, 181–202.

UNEP–FAO, 1983: *Guidelines for the control of soil degradation*, Rome.

Várallyay Gy., 1986: Problems of soil degradation in Hungary. (*Trans. Conf. on the problems of soil acidification in Poland and Hungary.* Pulawy, 1–3. 10. 1985) Pamietnik Pulawski (nyomtatás alatt).

Várallyay Gy., Rédly M. és *Murányi A.*, 1986: Map of the susceptibility of soils to acidification in Hungary. (*Trans. Conf. on the problems of soil acidification in Poland and Hungary.* Pulawy, 1–3. 10. 1985) Pamietnik Pulawski (nyomtatás alatt).

Várallyay Gy., Szücs L., Murányi A., Rajkai K. és *Zilahy P.*, 1979: Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe I. *Agrokémia és Talajtan 28*, 363–384.

Várallyay Gy., Szücs L., Murányi A., Rajkai K. és *Zilahy P.*, 1980: Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe. II. *Agrokémia és Talajtan 29*, 35–76.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2—3. szám, 1986. március—június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2—3. March—June 1986. Budapest

Erdeink egészsége és a savas ülepedés

SOLYMOS REZSŐ, *MÉM Erdészeti és Faipari Hivatal, H—1055 Budapest, Kossuth Lajos tér 11.*

The health of Hungarian forests and the acid deposition. 18% of the territory of Hungary is covered by forests. Owing to industrial and urban development the society follows with attention the state of our forests. Concerning the forests the environmental and turistic demands are increasing. In spite of the fact that their territory has increased by 0.5 million hectars and the wood production has tripled during the last 40 years our forests are not sufficient to provide the wood quantity necessary for national economy. The ecological conditions make possible first of all the production of deciduous trees like beech, oak and hornbeam. The natural native forests consist of these trees constituting stable ecosystems with high selfregulating capacity. While man uses forests to protect and improve the environment, the protection of forests against environmental injuries is not well solved by the society. Forests are damaged by air pollution and acid deposition mostly in Europe but also on a global scale. The more serious damages have been detected in European pine-woods which are on acid soils (pH = 4.5—5.5). But damages in deciduous forests have also been reported. In Hungary serious problems are observed in native oak-forests (sessile oaks) mainly in the northern hilly and mountainous areas. Approximately 1 million m^3 of wood has been destroyed and the damage is around 1 billion Hungarian forint. The causes of the death of trees are investigated by several institutions. Results obtained do not prove unambiguously the primary role of air pollution in the initiation of illness. Several research workers believe that damages are caused mainly by ceratocystis fungi, but the role of unfavourable environmental effects can not be excluded. Other scientists argue that the primary cause is the acid deposition. It is also believed that damages unobservable until now can also occur. In this respect the unsufficient growth of young plantation due to the decrease of assimilation is mentioned. Taking into account that the future of the forests and the welfare of the society are in close relation a national and international cooperation is needed to stop forest damages.

⚹

Erdeink egészsége és a savas ülepedés. Magyarország területének 18%-át borítják erdők A társadalom figyelme az ipari fejlődés, a városiasodás nyomán egyre nagyobb mértékben fordult az erdők felé. Megnőtt az erdőkkel szemben támasztott gazdasági, környezetvédelmi, üdülési és turisztikai igény. Az ország faellátását a hazai erdők teljes mértékben nem tudják kielégíteni annak ellenére, hogy az elmúlt 40 év folyamán az erdőterület több mint fél millió ha-ral növekedett, a fakitermelés pedig közel megháromszorozódott. Az ökológiai adottságok elsősorban a lombos fafajok termesztésére (bükk, tölgyek, gyertyán stb.) nyújtanak kedvező lehetőségeket. Ezek alkotják a természetes, őshonos erdőket, amelyek a legstabilabb erdészeti ökoszisztémák. Önszabályozó képességük rendkívül magasfokú. Az ember, a társadalom az erdőtől egyre nagyobb mértékben várja környezetének védelmét, javítását. Ezzel szemben nem fordít kellő gondot a környezeti ártalmakkal szembeni védelmére. A világ és főleg Európa erdei szenvednek a légszennyezéstől, a savas ülepedés miatt bekövetkezett károsítások sorozatától. A legnagyobb a pusztulás az európai fenyőerdőkben, amelyek savanyú kémhatású (4,5—5,5 pH) talajokon állnak. Szenvednek ezek mellett a lombos erdők is. Hazánkban a legnagyobb a kár az őshonos tölgyesekben, elsősorban a hegy- és dombvidéki (Északi-hegyvidék) kocsánytalan tölgyállományokban. Közel egy millió m^3 fa pusztult el, a kár egymilliárd Ft körül van. A fák elhalásának okát több intézmény vizsgálja. A kutatási eredmények egyértelműen nem bizonyították a légszennyezés

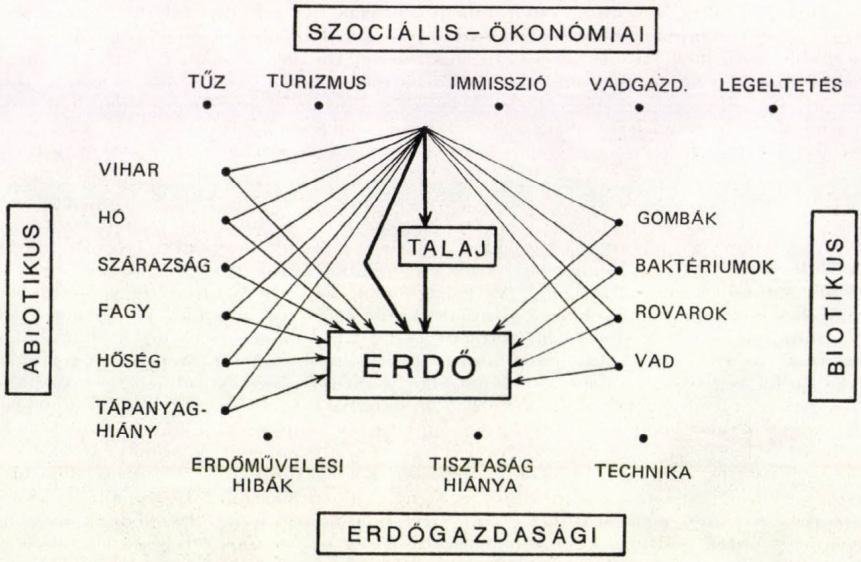
elsődleges szerepét ezen betegség kiváltásában. A ceratocystis gombákat jelöli meg a kutatók egy része fő károsítóként, de nem veti el a kedvezőtlen környezeti hatások szerepét sem. Más kutatók a savas ülepedést tekintik az elsődleges oknak. A mérhető károkon kívül számos olyan is előfordulhat, amelyet ma erdeink észrevehetően még nem jeleznek. Ezek közé tartozik például a fanövekedés visszaesése az asszimiláció intenzitásának csökkenése miatt. Az erdők jövője és a társadalom jóléte szoros összefüggésben van egymással. Általános hazai és nemzetközi összefogás szükséges a károk megszüntetése érdekében.

⁂

1. *A környezet és az erdők egészsége*

Természeti környezetünk alkotói között az erdőnek nélkülözhetetlen szerepe van. Ugyanakkor a gazdasági élet számos területe sem nélkülözheti a kitermelt fát, mint nyersanyagot. Akár a környezet védelmét, akár a gazdasági életben való jelentőségét tekintjük az erdőnek, egyaránt kiemelt tényezőnek kell tartanunk az egészségi állapotát, amelyet kedvező szinten kell tartanunk ahhoz, hogy a társadalom által támasztott növekvő igényeket kielégítse. Az emberek egészsége, az élet minősége is függ attól, hogy milyen egészségesek az erdők. Ezért kell elsőbbséget biztosítani azoknak a tennivalóknak, amelyek az erdők egészségét megóvják, a betegségeket megelőzik, illetve megszűntetik. Tekintettel a fák több évtizedes vagy évszázadon túli korára, az erdészetnek ezen a téren is az előrelátás elve alapján a veszélyhelyzeteket jelentkezésükkor le kell küzdenie. A károk okát fel kell deríteni és az okozót felelőssé kell tenni a károk helyreállításáért.

A környezeti tényezők romlásával csökkent az utóbbi évtizedek folyamán az erdők egészsége, ellenállóképessége. Több kontinens és számos ország területén észleltek fapusztulásokat. Különböző okait vizsgálták ennek, míg kialakult az álláspont, amely szerint mindenekelőtt az ökológiai összefüggéseket kell feltárni és a veszélyforrásokat számba venni megkülönböztetett figyelemmel a levegő, a víz és a talaj szennyezettségére. Ennek alapján kell felkészülni a várható problémákra úgy, hogy az erdészeti termelésfejlesztés,



1. ábra: Az erdei ökoszisztéma megterhelése, rizikófaktorok, kórokozók (*Kastner* nyomán)

a technikai feladatok megoldása környezetkímélő legyen. Az erdei ökoszisztémát az *1. ábra* szerint sokféle megterhelés éri. Ezek együttes hatását kell mérlegelni és intézkedni akkor, ha a fák egészségét fenyegetik.

Az ökológiai rendszerben az erdő fái a talajból veszik fel táplálékukat kapcsolatba kerülve a vízzel, a különböző talajorganizmusokkal, törzsük és a levélzetet hordozó koronájuk a légtérben áll, ahol közvetlenül hat rájuk a légszennyezés, a savas ülepedés. Az erdészek egy évszázada már felhívták erre a figyelmet. A probléma súlya azonban csak az elmúlt évtizedben nőtt olyan mértékűvé, hogy az emberiség felfigyelt rá. Tekintettel a téma összetettségére, a savas ülepedésnek tulajdonított károk ismertetése előtt az erdők helyzetét a jobb áttekintés miatt szélesebb körűen ismertetem.

2. *Az erdő mint ökoszisztéma és az antropogén hatások*

Az erdei ökoszisztéma a legbonyolultabb környezeti rendszerek közé tartozik. Élő és élettelen alkotóelemeinek gazdag változatossága olyan komplexumot alkot, amelyre a nagyarányú önszabályozó képessége révén általában a stabilitás jellemző. Abban az esetben, ha az alkotóelemek egymás közötti hierarchikus rendszerét a környezetből olyan mértékű és jellegű zavaró hatások érik, amelyet az erdei ökoszisztéma az önszabályozás útján nem tud kiegyenlíteni, súlyos károk következhetnek be. Ezek megakadályozhatják az erdőgazdálkodással szemben támasztott társadalmi igények teljesítését.

Az erdő a bioszféra alkotórésze, nemzeti vagyon, a nyersanyagtermelés egyik forrása, a környezet védője és alkotója, a munkában megfáradt ember felüdülésének hatékony segítője. Szolgáltatásainak, fatermőképességének az ökológiai potenciál teljes kihasználása jelenti a felső határát. Az anyagi és a nem anyagi jellegű termékeket a társadalom folyamatosan várja az erdőtől, ami a tartamosság megteremtésének kiemelt követelményét támasztja a szakemberekkel szemben. Az erdővel gazdálkodni kell, ami együtt jár az antropogén hatások növekedésével. Az emberi beavatkozás a termelési célkitűzések érdekében a természet szerinti követelményeknek megfelelően kell, hogy történjen.

A világ erdeiről az *I. táblázat*, a mérsékelt égövi erdőkről a *II. táblázat* nyújt áttekintést. A föld területének mintegy 30%-át borítják erdők, amelyek 67%-a fenyő. Ezt a légszennyezés kedvezőtlen hatása miatt kell kiemelni, valamint azért, mert a fenyvesek túlsúlya igen sok helyen az ember helytelen gazdasági beavatkozása miatt alakult ki.

I. TÁBLÁZAT

A világ erdei földrajzi régiók szerint (1980)

Régió	Erdőterület (millió ha)	Erdősültség, %
1. Európa	156	28,9
2. Szovjetunió	792	35,5
3. Észak-Amerika	579	31,6
4. Latin-Amerika és a Karib térség	993	49,2
5. Ázsia és a Csendes-óceán vidéke	602	17,6
6. Afrika	734	25,0
Összesen	3856	29,7

Az emberi beavatkozások egyik csoportja a gazdálkodás, amely a legtöbb esetben kedvező az erdőre nézve. A második csoport már nem céltudatos, hanem olyan másodlagos beavatkozásnak tekinthető, amikor más elsődleges, főleg ipari célú tevékenység következménye hat az erdőre. Ide kell sorolni az *erdők területének* egyéb érdeket szolgáló igénybevételét, amelynek következtében a világ erdei évente több, mint *10 millió ha-ral csökkennek.*

II. TÁBLÁZAT

A világ mérsékelt övi erdei

Régió	Összes erdőterület (ezer ha)	Lombos erdők területe (ezer ha)	Fenyőerdők területe (ezer ha)
1. Európa	156 413	55 078	101 335
2. Szovjetunió	791 648	197 000	593 748
3. Észak-Amerika	578 900	188 200	390 700
4. Latin-Amerika (mérsékelt)	36 335	34 698	1 637
5. Dél-Afrika (mérsékelt)	20 965	20 254	711
6. Kelet (mérsékelt)	29 817	12 979	16 838
7. Ázsia (mérsékelt)	149 380	46 700	102 680
8. Óceánia (Ausztrália, Új-Zéland)	51 600	42 420	9 180
Összesen:	1 815 058	598 229 (33%)	1 216 829 (67%)

A másodlagos beavatkozásokat elsősorban *a légszennyeződés*, valamint a belőle fakadó további környezeti ártalmak jelentik. A kén-dioxid, a nitrogén-oxid, a korom, a por és egyéb füstgázok, illetve ezeknek a légköri nedvességgel alkotott vegyületei okozzák napjainkban a legkedvezőtlenebb hatást, amelyet közvetett emberi beavatkozásnak is felfoghatunk. A savas esők ülepedése a műemlékek, a természeti értékek, az erdők pusztítása miatt Európa rémeivé váltak.

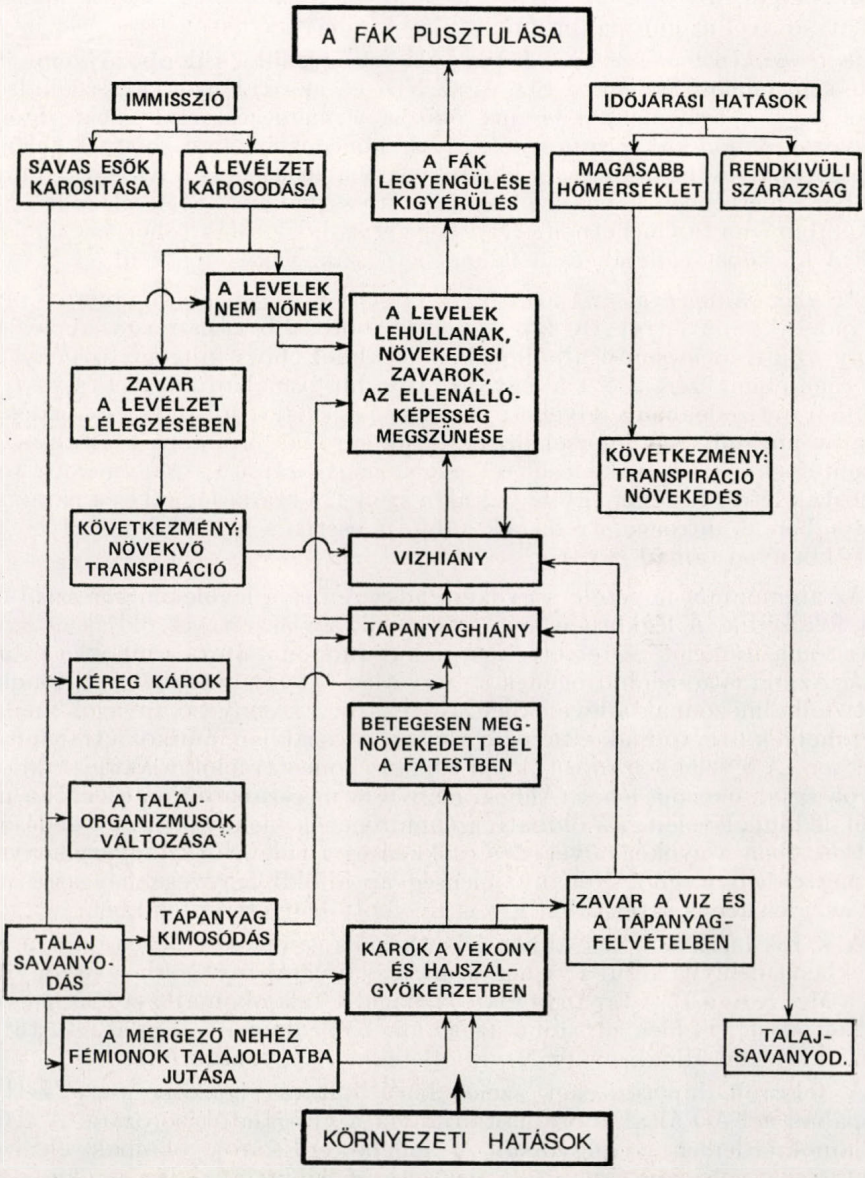
Az immisszió és az időjárási hatások a *2. ábrán* feltüntetettek szerint együttesen olyan sokféle zavart okozhatnak az erdő fáinak az életműködésében, amelynek a végső következménye a fák pusztulása lehet.

Az elmúlt években a sajtó és a rádió egyaránt kiemelt figyelmet szentelt az európai erdőpusztulásnak. Az NSZK erdeinek több, mint az egyharmada beteg. A jegenyefenyvesek és a lucosok pusztulnak elsősorban, míg a tölgyesekben és a bükkösökben 8—10%-ra becsülik a kárt. Ausztriában főleg az utóbbi évben nőtt a fenyvesek psuztulása. A svájciak az erdők érdekében is tervezik a gépkocsik által kibocsátott füstgázok káros hatását mérsékelni. Norvégiában kisebbek az erdőkárok, de súlyos jelenségeket idézett elő az egykor tisztavízű tavakban a savas eső és ülepedés. Lengyelországban a fenyő, Csehszlovákiában a fenyő és a tölgy erdők pusztulása okoz számottevő gondot. Kanadából, az USA-ból és más kontinensekről is érkeznek az előbb felsoroltakhoz hasonló tudósítások. Mindezekhez járulnak még azok a hó- és viharkárok, valamint biotikus kártevők, amelyek évszázadok óta ismétlődnek ugyan, mértéküket tekintve viszont éppen a fáknak a légszennyeződésből fakadó fiziológiai legyengülése miatt érhettek el rekord mennyiséget.

Az erdőpusztulás leglényegesebb hipotéziseit a következők szerint lehet összefoglalni:

A savas eső hipotézis szerint az SO_2 és az NO_x reakcióba lép a napsugárzás segítségével az oxigénnel, vízzel, ill. a belőlük keletkezett szabad gyökökkel,

így savas esők jönnek létre (vagy savas aeroszol részecskék), amelyek durván károsítják az élővilágot. A Mg, K és Mn kioldódik a talaj felső gyökérzónájából és a károsított levelekből. Ugyanakkor az Al, Mn és más fémek toxikus koncentrációt érnek el. Ez a gyökér- és részben a mikorrhiza- rendszert károsítja. A növény tápanyagfelvétele csökken. A káros hatások száraz időjárás esetén a savak és az alumínium koncentráció-növekedése miatt fokozódnak.



2. ábra: A fák pusztulásához vezető környezeti hatások (AFZ nyomán)

Az ózon hipotézis a fák levelén észlelt és az ózon által okozott káron alapszik. Az O_3 akkor képződik, amikor NO_x-ok és szénhidrátok bonyolult kémiai reakciókba lépnek erős napfény mellett, amikor az ultraviola sugárzás értéke meglehetősen magas. A keletkező oxidánsok közvetlenül károsítják a faleveleket, elvékonyítják a levelek sejtfalát, amelynek következtében a károsult sejt tápanyagot veszít. A levelek — többek között Mg hiány miatt — sárgulnak, a gombák és a rovarok támadásának kevésbé tudnak ellenállni. Ezeken túlmenően az SO_2 és az NO_x szinergikus hatásai is közrejátszanak a levelek károsításában. Az SO_2 és az NO_x rendszerint nem okoz olyan jelentős mértékű károkat, amivel az európai erdőpusztulások magyarázhatók lennének.

A stressz hipotézis szerint a fapusztulásért egyedül a különböző szennyezők egyike sem felelős, hanem az SO_2 és az NO_x-el, az oxidánsokkal, szénhidrogénekkel és a nehézfémekkel együtt okozza a mérgezési reakciókat. Ezek a szennyezők külön-külön nincsenek olyan koncentrációban, hogy a jelenlegi közép-európai és skandináv erdőkárok okozói lehetnének. Az egyes fafajok különböző mértékben képesek elviselni a stresszhatásokat. A felsorolt tényezők kombinációi teremthetnek olyan helyzetet, hogy a fák teherviselőképességének a küszöbét túllépik és a fa megbetegszik, vagy elpusztul.

Az ammónium hipotézis arra épül, hogy a nitrogén ammónium és nitrát formájában a növények, a fák egyik legfontosabb tápanyaga. A legtöbb növény az evolució során alkalmazkodott ahhoz, hogy nitrogénszegény környezetben éljen, ezért a N-t a legváltozatosabb formában kutatja és veszi fel. Az elmúlt évtizedekben a felvehető N mennyisége a levegőben és a csapadékban egyaránt megnőtt. A mérsékeltövi észak-európai erdőkben váltak a fák „túltelítettekké". Növekedésük gyorsult, nagy számú és nagyméretű sejteket hoztak létre. Fogékonyabbá váltak a széllel, a szárazsággal és a paraziták-kal szemben. A nitrogén stressznek e fajtája esetén a belső hormonegyensúlyban is könnyen támad zavar.

Az ammónium felvétele a gyökérrendszeren és a leveleken keresztül egyaránt fokozódik. A légkörben levő erős savak a viaszréteget oldják és zavarják a stóma funkciót. A felvett N átalakul ammóniummá, aminokká és amidokká. Az oldható szénhidrogének a szervetlen N-vegyületekkel és H-ionokkal együtt felhalmozódnak a levelekben. Növekszik a szennyező anyagok mennyisége, amelyek nem tudnak eltávozni a száraz időszakban, amikor a transpiráció lecsökken. A levelekben és a tűkben toxikus koncentrációk alakulnak ki, ami a károk egyik okozója lehet. Ahhoz, hogy a fa megszabaduljon ezektől a mérgektől, ledobja leveleit. Az oldható szénhidrogének mennyiségi növekedésének következtében a gyökér-növekedés csökken és a tűlevelűek fagyérzékenysége nagymértékben megnő. Néhány jelenség az alföldi fenyvesekben arra utal, hogy az idei kemény tél talán így is nyomott hagyott erdeinkben.

A káros hatások főleg akkor jelentkeznek, amikor a N a talajban és a levelekben túlsúlyba kerül a vízhez és más ásványi tápanyagokhoz viszonyítva, mint a Mg, K és a P. A tápanyagban gazdagabb talajokon álló erdők nagyobb N feltöltődést viselnek el, mint azok, amelyek alacsony tápanyagtartalmú, száraz talajokon állnak, vagy N vegyületekkel trágyázták őket.

A felsorolt hipotéziseket széles körű kutatás igazolja vagy veti el. Európában a FAO által koordináltan folyik a vizsgálatok sorozata. A KGST tagállamok erdeiben is felgyorsult a fellépő erdőkárok okainak elemzése. Amint látjuk, soha nem tapasztalt nemzetközi együttműködés van kialakulóban az erdészek között az erdők védelme érdekében.

Ökológiai alapon vizsgálva valamennyi kedvezőtlen környezeti hatást, megállapítható, hogy a kárláncolódás folyamatát elindító abiotikus tényezők a *biotikus* károsítók tömeges fellépését is elősegítették. Gombák, rovarok serege támadhatta szomorú eredménnyel a korábban virulens fákat. Ezek elszáradva gazdaságilag csökkent értékűvé váltak, vagy a szaprofita gombák részére szolgáltak tápanyagként. Ilyen például a Mazuri tavak környékén fellépett apácalepke által okozott kár, amely az erdei fenyvesekben végzett hatalmas pusztításokat.

Ezek után részletesebben szeretném kifejteni azt a helyzetet, amely a magyarországi erdők egészségi állapotát jellemzi. A probléma átfogó értékelése miatt először röviden ismertetem erdőgazdalkodásunk eredményeit és céljait, majd erre építve az erdőkben felmért károkat, a tett és tervezett intézkedéseket.

3. *Erdeink területe, összetétele és az erdőgazdálkodás*

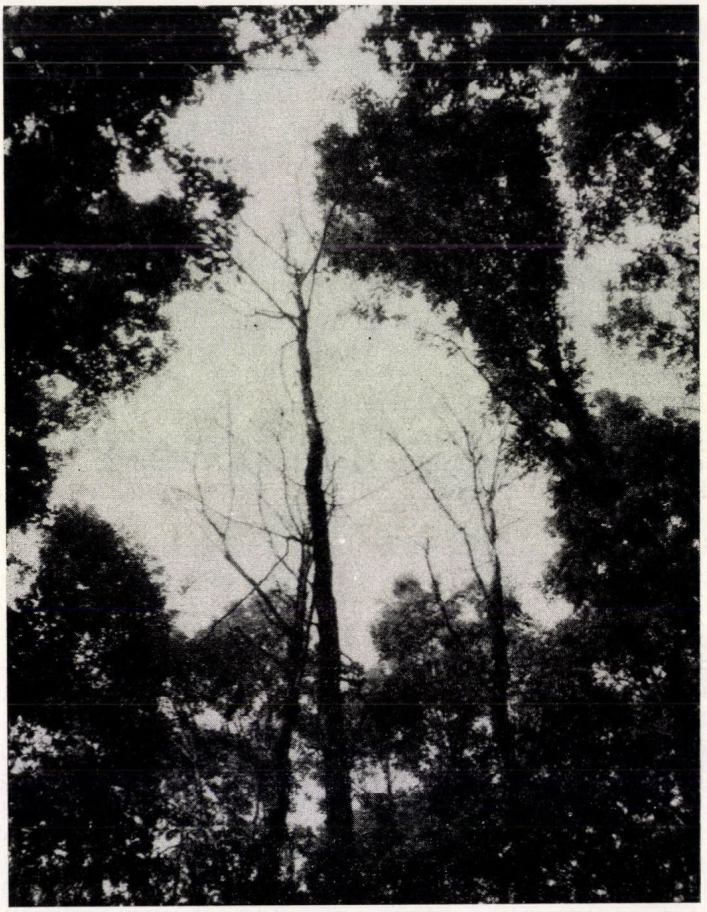
Az első világháború után a korábbi 7,4 millió ha-ról 1,2 millió ha-ra csökkent erdőterületünk, amelyben az állami erdők aránya alig haladta meg az 5%-ot. A második világháborút követő felszabadulás után az erdők 90%-a került állami tulajdonba és megkezdődött az elmaradt erdőfelújítások és a rontott erdők felszámolása, majd az új erdőtelepítések programja. Ennek köszönhetően az erdősítések területe jóval meghaladta a negyvenéves időszak folyamán az 1 millió ha-t. Az erdőterület is több, mint fél millió ha-ral növekedett. Ennek köszönhetően az erdőgazdálkodással hasznosított terület jelenleg 1,76 millió ha, amelyből 1,5 millió ha-t borít faállomány.

A termőhelyi adottságok nálunk a lombos fafajoknak kedveznek. Természetes erdeinket a tölgyek, a cser, a gyertyán és a bükk alkotják. Erdeink fafaj-összetételében a tölgyek 23%-kal, a cser 11,9%-kal, a bükk 6,7%-kal, az akác 18,1%-kal, a nyárak 10,5%-kal a fenyők 15,1%-kal szerepelnek. Az őshonos fafajok aránya némileg meghaladja az 50%-ot. Kedvezőnek kell elfogadni ezt azért, mert a több, mint félmillió hektáros erdőterület-növekedés az ország leggyengébb termőhelyű vidékein (Alföld, veszprémi kopárok stb.) jött létre. Érdemes itt még arra is utalni, hogy Európa erdeinek 53%-a, a szovjet erdők 76%-a, Csehszlovákia eredeinek 70%-a és a romániai erdők 25%-a fenyő. Mindezek ellenére a faellátás gondját a fenyő hiánya jelenti. Viszont a savas ülepedés ismereteink szerint elsősorban a fenyőket károsítja Európában. Ki kell emelnünk erdeink állapotáról azt, hogy a faállományoknak mintegy a fele 30 évesnél fiatalabb. Ez természetes, hiszen több, mint 1 millió ha új erdősítést végeztünk közel négy évtized alatt. Nyilván az idősebb korú erdők aránya jelentősen kisebb ennél. A fák pusztulása a kortól függetlenül jelentkezik.

Az erdőterület és az élőfakészlet, valamint a fanövedék jelentős gyarapodása lehetővé tette a fakitermelés számottevő emelését. A felszabadulást követő évi 3 millió m^3-es fakitermeléssel szemben ma már 8 millió m^3 fát termelünk ki évente, amely az ezredfordulón várhatóan 9 millió m^3 körül lesz. Ezt a kitermelést 10 évre szóló erdőtervek országos adatai és erdőrészletekig lebontott felmérése alapján határoztuk meg, előírva az újratermelés fafajait és módszereit. A bekövetkezett fapusztulások ezt a tervszerű munkát helyenként akadályozzák és megváltoztatták.

A fakitermelés, a faellátás és a faexport az erdészeti gazdasági eredmények közvetlenül mérhető tényezői. Köztudott, hogy ezeken kívül számos

más közjóléti szolgáltatást is nyújtanak az erdők. Környezetünk védelmét, a turisztikát és az üdülést közvetlenül a hazai erdőterület 20%-a szolgálja. Természetesen az összes erdőnek van ilyen jellegű funkciója annak ellenére, hogy elsősorban fatermelést szolgál. Mintegy 25 millió ember látogatja évente erdeinket, parkerdők, természetvédelmi területek és egyéb erdőállományok



3. ábra: Pusztuló tölgyek a Pilisben (*Solymos* felv.)

sora igazolja azt, hogy a nem anyagi jellegű szolgáltatások szerepe az erdészet területén rendkívül gyors ütemben növekszik. Megnőtt a társadalmi igény ezek iránt, valamint az a figyelem, hogy a társadalom erdeink állapotát, egészségét kíséri. A többcélú feladat ellátására, az emberi környezet hatékony védelmére csak az egészséges erdők képesek. Hazánk erdei annyi oxigént bocsátanak a légkörbe, mint amennyi 30 millió ember számára elégséges.

4. *Magyarország erdeinek egészsége és a környezeti ártalmak*

Az erdőtől elvárjuk környezetünk védelmét és javítását. Közben a környezeti ártalmak a mi erdeinket sem kímélik. Az elmúlt évtizedekben többször

lépett fel kisebb nagyobb fapusztulás és megbetegedés nálunk is, miként a világ többi erdejében. Ez nem volt kirívó és ismeretlen jelenség.

A tölgypusztulás és a fenyőkárok. Az utóbbi években azonban különlegesnek mondható helyzet alakult ki *a hegy- és dombvidéki kocsánytalan tölgyesekben*, amelyeket korábban a legstabilabb erdőállományoknak tartottunk.



4. ábra: A tölgypusztulás helyenként az erdészeti csemetekertekben is károsítja a facsemetéket (*Solymos* felv.)

Ennek az őshonos fafajnak a kiemelkedően szép példányai váratlanul száradni kezdtek, majd később csoportosan pusztultak el, amint a *3. ábrán* látható. A jelenség észlelésekor megkezdődött az elhalt fák kitermelése és a károsodás okának kutatása. Az egyetemek és a kutató intézetek által végzett vizsgálatok végleges eredményt nem hoztak ugyan, de a probléma többirányú megközelítése előzetesen kétféle megállapításra nyújtott lehetőséget. Az ökológiai tényezők széles körű vizsgálatának eddigi eredménye szerint a savas ülepedés, a talaj kémhatásának és a nehézfémek talajoldatbéli koncentrációjának kedvezőtlen alakulása, a szárazság, a gombák és rovarok fellépése, valamint a gyökerek és a mykorrhiza gomba kapcsolatok megszűnése együttesen okozták első és másodlagos károsítóként a fapusztulást. A másik megközelítésben kutatóink vizsgálták a szomszédos országokban és a korábbi tölgypusztulások folyamán tapasztaltakat. A több tényező hatását elismerve elsősorban a „ceratocistis" gombák fellépését tekintik döntő hatásúnak.

A károsítás e tölgyesekben még nem állt meg, bár némileg mérséklődött. Helyenként a csemetekertekben is megjelent. A *4. ábrán* látható tölgycsemeték egy része beteg.

Erdőterületünknek mintegy a 10%-án állapítottunk meg különböző

okból származó károsodást. 7,5%-ot ebből a kocsánytalan tölgyesekben bekövetkezett pusztulás tesz ki. Ennek a betegségnek van egy nehezen magyarázható tényezője. Mégpedig az, hogy az őshonos, természetes erdőtípusokban és nem a kultúrerdőkben lépett fel. Némileg hasonló a helyzet a termőhelyükön álló osztrák és NSZK-beli jegenyefenyvesekkel és lucosokkal is. Nálunk a lucfenyő állományokban ilyen jellegű károsodást nem tapasztaltunk.

5. *Terveink az erdők egészségének megóvására, a károk csökkentésére*

Az erdészek eddig sem nézték tétlenül a környezeti ártalmak okozta károkat. A következő időszakban is arra törekszenek, hogy mielőbb megszűnjön vagy mérséklődjön ez a nem kívánatos károsodás. Az eddigi és a tervezett intézkedések elsősorban arra vonatkozhatnak, ami az erdőgazdálkodástól függ. Az immisszióból fakadó környezeti ártalmak ellen nyilván nem elegendők az erdészeti törekvések. Ezen a téren országos és nemzetközi összefogásra van szükség.

Az erdőgazdálkodáson belül erdeink egészségi állapotának kedvező szinten tartása érdekében a következőket tervezzük:

Növeljük a természetszerű erdőgazdálkodás mindazon elemeit, amelyek a stabil erdei ökoszisztémák létrehozását és fenntartását elősegítik. Az ökológiai alapokat figyelembe véve az erdészet többcélú feladatainak megoldása során a biológiai, a termőhelyi tényezők elsőrendű szerepét tovább erősítjük.

Létrehoztuk az erdők egészségi állapotáért külön felelősséggel tartozó erdővédelmi szervezetet az erdőgazdálkodók, az erdőtervezők és az erdőfelügyelők körében. Az állami erdőfelügyelőségek az erdővédelem területi felelősei.

4×4 km-es hálózatban az egész ország erdeire kiterjesztjük a rendszeres megfigyelést. Ezenkívül hét olyan kiépített állomást hozunk létre, ahol átfogó vizsgálatokat végzünk az OMSZ Központi Légkörfizikai Intézetével együttműködve.

A kármegelőzés elsőrendű feladatán túl a bekövetkezett károk leküzdésére a szükséges eszközöket rendelkezésre bocsátjuk, együttműködve a MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Állomásaival.

Kiemelten fejlesztjük az erdővédelmi kutatásokat úgy, hogy bővítjük az interdiszciplináris kapcsolatokat és ezen túlmenően az erdészeti kutatás valamennyi témakörében megkülönböztetett figyelmet szentelünk az erdők egészségi állapotát illető vonatkozásoknak. Javítjuk az erdő-higiéniai követelmények teljesítését.

Széles körű társadalmi összefogást szorgalmazunk az erdők érdekében, amelynek egyik eseménye, hogy 1985 nálunk is az erdők éve volt.

Az ismertetett káros környezeti hatások, a savas ülepedés, ma már egész társadalmunk és ezen túlmenően egyre inkább az egész emberiség gondját jelentik. A bioszféra kedvező állapotát az emberi jólét és az ember fennmaradása szempontjából egyaránt fenn kell tartani, vagy helyre kell állítani. Ezért lép ki gondjaival az erdészet is az erdők kereteiből, hogy a társadalom figyelmét erdeink egészsége felé fordítsa. Egészségünk védelméhez hozzátartoznak az egészséges erdők is. Természeti környezetünk csak akkor tartható a megkívánt szinten, ha a környezeti ártalmak erdőt-mezőt károsító forrásait megszűntetjük.

Egy kínai mondás szerint az erdő lassan nő és csendben pusztul el. Nap-

jainkban különös aktualitása van ennek, mert a savas ülepedés károsítja erdeinket, amelyek csendes elhalása után már késői a megdöbbenés. Idejében kell a bajokat orvosolni, mert a pusztuló növény- és állatvilág utolsó láncszemeként az ember következik. Ezért meg kell teremteni az előfeltételeit annak, hogy a lassan növő erdők ne csendben pusztuljanak, hanem egészséges erdők szolgálják az emberiséget, tegyék szebbé és boldogabbá a Földet! Az erdészek ennek a megvalósítására törekszenek együttműködve mindazokkal, akik e célt szolgálni kívánják.

PÁLYÁZATI FELHÍVÁS!

Az osztrák Meteorológiai és Geodinamikai Intézet igazgatóhelyettese: *Dr. F. Neuwirth*, 1985 szeptemberében Budapesten magyar kollégákkal tárgyalt a magyar – osztrák kutatási együttműködésről. Ez alkalommal felajánlotta, hogy a Prof. *Gerhart Schinze*-ről elnevezett díjra magyar meteorológus kutatók is pályázhatnak, s egyben kérte, hogy lapunkban a pályázati feltételeket tegyük közzé.

SCHINZE-DÍJ, 1988: 1988-ban másodszor ítélik oda a *Gerhart Schinze* professzor által 1984-ben (Lions Club, Lungau, Ausztria) alapított díjat. G. Schinze röviddel halála előtt közölt kívánsága szerint a pályamunkák német nyelven nyújtandók be, és a szinoptikus időjárási térképek analízise során alkalmazott légtömegméretű munkamódszerek modern meteorológiai kutatásával foglalkozzanak. Tehát a pályamunkáknak – bár tematikájuk nincs szigorúan behatárolva –, elméleti vagy gyakorlati vonatkozásban kell állniuk a légtömegszinoptikával. Lényeges, hogy a szinoptikus analízisre kidolgozott munkamódszer amellett, hogy természetesen túlmegy a jelenleg használatos numerikus módszereken, az időjárás előrejelzéséhez feltétlenül szükséges, a meteorológus munkájának nélkülözhetetlen eszköze legyen és ezen a területen jelentős előrehaladást eredményezzen.

A Schinze-díj 50 000 osztrák schilling elnyerését jelenti, amely összeget az odaítélő bizottság saját megítélése szerint egy összegben, vagy két munka között egyenlő arányban megosztva adja ki. A fenti összeg egy (kisebb) része publikációs célra is felhasználható.

Az odaítélő bizottság tagjai: Elnök: dr. Heinz *Reuter*, nyug. egy. tanár, a ZAMG nyug. igazgatója – Tagok: dr. Konrad *Cehak* egy. tanár, dr. Helmut *Pichler* egy. tanár, dr. Peter *Steinhauser* egy. tanár, a ZAMG igazgatója.

A pályaműveket legkésőbb 1987. december 31-ig kell az alábbi címre eljuttatni:

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik,
Hohe Warte 38, A–1190 WIEN

Már megjelent munkák különlenyomatai is benyújthatók.

Hibaigazítás: A folyóiratunk 1986/1. számának 14. oldalán kezdődő cikk egyik szerzőjének neve hibásan jelent meg. A név helyesen: HAMED, A. F.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

Az IDŐJÁRÁS célja az elméleti és alkalmazott meteorológia tárgykörébe tartozó tanulmányok publikálása. A tanulmányok új kutatási eredményeket tartalmazó beszámolók, illetve adott szakterület időszerű kérdéseit összefoglaló kritikai szemlecikkek lehetnek. A közlés nyelve: magyar vagy angol. A kettes sortávolsággal gépelt kéziratok két példányban küldendők be a következő címre: **Időjárás Szerkesztősége 1525 Budapest, Pf. 38.**

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzővel nem közöljük. A kéziratnak a következő formai igényeket kell kielégítenie:

Címrész: Tartalmazza a tanulmány címét, a szerző(k) nevét, munkahelyét és ez utóbbi pontos címét.

Összefoglalás: Külön oldalakon, magyar és angol nyelven, tartalmazza a kutatás célját, módszerét és a kapott eredményeket.

Szövegrész: Alcímekkel értelemszerűen fejezetekre tagolandó.

Irodalmi hivatkozások: Szövegben a hivatkozás tartalmazza a szerző(k) nevét aláhúzva és a publikálás évét. Pl. egyetlen szerző esetén: *Róna* (1909), vagy ha a szerző neve a szövegbe nem illeszthető be: *(Róna,* 1909); két szerző esetén: *Gamow* és *Cleveland* (1973); több szerző esetén: *Bacsó* et al., (1953). Ha adott szerzők ugyanazon évben publikált több cikkére hivatkozunk, akkor az évszámhoz *a, b* stb. betűket írunk. Az irodalom felsorolása a **cikk végén a** szerző(k) neve szerinti betűrendben történik. Folyóirat esetén: szerző(k) neve, évszám, a cikk címe, a folyóirat neve, kötetszám, kezdő és befejező oldalszám. Pl.: *Dési, F.*, 1955: A meteorológiai kutatás időszerű kérdései. *Időjárás 57*, 65–70. Könyv esetén: Szerző(k) neve, évszám, könyvcím, kiadó, megjelenés helye. Pl. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Ábrák: A kézirat első példányához az ábrákat pausz- vagy mm-papíron, a másodikhoz az eredeti ábrák másolatát kell csatolni. Az ábrák aláírásait külön lapon kell mellékelni. Fényképek fekete-fehér színben, fényes, kontrasztos minőségben nyújthatók be.

Táblázatok: A táblázatokat római számozással, szövegükkel együtt, külön lapon kell mellékelni.

Matematikai formulák és jelölések: A nem latin betűket és kézzel írott jeleket a margón ceruzával írt magyarázattal kell ellátni.

A szerzők megjelent tanulmányukért tiszteletdíjat és térítésmentesen 30 db **különlenyomatot** kapnak. Több különlenyomat a szerző költségére a kézirat elküldésével egyidejűleg **rendelhető.**

NOTES TO THE AUTHORS

The purpose of IDŐJÁRÁS is to publish papers in the field of theoretical and applied meteorology. These may be reports on new results of scientific investigations or critical review articles summarizing current problems in certain subject. Authors may be of any nationality but papers are published only in Hungarian or English. Two copiees of the manuscripts, typed with double space, should be sent to the **Editorial Office of Időjárás. Address: Budapest, P. O. B. 38, H-1525, Hungary.**

Papers will be subjected to constructive criticism by unidentified referees.

The manuscript should meet the following formal requirements:

Title: Should contain the title of the paper, the name(s) of the author(s) with indication of the name and address of employment.

Abstract: Should contain the aim, method and conclusions of the scientific investigation on a separate page.

References: The text citation should contain the name(s) of the author(s) underlined and the year of publication. In case of one author: *Róna* (1909), or of the name of the author cannot be fitted into the text: *(Róna,* 1909); in case of two authors: *Gamow* and *Cleveland* (1973); there are more than two authors: *Bacsó:* et al. (1953). When referring to several papers published in the same year by the same author, the year of publication should be followed by letters, *a, b* etc. At the end of the paper the list of references should be arranged alphabetically. For an article: the name(s) of author(s), year, title of article, name of journal, volume number, pages. E. g. *Dési, F.* 1955: Current problems of meteorological research. *Időjárás 57*, 65–70. For a book: the name(s) of author(s), year, title of book, publisher, place of publication. E. g. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Figurens: Should be prepared entirely in black India ink upon transparent paper and be attached to the first copy of the manuscript; a copy of the original figures should be attached to the second manuscript copy. The legends of figures should be given on a separate sheet. Photographs of good quality may be provided in black and white.

Tables: Should be marked by Roman numbers and provided on separate sheets together with relevant captions.

Mathematical formulas and symbols: Non-Latin letters and hand-written marks should be explained by making marginal notes in pencil.

Authors are receiving 30 reprints free of charge. Additional reprints may be ordered at the authors expense when submitting the manuscript.

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

A szerkesztésért felel: dr. Szepesiné Lőrincz Anna

Szerkesztőség: 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.
Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Tel.: 353-500

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, Budapest VII., Lenin körút 9—11. Telefon: 221-285. Levélcím: 1906 Budapest, Pf. 223.
Felelős kiadó: Siklósi Norbert vezérigazgató

86.0085 Athenaeum Nyomda, Budapest — Íves magasnyomás
Felelős vezető: Szlávik András vezérigazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329

Mernich Ivon

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

90. ÉVF. ★ 4. SZÁM ★ 1986. JÚLIUS—AUGUSZTUS

TARTALOM

Pretel, J.—Zelený, J. —Smolen, F.: Sugárzás és turbulenciamérések Kopistyben (angol nyelven) 193

Koflanovits-Adámy Erika—Szentimrey Tamás: A csapadékmennyiség változása századunk folyamán a Kárpátok térségében (angol nyelven) 206

Reuter, H.: A szinoptika jelentősége a modern meteorológiában 217

Hunkár Márta: Napsugárzásmérleg és fényhasznosulás kukoricaállományban 221

Gyenes Lajos: Jetek felismerése műholdképeken 228

Matyasovszky István: Meteorológiai idősorok modellezése ARMA-folyamatok segítségével 240

Irodalom 251

Krónika 254

CONTENTS

Pretel, J.—Zelený, J. —Smolen, F.: The Kopisty radiationturbulent experiment (in English) 193

Koflanovits-Adámy, E.—Szentimrey, T.: The variations of the precipitation amounts in the Carpathian Basin during the prseent century (in English) 206

Reuter, H.: The importance of synoptic in the modern meteorology 217

Hunkár, M.: Solar radiation balance and efficience in a maize stand 221

Gyenes, L.: Recognition of jets on satellite images 228

Matyasovszky, I.: Modeling of meteorological time series by ARMA processes 240

Literature 251

Chronicle 254

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAI SERVICE

VOL. 90. ★ NO. 4. ★ JULY—AUGUST 1986. ★ BUDAPEST

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata
Journal of the Hungarian Meteorological Service

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG – EDITORIAL BOARD

AMBRÓZY P. (Budapest)
ANTAL E. (Budapest)
BENGTSSON, L. (Reading)
BÖHME, W. (Potsdam)
BUDYKO, M. I. (Leningrad)
FISHER, B. (Leatherhead)
GEORGII, H.–W. (Frankfurt a. M.)
GÖTZ G. (Budapest)
GULYÁS O. (Budapest)
HAMAN, K. (Warsaw)
HUSAR, R. (St. Louis, Missouri)
KAPOVITS A. (Budapest)
KONDRATYEV, K.YA. (Leningrad)
MAJOR GY. (Budapest)
MESINGER, F. (Beograd)
MILOSHEV, G. (Sofia)
PRÁGER T. (Budapest)
PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
RÁKÓCZI F. (Budapest)
RENOUX, A. (Paris-Créteil)
ŠAMAJ, F. (Bratislava)
SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
STAROSOLSZKY Ö. (Budapest)
SZEPESI D. (Budapest)
TAYLOR, F. W. (Oxford)
TÄNCZER T. (Budapest)
VARGA-HASZONITS Z. (Budapest)
VITEK, V. (Praha)
WHELPDALE, D. M. (Downsview, Ont.)
WIRTH E. (Pécs)

Elnök – Chairman of the Editorial Board:
MÉSZÁROS ERNŐ (Budapest)
Szerkesztő – Editor:
SZEPESINÉ LŐRINCZ ANNA (Budapest)

Szerkesztőség: 1525 Budapest, Postafiók 38.
Előfizetés: 1 évre 300 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán Budapest, 1024 Kitaibel Pál utca 1. Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Megjelenik kéthavonként.
Egyes szám ára 50 Ft

Editorial Office: H-1525 Budapest P. O. B. 38. This journal, published bimonthly can be purchased from the distributor: KULTURA, H-1389 Budapest P. O. B. 149
The actual subscription rate is determined by the distributor

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 4. szám, 1986. július–augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 90. No 4. July–August 1986 Budapest

The Kopisty radiation-turbulent experiment

PRETEL, J. *and* ZELENÝ, J., *Institute of Physics of the Atmosphere of the Czech. Acad. of Sci., 141 31 Prague, Boční II/1401, Czechoslovakia,* SMOLEN, F., *Geophysical Institute of the Slovak Acad. of Sci., 842 28 Bratislava, Dúbravská cesta, Czechoslovakia*

Sugárzás és turbulenciamérések Kopistyben. A szerzők 1984. július 2 és 13 között a Kopisty-ben levő Meteorológiai Obszervatóriumban mérték a sugárzási és turbulens áramot. Egyidejűleg Csehország északnyugati területére meghatározták az energiamérleg értékét. Ennek alapján megvizsgálták a bonyolult terepviszonyoknak és az emberi tevékenységnek a légkör talajközeli energiakicserélődésére gyakorolt hatását.

⁂

The Kopisty radiation-turbulent experiment. Radiant and turbulent fluxes were measured at the Kopisty Atmospheric Observatory from July 2nd to July 13th, 1984. Synchronous measurements of the energy balances of a rural area in the north-west part of Bohemia are used to investigate the impact of complex terrain and anthropogenic influence on energy exchange in the surface layer of the atmosphere.

⁂

Within the frame of cooperation between the Institute of the Physics of the Atmosphere of the Czechoslovak Academy of Sciences and the Geophysical Institute of the Slovak Academy of Science, the joint „Radiation Turbulence Experiment" (RTE) ran from July 2 through July 13, 1984 at the Kopisty Atmospheric Observatory (KAO), part of the Institute of the Physics of the Atmosphere. This observatory is located in the center of a most polluted area in the north-west part of Bohemia (13°38'E, 50°33' N) in a complicated, non-homogeneous and undulated terrain. The topographical and geomorfological details near the KAO are described in *Pretel* and *Zelený* (1985) and *Zelený* (1985) inclusive of a description of the 80 m meteorological tower in the KAO.

The RTE is aimed at extending the knowledge on radiant and thermal energy transfer and its connections with turbulence processes in the surface layer of the atmosphere in a considerably polluted environment over a complex terrain.

Measurements of three components of the wind, of air temperature and its fluctuations and radiant fluxes at various levels on the tower were underlying the examination of these processes.

1. *Radiant flux measurements*

Radiant flux measurement was made at two levels of the surface layer of the atmosphere. The lower level was in agreement with generally accepted standards for actinometric measurements. Devices were installed at a height of 1.5 m above the active surface. The second level, 80 m above the active

surface, was given by the height of the meteorological tower. At both the levels chosen, radiant flux measurements were made with the same devices and by the same method. Out of short-wave radiant fluxes, the downward ($K\downarrow$) and the upward solar radiations ($K\uparrow$) were measured. In addition to net radiation (Q^*), the corresponding long-wave fluxes ($L\downarrow$, $L\uparrow$) and the net long-wave radiation were examined (L^*).

To measure the downward and the upward radiation, use was made of

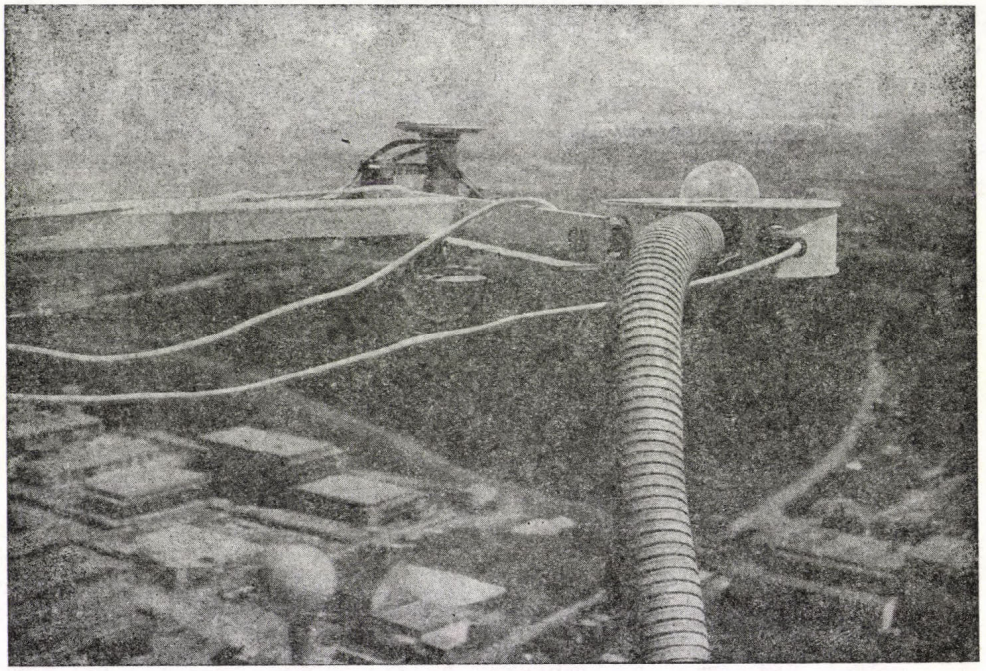


Fig. 1: General view of radiation devices placement

the universal pyranometer M—80. To measure net radiation and long-wave radiant fluxes use was made of Schulze's pyrradiometer *(Fig. 1)*.

Measurements of all radiant fluxes were made in the way so as to find with the aid of the underlying results some laws between the turbulence and radiant fluxes in the surface layer of the atmosphere in the articulated and considerably polluted environment and, at the same time, to make it feasible by the radiant flux measurements at two different atmospheric levels to keep track of the effect of the polluted environment upon the irradiation both in the short-wave and long-wave spectrum domains.

2. *Turbulent measurements*

The main instrumentation for turbulent measurements during the RTE consisted of wind velocity and air temperature fluctuation sensors at 10 m and 80 m height (Gill 3-component anemometer type W—173—A3 *(Fig. 2)* and height sensitive resistance thermometer of platinum wire of 20 μm diameter and 100 ohm resistance) combined with sensors for mean wind

velocity and air temperature profiles at 2 m (only temperature), 10, 20, 40, 60 and 80 m height (cup anemometers type W – 103 B and 100 ohm platinum resistance thermometer). The data were monitored continuously (Nyquist frequency $f_N = 0.125$ Hz) by Data Acquisition System METRA MT 143.1 and recorded on a punch tape. The caracteristics of turbulence from 33 runs were calculated as 30 minutes averages using ROBOTRON KRS 4200 computer.

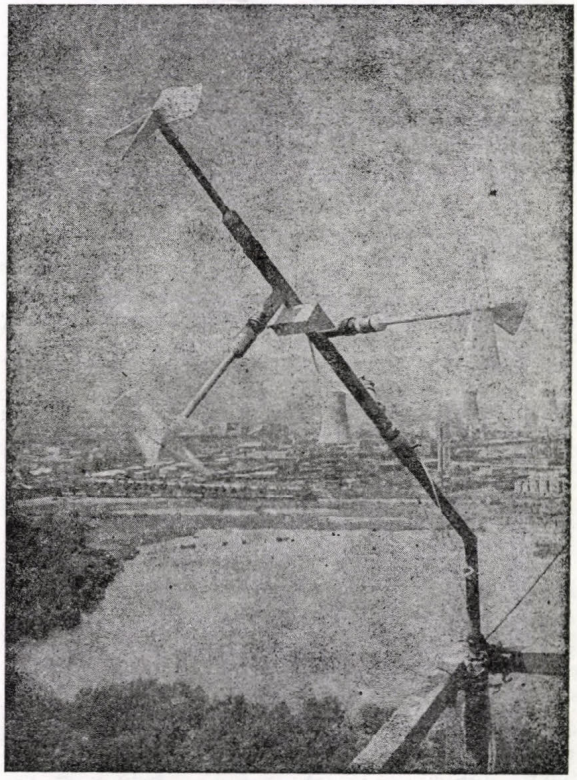


Fig. 2: General view of turbulent devices place ment

3. *Radiation measurements results*

The measurement of all radiant fluxes was carried out under different atmospheric conditions. On the days between July 4 – 7, the degree of the sky cover by clouds amounted practically to 8/8 of the type Cu, Fc, St, Sc, Fs which made itself manifest mainly in the spatial and time variability of the individual radiant fluxes.

At the time of our measurements, the sky was completely cloudless on July 8 – 9, allowing us to keep excellent track of the vertical change of radiant fluxes in the polluted atmosphere made itself manifest in both short-wave and long-wave radiant fluxes.

3.1. *Short-wave radiant fluxes. Figure 3* shows the mean hourly totals of the downward ($K\downarrow$) upward ($K\uparrow$) solar radiation fluxes on the cloudless days of July 8 – 9, 1984 at the 1.5 m and 80 m levels. It can be seen from the course of the individual curves that $K\downarrow$ at the 80 m level is higher throughout

the day than $K\downarrow$ at the 1.5 m level, the greatest difference of $96 \cdot 10^{-3}$ MJ m^{-2} falling to the share of the time interval of 14 – 15 h when during the RTE the vertical gradient ($\gamma_{K\downarrow}$) of $K\downarrow$ amounted to $1.223 \cdot 10^{-1}$ MJ m^{-2} /100 m. On the basis of $\gamma_{K\downarrow}$ inference can be made as to the vertical stability of the surface layer of the atmosphere. A higher vertical stability of the surface

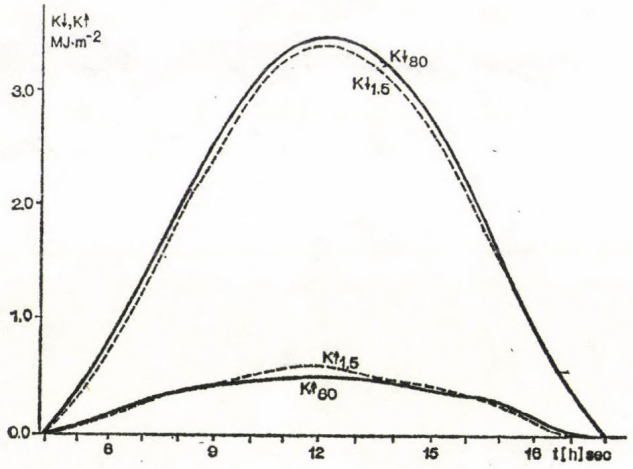


Fig. 3: Daily course of the downward ($K\downarrow$) and the upward ($K\uparrow$) solar radiation flux for July 8 – 9, 1984 at the 1.5 m and 80 m levels

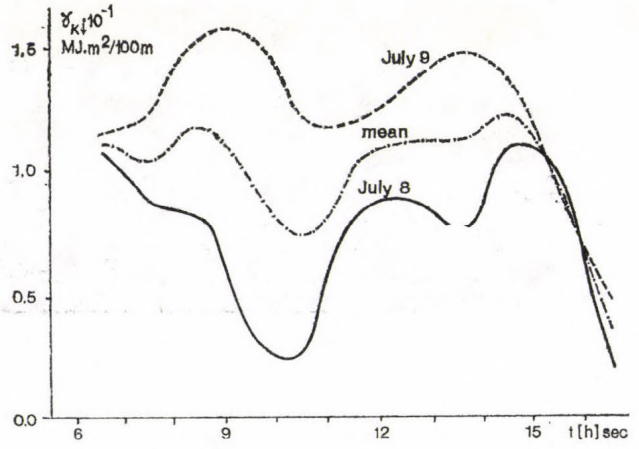


Fig. 4: Daily course of the vertical gradient $\gamma_{K\downarrow}$ under cloudless sky during RTE on the July 8, July 9, 1984, and the mean

layer of the atmosphere (if small sun's heights above the horizon are not considered) corresponds to higher $\gamma_{K\downarrow}$ values.

Comparing $\gamma_{K\downarrow}$ on July 8 and 9, we can see that from the point of view of the vertical stability the cloudless days are of two different types. While on July 8, the vertical stability is relatively variable, on July 9 the surface layer acquires a more stationary status. On the basis of the daily course of $\gamma_{K\downarrow}$ on both days, something like a double wave of impairing the stability of the atmosphere can be observed (see *Fig. 4*). Comparing the daily mean of $\gamma_{K\downarrow}$ obtained during the RTE with the July daily mean in Bratislava, the $\gamma_{K\downarrow}$ value at Kopisty is found to be 1.48 times higher in the daily mean under cloudless sky than the monthly average in Bratislava.

Results of July 6–7, when cloudiness of the Cu, Fc, St, Sc, Ac type covered 6–8/8 of the sky, show changes of $K\downarrow$ at the 80 m and 1.5 m levels under conditions of cloudiness. The considerable variation of $K\downarrow$ at both the levels can be seen from the cloudiness data. For that reason we cannot explicitly speak about a change of $K\downarrow$ with height, caused by the air pollution

TABLE I

The variation coefficient C_v for the hourly totals of downward solar radiation $K\downarrow$ on the days of July 6–9, 1984.

Sky status	Level	Day of measurement	C_v
Cloudless sky	1.5 m	July 8	0.60
		July 9	0.62
	80 m	July 8	0.60
		July 9	0.62
Sky covered with clouds	1.5 m	July 6	0.89
		July 7	0.77
	80 m	July 6	0.91
		July 7	0.75

effects. By comparing the mean daily totals of $K\downarrow$ at both levels, it is found that on cloudy days there comes 2.5 % more $K\downarrow$ at the 1.5 m than at the 80 m level, that is 0.542 MJ m^{-2} day^{-1} in absolute value. As the mean variation coefficient shows, the diffusion of the hourly $K\downarrow$ totals around the arithmetic mean is essentially higher at the occurrence of cloudiness than under a cloudless sky at both measurement levels *(Table* I*)*.

The daily course of the upward solar radiation $K\uparrow$ under a cloudless sky is shown in Fig. 3. That under cloudless sky $K\downarrow$ in a considerably polluted environment declines with height, can be seen from this figure. This decline attains the highest values at noontime, when the analogical vertical gradient $\gamma_{K\uparrow}$ amounts to $-0.777 \cdot 10^{-1}$ MJ $m^{-2}/100$ m. In the early morning hours, approximately until 8 a. m., and in the late afternoon hours, approximately from 4 p. m., tha values of $\gamma_{K\uparrow}$ acquire a positive sign, meaning that in the mentioned time intervals $K\uparrow$ at the 80 m level is higher than at the 1.5 m level. This phenomenon may be explained by the increased reflecting ability of the active surface at the sun's small altitudes. The decline of $K\uparrow$ with height between 8 a. m. and 4 p. m. is due to the weakened $K\uparrow$ in the layer between the active surface and the 80 m level. If the decline of $K\downarrow$ in the examined surface layer under a cloudless sky at noon represents, some $87 \cdot 10^{-3}$ MJ m^{-2} on average in absolute value, in the same time interval the weakening of $K\uparrow$ amounts to $99 \cdot 10^{-3}$ MJ m^{-2}. The daily totals of $K\uparrow$ during cloudless and during cloudy days show that while on a cloudless sky the $K\uparrow$ is by 31 % higher at the 1.5 m level, this difference amounts to only 28 % at the 80 m level, which means that within the examined layer 3 % fall to the share of weakening due to turbidity. A similar value of weakening caused by turbidity is also obtained if we compare the daily totals of $K\uparrow$ in the examined layers in a cloudless sky. The indicated datum for the weakening of $K\uparrow$ appears to apply in general for short-wave radiant fluxes. The same value of weakening is also obtained for the incoming short-wave radiation.

3.2. *Long-wave radiant fluxes and net radiation.* On the basis of the data obtained during the RTE would be interested in the time and

spatial variability of downward long-wave radiation $L\downarrow$, the net long-wave radiation L^* and net radiation Q^*. This time and spatial variability in a cloudless sky is shown in *Fig. 5*. Under a cloudless sky the flux $L\downarrow$ changes relatively little during the day, both at the 1.5 m and the 80 m levels. The mean daily total of $L\downarrow$ on July 8 – 9, 1984 amounts to 19.628 MJ m^{-2} at the 80 m level and to 20.140 MJ m^{-2} at the 1.5 m level. We can see that in the daily mean $L\downarrow$ rises toward the soil surface. The hourly variability of $L\downarrow$ under a cloudless sky at the examined levels shows that approximately until 2 p. m., higher values of $L\downarrow$ can be observed at the 80 m level. After 2 p. m. until the evening, $L\downarrow$ at the 1.5 m level starts rising suddenly, exceeding the values at the 80 m level and thus causes a reduction

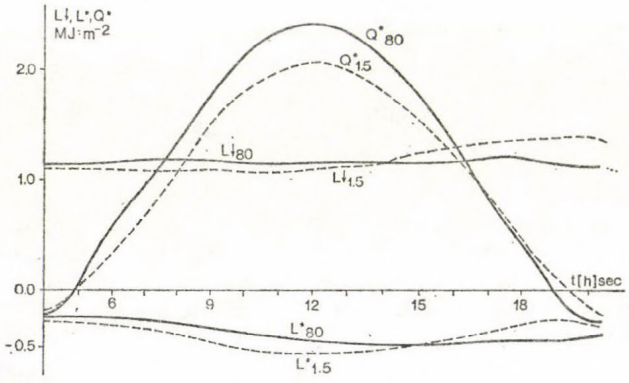


Fig. 5: Daily course of the downward long-wave radiation ($L\downarrow$), net long-wave radiation (L^*) and net radiation (Q^*) for July 8 – 9, 1984 at the 1.5 m and 80 m levels

of the actual radiation energy loss produced by $L\uparrow$ from the active surface. The lower values of $L\downarrow$ at the 1.5 m level until 2 p. m. can be explained by the appearance emergence of a layer with reduced permeability for long-wave radiant fluxes between the 80 m and 1.5 m levels owing to increased turbidity. From the sudden drop of the vertical gradient $\gamma_{K\downarrow}$ it may be inferred that the mentioned absorption layer disintegrates quickly, allowing for its increased permeability for long-wave radiant fluxes. Due to the dynamics of the physical state of the surface layer, a certain rise of $L\downarrow$ may be observed at the 1.5 m level. The irradiation of $L\downarrow$ declines (with a slight time shift) owing to the increased $L\uparrow$, which implies a rise of the net radiation at the 1.5 m level. The time variability of long-wave radiant fluxes as well as of the net radiation is evident from both Fig. 5 and the daily course of the differences of $L\downarrow$, L^* and Q^* at the 1.5 m and at the 80 m level. The numerical values of these differences are presented in *Table* II.

Such regularity in the change of long-wave radiant fluxes cannot be observed at the occurrence of cloudiness. In this case, the vertical stratification of turbidity and the amount of cloudiness, or the type of clouds raise, too.

The time variability of long-wave radiant fluxes at the 1.5 m and 80 m levels as an average for the cloudy days of July 6 and 7, 1984 is presented in *Table* III.

By the underlying comparison of the mean daily totals of long-wave radiant fluxes measured under a cloudless sky and on days with cloudiness, it may be said that:

1. While on cloudy days $L\downarrow$ is by 2 % higher at the 80 m level compared

TABLE II

Differences of long-wave radiant fluxes between the 80 m *and* 1.5 m *levels under cloudless sky*

Between 1.5 m and 80 m levels [10^3 MJ m^{-2}]	Day	July 8			July 9			Mean		
	Quantity	$L\downarrow$	L^*	Q^*	$L\downarrow$	L^*	Q^*	$L\downarrow$	L^*	Q^*
	4–5	63	−3	88	−151	−122	2	−4	−63	45
	5–6	52	−2	−175	−159	−121	−175	−54	−62	−186
	6–7	−4	−34	−238	−175	−154	−377	−90	−94	−307
	7–8	−107	−107	−215	−126	−137	−305	−116	−122	−260
	8–9	−131	−146	−292	−36	−65	−320	−84	−106	−286
	9–10	−136	−182	−343	−5	−75	−382	−70	−128	−363
	10–11	−125	−182	−363	−4	−142	−443	−65	−162	−405
	11–12	−68	−183	−367	−6	−144	−442	−36	−141	−405
	12–13	−15	−96	−349	−28	−102	−416	−21	−99	−382
	13–14	21	−68	−295	−11	−65	−386	4	−66	−340
	14–15	52	−41	−202	60	−9	−302	56	−26	−252
	15–16	117	21	−97	89	18	−189	103	20	−142
	16–17	142	45	9	78	34	−45	110	40	−18
	17–18	141	64	104	101	50	126	120	78	116
	18–19	231	180	25	158	168	12	195	174	19
	19–20	318	222	68	198	115	125	258	168	96
	20–21	280	113	20	211	−33	70	264	40	45

with cloudless days, the value of $L\downarrow$ at the 1.5 m level does not practically change.

2. On the days of July 8–9, when air pollution in the surface layer was predominantly concentrated into the layer of several dozens of metres above the active surface, the 80 m thick layer of the atmosphere increased the value of $L\downarrow$ practically by 3 %. On the days of July 6–7, under increased turbulence and considerable cloudiness, the rise of $L\downarrow$ only amounted to 1% in the mentioned layer of the atmosphere.

TABLE III

The mean daily behaviour of long-wave radiant fluxes on the 1.5 m *and* 80 m *levels above the active surface at Kopisty for the period of July* 6–7, 1984

Irradiation [10^{-3} MJ^{-2}]	Measured quantity	$L\downarrow$		L^*		Q^*	
	Level in m	1.5	80	1.5	80	1.5	80
	4–5	1198	1183	−197	−207	−164	−171
	5–6	1205	1186	−195	−204	−92	98
	6–7	1220	1204	−186	−194	108	192
	7–8	1226	1224	−172	−172	304	343
	8–9	1172	1243	−246	−168	1058	1194
	9–10	1074	1227	−366	−202	1426	1660
	10–11	1078	1201	−380	−242	1378	1600
	11–12	1138	1106	−365	−373	1704	1762
	12–13	1159	1127	−341	−382	1954	1948
	13–14	1226	1194	−284	−308	1804	1786
	14–15	1262	1164	−274	−322	1402	1312
	15–16	1246	1190	−278	−304	1151	1134
	16–17	1244	1190	−273	−306	806	808
	17–18	1230	1167	−268	−304	479	414
	18–19	1206	1154	−260	−284	142	149
	19–20	1168	1156	−260	−260	−94	−132
	20–21	1096	1110	−301	−294	−228	−268

The net long-wave radiation L^* representing the actual thermal energy loss from the active surface has the daily maximum under a cloudless sky at the 1.5 m level around noon, with the value of -0.560 MJ m^{-2}. At the 80 m level this maximum is shifted to 3 – 4 p. m. with the value of -0.492 MJ m^{-2}.

The comparison of the daily totals of L^* on July 8 and 9 demonstrates that the larger the value of $\gamma_{K\downarrow}$ the larger the differences of long-wave balance between the 1.5 m and 30 m levels. The mean daily total of L^* on July 8 and 9 at the 80 m level is by 8 % higher contrary to the 1.5 m level. Expressing the mean daily total of L^* at a cloudless sky in absolute values, we find that while at the 80 m level the actual thermal energy loss between 4 a. m. – 8 p. m. represents -6.528 MJ m^{-2}, at the 1.5 m level this value drops to -7.077 MJ m^{-2}. The difference between L^* on days with a cloudless sky and on cloudy days allows us to estimate the effect of cloudiness on the real loss of the radiant energy from the active surface owing to its radiation. By the underlying totals of L^* between 4 a. m. – 8 p. m. it may be said that cloudiness reduces the mean thermal energy loss due to the radiation of the active surface by 31 % at the 80 m level and by 34 % at the 1.5 m level. The indicated difference bears out again that the examined 80 m layer radiates downward to the surface on average 3 % of $L\downarrow$ at the 1.5 m level, which represents 0.115 MJ m^{-2} in absolute value.

Interesting result were obtained by the analyses of the net radiation Q^*. The Q^* under a cloudless sky is higher at the 80 m level during the major part of the day (see Fig. 5). After 2 p. m., owing to the increasing $L\downarrow$ at the 1.5 m level, Q^* is levelled out approximately at 5 p. m. in the whole 80 m thick surface layer. In the subsequent hours until the evening Q^* is higher at the 1.5 m level. We can see the change of $L\downarrow$ is reflected in Q^* (under the given atmospheric conditions) with a delay of approximately 3 hours. Under other meteorological conditions (especially under cloudiness) such a time shift may be inconspicuous, or it may pass off within a shorter interval of time. The daily average of Q^* in a cloudless sky at the 1.5 m level is by 15 % lower contrary to Q^* at the 80 m level. In general, cloudiness reduces Q^*, the difference in net radiation values between the mentioned levels being also levelled out at the same time. On cloudy days this difference only amounts to 5 %. On cloudy days net radiation drops at the 1.5 m level by 22 % and at the 80 m level by 30 % versus cloudless sky values. The transition from negative to positive values of Q^* falls in the morning hours approximately at 5 a. m. and in the evening hours between 7 – 8 p. m.

4. *Sensible heat flux and net radiation comparison*

According to *Coantic* and *Sequin* (1971) there exists quite satisfactory relation between the net radiation Q^* and the sensible heat flux H (W·m^{-2})

$$H = \varrho\, c_p \overline{w'T'} \tag{1}$$

where ϱ is the density of air, c_p specific heat at constant preasure and $\overline{w'T'}$ are fluctuations of the vertical component of wind speed and air temperature, respectively.

Comparing net radiation values Q^* at the 1.5 m level and sensible heat flux values H measured at the 10 m level, we obtain relation

$$H_{10} = 0.10\,Q^* - 2.51, \tag{2}$$

where the value of the correlation coefficient is 0.80 (see *Fig. 6*).

The net radiation fluxes at 80 m height are defined by

$$\triangle Q^* = Q^*_{80} - Q^*_{1.5}, \tag{3}$$

where $Q^*_{1,5}$ and Q^*_{80} are the values of the net radiation at 1.5 m and 80 m

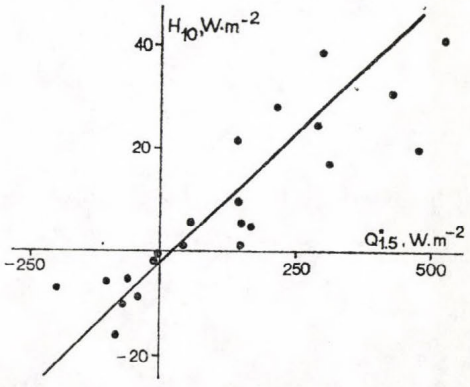
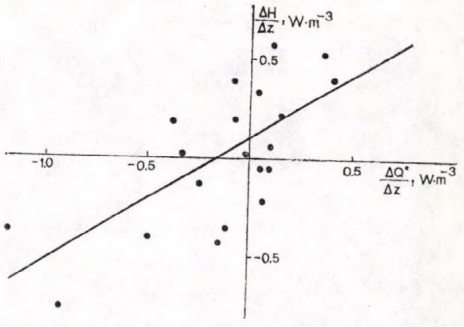


Fig. 6: Sensible heat flux (H) as a function of net radiation (Q^*)



Fg. 7: Relation between the vertical gradients of sensible heat flux and net radiation

levels respectively. Comparing net radiation fluxes Q^* and the values of the sensible heat flux H at the 80 m level, we get

$$H_{80} = -0.53 \triangle Q^* + 5.21, \tag{4}$$

with a value of the correlation coefficient of 0.71. In general we can say if the influx at the top of a surface layer is greater than at the bottom, then the fluxes H_{80} are mostly negative (going downward to the ground).

In *Fig. 7*, the relations between $\triangle H / \triangle z$ and $\triangle Q^* / \triangle z$ in the surface layer of 70 m (for H) and 78.5 m (for Q^*) thickness can be seen.

For the values from the RTE we get

$$\triangle H / \triangle z = 0.62\ \triangle Q^* / \triangle z + 0.10 \qquad (\mathrm{W.\,m^{-3}}) \tag{5}$$

The correlation coefficient in this case is 0.68.

The relationship between the values of the sensible heat flux H at 80 m and the net radiation Q^* at 80 m or 1.5 m levels is not very evident (the correlation coefficient is less than 0.50).

For the vertical sensible heat fluxe profiles it implies in *Kucharetz* et al' (1980), *Koprov* and *Sokolov* (1975) and *Gavrilov* and *Lajchtman* (1972) that the sensible heat flux is independent of a height (i. e. it has a constant value) in the first 30 – 60 m and it decreases above this height. The analyses of the RTE data also indicated the evidence of an increase or decrease of the H in the first 80 m. This fact is likely to be caused by the influence of the radiant fluxes and an aerodynamically fully rough surface (or undulated terrain) inclusive of anthropogenic factors, i. e. the presence of the aerosols in the atmosphere.

5. *Local temperature changes in the surface layer*

A study of the mechanism underlying the thermal excess in the surface layer over industrial areas (or cities) restricted largely to modeling efforts with relatively little direct observations. The models are helpful in providing an insight but they require field verification not only in terms of their output but also their process underpinnings. Such work might reasonably start by investigating the main causes (increased absorption of short-wave radiation, anthropogenic heat sources and changes of sensible heat input from below and from above).

Let us consider now the vertical profile of heat flux, which has two non-zero components (in general) over a horizontally homogeneous terrain. One of these, the streamwise component, is rather a curious feature arising from the wind shear, and it is of little importance here. We are interested in the vertical heat flux, and it is appropriate at this point to broaden our discussion to include the important role played by diurnal changes. In the morning, the ground receives heat by solar radiation and warmth, setting up an upward heat flux through the lowest air layer. For homogeneous condition, the mean air temperature corresponds to *Wyngaard* (1973)

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z}\,\overline{(w'\,T')} = 0 \tag{6}$$

The heat flux profiles seem to be sensitive to a horizontal inhomogeneity and from the general equation and Eq (6) we get

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} + w\frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}\,\overline{(w'\,T')} = 0 \tag{7}$$

Supposing now the horizontal advection terms $u \cdot \partial T/\partial x$, $v \cdot \partial T/\partial y$ to be less than the term or a vertical temperature change $w \cdot \partial T/\partial z$ we have

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\gamma} + \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\mathrm{H}}, \tag{8}$$

where $(\partial T/\partial t)_{\gamma} = -w \cdot \partial T/\partial z$ is a part of the local temperature changes caused by the effect of the vertical temperature stratification and $(\partial T/\partial t)_{\mathrm{H}} = -\partial(\overline{w'T'})/\partial z$ is a part of the local temperature changes caused by the effect of vertical divergence of the heat flux.

The cooling or warming experienced by a layer of air due to the divergence of net irradiance may be calculated from the principle of energy conservation. If the net radiation Q^* is smaller at the bottom of the layer

than at the top, the difference must be used to a warming of this layer (*Lajchtman*, 1976). Thus

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_R = \frac{1}{c_p \varrho} \cdot \frac{\partial Q^*}{\partial z} \tag{9}$$

The term $(\partial T/\partial t)_R$ is referred to as the divergence of net irradiance or it is a

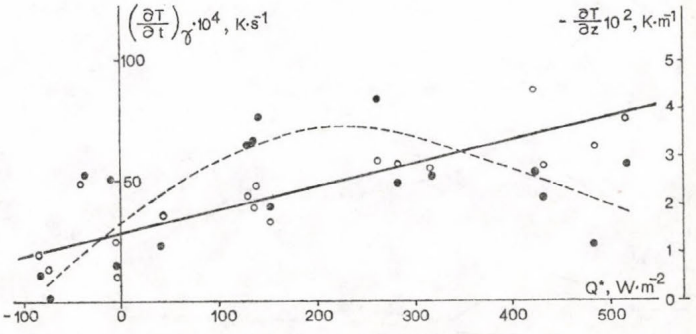


Fig. 8: Term of the local temperature change $(\partial T/\partial t)_\gamma$ and vertical temperature gradient compared with $(-\partial T/\partial z)$ compared with net radiation (Q^*)

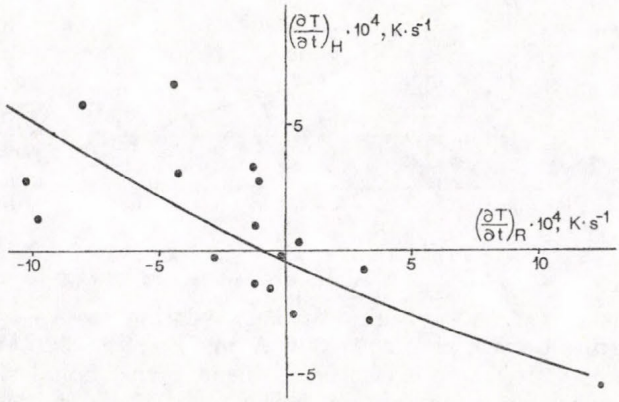


Fig. 9: Comparison of terms $(\partial T/\partial t)_H$ and $(\partial T/\partial t)_R$ (see Eq. 10)

next part of the local temperature changes in an atmospheric surface layer due to the effect of the downward radiation.

After inserting Eq.(9) to Eq.(8), it may be written

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_T = \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_\gamma + \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_H + \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_R \tag{10}$$

where $(\partial T/\partial t)_T$ is a total local temperature change in the surface layer of 80m thickness (or total warming/cooling rate).

The individual components of the total temperature changes for a series of the RTE measurements show that the greatest part of a total changes is due to the effect of the vertical temperature stratification and the influences of terms $(\partial T/\partial t)_H$ and $(\partial T/\partial t)_R$ are $1-2$ orders less depending on the value

of the vertical velocity component w and the mean vertical temperature gradient $-\partial T/\partial z$ of the layer.

Fig. 8 gives a comparison between the mean value of net radiation Q^* in the surface layer of 80 m thickness and term $(\partial T/\partial t)_\gamma$ (dashed line) and value the of vertical temperature gradient $-\partial T/\partial z$ (solid line). As opposed to continuously increasing values of $-\partial T/\partial z$ with increasing

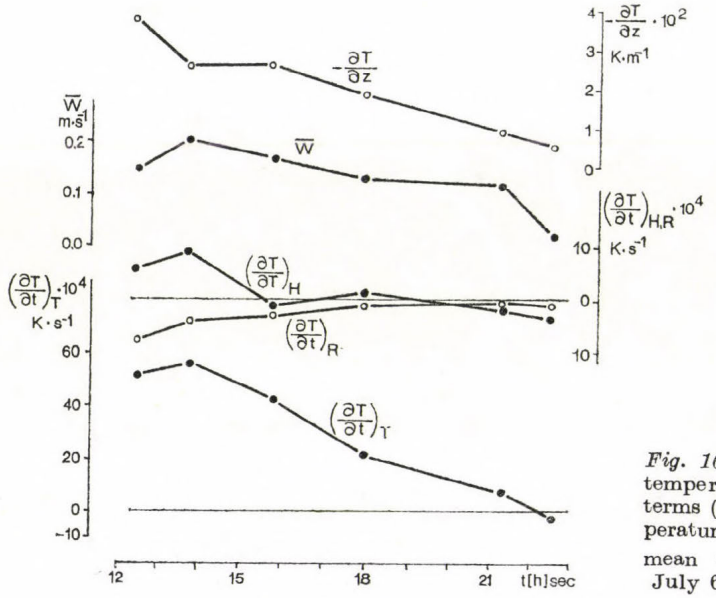


Fig. 10: Daily course of l ocal temperature changes $(\partial T/\partial t)_T$, terms $(\partial T/\partial t)_{H,\ R}$, vertical temperature gradient ($-\partial T/\partial z$) and mean vertical velocity ($\overline{w}$) for July 6, 1984.

values of Q^*, the warming of the layer increases very strongly only to the net radiation values of 200 – 300 W/m². For $Q^* > 300$ W/m² the warming effect due to stratification is unchangeable or rather smaller. The observed decrease of the warming for greater values of Q^* is caused by the decrease of the vertical velocity component $\overline{w}$ regardless of the relatively high values of the horizontal velocity components u and v. An explanation of that phenomenon awaits a better understanding of the inter-connections between meteorology, orography, and anthropogenic factors.

The relation between terms $(\partial T/\partial t)_H$ and $(\partial T/\partial t)_R$ is quasilinear (see *Fig. 9*). Generally it is possible to see, that a contribution of term $(\partial T/\partial t)_H$ to the warming or cooling of the layer is counterbalanced by term $(\partial T/\partial t)_R$, but the agreement between these two terms is not very good. This is due to a relatively large variability of the turbulent fluxes especially in the mid-morning hourly values and from day-to-day. This matter of fact valid for industrial and urban areas was observed earlier by *Oke* and *McCaughey* (1983), *Yap* and *Oke* (1974).

In *Fig. 10*, an example of the composite budget of all terms in Eq. (10) for afternoontime of July 6th can be seen.

6. *Conclusion*

This pilot radiative – turbulent experiment in KAO has yielded a number of unexpected, possibly controversial, result. These largely arise out of a special set of circumstances, involving a set of surface environments which were suddenly exposed to our conditions. The present paper only shows a feasible connection of the results of radiation and turbulent measurements in the very polluted air and above a non-homogeneous terrain.

A correct interpretation of the results obtained during the RTE may contribute to elucidating some of the processes of thermal and transport energy in the surface layer of the atmosphere.

It can be concluded from the foregoing that in meteorological terms, the radiative – turbulent structure of the surface layer is adequately described but rather poorly understood. The major challenge is to identify the relevant processes in the surface layer over a complex terrain and to provide consistent generalization and syntheses as a basis from which to develop and test different numerical models.

REFERENCES

Coantic, M. and *Sequin, B.*, 1971: On the interaction of turbulent and radiation transfer in the surface layer. *Boundary Layer Met. 3*, 245 – 263.

Gavrilov, A. S. and *Lajchtman, D. L.*, 1973: The influence of radiative heat transfer on the regime of atmospheric surface layer. *Izv. AN SSSR, FAO, 9*, 27 – 33 (in Russian).

Koprov, B. M. and *Sokolov, D. Yu.*, 1975: On experimental investigation of heat flux variability in the atmospheric surface layer. *Izv. AN SSSR, FAO, 11*, 743 – 746 (in Russian).

Kucharetz, V. P., Tsvang, L. R. and *Yaglom, A. M.*, 1980: Connection of turbulent characteristics in the surface layer with this one in the boundary layer of the atmosphere. In: *Physics of the atmosphere and the climate problems.* Nauka, Moskva, 162 – 193 (in Russian).

Lajchtman, D. L., 1976: *Dynamic meteorology.* Gidrometeoizdat, Leningrad (in Russian).

Oke, T. R. and *McCaughey, J. H.*, 1983: Suburban-rural energy balance comparisons for Vancouver, B. C.: An extreme case? *Boundary Layer Met. 26*, 337 – 350.

Pretel, J. and *Zelený, J.*, 1985: Effect of non-homogeneous terrain and roughness on turbulence in surface boundary layer. *Időjárás 89*, 249 – 256.

Wyngaard, J. C., 1973: On surface layer turbulence. In: *Workshop on meteorology.* Am. Met. Soc., 101 – 150.

Yap, D. H. and *Oke, T. R.*, 1974: Sensible heat fluxes over an urban area – Vancouver, B. C. *J. Appl. Meteorol. 13*, 880 – 890.

Zelený, J., 1985: Investigation of the structure of the atmospheric surface layer over an inhomogeneous terrain. *12th Inter. Conf. on Carpatian Met., Beograd 1985*, 176 – 178 (in Russian).

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 4. szám, 1986. július—augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 90. No 4. July—August 1986 Budapest

The variations of the precipitation amounts in the Carpathian Basin during the present century*

ERIKA KOFLANOVITS-ADÁMY *and* TAMÁS SZENTIMREY, *Központi Meteorológiai Intézet, H—1525 Budapest, POB 38*

A csapadékmennyiség változása századunk folyamán a Kárpátok térségében. A vizsgálat célja annak eldöntése, volt-e a Kárpátok földrajzi térségében a csapadékmennyiségben hosszútávú változás, ha igen, milyen irányú és értékű. A kiinduló adatbázist a Kárpát-medencében és az azt övező hegyvonulatok környezetében lévő 32 észlelőállomáson 1901—1984 közötti időszakban mért havi csapadékmennyiség adatai képezik (1. ábra). E hosszú sorokat lineáris trendelemzésnek vetettük alá, egy, a szokásosnál általánosabb értelmezés szerint. Abból a modellből indultunk ki, hogy egy vizsgált csapadéksor, egy determinisztikus trendfüggvény és egy tiszta véletlen folyamat összegeként áll elő. Ez esetben hosszútávú változás alaptendenciáját a trendfüggvény jellemzi, éppen ezért ennek közelítése volt a célunk az adott sor alapján. A lineáris trendvizsgálat általános gyakorlatától eltérően, az alakjára vonatkozóan semmilyen feltételezéssel nem éltünk, ugyanis ezzel kapcsolatban nem volt, sőt általában nem is nagyon lehet információnk. Ehelyett a trendfüggvényt — a négyzetes eltérésre nézve — legjobban közelítő egyenes iránytangensét (β) becsültük, tekintettel arra, hogy a trendfüggvény lineáris csökkenése vagy növekedése ezzel a β iránytangenssel jellemezhető. Ehhez a becsléshez a vizsgált csapadéksort — a négyzetes eltérésre nézve — legjobban közelítő egyenes iránytangensét ($\widehat{\beta}$) használtuk fel, amelynek segítségével intervallumbecslést is adtunk β-ra. Vizsgálatainknál ezek alapján jellemeztük a csapadékmennyiség évszakos — és évi változását.

Táblázatainkban feltüntettük a vonatkozó időszak átlagos csapadékmennyisége mellett az évi lineáris változás becsült értékeit ($\widehat{\beta}$), e változás 84 évre vonatkozó becsült értékeit ($\widehat{\beta} \cdot 84$) a konfidencia-határokkal együtt, valamint a 84 évi lineáris változás becsült értékeit az átlagos csapadékmennyiség százalékában. A fölsorolt értékeket csak a 0,1 szinten szignifikáns változások eseteiben tüntettük föl. A csapadék mennyiségi változásának területi eloszlását térkép-sémán szemléltettük mind az évszakos, mind az évi csapadékmennyiségre vonatkozóan, pozitív, ill. negatív előjellel jelölve a szignifikáns növekedések, ill. csökkenések helyeit.

A csapadékmennyiség hosszútávú változása az elmúlt 84 év folyamán az egyes évszakokban eltérő. Legerősebb csökkenés a tavaszi csapadékban volt becsülhető a terület nyugati és középső részén. Ősszel az egész területen általános volt a csapadékmennyiség csökkenése, a csökkenés mértéke azonban általában kevesebb, mint tavasszal. Nyáron alig volt változás, a csapadék mennyisége inkább növekedett, szignifikáns értéket csak a Kárpátoktól keletre és délre ért el. A téli csapadékmennyiség a terület északnyugati részén csökkent, a délkeleti részen növekedett.

Az eltérő értékű és előjelű évszakos változások végül is nem egyenlítették ki egymást, s így számításaink arra vezettek, hogy az évi csapadékmennyiség hosszú távú változásában a Kárpátok térségében századunk folyamán egy csökkenő tendencia érvényesült. Egyértelműen pozitív tendencia csak a Kárpátok vonulatától keletre és délre mutatható ki.

Hangsúlyozzuk, hogy számításaink eredményei lassú változási folyamatra utalnak, ha ezeket rövidebb időre vonatkoztatnánk, az súlyos tévedésekre vezetne.

⁂

* The paper was presented at the 12th International Conference on Carpathian Meteorology in Belgrade, 1—5 October 1985

The variations of the precipitation amounts in the Carpathian Basin during the present century. The aim of the present study was to reveal longterm changes in the precipitation amounts in the Carpathian region and to determine their tendency and rate.

The long series of precipitation amounts were submitted to a generalized form of the "linear trend analysis". In case of this analysis we don't assume any linearity of the trend function, but it makes to interpret the annual linear change of this one possible. Moreover the annual linear change of the trend function can be estimated both by a value $\hat{\beta}$ and by some confidence limits.

In the tables the following parameters are given: the mean seasonal and annual precipitation amount, the estimator of annual linear change in mm ($\hat{\beta}$), the estimator of the linear change during 84 years ($\hat{\beta} \cdot 84$) in mm within the confidence limits on level 0.1, and the estimation of 84 years linear change expressed in % of average precipitation amount within the confidence limits on level 0.1. The territorial distribution of the changes in precipitation amounts were indicated for all the seasons and for the whole year on sketch maps, where the increasing or decreasing tendency of the changes are marked by positive and negative signs, respectively.

The longterm changes in the precipitation amounts during the last 84 years were different in the four seasons. In spring were estimated the greatest decreases of precipitation amount in the wester and middle parts of the region. In autumn over the whole studied territory was a decreasing tendency, however the rate of it wasn't as high as in spring. In the summer precipitation amounts significant changes are scarcely perceivable. The winter precipitation amounts decreased over the northwest part and increased over the southeast part of region. The changes of different signes didn't equalize each other in the four seasons. That means, that in overhelming part of the Carpathian Basin the long-term change in the annual precipitation amount showed decreasing tendency during this century.

⁂

The aim of the present study was to reveal longterm changes in the precipitation amounts in the Carpathian Region and to determine their tendency and rate.

The data base used for this purpose consists of the monthly precipitation data received during the period 1901 to 1984 by 32 stations located in the Carpathian Basin and in the surrounding mountain range, i. e. in the region roughly limited by the geogra phicalcoordinates 14° – 28° E and and 44° – 51° N *(Fig. 1)*. For some parts of this region considerable investigations have also been carried out concerning the longterm changes of precipitation amounts in the recent years (*Samaj – Valovic*, 1980; *Gajic-Capka*, 1982; *Kozuchowski*, 1982).

The continuity of the climatic data acquisition was interrupted several

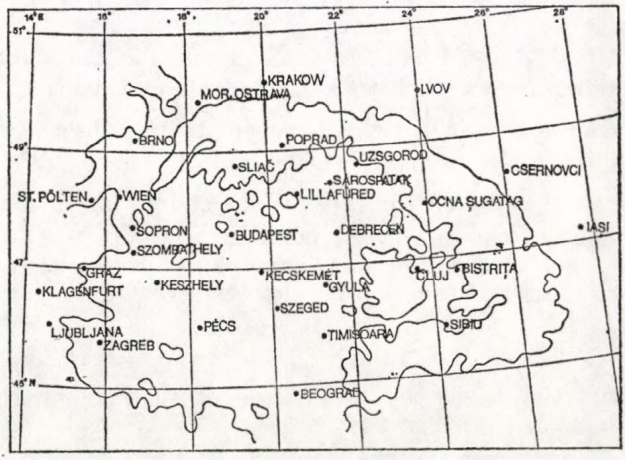


Fig. 1: Network of meteorological stations

times by historical, political events causing significant losses in the data series. Thus, a lot of valuable data sets could not be involved in the analyses. We had to content ourselves with the fact that areas with analogical or similar physical and geographical features were represented by not more than 1 to 2 stations. The elevation of the stations, Poprad excepted is less than 500 m. In the figure the 500 m isohypses are drawn and so only the contours

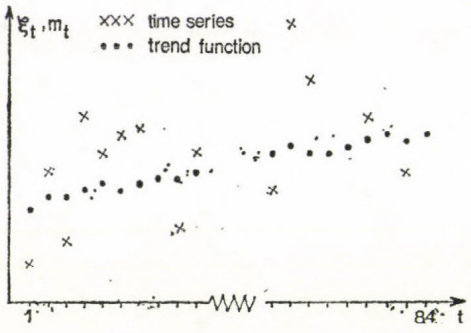


Fig. 2: The illustration of the time series and the trend function

of the mountain range are given. Due to the orographical conditions of the different stations as well as to the proximity of high mountains, differences in the variations of the precipitation amounts were to be expected in spite of the nearly equal elevations of the stations.

The mathematical model

Our method to this problem is a statistical one thereupon the model of a given series of the precipitation amounts is a statistical time series $\{\xi_t\}_{t=1}^{84}$ More exactly we suppose that the time series $\{\xi_t\}_{t=1}^{84}$ consists of two parts i. e.

$$\xi_t = m_t + \varepsilon_t \qquad t = 1,2,\ldots,84$$

where the elements of the time series $\{\varepsilon_t\}_{t=1}^{84}$ are totally independent, identically distributed both with expectation 0 and variance σ^2 and the sequence of numbers $\{m_t\}_{t=1}^{84}$ is the so called trend function. In this case the trend of the time series $\{\xi_t\}_{t=1}^{84}$ may be characterized by the trend function, therefore we wish to estimate this one using a sample of size one from the time series $\{\xi_t\}_{t=1}^{84}$ With respect to the absence of some data i. e. we have observations only in the points of time $t_1, t_2, \ldots, t_n$ $(n \leq 84)$, so our more exactly specified purpose is the estimation of the part $\{m_{t_i}\}_{i=1}^{n}$ $(n \leq 84)$ in the light of the next view points:

i, We do not have any information in connection with shape of the trend function besides the given sample of size one from the time series $\{\xi_{t_i}\}_{i=1}^{n}$

ii, But in our case we may assume only a slow change of the trend function i. e. the differences of its neighbouring elements are much less than σ. (See *Fig. 2)*

With respect to these principles we applied a generalized form of the "linear trend analysis" (*Szentimrey*, 1983). It was worked out for analysing the trend of changes of precipitation amounts in the geographical region of lake Balaton within the Carpathian Basin (*Adámy-Koflanovits–Szentimrey*, 1984). The essence of the method is the following:

We wish to estimate the linear function of the time $\alpha+\beta t$ which is the

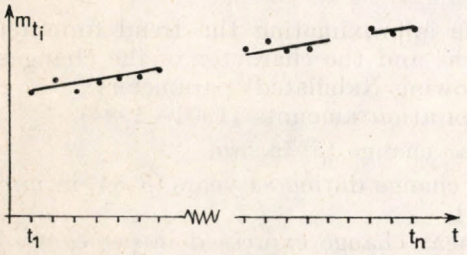


Fig. 3: The linear approximation of the trend function $\left\{m_{t_i}\right\}_{-1}^{n}$ by the method of least squares

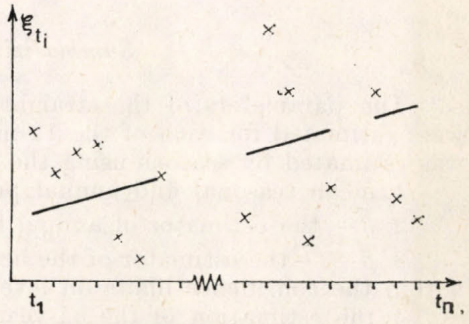


Fig. 4: The linear approximation of the time series by $\left\{\xi_{t_i}\right\}_{i-1}^{n}$ the method of least squares

best linear approximation of the part $\left\{m_{ti}\right\}_{i-1}^{u}$ in respect of the square deviation i. e.

$$\sum_{i=1}^{n}(m_{t_i}-[\alpha+\beta t_i])^2=\min_{a,\,b}\sum_{i=1}^{n}(m_{t_i}-[a+bt_i])^2$$

(See *Fig. 3*).

In this case the linear decrease or increase of the trend function may be characterized by the coefficient β in the given term and we can estimate this β using the coefficient $\hat{\beta}$ defined by the method of least squares

$$\sum_{i=1}^{n}(\xi_{t_i}-[\hat{\alpha}+\hat{\beta}t_i])^2=\min_{\hat{a},\,\hat{b}}\sum_{i=1}^{n}(\xi_{t_i}-[\hat{a}+\hat{b}t_i])^2$$

(See *Fig. 4.*)

Now let us see the most important features of this estimator $\hat{\beta}$:

i, $\hat{\beta}$ is an unbiased estimator of β i. e. the expectation of $\hat{\beta}$ is β.

ii, If "n" is a "large" value we can give some confidence intervals for β using $\hat{\beta}$ on the basis of the next inequality :

$$P\,(\beta\varepsilon\,[\beta_p^1,\beta_p^2])\geq p \qquad (0\leq p<1)$$

i. e. the random interval $(\beta_p^1,\ \beta_p^2)$ covers the coefficient β with probability p at least, where

$$\beta_p=\hat{\beta}-\frac{X_p}{\|t_1\|_n}\cdot\sqrt{S_n^2}\,;\qquad \beta_p^2=\hat{\beta}+\frac{X_p}{\|t_1\|_n}\cdot\sqrt{S_n^2}$$

$$\sqrt{S_n^2}=\frac{1}{n-2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\xi_{t_i}-[\hat{\alpha}+\hat{\beta}t_i])^2}$$

i. e. the "standard error of estimate"

$$\|t_i\|_n = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (t_i - \bar{t})^2} \qquad \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} t_i$$

$$2\Phi(X_p) - 1 = p; \qquad (0 \leq p < 1)$$

$\Phi(x)$ is the standard normal distribution function. The latest fact implies that

$$P(\beta \cdot 84 \; \varepsilon \; [\beta_p^1 \cdot 84, \beta_p^2 \cdot 84]) \geq p$$

where $\beta \cdot 84$ the "linear change during 84 years".

Summarizing of the results

The parameters of the straight line approximating the trend function were estimated for each of the 12 months and the character of the changes was estimated by seasons using the following (tabulated) parameters:

1. mean seasonal and annual precipitation amounts (1901–1984).

2. $\hat{\beta}$– the estimator of annual linear change (β) in mm

8. $\hat{\beta} \cdot 84$ – the estimator of the linear change during 84 years ($\beta \cdot 84$) in mm within the confidence limits on level 0.1.

4. the estimation of the 84-year linear change expressed in per cent of average precipitation amount within the confidence limits on level 0.1.

In the attached tables the parameters 2, 3 and 4 are given only for significant changes on level 0.1.

In order to facilitate the analysis of the territorial distribution of the

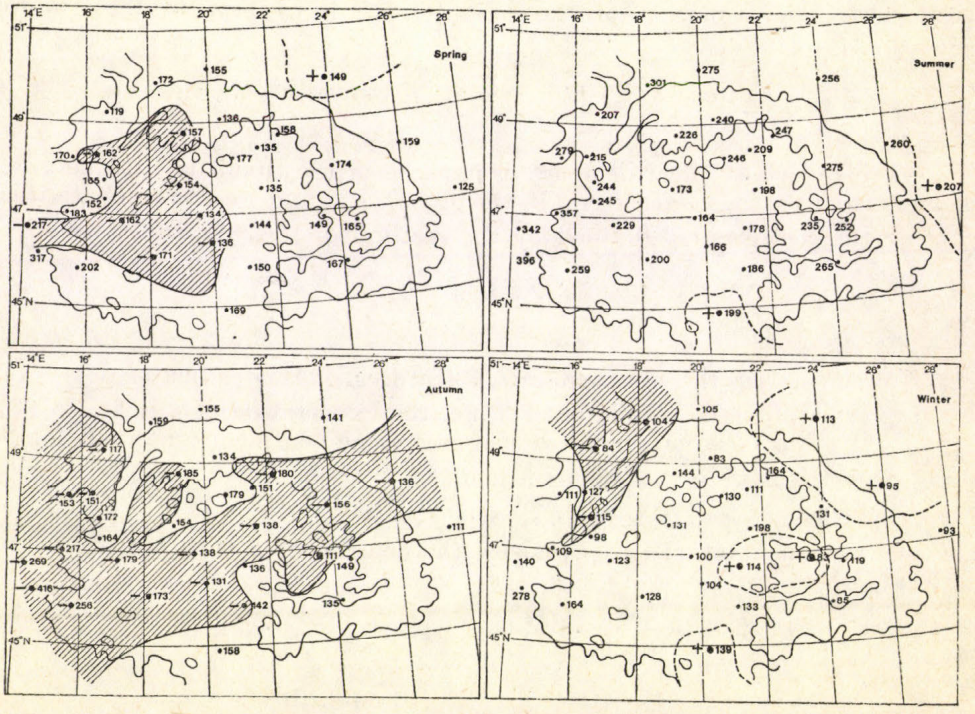


Fig. 5: Spatial distribution of significant precipitation trends with the means (mm) in the four seasons

TABLE I

Characteristics of significant trends of precipitation amounts in spring, summer, autumn and winter

Meteorological stations	$\hat{\beta}$ mm/yr	Estimation of change during 84 years in mm and in % of mean, with confidence limits (0.1)					
		lower limits		estimations		upper limits	
		mm	%	mm	%	mm	%
Spring							
Klagenfurt	−0,6	−93	−43	−54	−25	−15	−7
Wien	−0.4	−64	−44	−32	−20	−1	−0.6
Sliač	−0,6	−78	−50	−46	−30	−14	−9
Lvov	0,4	0.3	0	31	21	61	41
Pécs	−0,7	−92	−54	−61	−35	−29	−17
Keszthely	−0,8	−95	−59	−65	−40	−36	−22
Budapest	−0,7	−87	−57	−57	−37	−27	−18
Kecskemét	−0,6	−76	−57	−52	−39	−27	−20
Szeged	−0,5	−73	−53	−44	−32	−14	−11
Summer							
Iași	0,6	1	1	50	24	98	47
Beograd	0,6	4	2	52	26	100	50
Autumn							
Klagenfurt	−1,0	−145	−54	−88	−33	−31	−12
Graz	−0,7	−100	−46	−56	−26	−12	−5
St. Pölten	−0,4	−73	−48	−38	−25	−3	−2
Wien	−0,5	−81	−54	−42	−28	−4	−3
Brno	−0,5	−71	−60	−42	−36	−13	−11
Sliač	−0,7	−105	−57	−57	−31	−9	−5
Uzsgorod	−0,5	−87	−48	−43	−24	1	1
Csernovci	−0,5	−83	−61	−42	−31	−2	−1
Ocna Șugatag	−0,5	−80	−51	−44	−29	−10	−6
Cluj	−0,4	−66	−60	−35	−32	−4	−3
Timișoara	−0,5	−75	−53	−39	−27	−3	−2
Zagreb	−0,7	−120	−47	−60	−24	0	0
Ljubljana	−1,2	−198	−48	−103	−25	−8	−2
Pécs	−0,5	−95	−55	−49	−28	−3	−2
Keszthely	−0,6	−96	−54	−53	−30	−11	−6
Sopron	−0,6	−91	−53	−48	−28	−5	−3
Debrecen	−0,5	−71	−51	−38	−28	−6	−4
Kecskemét	−0,7	−89	−65	−56	−40	−23	−16
Szeged	−0,6	−86	−66	−51	−39	−17	−13
Winter							
Brno	−0,2	−40	−47	−20	−24	−0,7	−0.8
Mor. Ostrava	−0,5	−63	−61	−39	−37	−15	−14
Lvov	0,8	35	31	65	57	95	84
Csernovci	0,4	15	16	35	37	55	58
Cluj	0,3	3	3	23	27	43	51
Beograd	0,7	26	18	58	42	90	65
Sopron	−0,4	−63	−55	−34	−29	−5	−4
Gyula	0,4	6	5	32	28	58	51

significant changes, their places were indicated for all the seasons and for the whole year on the sketch map shown in Fig. 1. where the increasing or decreasing tendency of the changes are marked by positive and negative signs, respectively.

In the following the results of the calculations are sumed up, first of all, for the four seasons.

In spring (March, April, May) the precipitation amount decreases over a great part of the whole region *(Fig. 5)*. The decrease is significant to the west of the Poprad–Szeged lign showing the highest values in the western parts of the Carpathian Basin and in the area between the rivers Danube and Tisza, where they reach as much as 20 to 22 per cent of average even at the lower confidence limit *(Table I)*. But advancing eastward the decrease loses its significant character and beyond the Carpathians, in Lvov, the spring amount of precipitation shows already a significant increase. Considering the monthly precipitation amounts the decrease is associated mainly with April, i. e. with mid-spring.

In the summer (June, July, August) precipitation amounts significant changes are scarcely perceivable *(Fig. 5)*. Over the whole territory a small increase of the precipitation amounts could be revealed reaching significant values only in the data of Iași and Beograd but not exceeding 1 to 2 per cent of average at the lower confidence limit *(Table I)*.

The autumn (September, October, November) precipitation amount showed decreasing tendency during the past 84 years over the whole studied territory *(Fig. 5)*. The rate of the decrease is varying but even at the lower confidence limit it exceeds 10 per cent of average autumn amount in several places and even 13 to 16 per cent in the region limited by the rivers Danube and Tisza *(Table I)*. The greatest changes during the autumn occurred in September and October while in November no significant decresase was found.

For the past 84 years the winter (December, January, February) precipitation amounts have decreased in certain areas and increased in other ones. It seems that the sign reversal took place just within the Carpathian Basin *(Fig. 5)*. To the NW of the Klagenfurt–Keszthely–Poprad line the amounts of winter precipitation decreased everywhere, in some places even significantly, while south- and eastward of this line a–sometimes significant–increasing

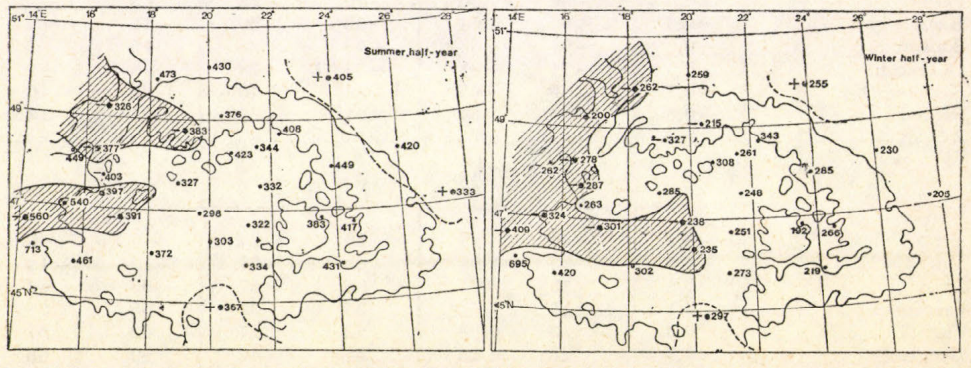


Fig. 6 : Spatial distribution of significant precipitation trends with the means (mm) in summer half-year and in winter half-year

tendency could be observed. The reversal of the tendency in the region in question is reflected also by the variations in the rate of the changes *(Table I)*. Even the significant trends have rather different values. The most considerable decrease of the winter precipitation amounting to at least 14 per cent of average took place in the area of Moravsca Ostrava while the greatest increase, by at least 31 per cent, in Lvov.

For practical purposes, mainly for perspective planning, often information is required on the quantitative changes of precipitation for a period longer than a season, e. g. for a half-year or year.

During the half-year covering spring and summer (from March to August) the precipitation amount shows decreasing tendency in the western parts of the Carpathian Basin as well as westwards and northwards from it, while to the east of the Carpathian range and in the area represented by Beograd it is increasing *(Fig. 6)*. As it was mentioned, the quantitative changes of spring and summer precipitation often compensate each other. Thus the long-term variation of the summer half-year does not reach 10 per cent at the lower confidence limit *(Table II)*.

As for the long-term changes in the precipitation amount during the half-year including autumn and winter (from September to February) the

TABLE II

Characteristics of significant trends of precipitation amounts in summer half-year and winter half-year

Meteorological stations	$\hat{\beta}$ mm/yr	Estimation of change during 84 years in mm and in % of mean, with confidence limits (0.1)					
		lower limits		estimations		upper limits	
		mm	%	mm	%	mm	%
Summer half year							
Klagenfurt	−0,9	−142	−25	−73	−13	−3	−1
Wien	−0,8	−126	−33	−68	−18	−10	−3
Brno	−0,6	−95	−29	−52	−16	−10	−3
Sliač	−0,9	−137	−36	−74	−19	−11	−3
Lvov	0,7	1	0,3	55	14	111	27
Iaşi	0,9	11	3	74	22	137	41
Beograd	0,9	15	4	79	22	142	39
Keszthely	−1,0	−144	−37	−81	−21	−18	−5
Sopron	−0,8	−127	−31	−67	−17	−8	−2
Winter half year							
Klagenfurt	−1,5	−209	−51	−128	−31	−48	−12
Graz	−0,8	−123	−38	−68	−21	−13	−4
Wien	−0,6	−101	−37	−54	−19	−6	−2
Brno	−0,8	−106	−53	−70	−35	−35	−17
Mor. Ostrava	−0,9	−123	−47	−73	−28	−24	−9
Sliač	−1,0	−149	−46	−89	−27	−31	−9
Poprad	−0,6	−87	−41	−46	−21	−5	−2
Lvov	1,0	44	17	86	34	128	50
Beograd	0,7	8	3	61	20	113	38
Keszthely	−0,8	−117	−39	−65	−22	−13	−4
Sopron	−1,0	−137	−48	−82	−29	−27	−9
Kecskemét	−0,6	−95	−40	−53	−22	−11	−5
Szeged	−0,7	−108	−46	−62	−26	−15	−6

following statatement can be made. A significant increase of precipitation took place only in the area of Beograd and Lvov mainly due to the increase during the winter months. In the Hungarian Basin, in the region beyond the river Tisza as well as eastward in Transylvania and to the east of the Carpathian Range the considerable decrease of the autumn precipitation amount was almost compensated by the increasing winter precipitation, consequently no significant change occurred in the precipitation amount of the winter half-year in these areas *(Fig. 6)*. As for the rate of the changes in the precipitation amount in the winter half-year, it is nearly everywhere

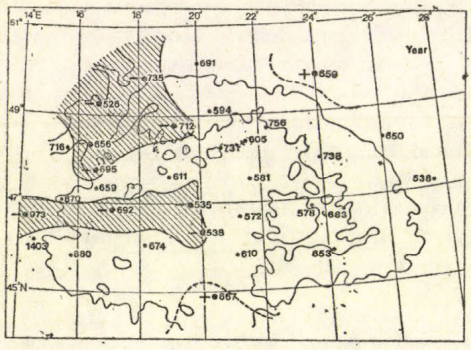


Fig. 7: Spatial distribution of significant precipitation trends with the means (mm) in yearly totals

higher than in the summer half-year. As a matter of fact the values show considerable variance both in positive and negative direction. The greatest change reached as much as 17 per cent of average at the lower confidence limit in Brno and in Lvov *(Table II)*.

In the overwhelming part of the Carpathian Basin the long-term change in the annual precipitation amount showed decreasing tendency. An expressed positive tendency was found only eastward of the Carpathian range and in the southern part of the region in question, in the vicinity of Belgrad. As we could see, the decrease of the annual precipitation amount is not uniform during

TABLE III

Characteristics of significant trends of yearly precipitation amount

Meteorological stations	$\hat{\beta}$ mm/yr	Estimation of change during 84 years in mm and in % of mean, with confidence limits (0.1)					
		lower limits		estimations		upper limits	
		mm	%	mm	%	mm	%
Klagenfurt	−2,1	−276	−28	−177	−18	−77	−8
Wien	−1,4	−192	−29	−116	−18	−40	−6
Brno	−1,5	−183	−35	−125	−24	−67	−13
Mor. Ostrava	−1,6	−213	−29	−131	−18	−50	−7
Sliač	−2,0	−256	−36	−167	−24	−78	−11
Lvov	1,7	63	10	142	22	221	34
Beograd	1,7	57	9	140	21	223	33
Keszthely	−1,7	−229	−33	−142	−21	−55	−8
Sopron	−1,8	−225	−32	−148	−21	−73	−10
Kecskemét	−1,0	−145	−27	−83	−16	−22	−4
Szeged	−1,1	−158	−29	−91	−17	−25	−5

the year and the decrease of the precipitation amount in the winter half-year is not compensated by its increase in the summer half-year *(Fig. 7)*. As for the rate of the annual changes: in Beograd and Lvov the precipitation amount increased by at least 9 to 19 per cent of average while in Tatras and Brno it decreased by at least 11 to 13 per cent and the values of other significant decreases reach as much as 5 to 8 percent as compared to average *(Table III)*.

From practical points of view the values of the changes expressed in mm may be of interest. They are shown in the attached tables together with the

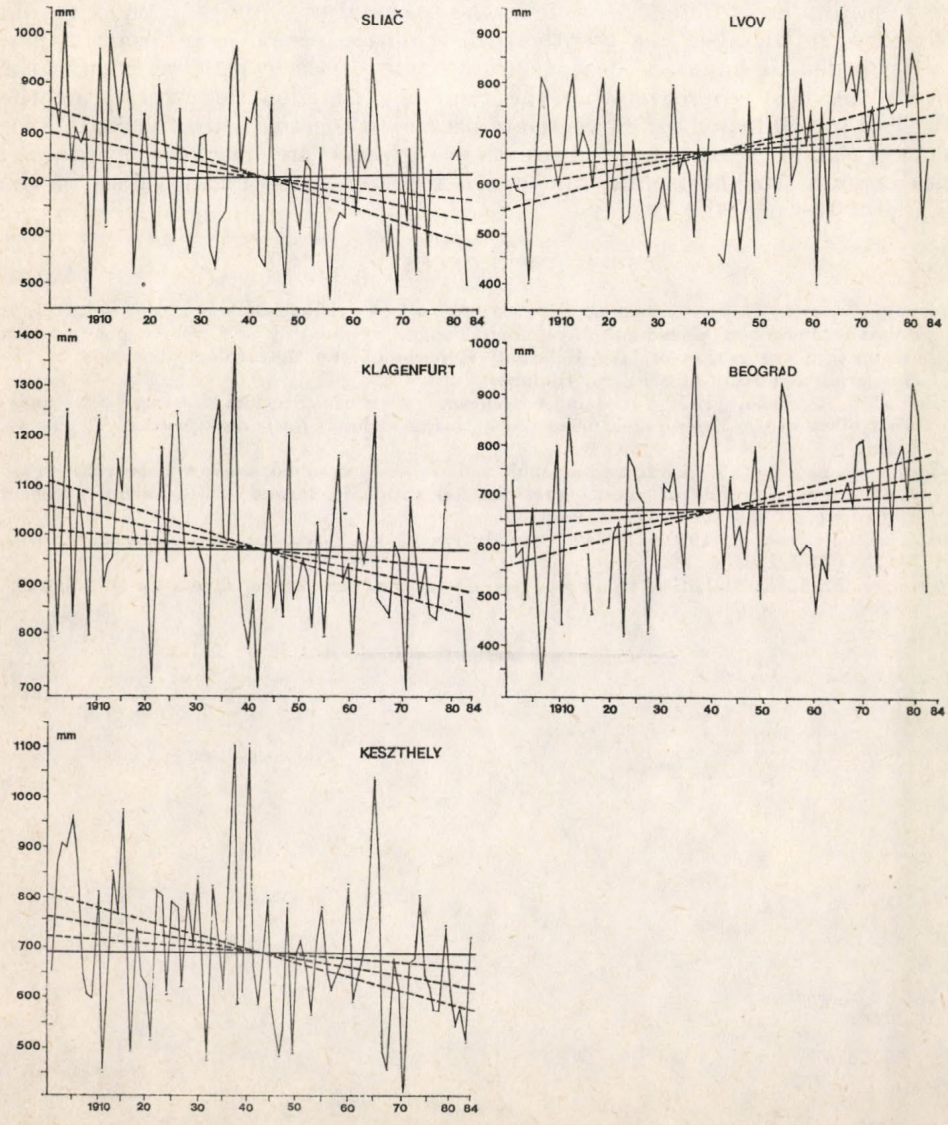


Fig. 8: The course of annual precipitation and the graphs of approximating the tendency

confidence interval. The annual mean values of the significant seasonal changes seldom reach 1 mm and the annual mean change of the annual precipitation amount is not more than 1 to 2 mm, either. Considerable values appear only when taking into account the whole 84-year period. It must be emphasized that we face a slow process of changes and the application of the results presented here to a shorter period would lead to very fals conclusions.

Of course, the changes expressed in mm are likewise characterized by a territorial variance and the precipitation climat of the analyzed region is not uniform, either. The annual mean precipitation amount in Ljubljana exceeds 1400 mm while in the Hungarian Great Plain it is not more than 530 mm. Similar differences occur in the seasonal precipitation amounts and all that is reflected in the territorial distribution of the long-term changes.

In order to have an idea about the rate of the calculated trends, the graphs the best approximating the tendency function determined for the course of precipitation for 84 years are presented together with the confidence limits *(Fig. 8)*. In the figures these graphs are marked by dashed lines crossing the horizontal line which represents the mean values in the middle of the period.

REFERENCES

Adámy-Koflanovits, E. és *Szentimrey, T.*, 1984: A havi és évi csapadékmennyiség változása a Balaton térségében századunk folyamán (Changes of monthly and yearly precipitation amounts in the region of lake Balaton.) Reports of the Meteorological session at the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Gajic-Capka, Marjana, 1982: Variabilnost prosjecnog oborinskog rezima sire zagrebacke regije (Variability of the Zagreb area mean precipitation regime.) *Rasprave i prikazi, 17*, 23–37, Zagreb

Kozuchowski, K., 1982: Wspolczesne tendencje zmian rocznych sum opadow w Polse 1931–1980 (Contemporary trends of annual precipitation totals in Poland 1931–1980.). *Przeglad Geofiziczny, 27* 3/4 251–260. Warsaw

Samaj, F. – *Valovic, S.*, 1980: Dlhodobe trendy zrazok na Slovensku. *Meteorologicke Zpravy, 33.* 138–142, Praha

Szentimrey, T., 1983: Statistical trend analysis of empirical time series. Thesis for D. S. JATE, Szeged

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 4. szám, 1986. július–augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 90. No 4. July–August 1986 Budapest

A szinoptika jelentősége a modern meteorológiában

REUTER, H. *Institut für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte, 38, A—1190, Wien, Österreich*

The importance of synoptic methods in the modern meteorology. The paper contains the inauguration address of the author delivered on 9th of April, 1986, in Budapest, on the occasion that he became a honorary member of the Hungarian Meteorological Society. The pure synoptic methods, applied for weather forecasting during the last 100 years or more, are reviewed and an evaluation is given of the hystorical development of this area. The latest results of both the theory and practical progress are estimated by the author in connection with the possibilities offered by modern computing technology.

⁂

A szinoptika jelentősége a modern meteorológiában. Az alábbi tanulmány a Szerzőnek a Magyar Meteorológiai Társaság tiszteleti tagjává választása, illetve az erről szóló oklevél átvétele alkalmával Budapesten, 1986. április 9-én tartott előadása. Ebben áttekinti a meteorológiában az elmúlt több mint 100 év során az időjárás előrejelzése terén alkalmazott tisztán szinoptikus módszereket, értékelve a szinoptika történelmi fejlődésének főbb korszakait. Az elmélet és gyakorlati fejlődés legújabb eredményeit a nagyteljesítményű számítógépek nyújtotta lehetőségek tükrében értékeli.

⁂

Amikor a múlt század közepe táján a légköri jelenségek kutatása terén a szinoptikus módszerekre tértek rá, azonnal világossá vált, hogy ezek a vizsgálatok csak akkor mutathatnak fel eredményeket, ha bizonyos szervezési feltételek teljesülnek. Így ismerték fel a lehetőség szerint sűrű, a világot átfogó megfigyelő hálózat jelentőségét, és ehhez hasonlóan a mérési és megfigyelési adatok időigényes, de lehetőleg gyors továbbításának a szükséges voltát. Ma abban a helyzetben vagyunk – hála a szédületes műszaki haladásnak, és annak, hogy minden ország felelős politikai szervei világosan felismerték egy időjárási szolgálat jelentőségét az emberiség fejlődése szempontjából –, hogy ez a vágyálom, ha nem is egészen kielégítő mértékben, megvalósult. A megfigyelések korszerű eszközei, mint az automatikus időjelző állomás, a meteorológiai mesterséges holdak, a radarberendezések naponta olyan mennyiségű információt szállítanak a részünkre, amilyenről az előző században még álmodni sem mertek. Ezeket az információkat a mai időjárási szolgálat elektronikus számítógépek felhasználásával elképzelhetetlenül rövid idő alatt dolgozzák fel. E tényekre és mindenek előtt a számszerű időjárás előrejelzés *(Numerical Weather Prediction,* NWP) nagy sikerére való tekintettel az időjárás előrejelzésének gyakorlatában felvetődik a kérdés, hogy a szinoptikusok által több mint 100 éve folytatott kutatómunka eredményei még most is érvényesek-e és szükségesek-e egyáltalán? Ahhoz, hogy e kérdésre válaszolni tudjunk és a tisztán szinoptikus módszereknek a modern meteorológiában betöltött értékrendjét megítélhessük, röviden át kell tekintenünk

a szinoptika történelmi fejlődésének fontosabb időszakait. Négy korszakot különíthetünk el egymástól, megnevezésük és eredményük címszavakban:

I. *Izobár-szinoptika* (az I. világháború végéig). A nyomásképződmények osztályozása. Egyrészt a nyomásmező és az áramlási mező, másrészt a nyomásmező és az időjárás közötti általános összefüggések megállapítása. A nyomásváltozásnak főként termikus magyarázata. A ciklonpályák statisztikai vizsgálata. A nyomásmező kinematikus extrapolációjára vonatkozó nyomástendenciák jelentőségének felismerése. *Exner* és *Mohn* elmélete a ciklonok mozgásáról. *Gilbert–Grossmann* szabályok.

II. *Légtömeg-szinoptika* (az I. világháború végétől mintegy 1930-ig). A légtömegek és frontok jelentősége a ciklonképződésben és az időjárási eseményekben. Összefüggések megállapítása egyrészt a nyomás- és az áramlási mező, másrészt a légtömegek és a frontok között. A magasabb légrétegek jelentőségének felismerése az időjárás kialakulásában. *Schedler–Dines* korrelációk az irányítás felderítésére.

III. *Aerológiai-szinoptika* (1930-tól a II. világháború végéig). Az aerológiai mérések teljesértékű alkalmazása a napi előrejelző szolgálat szinoptikai céljaira. Három-dimenziós elemzések és előrejelzések. A kinematikus módszerek objektívvá tétele. A magaslégköri áramlási mező divergenciájának jelentősége. Az irányításelmélet kialakítása. A szinoptikus előrejelzési térkép szerkesztése.

IV. *Elméleti-szinoptika* (a II. világháború után). Az elméleti módszerek erőteljesebb behatolása a szinoptikai gyakorlatba. *Rossby* hullámelmélete. *Sutcliff* fejlődéselmélete. Hidrodinamikus instabilitás. A sugárzás szinoptikájának felfedezése. Blocking mechanizmus. Index ciklus. Baroklin bizonytalanság a ciklonok keletkezésénél. Örvényesség, advekció elmélet. Momentumátvitel. Hullámspektrumok. Közvetlen numerikus számítási módszerek alkalmazása a magaslégköri áramlási mezők előrejelzésére. Előrejelzési térképek összeállítása elméleti atmoszféra modellek alapján.

Ha a szinoptikus kutatások eredményeiről ezt az áttekintést abból a szempontból szemléljük, hogy eldöntsük, hogy az NWP-nek, mint kezdeti és határérték problémának a szinoptikai gyakorlatban történő megjelenése óta milyen módszerek váltak fölöslegessé, akkor a következő tűnik fel: Mindazon módszereket, amelyek azokkal a kérdésekkel foglalkoznak, hogy miként lehet kezdeti feltételekből a nyomáseloszlást és más meteorológiai elem mezejét előrejelezni, az NWP-vel helyettesítették és ezért szinte teljesen eltűntek az előrejelzés gyakorlatából. Ezek legfeljebb igen rövid időtartamra szóló időjárás-előrejelzéseknél (nowcasting) alkalmazhatók, vagy a numerikus eredmények ellenőrzésére használhatók fel. Ide tartoznak elsősorban a fenti összeállításban ismertetett, és a III. és IV. csoportba tartozó módszerek.

Ezeket a módszereket a magas szinten kifejlesztett szimulációs modellek – számítógép segítségével történt – numerikus megoldásai váltották fel. Érdekességképpen, az első két korszakban, az izobár-szinoptikában és a légtömeg-szinoptikában kidolgozott szinoptikus feltevések a NWP magyarázatánál újból az érdeklődés középpontjába kerültek. Ennek mindenek előtt két oka van. Először is a vizsgálatok ebben az időben azzal a kérdéssel foglalkoztak, hogy milyen korrelációk vannak a köznyelven megfogalmazott prognózisban leírt időjárás tényleges alakulása és a nyomáseloszlás között. Másodszor, módszereket fejlesztettek ki, ahol az időjárás előrejelzésénél a nyomástendenciát különösen fontos elemnek tekintették, ezzel szemben a NWP a tendenciából, mint kezdőértékből nem használ fel semmit. A numerikus modelleknek

elegendő egy meghatározott pontban ismerni a kezdeti állapotot. Az elmúlt idő, bármennyire is rövid tartamú (pl. háromórás tendencia) légyen is az, nem szükséges. Felmerül tehát a kérdés, milyen információtartalmat hordoz a nyomástendencia és kimutatható-e a korreláció a jövőben várható változás és a múltban lefolyt események között? Az első kérdésre azt kell válaszolni, hogy maga a légnyomás valóban különleges szerepet tölt be a meteorológiai elemek között, amely azonban az általános modellekben nem tükröződik. Ennek mindenek előtt két oka van: először is a légnyomás nem függ a földfelszíni peremfeltételektől (mint a hőmérséklet, nedvesség vagy szél), másrészt majdnem minden esetben kielégíti a légnyomás hidrosztatikus megközelítését úgy, hogy az egész légoszlopra ad összetett információt, amely indirekt módon a légoszlop vertikális szerkezetéről (hőmérséklet- és nyomásmező) ad felvilágosítást. Ezáltal a légnyomás információelméletileg sokkal jobban kapcsolódik a szinoptikus skálához, mint a többi elem, amelyek a szinoptikus információk mellett a helyi mezo- és mikroskálától is függnek.

A második kérdést a következőképpen kell megválaszolni. Minthogy a „jelenlegi állapot" mint kezdőérték kerül a numerikus szimulációs modellekbe, elképzelhető, hogy a jelenlegi (várható) idő egy kezdeti helyzetből (még ha az három órára, vagy 24 órára, vagy még hosszabb időre nyúlik is vissza) determinisztikusan kialakulhat. Ezért a nyomástendencia információelméletileg a jövőben várható fejlődéshez kapcsolódik. A modellekben alkalmazott tiszta kezdőértékektől megkülönböztetve a nyomástendencia a tényleges változásnak az elméletileg szimulálttól való eltéréseit is tartalmazza. Ezért feltétlenül igazolni kell a stochasztikus kapcsolatokat, ha ilyeneket feltételezünk a szinoptikus események és az észlelt nyomástendenciák között. Azokat a valószínűségeket, amelyek ezeknél a kutatásoknál a felismert összefüggésekből várhatók, az elmúlt folyamatok tanulmányozása alapján kell kidolgozni. A szinoptikus vizsgálatok esetében így is történt. A feldolgozások eme csoportjába az időjárás megmaradásának tendenciájára vonatkozó statisztikai vizsgálatok, vagy a ciklonok leggyakoribb vonulási pályáinak követése éppen úgy beletartozik, mint a nyomástendenciák és az ezt nyomban követő időjárás-változás között felismert összefüggések (nyomásemelkedés – időjárás-javulás, nyomáscsökkenés – időjárásromlás), valamint az időjárás középtávú előrejelzésében felismert kompenzációs mechanizmusok (az erős rendellenességek egy meghatározott időtartam alatt kiegyenlítődnek).

Ha most az előadás eredeti témájához visszatérünk, és feltesszük a kérdést, milyen jelentősége van a szinoptikának a meteorológiában jelenleg, akkor a következőket kell megállapítanunk:

1. Mindazon módszerek, amelyek a meteorológiai mezők elemeinek előrejelzésével rövid távra (1–3 nap) foglalkoztak, a NWP modern fejlődése miatt messzemenően fölöslegessé váltak.

2. A szinoptikusok által a mezők eloszlásai (nagyrészt nyomás-, áramlási- és hőmérséklet) és a tényleges időjárás előrejezése között kidolgozott kapcsolatok a NWP magyarázatánál igen fontosak.

3. Rövidtávú prognózisoknál (nowcasting) azok a színoptikus módszerek, amelyek szubtilis front- és szélelőrejelzéssel foglalkoznak, nagyjelentőségűek és az időjárás előrejelzésénél jelenleg sem mellőzhetők, még a félig elméleti előrejelzéseknél sem, mint pl. a fagy előrejelzése.

4. Amíg az NWP a determinisztikus előrejelzések problémáját, mint kezdeti- és határérték problémát átvette, addig a szinoptikus vizsgálatoknál kidolgozott *sztochasztikus kapcsolatok* a megfigyelt időjárási folyamatok (ill.

a meteorológiai elemek megfigyelt tendenciái) és időjárás várható alakulása között továbbra is a NWP kiegészítésének tekinthetők, minthogy képesek arra (mindenesetre csak sztochasztikusan), hogy a prognózis érvényessége idején lejátszódó fejlődésekről, amelyeknél a NWP jelenleg csődöt mond, felvilágosítást nyújtsanak.

Ha befejezésül összegezni szeretnénk az eredményeket és feltennénk a kérdést, hogy hol állunk ma a tudományban és miként ítélhetjük meg a jövő fejlődését, akkor egy gondolati kísérlettel válaszolhatunk, amelyet nem kisebb ember, mint *Max Born* gondolt végig a fizika bármely területén dolgozó kutatók helyzetével összefüggésben. Born úgy gondolta, hogy a tudósokat olyan cserkészekhez hasonlíthatjuk, akik egy járhatatlan őserdőben utat vágnak azért, hogy a következők könnyebben előrehaladjanak. Ha ezt a gondolatot a meteorológiai kutatásban alkalmazzuk, akkor megállapíthatjuk, hogy – a hasonlatnál maradva – a meteorológiai cserkészek két utat vágtak, nevezetesen, egyszer egy elméletit a klasszikus fizika törvényeiből kiindulva (pl. *Margules, Bjerknes, Richardson)*, majd egy másikat, egy empirikusat a számtalan és fáradságosan kidolgozott felismerésekre alapozva. Az elméleti út a kezdeti sikerek után igen nehéznek bizonyult és végül a „cserkészek" falba ütköztek, amelyen nem tudtak áthatolni *(Richardson)*. Ebben az időben, amely a két világháború közötti időre esik, az empirikusok sokkal gyorsabban haladtak előre, és úgy látszott, mintha a versenyfutást megnyerték volna. De ekkor beköszöntött a számítógépek korszaka és az elméleti tudósoknak hirtelen lehetősége nyílott az elméleti úton az akadályok elhárítása és áthidalása. Ők nem csak behozták az empirikusokat, hanem felülmúlták őket és a legutóbbi időkig szinte úgy alakult a helyzet, mintha ez az út lenne az egyedüli helyes. Az empirikusokat mintegy felszólították, hagyják fel útjukat és csatlakozzanak az elméleti cserkészcsoporthoz. Legújabban az elméleti út ismét nehezebben járhatóvá vált. Újból falba ütközünk, nevezetesen annál a kérdésnél, egyáltalán milyen időtartamra végezhetők el a numerikus előrejelzések. A káoszelméletet az előrejelzés problémájára alkalmazva kimutatható, hogy a hézagos időjárási megfigyelőhálózat miatt a kezdeti mezőnél, tehát minden numerikus módszer kezdeti feltételeinél az elháríthatatlan hibák annyira megnövekedhetnek, hogy az előre kiszámított meteorológiai folyamatok 5 napnál több, de még legföljebb 10 napra is, illuzórikusak. Itt a legkorszerűbb számítógépek sem tudják az akadályt megszüntetni. Úgy látszik tehát, hogy ismét az empirikus út az, amely számunkra további segítséget nyújthat. Régóta tudjuk, hogy az elmúlt időjárás alakulásában információk halmozódnak fel, amelyek számunkra a várható időjárás alakulásában sztochasztikus tájékoztatást nyújthatnak, és lehetőséget adhatnak az elméleti úton tornyosuló új akadályok – egyenlőre részbeni – leküzdésére. Szeretnénk remélni, hogy a következő nemzedéknek sikerül majd a továbbhaladás. Jókívánságaink kísérjék őket ezen az úton.

(Németből fordította Lépp Ildikó)

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 4. szám, 1986. július—augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 90. No 4. July—August 1986 Budapest

Napsugárzásmérleg és fényhasznosulás kukoricaállományban

HUNKÁR MÁRTA, *Központi Meteorológiai Intézet Agrometeorológiai Kutató Állomás, H—8361, Keszthely, Pf. 80.*

Solar radiation balance and efficience in a maize stand. In the paper the shortwave radiation and PAR balance are performed on the basis of recorded radiation flux data within and over a maize stand in the vegetation period of 1984 at Keszthely. Compartments of balances are given week by week. There is also a comparison of the radiation balance of the maize stand as a layer and as a surface, respectively. Dynamics of efficience of maize are also shown by different methods. The average value of efficience of maize for the whole vegetation period, on the base of absorbed PAR is 9.3%, the maximum value is 17% in 1984.

⁂

Napsugárzásmérleg és fényhasznosulás kukoricaállományban. A dolgozatban a szerző 1984 tenyészidőszakában kukoriacállományon belüli és fölötti folyamatosan regisztrált sugárzásmérések alapján bemutatja az állomány mint réteg és mint aktív felszín rövidhullámú és fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) mérlegét. A mérleg egyes komponenseit hetenkénti bontásban közli. Ugyancsak hetenkénti bontásban mutatja be a fényhasznosulás dinamikáját, és összehasonlítja a különféleképpen meghatározott rendelkezésre álló energiamennyiségek alapján számított hatékonysági mutatókat. Az elnyelt PAR szerint meghatározott efficiencia egész tenyészidőszakra vonatkozó átlagértéke: 9,3%, maximális értéke pedig 17% volt az adott évben.

⁂

A zöld növények számára a napsugárzás energiája biztosítja a fejlődésükhöz és növekedésükhöz szükséges energiát; egyrészt sugárzási energia formájában, amely a fotoszintézisben közvetlenül kémiai energiává alakul, másrészt hőenergiává alakulva befolyásolja a talajjal és növénnyel kölcsönhatásban azokat a környezeti paramétereket, amelyek visszahatnak a fiziológiai folyamatokra — így a talajhőmérsékletet, növényhőmérsékletet, a potenciális párolgást stb.

A növényállományok aktív felszínén lejátszódó energiaátalakulási folyamatokat Magyarországon is többen tanulmányozták (*Dávid*, 1962, 1977, 1986, 1986; *Tárkányi*, 1959; *Anda*, 1984), megállapítva a sugárzásegyenleget nagymértékben meghatározó albedó értékeit a különböző növényállományokra az egyes fenológiai fázisokban.

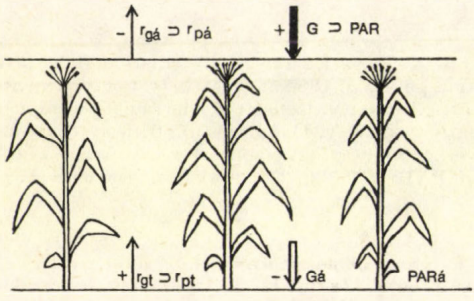
Jelen vizsgálatunk célja megbecsülni a növényállománynak mint rétegnek a sugárzási mérlegét a rövidhullámú tartományban, ezen belül a fotoszintetikusan aktív tartományban külön is. A teljes hőmérlegben a hosszúhullámú be- és kisugárzást is figyelembe kell venni, de ennek kísérleti meghatározására az állományon belüli méréshez nem állt rendelkezésünkre megfelelő műszer.

Figyelmünket elsősorban a produkciót meghatározó fotoszintetikusan aktív tartományra irányítottuk azon célból, hogy a növényállomány fényhasznosulását a fotoszintetizáló apparátussal ténylegesen érintkezésbe kerülő

PAR alapján határozzuk meg, s ezt összevessük a más módon meghatározott efficiencia-értékekkel. Tekintettel ugyanis arra, hogy a növényhez eljutó sugárzást általában a vízszintes szabad felszínre jutó globálsugárzás alapján szokták meghatározni, s így az állománystruktúrától nagymértékben függő – nem annyira a növényre, mint inkább az agrotechnikára és a fejlődési fázisra jellemző értékeket kapunk. Egy-egy növényfajta potenciális biomasszatermelési képességét az ilyen mutató kevésbé, illetve csak közvetett módon tükrözi.

Anyag és módszer

1984 tenyészidőszakában Keszthelyen az agrometeorológiai kutatóállomás 0,3 ha-os kísérleti területén SZTC – 255 fajtájú kukoricaállományban végeztük méréseinket, a sortávolság 70 cm, a tőtáv 20 cm volt, a sorok kelet – nyugat



1. ábra: A rövidhullámú, illetve *PAR*-mérleg komponensei: *G*, *PAR* – beérkező; $G_á$, $PAR_á$ – az állomány aljára lejutó; r_{gt}, r_{pt} – a talajfelszínről reflektált; $r_{gá}$, $r_{pá}$ – az állomány felszínről reflektált sugárzás

irányításúak voltak. A vízszintes szabad felszínre érkező rövidhullámú globálsugárzást Kipp – Zonen-típusú piranométerrel mértük, mely az állománytól 30 m-re déli irányban 2 m magas állványon helyezkedett el. Az állomány rövidhullámú reflexsugárzását Janisevszkij-típusú piranométerrel mértük, mely az állomány fölött 1,5 m-rel, a szélétől pedig minimum 10 m-rel volt elhelyezve. Az állomány aljára jutó rövidhullámú globálsugárzást Schulze-típusú piranométerrel mértük, mely a talajon elhelyezett vízszintes lapon állt. A *PAR*-t (400 – 700 nm tartományban) LI – 190SB típusú kvantum szenzorral mértük mind a beérkező mind a reflektált sugárzást az állomány fölött és az állomány alatt a talajtól 20 cm-re. A kvantum szenzor foton-fluxust mér, így a regisztrált értékeket utóbb energiaegységre számítottuk át. A talajfelszín rövidhullámú reflexsugárzását becslés alapján állapítottuk meg oly módon, hogy az állomány aljára lejutó globálsugárzás 20%-át vettük, mely megfelel az agyagos csupasz talaj átlagos albedójának.

A folyamatosan regisztrált sugárzásintenzitásból kiszámítottuk a hetenként 1 m² felszínre érkező és onnan reflektált sugárzási energiát mind az állomány felszínére, mind pedig az aljára vonatkozóan. A hetenkénti összegzés azért volt célszerű, mert a biomasszára vonatkozó méréseinket is hetenként végeztük. Ily módon az állománynak, mint rétegnek a rövidhullámú ($R_{áll}$), illetve fotoszintetikusan aktív ($PAR_{áll}$) sugárzás egyenlegében pozitív előjellel vesszük figyelembe az állomány tetejére beérkező sugárzást (G, illetve PAR) és a talajfelszínről visszaverődő sugárzást (r_{gt}, ill. r_{pt}) negatív előjellel pedig az állomány aljára lejutó sugárzást ($G_á$, ill. $PAR_á$), valamint az állomány felett érzékelhető reflex sugárzást ($r_{gá}$, ill. $r_{pá}$). A mérleg tehát a következő:

$$R_{áll} = G + r_{gt} - r_{gá} - G_á \qquad (1)$$

a rövidhullámú tartományban, és

$$PAR_{áll} = PAR + r_{pt} - r_{pá} - PAR_{á} \quad (2)$$

a fotoszintetikusan aktív tartományban *(1. ábra)*.

1984-ben a kukoricát április 27-én vetettük, a kelés május 14-én volt 50%-os. Az állomány aljára lejutó sugárzást június 14-én kezdtük mérni. Hetenként állítottuk elő a rövidhullámú és *PAR* sugárzási mérleg egyes komponenseit MJm^{-2} $hét^{-1}$ dimenzióban. Az állományból vett minta alapján meghatároztuk az adott héten egységnyi talajfelszínen képződött növényi szárazanyag mennyiségét és a levélterület-indexet. A minta 10 elemű volt mind a szárazanyag, mind a levélterület meghatározásánál. A kukorica növény gyökerét is kiástuk, így szárazanyagon a teljes növény szárazanyagát értjük. A gyökerek kiásása és kimosása ilyen tömegben és rendszerességgel természetesen rejt hibát magában, hiszen a hajszálgyökerek egy részét el kell szakítani, de mivel ezek tömege nem túl jelentős a vastagabb gyökerek tömegéhez képest, a teljes tömeget jobban közelítjük, mintha csak a föld feletti részek tömegével számolnánk, s ez lényeges, hiszen a gyökér szárazanyaga is a fotoszintézis során képződő asszimilátumokból alakul ki.

A kukorica szárazanyag energiatartalmának meghatározására az adott esetben nem volt módunk, ezért itt az irodalom által közölt értékkel számoltunk, mely 16,3 kJg^{-1} (*Usztenko*, 1963). A fényhasznosulás hetenkénti értékeit a következő képlettel határoztuk meg (*Tooming*, 1977):

$$\eta = qY/W \cdot 100\% \quad (3)$$

ahol η – a fényhasznosulás (efficiencia), %

q – a növény energiaértéke (kJg^{-1})

Y – az egységnyi területen egy hét alatt képződött szárazanyag ($g\ m^{-2}$ $hét^{-1}$)

W – a sugárzási energia mennyisége az adott héten (kJm^{-2} $hét^{-1}$)

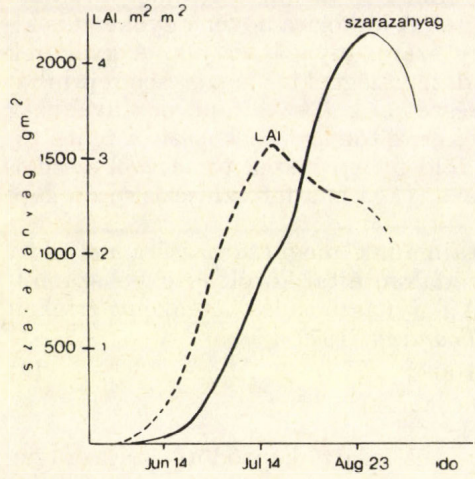
Attól függően, hogy W-t milyen sugárzásból (beérkező vagy elnyelt, klímaátlag vagy aktuális) határozzuk meg, eltérő értékeket kaphatunk. A fotoszintetikusan aktív sugárzás mérése egyelőre csak kevés helyen valósítható meg, ökológiai számításoknál a *PAR*-t általában a globálsugárzásból számítják egyszerűen 0,5-ös szorzóval. Szokás továbbá a vízszintes felszínre beérkező sugárzási energiával számolni. Ebből viszont számottevő rész úgy jut le a talajfelszínre, hogy a növénnyel nem is érintkezik, a jelentős nagyságú levélterület ellenére is a levelek kölcsönös árnyékolása miatt a ténylegesen interceptált sugárzás kevesebb, mint az állomány feletti felszínre érkező. A növény energiaátalakító képességét viszont az jellemzi jobban, ha a ténylegesen felvett sugárzáshoz viszonyítjuk a produkciót. Az összehasonlítás érdekében az efficienciára vonatkozó számításokat többféle sugárzási energia meghatározással is elvégeztük.

Eredmények

Az 1984. év tenyészidőszakában mért kukorica szárazanyag mennyiségének és levélterület-indexének alakulását mutatjuk be a *2. ábrán*, vastag vonallal jelölve azon periódusban, mikor az állomány alján is történt sugárzásmérés. VI. 14. és VIII. 23. között a növényi szárazanyag folyamatosan gyarapodott. A levélterület-index maximumát a július 19-i méréskor tapasztaltuk, ezután az alsó, majd a felső levelek leszáradása indult meg, végül szeptember elején a zöld asszimiláló felület már rohamosan csökkent.

Az *I. táblázat*ban a rövidhullámú sugárzási mérleg komponenseinek hetenkénti értékeit mutatjuk be. A táblázat 7. oszlopában feltüntettük az állo-

mány aktív felszínének rövidhullámú sugárzási mérlegét is, melyet az állomány fölött érzékelt bejövő, illetve reflektált rövidhullámú sugárzási energia különbségeként állítottunk elő, s amely érték tulajdonképpen ebben a tartományban azt az abszolút energiát jelenti, amellyel a talaj – növény – levegő rendszer gazdálkodik, amennyiben a légmozgásból eredő horizontális energia-advekciótól eltekintünk, s ez utóbbi elhanyagolását joggal megtehetjük, mivel ennek spektruma már a hosszúhullámú tartományba esik.



2. ábra: SZTC – 255 kukorica szárazanyag és levélterület-index alakulása, 1984 Keszthely

Összevetve az állománynak mint rétegnek a sugárzási mérlegét az aktív felszín sugárzási mérlegével (a kettő hányadosát tartalmazza a táblázat 8. oszlopa), azt tapasztaljuk, hogy a biomassza növekedésével az arány egyre nő, vagyis az állományban lejátszódó energiatranszformáció a talajon lejátszódó energiacseréhez képest egyre nagyobb mértékűvé válik. Az állomány mikroklímájának kialakításában tehát eleinte inkább a talaj sajátságainak nagyobb a jelentősége, később egyre inkább az állomány struktúrája – magassága, levélterülete és főként a biomassza mennyisége – az, amely meghatá-

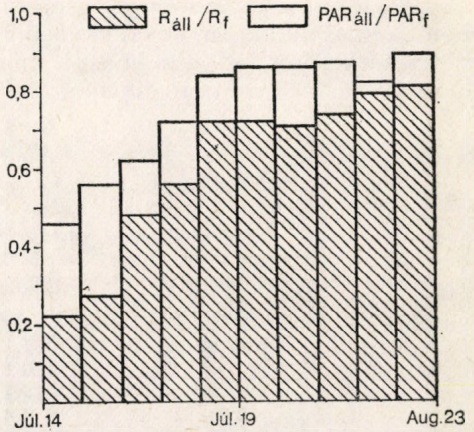
I. TÁBLÁZAT

Kukoricaállomány rövidhullámú sugárzásmérlegének komponensei (MJm^{-2} hét^{-1})
(G – állományon kívüli globálsugárzás, r_{gt} – a talajfelszínről reflektált sugárzás, $r_{gá}$ – az állomány feletti reflexsugárzás, $G_á$ – az állomány alatti globálsugárzás, $R_{áll}$ – az állomány mint rétegsugárzás mérlege, R_t – az állomány aktív felszínének sugárzásmérlege a rövidhullámú tartományban, *1984 Keszthely*)

Időtartam	G	r_{gt}	$r_{gá}$	$G_á$	$R_{áll}$	R_t	$R_{áll}/R$
jún. 14 – 20.	169,361	27,098	30,138	135,489	30,832	139,223	0,221
jún. 21 – 27.	150,821	23,062	25,030	115,311	33,542	125,791	0,267
jún. 28 – júl. 4.	123,984	13,152	22,400	65,761	48,975	101,584	0,482
júl. 5 – 11.	170,306	15,379	29,668	76,985	79,125	140,638	0,563
júl. 12 – 18.	139,442	7,800	26,810	39,041	81,391	112,632	0,723
júl. 19 – 25.	149,395	8,342	27,992	41,710	88,035	121,403	0,725
júl. 26 – aug. 1.	117,972	6,888	22,195	34,439	68,230	95,777	0,712
aug. 2 – 8.	145,295	7,723	28,844	38,618	85,556	116,451	0,735
aug. 9 – 15.	134,788	5,741	22,751	28,704	89,073	112,037	0,795
aug. 16 – 23.	150,944	5,926	28,054	29,631	99,185	122,890	0,807

rozza azt a tényleges energiahányadot, amely az állományon belül transzformálódik. A biomassza elsődleges szerepét látjuk abban is, hogy július 19. után a levélterület már csökkent, de a transzformálódó energia aránya, ha kismértékben is, de az időszak végére újra nőtt.

A fotoszintetikusan aktív sugárzási tartományban a mérleg egyes komponenseit a *II. táblázat* tartalmazza. A mért állomány-reflexió szerint a *PAR* albedó-értéke 4–6%, ami jó egyezést mutat irodalmi értékekkel (*Uchijima*, 1975). A *PAR*-tartománybeli talajreflexió 11–36%, átlagos értéke 25%.



3. ábra: Az állománymérleg és az aktív felszín mérlegének aránya a *PAR* és a rövidhullámú tartományban kukoricaállományban 1984 Keszthely,

Az állomány által elnyelt sugárzás ($PAR_{áll}$) mellett feltüntettük az aktív felszín *PAR* mérlegét is ($PAR_{mérleg}$), továbbá a kettő arányát (II. táblázat 8. oszlop). Utóbbi mutatja, hogy az adott sugárzási tartományban rendelkezésre álló energia hányad része transzformálódik az állomány által. A *PAR*-tartományban ez a hányad 46–89% közötti, eleinte gyorsan növekszik, majd később kevésbé változik. A $PAR_{áll}/PAR_{mérleg}$ aránya, összehasonlítva a tágabb rövidhullámú tartomány ugyanilyen mutatójával, hétről hétre rendszeresen nagyobb a *PAR*-tartományban. A fotoszintetizáló apparátus nagyságának és

II. TÁBLÁZAT

Kukoricaállomány fotoszintetikusan aktív sugárzási mérlegének komponensei (MJm^{-2} hét^{-1}) PAR – az állomány fölött mért fotoszintetikusan aktív sugárzás, r_{pt} – a talajfelszín PAR reflexiója, r_{ga} – az állomány felszín PAR reflexiója, $PAR_á$ – az állomány talajára érkező PAR, $PAR_{áll}$ – az állomány mint réteg PAR-mérlege, PAR_f – az állomány aktív felszínének PAR-mérlege, 1984 *Keszthely*

Időtartam	*PAR*	r_{pt}	$r_{pá}$	$PAR_á$	$PAR_{áll}$	PAR_f	$PAR_{áll}/PAR_{mérl.}$
jún. 14–20.	61,362	3,874	3,25	35,167	28,819	58,112	0,462
jún. 21–27.	51,222	2,779	2,65	24,147	27,204	48,573	0,560
jún. 28–júl. 4.	44,079	2,765	2,10	18,723	26,021	41,979	0,620
júl. 5–11.	63,101	5,943	3,98	22,618	42,446	59,121	0,718
júl. 12–18.	52,328	3,898	3,21	11,823	41,193	49,118	0,838
júl. 19–25.	53,548	2,688	2,15	9,567	44,521	51,398	0,866
júl. 26–aug. 1.	47,072	2,722	2,41	8,778	38,656	44,662	0,866
aug. 2–8.	54,332	3,747	3,36	10,422	44,297	50,972	0,869
aug. 9–15.	43,586	2,334	1,90	9,966	34,054	41,686	0,817
aug. 16–23.	52,575	3,385	1,89	9,123	44,947	50,685	0,886

a biomasszának az együttes hatására utal az, hogy a csökkenő levélterület és a növekvő szárazanyag periódusában az arány lényegében állandó *(3. ábra)*.

Az állomány mint réteg *PAR*-mérlege jelenti azt az energiamennyiséget, ami a fotoszintézisre rendelkezésre áll. Ezen energia nagy része disszipálódik (hővé alakul), s csak töredéke fixálódik a biomasszában. A fotoszintézisben megkötött energia jelentős része a respiráció folyamatában újra felszabadul, ez szintén csökkenti a produkció hatásfokát.

Mivel az emberiség számára a Nap az egyetlen ingyenes és belátható időn belül kimeríthetetlen energiaforrás, jogos a mezőgazdászok azon törekvése, hogy a termesztett növények a napsugárzás energiáját a legnagyobb mértékben használják ki. Ennek érdekében megfelelő produktív fajtákat, illetve olyan vetésszerkezetet kell alkalmazni, amely biztosítja a lehető legnagyobb fényhasznosulást. Kvantumkémiai számítások alapján a maximális fényhaszno-

III. TÁBLÁZAT

A kukorica fényhasznosulása (%) a rövidhullámú globálsugárzásból ($\eta G/2$), a beérkező PAR alapján (ηPAR), az elnyelt PAR alapján (ηPAR_{ell}) 1984 tenyészidőszakában Keszthelyen

Időtartam	$\eta_{G/2}$	η_{PAR}	$\eta_{PAR_{ell}}$
jún. 14 – 21.	1,1	1,5	3,3
jún. 22 – 28.	3,1	4,6	8,6
jún. 29 – júl. 5.	5,7	8,0	13,6
júl. 6 – 12.	4,4	5,9	8,8
júl. 13 – 19.	5,0	6,6	8,4
júl. 20 – 26.	3,9	5,4	6,5
júl. 27 – aug. 2.	11,1	13,9	17,0
aug. 3 – 9.	7,8	10,5	12,9
aug. 10 – 16.	5,6	8,8	10,3
aug. 17 – 23.	2,4	3,4	4,0

sulás 28% körüli (*Ross*, 1975). Természetesen a tényleges érték növényfajtától, környezeti feltételektől és az agrotechnikától erősen függ. A növény potenciális produkcióképességét optimális viszonyok között az asszimiláló felületet ténylegesen érő fotoszintetikusan aktív sugárzás beépülési aránya alapján jellemezhetjük. Növényállományok esetén ezt jól jellemezhetjük az állomány által elnyelt *PAR* alapján számított efficienciával.

A *III. táblázatban* a különbözőképpen számított efficiencia-értékeket mutatjuk be a kelés utáni 4. héttől kezdődően, hetenkénti bontásban. Az első oszlopban a beérkező globálsugárzás heti összegét feleztük, a második oszlopban a ténylegesen mért beérkező fotoszintetikusan aktív sugárzás energiáját vettük, a harmadik oszlopban pedig az általunk meghatározott elnyelt *PAR* alapján számított efficiencia-értékeket tüntettük fel.

Megállapíthatjuk, hogy a mért beérkező PAR alapján számított efficiencia nagyobb, mint a globálsugárzás felezésével meghatározott érték. Vagyis méréseink szerint a PAR nem egyezik meg a rövidhullámú globálsugárzás felével; az átszámítási szorzó $0{,}37 \pm 0{,}08$, melyet a napi összegek alapján állapítottunk meg.

Az elnyelt *PAR* alapján számított efficiencia-mutató értéke a legnagyobb – maximuma július végén – augusztus elején volt: 17%. A tenyészidőszakra vonatkozó átlagos értéke 9,3%.

Az elnyelt *PAR* meghatározására viszonylag kevés helyen van lehetőség,

ezért érdemes kapcsolatot keresni a beérkező globálsugárzás felezésével számított és az elnyelt *PAR* alapján meghatározott efficiencia-mutatók között. A kétfajta érték közötti kapcsolat szoros $r = 0{,}934$ korrelációs koefficienssel jellemezhető, s a lineáris regressziós egyenlet a következő:

$$\eta_{PAR} = 1{,}4\,\eta_{G/2} + 2{,}3 \qquad (4)$$

A 4-es egyenlet módot nyújt arra, hogy a növény produkcióképességét jól tükröző mutatóhoz jussunk a hálózatszerűen mért globálsugárzás adataiból.

Összefoglalás

1984 tenyészidőszakában kukoricaállományban végzett sugárzásmérések és a párhuzamosan végzett tömegmérések eredményeit a következőkben foglalhatjuk össze:

1. A növényállomány által transzformált rövidhullámú sugárzási energia arányosan növekszik a biomasszával és a teljes rövidhullámú tartományban rendelkezésre álló energiának 0,2→0,8 részét teszi ki.

2. A fotoszintetikusan aktív tartományban az állomány által transzformált energia 0,4→0,9-ed része az állomány feletti PAR-mérlegnek és szintén növekszik a biomassza növekedésével, de ebben a tartományban jelentős szerephez jut az asszimiláló felület nagysága is.

3. Az efficiencia hetenkénti értékei határozott szezonális menetet mutatnak, melynek maximuma a levélterület maximumának kialakulása és a maximális biomassza kialakulása közötti időszakra esik. (Korábbi mérések is hasonló menetet mutattak (*Hunkár*, 1984, 1986)

4. Az állomány által elnyelt *PAR* alapján számított efficiencia és a globálsugárzásból számított efficiencia között szoros lineáris kapcsolat van, így utóbbi ismeretében a növény produkcióképességét jobban jellemző efficiencia-mutatóhoz juthatunk.

IRODALOM

Anda, A., 1984: A cementgyári szállópor hatásának vizsgálata kukoricaállományban. Egyetemi doktori értekezés, ATEK.

Dávid, A., 1962: Albedómérések eredményei a Marcell György Obszervatórium területén. *Beszámolók OMSZ Hiv. Kiadv. XXVI.*172-176.

Dávid, A., 1977: Sugárzásháztartás a Fertő tavon. *OMSZ Kisebb Kiadv. 43.*

Dávid, A., 1986: Az albedó alakulása Magyarországon, az 1951–1980-as periódusra végzett számítások alapján. Beszámolók az 1984-ben végzett tud. kutatásokról. (In print.)

Dávid, A., – *Takács, O.* 1986: A rövidhullámú sugárzási egyenleg Magyarországon. *Időjárás 90.* 24–31.

Hunkár, M., 1984: A napsugárzás és a növényállományok viszonya különös tekinetttel a fotoszintetikusan aktív sugárzás kukoricaállományba történő behatolására és hasznosítására. Egyetemi doktori értekezés, ELTE.

Hunkár, M., 1986: Kukoricaállomány fotoszintetikus aktivitása. (In print.)

Ross, J., 1975: Radiative transfer in plant communities. In: *Vegetation and atmosphere* I. (szerk.: Monteith, J. L.) 13–55. Academic Press, London – New York.

Tárkányi, Zs., 1959: Balatoni albedómérések. *Időjárás 63*, 100–102.

Tooming, H. G., 1977: *Szolnecsnaja radiacii i formirovanyije urozsaja.* Gidrometeoizdat, Leningrad.

Uchijima, T., 1975: Maize and rice. In: *Vegetation and atmosphere* (szerk.: Monteith, J. L.). Academic Press, London – New York.

Usztenko, G. P., 1963: Fotoszinteticseszkaja dejatelnoszty rasztenyij v poveszah kak osznova formirovanyija viszokih urozsaev. Fotoszintez i vaproszi produktivnoszti rasztenij 37–70, Moszkva.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 1. szám. 1986. július – augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 4. July – August 1986 Budapest

Jetek felismerése műholdképeken

GYENES LAJOS, *Központi Légkörfizikai Intézet, H—1675 Budapest, Pf. 39*

Recognition of jets on satellite images. The paper is dealing with the possibility of recognition of jet streams on satellite images. The investigation was carried out by using both the infrared and the visible images of NOAA – 7, received in 1983. At first the paper reviews those cloud characteristics on the basis of which the jets can be identified, then the results achieved are shown. The research was carried out in three categories, applying seasonal resolution. For the individual seasons to a certain extent different results have been obtained, being in line with the variations of the European cloud fields and the jets. The 57 per cent level of recognition provides a good basis for the practical application analysis by satellite images.

*

Jetek felismerése műholdképeken. Jelen tanulmány a jetek műholdképek alapján történő felismerhetőségét tárgyalja. A vizsgálatot az 1983-as évre végeztük el a NOAA – 7 műhold infravörös és látható tartományban készült képeinek a felhasználásával. Először ismertetjük azokat a felhőzeti karakterisztikákat, amelyek alapján azonosíthatók a jetek, majd bemutatjuk a kapott eredményeket. A vizsgálatot három kategóriában, évszakos felbontást alkalmazva végeztük el. Az egyes évszakokra kissé eltérő eredményeket kaptunk, összhangban a jet és az európai felhőzeti mező változásaival. A teljes évre vonatkozó 57%-os felismerhetőség jó alapot nyújt a műholdképes analízis gyakorlati felhasználására.

*

Bevezetés. A jet keskeny zónába koncentrálódott légáramlás a felső troposzférában és a sztratoszférában, mely erős sebességgradienssel, csaknem horizontális tengellyel, valamint egy vagy több sebességmaximummal jellemezhető. Alakjuk és intenzitásuk erősen változó.

Elhelyezkedésük alapján a jeteknek több fajtáját különböztetjük meg, amelyek ugyanakkor évszakos változékonyságot is mutatnak. A legkarakterisztikusabb a polárfronti és a szubtrópusi jet. Ezek jelentőségét elsősorban a szinoptikus rendszerekkel való kölcsönhatásuk adja. Annak ellenére, hogy a troposzféra felső részében találhatók, közvetve szerepet játszanak a felszínközeli időjárás alakításában is. Az általuk keltett turbulencia a repülés számára jelent veszélyforrást. A zivatarfelhőkre, ezek szerkezetétől függően, nyíró, vagy erősítő hatást fejtenek ki. Ez utóbbi esetben erős jégesőképződés jöhet létre, kárt okozva a mezőgazdasági kultúrákban.

A műholdképes vizsgálatot a szélmező és a felhőmező között fennálló szoros kapcsolat teszi lehetővé. Amerikai kutatók (*Oliver* et al. 1964, 1966) már a 60-as évek elején rámutattak, hogy a képeken látható karakterisztikák alapján az esetek jelentős részében analizálhatók a jetek, sőt az intenzitásukra, mozgásukra is következtetni lehet. Az ilyen típusú vizsgálatoknak jelentő-

séget ad az, hogy eredményeik beépíthetők a mindennapos prognosztikai munkába. Így a jetek műholdképes analízise is hasznos információkat szolgáltathat az időjárás előrejelzéséhez, hiszen intenzitásukból, elhelyezkedésükből következtetni lehet a magassági teknők és gerincek elhelyezkedésére, valamint fejlettségére. E témakörben a vizsgálatok nagy részét még a 60-as években végezték. Az azóta eltelt időszakban viszont jelentős fejlődésen ment keresztül a műholdtechnika és az adatfeldolgozás. Javult a felbontóképesség, a műholdképek minősége, valamint a képek vételi lehetősége. A hurokfilmtechnika segítségével lehetővé vált a jetek mozgásának (áthelyeződésének) a megjelenítése, sőt szélvektorok számítása is a felhőzeti karakterisztikák alapján. Magyarországon *Tänczer* (1979) foglalta össze a műholdas adatok felhasználásának eredményeit, lehetőségeit.

Jelen tanulmányban a jetek műholdképes vizsgálatát az 1983-as évre végeztük el Európa területére vonatkozóan. Figyelembe vettük Észak-Afrika térségét is, a szubtrópusi jet néhány felhőzeti sajátosságának megállapítása végett. A jetek felismeréséhez a NOAA–7 műhold délutáni képeit használtuk fel. Január és február hónapokban csak az infra, a további 10 hónapban viszont a látható tartományban készült képeket is.

A jetek felhőzetének és helyzetének pontos megállapításához az Europäischer Wetterbericht 00 és 12 GMT-s térképeit és az Előrejelző Intézetben készült 12 GMT időpontra vonatkozó 250 és 400 mb-os AT topográfiákat használtuk fel.

1. *A jetek műholdképes analízise*

A jetek műholdképek alapján történő felismerését a következő feltételek segítik elő:

- Az esetek nagy részében sajátos Cirrus-felhőzet tartozik hozzájuk.
- Szoros kölcsönhatásban vannak más szinoptikus rendszerekkel, így a ciklonokkal és anticiklonokkal.
- A bennük levő nagy szélsebességek és szélnyírásértékek, más kedvező körülményekkel párosulva, meghatározott felhőformákat hoznak létre, illetve hatást gyakorolnak a már meglevő felhőzetre.

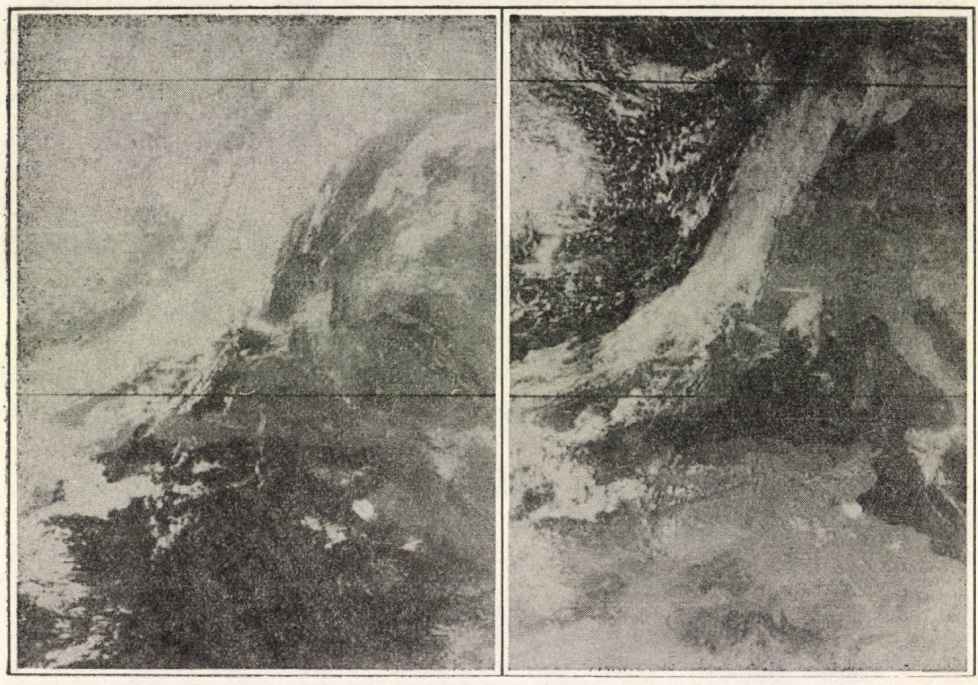
A fentiek alapján a jetek felismerését, analizálását a következő felhőzeti karakterisztikák, sajátosságok alapján lehet elvégezni.

1.1 *Cirrus-felhőzet található a jet tengelye mentén.* A jetre jellemző Cirrus-felhőzet kialakulásának oka a jet körüli cirkuláció. A cirkuláción belül felszálló mozgás az áramlás irányát tekintve a jet jobb oldalán jön létre, kedvező légköri feltételeket teremtve a felhőképződéshez. Amennyiben a telítési viszonyok megfelelők és elegendő mennyiségű kondenzációs mag is jelen van, ezen a területen alakul ki a jellegzetes Cirrus-felhőzet. A jetek ritkán alkotnak tiszta zonális áramlást, az esetek legnagyobb részében meanderező mozgást végeznek. Rendszerint a magassági teknőket és gerinceket övezik. A felhőzet kialakulásához a legkedvezőbb feltételek a teknő előoldalán jönnek létre, ez ugyanis a felszálló mozgások területe. A műholdképek analízise szerint cirroformis felhőzet három alapvető formában jöhet létre:

– Cirrus-csík, vagy -csíkok a jet tengelye mentén. Bármely szakaszon létrejöhetnek. Az esetek nagy részében azonban nem összefüggően húzódnak a tengely mentén. Ez a felhőzettípus leginkább a teknő hátoldalán jellemző. A hosszuk 500–1500 km, szélességük 100 km-ig terjed, de repülőgépes meg-

figyelések szerint olyan keskenyek is lehetnek, amelyek már a műhold felbontóképessége alá esnek.

– Cirrus-sáv. A teknő előoldalának és a gerinc hátoldalának a jellemző felhőzete. Hossza szárazföld felett 500–1700 km, az Atlanti-óceán felett azonban néhány alkalommal 2000 km-nél is hosszabb Cirrus-sáv húzódik a tengely mentén. Szélessége 100–400 km-re tehető.



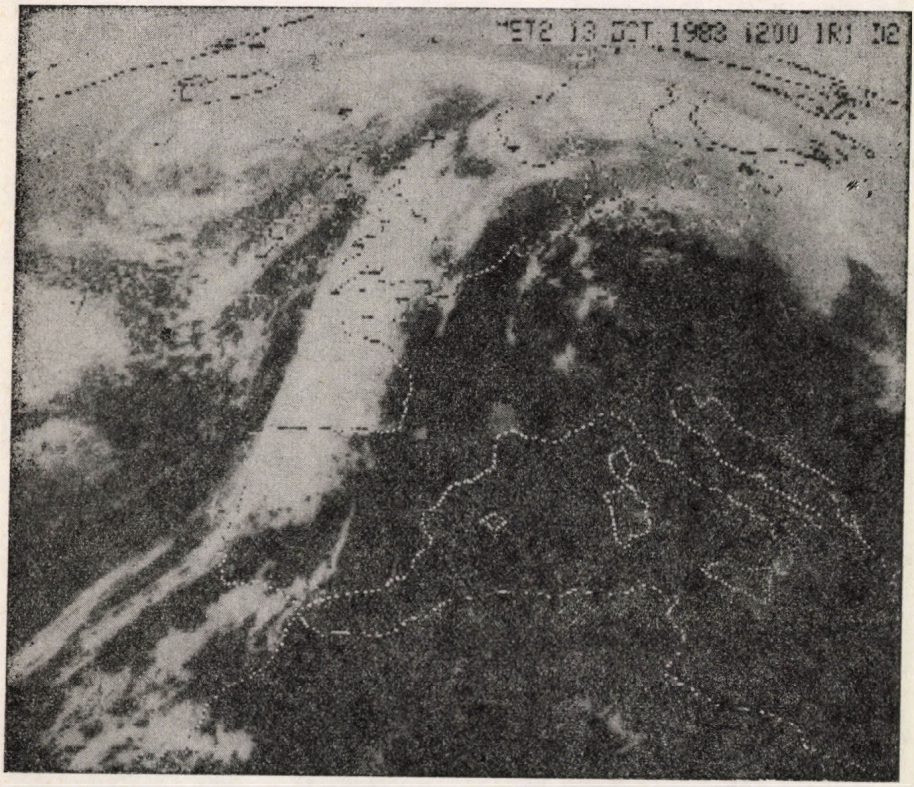
1. ábra: NOAA–7 műholdkép, 1983. október 13. 12 GMT. A Portugália–Nagy-Britannia vonalon, a jet tengelye mentén Cirrus-sáv húzódik.

– Cirrus-felhőtömeg. Általában a téli félévben jelenik meg, és többnyire zonális áramlásnál, vagy pedig kis amplitúdójú hullámok gerincén, ill. a teknő előoldalán fedezhető fel. Hosszúsága 500–1000 km körül van, szélessége pedig 400–600 km-re tehető.

A fentieken kívül néhány esetben, amikor Európa szinte egész területén nagy szélsebességek fordultak elő, széles, keskeny sávokból álló Cirrus-felhőzet volt megfigyelhető, a maximális szél tengelyétől jobbra. Ez azonban az erős jetek esetére nem jellemző.

A Cirrus-sáv és -felhőtömeg sajátossága, hogy a jet tengelye mentén sima széllel végződik, ami feltehetően a horizontális szélnyírás nagy értékének, ill. a gradiensek előjelváltásának köszönhető. Ez az éles határ az esetek 70–80%-ában a jet tengelyét jelöli ki. A fennmaradó esetekben pedig a tengelytől jobbra 200 km-en belül található. Szovjet kutatók (*Minyina*, 1970; *Petrenko*, 1974) megfigyelései szerint a szélük az esetek közelítőleg 4%-ában a jet tengelyétől balra található. A mi vizsgálataink szerint ilyen eset nem, ill. csak jelentéktelen távolságra nyúlt át a Cirrus-felhőzet a bal oldalra.

Amennyiben az eddig leírt magas szintű Cirrus-felhőzet látható a műholdképen, nagy valószínűséggel lehet jet jelenlétére következtetni. A sima felhőszél alapján kijelölhető a tengely és a jet iránya is világossá válik. A cirroformis felhőzet mind az infra, mind a tv-képeken nagyon jól felismerhető, ha nincs jelen frontális felhőzet. Az *1. ábrán* a jet a Portugália—Nagy-Britannia vonalon húzódik. A NOAA—7 látható tartományban készült képén jól lát-



2. ábra: METEOSAT műholdkép, 1983. október 13. 12 GMT. A jet és az Izland környékén örvénylő ciklon felhőrendszere

ható a Cirrus-sáv, amely a jet tengelyének jobb oldalán, a frontális felhősáv hátsó szélénél húzódik. A *2.* és *3. ábrán* levő METEOSAT-képek ugyanerről a helyzetről készültek. A 3. képen számítógép segítségével kiemeltük a magas szintű felhőzetet, így a Cirrus-sáv jól látható, és kijelölhető a jet tengelye is.

1.2 *A magas szintű felhőzetben harántsávok láthatók.* A jet felhőzetének karakterisztikus jellegzetessége, hogy benne harántsávok jöhetnek létre. Ezek a mezostrukturális sajátosságok intenzív jetek felhőmezejében keletkeznek, főleg az erős vertikális és horizontális szélnyírás hatására, és erős turbulenciára utalnak a jet körül. A harántsávok többnyire a felhősávokra merőlegesen helyezkednek el, azaz merőlegesek a jetben levő légáramlásra. Néhány esetben azonban megfigyelhető, hogy a sávok a tengely normálisával szöget zárnak be. Ez azonban 45°-nál sohasem volt nagyobb. Minél intenzívebb a jet, annál kisebb ez a szög. Megjelenési formái a műholdképeken a következők:

— Fésűszerű megjelenés: ez a típus volt megfigyelhető Európa térségében,

közelítőleg 45 m/s-os szélsebességértékek felett. A létrejöttükhöz azonban nem elég a nagy sebesség és szélnyírásérték, más feltételek is szükségesek hozzá, hiszen az egyéves analízis során viszonylag kevés esetben volt látható. A sávok a cirroformis felhőzet középső részéről indulnak ki, és a jobb oldalán helyezkednek el. Szélességük 10—30 km-re, hosszúságuk 100—200 km-re tehető. Az évi vizsgálat során 28 esetben, az intenzív jetek közelítőleg 22%-ában



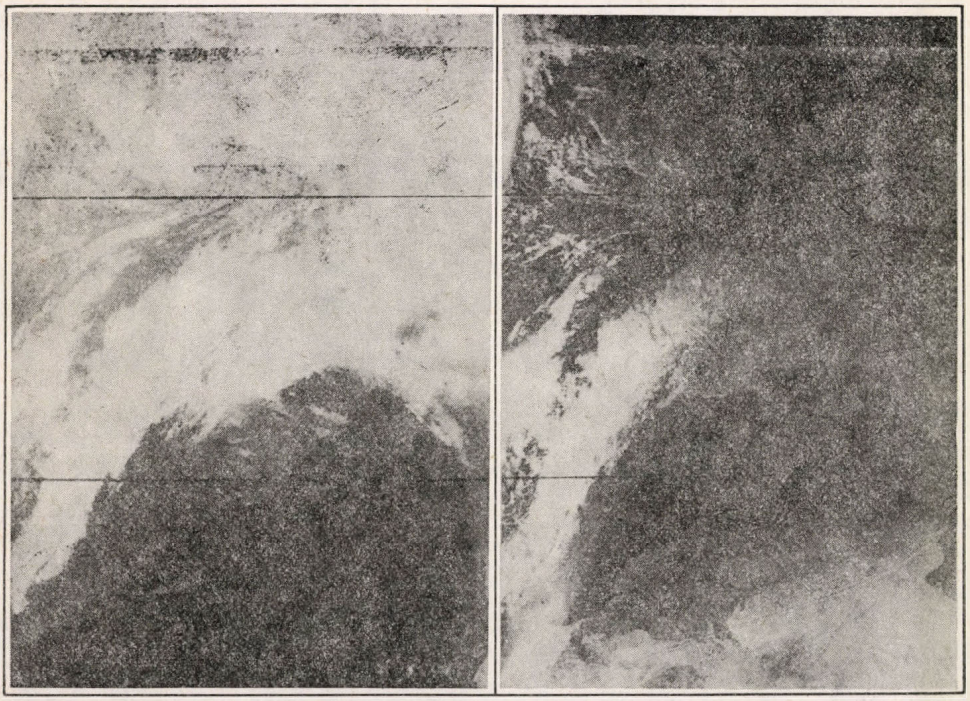
3. *ábra:* METEOSAT műholdkép, 1983. október 13. 12 GMT. A magas ^{2} zintű felhőzet kiemelése révén a jet felhőzete elkülönül a frontális felhősávtól

volt látható ez a felhőzeti sajátosság. A szárazföld felett kevésbé kifejezett, az Atlanti-óceán felett határozottabb volt a formája. Itt a harántsáv hossza 1000 km-es nagyságrendű volt.

— Tiszta keresztsávos megjelenés: ez a típus főleg Észak-Afrika felett figyelhető meg, azaz a szubtrópusi jet felhőzetének sajátossága. A sávok általában középen találhatók, két oldalt pedig vékony Cirrus-sáv húzódik az áramlás irányában. A sávok szélessége 20—80 km, hosszúságuk 100—500 km körül van, maga a felhősáv hossza pedig 1000 km-es nagyságrendű. Ez a típusú felhőzet 70 m/s feletti sebességű jet esetében jön létre. A műholdképeken az egy év alatt 8 esetben tűnt fel Egyiptom térségében, a téli félévben. A *4. ábrán* található NOAA—7 képen a jet Spanyolországtól nyugatra az Atlanti-óceán felett húzódik A felhősáv jobb oldalán jól látható a hosszan elnyúló harántsávos felhőzet..

1.3 *Frontális felhősáv és Cirrus-felhőzet együttesen jelenik meg.* Az esetek nagy részében a jet a felszínközeli frontokkal hosszú szakaszokon közel párhuzamosan fut. Általában 200—300 km-re mögöttük helyezkedik el. A meg-

figyelések tanúsága szerint a jet tengelye az esetek 60—70%-ában közelítőleg a frontális felhősáv hátsó szélénél jelölhető ki. A magassági teknő elülső, délkeleti részén mindig párhuzamos a tengely a felhősáv szélével. Ettől a helytől a teknő hátoldala felé, északi irányban hajlik el a felhősávtól, a gerinc

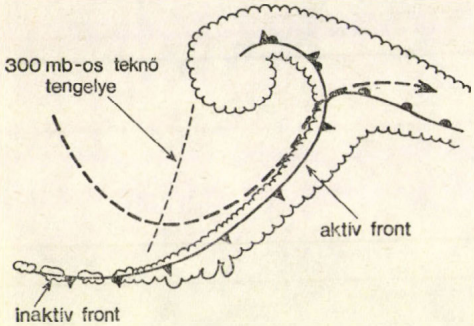


4. ábra: NOAA—7 műholdkép, 1983. december 24. 12 GMT. A képek jobb oldalán a jetet kísérő felhősáv jobb szélén harántsávos szerkezet látható

hátoldala felé haladva pedig a frontális felhősáv belseje felé tér el a jet tengelye.

1.4 *A jet és a kifejlett ciklonális felhőörvény kapcsolata.* A jet-tengely helyzete a ciklon felhőrendszere alapján nagy biztonsággal meghatározható. Ennek modelljét *Oliver* et al. (1966) írták le. Az Európa térsége feletti megfigyelések alapján kissé módosított modell az *5. ábrán* látható. A jet felhőzetének a széle általában a tengely görbületét követi. A magassági teknő tengelye körül ciklonális görbülettel rendelkezik, majd kiegyenesedik, végül a gerincen anticiklonális görbületet vesz fel. Ez a séma nagy amplitúdójú teknők és gerincek esetén érvényes. Sokszor fordul azonban elő, hogy Európa felett kis amplitúdójú, nagy hullámhosszú magassági hullámok fejlődnek ki. Ekkor, ha kedvezők a feltételek a felhőképződésre, szinuszoidális formájú Cirrus-felhőzet is kialakulhat a tengely mentén. A jet tehát a teknő délnyugati, déli részén fokozatosan megközelíti a ciklon külső felhősávjának a belső szélét, majd a teknő délkeleti részén, ahol a frontszakasz már aktív, a tengelye közel párhuzamossá válik a frontális felhősávval. A gerinctől kezdve viszont a jet anticiklonális irányítottságúvá válik, és keresztezi a ciklonálisan a ciklon-centrum felé irányuló frontális felhősávot. A keresztezés az esetek 90%-ában az okklúziós pont közelében megy végbe. Mivel a nagy ciklonokat csaknem

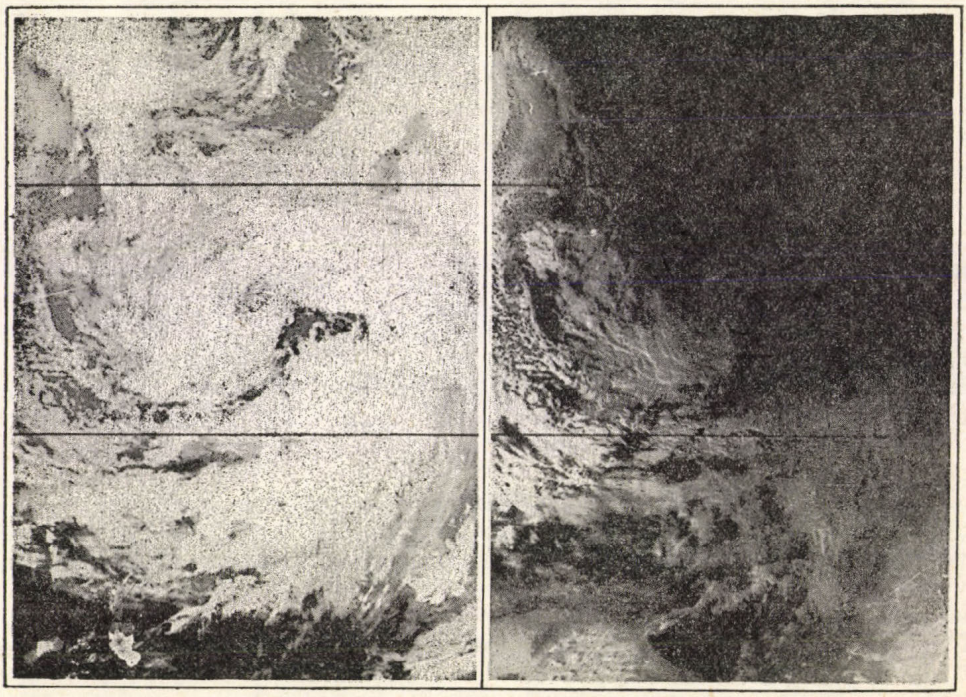
mindig övezi egy jet, a fent leírt kapcsolat alapján jól kijelölhető a jet tengelye akkor is, ha csupán szórványos Cirrus-felhőzet utal rá. A 6. *ábrán* erre a modellre mutatunk be konkrét példát. Európa felett hatalmas felhőörvény található. A teknő hátoldalán gomolyos felhőzet, a Pireneusok felett viszont intenzív hullámfelhőképződés figyelhető meg. A látható tartományban készült



5. ábra: A felhőörvény és a jet kapcsolata Európa térségében.

képen az áttetsző Cirrus-felhőzet is felismerhető a tengelytől jobbra. A jet az okklúziós pont közelében keresztezi a felhőörvényt.

Természetesen a ciklon korai fejlődési fázisaiban, valamint a degradálódás

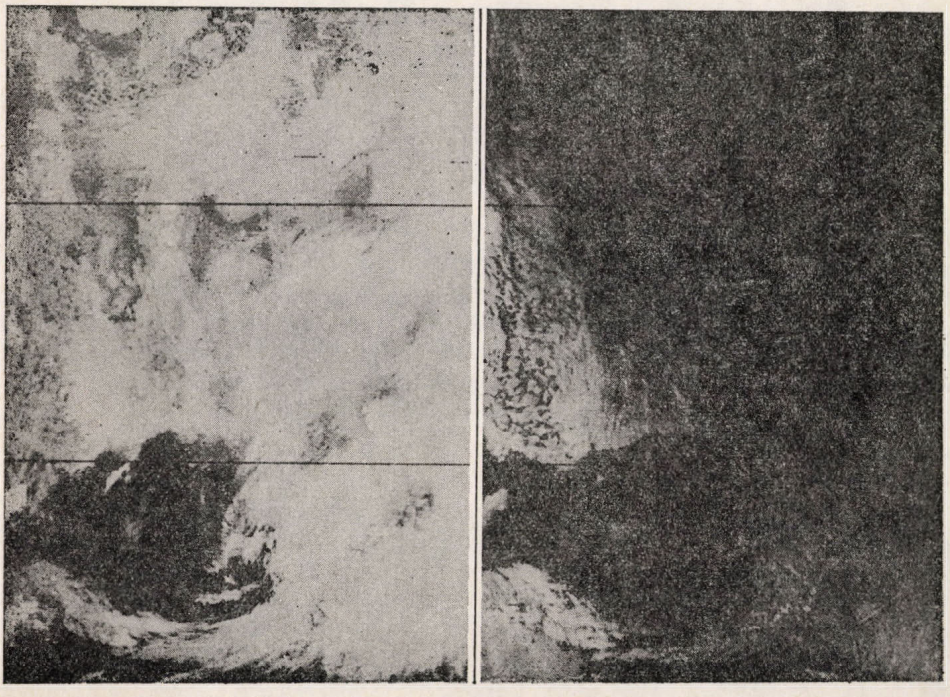


6. ábra: NOAA–7 műholdkép, 1983. november 27. 12 GMT. A felhőörvényben a jetre utaló felhőzeti karakterisztikák láthatók: hullámfelhők a képek bal alsó részén, a Pireneusok felett, valamint a jobb oldali látható tartományban készült képen magas szintű, fátyolos szerkezetű Cirrus felhőzet

időszakában ez a kapcsolat megváltozhat. Néhány esetben stabilis, hosszú ideig fennálló ciklonok esetén a jet teljes egészében ciklonális jellegűvé vált, és a leépülés időszakában körülvette a ciklont. A ciklon, ill. a teknő hátsó részében, ahol a jet nem párhuzamos a felhőörvény inaktív szakaszával, segíthet a tengely kijelölésében a cellás szerkezet. A jet két oldalán a stabilitásban jelentkező különbségek abban nyilvánulnak meg, hogy a tengelytől balra nyitott, jobbra pedig zárt cellák találhatók az esetek többségében. Természetesen a cellás szerkezet az esetek 95%-ában tengerek, óceánok fölött jön létre, tehát ez a jet azonosításában csak akkor lehet a segítségünkre, ha a felhőörvény hátoldala az óceán fölött vagy a közelében helyezkedik el.

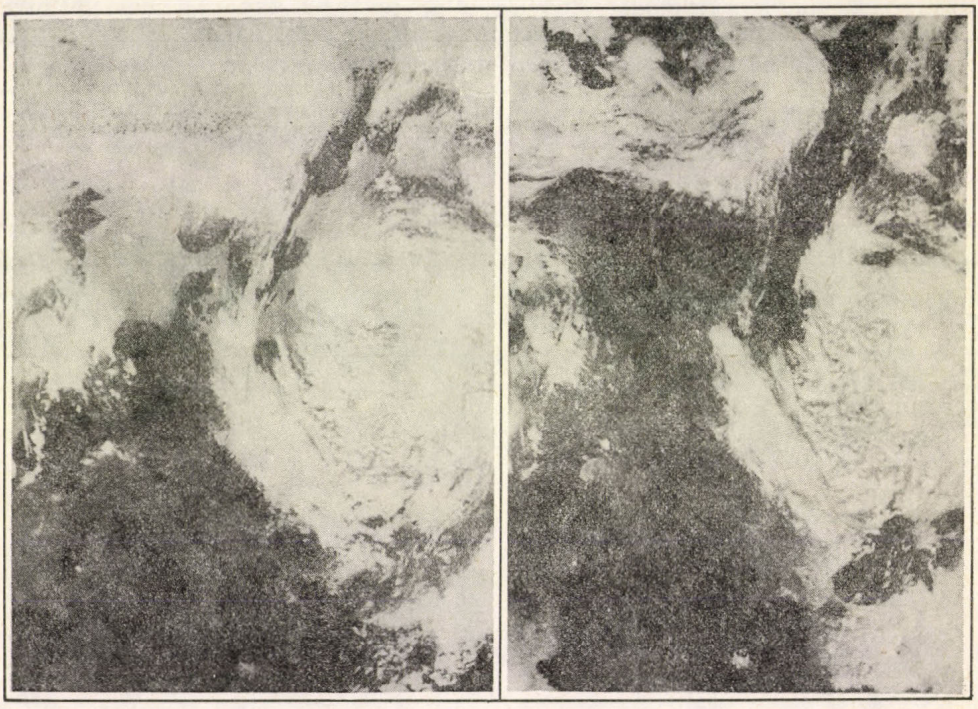
1.5 *Hullámfelhők jelennek meg a felhőzeti mezőben.* A turbulencia keletkezésében elsősorban a vertikális szélnyírás szerepe a döntő. A műholdképek tanúsága szerint a hullámfelhők a hegységek fölött, ill. azok körül széles területekre terjedhetnek ki. A légáramlásban a legnagyobb deformáció a hegygerinc szélárnyékos oldalán megy végbe, ahol különböző méretű örvények és hullámok keletkezhetnek. Ez a hatás akár 500—600 km hosszú területsávra is kiterjedhet. A megfigyelések szerint a hegyhullámokban hasonló intenzitású turbulencia is kifejlődhet, mint a Cb-felhőkben. Az alacsony hegygerincek szélárnyékos oldalán a hullámhossz akár tízszer is nagyobb lehet a hegy magasságánál. Az a maximális magasság pedig, ameddig a hegyhullámok kiterjedhetnek, gyakran többször is meghaladhatja a gerinc magasságát.

Vizsgálataink egyértelműen bizonyították a hullámfelhők jelentőségét a jetek analízisében, az erős jetek ugyanis az alacsonyabb magasságokban is nagy szélsebességértékeket hoznak létre. A 7. *ábrán* a jet a Franciaország—



7. ábra: NOAA—7 műholdkép, 1983. november 28. 12 GMT. A képek bal szélén a Pireneusok és az Atlasz-hegység térségében erős hullámfelhőképződés látható

Észak-Afrika vonalon húzódik. A jobboldali képen jól látható a Pireneusok és az Atlasz-hegység fölötti erős hullámfelhő-képződés. A hullámvonalak irányítottsága szépen mutatja a jet irányát. Amikor széles területre terjedt ki a hullámfelhőzóna, a felső szinteken minden egyes esetben jet jelenléte volt vebbek a jetek is. Az *I. táblázat* szerint Európa valamely hegységgel borított része felett hullámfelhő-képződés évszaktól függően az esetek 35—55 százalé-



8. ábra: NOAA—7 műholdkép, 1983. július 22. 12 GMT. A jet a gomolyfelhős terület hátoldalán húzódik. A jet tengelyének jobb oldalán a Cirrus felhősáv is kialakult.

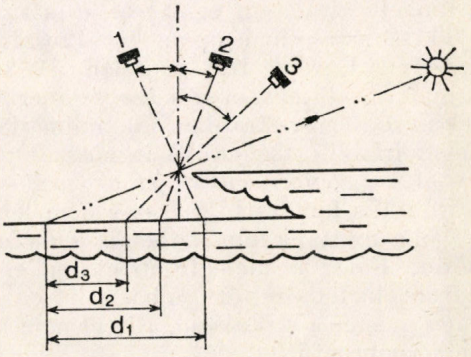
kában utalt jet jelenlétére. Képződésükre nyáron is kedvezők a feltételek, kimutatható. Leggyakrabban Skandinávia és Nagy-Britannia felett fordultak elő hullámfelhők, ugyanakkor ezen helyek felett leggyakoribbak és legintenzíamikor egyébként a felhőzeti mező gyengén fejlett. Ilyenkor tehát a jetek analizálására a legjobb felhőzeti karakterisztika a hullámfelhő.

I. TÁBLÁZAT

A jetek felismerhetősége (%) *a műholdképeken látható hullámfelhők alapján 1983-ban*

Időszak	Jetek száma	Hullámfelhős esetek száma	Felismerhetőség, %
Tél	90	43	47,7
Tavasz	91	32	35,1
Nyár	83	55	66,2
Ősz	90	50	55,5
Év	365	180	50,8

1.6 *A jet tengelye a gomolyfelhős terület határán húzódik.* A gomolyos jellegű felhőzet a ciklon hátoldalán, a hideg szektorban általánosan jellemző. Az esetek nagy részében ezek vonalakba, felhősorokba rendeződnek. A műholdképek tanúsága szerint elsősorban a nyári félévben a gomolyos terület a teknő hátoldalán, a jet tengelyénél végződik. Ezáltal a hátoldalon nagy biztonsággal



9. ábra: Az árnyéksáv megjelenése különböző műholdhelyzeteknél. *Oliver* et al. (1964)

kijelölhető annak tengelye. Ennek oka, hogy a jet bal oldalán a cirkuláció leszálló mozgással jár, ám a teknő hátoldalán egyébként is a leszálló mozgások dominálnak. A jobb oldalon viszont, bár a jet közelében a felszálló mozgások vannak túlsúlyban, a levegő szárazsága miatt mégsem képződik felhőzet. A felhősorok irányítottságából a legtöbb esetben az áramlás irányára is következtetni lehet. A *8. ábrán*, NOAA – 7 kép, egy nyári helyzetet mutatunk be. A teknő hátoldalán erős gomolyfelhőképződés figyelhető meg, amely a jet tengelyénél megszakad. Ebben az esetben a tengely jobb oldalán a Cirrus-sáv is felépült.

1.7 *A jet tengelyének kijelölése nagy területre kiterjedő frontális felhőzet esetén.* A téli időszakban szinte mindig található jet Európa térsége felett, ám a tengely helyzetének felismerése a felhőzet alapján ekkor meglehetősen nehéz. A jet felhőzetének lehetséges elkülönítési módjai ezekben az esetekben:

– A felhőzet tónusában meglevő különbségek alapján. Ezek szerint elsősorban az infraképek alapján lehet felismerni a jet felhőzetét, amely a legalacsonyabb felhőtető-hőmérséklettel rendelkezik. Az infraképen ennek a legvilágosabb tónusú felhőzetfelel meg.

– A felhőzet szerkezetében, a tv-képeken meglevő különbségek alapján. A jet bal oldalán a konvekció általában gomolyos szerkezetű felhőzetet hoz létre, ugyanakkor a jobb oldalán a front felhőzete többnyire homogén, vagy rostos.

– A felhőalakzatokban levő különbségek alapján. A jet felhőzete az esetek legnagyobb részében csíkok, vagy sávok alakjában jelenik meg. A frontális felhőzet többnyire szélesebb sávot vagy felhőtömböt alkot. Míg a frontális felhősáv szélessége hosszú szakaszon alig változik, és általában a ciklon-centrum felé fokozatosan növekszik, addig a jet Cirrus-sávjának a szélessége eléggé ingadozó.

– A tv-képeken, ha a jet felhőzete alatt alacsonyabb szintű felhők találhatók, és a megvilágítási viszonyok kedvezőek, gyakran keskeny árnyéksáv húzódik. Ezt a magas szintű Cirrus-felhőzet veti a tőle balra elhelyezkedő frontális felhőzetre. Ez a valóságban 10 – 30 km közötti sávnak felel meg.

Az árnyéksáv megjelenését különböző műholdhelyzeteknél a *9. ábra* mutatja. A szélessége függ a Nap magasságától, az alacsonyabb és magasabb szintű felhők felső határai közötti magasságkülönbségtől és attól a szögtől, amely alatt a felhők a műholdról megfigyelhetők.

Az árnyék helyzete egyértelműen lehetővé teszi a felhőrendszerek határainak a meghatározását, valamint a jet helyzetének a megállapítását, bár a tengely általában nem a teljes szakaszán jelölhető így ki. Az árnyékhatás gyakran az okklúziós pont körül található, ahol a jet felhőzete metszi a felhőörvényt. Európa térsége felett 1983-ban 22-szer jelent meg a jellegzetes árnyékvonal, legtöbbször szeptemberben és decemberben. Földrajzi helyzetét tekintve, leggyakrabban Skandinávia felett húzódott, csaknem nyugat–keleti irányítottsággal. A leghosszabb árnyéksáv 800 km hosszú volt.

1.8 *Hibaforrások a jet azonosításánál.* A jet felhőzetének elválasztása a frontális felhőzettől sokszor nem lehetséges, ill. téves analízishez vezethet, mivel a frontális felhőzetben is jelen lehet a jettől független magas szintű felhőzet. Főleg a melegfrontokra jellemző a Cirrusok megjelenése. Emellett a frontális felhőzet átnyúlhat a jet bal oldalára is. Ha nagyon száraz a levegő, vagy gyenge a cirkuláció, a jetet nem kíséri felhőzet, így a műholdkép alapján nem ismerhető fel.

2. *A műholdképes analízis konkrét eredményei*

Az adatokat 4 kategóriába soroltuk, a jet felismerhetőségére három kategóriát állítottunk fel, a 4. kategóriába kerültek azok az esetek, amikor nem volt jet. A kategóriák kritériuma:

1. A jet a műholdkép alapján egyértelműen felismerhető. Ebbe a kategóriába soroltuk a helyzetet, ha valamely felhőzeti karakterisztika nagyon határozottan utalt rá, ill. ha kettő, vagy több típusa is látható volt a képeken.

2. Nem ismerhető fel egyértelműen a jet. Ezekben az esetekben látható volt az előző részben leírt felhőzeti jellemzőkből valamelyik, de csupán a műholdkép analízise alapján nem lehetett határozottan jetre következtetni. Pl. ha szűk területen van hullámfelhő-képződés, ez nem utal feltétlenül jetre.

3. A jet a felhőzeti mező alapján nem azonosítható. Általában nagy kiterjedésű kaotikus felhőmező esetén, ill. derült égboltnál került a helyzet ebbe a kategóriába. Előbbi a téli, utóbbi a nyári félévre volt elsősorban jellemző.

II. TÁBLÁZAT

A jetek felismerhetősége a műholdképeken megjelenő összes felhőzeti karakterisztika alapján 1983-ban (n = napok száma, amelyen jet felismerhető volt az illető kategóriában; % = az összes napok százalékában kifejezett n-érték

Időszak	Összes napok száma	Kategória						
		1		2		3		4
		n	%	n	%	n	%	n
Tél	90	48	53,3	25	27,7	17	19,0	0
Tavasz	92	48	50,5	30	33,0	15	16,5	1
Nyár	92	50	60,2	23	27,8	10	12,0	9
Ősz	91	58	64,5	27	30,0	5	5,5	1
Év	365	202	57,0	105	29,7	47	13,3	11

4. Nem volt jet. Ilyen eset, az általunk választott kritériumok esetén, csupán májusban, júliusban és augusztusban fordult elő.

A *II. táblázat* évszakos bontásban mutatja a vizsgálat eredményét.

Az 1983-as évet 57%-os felismerhetőség jellemzi. Ezen belül nagyon alacsony volt a felismerhetőség februárban. Ennek oka főleg az, hogy ebben a hónapban szokatlanul gyenge volt a jet. Másrészt erre az időszakra és januárra vonatkozóan az analízishez csak infra kép állt rendelkezésre.

3. *Következtetések*

Az eredmények azt mutatják, hogy minden évszakban található a jetre utaló felhőzeti sajátosság. A téli félévben jobban felismerhető, hiszen akkor intenzívebb a jet, és sokkal kedvezőbbek a feltételek saját felhőzet létrejöttéhez. Ugyanakkor ebben a félévben nehezíti az analízist a sokszor kaotikus, nagy területre kiterjedő felhőzeti mező. A nyári félévben ugyan gyengébb a jet, a felhőzete is kisebb területre terjed ki, de ilyenkor kisebb a frontális felhőzet zavaró hatása, tehát jobban láthatók a műholdképen a felhőzeti sajátosságok. A polárfronti jet így az esetek nagy részében felismerhető. A szubtrópusi jet viszont csak nagy intenzitása esetén hoz létre felhőzetet, ehhez ugyanis kedvező nedvességi viszonyok is szükségesek. A nyári félévben, amikor általában a 35° szélességi kör mentén, azaz a Földközi-tenger fölött található a tengelye, nem kíséri felhőzet. Ennek megfelelően nem is ismerhető fel a műholdképeken. Többnyire a téli félévben azonosítható a jellegzetes harántsávok alapján. A vizsgálat eredményét nehéz összehasonlítani külföldi kutatók eredményeivel, hiszen három kategóriás vizsgálatot még nem végeztek. A szovjet kutatók (*Minyina*, 1970; *Petrenko*, 1974; *German*, 1975) 46%-os felismerhetőségről írnak, az amerikaiak (*Oliver* et al. 1966; *Whitney* et al. 1966) szerint viszont az esetek 70–80%-ában felismerhető a jet. Legutóbb *Gottvald* (1983) végzett vizsgálatot rádiószondás és műholdas információk alapján az 1975–1979-es időszakra, az analízáláshoz azonban csupán a Cirrus-felhőzetet használta, így meglehetősen alacsony felismerési értékeket kapott. Véleményünk szerint a 80%-os felismerhetőség túlzottan nagy érték, még a téli félévre vonatkozóan is. A szovjet kutatók eléggé alacsony jet felismerhetőségében viszont közrejátszhatott, hogy vizsgálataik idején még rosszabb minőségűek voltak a műholdképek, bár bizonyos kedvezőtlen, tartós makroszinoptikai helyzetekben még ennél rosszabb analizálási lehetőség is létrejöhet.

IRODALOM

German, M. A., 1975: *Szputnyikovaja meteorologija. Osznovü koszmicseszkih metodov iszledovanyija v meteorologii.* Gidrometeoizdat. Leningrad.

Gottvald, A., 1983: *Sztrujnüje tecsenyija nad Evropü. Metodü objektivnovo analiza i prognoza meteorologicseszkih polej.* Csehoszlovackij akademii nauk. Prága.

Minyina, L. Sz., 1970: *Praktika nefanaliza.* Gidrometeorologicseszkoje Izdatyelsztvo. Leningrad.

Oliver, J., Anderson, R. K. and *Ferguson, E. W.*, 1964: Some examples of the detection of jet streams from TIROS photographs. *Monthly Weather Review 92*, 441–448.

Oliver, J., Anderson, R. K. and *Ferguson, E. W.*, 1966: The use of satellite pictures in wheather analysis and forecasting. *WMO Technical Notes* No. *75.*

Petrenko, H. V., Vasziljev, A. A. i *Peszkov, B. E.*, 1973: Uszlovija obrazovanyija i prognoz vazsnüh dlja aviacii meteorologicseszkih javlenyij. *Trudi 79*, 15–42.

Petrenko, H. V., 1974: *Primenyenije informacii meteorologicseszkih szputnyikov v analize i prognoze oszobüh javlenyij pogodü dlja aviacii.* Gidrometeoizdat. Leningrad.

Tänczer, T., 1979: *Műholdszinoptika.* Tankönyvkiadó. Budapest.

Whitney, L. F., Timchalk, A. and *Gray, T. I.*, 1966: On locating jet streams from TIROS photographs. *Monthly Weather Review 94*, 127–138.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 4. szám, 1986. július – augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 90. No 4. July – August 1986 Budapest

Meteorológiai idősorok modellezése ARMA folyamatok segítségével

MATYASOVSZKY ISTVÁN, *ELTE Meteorológiai Tanszék, H—1088 Budapest, Muzeum krt 6—8.*

Modeling of meteorological time series by ARMA processes. In this paper we discuss a model sufficiently representating the statistical behaviour of meteorological time series. For this purpose we apply the ARMA processes, one of the theoretically most fairly elaborated mathematical tools. In the first part of our paper we give a brief summary of most important mathematical relations, then we review our results on time series of daily mean temperature and 500 hPa geopotential height. We found that daily mean temperature, as a stochastic process can be fairly described by a Gauss – Markov-process, differing from the most suitable ARMA (1,3) process in negligible degree. The 500 hPa geopotential height is properly characterized by an AR(3) process.

⁎

Meteorológiai idősorok modellezése ARMA folyamatok segítségével. Dolgozatunkban a meteorológiai idősorok statisztikus viselkedését megfelelően reprezentáló modell illesztéséről számolunk be. E célra az utóbbi időben elméletileg meglehetősen jól kidolgozott matematikai eszközt, az ARMA folyamatokat alkalmazzuk. Cikkünk első részében röviden áttekintjük a legfontosabb matematikai összefüggéseket. Ezután ismertetjük a napi középhőmérséklet és az 500 hPa abszolút topográfia idősorok vizsgálatának eredményeit. Megállapítjuk, hogy a hőmérséklet mint sztochasztikus folyamat jól leírható Gauss – Markov-folyamattal, amely elhanyagolható mértékben különbözik a legmegfelelőbbnek talált ARMA (1,3) folyamattól. Az 500 hPa abszolút topográfia jellemzésére az AR(3) folyamatot találtuk a legmegfelelőbbnek.

⁎

Adott hely meteorológiai mérési és megfigyelési anyaga idősorokat alkot. Valamely időbeli adatsor úgy tekinthető, mint egy sztochasztikus folyamat realizációja. Ezért a meteorológiai idősorok komplex jellemzése azt kívánja, hogy a sztochasztikus folyamatok matematikai apparátusát alkalmazva, a rendelkezésre álló egyetlen realizáció segítségével kíséreljük meg az átfogó vizsgálatokat végrehajtani. Mivel általános esetben a sztochasztikus folyamatok gyakorlati célú kezelése komoly nehézségeket vet fel, olyan egyszerűsítéseket kell bevezetni és olyan modellt alkalmazni, amely matematikai szempontból lényeges könnyítést jelent, de a valóság jó közelítésének felel meg.

Az idősorok elméletében és alkalmazásában az utóbbi időben az ún. autoregresszív – mozgó átlag (ARMA) folyamatok jelentősége megnőtt. E tény éppen abból fakad, hogy matematikailag jól kezelhetők, ugyanakkor a folyamatok meglehetősen tág körét képviselik. Az ARMA folyamatok tulajdonságairól, becsléséről jelentős terjedelemben olvashatunk például *Box* és *Jenkins* (1970), vagy *Priestley* (1981) munkájában.

Cikkünkben arról a kísérletünkről számolunk be, amelynek célja alapvető meteorológiai elemek ARMA folyamattal történő modellezése volt.

Mivel ilyen jellegű vizsgálat hazánkban még nem készült, s az ARMA folyamatok alapvető ismerete sem mondható széleskörűen jellemzőnek, szükségesnek látjuk, hogy az eredmények bemutatása előtt foglalkozzunk a matematikai eszközökkel.

Megjegyezzük, hogy az ARMA folyamatok gyakorlati jelentősége abban rejlik, hogy általuk mindössze néhány paraméter segítségével jellemezhetők a meteorológiai idősorok sztochasztikus viselkedése. A valóság e közelítése általános esetben a kovariancia és a korreláció-függvényre szorítkozik, de Gauss-folyamat esetén az autoregresszív, illetve a mozgó átlag együtthatók a valószínűségeloszlásokat is meghatározzák. A megfelelő paraméterek megbecslése után tehát mély ismereteink lesznek adott meteorológiai elem statisztikai szerkezetét illetően.

1. *Az ARMA folyamatok tulajdonságai*

Legyen $X_t; t = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ diszkrét paraméterű, zérus várható értékű sztochasztikus folyamat. Ekkor az

$$X_t = \varphi_1 X_{t-1} + \ldots + \varphi_p X_{t-p} + e_t - \Theta_1 e_{t-1} - \ldots - \Theta_q e_{t-q} \tag{1}$$

összefüggéssel definiált kifejezést p-edrendű autoregresszív, q-adrendű mozgó átlag (ARMA (p, q)) folyamatnak nevezzük, ahol e_t fehér zaj, vagyis

$$Me_t = 0,$$

$$B_e(\tau) = M(e_t e_{t+\tau}) = \begin{cases} \sigma_e^2; & \tau = 0 \\ 0; & \tau \neq 0. \end{cases}$$

E szemléletes elnevezés teljesen indokolt, ha meggondoljuk, hogy X_t tulajdonképpen a saját, $t-1, \ldots, t-p$ időpontokhoz tartozó valószínűségi változói lineáris regressziójaként áll elő azzal az általánosítással, hogy a regresszió hibatagja, az e_t fehér zaj mozgó átlaga, azaz a jelen és a véges múlt zajának lineáris kombinációja.

Ha $q = 0$, egy

$$X_t = \varphi_1 X_{t-1} + \ldots + \varphi_p X_{t-p} + e_t \tag{2}$$

p-edrendű autoregresszív (AR(p)) folyamatot kapunk, míg a $p = 0$ eset az

$$X_t = e_t - \Theta_1 e_{t-1} - \ldots - \Theta_q e_{t-q} \tag{3}$$

q-adrendű mozgó átlag (MA(q)) folyamatot jelenti.

Az ARMA (p, q) folyamat tulajdonságai közül elsőként azt említjük meg, hogy ha az autoregresszív együtthatókkal képezett

$$1 - \varphi_1 S - \ldots - \varphi_p S^p = 0$$

egyenlet gyökei az egységkörön kívül helyezkednek el, akkor X_t stacionárius. Mivel az állítás a $\Theta_1, \ldots, \Theta_q$ paraméterekre nem tartalmaz megkötést, rögtön következik, hogy a tiszta mozgó átlag folyamat mindig stacionárius.

A formailag teljesen különböző (2) és (3) kifejezésekkel kapcsolatban megjegyezzük, hogy valójában nagyon is rokon jelleget takarnak. Ugyanis a stacionárius AR(p) folyamat mindig átírható végtelen mozgó átlag formába invertálható), amelynek együtthatóit a következő módon adhatjuk meg:

$$\begin{aligned} \Theta_0 &= 1 \\ \Theta_i &= \varphi_1 \Theta_{i-1} + \ldots + \varphi_{i-1} \Theta_1 + \varphi_i \qquad i = 1, \ldots, p, \\ \Theta_i &= \varphi_1 \Theta_{i-1} + \ldots + \varphi_p \Theta_{i-p} \qquad i = p+1, p+2, \ldots \end{aligned} \tag{4a}$$

Megfordítva, az MA(q) folyamat invertálható (végtelen autoregresszív formába alakítható), ha az

$$1 - \Theta_1 S - \ldots - \Theta_q S^q = 0$$

egyenlet gyökei az egységkörön kívül helyezkednek el. Ekkor az autoregresszív együtthatókat a következő összefüggések definiálják:

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= 1, \\ \varphi_i &= \Theta_1\varphi_{i-1} + \ldots + \Theta_{i-1}\varphi_1 + \Theta_i \qquad i = 1, \ldots, q, \\ \varphi_i &= \Theta_1\varphi_{i-1} + \ldots + \Theta_q\varphi_{i-q} \qquad i = q+1, q+2, \ldots \end{aligned} \tag{4b}$$

Az X_t folyamat (1) előállítását X_{t+k}val beszorozva és várható értékét képezve, némi számolás után felírhatjuk a folyamat kovariancia-függvénye és együtthatói közötti összefüggést.

$$\begin{aligned} B(k) = \varphi_1 B(k-1) + \ldots, + \varphi_p B(k-p) + B_{xe}(k) - \\ -\Theta_1 B_{xe}(k-1) - \ldots - \Theta_q B_{xe}(k-q) \qquad k = 0, 1, 2, \ldots \end{aligned} \tag{5a}$$

Könnyen kimutatható, hogy x_t és e_t kovarianciájára fennállnak a

$$\begin{aligned} B_{xe}(k) &= \begin{cases} \sigma_e^2; & k = 0 \\ 0; & k > 0 \end{cases} \\ B_{xe}(-k) &= \varphi_1 B_{xe}(1-k) + \ldots + \varphi_p B_{xe}(p-k) - \Theta_k\sigma_e^2 \qquad k = 1, \ldots, q, \\ B_{xe}(k) &= 0 \qquad\qquad k = q+1, q+2, \ldots \end{aligned} \tag{5b}$$

összefüggések. Autoregresszív folyamat esetén az

$$R(k) = \varphi_1 R(k-1) + \ldots + \varphi_p R(k-p) \qquad k > 0$$

formulákat nyerhetjük, ahol $R(k)$ az autokorreláció-függvényt jelöli. Ebből a $k = 1, \ldots p$ indexűek egy, a $\varphi_1, \ldots \varphi_p$ paraméterek és az $R(k)$ korrelációk közti lineáris egyenletrendszert, az ún. Yule-Walker-egyenletrendszert képezik:

$$\begin{aligned} R(1) &= \varphi_1 + \varphi_2 R(1) + \ldots + \varphi_p R(1-p), \\ R(2) &= \varphi_1 R(1) + \varphi_2 + \ldots + \varphi_p R(2-p), \\ &\vdots \\ R(p) &= \varphi_1 R(p-1) + \varphi_2 R(p-2) + \ldots + \varphi_p. \end{aligned} \tag{6}$$

Mozgó átlag folyamat esetén (5) a következőképpen egyszerűsödik:

$$\begin{aligned} B(0) &= (1 + \Theta_1^2 + \ldots + \Theta_q^2)\,\sigma_e^2, \\ B(k) &= (\Theta_1\Theta_{k+1} + \ldots + \Theta_{q-k}\Theta_q - \Theta_k)\sigma_e^2; \quad k = 1, \ldots, q, \\ B(k) &= 0; \quad k = q+1, q+2, \ldots \end{aligned} \tag{7}$$

A parciális korreláció-függvény segítségével további fontos tulajdonságra hívhatjuk fel a figyelmet. Legyen φ_{kk} X_t és X_{t+k} parciális korrelációja:

$$\varphi_{kk} = \frac{detP_k^*}{detP_k} \qquad k = 1, 2, \ldots$$

ahol

$$P_k = \begin{bmatrix} 1 & R(1) \ldots & R(k-1) \\ R(1) & 1 \quad \ldots & R(k-2) \\ \vdots & & \\ R(k-1) & R(k-2) \ldots & 1 \end{bmatrix},$$

a P_k^* mátrixot pedig úgy kapjuk, hogy P_k utolsó oszlopát a

$$\begin{bmatrix} R(1) \\ \vdots \\ R(k) \end{bmatrix}$$

vektorral helyettesítjük. (Nyilvánvalóan φ_{kk} az X_t és X_{t+k} közti lineáris kapcsolat erősségét mutatja, kiküszöbölve az $X_{t+1}, \ldots, X_{t+k-1}$ változók szerepét, vagyis azt jelzi, hogy X_t mennyi olyan önálló információt hordoz X_{t+k}-ra nézve, amelyet nem tartalmaznak az $X_{t+1}, \ldots, X_{t+k-1}$ változók.)

Ekkor egy ARMA(p,q) folyamat korreláció és parciális korreláció-függvénye a $p = 0$, illetve a $q = 0$ speciális esetben

$$R(k) = 0 \qquad k > q \text{ és } p = 0, \tag{8}$$

$$\varphi_{kk} = 0 \qquad k > p \text{ és } q = 0, \tag{9}$$

míg általános esetben ($p > 0$, $q > 0$) a korreláció-függvény $k > Q$ mellett, a parciális korreláció-függvény pedig $k > P$ esetén exponenciális rendben tart zérushoz, ahol

$$Q = \begin{cases} q-p; & q \geqq p \\ 0; & q < p \end{cases} \qquad P = \begin{cases} p-q; & p \geqq q \\ 0; & p < q. \end{cases}$$

Az alapvető tulajdonságok bemutatása után külön is foglalkozunk néhány egyszerű példával. Először tekintsük az

$$X_t = \varphi X_{t-1} + e_t$$

elsőrendű autoregresszív folyamatot (Markov-folyamat), amely $|\varphi| < 1$ esetén stacionárius. (5), illetve (6) szerint:

$$\begin{aligned} B(0) &= \varphi B(1) + \sigma_e^2 \\ B(k) &= \varphi B(k-1); \; k > 0, \\ R(k) &= \varphi^k . \end{aligned}$$

A parciális korrelációk pedig

$$\varphi_{11} = R(1), \quad \varphi_{kk} = 0; \; k > 1.$$

Az elsőrendű mozgó átlag folyamat,

$$X_t = e_t - \Theta e_{t-1},$$

invertálhatósági tartománya $|\Theta| < 1$. Kovariancia-függvénye a

$$\begin{aligned} B(0) &= (1+\Theta^2)\sigma_e^2, \\ B(1) &= -\Theta\sigma_e^2, \\ B(k) &= 0; \; k > 1 \end{aligned}$$

alakot ölti, míg korrelációi

$$R(1) = -\frac{\Theta}{1+\Theta^2}$$

$$R(k) = 0; \; k > 1$$

formában írhatók föl. A parciális korreláció-függvény némi számolás után a

$$\varphi_{kk} = -\frac{(1-\Theta^2)\,\Theta^k}{1-\Theta^{2(k+1)}}$$

formára hozható.

Végül a $p = 1$, $q = 1$ mellett definiált elsőrendű autoregresszív – elsőrendű mozgó átlag folyamat,

$$X_t = \varphi X_{t-1} + e_t - \Theta e_{t-1},$$

$|\varphi| < 1$ esetén stacionárius és $|\Theta| < 1$ mellett invertálható. Korreláció-függvénye:

$$R(1) = \frac{(1-\varphi\Theta)\,(\varphi-\Theta)}{1+\Theta^2-2\varphi\Theta},$$

$$R(k) = \varphi^{k-1} R(1); \; k > 1.$$

2. *Az ARMA folyamatok becslése és ellenőrzése*

A leírt elméleti és gyakorlati apparátus alkalmazása során természetes módon vetődik fel két lényeges kérdés. Az első az, hogy adott idősor alapján miként határozzuk meg a modellben szereplő konstansok értékeit. Az erre vonatkozó válasz viszonylag könnyen megadható. A kovariancia-függvény idősorból történő becslése után az (5) összefüggések felhasználásával kiszámíthatjuk a folyamat paramétereit. Tiszta autogresszív folyamat esetén, a korreláció-függvény megbecslése nyomán, célszerűbb a Yule–Walker-egyenletrendszer megoldása. Mozgó átlag folyamat illesztése a (7) egyenletek megoldását igényli.

E módszereknél természetesen léteznek finomabb becslési eljárások is: a maximum likelihood és a legkisebb négyzetes becslés. *Box* és *Jenkins* (1970) azonban rámutatott, hogy hosszú idősor esetén autoregresszív folyamatra a különböző módszerek által nyújtott eredmények csak igen kevéssé térnek el egymástól, tehát jól alkalmazható a (6) egyenletrendszer is. A mozgó átlag együtthatók becslésének ugyan már nem ennyire hatékony eszköze az (5), illetve a (7) egyenletek megoldása, de igen hosszú idősorra jól alkalmazható.

A másik fontos kérdés annak tisztázása, hogy miként dönthetjük el, hogy milyen rendű ARMA(p,q) folyamatot kell illesztenünk az idősorhoz. Másképp fogalmazva, hogyan adjuk meg a legmegfelelőbbnek tekinthető modell rendjét. A modell-identifikáció során támpontot nyújt az idősor alapján megbecsült korreláció és parciális korreláció-függvény viselkedése. Autoregresszív vagy mozgó átlag folyamat illesztésekor a (8), illetve (9) összefüggés teljesülését kell megvizsgálni. Ezt a becsült korreláció és parciális korreláció aszimptotikus tulajdonságai alapján tehetjük meg (*Anderson*, 1971; *Quenouille*, 1947).

Sajnos, az imént vázolt megfontolással általában – különösen, ha összetett ARMA folyamatról van szó – nem lehet teljes biztonsággal meghatározni p és q tényleges értékét, csupán a folyamatok egy csoportja jelölhető ki. Ezért az utóbbi időben széles körben elterjedt különböző, a rend megbízható becslésére szolgáló, indexek használata. Formailag hasonlók, s tulajdonképpen azt az elvet fejezik ki, hogy az illesztett modell annál jobb, minél kisebb a hozzá tartozó zajfolyamat szórása. Ugyanakkor a modell rendje nem növelhető minden határon túl, minél egyszerűbb szerkezetekre kell törekedni. Manapság az egyik legelfogadottabb ilyen kifejezés, az ún. BIC index, az alábbi módon definiálható:

$$\mathrm{BIC}(k, l) = (N-k) \ln \hat{\sigma}_e^2 + (k+l+1) \ln (N-k),$$

ahol N az idősor hossza és $\hat{\sigma}_e$ a zajfolyamat szórásának becslése. A legalkalmasabb ARMA(p,q) modellként az fogadható el, amelyre BIC ($k = p, l = q$) minimális.

Valamely idősorra illeszkedő ARMA modell rendjének megadása, majd paramétereinek becslése után szükséges annak vizsgálata is, hogy a kapott modell mennyire kielégítően illeszkedik az idősorhoz. Az ellenőrzés többnyire a zajfolyamat korreláció-függvénye alapján történik. Az egyik ilyen jól kidolgozott módszer az ú.n. portmanteau-próba, amely azon alapszik, hogy ha X_t ARMA (p, q) folyamat, akkor a

$$Q = N \sum_{k=1}^{K} \hat{R}_e^2 (k)$$

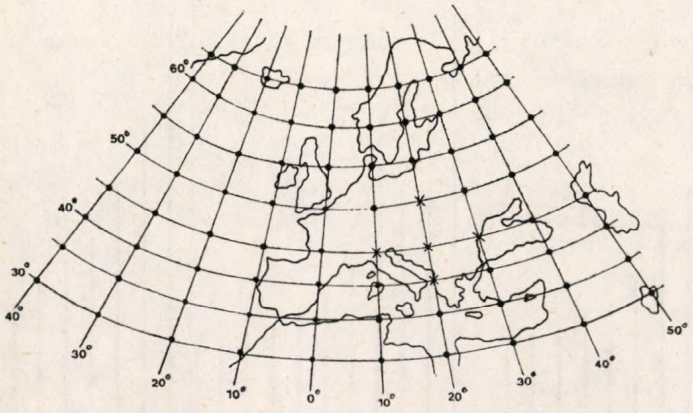
próbastatisztika jó közelítéssel χ^2 ($K-p-q$) eloszlású, ahol

$$\hat{R}_e(k) = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} \hat{e}_t \hat{e}_{t+k}}{\sum_{t=1}^{N} \hat{e}_t^2}.$$

Ezért Q alkalmas annak eldöntésére, hogy az adott idősor tekinthető-e az általunk illesztett ARMA folyamat realizációjának. A próba konstrukciójáról, tulajdonságairól részletesen olvashatunk *Davies* et al. (1977), *Ljung* és *Box* (1978), *Davies* és *Newbold* (1979) cikkeiben.

3. *Idősorok vizsgálata, eredmények*

A következőkben konkrét idősorok vizsgálatát fogjuk tárgyalni. Vizsgálataink közül a napi középhőmérséklet és az 500 hPa abszolút topográfia 00 GMT észlelések adatsorának eredményeit ismertetjük. A napi középhőmér-



1. ábra: Az 500 hPa abszolút topográfia adatbázis rácshálózata

sékleti idősor az OMSZ éghajlati adatbázisa révén mágnesszalagon állt rendelkezésünkre, míg az 500 hPa abszolút topográfia adatait a Bracknell-i távprognosztikai adatbázisból leválasztott, rácspontokra interpolált, mágnesszalagon tárolt értékek képviselték. A rácshálózat elhelyezkedése az *1. ábrán* látható. A napi középhőmérséklet 60 évi időszakot, az 1901—1960 évek adatait; az 500 hPa abszolút topográfia 24 évi szakaszt, az 1949—1972 évek eseteit öleli fel.

Az (1) alakú stacionárius ARMA folyamat illesztésekor szükséges, hogy a vizsgált meteorológiai elemek mint folyamatok stacionáriusak legyenek zérus várható értékkel. Ez a vizsgált idősorokra nem teljesül, hiszen az éves menet folytán a várható érték-függvény nem konstans, sőt kimutatható, hogy a modellezett folyamatok kovariancia-függvényének is van évi menete. Ezért az idősorokon olyan transzformációt kell végrehajtani, amelynek eredményeképpen — legalábbis jó közelítéssel — teljesülnek a fenti kritériumok. Ilyen transzformáció a standardizálás. Ennek során képeztük az

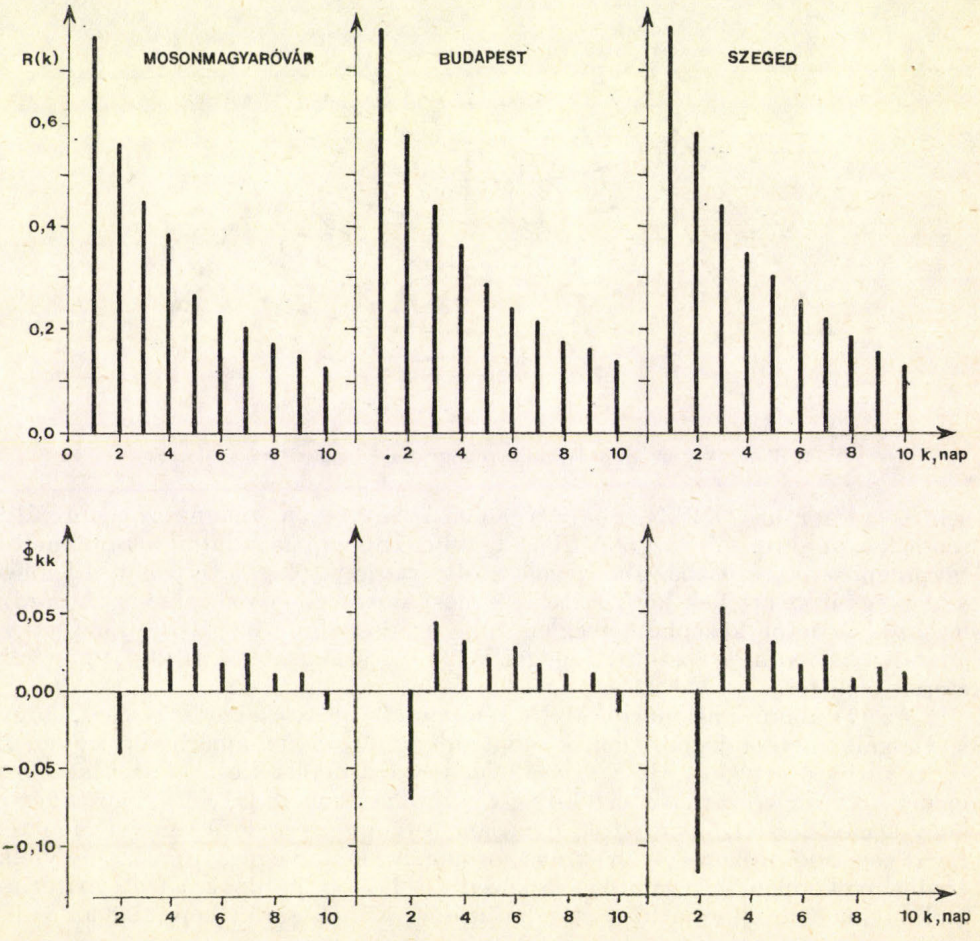
$$X_t' = \frac{X_t - m_t}{D_t}.$$

folyamatot, ahol az m_t várható érték és a D_t szórás-függvényt az idősorból becsültük meg, azzal a feltételezéssel, hogy az év adott napjához tartozó várható érték és szórás az évek során változatlan. Becslésként az átlagot, illetve korrigált empirikus szórást alkalmaztuk. A közelítések pontosítása végett a következő simítást hajtottuk végre:

$$\widehat{m_t} = \sum_{j=-r}^{r} \alpha_j \bar{X}_{t-j},$$

$$\widehat{D_t} = \sum_{j=-r}^{r} \alpha_t S_{t-j},$$

ahol $\bar{X}_t$ az átlagot, S_t a korrigált empirikus szórást jelöli a t-edik napon. Vizsgálataink során az $r = 3$ választással éltünk, míg az $\{\alpha_j\}_{j=-3}^{3}$ együtthatókat az alábbiak szerint határoztuk meg:



2. ábra: Mosonmagyaróvár, Budapest és Szeged napi középhőmérsékletének korreláció és parciális korreláció-függvényei

$$\alpha_j = \alpha_{-j} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^j}{1+2\sum_{k=1}^{3}\left(\frac{1}{2}\right)^k} \qquad j = 0, 1, 2, 3.$$

Mivel az X^t folyamat zérus várható értékű és egy szórású, arról kell meggyőződni, hogy kovariancia-függvénye (amely nem más mint X_t korreláció-függvénye) csak az időeltolástól függ. Az erre vonatkozó vizsgálataink azt mutatták, hogy a standardizálás nem eredményez tökéletesen stacionárius folyamatot, mert nem tűnik el a korreláció-függvény évi menete: adott időeltolás mellett nyáron kisebb, télen nagyobb értékek lépnek fel. Ez a változás azonban nem erős, kis amplitúdójú. Ezért, ha az így kapott nem stacionárius folyamathoz ARMA folyamatot illesztünk, jó közelítéssel írhatjuk le a valóságot.

Tekintettel arra, hogy az idősor hossza igen nagy: ezres, sőt tízezres nagyságrendű, a modellillesztés gyakorlati megvalósítása során a legegyszerűbb paraméterbecslési eljárást alkalmaztuk.

3a. *A napi középhőmérséklet.* A napi középhőmérséklet vizsgálatát három hazai állomás idősorán végeztük el. Az állomások megválasztásakor arra törekedtünk, hogy az országon belüli esetleges eltérések is tükröződjenek. Ezért Mosonmagyaróvár, Budapest és Szeged mellett döntöttünk.

Első lépésként a várható érték és a szórás-függvény becslését hajtottuk végre. A standardizálással jó közelítéssel stacionáriussá tett napi középhőmérsékleti idősorok korreláció és parciális korreláció-függvényét a *2. ábrán* figyelhetjük meg. Mivel AR(p) folyamat esetén $k>p$ mellett a φ_{kk} becsült parciális korrelációk közelítőleg függetlenek, normális eloszlásúak zérus várható értékkel és közelítőleg $1/N$ szórásnégyzettel (*Quenouille*, 1947), így a parciális korreláció zérus voltára vonatkozó nullhipotézis elfogadási tartományának határai 95%-os szignifikanciaszinten $\pm 0{,}013$, 99%-os szinten $\pm 0{,}017$. Eszerint még 99%-os szinten is 0-tól különbözőnek tekinthető az első 6-7 parciális korreláció. Ugyanakkor az igen kis értékek azt is jelzik, hogy erős Markov-i jelleg dominál, a modell fokszámának növelése csekély mértékben csökkenti a zajfolyamat szórását. Modellünk további pontosítása érdekében összetett ARMA folyamatokat illesztettünk. Értékelésüket és ellenőrzésüket a BIC-index és a portmanteau-próba segítségével végeztük el. Az *I. táblázat*ból kitűnik, hogy az ARMA (1,3) folyamat tekinthető a legmegfelelőbb modellnek mindhárom állomás esetén. Az

$$X_t = \varphi X_{t-1} + e_t - \Theta_1 e_{t-1} - \Theta_2 e_{t-2} - \Theta_3 e_{t-3}$$

I. TÁBLÁZAT

A napi középhőmérsékleti idősorokra illesztett ARMA folyamatok BIC-je

ARMA	Mosonmagyaróvár	Budapest	Szeged
ARMA (1,1)	−20061	−20837	−22334
ARMA (2,1)	−18760	−20846	−22193
ARMA (1,2)	−20052	−20875	−22387
ARMA (2,2)	−18672	−19710	−16387
ARMA (1,3)	−20104	−20883	−22388
ARMA (1,4)	−20097	−20878	−22385

alakú folyamat paramétereinek és a hozzá tartozó zajfolyamat szórásának becslését a *II. táblázat* tartalmazza.

II. TÁBLÁZAT

A napi középhőmérsékleti idősorokra illesztett ARMA (1,3) folyamat jellemző paraméterei

Hely	φ	Θ_1	Θ_2	Θ_3	σ_e
Mosonmagyaróvár	0,786	−0,044	0,078	0,035	0,631
Budapest	0,800	−0,039	0,078	0,047	0,620
Szeged	0,790	−0,105	0,073	0,052	0,600

A portmanteau-próbastatisztikák alapján és a *2. ábrát* megfigyelve kijelenthetjük, hogy leginkább Mosonmagyaróvár, legkevésbé Szeged esetén közelíthető Markov-folyamattal a napi középhőmérséklet. A σ_e-szórás értékeiben kelet felé haladva határozott csökkenés tapasztalható. Ez érthető is, ha meggondoljuk, hogy hazánk hőmérsékleti eloszlása kontinentális és óceáni hatások eredőjeként jön létre. Kelet felé haladva erősödik a kontinentális jelleg, s valamelyest kisebb súllyal jelennek meg a jelentős hőmérsékletváltozást produkáló rendszerek.

3b. *Az 500 hPa abszolút topográfia, 00 GMT.* Az adatsor az Észak-Atlanti-európai térség 80 rácspontjában állt rendelkezésünkre. Habár egyik rácspont sem esik Magyarország térségére, de a csak kevésbé délebbre eső $\varphi = 45°\text{N}$, $\lambda = 20°\text{E}$ koordinátájú hely jól jellemezheti hazánk viszonyait is. Ezért elsőként e rácspont idősorát vizsgáltuk meg.

A standardizálás révén közelítőleg stacionárius folyamat korreláció és parciális korreláció-függvényének a becslését *3. ábra* tartalmazza. A parciális korreláció zérus voltára vonatkozó nullhipotézis elfogadási tartományának határai $\pm 0{,}021$ és $\pm 0{,}032$ 95%-os, illetve 99%-os szignifikanciaszint esetén. Látható, hogy több érték is a 95%-os szignifikanciaszint kritikus értékének közelébe esik. Ez már utal arra, hogy magasabbrendű tagok (1)-ben csak kis együtthatóval szerepelhetnek. A különböző autoregresszív folyamatokra elvégzett portmanteau-próba azt jelezte, hogy a modell fokszámának növelésével meglehetősen lassan — az elfogadási tartományon kívül esve — csökken a próbastatisztika értéke. Mindebből arra kell gondolnunk, hogy idősorunkat bátran tekinthetjük Markov-folyamat realizációjának. Erről győz meg a *III. táblázat* is.

III. TÁBLÁZAT

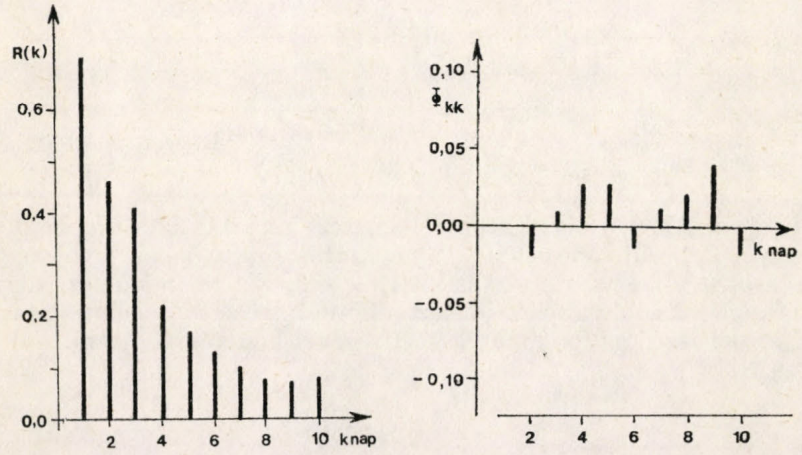
A $\varphi = 45°$ N, $\lambda = 20°$ E koordinátájú hely 500 hPa abszolút topográfia idősorára illesztett ARMA folyamatok BIC-je

ARMA (1,0)	−5837	ARMA (2,1)	−5672
ARMA (2,0)	−5833	ARMA (1,2)	−5832
ARMA (1,1)	−5836	ARMA (1,3)	−5828
ARMA (3,0)	−5828		

Formulánk az alábbi módon oldható meg:

$$X_t = 0{,}687\, X_{t-1} + e_t; \qquad \sigma_e = 0{,}716.$$

Mivel a választott rácspont nem pontosan hazánk területére esik, a kép pontosítása érdekében további négy, a már említett rács körül elhelyezkedő pontra hajtottunk végre elemzést. Helyüket az 1. ábrán jelöltük be. Arra voltunk kíváncsiak, hogy a folyamat rendje területileg mennyire változékony. A számítások részletes ismertetése nélkül mondjuk el, hogy a tanulmányozott 5 rácspont közül három harmadrendű autoregresszív folyamat illesztését kívánja meg. Hangsúlyozzuk, hogy itt a másod- és harmadrendű tagok szerepe is jelentős. A már említett $\varphi = 45\,^{\circ}\mathrm{N}$, $\lambda = 20\,^{\circ}\mathrm{E}$ koordinátájú hely esetén Markov-folyamat adódott, míg az ettől keletebbre eső rácspontra ARMA (1,3) folyamat a legmegfelelőbb, de az ennek invertálásával értelmezett végtelen autoregresszív folyamat első három tagja is jól közelíti az adatsort.



3. ábra: Az 500 hPa abszolút topográfia 00 GMT észlelések korreláció és parciális korrelációfüggvénye a $\varphi = 45°$ N, $\lambda = 20°$ E koordinátájú helyre vonatkozóan

E kétségkívül nem egységes kép értelmezése nehéz dolog. Hogy a folyamatok rendjének mozgása mennyiben származik a becslés pontosságából és mennyiben fizikai realitás, ennek megválaszolása nem könnyű feladat. Úgy véljük, konkrét klimatológiai magyarázat nemigen található. Véleményünk szerint a folyamatok rendjének viszonylag nagy változékonyságában komoly szerepe van annak, hogy az idősorokat interpolált értékek alkották. Mivel a vizsgálati eredmények közül tulajdonképpen csak egyetlen idősor tűnik ki eltérő viselkedésével, arra kell gondolnunk, hogy elemezéseink megítélésekor alapvetően a többi esetből kell kiindulni.

Ennek tükrében kijelenthetjük, hogy hazánk és környékére vonatkozóan harmadrendű autoregresszív folyamat a legmegfelelőbb modell az 500 hPa abszolút topográfia idősorok leírására (a folyamat paraméterei természetesen a hely függvényei). Jól bizonyították ezt az elvégzett portmanteau-próbák is.

Az előzőkben ismertetett eredményeken kívül röviden szólunk arról is, hogy a kapott ARMA modellek zajfolyamatát további vizsgálat alá vetettük. A csúcsmódszer és a szomszédos elemek különbségének módszere segítségével (*Kendall* és *Stuart*, 1960), továbbá a χ^2-próba alapján kimutattuk, hogy a zajfolyamat közelítőleg független, normális eloszlású valószínűségi változók sorozatának tekinthető. Ennek fontos következménye, hogy ekkor az illesztett ARMA modell Gauss-folyamat.

4. *Összefoglaló megjegyzések*

Eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy a tárgyalt meteorológiai elemek jól leírhatók Gauss-ARMA folyamattal, sőt a napi középhőmérséklet esetén teljes mértékben kielégítő közelítés a Gauss – Markov-folyamat is. Ahogyan a bevezetőben is érzékeltetni próbáltuk, munkánk elsődleges célja olyan matematikai eszköz alkalmazása volt, amelytől reméltük – s most már bizonyítottnak látjuk –, hogy alkalmas a meteorológiai elemeknek, mint sztochasztikus folyamatoknak a leírására. A legfontosabb eredményeket a *IV. táblázat*ban foglaltuk össze.

IV. TÁBLÁZAT

A vizsgált idősorokhoz tartozó ARMA modellek

Meteorológiai elem	Idősorok		Modellező folyamat
	hossza	száma	
Napi középhőmérséklet	60 év	3	ARMA (1,3); AR (1)
500 hPa abszolút topográfia	24 év	5	AR (3)

Mivel az ARMA folyamatok értelmezése és vizsgálata alapvető elméleti nehézség nélkül általánosítható többváltozós esetre is, a jövőben érdemes a kutatásokat ebbe az irányba is kiterjeszteni. Ezt az indokolja, hogy az éghajlati észlelések többváltozós idősort alkotnak, s ezért vizsgálatukat is vektorértékű sztochasztikus folyamatok segítségével kell végrehajtani.

IRODALOM

Anderson, T. W., 1971: *The statistical analysis of time series.* John Wiley, New York.

Box, G. E. P. and *Jenkins, G. M.*, 1970: *Time series analysis, forecasting and control.* Holden-Day, San Francisco.

Davies, N., Triggs, C. M. and *Newbold, P.*, 1977: Significance levels of the Box-Pierce portmanteau statistics in finite samples. *Biometrika 64*, 517–522.

Davies, N. and *Newbold, P.*, 1979: On some power studies of a portmanteau test of time series model specification. *Biometrika 66*, 153–155.

Kendall, M. A. and *Stuart, A.*, 1960: *The advenced theory of statistics.* Charles Griffin and Company Ltd., London.

Ljung, G. and *Box, P.*, 1978: On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika 65*, 297–303.

Priestley, M. B., 1981: *Spectral analysis and time series.* Academic Press, New York and London.

Quenouille, M. H., 1947: A large-sample test for the goodness of fit autoregressive schemes. *J. Roy. Statist. Soc. 110*, 123–129.

IRODALOM

HOUGHTON, D. D. (szerk.): **Handbook of Applied Meteorology** *(Alkalmazott meteorológiai kézikönyv)*. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1985. XV + 1460 oldal, több száz ábra és számos táblázat.

A kézikönyv rendkívül bőséges és sokoldalú áttekintést nyújt a meteorológiáról *nem meteorológus* szakemberek számára. Célkitűzésében bizonyos mértékig hasonló az Amerikai Meteorológiai Társaság által kiadott *Compendium of Meteorology*-hoz, valamint a német nyelvű *Linke's Meteorologisches Taschenbuch*-hoz. Ezektől azonban különbözik abban, hogy elsősorban nem a meteorológusok igényeit törekszik kielégíteni, hanem olyan szakemberekét, akiknek tevékenységükhöz meteorológiai ismeretekre vagy időjárási, éghajlati adatokra van szükségük. Az ötvennél több szerző közreműködésével készült kézikönyv szerkesztője *David D. Houghton*, a Wisconsin Egyetem Meteorológiai Tanszékének professzora. Ez az egyetem volt utolsó munkahelye egyébként *W. Schwerdtfeger*nek, az 1985. januárban elhunyt neves, német származású meteorológusnak, akinek 1984-ben jelent meg az Antarktisz időjárásáról és éghajlatáról írott értékes könyve.

A vaskos kézikönyv öt nagyobb részre, ezeken belül 46 fejezetre tagolódik, végül két különálló függeléket tartalmaz.

Az első rész az alapismereteket foglalja össze és négy fejezetből áll. Az 1. fejezet a légköri cirkulációs rendszerekkel foglalkozik, beleértve a különböző tér- és időskálán kialakuló légmozgásokat, a kormányzó egyenleteket és ezek gyakorlati interpretációit. Bemutatja egyebek között a Walker-féle cirkulációs cellákat, a déli félgömb jellegzetes oszcillációs indexének ingadozásait és a kvázikétéves oszcillációt. A 2. fejezet áttekintést ad az éghajlatot kialakító fontosabb tényezőkről, a leíró éghajlattanról, továbbá az éghajlat osztályozásáról. A 3. fejezet a veszélyes időjárási jelenségekről szól: a zivatarokról, tornádókról, jégesőről, hurrikánokról, hófúvásról, homok- és porviharokról, árvizek kialakulásáról. A 4. fejezet az időjárás-előrejelzés fontosabb elvi és gyakorlati kérdéseit foglalja össze.

A második rész a meteorológiai méréseket ismerteti. Ez a rész kilenc fejezetre tagolódik, a fejezetek címei: 1. Mérések ma; 2. Mérések holnap; 3. Felszíni bázisú megfigyelőrendszerek; 4. Magaslégköri in situ megfigyelőrendszerek; 5. Felszíni bázisú távérzékelő megfigyelőrendszerek; 6. Műholdak; 7. Megfigyelőhálózatok; 8. Standard technikák; 9. Szabályozó kritériumok és standardok a műszerekhez és mérésekhez. A hely korlátozottsága nem engedi meg, hogy e sokat mondó fejezetcímek puszta felsorolásán kívül bővebb leírást adjunk erről a 224 oldal terjedelmű részről.

A harmadik és egyben leghosszabb rész 25 fejezetből áll, és a meteorológia gyakorlati alkalmazásairól ad összefoglalást, terjedelme 635 oldal. Az első nyolc fejezet a talaj vízháztartásával összefüggő kérdéseket tárgyalja, mint pl. az elfolyás, áradások, evaporáció és transpiráció, vízgazdálkodás, savas esők, erózió, a mezőgazdaság, illetve az erdőgazdálkodás meteorológiai vonatkozásai. A következő hét fejezet a légszennyeződés mérésével, a levegőminőség modellezésével (kis és nagy távolságon), a légszennyeződés leülepedésének modellezésével, továbbá a kémiai átalakulások légköri vizsgálatával foglalkozik. A további tíz fejezet az ember és légkör kapcsolatának legkülönbözőbb aspektusait veszi sorba, mint például az építkezést, energiafelhasználást, repülést, tengeri és szárazföldi közlekedést, az időjárás módosítását.

A negyedik rész a légkör és társadalom kölcsönhatásaival foglalkozik, beleértve a légköri erőforrások tulajdonjogi kérdéseit, a környezetvédelmet, továbbá a gazdasági tevékenység és a légkör kapcsolatának legkülönbözőbb szempontjait.

Az ötödik rész öt fejezetből áll, és a meteorológiai információk forrásairól tájékoztatja az érdeklődőt. Az 1. fejezet felsorolja az adattároló központokat és az ott megtalálható adatok listáját, ez utóbbi nemcsak időjárási és éghajlati megfigyeléseket tartalmaz, hanem hidrológiai, oceanográfiai, termésbiztosítási, geofizikai stb. adatokat is. A 2. fejezet a jelentősebb szakirodalomról, folyóiratokról, kiadványsorozatokról, atlaszokról, kézikönyvekről és monográfiákról ad áttekintést. A 3. fejezet a meteorológiai oktatással foglalkozó 100 egyetemet és főiskolát sorolja fel, amelyek az USA-ban, Kanadában és Puerto Rico-ban működnek. A 4. fejezet Észak-Amerika jelentősebb kutatóközpontjairól és könyvtárairól ad tájékoztatást. Végül az 5. fejezet néhány amerikai tudományos és technikai egyesületet mutat be.

A két függelék közül az első a meteorológiai fogalmak meghatározásait és a meteorológiá ban használt mértékegységeket foglalja össze. A második függelék néhány fontosabb égh ajlat elem alakulásáról ad táblázatos áttekintést, mégpedig 100 állomás szerepel e táblázatban az USA-ból, 147 állomás a világ többi országaiból.

A kézikönyv hattagú szerkesztő bizottsága láthatóan a teljességre törekedett, amennyiben a meteorológia alkalmazásának minél teljesebb spektrumát foglalta össze ebben a munkában. A teljességre való törekvésen kívül további erénye e munkának, hogy a legkorszerűbb ismereteket is tartalmazza és, különösen az első rész ábrái rendkívül szemléletesek. Talán egyetlen hátrány a könyv használatában, hogy az óriási ismeretanyagot egyetlen kötetbe sűrítetten nyújtja az olvasónak, több szempontból is érdemes lett volna témacsoportok szerint 3, esetleg 5 kötet kiadása.

Koppány György

HALTINER, G. J. and WILLIAMS, R. T.: **Numerical Prediction and Dynamic Meteorology** (Second edition). *(Numerikus előrejelzés és dinamikus meteorológia).* John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane and Toronto, 1980. XVII + 477 oldal

Hatalmas fejlődés következett be a numerikus előrejelzés területén V. Bjerknes felismerése óta, miszerint az előrejelzés nem más, mint a légköri mozgások kormányzó egyenletrendszerére vonatkozó kezdeti és peremérték-probléma megoldása. A meteorológia ezen tudományágának fejlődését és jelenkori eredményeit mutatja be ez a könyv, ami *Haltiner* 1971-ben megjelent „Numerical Prediction" (Numerikus előrejelzés) című egyetemi tankönyvének posztgraduális képzés számára bővített és átdolgozott második kiadása.

A mű 13 fejezetre tagolódik, ám így sem foglalkozik az előrejelzés algoritmusának minden lépésével, pl. a megfigyelésekkel és az adatátvitellel. Az 1. fejezet az alapvető fizikai törvények különböző koordinátarendszerben felírt alakjait mutatja be. A fejezet megírásakor a szerzők már bizonyos alapvető dinamikus meteorológiai ismeretekre támaszkodnak. A 2., 3. és 4. fejezet a nagytérségű mozgásformák dinamikai vizsgálatával foglalkozik, bemutatva a légköri hullámmozgások alapvető típusait, valamint a légköri hullámok és a hidrodinamikai instabilitás kapcsolatát. Igen részletes és átfogó képet kapunk az 5. és 6. fejezetben a termo-hidrodinamikai egyenletrendszer integrálása során alkalmazott módszerekről. Megismerhetjük itt a parciális differenciál-egyenletek közelítő megoldásához használt legtöbb numerikus eljárást: a véges különbséges módszertől a spektrális módszeren át a véges elem (v. Galjorkin-) módszerig, és bemutatnak a szerzők jónéhány iterációs sémát is. A 7. fejezet a numerikus modellek egyes típusaival, a 8. fejezet pedig a planetáris határréteggel foglalkozik. A nedvesség és a sugárzási folyamatok paraméterezésének módszerét írja le a 9. és 10. fejezet. A 11. fejezetbe került a numerikus előrejelzési folyamat első lépésének, a kezdeti értékek meghatározásának a tárgyalása. Rövid összefoglalást találunk még a könyvben az óceán dinamikájáról (12. fejezet) és a statisztikai és sztochasztikus-dinamikus alapú előrejelezhetőség határairól (13. fejezet). A Függelékben a vektoranalízis alapvető összefüggéseit találjuk. Az irodalmi hivatkozások listája csaknem félezer tételből áll, felvonultatva az egyes fejezetek témáihoz kapcsolódó szinte valamennyi fontosabb könyvet és közleményt Lord Rayleigh 1880-ban kiadott cikkétől a könyv megjelenését megelőző legfrissebb publikációkig.

Bár a könyv egyes fejezetei valóban igényelnek némi dinamikus meteorológiai és matematikai előképzettséget, nemcsak azok számára ajánlhatjuk, akik az időjárás számszerű előrejelzésével, a légköri folyamatok dinamikájának tanulmányozásával, vagy parciális differenciálegyenletek numerikus megoldásával foglalkoznak, hanem azoknak is, akik alapvető ismeretekre szeretnének szert tenni a nedvességszállítási vagy sugárzásátviteli folyamatok paraméterezése és az óceán dinamikájának területén. A könyvet a dinamikus meteorológia és dinamikus modellezés című előadásokat hallgató egyetemisták számára is ajánljuk kiegészítő olvasmányként.

Gyuró György

KRÓNIKA

MÉSZÁROS ERNŐNÉ NAGY ÁGNES (1935—1986)

Még jóformán át sem lapozhatták olvasóink folyóiratunk előző, március—júniusi kettős számát, s benne Központi Légkörfizikai Intézetünk közszeretetben álló tudományos főmunkatársának kitűnő tanulmányát, amikor vettük a megdöbbentő hírt szerzőjének tragikus haláláról: *Mészárosné Nagy Ágnes*, az intézet Levegőkémiai Osztályának helyettes vezetője, 1986. június 14-én váratlanul elköltözött az élők sorából.

Aránylag fiatalon, úgyszólván életének delén, tudományos pályán alkotó erejének teljében távozott közülünk.

Az Eötvös Lóránd Tudományegyetem Természettudományi Karán jeles eredményű meteorológus-diploma birtokában, 1957 szeptemberében lépett szolgálatunk kötelékébe, a pestlőrinci Aerológiai Obszervatóriumban. Itt előbb a Rádiószondázó-, később az Aerológiai Osztályon ösztöndíjas gyakornok; feladata a magaslégköri áramlásrendszerek, a jet stream-ek természetének vizsgálata, ez utóbbiak gyakoriságának megismerése. Ám rövidesen tudományos kutatói beosztásban egyre inkább a légszennyező anyagok, az aeroszolok fizikai tulajdonságai felé fordul érdeklődése; bevezeti az obszervatóriumban a poraeroszolok koncentrációjának és nagyság szerinti eloszlásának Magyarországon addig nem alkalmazott, ún. membrán-szűrős, rendszeres mérését. Első publikációja ezeknek az 1963 januárjában megindult méréseknek kezdeti eredményeiről számol be az intézet Beszámoló kötetsorozata 1963. évi kötetében.



Ez idő tájt a légköri szennyeződés — mégpedig a természetes és a mesterséges (ipari) eredetű aeroszolrészecskék kutatása — mind nemzetközi ajánlásokban, mind pedig itthon, kiemelt kutatási téma, s e téren *M. Nagy Ágnes* kutatói tényke-dése egyre figyelemre méltóbb eredményeket mutathat fel. Bizonysága ennek az értékes tanulmányok ama sorozata, amelyek egy-két évvel pályakezdése után már sorra jelentek meg folyóiratunkban, nemkülönben szakterületének jó néhány külföldi reprezentatív kiadványában (*J. Recherches Atmosphériques, Tellus, Journal of AerosolSciences* stb.). Nevével gyakran találkozhatnak olvasóink, ha fellapozzák az *Időjárás* utóbbi 20—25 esztendőben megjelent számait, mert csak itt 14 kisebb-nagyobb tanulmánya — köztük hat idegen nyelven — került közlésre. Önállóan, esetleg szerző-, illetve munkatársai-val közösen írott közleményeit itthon is, külföldön is hol *Mészárosné Nagy Á.*, hol *Nagy Ágnes*, hol meg *Mészáros Ágnes*ként szignálta.

Kutatásai közül külön említést érdemelnek a déli félgömb óceáni levegőjében végzett aeroszol-vizsgálatok, amelyek eredményeit *Vissy Károllyal* együtt publikálta 1974-ben a *J. of Aerosol Sciene* c. folyóiratban. Ezt a hatalmas energiát és kutatói találékonyságot igénylő úttörő jellegű munkát szinte minden idevágó kézikönyvben és számos tanulmányban idézik és a magyar meteorológiai kutatás egyik legnagyobb eredményének tekinthetjük.

Angol—francia nyelvismerete révén a nemzetközi szakirodalomban nemcsak szerzőként jelentkezhetett, hanem szolgálatunk küldötteként ismételten járhatott külföldi tanulmányutakon, valamint hasznosan vehetett részt nemzetközi konferenciák, ill. kutatócsoportok, szimpóziumok munkájában is. Az ily alkalomra írott beszámolói, tanulmányai nemzetközileg is elismert publikációkként jellemzik munkásságának színvonalát és hatékonyságát.

Szerény, halkszavú egyéniségére jellemzően nem törekedett vezetői beosztásra. Sőt, amikor szolgálati felettesei — értékelve lankadatlanul szorgalmas és szakmailag igen eredményes munkásságát — húsz évi munkája elismeréseként reá kívánták bízni a Le

vegőkémiai Osztály vezetését, ezt csak vonakodva s átmeneti jelleggel vállalta, s két év után már fölmentését is kérte. Egy esztendő múltán így is kénytelen volt legalább az osztályvezetőhelyettesi beosztást vállalni. Bár tudományos eredményei mindenképpen indokolták volna, tudományos minősítést, kandidátusi fokozatot sem szerzett; csendes, szerényen visszahúzódó, de mindig, mindenkinek készségesen segítő munkatársa maradt. Személyében *Mészáros Ernő*, az MTA levelező tagja, a Központi Légkörfizikai Intézet igazgatója, Szerkesztő bizottságunk elnöke feleségét, köz vetlen, hűséges munkatársát vesztette el. Də *Nagy Ágnes* korai halála fájdalmas vesztesége szolgálatunknak is, sőt — joggal véljük — a magyar légkörfizikai kutatásnak és szakirodalomnak is egyaránt.

Emlékét nemcsak azok őrzik fájó szívvel, gyászoló emlékezéssel, kik közelebbről ismerték és szerették, de életművének ismeretében tisztelettel s kegyelettel gondol — a kívánságára a Kisoroszi temető csendjében nyugvó — volt kollégájára valamennyi pályatársa, e őljárói, kortársai s beosztottjai egyaránt.

Kakas J.

METEOROLÓGIAI FELADATOK A CSERNOBILI ATOMERŐMŰVI BALESET HAZAI HATÁSÁNAK FIGYELEMBEVÉTELÉNÉL

A légköri, mesterséges eredetű radioaktivitás folyamatos mérése az Országos Meteorológiai Intézetben 1953-ban kezdődött meg a távolabbi területeken végrehajtott légköri nukleáris robbantási kísérletekből származó kiszóródás jelzésére, nyomonkövetésére. A Moszkvai Atomcsend Egyezmény évében (1963) ezt a korábbi mérőrendszert az elhasználódás és korszerűsítés igénye miatt fel kellett újítani és a hálózat állomásainak számát ki kellett egészíteni. A Paksi Atomerőmű üzembeállításával párhuzamosan tovább bővült az OMSZ ilyen irányú feladata. A korábban hat állomásból (Budapest—Lőrinc, Szombathely, Siófok, Pécs, Szeged, Szolnok) álló radioaktív mérőhálózatot az atomenergiáról szóló 1980. évi I. törvény és a végrehajtására kiadott jogszabályok értelmében tovább kellett bővíteni az atomerőmű közvetetten veszélyeztetettnek számító 30 km-es határán, az évi leggyakoribb helyi széliránybаn egy további mérőhellyel (Baja), valamint az esetleges paksi üzemzavar szempontjából távoli, referenciaállomásnak feltételezett nyíregyházai mérőállomással. Az utóbbi két kiegészítő állomás rendszeres méréseit 1985 végén kezdte meg.

A radioaktív mérőállomások működésén túlmenően egy esetleges atomerőművi baleset következményeinek felmérésében mind a WMO WWW rendszere, mind a hazai meteorológiai állomások adatai, illetve a feldolgozott információk nélkülözhetetlenek.

Az atomerőművek baleset-elhárítása korábban arra a meggondolásra épült, hogy a közvetlenül veszélyeztetett 3 km-es körzeten belül csak az erőmű dolgozóinak biztonságával kell számolni, míg a 30 km-es közvetetten veszélyeztetett gyűrűben — ahol már nagyobb számú lakosság is található — válhat szükségessé általános korlátozó intézkedések bevezetése baleset esetén, távolabbi jelentős hatások viszont már nem lépnek fel.

A csernobili baleset kiterjedése a korábbi feltételezésekkel és felkészítéssel szemben, amely a reaktor balesetek kihatását regionálisnak gondolta, kontinentális kiterjedésű lett, sőt bizonyos mértékig az egész északi hemiszférát érintette. Ennek megfelelően a csernobili sérült erőműblokkból származó kibocsátás kiterjedésének nagysága, főleg a kezdeti időszakban, bizonyos mértékben készületlenül érte a más léptékre felkészített szakembereket.

Hazánkban a polgári védelmi szervek kezdeményezésére és vezetésével a csernobili baleset bekövetkezése után szakértői bizottság alakult. A bizottságban a meteorológiai szolgálatot (OMSZ) *Simon Antal* főosztályvezető képviselte.

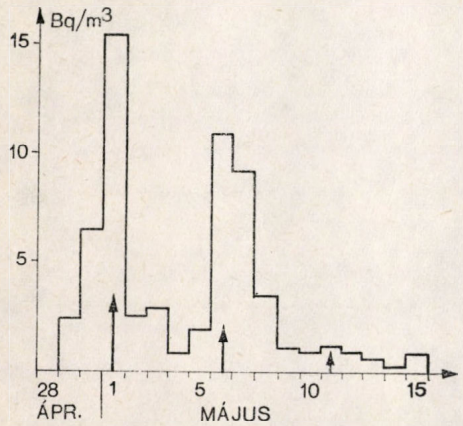
Az OMSZ elsődlegesen a légköri radioaktivitás mérési adatait és a csernobili koordinátákkal indított, előrejelzett trajektóriákat szolgáltatta a bizottságnak a napi időjárási helyzet leírásán kívül. A trajektória számítások 00 és 12 UT időpontokra vonatkoztatva, előrejelzett áramlási mezők felhasználásával készültek. A légpálya naponta kétszer előállított előrejelzései szerint az első rádioaktív felhőátvonulásra az ország északi-északnyugati területein április 29-én az esti órákban került sor, amikor a korábban északabbra hatolt szennyezett légtömeg húzódott le felénk. E felhő igen jelentős szennyeződést hozott létre a tőlünk nyugatabbra lévő területeken.

A csernobili baleset a hivatalos jelentések szerint robbanással és intenzív tűzzel is párosult, így az elégett anyagok részecskéi és a füstgázok árama a kiszabadult radioaktív elemekkel együttesen addig emelkedhetett a magasba, amíg a hőfáklya és a környezete

közötti hőmérsékleti különbség kellő felhajtóerőt szolgáltatott. Tényleges mérési adatok hiányában, becsléssel 1500–2000 méterre volt tehető a hőfáklya teteje. Az ebben a rétegben uralkodó áramlás a felhőt a Kelet-Európában uralkodó időjárási hatáscentrumok által megszabott módon szállította tovább. A becsült felhőmagasság miatt a 850 hPa-os előrejelzett mezőket használhatták fel a trajektória számításhoz. A radioaktív anyagokat is tartalmazó felhő áthelyeződése során részben gravitációs ülepedés, részben diffúzió, valamint a magasabb rétegekben lévő örvényes mozgások és nyíróerők hatására folyamatosan szétterült és hígult.

A baleset kezdetén az ukrán síkság északi részén stabil anticiklon volt jelen, amely igen lassú mozgással szivárgott déli irányba és közel tíz napon keresztül megakadályozta a közepes földrajzi szélességeken szokásos zonális áramlás érvényrejutását. Az erőműből folyamatosan kiszabadult radioaktív anyagok felhőjét tehát hosszú ideig a keleties irányítású áramlások a teljes közép-európai és részben a dél-európai térségbe hordták szét. Ez az időjárási helyzet Magyarországon május 8-án és 9-én a közepes mennyiségű (≈10 mm) csapadékot adó hidegfront átvonulásával szűnt meg. Az orosz síkságon lévő anticiklon ugyanakkor kelet felé elmozdult, utat nyitva ezzel a zonális áramlásnak. Mivel a közvetlen szennyeződés utánpótlása számunkra megszűnt, az ország légtere igen gyorsan tisztulni kezdett és már csak a talajra ülepedett szennyeződéssel kellett a továbbiakban számolni.

A talajülepedés mértéke a helyszíni radioaktív szennyezettség-mérések szerint igen jó kapcsolatban volt a csapadék mennyiségével. A talajra ülepedett hasadványok várhatóan hosszú ideig jelen lesznek a talaj felső részében, ahogyan az 1963-ban beszüntetett kísérleti légköri robbantásokból származó egyes hosszú felezési idejű izotópok még mindig megtalálhatók a nem művelt talajok felső 10 cm-ében.



1. ábra: Aeroszol összbéta radioaktivitás Budapest–Pestlőrincen, 1986. április 28 – május 15 között. Méréseredmények a mintavételt követően.

Az *1. ábrán* az aeroszol összes béta-radioaktivitásának – mintavétel után azonnal mért – értékeit láthatjuk az 1986. április 28 és május 15 közötti időszakban. A méréseket a Központi Légkörfizikai Intézetben végezték. Az ábrán a három nyíl három olyan napot jelez (május 1, 6, és 11), amelyeken a trajektória számítások szerint hazánk területe fölött közvetlenül szennyező felhő átvonulása történt. Az időben csökkenő koncentrációk, többek között, a baleset távolabbi hatásának csillapodását is jelzik.

A rendelkezésre álló meteorológiai információk jelentős és közvetlen segítséget jelentettek a polgári védelem által vezetett szakértői bizottság értékelő munkájában.

A csernobili erőmű balesete következményeinek részletes és többirányú meteorológiai értékelését a későbbiekben feltétlenül el kell végezni.

S mon A.

*

PROF. H. REUTER AZ MMT TISZTELETI TAGJA. AZ OSZTRÁK METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG ÚJ VEZETŐSÉGE

Az Osztrák Meteorológiai Társaság volt lnöke, *Univ. Prof. dr. F. Lauscher* magas kora miatt megvált tisztségétől. Az új elnök *Univ. Prof. dr. K. Cehak* lett, aki egyben az Osztrák Meteorológiai és Geodinamikai Intézet igazgatóhelyettese. A Magyar Meteorológiai Társaság elnöke, *Szász Gábor* egyetemi tanár, a Debreceni Agrártudományi Egyetem rektora, valamint a Társaság főtitkára, *Simon Antal*, az OMSZ főosztályvezetője 1986. január 6–10. között Bécsben megismerkedett az Osztrák Meteorológiai Társaság 1985-ben választott új vezetőségével és tárgyalásokat folytatott a korábbi jó kapcsolat fenntartásáról és elmélyítéséről. A két társaság elnöke szükségesnek tartotta a korábbi írásbeli megállapodás felújítását. Az együttműködés elmélyítése érdekében megállapodtak az évi munkatervek cseréjéről, a szakemberek néhány napos cserelátogatásának szorgalmazásáról, valamint együttes ülések szervezéséről a közös határ mentén, ezzel is megkönnyítve egymás tájékoztatását a tudományos eredményekről.

A tárgyalások után az MMT elnöke és főtitkára látogatást tett az osztrák szolgálat új igazgatójánál, *Prof. dr. P. Steinhauser*-nél is, aki messzemenő támogatásáról biztosította a társasági vezetőket.

Ezen kívül felkeresték még a bécsi egyetem meteorológiai tanszékén az elméleti meteorológia professzorát, *Univ. Prof. dr. H.*

Reuter-t, a Meteorológiai és Geodinamikai Intézet nyugalmazott igazgatóját. Tájékozódtak az egyetemi oktatás általános kérdéseiről és betekintést nyertek az egyetem meteorológiai és geofizikai oktatásának tematikájába. *Reuter* professzort az MMT Választmánya 1985-ben külföldi tiszteleti tagjává választotta; megállapodás szerint a professzor áprilisban Budapesten vette át a beiktató oklevelet és előadást is tartott. Az előadás teljes szövegét e számunkban közöljük.

Végül az MMT vezetőinek alkalmuk volt az osztrák szolgálat Klimatológiai Osztályán egy megbeszélésen is résztvenni, ahol az általános célra kifejlesztett automata meteorológiai állomást ismerhették meg. A központi állomást üzemközben is megtekinthették. Az osztrák kollégák jónak és megbízhatónak értékelték a hálózatban működő berendezéseket.

A Bécsben tett látogatás mind társasági, mind szakmai szempontból igen hasznosnak bizonyult; a kapcsolatot mindkét fél érdekében célszerű továbbra is fenntartani.

H. Lépp I.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

Az IDŐJÁRÁS célja az elméleti és alkalmazott meteorológia tárgykörébe tartozó tanulmányok publikálása. A tanulmányok új kutatási eredményeket tartalmazó beszámolók, illetve adott szakterület időszerű kérdéseit összefoglaló kritikai szemlecikkek lehetnek. A közlés nyelve: magyar vagy angol. A kettes sortávolsággal gépelt kéziratok két példányban küldendők be a következő címre: **Időjárás Szerkesztősége 1525 Budapest, Pf. 38.**

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzővel nem közöljük. A kéziratnak a következő formai igényeket kell kielégítenie:

Címrész: Tartalmazza a tanulmány címét, a szerző(k) nevét, munkahelyét és ez utóbbi pontos címét.

Összefoglalás: Külön oldalakon, magyar és angol nyelven, tartalmazza a kutatás célját, módszerét és a kapott eredményeket.

Szövegrész: Alcímekkel értelemszerűen fejezetekre tagolandó.

Irodalmi hivatkozások: Szövegben a hivatkozás tartalmazza a szerző(k) nevét aláhúzva és a publikálás évét. Pl. egyetlen szerző esetén: *Róna* (1909), vagy ha a szerző neve a szövegbe nem illeszthető be: *(Róna,* 1909); két szerző esetén: *Gamow* és *Cleveland* (1973); több szerző esetén: *Bacsó* et al., (1953). Ha adott szerzők ugyanazon évben publikált több cikkére hivatkozunk, akkor az évszámhoz *a, b* stb. betűket írunk. Az irodalom felsorolása a cikk végén a szerző(k) neve szerinti betűrendben történik. Folyóirat esetén: szerző(k) neve, évszám, a cikk címe, a folyóirat neve, kötetszám, kezdő és befejező oldalszám. Pl.: *Dési, F.*, 1955: A meteorológiai kutatás időszerű kérdései. *Időjárás 57*, 65–70. Könyv esetén: Szerző(k) neve, évszám, könyvcím, kiadó, megjelenés helye. Pl. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity.* Academic Press, New York and London.

Ábrák: A kézirat első példányához az ábrákat pausz- vagy mm-papíron, a másodikhoz az eredeti ábrák másolatát kell csatolni. Az ábrák aláírásait külön lapon kell mellékelni. Fényképek fekete-fehér színben, fényes, kontrasztos minőségben nyújthatók be.

Táblázatok: A táblázatokat római számozással, szövegükkel együtt, külön lapon kell mellékelni.

Matematikai formulák és jelölések: A nem latin betűket és kézzel írott jeleket a margón ceruzával írt magyarázattal kell ellátni.

A szerzők megjelent tanulmányukért tiszteletdíjat és térítésmentesen 30 db különlenyomatot kapnak. Több különlenyomat a szerző költségére a kézirat elküldésével egyidejűleg rendelhető.

NOTES TO THE AUTHORS

The purpose of IDŐJÁRÁS is to publish papers in the field of theoretical and applied meteorology. These may be reports on new results of scientific investigations or critical review articles summarizing current problems in certain subject. Authors may be of any nationality but papers are published only in Hungarian or English. Two copiees of the manuscripts, typed with double space, should be sent to the **Editorial Office of Időjárás. Address: Budapest, P. O. B. 38, H-1525, Hungary.**

Papers will be subjected to constructive criticism by unidentified referees.

The manuscript should meet the following formal requirements:

Title: Should contain the title of the paper, the name(s) of the author(s) with indication of the name and address of employment.

Abstract: Should contain the aim, method and conclusions of the scientific investigation on a separate page.

References: The text citation should contain the name(s) of the author(s) underlined and the year of publication. In case of one author: *Róna* (1909), or of the name of the author cannot be fitted into the text: *(Róna,* 1909); in case of two authors: *Gamow* and *Cleveland* (1973); there are more than two authors: *Bacsó:* et al. (1953). When referring to several papers published in the same year by the same author, the year of publication should be followed by letters, *a, b* etc. At the end of the paper the list of references should be arranged alphabetically. For an article: the name(s) of author(s), year, title of article, name of journal, volume number, pages. E. g. *Dési, F.* 1955: Current problems of meteorological research. *Időjárás 57*, 65–70. For a book: the name(s) of author(s), year, title of book, publisher, place of publication. E. g. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity.* Academic Press, New York and London.

Figurens: Should be prepared entirely in black India ink upon transparent paper and be attached to the first copy of the manuscript; a copy of the original figures should be attached to the second manuscript copy. The legends of figures should be given on a separate sheet. Photographs of good quality may be provided in black and white.

Tables: Should be marked by Roman numbers and provided on separate sheets together with relevant captions.

Mathematical formulas and symbols: Non-Latin letters and hand-written marks should be explained by making marginal notes in pencil.

Authors are receiving 30 reprints free of charge. Additional reprints may be ordered at the authors expense when submitting the manuscript.

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

A szerkesztésért felel: dr. Szepesiné Lőrincz Anna

Szerkesztőség: 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.
Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Tel.: 353-500

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, Budapest VII., Lenin körút 9—11. Telefon: 221-285. Levélcím: 1906 Budapest, Pf. 223.
Felelős kiadó: Siklósi Norbert vezérigazgató

86.0086 Athenaeum Nyomda, Budapest — Íves magasnyomás
Felelős vezető: Szlávik András vezérigazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329

Mesrich
Ivan

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

90. ÉVF. ★ 5. SZÁM ★ 1986. SZEPTEMBER—OKTÓBER

TARTALOM

Ecker, F. J.—Georgii, H. – W.: Légköri nehézfémek vizsgálata erdőben kémiai elnyeletővel ellátott többfokozatos mintavevő segítségével (angol nyelven) 257

Weidinger Tamás: A talajközeli légréteg néhány jellemzője a szarvasi toronymérések alapján 266

Borbély Edit: A bolygóközi mágneses tér és a Föld légkörének változásai közötti kapcsolat 282

Koppány György: Néhány megjegyzés az időjárás és az éghajlat fogalmáról 295

Béll Béla: A Magyar Tudományos Akadémia meteorológiai kiadványai a XIX. században 300

Irodalom 310

Krónika 315

CONTENTS

Ecker, F. J.—Georgii, H. – W.: Analysis of airborne heavy metals in forest areas by a cascade impactor with chemical impinger (in English) 257

Weidinger, T.: Some characteristics of the surface boundary layer on the basis of the tower observations near Szarvas (Southern Hungary) 266

Borbély, E.: Relationships between changes in interplanetary magnetic field and the Earth's atmosphere 282

Koppány, Gy.: Remarks on concepts of the weather and climate 295

Béll, B.: Meteorological publications of the Hungarian Academy of Sciences in the 19th century 300

Literature 310

Chronicle 315

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 90. ★ NO 5. ★ SEPTEMBER—OCTOBER 1986 ★ BUDAPEST

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata
Journal of the Hungarian Meteorological Service

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG – EDITORIAL BOARD

AMBRÓZY P. (Budapest)
ANTAL E. (Budapest)
BENGTSSON, L. (Reading)
BÖHME, W. (Potsdam)
BUDYKO, M. I. (Leningrad)
FISHER, B. (Leatherhead)
GEORGII, H.–W. (Frankfurt a. M.)
GÖTZ G. (Budapest)
GULYÁS O. (Budapest)
HAMAN, K. (Warsawa)
HUSAR, R. (St. Louis, Missouri)
KAPOVITS, A. (Budapest)
KONDRATYEV, K. YA. (Leningrád)
MAJOR Gy. (Budapest)
MESINGER, F. (Beograd)
MILOSHEV, G. (Sofia)
PRÁGER T. (Budápest)
PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
RÁKÓCZI F. (Budapest)
RENOUX, A. (Paris-Créteil)
ŠAMAJ, F. (Bratislava)
SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
STAROSOLSZKY Ö. (Budapest)
SZEPESI D. (Budapest)
TAYLOR F. W. (Oxford)
TÄNCZER T. (Budapest)
VARGA-HASZONITS Z. (Budapest)
VITEK, V. (Praha)
WHELPDALE, D. M. (Downsview, Ont.)
WIRTH E. (Pécs)

Elnök – Chairman of the Editorial Board:
MÉSZÁROS ERNŐ (Budapest)

Szerkesztő – Editor:
SZEPESINÉ LŐRINCZ ANNA (Budapest)

Szerkesztőség: 1525 Budapest, Postafiók 38.
Előfizetés: 1 évre 300 Ft. Megrendelhető az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1. Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Megjelenik kéthavonként.
Egyes szám ára 50 Ft

Editorial Office: H-1525 Budapest P. O. B. 38 — Hungary. This journal, published bimonthly can be purchased from the distributor: KULTURA, H-1389 Budapest P. O. B. 149 — Hungary
The actual subscription rate is determined by the distributor

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 5. szám. 1986. szeptember-október
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 5. Sept-Oct. 1986. Budapest

Analysis of airborne heavy metals in forest areas by a cascade impactor with chemical impinger

F.-J. ECKER and H.-W. GEORGII, *Institute of Meteorology and Geophysics, University of Frankfurt/Main, Feldbergstr. 47, D-6000 Frankfurt/Main 11,*

Légköri nehézfémek vizsgálata erdőben kémiai elnyeletővel ellátott többfokozatos mintavevő segítségével. A tanulmány javított kivitelű többfokozatos aeroszol mintavevőt mutat be, amely alkalmas a nehézfémek mérésére alacsony háttér-koncentrációk esetén. A gáz halmazállapotú nehézfémek kimutatása céljából a mintavevőhöz elnyeletó edény csatlakozik. A berendezést a Taunus hegységben (NSZK) alkalmazták. A mérési eredményeket a szerzők bemutatják és értékelik.

⁂

Analysis of airborne heavy metals in forest areas by a cascade impactor with chemical impinger. This paper deals with the technical improvements of a cascade impactor for the collection of particulate heavy metals in areas of relatively low background-concentrations (i. e. forest areas), as well as the development of an impinger device employed in series with the impactor to detect gaseous heavy metals in the filtered air. Some results gained by the application of this newly developed device in the forests of the Taunus-mountain-range (FRG) are described.

⁂

Introduction. The majority of environmental studies deal with sources, sinks and the transport of pollutants through the compartments of an ecosystem. Sampling, sample storage, -preparation and analytical procedure are therefore basic aspects of data interpretation.

Continued efforts directed to the development of improved sampling methods are needed, as sampling techniques are still areas of considerable weakness in many environmental studies. It is also necessary to design new sampling concepts for upcoming environmental problems.

This paper introduces a newly developed set of sampling instruments for the determination of particulate heavy metals. The basic problem was to collect airborne heavy metals in the relatively unpolluted air of a mountainous forest area and to design an adequate measuring device for this purpose.

In a relatively clean atmosphere the use of filter materials require long sampling periods. As the determination of size related mass concentrations during a short time period was desired the use of an impactor seemed the best method. The most widely used method for sizing particulate matter was developed on the principle of inertial impingement (*Marple*, 1970). Based on this principle a high volume cascade impactor was constructed. Combined with this impactor we designed a device to detect traces of heavy metals which had already passed the impactor as well as the aerosol back-up-filter.

Description of the impactor

The instrument consists of a series of five stages with decreasing jet width or jet diameter and distance between the jet exit and the impaction plate so that progressively smaller particles are collected on each successive

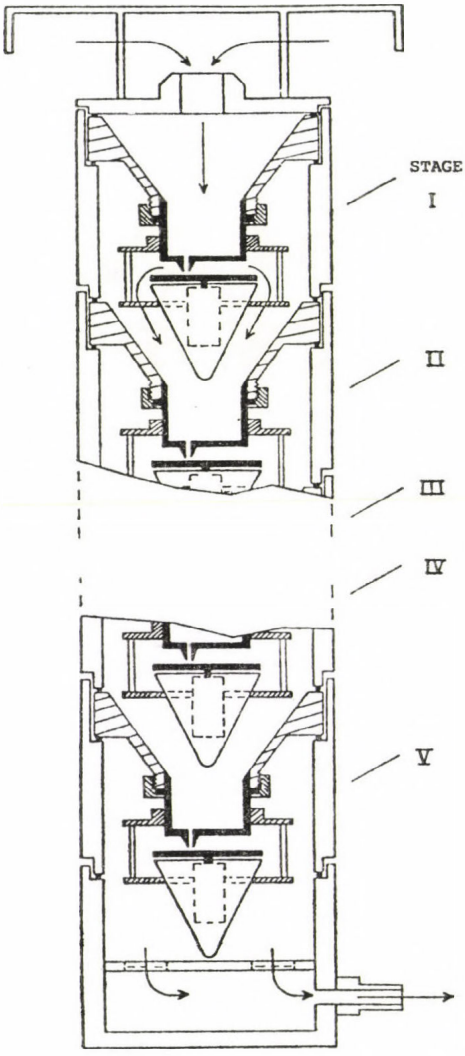


Fig. 1: Schematic diagram of the five-stage impactor

stage *(Figure 1)*. Small particles with insufficient momentum to impact on the collecting plates are kept by a back-up-filter. Each stage consists of a PVC-funnel ending into a brass cylinder *(Figure 2)*. The round jets at the bottom of this cylinder direct the air on the horizontally orientated impaction plate. The distance between the impaction plate and the jet exit is steadily adjustable.

The samples on each stage have to be sufficiently large to exceed the amount of background material present in the collection medium. Also some improvements of the impactor were necessary to minimize the sampling time in relatively clean air and to ascertain a significant sample load on each stage. An increasing number of round jets with decreasing jet width at each

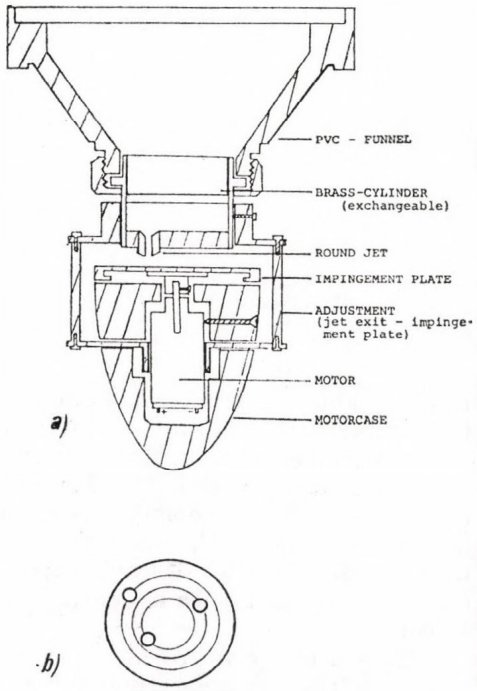


Fig. 2 : a) Cross-section of an impactor-stage; *b)* concentric arrangement of the jets at the bottom of the cylinder

successive stage permit a higher flow rate and thereby ensure a sufficiently high amount of material on each stage within a relatively short sampling period *(Table I)*.

TABLE I

Number of jets per stage and the respective, jet diameters

Stage	Number of jets	Jet diameter mm
1	3	6.3
2	4	4.5
3	6	3.2
4	9	2.0
5	19	1.0

Considering that the impactor was calibrated with an air flow of 40 l/min one can easily calculate that a sample volume of at least $100 - 200$ m^3 is necessary to obtain a detectable sample. This air volume corresponds to a sampling time of about two to three days.

The impactor was calibrated with uniform latex aerosols as well as by theoretical calculations (*Georgii* and *Wagner*, 1984). Assuming an average density of the atmospheric aerosol of 2 g/m³ the separation intervals are as listed in *Table II*. The size-distribution of aerosols was determined for each impactor stage separately. The mean diameter given in Table II refers to the

TABLE II

Separation intervals of the individual impactor stages assuming a mean aerosol density of 2 g/m³

Stage	Separation interval µm	Mean diameter µm
1	15.0 – 4.3	9.6
2	4.3 – 3.0	3.6
3	3.0 – 2.1	2.6
4	2.1 – 1.3	1.8
5	1.3 – 0.6	0.96
6	0.6 – back-up filter	0.45 pore size

median value of the corresponding separation interval of each stage. It should be mentioned that often the calibration-curves of a cascade impactor obtained with latexspheres are different of the corresponding curves with real aerosols (*Renoux* and *Tymen*, 1974). The size-intervals determined in the impactor do not refer to the geometrical diameter of the particles since their density and shape influence the impaction. They refer to the so-called Stokes diameter, defining the diameter of atmospheric particles as diameter of a corresponding spherical particles with a density to allow equal behaviour in a given air-stream.

The accuracy with which the samples reflect the true average concentration over the sampling time depends on the constant air flow maintained through the impactor and on its collection efficiency. Constant air flow is preserved by two mechnaical pumps controlled by a valve over a gasflow-meter *(Figure 3)*. Inefficiency of collection, sample contamination and loss of sample material also need to be considered. During continuous operation over a period of two days one has to be aware of deposition losses at the wall of the impactor and of removal of deposited material by blow-off and bounce-off from the plates (*Dzubay* et al., 1976).

Each impaction plate was covered with an easily accessable filter to serve as collection medium. The coating of the surface of these filters with an

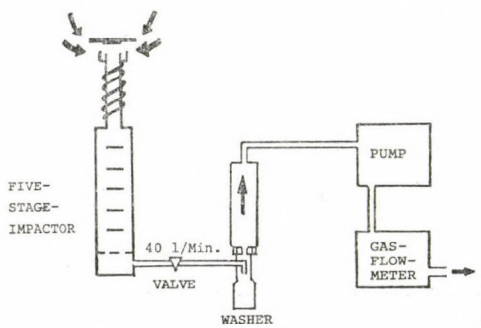


Fig. 3: Schematic diagram of the instrumental set-up

adhesive material greatly reduces the error caused by blow-off and bounce-off effects. As atom absorption spectroscopy was used for the chemical analysis of the samples the requirements for these adhesive filters were the following:

1. readily soluble in a hydrous acid solution
2. low impurity compared with the contaminant concentration
3. the collection material must maintain a smooth and wrinkle-free surface in order not to disturb the airflow pattern

The use of a cellulose-nitrate filter (Sartorius SM 11306) coated with an agar-agar-glycerine solution (50 ml H_2O dest + 1.5 g glycerine + 0.35 g agar-agar) proved to be most efficient according to these requirements.

In order to further minimize the blow-off effect the jets at the bottom of the described stage cylinder were arranged in a concentric order *(Fig. 2a)*. A rotating impaction plate evenly spreads the sample over a large area of the collecting agar-filter. A minimotor was fixed below the impaction plate *(Figure 2)* to rotate it at a speed of about 7 rotations a minute.

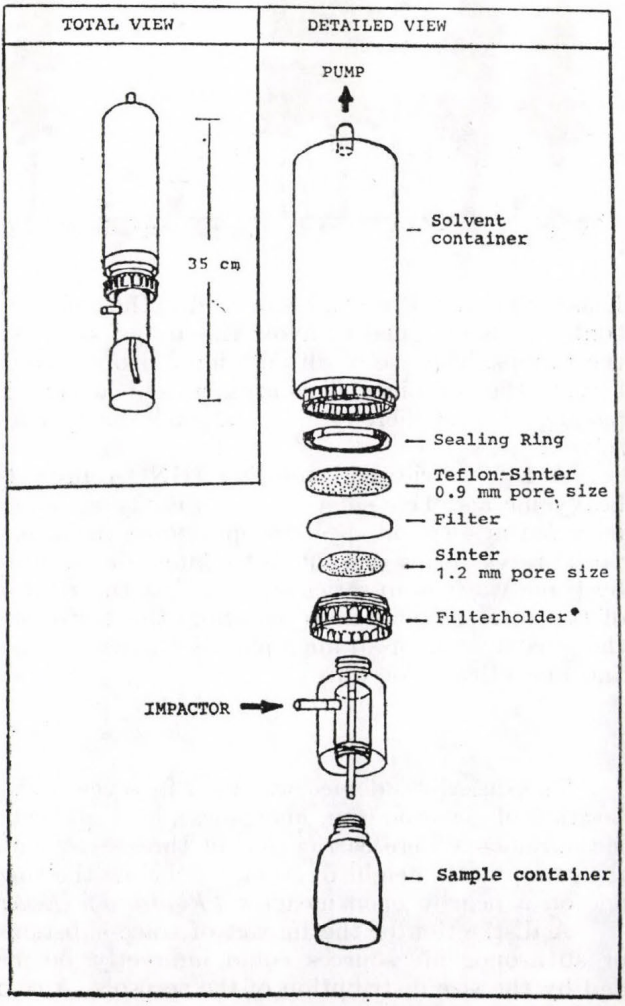


Fig. 4: Scheme of the washer with the wet filter system

Collection of the gas-phase of trace metals

Based on the principle of solvent extraction, a device consisting of a washer with a wet filter placed between two sinter-plates was designed *(Figure 4)*.

After passage of the impactor and the back-up-filter the air is driven through the sample container. The low pressure induced by the pumps sucks the solvent liquid through the first sinter, the filter (Delbag, Schwebstaufbilter

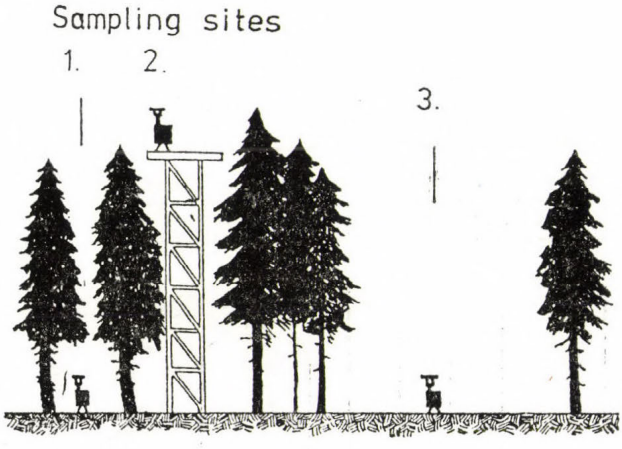


Fig. 5: Scheme of the distribution of the sampling sites: *1)* 1.8 m above the ground below the trees, *2)* above the canopy at a height of 30 m, *3)* 1.8 m above the ground at a meadow Percentual

Klasse S) and the second sinter into the solvent container. The size of this container is designed to avoid the loss of sample droplets by the airflow into the pumps. The use of an additional droplet trap prevents the droplets from leaving the container. This arrangement accomplishes a fine dispersion of the passing air and thereby allows a good absorption of the gaseous traces in the solvent.

A 18% nitric acid solution (HNO_3) proved to be a good solvent for heavy metals. This solvent is also easily applicable to the chemical analysis by atom absorption spectroscopy. Some problems are caused by high evaporation rates during dry and hot summer days. A test of the collection efficiency by three washers in series showed that the first washer retains 80% ($\pm 15\%$) of the total gaseous material while the third washer already ranges around the purity value of an unemployed washer undergoing the same preparational and analytical procedures.

Results

The described device was used in a research program examining the deposition of airborne iron, manganese, lead and cadmium in a forest ecosystem. Measurements were carried out at three levels in a fir tree forest, one above the canopy at a height of 30 m, one below the trees at the ground and a third one on a nearby open meadow *(Figure 5)* (*Ecker*, 1985).

A distinction of the impact of trace-substances originating from natural or anthropogenic sources could indirectly be made by seasonable changes and by the size distribution of the aerosols. A comparison of the winter data,

when the ground was covered with snow to the summer data showed that dust dispersed from the ground originated from local sources and was responsible for the major fraction of detected iron *(Figure 6)*. Manganese also showed the influence of dust blown from local natural sources.

Lead and cadmium aerosols however obviously originated from more

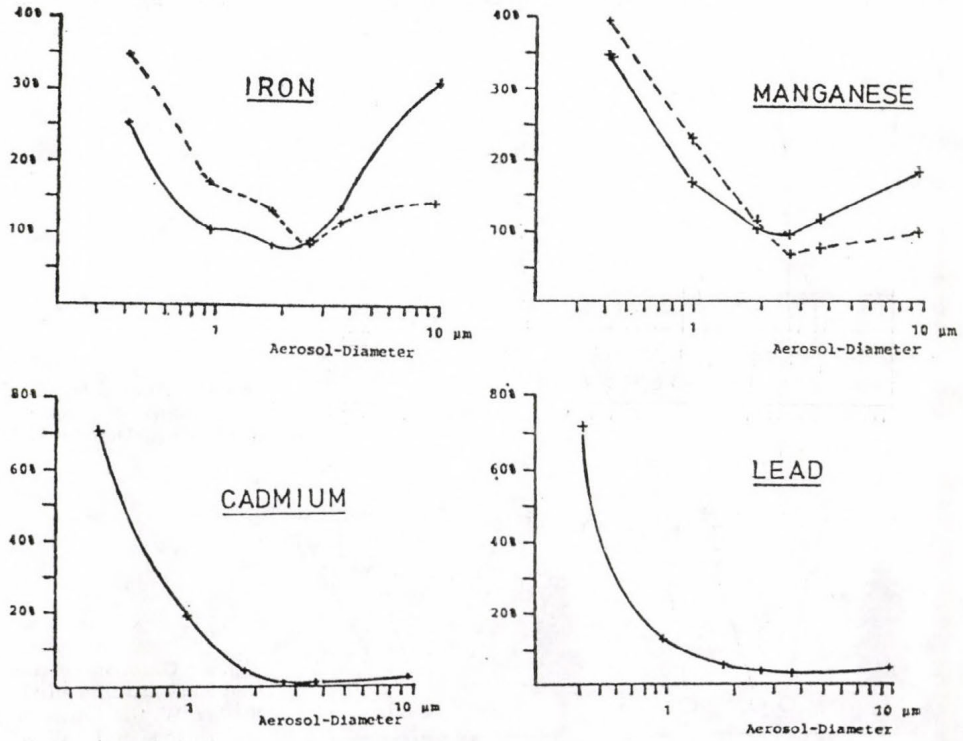


Fig. 6 : Distribution of the total aerosol-mass of iron, mangenese, lead and cadmium as function of diameter; dotted line = February – March 1984 (snowcovered ground), continuous line-May – August 1984

distant anthropogenic sources. A significant percentage of lead- and cadmium particles was not impacted on the impactor stages but in the back-up-filters. During all seasons more than 80% of the aerosol mass of these contaminants

TABLE III

Mean- and peak concentrations (May – August 1984, 22 measurements)

Element	Concentration	
	Mean, ng/m³	Peak, ng/m³
Iron	130	650
Manganese	15	40
Lead	70	200
Cadmium	0.5	2.0

were detected in the fine-particle-mode with particles smaller than 1 μm. Figure 6 clearly shows that the chemical composition of aerosols is a function of particle size. While the mass of iron generally decreases with increasing particle diameter in summer, the manganese-concentration stays relatively constant and the lead- as well as the cadmium-concentration increase significantly with decreasing diameter without an evident seasonable influence. All elements showed great fluctuations around the mean concentrations as shown

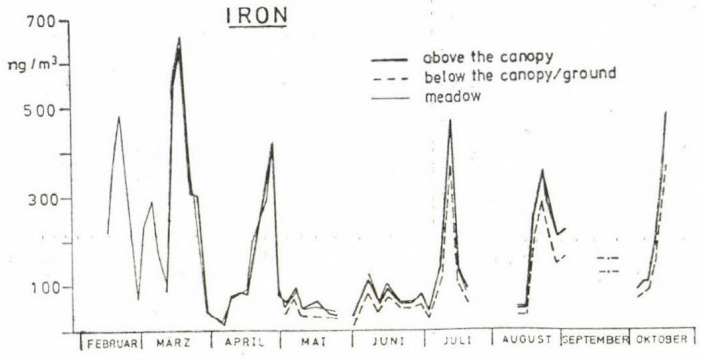


Fig. 7: Annual trend of the iron-concentration (February – October 1984)

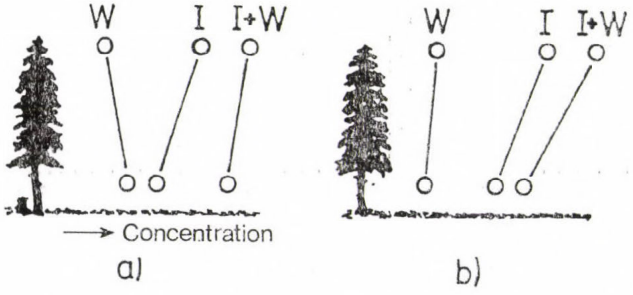


Fig. 8: Gradient of the lead-concentration in the washer W, the impactor I and their sum I+W, *a)* in summer (August – October 1984), *b)* in winter (January 1985)

in *Table III* in the difference between mean and peak concentration. The great deviations of the peak concentrations from the mean occur during particular weather situations *(Figure 7)*. Maximum concentrations correlate with long periods of high pressure with calm winds at the ground. Also correlations with precipitation activities and changes of air masses were found. Precipitation leads to a strong reduction of the concentrations.

The investigation showed no statistical evidence of a horizontal change of the mean concentrations in the small scale of 1/2 a mile between the level above the canopy and on the open meadow. However, vertically, all size intervals reflect a decrease between canopy and forest ground with a few exceptions only. A rough estimate of this filtration effect by the canopy of this fir forest results in a reduction of 20% of the aerosol mass. This decrease of concentration was not equally distributed over all size intervals. The total number of measurements gives evidence that the forest canopy has a filtration-gap for particles of a radius around 1 μm.

Only lead and cadmium have an appreciable fraction which was captured in the impinger. In relation to the total mass collected by the impactor, the gaseous lead fraction amounted up to 30% and for cadmium even up to 150% above the canopy. The amount of cadmium in the gas-phase decreases below the canopy to the ground. The corresponding lead fraction showed an increase in summer from the canopy to the ground and almost no vertical gradient in winter *(Figure 8)*. This effect of a higher lead concentration near the ground is not yet satisfactorily explained, a source by microbiological activities is assumed. The molecular composition of the cadmium fraction in the impinger is not yet fully established.

Conclusions

The combination of an impactor and an attached washer in series makes it possible to determine the airborne concentrations of heavy metals in different aerosol size intervals and in a possibly gaseous phase quantitatively. The described method permits analysis with a minimum of sample handling and pretreatment. The multielement analytical method of atom absorption spectroscopy offers a high degree of selectivity over a broad range of different heavy metals.

This research was supported by *Umweltbundesamt* which is acknowledged with thanks.

REFERENCES

Dzubay, T. G., Hines, L. E. and *Stevens, R. K.*, 1976: Particle bounce errors in cascade impactors. *Atmospheric Environment 10*, 229 – 334.

Ecker, F. J., 1985: Experimentelle Untersuchungen zur Impaktion einiger Schwermetall Aerosole in den Waldgebeiten des Taunus. Diplomarbeit, Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Frankfurt.

Georgii, H. W. and *Wagner, H.*, 1984: Untersuchung von atmosphärischen Schwermetallaerosolen mittels eines neu entwickelten Fünf-Stufenimpaktors. *Stanb, Reinhaltung der Luft*, 44 522 – 525.

Marple, V. A., 1970: A fundamental study of inertial impactors. Dissertation, University of Minnesota.

Renoux, A. et *Thymen, G.*, 1974: Répartition granulométrique des aérosols de diamètres supérieurs a 0.3 μm en atmosphére maritime et continentale. *Chemosphere 2*, 49 – 52.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 5. szám. 1986. szeptember-október
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 5. Sept-Oct. 1986. Budapest

A talajközeli légréteg néhány jellemzője a szarvasi toronymérések alapján

WEIDINGER TAMÁS, *ELTE Meteorológiai Tanszék, H-1088 Budapest, Múzeum krt. 6-8.*

Some characleristics of the surface boundary layer on the basis of the tower observations near Szarvas (Southern Hungary). Temperature and wind profiles are analysed at different levels in four characteristic mounths chosen from the observations of the year 1980. Daily changes in stability of different layers are given on the basis of the mean daily oscillations of temperature profils it was found that in great part of observations the necessary condition of the similarity theory was not fulfilled.

⁂

A talajközeli légréteg néhány jellemzője a szarvasi toronymérések alapján. Az 1980-as évet jellemző négy kiválasztott hónapban különböző mérési szintekben vizsgáljuk a hőmérsékleti- és a szélmező viselkedését. A hőmérsékleti gradiensek és a Richardson-számok átlagos napi menetei alapján meghatározzuk a különböző rétegek egyensúlyi állapotában bekövetkező napi változásokat. A hőmérsékleti profilokat tanulmányozva megállapítjuk, hogy az időszak nagy részében az alsó 30 m-es légrétegben nem teljesülnek a hasonlósági elmélet alkalmazásához szükséges feltételek.

⁂

1. A Prandtl-réteg vizsgálata gradiens mérések alapján

Az 50 m-nél is kisebb függőleges kiterjedésű, közel állandó áramokkal jellemzett talajközeli vagy Prandtl-réteg jelentős szerepet tölt be az impulzus-, tömeg- és energiakicserélődésben. Fontosságát növeli, hogy magába foglalja a bioszféra légterét. Ez az emberi tevékenység színtere és a szennyezőanyag-források nagy része is itt található.

A kicserélődési folyamatok intenzitása a talaj állapotától, illetve a meteorológiai elemek — különösen a szél, a hőmérséklet és a nedvesség — vertikális profiljától függ. A felszínközeli turbulens áramlás kutatásában fontos a szerepe a meteorológiai mérőtornyoknak. A több szintben végzett méréseket, illetve a belőlük számított gradienseket a turbulencia-elmélet félempirikus módszereivel dolgozzák fel. A gyakorlatban általánosan alkalmazott Monyin — Obuhov-féle hasonlósági elmélet, illetve az ez alapján meghatározott univerzális függvények csak pontatlanul adják vissza a kicserélődési folyamatokat. A homogén és izotróp turbulencia feltételezése nem teljesül a különböző irányokban eltérő növényzettel és épületekkel borított felszínek felett. A különböző területek eltérő érdessége, illetve fölmelegedése miatt a meteorológiai elemek vertikális profilja is helyről helyre változik. Általános esetben az impulzus-, hő- és nedvesség-fluxus a függőlegesben sem lesz állandó a talajközeli rétegben. Ezek a hatások a magassággal változó horizontális kicserélődési együtthatók bevezetésével jellemezhetők, meghatározásukra azonban egy mérőtorony adatai nem elégségesek.

Az adatok feldolgozását tovább nehezítik a mérések hibái. A 0,3–0,4 m/s alatti széladatok a szélkanál tehetetlensége miatt már kevésbé pontosak. A mérési hiba az átlagsebesség növekedésével csökken, tehát más-más értékű az egyes szinteken (*Przadka*, 1984). A hőmérséklet meghatározásakor a nem kielégítő sugárzásvédelem okoz problémákat pl. erős besugárzás esetén a talajközeli mérőhelyeken (*Galló*, 1981).

A gradiens mérések feldolgozásával csak hozzávetőleges képet kaphatunk a turbulens folyamatokról. A félempirikus hasonlósági elmélet elsősorban arra alkalmas, hogy a különböző paraméterek – kicserélődési, ellenállási együtthatók, áramok – nagyságrendjét, havi és napi változásait leírja. A hő- ét impulzusáram pontosabb meghatározása a hetvenes években kifejlesztets akusztikus anemométerek és akusztikus radarok alkalmazásával valósult meg (*Salamonsson*, 1982). Ezek a mérőműszerek már a fluktuációkat, vagyis a momentum-, hő- és nedvességfluxusokat adják meg. Ilyen korszerű berendezésekkel a Meteorológiai Szolgálat még nem rendelkezik, így a talajközeli légréteg karakterisztikáit csak gradiens mérések felhasználásával tudjuk meghatározni.

A Prandtl-réteg vizsgálatával közel harminc éve foglalkoznak a hazai meteorológusok. *Felméry* (1955) különböző talajfelszínek párolgását számította ki gradiens mérések alapján. A növényállomány feletti kicserélődési folyamatokat *Kissné* (1965) írta le és foglalkozott az érdességi paraméter meghatározásával is. A mérőtornyok adatainak a felhasználásával *Endrődi* (1980) vizsgálta a talajközeli légréteg évszakos változásait. A hő- és impulzusáram napi menetét *Tiringer* (1980) írta le különböző feltételek mellett a Monyin–Kazanszkij-féle hasonlósági elmélet alkalmazásával. A szabad vízfelszínek párolgását *Koris* és *Rákóczi* (1984) tanulmányozta.

2. Az adatbázis általános jellemzése

Vizsgálatainkat a szarvasi agrometeorológiai obszervatórium 30 m-es mérőtornyának szél- és hőmérsékleti adataival végeztük el. A mérőhelyeket a tornyon logaritmikusan egyenlő távolságokra helyezték el: 0,5; 1,1; 2,6; 5,8; 13,2 és 30 m-es magasságokban. Az észlelések ellenálláshőmérők és Lambrecht-féle kontakt anemométerek felhasználásával folynak. A megfigyelések egy átlagos mezőgazdasági területet jellemeznek. Jelentősebb árnyékolást csak a közelben lévő obszervatórium okoz.

A mérések – a klimatológiai észlelések időpontjához igazodva – minden óra negyvenötödik percében történnek. A meteorológiai elemek értékeit egy százcsatornás mikroprogramozott adatgyűjtő kérdezi le és telex-berendezés segítségével naplózza.

A meteorológiai adatok feldolgozását *Endrődi* (1980) gondolatmenetét követve hajtottuk végre. A hőmérsékleti és széladatok elemzésével arra kerestünk választ, hogy milyen feltételekkel alkalmazható a szarvasi adatsor klimatológiai feldolgozásokra és milyen mértékben teljesülnek a Monyin–Obuhov-féle hasonlósági elmélet feltételei a talajközeli légrétegben.

A rendelkezésünkre álló adatok közül az 1980-as évet jellemző négy hónapra – január, április, július, október – végeztük el vizsgálatainkat az ELTE R10-es számítógépén. Az adatgyűjtő az időszak 7,4%-ában nem szolgáltatott egyidejű hőmérsékleti és szélprofilokat.

A kiválasztott négy hónap klímaadataiból kitűnik, hogy a január hűvö-

sebb és szárazabb, míg az április és a nyarat reprezentáló július hidegebb és lényegesen csapadékosabb volt a megelőző évek átlagánál. A napfényes órák száma különösen áprilisban maradt el a megszokottól. Ezekben a hónapokban jelentősen megnövekedett a borult napok száma és a csapadék mennyisége is.

Elsőként a mért karakterisztikák havi átlagértékeit állítottuk elő az egyes mérési szinteken. Ezeket az *I. táblázat*ban közöljük. Látható, hogy a leg-

I. TÁBLÁZAT

Havi átlagos hőmérsékleti és széladatok a különböző magassági szintekben (1980. Szarvas)

Szint m	Január		Április		Július		Október	
	T C°	*U* m/s	*T* C°	*U* m/s	*T* C°	*U* m/s	*T* C°	*U* m/s
0,5	−4,04	1,39	8,32	0,99	19,07	1,01	10,24	1,24
1,1	−4,13	1,76	8,23	1,38	18,89	1,49	10,22	1,80
2,6	−3,85	2,24	8,49	1,86	18,98	2,02	10,51	2,26
5,8	−3 70	2,71	8,67	2,28	19,17	2,54	10,71	2,82
13,2	−3,75	3,23	8,65	2,68	18,99	3,13	10,71	3,51
30,0	−3,71	4,07	8,79	3,04	19,05	3,75	10,87	4,40

nagyobb szélsebességeket októberben mérték. A 0,5 és 30 m-es szint között minimális sebességkülönbségek áprilisban jelentkeztek. A vizsgált hónapokban a legkisebb átlaghőmérsékletek az 1,1 m-es szintben fordultak elő. Július kivételével az 5,8 és a 13,2 m-es magasságban a hőmérséklet közel azonos volt. A 0,5 és 1,1 m-es szintek közötti átlaghőmérséklet nagy különbségei a műszerek sugárzási hibáival, illetve a talajmenti rétegeknek a napsugárzás hatására bekövetkező gyors fölmelegedésével, az erős labilitással magyarázhatók. A felsőbb szinteken az átlagokban is tükröződő inverziók arra utalnak, hogy a talajközeli rétegben a hőmérsékleti mező jellemzésére a hasonlósági elmélet csak korlátozottan alkalmazható. A vizsgált időszak 74,9%-ában a hőmérséklet nem szigorúan monoton függvénye a magasságnak az alsó 30 m-ben. Ez jellemző az esetek 74,8%-ában az alsó 13,2 m-es légoszlopra is, mivel a hőmérsékleti gradiensek előjelváltásai szinte kizárólag az 1,1; 2,6, illetve az 5,8 m-es mérőhelyeken fordultak elő.

3. A hőmérsékleti eloszlás jellemzői

A vizsgált hónapokban az átlagos napi hőmérsékleti meneteket az *1. ábra* szemlélteti a 0,5; 5,8 és 30 m-es mérőhelyeken. A napi menet amplitúdója januárban a legkisebb; 0,5 m-en 3,4 C°, míg a 30 m-es szinten csupán 2,7 C°. Az év folyamán — a besugárzás növekedésével arányosan — a minimum és maximum hőmérsékletek közötti eltérés növekszik, júliusban a legnagyobb értékű: 0,5 m-en 9,5 C°, 30 m-en pedig 7,3 C°.

Nemcsak az amplitúdók nagysága, hanem a maximális hőmérsékletek bekövetkezésének az ideje is magasságfüggő. A felső szinteken később következnek be a maximális hőmérsékletek. A 0,5 m-es, illetve a 30 m-es mérési pontokban a legnagyobb értékek áprilisban 14 óra 40 perc, illetve 16 óra körül fordulnak elő. Júliusban a 0,5 m-es szintben negyed négy körül, míg a legfelső szintben körülbelül háromnegyed négykor jelentkeznek. A 0,5—30 m-es szintek maximum hőmérsékletei közti időkülönbség januárban a legnagyobb. Ezek az átlagos napi menetek a kicserélődési együttható évszakos változásaival — téli minimum, nyári maximum — magyarázhatók. Eredmé-

nyeink összhangban vannak a hőmérsékleti hullám magasságfüggésére vonatkozó elméleti leírással (*Götz* és *Rákóczi*, 1981).

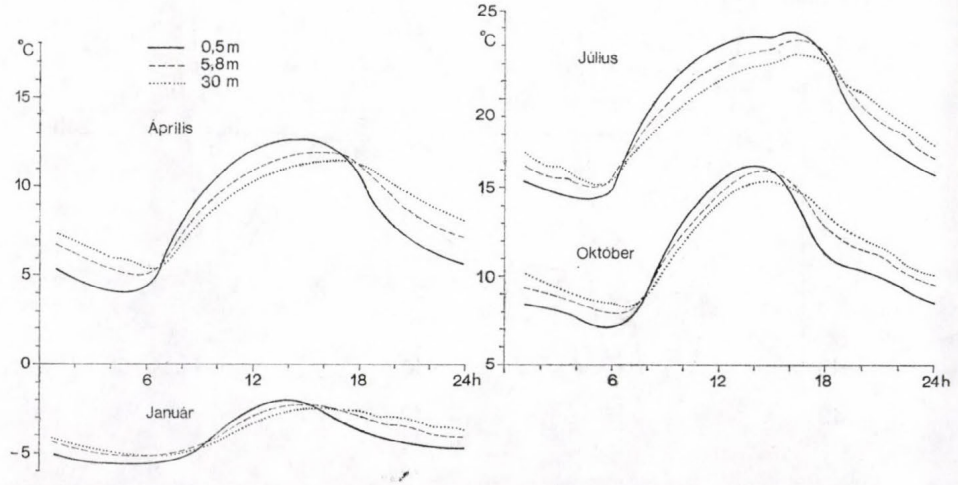
A különböző rétegekre kiszámított átlagos hőmérsékleti gradiensek közül a 0,5 – 30 m-es mérőhelyek értékeivel jellemezzük a Prandtl-réteg egészének átlagos állapotát. A talajközeli rétegződést a 0,5 – 13,2 m-es szintek adataival, míg az 1,1 – 5,8 m-es pontok felhasználásával a réteg belsejét szemléltetjük. Eredményeinket a 2. *ábrán* mutatjuk be. A déli órákat nagy abszolútértékű negatív gradiensek jellemzik [$\gamma = (\partial T/\partial z) < 0$]. A nappali besugárzás következtében az esetek döntő többségében szuperadiabatikus rétegződés alakul ki, a hőmérsékleti gradiensek gyakran meghaladják a homogén légkörre jellemző $\gamma_h = -3{,}42$ C°/100 m-t is. A kapott nagy értékeket – amelyek a szabad légkörben nem fordulhatnak elő – az magyarázza, hogy a talajközeli réteget a felszín – mint mechanikus és termikus kényszer – által kialakított, erősen nem stacionárius turbulens kicserélődés jellemzi. Megjegyezzük, hogy a mérési pontossággal, 0,1 °C-kal megegyező hőmérsékleti különbség az 1,1 – 5,8 m-es szintek között megközelítőleg 2,1 C°/100 m-es hőmérsékleti gradiensnek felel meg.

A határréteg termikus állapotát jól jellemzi az inverziós rétegződések időbeli eloszlása. A 0,5 – 13,2 m-es és a 0,5 – 30 m-es mérőhelyek között otkóberben átlagosan 16 óra és 8 óra, januárban 17 óra és 8 óra között fordul elő inverzió. A 16 – 17 órán át tartó erős inverzió a talaj kisugárzásának az eredménye. A tavaszi és a nyári hónapban a besugárzás növekedésével az inverzió átlagos ideje 13 órára csökken, felbomlása hamarabb megkezdődik: júliusban pl. már 5 órakor. A talajközeli réteg belsejében (1,1 – 5,8 m) az inverzió időtartama – áprilist kivéve – rövidebb, később alakul ki és hamarabb szűnik meg.

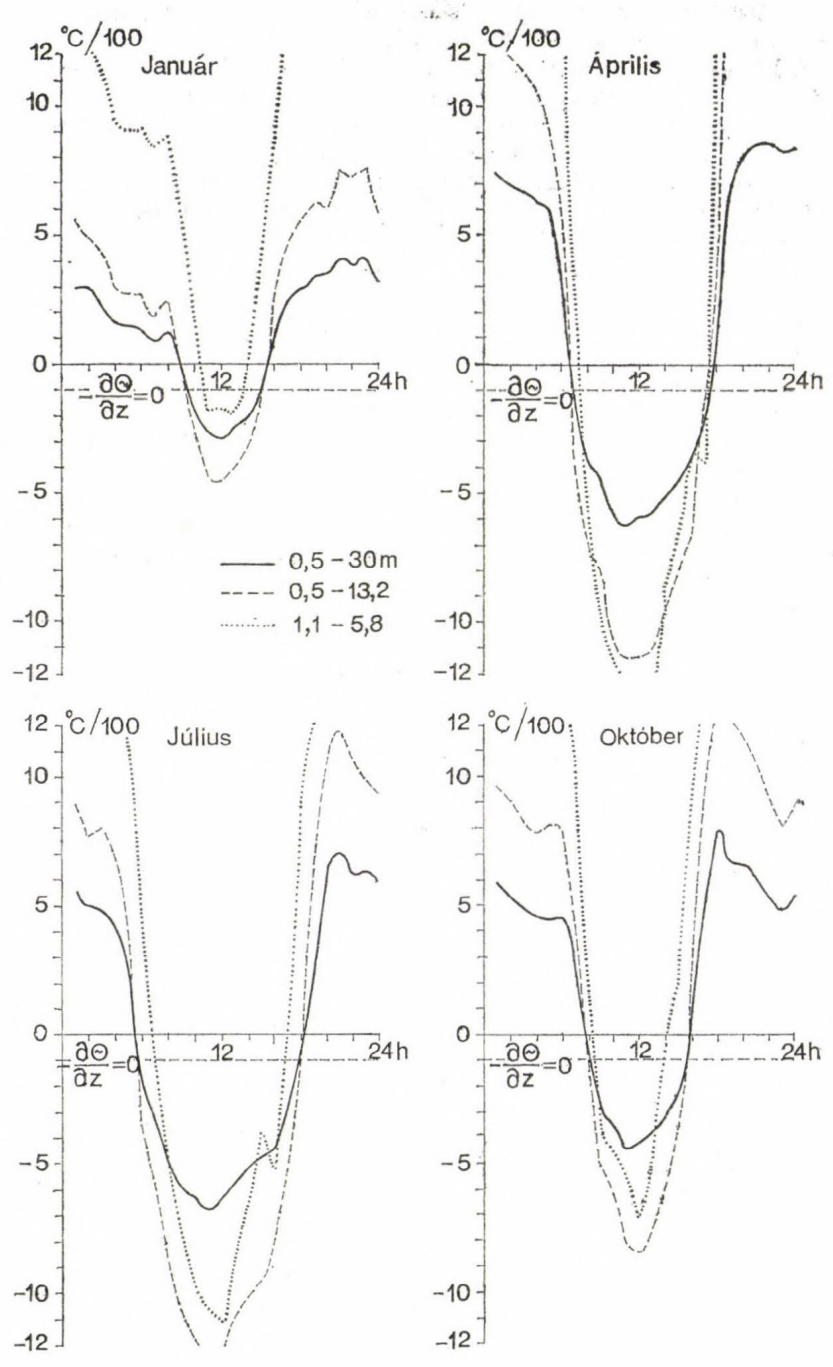
A hőmérsékleti gradiensek napi menetéből a

$$\Theta(z) \sim T(z), \quad \frac{\partial \Theta}{\partial z} \sim \frac{\partial T}{\partial z} + g/c_p \tag{1}$$

közelítés bevezetésével a Prandtl-réteg száraz adiabatikus stabilitása is meg-



1. ábra: A hőmérséklet átlagos napi menete a szarvasi mérőtorony egyes szintjeiben. 1980. jan., ápr., júl., okt.



2. ábra: A különböző mérési szintek közötti hőmérsékleti gradiensek átlagos napi menete. 1980. jan., ápr., júl., okt., a szarvasi mérőtorony adataiból

adható. Az (1) alapján számított potenciális hőmérsékleti gradiensek a 0,5—13,2 m-es szintek között meghaladják a 0,5—30 m-es mérőhelyek közötti értékeket. Ebben a két rétegben az átlagos potenciális hőmérsékleti gradiensek előjelváltása legfeljebb fél órás késéssel következik be. A talajközeli réteg belsejében (1,1—5,8 m) viszont ez — a stabilis és labilis helyzetek közötti átmenet — 0,5—1,5 órával később kezdődik el reggel és — az április kivételével — 1-2 órával hamarabb fejeződik be a délutáni órákban. E rövidebb instabil időszak azt jelenti, hogy a teljes Prandtl-réteg labilizálódásához a talaj erős felmelegedése szükséges, ami a gyenge besugárzással jellemzett reggeli és késő délutáni órákban nem teljesül.

Az éjszakai stabil rétegződés esetén a három vizsgált réteg közül a talajhoz közeli, 1,1—5,8 m-es szintek között fordulnak elő a legnagyobb, míg a 0,5—30 m-es mérőhelyek között a legkisebb gradiensek A déli órákban a talajközeli légréteg egészét jellemző labilis rétegződésnél — az áprilist kivéve — a 0,5—13,2 m-es szintek értékeiből adódnak a legnagyobb gradiensek, melyek a 0,5 m-es mérési hely magas hőmérsékleti értékeivel kapcsolatosak. Júliusban és októberben a vizsgált három réteg közül a 0,5—30 m-es szintek adataiból kapjuk a legkisebb gradienseket, ami a 13,2—30 m-es szintek közötti kis hőmérsékleti kontraszt következménye. A sokévi átlagnál hűvösebb januárban a Prandtl-réteg belsejében (1,1—5,8 m) kicsi a mérőhelyek közötti hőmérsékleti különbség, ezért a 0,5—30 m-es réteg hőmérsékleti gradiensei meghaladják az 1,1—5,8 m-es értékeket.

Áprilisban a legnagyobb abszolút értékű gradiensek mind a nappali, mind az éjszakai órákban a talajközeli réteg belsejében (1,1—5,8), a legkisebbek a 0,5—30 m-es szintek között fordulnak elő. Ebben a hónapban az 1,1—5,8 m-es szintek között az inverzió időtartama megegyezik a másik két rétegével. Ezek a megfigyelések az intenzív turbulens kicserélődéssel kapcsolatosak, amit a későbbiekben bemutatásra kerülő — a szomszédos szintek közötti — kis szélsebesség-különbségek valószínűsítenek, a hasonlósági elmélet alapján.

A fenti elemzés arról tanúskodik, hogy az *Endrődi* (1980) által levont következtetés — „minél közelebb vagyunk a talajfelszínhez, annál nagyobb lesz a gradiens" — igazából csak a stabil helyzetekre teljesül.

Az 1,1—5,8 m-es szintek közötti inverziós helyzetek időtartamát, illetve az átlagos órás profilokat vizsgálva az 5,8 m-es mérőhelyen észlelt gyakori lokális hőmérsékleti maximumok felvetik az itt használt műszer mérési pontosságának a kérdését. Az olyan profilok vizsgálata alapján, ahol a 30 m-es és a 0,5 m-es szint közötti hőmérséklet-különbség 0,2 °C-nál kisebb abszolút értékű, föltételezhető, hogy az 5,8 m-es mérőhely a nappali órákban a valóságosnál magasabb értékeket mutat. E hiba értéke legfeljebb 0,1—0,15 °C.

Az átlagos órai hőmérsékleti profilok jelentős részét a hőmérsékleti gradiens előjelváltása jellemzi. Az adatsor elemzésének következő állomásaként a vizsgált négy hónapra meghatároztuk a hőmérsékleti profilok minimális és maximális értékeinek az elhelyezkedését, és ezek különböző órákra vonatkozó %-os gyakoriságait az alsó 30 m-es réteg egyes mérőhelyein. A hőmérsékleti minimumok és maximumok legnagyobb számban az alsó 0,5 m-es, a felső 30 m-es és a légoszlop belsejét reprezentáló 5,8 m-es mérési szintekben alakultak ki.

Az 5,8 m-es szintben a maximumok a feldolgozott hónapok mindegyikében a délutáni órákban figyelhetők meg legnagyobb számban, a profilmérések 50—70%-ában: nyáron 18, télen 16 óra körül. Ezek a nagy gyakori-

ságok a konvektív talajközeli légréteg stabil állapotba történő átalakulását jellemzik. A hajnali órákban az 5,8 m-en mért maximumok előfordulása kisebb mértékben, de ugyancsak növekszik, ami a stabil rétegződés lebomlásával kapcsolatos. Az 5,8 m-es magasságban a profil minimális értékei legfeljebb az időszak néhány %-ában lépnek fel.

A stabil és a labilis rezsim közötti átmenet idején, a kora reggeli és a késő délutáni órákban a 0,5—30 m-es talajközeli réteg belsejében a réteget nem teljesen kitöltő inverzió található. Az inverzió felső határának maximális hőmérsékletű szintje fokozatosan felfelé (este), illetve fokozatosan lefelé (reggel) mozog, növelve a stabil, ill. a labilis rétegződés tartományát. Januárban például az időszak 69%-ában találunk a hőmérsékleti gradiens előjelváltásával jellemzett átmeneti rétegződést. Az ilyen esetek 61,3%-ában a hőmérsékleti rétegződés megváltozásának a szintjén volt — az alsó 30 m-es

II. TÁBLÁZAT

Együttes hőmérséklet- és szélprofil típusok relatív gyakoriságai %-ban (1980. Szarvas)

Órás adatok típusa	Jan.	Ápr.	Júl.	Okt.	Átlag
Mérési hibák	17,1	0,1	2,6	9,7	7,4
Szélinverziók	14,4	51,5	28,0	17,3	27,8
Hasonlósági elméletnek megfelelőek	68,5	48,4	69,4	73,0	64,8

rétegben — az abszolút hőmérsékleti maximum. A júliusi hónap 71,6%-ában figyelhető meg átmeneti rétegződés. Az esetek 30,8%-ában a gradiensek előjelének megváltozása a hőmérsékleti maximum szintjét is kijelöli. A hőmérsékleti minimumok helye ugyanakkor az alsó 0,5 m-es, illetve az 1,1 m-es szint és a 30 m-es magasság között gyakran, szinte a többi mérési pontot átugorva változik.

Nappal a legnagyobb valószínűséggel a 0,5 m-es maximumok és a 30 m-es minimumok értékei fordulnak elő. A délutáni órákban gyakoriságuk minden hónapban meghaladja a 80%-ot. Az 50%-nál nagyobb gyakoriságú, 0,5 m-es maximumok és 30 m-es minimumok közel azonos időszakban fordulnak elő. Ezek időtartama legrövidebb januárban, amikor 9 órától 15 óráig tart, a leghosszabb júliusban, amikor 6 órától 17 óráig figyelhető meg.

Az éjszakai órákban legnagyobb számban a 0,5 m-es minimumok és a 30 m-es maximumok alakulnak ki, az éjfél előtti órákban nagyobb, hajnalban kisebb valószínűséggel. Januárban az éjszaka folyamán a 0,5 m-es minimumok legfeljebb 50%-os, míg a 30 m-es maximumok 60%-os gyakoriságúak. Júliusban ezek az értékek meghaladják a 80%-ot is. A 30 m-es minimumok és a 0,5 m-es maximumok százalékos gyakorisága és napi menete hasonló. Ezek együttes előfordulása a nappali labilis és az éjszakai stabilis határréteg alapvető tulajdonsága.

A 30 m-es légréteg hőmérsékleti maximum- és minimumhelyeinek a vizsgálata nem ad teljes képet a talajközeli réteg szerkezetéről. Az átmeneti rétegződések közül mindössze azokat tudjuk ezzel jellemezni, ahol a gradiens előjelváltásának a szintjébe esik a legnagyobb vagy a legkisebb hőmérsékleti érték. A pontosabb vizsgálatokhoz a hőmérsékleti profilokat — a szél-adatok figyelembevételével — aszerint osztályozzuk, hogy mennyire elégítik

ki a hasonlósági elmélet föltételeit. Számításaink eredményeit a *II. táblázat* tartalmazza. A táblázat első sora azon időszakok százalékos gyakoriságait mutatja, amikor a hőmérséklet vagy a szélsebesség mérése hibás vagy hiányos volt. A második sorban a szélinverziós helyzetek gyakoriságait közöljük. Ebben az esetben a szélmezőre nem teljesülnek a hasonlósági elmélet feltételei. Az ilyen, magassággal nem szigorúan monoton növő szélprofilok a sokévi átlaghoz képest hűvös és csapadékos áprilisban és júliusban fordulnak elő nagyobb gyakorisággal. E két csoport az adatsor 35,2%-át foglalja magába. Erre az időszakra nem tudjuk megadni az alsó 30 m-es réteg turbulens karakterisztikáit.

A további vizsgálatainkhoz a hasonlósági elmélet föltételeinek megfelelő időszakok hőmérsékleti rétegződéseit használjuk fel. Ezeket a profilokat hat különböző típusra osztottuk, melyek százalékos gyakoriságait a *III. táblázat*

III. TÁBLÁZAT

Különböző típusú hőmérsékleti rétegződések órás gyakorisága %-ban (1980. Szarvas)

Órás profilok típusa	Jan.	Ápr.	Júl.	Okt.	Átlag
A 30 m-es légrétegre teljesül a hasonlósági elmélet					
1. Magassággal növekvő	8,0	16,1	15,4	20,3	15,0
2. Magassággal állandó	0,0	0,0	2,4	0,0	0,6
3. Magassággal csökkenő	0,7	11,6	7,1	6,3	6,0
Átmeneti típusú rétegződések					
4. T (30 m) > T (0,5 m)	45,0	49,0	35,2	44,1	42,9
5. T (30 m) = T (0,5 m)	9,2	3,5	1,3	3,7	4,5
6. T (30 m) < T (0,5 m)	37,1	19,8	38,6	25,6	31,0

szemlélteti. A magassággal növekvő hőmérsékleti profilok gyakoriságait az 1., az izoterm profilokat a 2., míg a magassággal csökkenő — labilis jellegű — rétegződést a táblázat 3. sora tartalmazza. A három eset közül a magassággal növekvő helyzetek fordulnak elő legnagyobb számban. A hasonlósági elmélet csak az ilyen 1.—3. típusú rétegződés esetén, az esetek mindössze 21,6%-ában alkalmazható a teljes Prandtl-rétegre.

A hőmérsékleti gradiens előjelváltásával jellemzett átmeneti rétegződéseket a 0,5 m-es és a 30 m-es mérőhelyek adatai alapján csoportosítottuk. A 4. sor az olyan — stabilishoz közeli — profilokra vonatkozik, ahol a felső szint hőmérséklete meghaladja az alsót. Az 5-ös csoportba kerülnek azok az esetek, ahol a 30 m-en és a 0,5 m-en mért hőmérsékleti értékek megegyeznek. A 6. csoport a labilishoz közeli átmeneti profilokat tartalmazza. E három átmeneti típus közül a stabilishoz közeli (4-es) típusú rétegződés fordul elő legtöbbször, az esetek 42,9%-ában.

Az egyes hónapokra meghatároztuk a hőmérsékleti rétegződések gyakoriságait a nap egyes óráiban. A szigorúan monoton növő, illetve csökkenő profilok rövidebb ideig és kisebb valószínűségekkel fordulnak elő, mint a hasonló futású átmeneti rétegződések. A 30 m-en és a 0,5 m-en ugyanolyan hőmérséklettel jellemzett 2. és 5. típusú profilok éjszaka — az inverzió idején — 10—20%-os gyakoriságúak, a déli órákban viszont nem találkozunk velük.

Megvizsgáltuk az alsó 13,2 m-es réteg profiljait is. A szélinverziós helyze-

tek 30,7%-kal kisebb gyakoriságokkal fordulnak elő. Az 1—6 típusú hőmérsékleti rétegződések az előzőkben megismert meneteket követik.

A fejezetben bemutatott — igazából egymást kiegészítő vizsgálatok — lehetőséget adnak a talajközeli rétegződés tulajdonságainak klimatológiai elemzésére. Az elvégzett vizsgálatok eredményei nem mentesek a mérőműszerek pontatlanságaitól, összességében azonban a felhasznált adatbázis alkalmas a Pradtl-réteg termikus tulajdonságainak jellemzésére.

4. Havi átlagos szélmezők

A II. táblázat szerint a vizsgált hónapokban az esetek több mint 14%-ában fordulnak elő szélinverziók. A 0,5—30 m-es rétegben elkészítettük a szélinverziós helyzetek átlagos órás gyakoriságait. A legnagyobbak az értékek a délutáni és az éjszakai órákban, ennek magyarázata az, hogy éjszaka a talajközeli kis szélsebességek miatt gyakran nem mutatható ki különbség az alsó szintek értékei között, nappal viszont a felső szintekben a kifejlett turbulencia csökkenti a sebesség-különbségeket. Vizsgálataink szerint a szarvasi mérőtorony környezetében lévő 10 m-nél nem magasabb tereptárgyak keltette mechanikus turbulencia és a déli órákban megerősödő termikus turbulencia együttes hatásaként egy átlagos alföldi területen is megjelenik a Prandtl-réteg felső tartományában a szélinverzió. *Papez* és *Pretel* (1977) vizsgálatai, amelyet Csehországban, erősen tagolt dombvidéken, völgyben felállított 80 m magas mérőtorony adataival végeztek el, azt mutatták, hogy az átlagos szélprofilokban csak a két legfelső, 40—80 m-es mérőhelyek között jelentkeznek szélinverziók. Az általunk vizsgált alföldi területen a 13,2—30 m-es mérőhelyek között megjelenő gyenge inverziók nem befolyásolhatják a havi átlagos szélprofilok alapvető tulajdonságát, azt, hogy a magassággal szigorúan monoton nőnek. Az I. és II. táblázat adataiból arra következtethetünk, hogy a szélinverziós helyzetek nagyobb gyakoriságokkal a kis átlagsebességgel jellemzett hónapokban fordulnak elő. Áprilisban az időszak 51,5%-ában található szélinverzió, zömmel a 13,2—30 m-es mérőhelyek között. A 30 m-es mérési pont kisebb szélsebességei a nappali átlagprofilokban is megjelennek. Ez arra mutat, hogy az áprilisi szélsebességeknél a 30 m-es mérőhely adatait csak fenntartásokkal fogadhatjuk el.

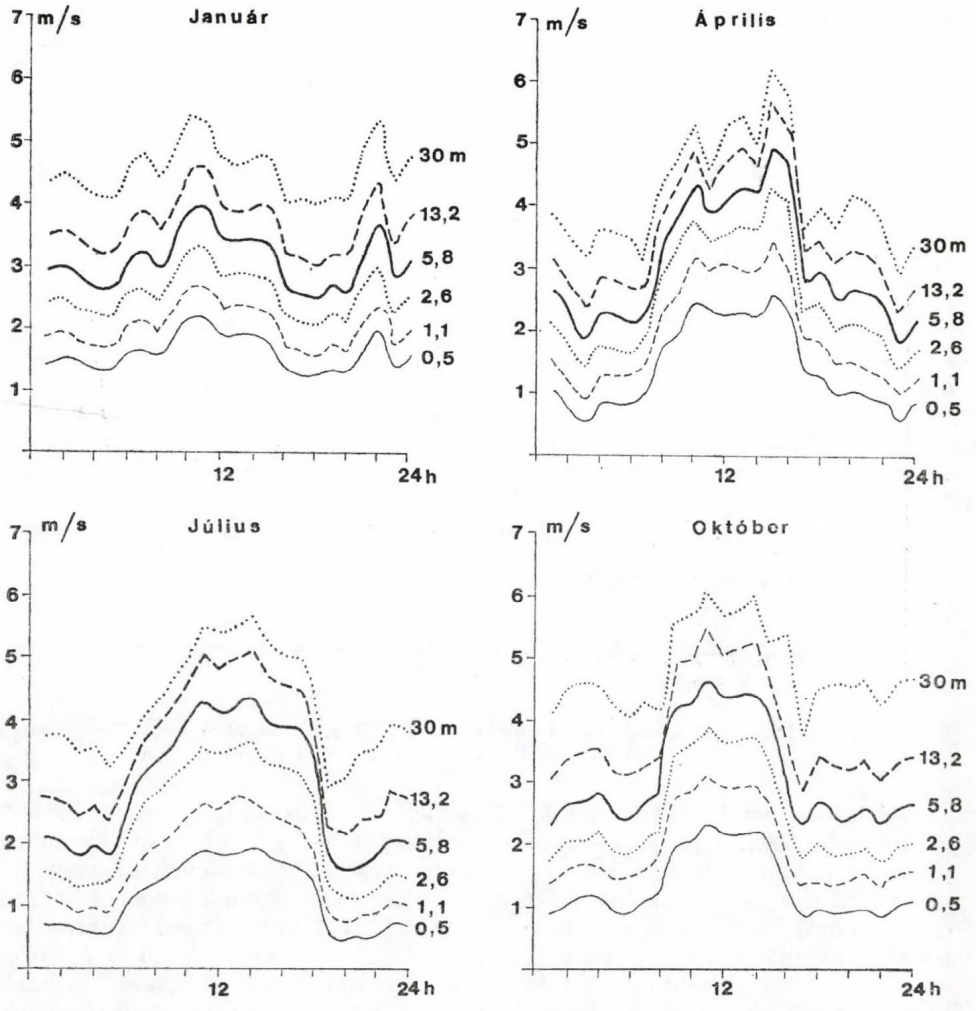
A hasonlósági elmélet a magassággal növekvő szélprofilok esetén alkalmazható. A további vizsgálatainkba csak az ilyen típusú profilokat vonjuk be. Ezzel kiszűrjük az alacsony szélsebességeknél a szélkanál tehetetlenségével kapcsolatos hibák, illetve az előzetes feldolgozásoknál — pl.: áprilisi adatok — elkövetett pontatlanságok egy részét. Ily módon a turbulens karakterisztikák meghatározására alkalmas profilokról kapunk információkat.

IV. TÁBLÁZAT

A monoton növekvő szélprofilokból számított havi átlagos sebességek (m/s) a különböző mérési pontokon (1980. Szarvas)

Magasság, m	0,5	1,1	2,6	5,8	13,2	30,0
Január	1,59	2,00	2,53	3,06	3,63	4,52
Április	1,22	1,72	2,30	2,81	3,33	3,97
Július	1,12	1,62	2,24	2,82	3,47	4,21
Október	1,35	1,92	2,46	3,08	3,80	4,76

A magassággal növekvő szélprofilokból számított átlagos havi értékeket a *IV. táblázat* adja meg. Az így meghatározott átlagsebességek, illetve a teljes



3. ábra: A magassággal növekvő szélprofilok átlagos napi menete a szarvasi mérőtorony különböző szintjeiben. 1980. jan., ápr., júl., okt.

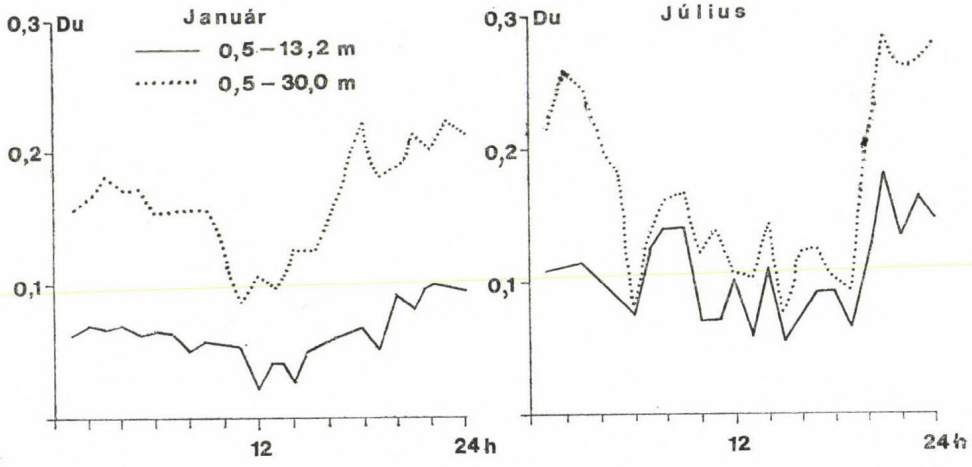
adatsorból kapott átlagértékek között áprilisban figyelhető meg a legnagyobb különbség. Ekkor a szigorúan monoton növekvő profilokból számított átlagértékek 23–31%-kal haladják meg a teljes adatsorból kapott átlagokat. Más hónapra ez az érték 8–14% közötti, és a mérőhelyek magasságától gyakorlatilag független.

Áprilist kivéve a teljes adatsorból, illetve a monoton növekvő profilokból kiszámított napi átlagos szélsebességi menetek *(3. ábra)* hasonló futásúak.

A feldolgozott hónapok mindegyikében – a 3. ábra tanúsága szerint – a délutáni órákra esnek a szélmaximumok, míg az éjszakai órákat a szélsebes-

ség kis értékei jellemzik. Az egyes mérési szintekben a napi menet amplitúdója januárban a legkisebb, októberben a legnagyobb. A 0,5 m-es és a 30 m-es mérőhelyek között a kis átlagsebességgel jellemzett áprilisban alakulnak ki a legkisebb sebességkülönbségek. Ezt mutatja az I. és a IV. táblázat. A kora reggeli és a késő délutáni órákban a szélsebességnek lokális minimuma van. Ezeket az időszakokat a 0,5 m-es és a 30 m-es mérőhelyek közötti inverziós hőmérsékleti rétegződés jellemzi. A különböző mérési szintekben a lokális sebességi minimumok, illetve a maximumok azonos időben következnek be.

A szomszédos szintek szélsebesség-különbségeit elemezve — *Endrődi* 1980-as munkájához hasonlóan — három különböző típusú réteget különítettünk el.



4. ábra: A logaritmikus szélprofiltól való eltérés az alsó 13,2 m, illetve 30 m magas légoszlopban, a szarvasi mérőtorony 1980. januári és júliusi adatai alapján

A 0,5 és az 1,1 m-es szintek között érdekesen változik a sebességkülönbség a nap folyamán. Éjszaka — stabilis légállapot — a sebesség-különbségnek minimuma van, míg napközben — labilis egyensúly — elérik a magasabb rétegekre jellemző értékeket is. A maximális sebességkülönbségeket a kora délutáni órákban mérték. A 30 és a 13,2 m közötti szélnyírás napi menete ellentétes az alsó rétegével. A sebesség-különbségek napi ingása a 2,6 és 5,8 m-es szint között a legkisebb. Az 1,1 és 2,6 m-es mérőhelyek között a szélnyírások kisebb amplitúdóval, de az alattuk lévő 0,5—1,1 m-es rétegre jellemző módon változnak. Az 5,8—13,2 m-es réteg sebességkülönbségei kisebb amplitúdóval a 13,2—30 m-es mérőhelyek közötti változásokat követik. A különböző rétegekre vonatkozó szélnyírások napi menetei a stabilis téli hónapokban kisebb, a meleg labilis nyári időszakban nagyobb amplitúdójúak.

A talajközeli légrétegben kialakuló szélprofilokat a Monyin—Obuhov-féle hasonlósági elmélet alapján értelmezhetjük. Erősen stabilis időszakokban a szélsebesség a magassággal lineárisan változik, tehát a logaritmikus eloszlású mérési szintjeink közül a felsők közötti sebességkülönbségek jelentősen meghaladják az alsókét. Erősen labilis helyzetekben a szél a magasság 1/3-os hatványával növekszik, így a profil ellentétesen tér el a logaritmikustól (*Zilitinkievics*, 1970).

A szélprofilok eltérését a logaritmikus rétegződéstől egy szórás jellegű mennyiséggel szemléltetjük, amelyet a

$$D_u = \frac{1}{n}\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1}(\overline{\Delta u} - \Delta u_i)^2}$$

alakban írunk fel, ahol:

D_u – a logaritmikus profiltól való eltérés mérőszáma,
$\Delta u_i = u_{i+1} - u_i$ – az i-edik réteg szélnyírása,
n – a mérési szintek száma,
$\overline{\Delta u}$ – az egyes rétegek szélnyírásainak az átlaga.

Indifferens rétegződés esetén D_u értéke nulla, mert a mérőhelyek a logaritmikus skálán azonos távolságra helyezkednek el egymástól.

A *4. ábrán* az alsó 30, illetve 13,2 m-es rétegre mutatjuk be az átlagos órás szélprofilok alapján készített D_u értékek napi menetét. Januárban és az itt nem közölt őszi és tavaszi hónapban az alsó 13,2 m-es, illetve a 30 m-es rétegre hasonló futású görbéket kapunk. A 30 m-es rétegre vonatkozó D_u értékek a stabilis időszakokban a legnagyobbak, mivel ekkor a 13,2 és a 30 m-es mérőhely sebességkülönbsége lényegesen meghaladja az alsó szintek közötti értékeket. Labilis helyzetekben a sebességkülönbségek ellenkező irányban, de kisebb amplitúdóval térnek el az átlagtól, ami D_u alacsonyabb számértékeiben is tükröződik. Január kis D_u-értékei a gyenge szélnyírásokkal és ezek kis napi változékonyságával hozhatók kapcsolatba. Júliusban a nagyobb szélsebességek és az erősebb konvekció D_u magasabb értékeiben jelenik meg.

5. A talajközeli réteg Richardson-számai

Eddigi vizsgálatainkban külön-külön foglalkoztunk a talajközeli réteg hőmérséklet- és szélprofiljaival. A Prandtl-rétegben lejátszódó turbulens folyamatok azonban együttesen alakítják ki a hőmérsékleti, szélsebességi és az itt nem tárgyalt nedvességi profilt, így indokolt ezeknek az állapothatározóknak az együttes vizsgálata.

A talajközeli réteg egyensúlyi állapotát, illetve a kicserélődési folyamatok minőségét az

$$R_i = \frac{g}{\Theta}\,\frac{\partial\Theta/\partial z}{(\partial u/\partial z)^2} \qquad (2)$$

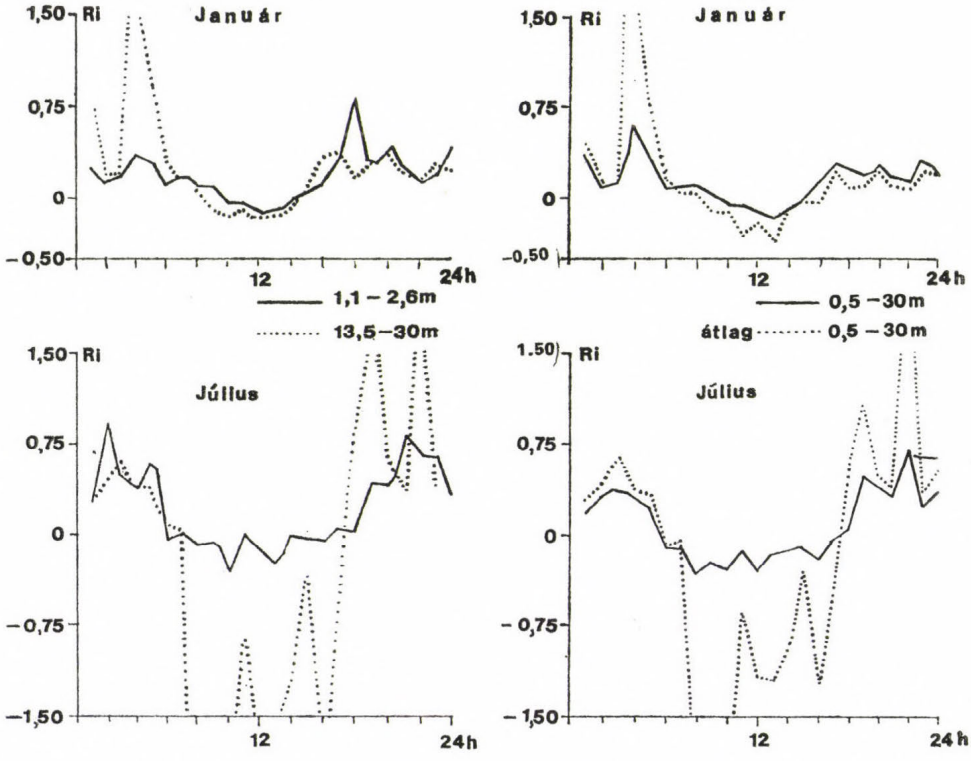
Richardson-számmal jellemezzük. $R_i > 0$ stabilis, $R_i < 0$ labilis rétegződést jelent. Ezen túlmenően a turbulens rezsim intenzitásnövekedésének vagy lecsengésének a kritériuma is. A hőmérsékleti és szélsebességi gradienseket véges különbségekkel közelítettük. Meghatároztuk a Richardson-számok átlagos napi meneteit a szomszédos mérőhelyek közötti légrétegekben. Elkészítettük ezeket a meneteket a teljes Prandtl-réteget reprezentáló 0,5 – 30 m-es, a talajközeli légréteg alsó részét jellemző 0,5 – 13,2 m-es, valamint a légréteg belsejét képviselő 1,1 – 5,8 m-es mérőhelyek között is.

Az alsó 13,2 m-es, illetve a teljes 30 m-es légrétegre meghatároztuk az átlagos órás Richardson-számokat a szomszédos mérőhelyek közötti értékek felhasználásával, az

$$\overline{(Ri)}_k = \sum_{i=1}^{k-1} \frac{2 \cdot g}{(T_{i+1}+T_i)} \cdot \frac{[(T_{i+1}-T_i)/(Z_{i+1}-Z_i)+g/c_p]}{[(u_{i+1}-u_i)/(Z_{i+1}-Z_i)]^2} \cdot \frac{(Z_{i+1}-Z_i)}{(Z_k-Z_1)}$$

egyenlőség alkalmazásával, ahol az alsó k mérőhely adatait vesszük figyelembe.

A 2,6 – 5,8 m-es rétegben az átlagos órás értékek többsége negatív, míg az 5,8 – 13,2 m-es légrétegben pozitív előjelű. Januárban például a 2,6 –



5. ábra: Különböző rétegekre vonatkozó Richardson-számok átlagos napi menete 1980 januárjában és júliusában a szarvasi toronymérések adataiból

5,8 m-es rétegben minden órában pozitív, míg a felette lévőben negatív értékű átlagos Richardson-számokat találunk. Az ilyen típusú rétegződések nem elégítik ki a hasonlósági elmélet feltételeit. Ezek az eredmények a hőmérsékleti profilok elemzéséből már előre várhatók, mivel az 5,8 m-es szintben gyakoriak a lokális hőmérsékleti maximumok.

A fenti, valóságnak nem megfelelő értékek az 5,8 m-es mérési pont szisztematikus hőmérsékleti hibájára utalnak. A hőmérsékleti profilok elemzésénél már szóltunk e mérőhely pontatlanságáról a nappali órákban. A továbbiakban az 1,1 – 2,6 m-es, a 13,2 – 30 m-es rétegre vonatkozó, valamint a 0,5 – 30 m-es légrétegre kétféleképpen meghatározott Richardson-számok átlagos napi meneteivel foglalkozunk. Ezeket januárra és júliusra az *5. ábra* mutatja be.

A 13,2–30 m-es, illetve a 30 m-es réteg átlagos Richardson-számai között néhány kiugróan nagy abszolút értékű van, ami a 13,2–30 m közötti – csupán néhányszor kialakuló – kis szélnyírás következménye. A hőmérsékleti gradiensekhez (2. ábra) hasonlóan a januárt rövidebb, míg a júliust hosszabb labilis időszak jellemzi. A különböző típusú egyensúlyi helyzetek leírására *Foken* és *Skeib* (1983) alapján az

$$\begin{aligned} R_i &< -0{,}06 && \text{erősen labilis,} \\ -0{,}06 \le R_i &< 0{,}13 && \text{kvázi indifferens,} \\ 0{,}13 \le R_i & && \text{stabilis} \end{aligned} \qquad (3)$$

felosztást használjuk. A kvázi indifferens helyzetek az átlagprofilokban mindössze 1/2–3/4 óráig fordulnak elő a reggeli, illetve a délutáni órákban.

Januárban az 1,1–2,6 m-es és a 13,2–30 m-es rétegben a nappali órákban hasonló a Richardson-számok értéke. Júliusban viszont a 13,2–30 m-es réteg értékei lényegesen nagyobbak. Ezek az eredmények a hasonlósági elmélet alapján értelmezhetők. A különböző egyensúlyi helyzetekben a Richardson-szám magasság szerinti változását az

$$\begin{aligned} R_i(Z) &= R_i(1\text{ m}) && \text{(erősen stabilis),} \\ R_i(Z) &= R_i(1\text{ m})Z && \text{(indifferens),} \\ R_i(Z) &= R_i(1\text{ m})Z^{4/3} && \text{(erősen labilis)} \end{aligned} \qquad (4)$$

összefüggések írják le (*Zilitinkievics*, 1970). Januárban a nappali órákban az indifferenshez közeli, míg júliusban az erősen labilis rétegződések voltak többségben. (4) alapján éjszaka a különböző rétegekre közel azonos értékeket kellene kapnunk, ez azonban – részben a magasabb rétegek kis szélnyírásai miatt – nem teljesül.

V. TÁBLÁZAT

A 30 m-es és a 0,5 m-es mérőhelyek adataiból $R_{i\,0{,}5-30}$ *és a szomszédos mérőhelyek Richardson-számaiból számított* $R_{i\,30}$ *értékek %-os gyakoriságai (Szarvas, 1980.)*

R_i intervallum	$R_i \le -0{,}4$	−0,4– −0,3	−0,3– −0,2	−0,2– −0,1	−0,1– 0,0	0,0– 0,1	0,1– 0,2	0,2– 0,3	0,3– 0,4	$R_i >$ 0,4
1980. január. Összes eset (100%): 511										
$R_{i\,0{,}5-30}$	1,4	0,4	2,0	4,3	14,9	50,1	14,1	2,9	1,8	8,1
$R_{i\,30}$	8,6	1,8	1,8	8,0	12,3	38,7	13,1	4,3	3,1	8,3
1980. április. Összes eset (100%): 335										
$R_{i\,0{,}5-30}$	15,2	2,1	3,6	4,2	7,8	36,4	7,8	3,9	4,8	14,2
$R_{i\,30}$	17,0	3,0	2,7	3,3	2,7	12,2	9,0	5,4	5,1	39,6
1980. július. Összes eset (100%): 517										
$R_{i\,0{,}5-30}$	4,2	2,3	5,9	10,1	21,1	21,3	13,1	5,9	7,2	8,9
$R_{i\,30}$	17,8	2,9	4,9	4,9	8,6	16,8	15,5	8,4	5,9	11,6
1980. október. Összes eset (100%): 543										
$R_{i\,0{,}5-30}$	2,2	1,3	2,0	4,4	15,6	34,6	19,5	7,0	4,2	9,2
$R_{i\,30}$	7,9	1,1	1,8	3,5	11,4	26,3	19,5	9,6	5,2	13,7

Elkészítettük a különböző rétegekre a Richardson-számok havi hisztogramjait is. A Prandtl-réteg egészét jellemző 0,5—30 m-es mérőhelyek, illetve az egyes rétegek átlagos értékeiből meghatározott Richardson-számok százalékos gyakoriságait az *V. táblázat*ban közöljük. A hisztogram $-0{,}4 \leq R_i <$ 0,4-es tartományát mutatjuk be, ahová a megfigyelések többsége tartozik. A kétféleképpen kiszámított Richardson-számok gyakoriságai között 10%-nál nagyobb eltérések is lehetnek. Az esetek többsége az $R_i > 0$ tartományba esik. A legnagyobb gyakoriságokat a $-0{,}1 \leq R_i \leq 0{,}1$ intervallumban találjuk, ami — jó közelítéssel — a kvázi indifferens egyensúlynak felel meg. Megemlítjük, hogy a 13,2—30 m-es, illetve a 30 m-es átlagos Richardson-számaiból, valamint az 1,1—2,6 m-es, illetve a 0,5—30 m-es mérőhelyek átlagos Richardson-számaiból kapott hisztogramok páronként hasonlóak. Ezt az 5. ábra is alátámasztja, mivel ez a két-két átlagos napi menet közel azonos alakú.

Meghatároztuk a Richardson-számokat a $(\partial\Theta/\partial Z) - (\partial T/\partial Z)$ egyszerűsítés alkalmazásával. Az így kapott értékek lényegesen eltérnek az (1) formula alapján számítottaktól. A szakirodalomban elterjedten alkalmazott $(\partial\Theta/\partial Z) \sim (\partial T/\partial Z)$ közelítés tehát nem megalapozott, sem a Richardson-számok, sem a turbulens karakterisztikák számításánál.

6. Összefoglaló megjegyzések

A dolgozatban bemutatott klimatológiai vizsgálatok menetei, a belőlük levont következtetéseink megfelelnek *Endrődi* (1980) cikkében közölteknek. A hőmérsékleti profilok tulajdonságai és a különböző rétegek Richadson-számai arra utalnak, hogy az állandó áramok feltétele — a hasonlósági elmélet alkalmazása — csak a Prandtl-réteg egy-egy alrétegén belül indokolt. A magassággal változó áramok a horizontális turbulens diffúzió jelenségét tükrözik.

A toronyadatok feldolgozhatóságát tovább javítaná a különböző szintekben lévő műszerek mérési hibáinak és a mérési pontosság magasság szerinti változásainak a vizsgálata (*Przadka*, 1984). A rendelkezésünkre álló — közel 10 évi — szarvasi adatsor és az országban lévő más toronymérések klimatológiai feldolgozásával — ami még várat magára — több célra felhasználható, a talajközeli légréteget jellemző adatbázishoz juthatunk.

Az itt bemutatott klimatológiai vizsgálatok folytatásaként a talajközeli légréteg kicserélődési folyamataival kívánunk foglalkozni.

Végezetül köszönetet mondok *Rákóczi Ferenc*nek és *Práger Tamás*nak hasznos tanácsaikért, melyekkel segítették e munka elkészítését.

IRODALOM

Endrődi G., 1980: A felszínközeli 30 m-es légréteg fizikai állapotának néhány jellemzője. *Időjárás* 84, 31—42

Felméry L., 1955: Kísérlet természetes felszínek párolgásának meghatározására. *Időjárás* 59, 86—96

Foken, Th. and *Skeib, C.*, 1983: Profile measurements in the atmospheric near-surface layer and the determination of the turbulent energy exchange. *Boundary-Layer Meterology* 25, 55—62

Galló V., 1981: A szarvasi mérésadatgyűjtő üzemelésének tapasztalatai. Beszámolók az 1979-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest, 102—110

Götz G. és *Rákóczi F.*, 1981: A dinamikus meteorológia alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest

Kissné Tóth E., 1965: Turbulens átviteli folyamatok a talajközeli légrétegben. Egyet. doktori értekezés, Budapest

Koris, K. and *Rákóczi, F.*, 1984: Climatological factors in regulating the water-level of lake Velence. Annales Univ. Sci. Budapestinensis, Sectio Geologica 24, 261–268

Papež, A. and *Pretel, J.*, 1977: Ausbreitung der Verunreinigung der Grenzschicht (in Russian). Zeitschrift für Meteorologie 27, 23–29

Przadka, Z., 1984: Error of the measurement of the average wind speed using a cup anemometer in a turbulent flow. Geod. Geophys. Verröff. RIIM 26, 39–45

Rákóczi F., 1982: A planetáris határréteg kutatásának problémái és eredményei. Időjárás 86, 300–314

Salamonsson, S., 1982: Doppler sodar for wind measurements. Swedisch Scape Corporation.

Tiringer Cs., 1982: A talajközeli légréteg hőmérsékleti rétegződése szarvasi toronymérések alapján. Beszámolók az 1980-ban végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest, 331–340.

Zilitinkievics, Sz., 1970: Dynamics of boundary layer. Publishing House of Hydrometeorology, Leningrad (in Russian)

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 5. szám. 1986. szeptember-október
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 5. Sept-Oct. 1986. Budapest

A bolygóközi mágneses tér és a Föld légkörének változásai közötti kapcsolat

BORBÉLY EDIT, *Központi Meteorológiai Intézet, H-1525 Budapest Pf. 38.*

Relationships between changes in interplanetary magnetic field and the Earth's atmosphere. The research dealing with the relationship between the sector structure of interplanetary magnetic field and the vorticity of the Earth's atmosphere is reviewed. In the period between 1963 and 1973 the value of vorticity area index characteristically decreased in the winter months during the first day after the transition of the sector boundary. Concerning the dependence on the geographical latitude and longitude zones the following can be said: the vorticity area index is maximum between latitudes of 20° and 50° as well as between longitudes of 120° and 180°, that is in the area of Alaskan gulf. The value of vorticity area index also depends on the altitude. The maximum can be found between 500 mb and 200 mb. Above this layer it strongly decreases until about 80 mb, then it remains constant until the height of 50 mb. Above 50 mb it increases again. An other vorticity characteristics is the so-called partial effect which is defined as the minimum and maximum value of the vorticity area index after the transition of sector boundary. Further, it has been observed that the vorticity area index is two times lower during strong proton flux than in other cases. The relationship between the sector structure of interplanetary magnetic field and weather is not yet entirely prooved. Further research is needed in this field. It is expected that this relationship will be demonstrated in the next future.

*

Az interplanetáris mágneses tér és a Föld légkörének változásai közötti kapcsolat. Jelen cikkben a szerző az interplanetáris mágneses tér szektor-szerkezete és a földi légkör örvényessége közötti kapcsolattal foglalkozó kutatásokat tekinti át. Az 1963–1973 közötti időszakban a szektorhatár-átmenete utáni első napon jellegzetes süllyedés mutatkozott az örvényességi terület-index (ÖTI) értékében, de csak a téli hónapokban. A földrajzi szélességi és hosszúsági zónáktól való függésre vonatkozóan a következő megállapításokat kapták: az ÖTI 20°–50° közötti szélességeken a legnagyobb, a földrajzi hosszúság szempontjából pedig a 120° E és 180° meridiánok közötti területen, azaz az Alaszkai öböl térségében. Az ÖTI értéke a magasságtól is függ. A maximum az 500 és 200 mbar-os szint között helyezkedik el, felette erős csökkenés tapasztalható, kb. a 80 mbar-os magasságig, majd az 50 mbar-os szintig állandó, innen ismét emelkedik. Egy másik örvényességi mutató az ún. részleges hatás, amely a szektorhatár áthaladása után bekövetkező ÖTI minimális és maximális értékének hányadosa. Megfigyelték továbbá, hogy erős proton fluxus esetében az ÖTI kb. kétszer olyan mély, mint más alkalmakkor. Az interplanetáris tér mágneses szektor-szerkezete és a földi időjárás közötti kapcsolat még nem teljesen bizonyított, tovább kell vizsgálni a hatásmechanizmusokat.

*

Bevezetés. A változó Nap és a földi időjárás közötti kapcsolat keresése már a múlt század irodalmában jóval több mint 1000 dolgozatban megtalálható. Olyan hírneves szerzők, mint *Herschel*, *Gauss*, *Sabine*, *Faraday*, *Wolf*, *Stewart*, *Schuster* és *Airy* foglalkoztak ezekkel a kérdésekkel (lásd *Wilcox*, 1975). Napjainkban pedig *Wilcox* és *Ness* (1965), *Roberts* és *Olson*

(1973), *Hines* és *Halevy* (1977), *Williams* és *Gerety* (1978), *King* (1975), *Svetska* (1976) és munkatársai. Utóbbi szerzők cikkére a megfelelő szövegrészben hivatkozunk.

A Nap és az időjárás kapcsolatának tárgykörét a naptevékenység és a földi időjárás, illetve éghajlat változásai közötti korrelációk alkotják. Természetesen ezek a változások eltérő időtartamúak: legismertebb közülük a 11 évi napfoltciklus. A 11 évi periódusnál a napfoltciklus rövidebb időszakait vizsgálva mind a földmágnesesség, mind a sarki fény évi és félévi változásokat mutat a Föld pályamenti mozgása miatt, amelynek során a naptevékenység másmás hatékonysággal befolyásolja a Föld magnetoszféráját. A napfoltpárok vezető foltjainak mágneses polaritása szintén változik, 22 évi periódussal, ez az ún. Hale-féle mágneses ciklus. Wolf—Gleissberg-ciklusnak nevezzük azt a hosszabb időtartamú, durván 80 éves változást, amely a napfoltciklusok amplitúdójának nagyságában mutatkozik.

Még nagyobb időtartamot átfogó, napjainkban újra felfedezett típus a Nap változásainak sorában az, amelyet az 1645-től 1715-ig tartó naptevékenységi szünet, a mostanában híressé vált Maunder-minimum képvisel. *King* és munkatársai (1977) értékes katalógust állítottak össze az e téren felmerült korrelációkról. A 11 és 22 évi korrelációk összességére kritikus, mélyreható vizsgálatokat újabban *Pittock* (1978) végzett. Többször előforduló feltevés volt pl., hogy összefüggés van a napfoltok és a zivatarok, a tropopauza magassága, az ózon mennyisége között, és egyesek szerint még másféle időjárási és éghajlatbeli változások között is. *Pittock* (1978) szerint kapcsolat van a nyugat-amerikai aszályciklus és a naptevékenység között is. Egyéb, rövid időtartamú korrelációkat is feltételeznek, pl. a napfoltok és egy kvázi-kétévi sztratoszférabeli változás, a Nap rotációja és az atmoszférabeli nagy amplitúdójú állóhullámok, valamint a földmágneses aktivitás és a tengerszinti nyomáseloszlás folytonossági sajátosságai között. Ezeket azonban még több független módszerrel alaposan ellenőrizni kell.

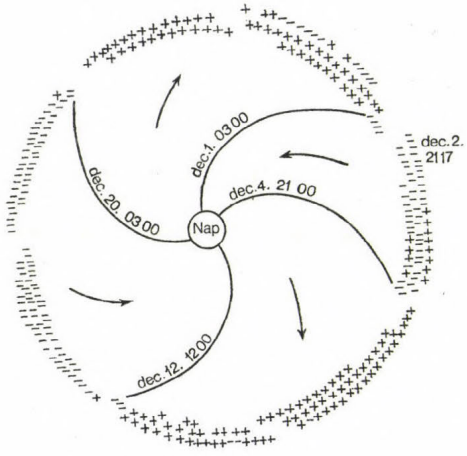
Az interplanetáris mágneses tér szektor-szerkezete és a földi légkör örvényessége közötti kapcsolat

Az adatok hosszabb időtartamú ciklusai helyett *Roberts* (1973) alternatív megoldásként azt ajánlotta, hogy a kutatók az atmoszférában, a naptevékenység változásának tulajdonítható, rövid idő alatt lezajló jelenségek felé fordítsák figyelmüket. Többek között ilyen pl. a Nap 27 napos forgásideje, és egy változó, de közelítőleg 8 napos intervallum a Földnek az interplanetáris mágneses tér szektorhatárain történő áthaladásai között. A szektorhatár és az *örvényességi terület-index* (továbbiakban rövidítve: ÖTI) összefüggés jó példa arra vonatkozólag, hogy ez az út milyen eredményes lehet. Az örvényességi terület-index adatairól ui. kiderült, hogy korrelációban vannak a földmágnesességben és a Nap felszínén lezajló változásokkal. Meg kell említenünk még a szabálytalan időközönként megjelenő napkitöréseket (flereket), amelyek földmágnességi viharokat okoznak, és tipikus élettartamuk 1-2 nap.

Az Ohio-i State University-n 1978-ban rendezett konferencia résztvevőiből alakult tudományos bizottság arra az igen nagy horderejű következtetésre jutott, hogy a figyelemre érdemes korrelációk közül három, eddig csak lehetségesnek minősítettet, bizonyítottnak kell tekinteni. Ezek a következők: *a Maunder-minimum típusú időszakok, a Hale-féle mágneses ciklus és a szektor-*

határ-átmenetek. A Nap és az időjárás közötti kapcsolatokra vonatkozó más, lehetséges összefüggéseket viszont továbbra is a vitathatók közé kell sorolnunk.

Jelen dolgozatunkban az interplanetáris mágneses tér szektorhatáraival kapcsolatos kérdésekkel fogunk foglalkozni. *Wilcox* és *Ness* (1965) két, alkalmasan meghatározott objektív, korrelációs analízis céljaira használható adatsort ismert fel, amelyek közül az egyik a légköri cirkulációt jellemzi, a másik pedig statisztikai szempontból elegendő számú „szoláris" eseményt tartalmaz.



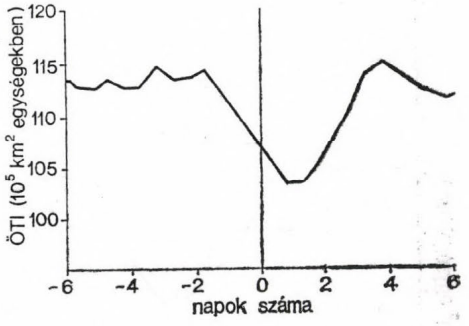
1. ábra: Az interplanetáris mágneses mező szektor-szerkezetének ábrázolása, amelyet 1963-ban az IMP – 1 űrhajóval mértek (*Wilcox* és *Ness*, 1965).

A korrelációban szereplő szoláris tényezők a Földnek az interplanetáris mágneses tér szektorhatárain történő áthaladásainak időpontjai.

A szoláris szektor-struktúrát az *1. ábrában* mutatjuk be *Wilcox* és munkatársai (1965) nyomán. A szektor-szerkezet a nagy kiterjedésű interplanetáris mágneses tér alapvető sajátsága. E szerkezet különféle szoláris, interplanetáris és földi jellegzetességeinek leírása rendelkezésünkre áll. Maga a struktúra könnyen felismerhető azon észlelésekben, amelyeket az űrhajók magnetométerei szolgáltatnak az interplanetáris mágneses térről, amikor a tér a napszéllel elhalad a Föld mellett. Ezt az interplanetáris teret több egymás utáni napon át a Nap felé irányított polaritásúnak észlelik; a következő napokban pedig olyannak, hogy polaritása a Naptól elfelé irányul. A Nap felé mutató mágneses tér negatív, az ellentétes irányú pedig pozitív előjelű. Ezt a két szektort vékony határ választja el, amely jellegzetesen, tíz percekben megadható időköz alatt „söpör" át a Földön. Egy adott időpontban normális esetben 2 vagy 4 szektor fordul elő. A szektorhatár átmenet valódi időjelzőnek mutatkozik, amely szoros kapcsolatban áll a napszéljelenség változatos fejlődésével.

A korrelációban szereplő másik paraméter a ciklonok örvényességével van kapcsolatban. A korrelációhoz felhasznált atmoszférikus jelző egy származtatott mennyiség, a *Roberts* és *Olson* (1973) által bevezetett ún. *örvényességi terület-index* (ÖTI), amely a 300 – 500 mbar-os felületek magasságtérképeiről lehet kiszámítható, geosztrofikus szél feltételezésével. Ezeket a térképeket naponta kétszer, 0 és 12 óra világidőre (UT) elkészíti a Boulder-i National Weather Service. Definíció szerint a cirkuláció a légrészecske sebességének

zárt görbe mentén vett vonalintegrálja, az örvényesség pedig ennek területegységre eső értéke. Az ÖTI-t az északi féltekének a 20° északi szélességtől északra eső részére számítják ki. Az indexet azon területek összegeként értelmezték, amelyekben az örvényesség bizonyos küszöbértéket meghalad. A küszöbértéket úgy választották meg, hogy minden jól kifejlett ciklon számításba jöjjön. Ha egyszer megválasztották a küszöbszintet, az ÖTI számítása teljesen objektív. Pontos definíciója a következő: azon területek összege (km^2-ben), amelyek fölött az abszolút örvényesség nagyobb mint $20 \times 10^{-5} s^{-1}$. Az indexet



2. ábra: Az átlagos örvényességi terület-index (ÖTI) az interplanetáris mágneses tér szektor-határainak a Földön történő áthaladása idején (*Wilcox* et al., 1974)

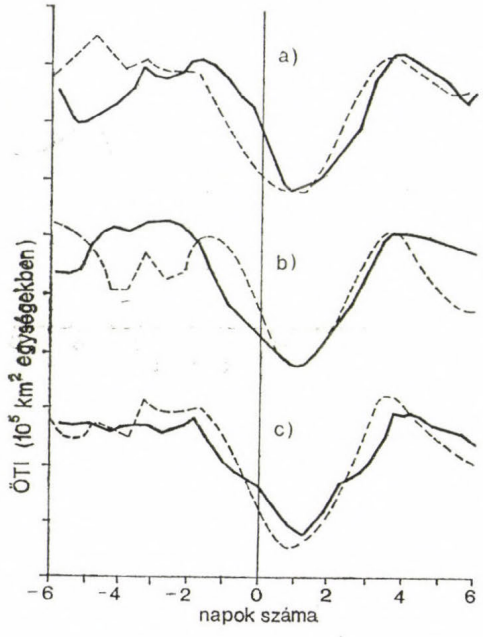
kifejezetten az alacsony nyomású zónák gyakoriságának és kiterjedésének mérésére szánták. Később egyes vizsgálatokban a $24 \times 10^{-5} s^{-1}$ értéket alkalmazták küszöbszintként, amelyet külön jeleztünk.

Wilcox et al., 1974, az ÖTI-adatokra a szuperponált időszakok analízisének módszerét alkalmazták, zérus napoknak véve a szoláris szektorhatárokon való áthaladás publikált időpontjait. A *2. ábrán* látható 54 határátmenetre végzett analízisük eredménye az 1964–1970-es évek novembere és márciusa közötti időszakból. A kapcsolat vitathatatlanul szignifikáns statisztikai sajátságot mutat; időben mintegy 5-6 napos időtartamú bemélyedést, amelynek a minimuma a szektorhatár-átmenet után kb. 1 nappal van, amikor az ÖTI mintegy 10%-kal csökken a szomszédos értékekhez képset. A jellegzetes süllyedés csak a téli hónapokban látszik tisztán, a nyári hónapokban teljesen eltűnik, amely összefügghet azzal a ténnyel, hogy télen a legnagyobbak az Egyenlítő és pólus között a hőmérsékletkülönbségek és ezek gyakorolják a legnagyobb feszültségeket a földi légkör cirkulációjára.

E sajátságos Nap—időjárás effektus viszonylag rövid, a 2 hetet meg nem haladó időszaka és az ehhez képest hosszú, több éves időszakokra vonatkozó ÖTI-adatok, lehetővé tették az index statisztikai sajátosságainak alapos ellenőrzését. A *Wilcox* és munkatársai által bemutatott eredmények igen nagy jelentőségűek voltak, amelyet később többen tüzetes vizsgálat alá vettek. Így *Olson* és *Roberts* (1978) az átlagérték közepes hibájának a kiszámítását végezte el. Ez kielégítően kicsinynek bizonyult, és a szektorhatár közelében lévő minimum a 95%-os szinten volt szignifikáns. *Hines* és *Halevy* (1977) igen gondos és részletekbe menő vizsgálatot végzett. Az adatokat különböző csoportosításban vizsgálta, és simítással, továbbá különböző szűrési módszerekkel kiküszöbölte a zavaró effektusokat. A szignifikancia-vizsgálatok a korreláció valódiságát mutatták ki akkor is, amikor további határátmenetek időpontjai váltak ismertté az 1971–1973-as évekből, azaz több mint amennyit a korreláció megállapításához eredetileg figyelembe vettek. Azonos eredmény csak

abban az esetben várható az új időpontokkal végzett hasonló analízis alapján, ha a korreláció valóban létezik. Végül arra a következtetésre jutottak, hogy a szóban forgó „szoláris hatást el kell fogadni, aminek most már az eredetét kell megkeresni."

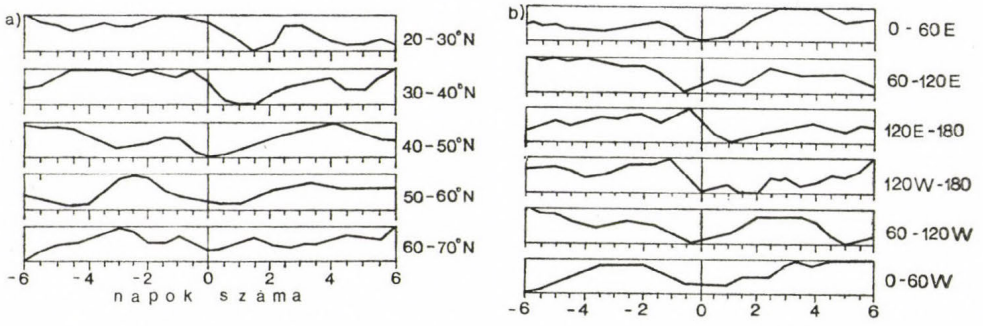
Wilcox és munkatársai (1974) a továbbiakban a határátmeneteket különböző szempontok szerint a következőképpen választották szét:



3. ábra: Az ÖTI változása különböző csoportosítású szektorhatár-átmenetek esetében (1. a, b, c, jelentése és jelmagyarázat a szövegben); (*Wilcox* et al., 1974)

a) A mágneses polaritásnak a határnál való megváltozása szerint.
b) A tél első, illetve második felének megfelelően.
c) Az 1964-től 1966-ig, illetve 1967-től 1970-ig terjedő időszakra.

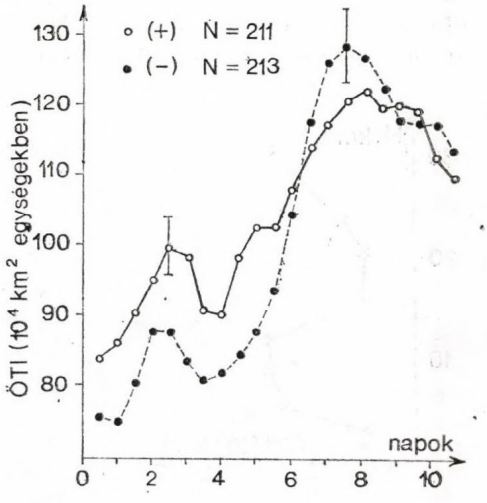
Az ezen felosztás alapján végzett vizsgálatok eredményei a *3. ábra a), b), c)* részében láthatók, és magyarázatuk a következő:



4. ábra: Az ÖTI változása (a) a földrajzi szélesség (b) a földrajzi hosszúság függvényében 300 mbar, 1964–1970. november–március. Örvényességi küszöbérték 20×10^{-5} sec^{-1} (*Wilcox* et al., 1974)

a) A folytonos görbe 24 olyan szektorhatár-átmenetet reprezentál, amelyeknél az interplanetáris mágneses tér polaritása megváltozott, azaz először a Nap irányába mutatott, később ellentétes irányú lett. A szaggatott görbében 29 olyan szektorhatár-átmenet van, ahol a polaritás-váltás az előbbi esettel éppen ellentétes volt.

b) A folytonos görbe 31 szektorhatár-átmenetet reprezentál a november



5. ábra: Alacsony nyomású képződmények örvényességi területi indexe az Alaszkai-öböl térségében, az interplanetáris tér pozitív, illetve negatív polaritásának esetében (*Wilcox* et al., 1979)

1-től január 15-ig terjedő időszakból, a szaggatott pedig 22 szektorhatárt, január 16-tól március 31-ig.

c) A folytonos görbe 26 szektorhatár-átmenetet reprezentál 1964-től 1966-ig, míg a szaggatott görbe 27 szektorhatár-átmenetet az 1967-től 1970-ig terjedő időszakból.

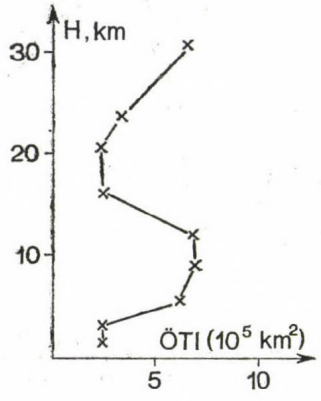
Az ábrából kitűnik, hogy az ÖTI értéke mindegyik osztályozásnál csökken a szektorhatárok áthaladása utáni első napon.

A továbbiakban vizsgálták, hogy az egyes földrajzi szélességi és hosszúsági zónákban azonos módon mutatkozik-e az említett jelenség. Mindkét vizsgálat az 1964—1970 évek közötti időszak novembertől márciusig terjedő hónapjaira, a 300 mbar-os szintre vonatkozott. A földrajzi szélesség szerinti vizsgálat céljából a 20° N és 70° N szélességi körök közötti területet 10°-os szélességi övekre bontották fel *Wilcox* és munkatársai (1974), amelyet a *4/a ábra* szemléltet. Az ábrából kitűnik, hogy az effektus minden szélességi övben előfordul a szektorhatár áthaladása közelében. Az ÖTI csökkenése legnagyobb a 20°—50° közötti szélességeken, ahol a szektorhatár áthaladása után fél, ill. másfél napig terjedő időszakban mutatkozik meg a változás. A magasabb szélességeken pedig már 2-3 nappal a szektorhatár áthaladása előtt megkezdődik az index értékének csökkenése.

A földrajzi hosszúság és a szektorhatárok áthaladása közötti kapcsolat felderítéséhez az egész északi félgömböt 60°-os zónákra osztották fel *(4/b ábra)*. Bizonyos mértékű csökkenés itt is megmutatkozik minden hosszúsági tartományban a szektorhatárok áthaladása közelében. Közülük a legmarkánsabb a 120° E és 180° meridiánnal határolt terület. *Duffy* et al. (1977) közelebbről is tanulmányozta ezt a kérdést, amikor nyugatról kb. a 180° hosszúság felől

alacsony nyomású teknők közeledtek az Alaszkai öböl (140° W – 160° W) felé Az ÖTI-t kisebb tartományra vonatkoztatták, azaz leszűkítették egy-egy alacsony nyomású cellára. Zérus napként az alacsony nyomású teknőnek a 180°-os hosszúsági körön történt áthaladásának napját jelölték meg.

Az *5. ábrán* bemutatjuk *Wilcox* (1979) nyomán az ÖTI értékeit 10^4 km² egységben kifejezve, a Naptól kifelé és a Nap felé irányuló mágneses erővonalak esetében az Alaszkai öböl térségében. A vizsgált anyag az 1951 – 1973 időszak október és március közötti eseteit foglalja magában. A folytonos görbe az alacsony nyomású teknők ÖTI-ét mutatja azokban az esetekben, amikor az interplanetáris mágneses mező pozitív, tehát a Naptól kifelé irányuló,



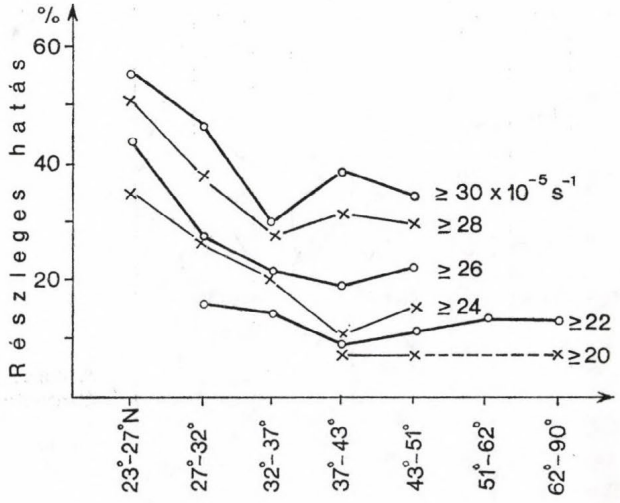
6. ábra: Az ÖTI változása a magasság függvényében (*Green* et al., 1979)

a szaggatott görbe pedig ellenkező irányú mágneses erővonalak esetében. Az eredmények szerint az első 6 napon keresztül nagyobb az ÖTI olyan esetekben, amikor pozitív polaritás uralkodik. Később kb. ezer szektorhatár-átmenetet vizsgáltak meg ilyen szempontok alapján, és az eredmények szerint ez a hatás 99%-os szinten szignifikáns. Az Alaszkai öbölből kiinduló és az Egyesült Államok szárazföldi részén áthaladó ciklonokról kimutatták, hogy erősebb geomágneses tevékenység idején a ciklonok általában lényegesen erőteljesebbek, mint nyugodt geomágneses körülmények között. Lehetséges, hogy mivel ez a régió közel van az északi fény, ill. mágnespólus területéhez, a Nap – időjárás közötti hatás markánsabb, mint más területeken (*Roberts* és *Olson*, 1973).

Wilcox és munkatársai a 700 és 300 mbar-os szintek közötti légrétegben mutatták ki statisztikailag az örvényességi index és a szektorhatárok korrelációját. *Green* (1979) megvizsgálta az ÖTI magassággal való változását *(6. ábra)*. Arra az eredményre jutott, hogy az ÖTI a 700 mbar-os (3 km) szinttől felfelé erősen növekszik. A maximum értéke az 500 és a 200 mbar-os szint (5,5 km – 12,5 km) között van, felette, kb. a 80 mbar-os (17 km) magasságig, erős csökkenés tapasztalható, majd az 50 mbar-os (20 km) szintig állandó, innen ismét emelkedik. A 10 mbar-os (30 km) magasságban eléri a troposzféra középső rétegében tapasztalt értékeket.

Wilcox et al. (1979) egy másféle örvényességi mutatót, nevezetesen a szektor-szerkezetnek a troposzférikus cirkulációra kifejtett ún. „részleges hatást" állapították meg. Ezt a következőképpen határozták meg: a szektorhatár-átmenete után bekövetkező ÖTI minimumának mélységét, amit D-vel jelöltek, elosztották az index maximális értékével, és ennek eredményét %-ban

fejezték ki. Ezt a karakterisztikát a 300 mbar-os szinten a szektorhatár 133 áthaladása esetében vizsgálták meg, és kiszámították az északi félgömb 8 szélességi zónájára. A vizsgált periódus az 1963 és 1973 évek közötti időszak volt, amelyből csak a téli félév hónapjait vették figyelembe. Ebben a vizsgálatban az abszolút örvényesség egyedi értékeit használták fel, és nem a *Roberts* és *Olson* által definiált összesített ÖTI-értéket. Az eredményeket a 7. *ábrá*ban mutatjuk be. Amint az ábrából kitűnik, az örvényesség növekedésével erősen növekszik az interplanetáris mágneses tér szektor-szerkezetének az ÖTI-re gyakorolt részleges hatása is. A 23 – 27° N szélesség között



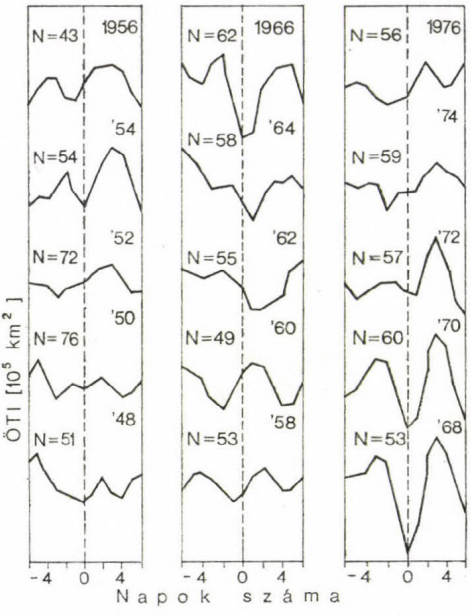
7. *ábra:* Az interplanetáris mágneses tér szektor-szerkezetének részleges hatása különböző örvényességek esetében az egyes földrajzi szélességeken 300 mbar, 1963 – 1973, tél. 133 határátmenet (*Wilcox* et al. 1979)

a $30 \times 10^{-5} s^{-1}$ értékű örvényességnél a részleges hatás majdnem eléri a 60 %-os értéket.

Az interplanetáris mágneses tér szektor-szerkezete és az örvényesség közötti összefüggés további kutatását *Arora* és *Padgaonkar* (1980) végezte el; kimutatták, hogy az összefüggés 1947 és 1957 között egészen más volt, mint az 1963 – 1974-ig terjedő periódus idején. Az összefüggés földerítése céljából *Arora* és *Padgaonkar* (1981) később kiértékelték az 1946-tól 1978-ig tartó időszak alatt történő szektorhatár-átmeneteknél az ÖTI értékeit az 500 mbar-os szinten *(8. ábra)*. A szerzők 15 periódusra bontották a sorozatot, 5-5 évet vettek figyelembe, 3 évi átfedést alkalmazva. Amint az ábrából látható, 1946 és 1962 között nem csökkenést, hanem inkább emelkedést mutat az örvényességi terület-index a szektorhatárok áthaladása után, úgyhogy 1962 előtt (az 1954. évet kivéve) nincs észrevehető összefüggés az ÖTI értékei és a szektorhatár-átmenetek között. 1962 és 1972 között, mint már többször említettük, csökkenés mutatható ki a szektorhatár-áthaladások után kb. 1 nappal. A csökkenés az 1968-as időszakaszban volt a legmélyebb.

Williams és *Gerety* (1978) az 1974-től 1977-ig terjedő időszakot vizsgálta meg. Ebben az időszakban sem mutatkozik olyan kapcsolat, mint amelyet az 1963 – 1973 évek alatt észleltek. Meg kell jegyeznünk még azt is, hogy csak a novembertől márciusig terjedő téli hónapok adataiból mutatható ki jobban az említett korreláció, az október hónapra kiterjesztve már nem ilyen egyértelmű a kapcsolat. Ezen különbségek okait többféleképpen magyarázhatjuk:

több kutató felhívta a figyelmet arra, hogy a szektorhatárok áthaladásának időpontjait és a hozzájuk tartozó örvényességi értékeket igen pontosan kell meghatározni. Az örvényességi terület-index adatait *Olson* és munkatársai 1977-ben és 1979-ben számították ki. A szektorhatárok áthaladási időpontjait a *Svalgaard* (1975) által készített „Interplanetáris Szektor-szerkezet Atlasz"-

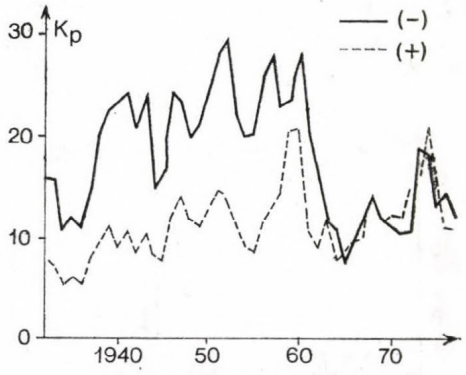


8. ábra: **Az ÖTI válasza a szektorhatárok átmenete esetében 15 periódusban. Az időszakok középső éveit a jobb sarkokban lévő számok jelzik (*Arora* és *Padgaonkar*, 1981)**

ból vették. Az 1962 előtti időszakban a szektorhatár áthaladásának időpontját talajközeli megfigyelések alapján a napi uralkodó polaritásból, 1962 után pedig az űrhajók magnetométeres méréseiből állapították meg. *Wilcox* és *Scherrer* (1981) arra mutatott rá, hogy 1962. január 9-én az ÖTI értéke hirtelen és tartósan megnövekedett, majdnem kétszeres értékűre. Ez nyilvánvalóan nem meteorológiai okokra vezethető vissza, hanem valószínűleg az okozta ezt a jelenséget, hogy a Boulder-i National Center megváltoztatta az analizálás módszerét. Egy másik különbség is adódott ebben az időszakban, ui. 1963 előtt a geomágneses aktivitás közepes értéke majdnem kétszer akkora volt az interplanetáris mágneses mező negatív polaritású napjaiban, mint a pozitív polaritású napokban *(9. ábra)*. 1963 után ez a különbség eltűnt. Mindeddig vitatott tény, hogy vajon ez a helyzet az analizálási módszer változásából adódott, vagy határozott változást jelent az interplanetáris mágneses mező és a földi aktivitás között, vagy egyszerűen a korábbi évek során a pozitív polaritás gyenge volt. Mindenesetre az interplanetáris mágneses mező polaritására a földi aktivitás válasza 1963 előtt lényegesen más volt, mint ezen időpont után. Ennek alapján feltételezték tehát, hogy bizonyos földi feltételeknek is teljesülniük kell ahhoz, hogy az interplanetáris mágneses tér szektorszerkezetének változása az ÖTI-ben modulációt keltsen.

Hines és *Halevy* (1977) bevezette a nagyobb és kisebb eltérés, az ún. „*excursion*" fogalmát, s ezt a következőképpen határozta meg. A határátmenetek előtti és utáni 6-6 nap ÖTI-értékei maximumának és minimumának

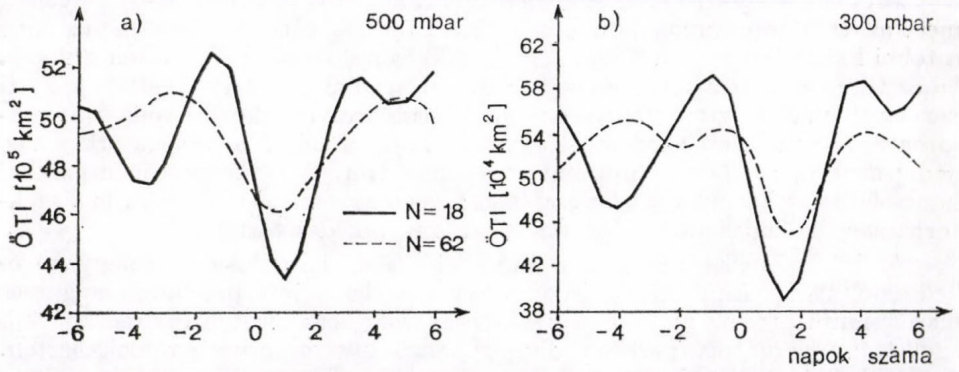
különbségét számította ki. Ilyen szempontból az 500 mbar-os szinten az 1963. november 1-től 1976. március 31-ig terjedő időszakot vették vizsgálat alá; sajnos, a kis és nagy eltérés meghatározásának határértékét nem közölték. 162 határátmenetnek kb. a fele kicsiny eltérésű, a másik fele pedig nagyobb eltérésű volt. Az eredmények egyértelműen rámutattak arra, hogy kicsiny



9. ábra: A geomágneses aktivitás indexének (K_p) változása a Nap felé (negatív) és a Naptól kifelé irányuló (pozitív) polaritások esetében 1936–1973 között (*Wilcox* és *Scherrer* 1981)

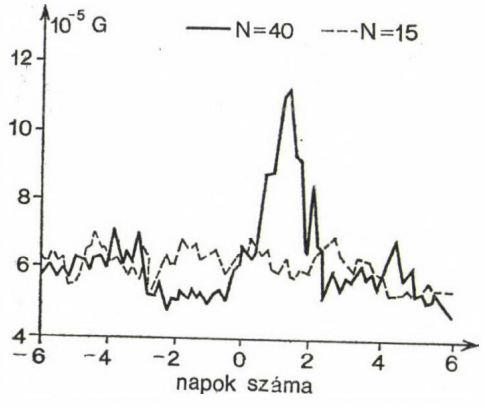
eltérések esetében a Nap időjárásra gyakorolt hatásának a mértéke is kisebb, és fordítva. Megállapították továbbá azt is, hogy 1974 és 1978 között az ÖTI lényegesen kisebb értékű volt, 34–44 (10^5 km^2) értékek között mozgott, míg az 1963 és 1973 között már 47–54 (10^5 km^2) értékek fordultak elő. *Wilcox* (1976) kiszámította az általa eredetileg vizsgált 1963–1973 közötti időszakból ezeket az eltéréseket és ebben a periódusban is az esetek fele kisebb, a másik fele nagyobb eltérésű volt, míg 1977. november és 1978. március között 18 határátmenet közül csak egy nagyobb eltérést talált és 17 kisebb eltérést.

Az említett jelenségek arra utalnak, hogy a légköri válasz nem feltétlenü a Nap hatásától függ, hanem a hatás megérkezésekor az adott helyen uralkodó viszonyoktól, a kezdeti föltételektől is. Úgy látszik, ezek az 1963–1973-as időszakban kedvezők voltak, előtte és utána azonban nem.



10. ábra: Az ÖTI változása a szektorhatár-átmenetek esetében. A folytonos görbe az erős proton-áramokkal együttjáró szektorhatár-átmeneteket jelzi, a szaggatott görbe pedig a többi határátmeneteket, 1963–1969 között. A (b) ábrán az ordinátatengely beosztása kb. 10-szer kisebb' mint az (a) ábrán (*Wilcox*, 1979)

Igen érdekes *Svetska* és munkatársainak (1976) megállapítása, akik az interplanetáris mágneses szektorhatárok áthaladásakor bizonyos esetekben MeV nagyságrendű protonáramot észleltek. Ilyen határátmenetek alkalmával az ÖTI nagyobb mértékben csökkent, mint olyan esetekben, amikor csak gyenge protonáramok voltak tapasztalhatók. Az előbbi olyan szektorhatár-átmenetek esetén fordul elő, amikor a napszél különösen aktív. Ezen határátlépések alkalmával a troposzférikus cirkuláció erőteljesebb változása alakul ki, mint olyan szektor-határ-átmenet alkalmával, amikor nincs erős protonáram. *Svetska* et al. (1976) szerint az interplanetáris térben vannak olyan



1.0 ábra: Az interplanetáris mágneses mező változása erős proton áram esetén (folytonos görbe) és a többi határ-átmenet (szaggatott görbe) esetén az 1963–1969 között (*Wilcox*, 1979)

mágneses szektorok, amelyekben az alacsony energiájú protonok sűrűsége megnövekszik. Ez a proton-fluxus először akkor figyelhető meg, amikor a szektor nyugati határa átsöpör a Földön. Ezután az áramlás erőssége növekszik két vagy több napig. A növekedés időtartama rendszerint rövidebb, de esetenként hosszabb is lehet, mint a mágneses szektor szélessége. Bizonyos esetekben növekedés figyelhető meg még egyszer akkor, amikor ugyanez a szektor ismét a Föld felé fordul, kb. 27 nappal később, ez azonban nem törvényszerű.

Azoknál a szektorhatár-átmeneteknél, ahol erős proton-fluxust figyeltek meg, az ÖTI minimuma keskenyebb volt, de kb. kétszer olyan mély, mint a többi határátmenetnél. A *10. ábra* az 500 és a 300 mbar-os szinten mutatja be az ÖTI értékeit a téli félévben az északi félgömbre az 1963–1969 közötti periódusban. A folytonos görbe azokra az esetekre vonatkozik, amikor a szektorhatár-átmenet erős proton-fluxushoz kapcsolódott, a szaggatott görbe pedig azokra, amikor a protonáram gyenge volt. Az erős protonáramokkal kapcsolatos szektorváltozások esetében a geomágneses aktivitásban is a szektorhatár-áthaladása utáni első napon erős növekedés történt.

Az interplanetáris mágneses mező értékeiben hasonlóképpen nagy növekedés mutatható ki. A *11. ábrán* a folytonos görbe az interplanetáris mágneses mezőt mutatja be, amikor a szektorhatárok erős proton-fuxussal jártak együtt, a szaggatott görbe pedig ugyanazt gyenge protonáramok esetén. Az előbbi esetben az interplanetáris mágneses mező görbéjében erős kiugrás tapasztalható, az utóbbi esetben azonban nem voltak lényeges változások.

Svetska és munkatársai (1976) megállapításai szerint a protonáramok szokatlanul zavart napszélviszonyokat jeleznek. A napszél sebessége és sűrű-

sége ilyenkor megnövekszik, a kozmikus sugárzás intenzitása pedig kb. 1%-kal csökken a szektorhatárok áthaladása után.

Meg kell még említenünk *Arora* 1983-ban végzett vizsgálatait, aki a geomágneses aktivitás és a szektorhatár-átmenetek, valamint az ÖTI és a szektorhatárok átmenete közötti korrelációt vizsgálta, 1963–1978 november–márciusa között. Mindkét kapcsolatra vonatkozóan a korreláció nagysága, ill. szorossága alapján gyakorisági eloszlást állapított meg. Az eredmények szerint a szektorhatár-átmenetek idején mindkét mennyiségben az ismert változás kimutatható; felhívja azonban a figyelmet arra, hogy ezek a változások egymástól függetlenek. A szektorhatárok utáni geomágneses aktivitás növekedése nem szükségszerű föltétele annak, hogy az ÖTI-ben süllyedés következzék be.

Következtetések

Befejezésül több tudományos kutatás eredménye alapján megállapíthatjuk, hogy hosszú időskálán bizonyos esetekben megvan az összefüggés a Nap szektorhatárai és a földi örvényességi terület-index között. A két jelenség közötti ok-okozati fizikai lánc azonban még nem teljesen zárt. Távlatként az merülhet fel előttünk, hogy a kiváltó tényező a Nap részecskesugárzásában keresendő, beleértve a napszelet és a kozmikus sugárzást. Lehetséges, hogy egy már előzőleg meglévő, meteorológiai jelenség fáziseltolódása szolgáltatja az egyes periódusokban már megfigyelt egyezést. A szükséges fáziseltoló mechanizmust még nem ismerjük. Remélhető, hogy a naptevékenység és a földi időjárás közötti összefüggés kutatása terén a következő mérföldkő – az ok-okozati kapcsolat egyértelmű bizonyítása – már nincs messze.

IRODALOM

Arora, B. R., 1983: Occurence probability of solar-geomagnetic-weather relations. *J. of Atm. and Terr. Phys. 45*, 569–572.

Arora, B. R. and *Padgaonkar, A. D.*, 1980: Low latitude aeronomical processes. *COSPAR Symp.* Ser. *8*, 241–244.

Arora, B. R. and *Padgaonkar, A. D.*, 1981: Time variation of solar influence on tropospheric circulation. *J. of Atm. and Terr. Physics 43*, 91–95.

Duffy, P. B., Wilcox, J. M., Roberts, W. O. and *Olson, R.*, 1977: Interplanetary magnetic field polarity and the size of low-pressure throughs near 180° W longitude. *Science 204*, 60–62.

Green, J. S. A., 1979: Possible mechanism for Sun-weather relationships. *J. of Atm. and Terr. Phys. 41*, 765–770.

Hines, C. O. and *Halevy, I. J.*, 1977: On the reality and nature of a certain Sun-weather correlation. *J. of Atm. Sci. 34*, 382–404.

King, J. W., 1975: *Sun-weather relationships.* A working document issued by spec. Committee for Solar-terr. Phys. National Academy of Sciences, Washington, 109–125.

King, J. W., Slater, A. J. Stevens, A. D., Smith, P. A. and *Willis, D. M.*, 1977: Large amplitude standing planetary waves induced in the troposphere by the Sun. *J. of Atm. and Terr. Phys. 39*, 1357–1361.

Olson, R. H. and *Roberts, W. O.*, 1978: Short-term relationship between solar flares, geomagnetic storms and tropospheric vorticity patterns. *Nature 274*, 140–142.

Pittock, A. B., 1978: A critical look at long-term Sun-weather relationships. *Rev. Geophys. Space Phys. 16*, 400–420.

Roberts, W. O. and *Olson, R. H.*, 1973: Geomagnetic storms and winter-time 300 mbar trough development in the North Pacific Atlantic area. *J. of Atm. Sci. 30*, 135–140.

Svalgaard, L., 1975: An atlas of interplanetary sector structure 1957–1974. *Research report 629*, 84.

Svetska, Z., Fritzova-Svetskova, L., Nolte, J. T., Dodson-Prince, H. W. and *Hedeman, E. R.*, 1976: Low energy-particle events associated with sector-boundaries. *Solar Phys. 50*, 491–500.

Wilcox, J. M., 1975: Solar activity and the weather. *J. of Atm. and Terr. Phys. 37*, 237–256.
Wilcox, J. M., 1976: Sun and weather. *Science 192*, 745–748.
Wilcox, J. M., 1979: Tropospheric circulation and interplanetary magnetic sector boundaries followed by MeV proton streams. *Nature 278*, 840–841.
Wilcox, J. M., 1979: Influence of the solar magnetic field on tropospheric circulation. In: *Solar terr. influences on weather and climat.* Reidel, Dordrecht, 149–159.
Wilcox, J. M. and *Ness, N. F.*, 1965: Quasi-stationary corotating structure in the interplanetary medium. *J. of Geophys. Res. 70*, 5793–5805.
Wilcox, J. M., Scherrer, P. H., Svalgaard, L., Roberts, W. O., Olson, R. H. and *Jenne, R. L.*, 1974: Influence of solar magnetic sector structure on terrestrial atmospheric vorticity. *J. of the Atm. Sci. 31*, 581–588.
Wilcox, J. M., Scherrer, P. H. and *Svalgaard, L.*, 1979: Intensity of tropospheric circulation associated with solar magnetic sector boundary transits. *J. of Atm. and Terr. Physics 41*, 657–659.
Wilcox, J. M. and *Scherrer, P. H.*, 1981: On the nature of the apparent response of the vorticity area index to the solar magnetic field. *Solar Physics 74*, 421–432.
Williams, R. G. and *Gerety, E. J.*, 1978: Does the troposphere respond to day-to-day changes in solar magnetic field? *Nature 275*, 200–210.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 90. évf. 5. szám. 1986. szeptember-október
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No. 5. Sept-Oct. 1986. Budapest

Néhány megjegyzés az időjárás és éghajlat fogalmáról

KOPPÁNY GYÖRGY, *József Attila Tudományegyetem Éghajlattani Tanszéke, H–6722 Szeged, Egyetem u. 2–6.*

Remarks on concepts of the weather and climate. The effort for extension of the deterministic forecasts has propounded the old problem, to distinguish between the weather and climate, and between the concepts of weather prediction and climate forecast. Theoretically it seems reasonable to define the limit of typical time scales of weather at 30 days, hence the range of climatic variations begins at one month or so. However this definition neglects the facts as follows. 1. The weather forecasts are not based exclusively on deterministic methods, therefore the temporal limit of forecasts is not necessarily identical with the limit of deterministic methods. 2. The meteorological forecast is a successive approximation task, which can not be solved with absolute precision as it is expected by deterministic prediction. 3. The numerical general circulation models do not include all the atmospheric processes (e. g. QBO, SOI, very long-lasting blockings). 4. The annual variations are substantial featers of the climate, thus the time scale of the climate can not be shorter than one year.

⁂

Néhány megjegyzés az időjárás és éghajlat fogalmáról. A determinisztikus előrejelzések kiterjesztésére irányuló törekvés fölvetette az időjárás és éghajlat, az időjárási és éghajlati prognózisok megkülönböztetésének problémáját. Elméletileg indokoltnak látszik, hogy az időjárás tipikus időskáláját 30 napban korlátozzuk, ezért az éghajlatingadozások spektruma kb. egy hónapnál kezdődik. Ez a meghatározás azonban figyelmen kívül hagyja a következő tényeket: 1. Az időjárás-előrejelzések nem kizárólag determinisztikus módszerekkel készülnek, így időkorlátjuk nem szükségképpen azonos a determinisztikus módszerekével. 2. A meteorológiai előrejelzés egy fokozatos megközelítési feladat, amit nem lehet abszolút pontossággal megoldani, amint ez a determinisztikus előrejelzésektől várható. 3. Az általános légkörzés numerikus modelljei nem foglalják magukban valamenny légköri folyamatot (mint amilyen pl. a kvázikétéves oszcilláció, a déli félgömb oszcillációs indexe, a nagyon hosszantartó blockingok). 4. Az évi menet az éghajlat lényeges jellemvonása, ezért az éghajlat időskálája nem lehet rövidebb, mint egy év.

⁂

Az időjárás és az éghajlat meghatározása körüli vita örökzöld téma a meteorológiában. Ez nagyon is érthető, ha meggondoljuk, hogy az időjárás és az éghajlat ugyanazon elemek összessége: napsugárzás, hőmérséklet, légnyomás, szél, légnedvesség, felhőzet, csapadék stb. Általában nem használunk külön mérőműszereket, ha az időjárás vagy az éghajlat megfigyeléséről van szó, csupán a mérések időbeli gyakoriságában van különbség.

A két fogalom szoros egymásba kapcsolódása és szétválasztásának nehézségei egy szemléletes példával jellemezhetők. Tekintsünk egy játékfilmet. Ennek építőelemei a filmkockák, amelyek egy-egy pillanatot rögzítenek – ezek felelnek meg az időképek fogalmának. A film epizódokból, jelenetekből, azaz a filmkockák különböző hosszúságú, tartalmilag összefüggő sorozataiból áll – ezek megfelelője a légkörben az időjárás. Az egész történet, amit a játékfilm megörökít – az éghajlat. Amint a film epizódjait, jeleneteit olykor igen nehéz egymástól szétválasztani, hiszen önmagukban gyakran értelmetlenekké

válnak, s csak a többi jelenettel való összefüggésük ad nekik értelmet, ugyanúgy az időjárás fogalmát is nehéz időben körülhatárolni. Ezért minden olyan kísérlet, amely az időjárás és az éghajlat szétválasztását időkorláthoz köti, magán viseli az önkényesség bélyegét. Egészen más kérdés az, amikor az éghajlatra reprezentatív idősorok hosszának megállapításáról van szó (pl. 30 évi törzsértékek, a WMO által összeállított CLINO standardok).

Érdemes megjegyezni, hogy az újabb magyar meteorológiai szakirodalomban sem található két azonos meghatározás az éghajlat fogalmáról (*Czelnai*, 1980; *Czelnai, Götz* és *Iványi*, 1982; *Götz*, 1985; *Péczely*, 1978). Érthető óvatosság jellemzi az éghajlatingadozások időskálájára vonatkozó becsléseket is (*White*, 1986). Nem célunk, hogy az éghajlat egymástól többé-kevésbé eltérő meghatározásait elemezzük, annál inkább fontosnak tartjuk, hogy az éghajlatot elméleti időkorlátok közé szorító törekvésektől elhatároljuk magunkat.

Abból az alapelvből indulunk ki, hogy a természet, és ezen belül az éghajlat megismeréséhez elsősorban nem elvont okoskodással, mesterséges modell-kísérletekkel, hanem mindenekelőtt a valóság megfigyelésével juthatunk el. Végzetes hibát követnénk el, ha az éghajlat meghatározását kizárólag a determinisztikus előrejelző-modellekkel folytatott kísérletek eredményeitől tennénk függővé.

Ismeretes, hogy a légkör fizikai folyamatainak numerikus modellezése új szemléletet és ezzel együtt új fogalmakat honosított meg a meteorológiában, erről a magyar szakirodalomban is jó összefoglalást találunk (*Czelnai*, 1980; *Czelnai, Götz* és *Iványi*, 1982). Ilyen új fogalom a külső kényszer, amely a légkörnek, mint gyorsan változó rendszernek a viselkedését bizonyos korlátok közé szorítja, és ezzel adott földrajzi helyen az időjárások sokaságából az éghajlatot kialakítja. A külső kényszerek közé soroljuk pl. a litoszférát a talajfelszínek eltérő fizikai, termikus tulajdonságaival és a domborzattal, a hidroszférát, a krioszférát, a napsugárzást. Ezek általában lassú rendszerek. A légkört kis hőtehetetlensége, továbbá a légmozgások gyors disszipációja, a légkörben föllépő háborgások rövid relaxációs ideje miatt nevezzük gyors rendszernek. Minthogy a légkör aránylag gyorsan reagál a külső kényszerek hatására, ezenkívül a kezdeti (belső) állapotok alig észrevehető kis különbözőségeire időben gyorsan növekvő eltérésekkel válaszol (*Lorenz*, 1982), ezért az időjárási események kronológikus sorrendjének előrejelzése bizonyos határon túl már nem ad használható eredményeket.

Ez az igen rövidre fogott és alapjában igaz megállapításokat tartalmazó gondolatsor azonban a determinisztikus előrejelzésekkel és az általános légkörzés numerikus modellezésével foglalkozó szakembereket arra csábítja, hogy az időjárás és az éghajlat fogalmát kizárólag a numerikus modell-kísérletek tapasztalataiból vezessék le. Így születhetett meg az a meghatározás, hogy a 30 napnál rövidebb légköri állapotváltozások az időjárás, a 30 napnál hosszabbak az éghajlat fogalomkörébe tartoznak (*Götz*, 1985). Más szavakkal: az időjárás jellemző időskálája 30 napnál rövidebb, az éghajlaté 30 nap vagy ennél hosszabb. Ebből következik, hogy az egy hónapnál rövidebb érvényességű prognózisok időjárási, az egy hónapos vagy ennél hosszabb tartamúak éghajlati előrejelzések.

A gyakorlati szakember számára azonban ez a szétválasztás elfogadhatatlan. Ennek több oka is van. Az egyik ok az, hogy *a meteorológiai előrejelzés nem egyetlen lépésben és végérvényesen megoldható feladat, hanem fokozatosan megközelíthető, de tökéletesen el nem érhető cél.* Ebben az értelemben hasonlít az égi mechanikából ismert több-test problémához, amelynek nincs tökéletes matematikai megoldása, csupán közelítő számítási módszerek ismeretesek.

A másik fontos ellenvetés az, hogy *a meteorológiai előrejelzések nem kizárólag determinisztikus módszerekkel készülnek* (*Czelnai*, 1980; *Girsz*, 1974; *Girsz* és *Kondratovics*, 1978; *Houghton*, 1985; *Kaba* és *Faragó*, 1976; *Klein*, 1981; *Livezey* and *Wagner*, 1985; *Namias*, 1981; *Titkos* és *Maller*, 1981). *Éppen ezért a determinisztikus előrejelzések időkorlátai nem jelentik magától értetődően az előrejelzések abszolút időkorlátját* (*Lorenz*, 1969). A determinisztikus előrejelzés alapvető célkitűzése az időjárási események, légköri állapotváltozások kronológikus sorrendjének prognosztizálása. Ez a célkitűzés azonban még a rövid-, sőt ultrarövid távon sem valósítható meg következetesen. A 36 órás prognózisok készítői sem vállalkoznak pl. arra, hogy a napsütés, felhőképződés, zivatarok vagy ködök kezdetének és megszűnésének időpontjait óra – percnyi pontossággal előrejelezzék. Ehhez csaknem km^2 térbeli felbontású prognózisokat kellene megfogalmazni. A „túlnyomóan derült", „túlnyomóan borult", „ismétlődő esők", „helyenként reggeli ködképződés", „kevés felhő, valószínűleg eső nélkül" stb. kitételek a rövid távú előrejelzésekben szinte mindennaposak. Vitathatatlan, hogy ezek a várható időjárásról statisztikai jellegű tájékoztatást nyújtanak. Nem minden tekintetben igaz tehát az, hogy az időjárás statisztikája az éghajlat fogalomkörébe tartozik (*White*, 1986).

A repülésmeteorológiai előrejelzések (TAF) mindig 9 órányi tartamra, 3 óránkénti megújítással, tehát 6 órányi átfedéssel készülnek, s általában minden időjárási elem várható *valószínű értékére* adnak becslést. Viszont a repülőtér vagy környezetének légterében előálló, s a repülés biztonságát veszélyeztető jelenségre (köd, porvihar, zivatar, szélnyírás stb.) figyelmeztető, ún. SIGMET-előrejelzések optimuma a veszély bekövetkezése *lehető pontos idejének* a prognosztizálása (*WMO Technical Regulation*, No 49. Vol. II.).

Még kevésbé valósítható meg maradéktalanul az időjárási események egymásutánjának prognosztizálása a közép- és hosszútávú előrejelzésekben. A különböző távprognosztikai iskolákban ezért új, sajátságos makroszinoptikai fogalmakat vezettek be és honosítottak meg. Ilyenek a nagy térségű és hosszabb tartamú szinoptikai folyamatok: a német *Grosswetterlage* vagy Grossweltwetterlage, a természetes szinoptikai évszakok, az éven belüli fejlődési fázisok, a Namias-féle index-ciklus (*Ambrózy*, *Bartholy* és *Gulyás*, 1984; *Baur*, 1972; *Van Dijk*, 1985; *Girsz*, 1960, 1974). Ilyen fogalom továbbá a német *Witterung*, az időjárási jelleg, amely napokig, sőt hetekig tartó hasonló időjárás uralmával jellemezhető, valamint ennek angol megfelelője, a *spell* és a hasonló, *spell*-ekből felépülő *natural season* (*Perly* and *Barry*, 1973). Ezek a fogalmak abból a felismerésből származnak, hogy a föld-légkör rendszer, az újabb szemlélet szerint: a lassú és gyors rendszerek állandó kölcsönhatása, és részben a makroskálájú mozgások miatt nagy tehetetlenségű folyamatok játszódnak le a légkörben. Ezek a lassú folyamatok a visszacsatolási mechanizmusok miatt hónapokig, sőt kivételesen évekig is eltarthatnak (*Namias*, 1964). Észak-Amerikában és hazánkban is kimutatható pl., hogy hideg és csapadékos telek (tavaszok) után nagy valószínűséggel hűvös tavaszok (nyarak) várhatók és fordítva.

Bizonyos légköri folyamatoknak itt csupán érintőlegesen említett lelassulása szélesíti ki az időjárás időspektrumát. Az időjárás hosszabb tartamú előrejelzése kezdettől fogva erre a felismerésre épül. Vannak nagy tehetetlenségű, alacsony frekvenciájú légköri változások, amelyek elvben előrejelezhetők, és vannak kis tehetetlenségű, nagyfrekvenciájú ingadozások, amelyek hosszabb távon előrejelezhetetlen zajok (*Koppány*, 1983).

A világ számos országában, ahol a távprognosztikának sok évtizedes ha-

gyományai vannak, olyan hosszabb tartamú előrejelzéseket készítenek, amelyek egyes időjárási elemek *5, 10 napos vagy havi átlagos anomáliáit* tartalmazzák, esetleg tendenciájára adnak becslést (*Baur*, 1972; *Girsz*, 1960, 1974; *Kaba* és *Faragó*, 1976; *Livezey* and *Wagner*, 1985; *Namias*, 1981). Nem csekély gyakorlati jelentősége van Dél-Ázsiában a monszunális eső évszakos előrejelzésének, vagy hazánkban a téli fűtési szezon átlagos hőmérsékelti anomáliájára adott prognózisnak. Ezeknek a prognózisoknak akkor is van gyakorlati hasznuk a társadalom számára, ha semmit sem mondanak arról, hogy melyik napon esik a legtöbb vagy legkevesebb eső, illetve melyik nap lesz az évszak leghidegebb vagy legmelegebb napja.

De továbbra is a meteorológiai előrejelzéseknél maradva: akár időjárási, akár éghajlati előrejelzésekről van szó, lényegében ugyanazon paraméterek, időjárási események prognosztizálása a cél. A széles körben elterjedt gyakorlat szerint: *szűkebb értelemben az időjárás közép- és hosszabb távú előrejelzésének feladata az egyes időjárási elemek várható anomáliáinak, vagy éghajlati valószínűségekkel definiált kategóriáinak prognosztizálása* (*Koppány*, 1978). Ezek az előrejelzések tehát föltételezik az éghajlati normál értékek vagy valószínűségek ismeretét az adott földrajzi helyen. Sikerességük pedig azzal mérhető, hogy a metodikai prognózisok hibái mennyivel kisebbek, mint a normál értékekre, vagy éghajlati valószínűségekre alapozott „éghajlati prognózisok" hibái. Ebből a szempontból *„éghajlati prognózison" az éghajlat megmaradására, stabilitására alapozott előrejelzést értjük* (*Czelnai*, 1980; *Girsz*, 1960; *Girsz* és *Kondratovics*, 1978; *Houghton*, 1985). Nem ismeretesek ui. olyan operatív kísérletek, amelyek az éhgajlat évekig, évtizedekig, vagy ennél is hosszabban tartó ingadozásainak előrejelzését tűzték ki célul. Ezért is indokolatlan és egyelőre még korai éghajlat-előrejelzésekről mint gyakorlatról beszélni. Legföljebb az ún. másodfajú, „ha . . ., akkor . . ." éghajlati prognózisok jöhetnek szóba, ezek azonban gyakorlatilag függetlenek a távprognosztikai szolgálatoktól.

Végül megfontolást érdemel az, hogy vajon a numerikus modellek jelenlegi formái alkalmasak-e *valamennyi légköri jelenség* leírására. Itt elsősorban az alacsony szélességek sztratoszférikus cirkulációjában tapasztalt *kvázikétéves oszcillációjára* (QBO), a déli félgömbön fellépő *oszcillációs index* (SOI) ingadozására és az *egy hónapnál hosszabb ideig fennmaradó blockingokra* gondolunk.

Az időjárás és az éghajlat szétválasztása a 30 napos időkorlátnál más szempontból is elfogadhatatlan. Ez a meghatározás ui. figyelmen kívül hagyja az éghajlati rendszer egyik legfontosabb külső kényszerét, a napsugárzást, közelebbről a Nap deklinációjának szabályos évi periodicitását. Márpedig a földfelszín valamely pontján a Nap delelési magasságának és a nappalok hosszának évi változása az adott hely éghajlatának egyik legmarkánsabb jellemvonását alakítja ki: a hideg és meleg, vagy csapadékos és száraz évszakok váltakozását, a monszunális területeken a szél évszakos fordulását. Ha az éghajlat jellemző időskáláját 30 napra korlátozzuk, akkor ebből az időskálából kirekesztjük az éghajlat egyik szubsztanciális elemét, az évi menetet és ezzel együtt magát az éghajlatot is. Ezért magától értetődő, hogy az éghajlat karatkerisztikus időskálája nem lehet rövidebb egy évnél (*Saltzman*, 1983).

Még akkor sem lehet az éghajlat időskálája egy évnél rövidebb, ha a légkör állandó sugárzási viszonyok (a Nap deklinációjának rögzítése) mellett, izotermikus (250 K) és mozdulatlan kezdeti állapotból kiindulva, mintegy

35–40 nap alatt képes a jelenleg ismert termikus és kinematikai állapotába átalakulni, amint ezt numerikus modell-kísérlettel kimutatták (*Kasahara* and *Washington*, 1967; *Washington* et al., 1968).

Félreértés volna, ha valaki az elmondottak után azt gondolná, hogy jelen sorok írója valamilyen ellenszenvet érez a modellkísréletek iránt. Ellenkezőleg, nagyra értékeli azoknak a magyar meteorológusoknak a törekvéseit, akik a világ élvonalában álló országokban végzett, s a legkorszerűbb számítástechnikát igénylő kutatásoknak új távlatokat nyitó eredményeire irányítják a hazai szakemberek figyelmét. Célja csupán annak hangsúlyozása volt, hogy milyen torzulásokra vezet a rendkívül összetett meteorológiai kérdések egyoldalú, egydimenziós szemléleten alapuló megközelítése.

IRODALOM

Ambrózy P., Bartholy J. és *Gulyás O.*, 1984: A system of seasonal macrocirculation patterns for the Atlantic-European region. *Időjárás, 88*, 121–133.

Baur, F., 1972: *Langfristige Witterungsvorhersagen.* Wissensch. Verlagsg. Stuttgart.

Czelnai R., 1980: *A meteorológia eszközei és módszerei.* OMSZ, Budapest.

Czelnai R., Götz G. és *Iványi Zs.*, 1982: *A mozgó légkör és óceán.* OMSZ, Budapest.

Van Dijk, W., 1985: *The Influence of the European „Grosswetterlagen" on the Kinetic Energy of the Atmosphere.* Rijksuniversiteit, Utrecht.

Girsz, A. A., 1960: *Osznovü dolgoszrocsnüh prognozov pogodü.* Gidrometizdat, Leningrad. 350–351.

Girsz, A. A., 1974: *Makrocirkuljacionnüj metod dolgoszrocsnüh meteorologicseszkih prognozov.* Gidrometizdat, Leningrad.

Girsz, A. A. i *Kondratovics, K. V.*, 1978: *Metodü dolgoszrocsnüh prognozov pogodü.* Gidrometizdat, Leningrad.

Götz G., 1985: The climate problem – an overview. *Időjárás, 89*, 320–328.

Houghton, D. D. (editor), 1985: *Handbook of Applied Meteorology.* John Wiley et Sons, New York, Toronto.

Kaba M. és *Faragó T.*, 1976: A havi középhőmérsékletek statisztikai prognosztizálása és a Bayes-rizikó becslése (orosz nyelven). *Időjárás, 80*. 313–325.

Kasahara, A. and *Washington, W.*, 1967: NCAR global general circulation model of the atmosphere. *Monthly W. R., 35*, 1, 27–30

Klein, W. H., 1981: *Application of statistical weather forecasting to different time scales.* Proceedings of the Symposium on Current Problems of Weatherprediction, Vienna, June 23–26, 1981.

Koppány Gy., 1978: *Távprognosztika II.* Tankönyvkiadó, Budapest.

Koppány Gy., 1983: Az időjárás hosszabb tartamú előrejelezhetősége. Akadémiai doktori disszertáció.

Livezey, R. E. and *Wagner, A. J.*, 1985: *Prospects and potentialities for long-lead seasonal temperature forecasts with significant skill.* Proceedings of the Symposium on Current Problems of Medium and Long Range Weather Forecasts. Budapest, 103–109.

Lorenz, E. N, 1969: Three approaches to atmospheric predictability. *Bull. Am. Met. Soc., 50*, 5, 345–349.

Lorenz, E. N., 1982: Atmospheric predictability experiments with a large numerical model. *Tellus, 34*, 6, 505–513.

Namias, J., 1964: Seasonal persistence and recurrence of European blocking during 1958–1960. *Tellus, 16*, 3, 394–407.

Namias, J., 1981: *Predicting prevailing weather from a season to several years ahead – a synoptician's view.* Proceedings of the Symposium on Current Problems of Weatherprediction, Vienna, June 23–26, 1981, 147–151.

Péczely Gy., 1978: *Éghajlattan.* Tankönyvkiadó, Budapest.

Perry, A. H. and *Barry, R. G.*, 1973: *Synoptic Climatology.* Methuen et Co., London, 304–319.

Saltzman, B. (editor), 1983: *Theory of Climate.* Academic Press, New York, London, Paris.

Titkos E. és *Maller A.*, 1981: *Makroszinoptika és távelőrejelzés.* OMSZ Kisebb kiadványai 49.

Washington, W. et al., 1968: The application of CRT contour analysis to general circulation experiments, NCAR Manuscr. 68–77.

White, R. M., 1986: Climatic variations. *WMO Bull.* Vol. 35, No 1, 27–30.

WMO Technical Regulation, No 49, Vol. II, 1976.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 5. szám. 1986. szeptember-október
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 5. Sept-Oct. 1986. Budapest

A Magyar Tudományos Akadémia meteorológiai kiadványai a XIX. században

BÉLL BÉLA, *Országos Meteorológiai Szolgálat, H-1024 Budapest, Pf. 38*

Előzmények. 160 évvel ezelőtt, közel 200 évvel az első európai Tudós Társaság megalapítása után, 1825-ben – Széchenyi István közismert felajánlásával – megalakult a Magyar Tudós Társaság, későbbi nevén a Magyar Tudományos Akadémia (MTA).

A Tudós Társaság kezdettől fogva fő feladatának tekintette a tudományos könyvkiadást olyannyira, hogy az 1831. évi első nagygyűlésen életre hívott 4 bizottság közül 3 kiadói ügyekkel volt megbízva.

Az első nagygyűlést megelőzően, még 1825-ben megjelent az Akadémia első alapszabályainak összeállítására kiküldött bizottság jelentése. Ezt a kiadványt tekintik az első akadémiai kiadványnak.

A magyar tudományos könyvkiadás története szorosan kapcsolódik magának az Akadémiának történetéhez, s ezen keresztül az ország korszakváltásaihoz.

1. *Az Akadémia alapszabályai* az MTA feladatait, valamint a vele szemben támasztott társadalmi igényeket tartalmazzák. Ezek természetesen nem örök érvényű programot jelentenek az MTA számára, hanem – mint a feladatok és igények változnak – új és új alapszabályokra volt és lesz szükség. Ezeknek elfogadása, ill. megvitatása az évi közgyűlés hatáskörébe tartozik. Miután a háborús évek és a két világháború közötti időszak jelentős változásokat hoztak mind a társadalom, mind az MTA életében, mindpedig az egyes tudományok fejlődésében az alapszabály számos módosítására, sőt új alapszabályokra volt és lesz szükség. Valamennyi megegyezett, ill. megegyezik abban, miszerint „az Akadémia Magyarország, ill. a Magyar Népköztársaság legfelsőbb tudományos intézménye, amelynek feladata a magyar tudományos élet kutatása és irányítása".

A Tudós Társaság életének első, 1825–1848 közötti szakaszában a természettudományok, a matematika, a műszaki és agrártudományok bizonyos mértékben háttérbe szorultak, pl. a nyelvtudomány mellett: a Társaság elsősorban nyelvművelő feladatot látott el.

A természettudományok tekintetében a hiányt némileg pótolta a *Bene Ferenc* és *Bugát Pál* akadémikusok javaslatára 1840-ben megalapított *Királyi Magyar Természettudományi Társulat* (KMTTT), amely a később létrehozott *Tankönyvkiadóval* – különösen a könyvkiadás terén – volt segítségére a Tudományos Társaságnak, ill. az MTA-nak.

1849-ben és az ezt megelőző években az említett tudományterületeken a Tudós Társaság a kutatást főként pályázatok kiírásával támogatta. Így lett 1849-ben levelező

tag *Berde Áron*, „LÉGTÜNEMÉNYTAN" című műve elismeréseként, amely az első jelentős magyar nyelvű agrometeorológia és humánbiometeorológia volt. 1849-ben elnyerte a Tudós Társaság nagyon előkelő *Marczibányi*-jutalmát (lásd később).

1848 márciusában a Tudós Társaság felvette a Magyar Nemzeti Akadémia nevet, de a szabadságharc elvesztése után tevékenységének szüneteltetésére kényszerült.

Új alapszabályait – miután a bécsi császári Akadémiába való beolvasztásának veszélye megszűnt – a király 1849-ben hagyta jóvá.

Ennek értelmében, amely a magyar nyelvű tudomány irányítását kivette az Akadémia feladatai közül és az intézményt a kormány felügyelete alá helyezte, az Akadémia 1850-ben kezdhette meg újból működését.

Természetesen egyik fő feladata: az akadémiai könyvkiadás is szünetelt, a Könyv és Folyóirat Bizottság sem működött!

Az 1867. évi kiegyezés után az Akadémia önállóságát érintő sérelmek új alapszabályaiban orvoslást nyertek. Ezek első tervezete 1868 tavaszán került jóváhagyás céljából a közgyűlés elé. Ennek megtörténte után a tervezetet *Ferenc József* király *Arany János* „főtitoknok" előterjesztésére 1869-ben hagyta jóvá. Ezek változatlanul szabályozták az MTA működését közel 8 évtizeden át, egészen 1945-ig.

A tudományfejlődés szempontjából a megelőző, eléggé negatív korszakban a természettudományok szempontjából pozitív lépések is történtek. Ilyennek minősíthetjük a Matematikai és Természettudományi Bizottság megalakulását, amit humán tudósok: *Eötvös József* és *Szalay László* kezdeményeztek, s amelynek fáradozásai révén jött létre és kezdte meg működését 1870-ben a Meteorológiai és Földdelejességi Intézet.

Mindenesetre „az Akadémia 1858-ig tartó bénult évtizede alatt a műszaki és agrártudományok akadémiai sorsa különösen gyászos volt". A természettudományok fejlődését bizonyos mértékben biztosította ugyan a KMTTT megnövekedett bekapcsolódása az MTA feladatkörébe, mégis a második világháború meglehetősen elhanyagolt állapotban találta – legalább is akadémiai vonatkozásban – mindhárom tudományterületet.

A II. világháború, különösen annak utolsó évei, a nyilaskorszak, érthető módon nem kedveztek az akadémiai könyvkiadásnak. A felszabadulás után számos, részben megérdemelt kritika súlyosbította a megváltozott körülmények között útját kereső Akadémia helyzetét. A külföldre távozott *József főherceget Kornis Gyula* váltotta fel az elnöki székben, de ő sem személyében, sem mentalitásában nem volt alkalmas arra, hogy az Akadémia kívánt átalakítását végrehajtsa. Jóllehet az 1945. évi közgyűlésen tartott megnyitó beszédében hangsúlyozta: „horizontunk most már nem szűkülhet le pusztán nyugatra, az orosz tudomány kapuján is kopogtatnunk kell", mégis a reformokat sürgető *Szent-Györgyi Albert* kételkedett abban, hogy az Akadémia „a száz év előtti állapotokhoz szabott szervezetével és a radikálisabb megújhodásnak ellenálló, régi szellemével képes lenne a szovjet példa követésére". Szerinte az Akadémia adott formájában nem előmozdítója, hanem inkább akadály lenne az újjáépítés útjában.

Kétségtelen, hogy az Akadémia ezekben a nehéz években túlságosan befelé fordult, a hazai tudományos életnek irányítását elhanyagolta, a természettudományok forradalmi fejlődését figyelmen kívül hagyta, az újjáépítés országos erőfeszítéseiből nem vette ki részét, szervezetében elavult és reformokra volt szüksége, de ezeket önmagában nem volt képes végrehajtani.

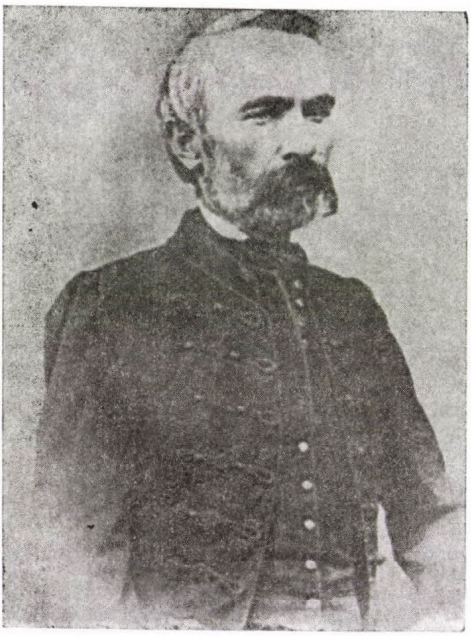
Ilyen körülmények között érthető, hogy egyik fő feladatának kijelölt könyvkiadói tevékenysége szinte teljesen szünetelt. Igaz, hogy az Akadémia ezekben az években működésének anyagi alapját lényegében elvesztette. A kormány arra az álláspontra helyezkedett, hogy működésének anyagi feltételeiről az állami költségvetés keretében kell gondoskodni, s 1946 őszétől évi 90 000 Ft-ban szabta meg állami támogatását. Ezzel szemben az Akadémia évi 500 – 600 000 Ft-ban jelölte meg a tevékenységéhez szükséges állami támogatás összegét.

Sajnos, az újjáépítési korszak erőfeszítései nem tették lehetővé, hogy a magyar népi demokrácia szűkös anyagi eszközeiből a kívánt államsegélyt megadja. Így érthető, hogy az aránylag nagy költségigényű könyvkiadás ezekben a nehéz időkben csaknem teljesen szünetelt.

Ebben az időben a magyar tudományos életet az 1948. év augusztusában országgyűlési határozattal létrehozott Magyar Tudományos Tanács (MTT) irányította. A parlamenti vitában felmerült az a kérdés, hogy az MTT funkcióit miért nem az MTA-ra ruházza a törvény. *Rudas László* képviselő véleménye szerint: „az Akadémia nem tölti be sem tudományos, sem tudományirányító feladatát, és nem tapasztalható olyan törekvés, hogy az új világ szellemében átalakítja a maga munkáját". A legmagasabb helyen elhangzott éles kritika mutatja, hogy az akadémiai reformra nagy szükség volt.

2. *Az akadémiai törvény.* Végül is az Akadémia átszervezési folyamatát az 1949. évi XXVII., ún. akadémiai törvény zárta le. Eszerint a tudományos kutatások elvi feladatköre magában foglalta azoknak a műszaki és természettudományi témáknak előtérbe helyezését, amelyek a társadalom és a népgazdaság érdekeit szolgálják, s később a 3–5 éves tervek során az *Országos Távlati Tudományos Kutatási Tervek* (OTTKT)-ben realizálódtak.

3. *Az Akadémia kutatóintézeti hálózata.* A MTA-nak az OTTKT-ben való részvételét jelentősen elősegítette kutatóintézeti hálózatának kiépítése.



Dr. Berde Áron (1819–1892), kolozsvári egyetemi tanár, az első, aki katedráról, korszerű éghajlattant magyar nyelven adott elő és a Magyarország éghajlatával foglalkozó első nagyobb terjedelmű, magyar nyelvű mű, a „Légtüneménytan" (1847) szerzője

Az 1969. évi 41. sz. törvényerejű rendelet szétválasztotta a MTA testületi (az elnök vezetése alatt) és szakigazgatási (a főtitkárnak alárendelve) tevékenységét. A kutatóintézeti hálózat a főtitkár alá tartozik. A főtitkárt a közgyűlés javaslata alapján a Kormány nevezi ki. Ugyanebben az évben létesült a *Tudománypolitikai Bizottság* és az *Orsz. Műszaki Fejlesztési Bizottság* (OMFB). Mindkettő olyan feladatkört kapott, amelyeket össze kellett egyeztetni az akadémiai programokkal, különösen az OTTKT szempontjából.

1950-ben létrejött az Akadémiai Kiadó, 1952-ben pedig az Akadémiai Nyomda. Ezzel az akadémiai könyvkiadás új lendületet kapott. Ettől kezdve az Elnökség közvetlen irányításával működő *Könyv- és Folyóirat-Bizottság* osztotta és osztja szét az egyes tudományos osztályokra lebontott ívkeretet. (A X. Osztálynak általában 10 ív áll rendelkezésére valamennyi földtudomány 1 évi könyvtermésére. Az utóbbi elosztását az osztályülések végzik.

Ezzel a szervezéssel jelentősen emelkedett az évenként kiadott művek száma (az Akadémia ívszámán felül a Kiadó jogosult más kiadványok elkészítésére is). Amíg 1950-ben csupán 13 könyv jelent meg akadémiai kiadásban, 1957-ben már 92 önálló munka, közöttük 76 magyar szerző műve, látott napvilágot.

A következőkben azokkal a meteorológiai tárgyú magyar művekkel (könyvekkel) foglalkozunk, amelyekkel a MTA az akadémiai könyvkiadás keretében a hazai meteorológia fejlődését jelentősen támogatta. Mellettük bemutatjuk a meteorológia felső fokú oktatásának rendelkezésére álló szakkönyvkészletet is. Az utóbbiból következtetni tudunk az esetleges hiányosságokra. De figyelembe veendőnek tartjuk az 1840-ben megalakult KMTTT és később a Tankönyvkiadó oktatási célból kiadott szakkönyveit is. Miután nem célunk a kutatási eredményekről számot adni, hiányoznak ebből az összeállításból a különböző folyóiratokban és periodikákban megjelent cikkek, így a KMTTT és a Meteorológiai Intézet kiadványaiban közzétett munkák is.

A XIX. század első felében hézagpótló könyvként tartották számon a legrégibb, magyar nyelvű meteorológiai szakkönyvet, címe:

4. Berde Áron: *Légtüneménytan, s a két magyarhon éghajlatviszonyai s ezek befolyása növényekre és állatokra.* Özv. Barréné és Stein kiadása, Kolozsvár, 1847 (a Magyar Tudós Társaság Math. és Természettudományi Bizottságának megbízásából). Ekkor még az Akadémiai Kiadó nem működött, s a Magyar Tudós Társaság, később a MTA idegen nyomdákat is igénybe vett — szerződéses megbízással — kiadványainak közzétételére.

Berde Áron közel másfélszáz éves könyve különösen figyelemreméltó ma is azért, mert a szerző a berlini egyetem tanárának, *Dove*-nak tanítványa volt. Dove akkortájt a meteorológiában (pontosabban a szinoptikában) új irányt jelölt, s a légkör globális szemléletével korát megelőzte. Természetesen anakronizmus lenne, ha a XX. század végének radaros, műholdas, számítógépes világából számon kérnénk a XIX. század primitív műszerezettségét. Berde könyvének megjelenésekor (1849) nem álltak a kutatók rendelkezésére összehangolt adatsorok, s a meteorológia is inkább leíró jellegű volt.

Dove és ennek nyomán *Berde Áron* jelentősége a világirodalomban, ill. a hazai szakirodalomban éppen a leíró jellegnek magasabb rendű oknyomozó, *fizikai* jelleggel való felcserélésében van. A fizikai ok keresése közben Dove (és Berde) nem feledték el a légköri folyamatok g l o b á l i s szemléletét, amely szerint a szilárd Föld, a folyékony hidroszféra (a krioszférával együtt) és a légnemű atmoszféra (geoszférák) fizikai egységben alkotják a *Földbolygót*, amelyen belül az egyes geoszférák eseményei a másik kettővel kölcsönhatásban mennek végbe. Ilyen formán a légtüneménytannak a mai légkörfizika felelne meg, az „égalj-viszonyok" szó helyett pedig az „éghajlattant" használjuk. A könyv I. része eszerint a földi légkör fizikájával foglalkozik. A szerző Dove nyomán 3 alapvető kérdést tart globális jelentőségűnek:

a) Mi pótolta hosszú évszázadokon át a légkör oxigéntartalmát az oxidációs folyamatokkal szemben. A felelet ma is helytálló: *a növényvilág széndioxid (szénsavany) asszimilációs folyamata.*

b) Mi gondoskodik arról, hogy a száraz levegő oxigén- és nitrogénaránya változatlan? A felelet ma is helytálló: a *turbulencia jelensége.*

c) Milyen magasságig terjed a földi légkör? A könyv felelete: „A' hajnallásból számítva: 10 földr. mföld, de *74 km magasságban a' levegő oly parányi, hogy részecskéi nem képesek a Nap sugarait megtörni, miért a' levegő határát mintegy e' magasságban szokták megadni*".

A XX. század második felében a meteorológiai rakéták és műholdak tanúsága szerint a Nap bolygórendszerében az ún. bolygóközi tér nem üres, hanem roppant ritka anyagot, a Napból kiinduló anyagi *(korpuszkuláris)* sugárzás részecskéit (a napatmoszféra itt már nagyon ritka gázait) tartalmazza. Ebbe a ritka anyagba megy át fokozatosan a földi légkör.

Az utóbbi felső határáról tehát nincs értelme beszélnünk, mint ahogyan azt még a közelmúltban is tették. Magam vagyok élő tanúja annak, hogy rangos ismeretterjesztő művek még a XX. század 30-as éveiben is tág teret szenteltek ennek a kérdésnek, s az általános vélemény az volt, hogy a légkör vastagsága bizonyosan meghaladja az 1000 km-t, ameddig a sarkifény legmagasabb sugarai felnyúlnak és ott a légkör molekuláinak, atomjainak jelenlétéről hírt adnak. A műholdak hiányát mindenesetre anakronizmus lenne felróni Berde Áron korának. Könyve nyilván megérdemli, hogy bővebben ismertessük, mint a többi akadémiai kiadványt.

Könyvének II. része *(A' két Magyarhon égaljviszonyai)* is megérdemli a bővebb ismertetést. A klimatológusok általános, elfogadott munkamódszere szerint minden egyes éghajlati megállapítás alátámasztandó elegendő hosszú, kellő minőségű adatsorokkal, ahol az „elegendő hosszú" föltételt a táj adottságaihoz simuló statisztikai számítások fejezik ki, az adatsorok „minőségét" pedig nemzetközileg szervezett egyidejű, azonos módszerekkel végzett mérések szolgáltatják, ill. biztosítják. Nem róható fel azonban Berde Áronnak az, hogy az utóbbi lehetőséggel nem élt. Korában még nem működött a Magyar Meteorológiai Intézet (csak a kiegyezés után, 1870-ben alakult meg, Berde könyvének megjelenésekor éppen megkezdte a magyar észlelőhálózat megszervezését). Berde egy-egy város (Kolozsvár, Fejérvár, Pécs stb.) esetleges adatait használta fel, éppen ezért semmiképpen nem támaszkodhatott egyidejű, ismert módszerekkel végrehajtott megfigyelési sorokra. Éghajlati megállapításait — legalábbis Magyarországra és Erdélyre vonatkozóan — csak bizonyos fenntartással fogadhatjuk el. Közép-Európáról már jobb áttekintést tud nyújtani Berde könyve, mivel felhasználhatta a *Mannheimi Meteorológiai Társaság* 10 évi adatsorát, amely már mindkét említett föltételnek (egyidejűség, azonos módszerek) megfelelt. Berde — Európát nagy eurázsiai kontinens szaggatott partvidékű félszigetének tekintve — megállapíthatta, hogy nagy tengerektől (Atlanti-óceán, Földközi-tenger) övezve, keleten a nagy kontinens hatása alatt, nyugatról kelet felé haladva az éghajlat tengeri jellegűből fokozatosan kontinentálisba megy át, ami főként a rosszabb vízellátásban és az éghajlat szélsőséges jellegében nyilvánul meg Kelet-Európában. Ebben a rendszerben a „két magyarhon" medence jellegénél fogva szárazabb, mint szélességi köre általában, és hőmérsékleti viszonyait a nagy szélsőségek (meleg nappalok és nyár, hideg éjszakák és tél) jellemzik. Ehhez járul még a hegyvidékek különleges, hűvös éghajlata.

Az éghajlat szélsőséges jellegéből következik az évszakok közti átmenet, így a *kitavaszodás* aránylag rövid időtartama is. Berde ízes, múlt századbeli szavait idézve: „a' nyugotibb helyeken a' tavasz könnyebben kinyomja helyéből a' telet, mint keleten fekvő hazánkban." Ennek a kitavaszodásbeli különbségnek jelentős mezőgazdasági következményei vannak.

Ezzel már el is érkeztünk a III. rész: *Éghajlatunk befolyása a' létműves világra.* A *„létműves"* szó, amely nem ment át a közhasználatba, a növény- és állatvilágot jelenti. Ennek a résznek első fejezete: a növényvilágra gyakorolt „béfolyás" az első magyar nyelvű AGROMETEOROLÓGIA, második fejezete pedig — az állatvilág és az ember — az első, magyar nyelvű BIOMETEOROLÓGIA. Nem tudom, ezeket vették-e figyelembe a könyv akadémiai bírálói, vagy kitűnő stílusát, pedagógiai érdemeit, amikor Berde Áron könyvét az 1845—1850 között megjelent magyar nyelvű természettudományi művek közül legérdemesebbnek ítélték a tekintélyes Marczibányi-jutalomra, 1885. dec. 15-én pedig e művéért az MTA levelező tagjává választotta. Ő lett ezzel

az *első* meteorológus tagja a MTA-nak. Székfoglalójának címe: „A levegő nyirkosság némely égalji befolyása". Ebben a szerző kihangsúlyozza a kellő vízellátottság mezőgazdasági jelentőségét, amelyet könyvében nem mint elsőrendű, a termést meghatározó, *döntő* tényezőt emel ki a hőmérséklettel szemben, amely Dove globális szemlélete szerint a földrajzi szélességgel azonos értékű éghajlati tényező lévén, meghatározza a hely alkalmasságát valamely növény szempontjából. Éghajlatunk medence-jellegénél fogva a *vízellátás*, mint minimumban lévő tényező, a fontosságban megelőzi hazánkban a hőmérsékletet. Egyébként ez a rangsorolás az újabb megfigyelések ismeretében történt, Berde Áron ilyennek nem lehetett birtokában.

Itt megállott Berde Áron tudományos szereplése a MTA előtt. 1860 után vegytani kísérletei megrontják egészségét, 1866-ig több könyv kéziratát készítette el, de ezek inkább vegyipari művek voltak és gazdaságtani munkájával együtt nem kerültek közlésre. Hazafias céllal alapították munkatársával a Magyar Futár című ókonzervatív lapot, majd jó viszonyuk megromlása után egyedül látta el egy szabadelvű, hazafias lap szerkesztői munkakörét, amivel kapcsolatban a hatóságokkal szemben vitái is voltak.

Berde híven kitartott a nemzeti ügy szolgálatában az idők jobbrafordultáig s a rábízott lapot haláláig szerkesztette. Irodalmi működése ez idő tájt a köz- és államgazdaságra korlátozódott.

Berde kiváló tanár is volt. Iskoláinak elvégzése után kinevezték a kolozsvári főtanoda megürült tanszékére tanárnak, de ugyanakkor az erdélyi unitárius egyház ösztöndíjával Németországban az említett Dove és más tudósok mellett tovább tanult s állását csak hazatérte után, 1844 őszén foglalta el. Visszavonulása után részt vett Erdély társadalmi és tudományos életében, szerkesztette a *Természetbarát* c. tudományos folyóiratot.

Berde Áron nekrológjának olvasásakor egy kiváló tudós és nemes lelkű hazafi képe elevenedik meg előttünk, akire úgy is mint tudósra, úgy is mint emberre büszkén tekint fel a hazai meteorológusok összessége.

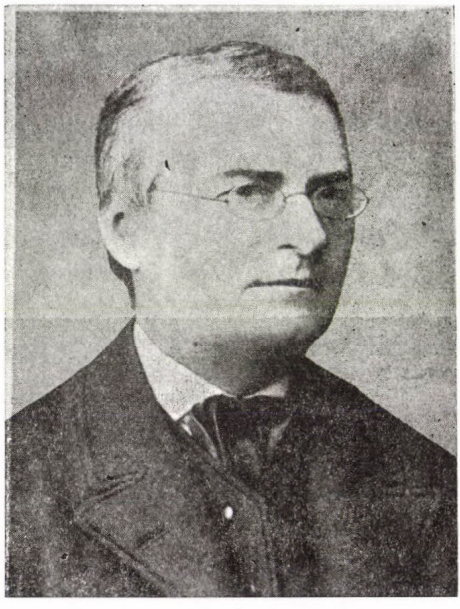
5. *Stoczek József: Utasítás meteorológiai észleletekre* (Az MTA Mathematikai és Természettudományi Bizottságának megbízásából), Pest, 1861. Emich Gusztáv, Magyar Akadémiai nyomdász.

A legrégibb észlelések Magyarországon a Mannheimi „Meteorológiai Társulat" kezdeményezésére kezdődtek s 1792-ben szűntek meg, amikor a mannheimi Társulat befejezte működését. Ezt az évtizedet hosszú szünet követte, amikor is Buda különböző pontjain és intézményeiben folytatódtak ugyan az észlelések, de ezek észlelési időpontjai és műszerei különbözők voltak.

A meteorológia hazai történetéből tudjuk, hogy 1870-ben, amikor a király jóváhagyta az Orsz. Meteorológiai és Földdelejességi Intézetnek az MTA által javasolt alapszabályait, az Akadémia az észlelések egyöntetűsége végett megbízta Stoczek József rendes tagot, hogy dolgozzon ki olyan „Utasítás"-t az észlelők számára, amely egyrészt szakemberek és tudományos műveltségű férfiak igényeinek törekedjék megfelelni, másrészt pedig lehetőleg alkalmazkodjék a bécsi Meteorológiai Intézet (amelynek Évkönyveiben az eddig végzett magyar észlelések nemzetközi formában megjelentek) által elfogadott szabályokhoz.

Stoczek mindkét föltételnek eleget tett. Az első, ma már túlzottnak tartott igényt a következően indokolja: „Oly adatok pontosságába, melyek kellő szakképzettség nélkül szűkölködő egyének által gyűjtetnek — a tapasztalat tanúsága szerint — kevés bizalmat lehet helyezni". A későbbi tapasztalatok megmutatták, hogy a megbízható észleléshez nem föltétlenül szükségesek „tudományos képzettségű" férfiak. Elegendő, ha szakmai képzettségük kimeríti a WMO által rögzített szaktanfolyam anyagát (meteorológus III.)

6. *Kruspér István: Légtüneti észleletek I. és II.* Pest, 1866. Nyomat: Emich Gusztáv magyar Akadémiai nyomdásznál. A kiadvány I. kötetében az Akadémia közreadta azokat az észleléseket, amelyeket 1840–48 között *Mayer Lambert* csillagász felügyeletével a budai csillagdában végeztek. Erről a sorozatról több irodalmi forrás úgy emlékezik meg, mint Buda 100 évi hőmérsékleti sorában egy 8 éves hézagról, amely nyomtalanul eltűnt a szabadságharc viharaiban. Valójában az MTA Könyv- és Folyóirat Bizottsága megtalálta a volt csillagda iratai között s miután nyomdakész formában volt,



Dr. Schenzl Guidó (1823–1890), az admonti Szt. Benedek-rend apátja, a budai főreáliskola igazgatója, az 1870-ben alapított Királyi Magyar Meteorológiai és Földdelejességi Intézet első igazgatója (1870–1886). Főműve: „Adalékok a magyar korona országaihoz tartozó országok földmágnességi viszonyainak ismeretéhez". Pest, 1881.

Kruspér szerkesztésében kiadta 1866-ban, azzal az érdekes indoklással, hogy a mezőgazdaságot sújtó s évről évre megismétlődő szárazság okait a régebbi adatok híján megtalálni nehéz lenne. Ezeket az okokat némelyek az erdők kipusztításában, mások a mocsarak lecsapolásában keresték. Miután a „légtüneti észleletek" nem álltak rendelkezésre, ezekre a fontos kérdésekre nem találhatták a feleletet (ezt csak a XX. század 20-as éveiben tisztázta a meteorológia).

A kiadvány II. részében Kruspér immáron nemzetközi formában azokat az észleleteket közli, amelyeket „dr. Schenzl Guidó 1861–1870 végéig a budai főreáltanodában tett, amely időben azon intézetnek igazgatója és physikai tanára volt"; Schenzl intézetében volt ui. elhelyezve az „akadémiai észlelde". 1870 után az „észleletek" a Meteorológiai Intézet hiavtalos Évkönyveiben jelentek meg. Kruspér kiadványa tehát Buda 100 évi hőmérsékleti sorának előállításakor nélkülözhetetlen adatokat tartalmazott.

7. *Szabó Ignácz: A lég. Népszerű légtünettan (meteorológia). Különös tekintettel hazánk légtüneti viszonyaira.* A művelt rendek szükségeihez alkalmazva, *Magyar Hölgyek Díjával* a MTA által jutalmazott pályamunka. Budapest – Eggenberger-féle Akad. Könyvkereskedés. Hoffmann és Molnár, 1874.

Élvezetes stílusú, népszerű munka, több helyen naiv elképzeléssel, mint például: „az amerikaiak rendszerint hosszú nyakúak és soványak, ha egy ideig Európában tartózkodnak, többnyire hamarosan meghíznak, míg az európai Amerikában elsoványodik. Az amerikaiak érzékeny s ingerlékeny természete közismert" (213. old.). Mindez az alkati és idegrendszerbeli különbség a világrészek eltérő éghajlatának következménye lenne. Az olvasó inkább azon csodálkozik, hogy a természettudományi forradalom idején a „művelt" rendek légkörtani „szükségei" ilyen szerények voltak. De nem volt ez másként később sem, ma sem tárgya az általános műveltségnek az időjárástan.

A „*Magyar Hölgyek Díjá*"-ról annyit kell tudnunk, hogy ezt 1860-tól adta ki az MTA. Ezt megelőzőleg ui. 50 magyar nő alapítványt tett: évenként 144 aranyat helyeztek letétbe, hogy ezzel az MTA olyan négy tudományos művet jutalmazzon, amelyek „a művelt rendek szükségeinek megfelelő közhasznú ismereteket tárgyalnak vonzó előadásban, tiszta és szabatos magyar nyelven".

A pályadíj rangosságát jelzi, hogy ezzel jutalmazta az MTA *Greguss Gyula* tagot az 1864-ben megjelent a „Tudomány csarnoka" c. gyűjtemény 4. kötetéként írt Természeti Földrajz c. művéért. Ennek 3. fejezete a légkör jelenségeit tárgyalja, többek között foglalkozik a vízgőzzel, ennek „cseppesülésével", az esővel, a szelekkel, a felső légrétegek hőmérsékletével (az első „aeroklimatológia Magyarországon"), az ország éghajlatával, az ember és a növényzet kölcsönhatásával stb. Melléklet: A szelek és a hőmérséklet eloszlása a Földön (az évi „egyenhavi vonalak abroszával").

8. *Hegyfoky Kabos: A szél iránya a Magyar Szent Korona országaiban* (A barométerállás és az eső című függelékkel). Budapest, 1894. Kiadja a KMTTT.

Az MTA 1891-ben nyílt pályázatot hirdetett fizikai és meteorológiai dolgozatokra és hazánk természeti viszonyainak ismertetésére. A szerző munkájának tervezetét beküldötte a Mathematikai és Természettudományi Bizottságnak, amelynek előadója s a Kir. Magyar Természettudományi Társulat (KMTTT) akkori első titkára, *Lengyel Béla c.* tanár felkérte a szerzőt, dolgozná ki tervezett munkáját s biztosította, hogy „ha a bírálat tűzpróbáját kiállja, a Társulat gondoskodni fog munkája kiadásáról". A benyújtott munka a „tűzpróbát" kiállta, s így jelent meg a tudós túrkevei plébános műve pályázat-nyertesként a KMTTT rendelkezésére bocsátott állami segély költségén. „A barométerállás és az eső" c. fejezet, mely a Társulat 1893. évi megbízásából készült, mint a munka függeléke van hozzácsatolva. A pályázat és a pályamű szereplőit akkoriban nem kellett bemutatni. Lengyel Béla közismert tudós volt, Hegyfoky pedig a meteorológusok számára mint számos, alapvető éghajlati elem (felhőzet, zivatarok) feldolgozója volt ismert.

A XX. században a társadalom érdeklődése a fejlődő tengerhajózás miatt mindinkább a szél felé fordult, különösen az alacsony földrajzi szélességeken, az Egyenlítőtől néhány fokkal északra és délre, a passzát-övezetben, az Amerikába tartó vagy az onnan visszatérő hajók számára lett fontos az ottani keleties szélnek alapos ismerete. A kor meteorológusai (Dove, Ferrel, Buys-Ballot) tudatában voltak annak, hogy a passzát szélrendszer nem különálló áramlása a légkörnek, hanem szerves része az egész atmoszférát mozgató általános légcirkulációnak. Miután ez utóbbi térbeli, azaz 3 dimenziós jelenség, kutatása megkívánja a magassági szelek ismeretét is. Miután rendszeres mérésük csak a XX. században indult meg, érthető, hogy az általános cirkuláció energetikájára a XIX. században számos olyan elmélet látott napvilágot, melyeket a XX. században, a 3-dimenziós aeroklimatológia korrigált, s kutatásuk mind a mai napig nem zárult le, sőt egyre újabb és újabb eredményeket hoz.

Nyilvánvaló, hogy nem homogén észlelési sorokból, azaz különböző, nem egyidejű észlelésekből, különböző időtartamú sorokból származó szélmegfigyelések irányeloszlása kaotikus szélirányokat mutat (pl. Hegyfoky munkájához csatolt térképek a magyar szent korona országainak szélirány-eloszlásairól az egyes évszakokban és az egész évben). A szélfeldolgozások célja nyilván ebben a káoszban rend teremtése egyes szélrendszerek kijelölésével. Hegyfokyt ebben a rendszerezésben két objektív tényező akadályozta:

a) a földi áramlások elméletében fennálló elvi nézetkülönbségek. Elméleti szempontból két irány alakult ki a XIX. század második felében. Az egyik irányzatot az ún. globális szemlélet jellemezte, amiről már volt szó. Reprezentatív képviselői ennek az iránynak *Dove*, *Ferrel* és tanítványaik voltak. A másik irányzat a nagy földi erőterek (nehézségi erőtér, eltérítő erő és a súrlódási erőtér) eredőjével magyarázta a levegő mozgását. Ez az inkább dinamikusnak nevezhető módszer (habár egyik sem nélkülözi a dinamikus jelleget) a XVII. században *Hooke* révén felismerte a földforgás szélirányt eltérítő hatását, nemkülönben a széllel mozgó levegőnek a talajjal történő súrlódása következményeit, (viszont már *Galilei* is a Föld forgásában kereste a passzátszélnek az északi iránytól az északkeleti irányba történő elfordulásának okát). Magát a szélkeltő okot *Halley* csillagász az egyenlítői öv és a környező hidegebb övek levegőjének hőmérsékletkülönbségében vélte felfedezni, majd 1735-ben *Hadley* megalkotta a róla elnevezett passzátáramlási cella elméletét. Dove tekintélyének köszönhető, hogy életében a planetáris szemlélet uralkodott az áramlás magyarázatában. Ezt követőleg, főként Dove halála után *Buys-Ballot* széltörvénye indokolatlanul háttérbe szorította Dove planetáris szemléletét, és túlságosan helyet adott annak az elgondolásnak, miszerint a légáramlásnak csaknem egyedüli oka: *a mérsékelt szélességeken a légnyomási képződmények (ciklon, anticiklon) erőviszonyai következtében fellépő erőegyensúly.* Ez a vélemény különösen hasznosnak bizonyult az időjárás előrejelzésében (izobár-szinoptika), s csak az űrkutatás kezdetével lépett újból előtérbe a globális szemlélet.

Nyilvánvaló, hogy a szélirányok káoszának rendezési elve megkívánja a két módszer érvényességét: egyrészről a föltételezett szélrendszerek beilleszkedését a globális képbe, másrészről a helyi erőegyensúly érvényesülését az elfogadott szélirányban. *Ebből a szempontból Hegyfoky feldolgozását korainak minősíthetjük.*

b) A másik objektív tényező, amely a szerzőt a szélirányok rendszerezésében akadályozta, *a felhasznált észlelési sorok nem reprezentatív jellege* volt. Hegyfoky az akkor működő magyar észlelőhálózat valamennyi, összesen 216 állomásának meglévő adatsorát igénybe vette feldolgozásában. Követendő érdeme feldolgozásának az a tény, hogy valamennyi állomás orografikus környezetét, a szél esetleges akadályait részletesen leírja. Ezt a napjainkban történelminek tekinthető érdemet kisebbíti azonban az adatsorok kicsiny statisztikai megbízhatósága, reprezentativitása. Hegyfoky hasonlóság alapján a 216 állomást 11 főcsoportba osztja és az egyes csoportokra meghatározza a közepes relatív szélirány-gyakoriságokat. A következőkben elemzi a 4 évszakban és az egész évben. Sajnos, ennek az elemzésnek értékét csökkenti a magassági szeleknek már említett hiánya, de legfőképpen az a tény, hogy az egyes csoportokban nagyon különböző számú állomást találunk (3-tól 30-ig).

A följegyzéseket többnyire önkéntes, ingyenes észlelők végezték. A szerző véleménye szerint: „az állomások tervszerű kiválasztása ki lévén zárva, megesik, hogy némely vidéken jó sűrű, másutt meg igen ritka az észlelő hálózat." Az egyidejű észlelések igen ritkák, annyira, hogy az 1876–1885. évtized alatt mindössze 25 azon helyek száma, ahol megszakítás nélkül folyt az észlelés. Az adatsorok homogenitását csökkenti az is, hogy az észlelések naponta különböző órákban történtek, sőt a napi észlelések száma egy állomáson belül is változott.

Az elmondottak összefoglalásaként Hegyfoky szélfeldolgozásait a következőkben értékeljük. Hegyfoky feldolgozta korának módszereivel és ennek szintjén az akkori Magyarország észlelőhálózata valamennyi állomásának áramlási adatsorát a 4 évszakra és az egész évre (különböző statisztikai súlyú adatsorok). Megállapította, s ezt a későbbi feldolgozások is megerősítették, hogy az egész évben Magyarországon az uralkodó szélirány a NW, (a szélrózsa északi feléből gyakrabban érkezik hozzánk a szél, mint a déliből). Télen az Alföldön (azaz a jelenlegi Magyarország nagyobb részén) a szélirányának ez a jellegzetessége megfordul, részletesebb vizsgálatok szerint: télen a SW irány nagyobb gyakorisága miatt, nyáron ellenben túlnyomóan északi szelek szoktak fújni (pontosabban: a NW irány szaporodik meg). Hegyfoky Kabos nevét

és munkáit a magyar meteorológusok jól ismerik, de magát az embert kevésbé. Azért nem hiábavaló, de néhány sort Hegyfoky személyének szentelünk.

Hegyfoky Kabos (1847–1919) nem volt hivatásos meteorológus, katolikus pap volt lelkipásztori tevékenységét a Magyar Alföldön: Kunszentmártonban, Tardoson, Bánhorváton folytatta, majd 25 éven keresztül Túrkeve plébánosa volt. Meteorológussá akkor vált, amikor 1881-ben a KMTTT titkárságához fordult és meteorológiai szakkönyveket kért. *Heller Ágost* válaszában *Mohn* és *Hann* műveit ajánlotta Hegyfokynak, mindketten nemzetközi szinten elismert tudósok s a javasolt könyvek alapvető művek voltak. Ezek nyomdokain lett Hegyfoky kiváló klimatológus.

A hazai észlelési sorok éppen akkor haladták meg a 10 évet, de a hivatásos magyar meteorológusok nem dolgozhatták fel ezeket: akkoriban az igazgató mellett 1-2 munkaerő dolgozott. Az igazgató inkább földmágnességgel (Schenzl), vagy csillagászattal (Konkoly-Thege) foglalkozott, a munkaerők pedig a hálózattal kapcsolatos adminisztratív teendőket látták el. Pedig Magyarország éghajlatának feldolgozására már nagy szükség volt: helytelen nézetek alakultak ki s ezeket tanították az iskolákban is. Hegyfoky érezte a feldolgozó klimatológus hiányát, és szabad idejét az egyes légköri jelenségek és elemek monográfiáinak szentelte. Így jöttek létre a szél, a felhőzet, a zivatarok, a koratavaszi fagyok monográfiái, amelyeket a KMTTT Természettudományi Közlönye, az MTA és a német vezető szakfolyóirat: a Zeitschrift für Meteorologie, valamint az 1897-ben *Héjjas* Endre által alapított „*Az időjárás*" folyóirat, később a Magyar Meteorológiai Társaság, majd a Meteorológiai Intézet hiavtalos lapja örömmel közölt.

9. *Hegyfoky Kabos: A felhőzet a Magyar Szent Korona Országaiban.* Budapest, 1899. Az Athenaeum RT Könyvnyomdája.

Hegyfoky a MTA Mathematikai és Természettudományi Bizottságának megbízásából dolgozta fel a Meteorológiai Intézet megszaporodott állomásainak felhőészleléseit (*1871-től 1895-ig* összesen *244* állomásról (napi *3-szori* észlelés). Az adatok a szél-monográfiához hasonlóan nem voltak egyneműek, de a szerző egyszerű területi interpolációval megkísérelte a sok adat homogenizálását. Ha ugyanis „az eljárás (észlelés) egyöntetűsége észlelőcsere alkalmával megszakad, nyomban fokozódik az átlagos eltérés mekkorasága". Márpedig észlelő csere a szóban forgó *25 év* alatt gyakran előfordult a magyar hálózatban. Az észlelések a borultság fokát adják %-ban. Mint gyakorlott észlelő tudja, hogy a borultság fokának megállapítása szubjketív tényked és, tehát minden észlelőcsere rontja az adatsor homogenitását.

Hegyfoky ugyanis nemcsak feldolgozója, hanem aktív észlelője is volt a magyar éghajlatkutató hálózatnak. Még *1882-ben* kért és kapott *Schenzl Guidótól* hiteles meteorológiai műszereket s ettől kezdve *37 éven át* kiváló észlelője volt a Meteorológiai Intézetnek.

Összefoglalva a XIX. század meteorológiai vonatkozású eredményeit, azt mondhatjuk, hogy a legfontosabb esemény volt a Meteorológiai Intézetnek az *MTA* által kezdeményezett létesítése *1870*-ben. Ezt követőleg az *MTA* mind az észlelésekben *(Stoczek)*, mind az adatgyűjtésben és feldolgozásban *(Kruspér)* segítségére volt a fiatal intézetnek, amennyiben kiadványaival támogatta feladatainak teljesítését. Ezután (a XIX. század utolsó évtizedében) az Akadémia az autodidakta, egyébként kitűnő klimatológusnak, *Hegyfoky Kabosnak* klimatográfiai műveit adta ki, s ezzel – tekintettel a *Dove*-tanítvány, *Berde Áron* globális szemléletére és a meteorológia tudományának egyre szélesedő spektrumára – a hazai meteorológia fejlődési vonala csökkenni kezdett. Az utóbbi csökkenő tendenciát az 1951-ben létesült *Meteorológiai Tudományos Bizottság* hivatott megszüntetni.

IRODALOM

SCHRÖDER, WILFRIED: **Das Phänomen Polarlichts** *(A sarkifényjelensége)*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1984. 156 oldal, 29 ábra, 8 táblázat.

Tudománytörténeti szempontból hézagpótló értékű szakirodalmi feltárást tartalmaz a Wissenschaftliche Buchgesellschaft kiadványa, amely a sarki fény jelenségével, az ókortól napjainkig tartó megfigyelések, kutatási eredmények, gyakorlatok leírásával foglalkozik négy fejezetben, s így szervesen kapcsolódik a meteorológia és geofizika tudománytörténetével foglalkozó munkákhoz.

Mivel a régebbi korok írásos dokumentumai ma már nehezen hozzáférhetők és nehezen is olvashatók, a sarki fény kutatásának újabb irodalma pedig könnyebben hozzáférhető, így a szerző a hangsúlyt főleg a régebbi irodalom ismertetésére helyezte.

A sarki fény főként az északi és déli szélesség 67°-a körüli jelenség (maximális naptevékenység idején közepes földrajzi szélességeken is előfordul). Közép-Európa magasabb szélességein évente 1–2-szer látható a többnyire változatos, színes sugárnyalábokból álló fényjelenség, melyet hosszú ideig megmagyarázhatatlan, félelmetes jelnek tekintettek.

Az 1. fejezet a jelenség leírásával, valamint a különböző korok megfigyeléseinek módszereivel foglalkozik.

A 2. fejezet részletesen kíséri végig a sarki fény-megfigyelések és kutatások történetét az antik világtól az 1700-as évek elejéig. Az ókortól a középkorig viszonylag kevés adat áll rendelkezésre. Már Arisztotelész leírta a sarki fényt, bár pusztán légköri jelenségnek vélte. A sarki fénnyel foglalkoznak kínai, japán, koreai leírások is. A középkorból már több adat maradt fenn, bár a sarki fény utólagos felismerését, osztályozását megnehezíti, hogy ennek a fényjelenségnek számtalan nevet adtak.

A 3. fejezetben a szerző a sarki fény újkori magyarázataival foglalkozik. Részletesen leírja az eddigi legjelentősebb megfigyelést – 1716. március 17-én egész Európában látható volt a sarki fény, amit a kor sok neves tudósa publikációkban rögzített. A fejezet második részében a könyv részletesen összefoglalja a sarki fény XVIII. századi különböző fizikai meggondolásait és magyarázatait. *Lomonoszov* felismeri, hogy nem füstről vagy felhőről van szó, a fények a légkör felett keletkeznek. Ugyanebben az időben fedezik fel, hogy a fényjelenségek és a mágneses zavarok között bizonyos összefüggések vannak. Ebben a században véget ért a sarki fény misztifikálása, felismerték, hogy a megfigyelési adatokat az egész Földön rendszeresíteni és összesíteni kell.

A harmadik rész a szoláris-terresztikus fizika XIX. századi fejlődésén vezet végig. Részletes és pontos összefoglalást kapunk a kor tudósainak eredményeiről. Főleg a sarki fény és a mágneses jelenség, valamint a sarki fény föltételezett 9–10 évi ciklusának a napfolttevékenység ciklusával való összefüggésének vizsgálata foglalkoztatta a kutatókat. 1873-ban került sor egy máig is egyedülálló sarki fény-katalógus kiadására. További nagy előrelépést jelentettek *Angström* sarki fény-spektrumvizsgálatai, melyekkel bebizonyította, hogy a tükrözés-elmélet hibás, valamint kiderítette, hogy milyen részecskék alkotják a sarki fényt. A negyedik részben azokról az expedíciókról, kutatóutakról számol be a szerző, amelyek révén új geológiai ismeretekre tettek szert. Felismerték, hogy a kutatások csak nemzetközi összefogás révén hozhatnak sikereket: 1879-ben nemzetközi sarki bizottság jött létre. Ebben az időben a fotográfia alkalmazásával új fejezet nyílott a megfigyelési módszerek történetében, s ezzel rohamos fejlődés következett be.

A XX. században a földmágnesességi és szoláris folyamatok közötti, már addig is ismert összefüggést a különböző műholdas megfigyelések, valamint a rádióhullámok elemzésével már adekvát mértékegységgel is ki lehet fejezni. Az egyre részletesebb megfigyelési adatok birtokában mód nyílt a sarki fény-aktivitások ingadozásainak statisztikai vizsgálataira. Az utóbbi években egyre több tudós foglalkozik a sarki fény különböző formáival, struktúrájával is.

Az utolsó fejezet a sarki fény-kutatás tudományelméleti kérdéseit foglalja össze, bemutatva az elmúlt években megjelent tudományelméleti modelleket.

A könyv értékét gazdag bibliográfiai felsorolás növeli, használatát pedig igen jól szerkesztett tárgymutató is megkönnyíti.

Fiers Daniella

MARCSUK, G. I., DYMNIKOV, V. P., ZALESZNYJ, V. B., LYKOSZOV, N. V., GALIN, V. J.: **Matematicseszkoe modelirovanyije obscsej cirkuljacii atmoszfery i okeana** *(A légkör és az óceán általános cirkulációjának matematikai modellezése)*. Gidrometeoizdat, Leningrád, 1984. 320 old.

A légkör és az óceánok általános cirkulációjának numerikus modellezése közel három évtizedes múltja során jelentős ismeretekkel gazdagította a meteorológia és az óceonológia tudományát. Az elmúlt időszakban megjelent közlemények azonban az általános cirkulációs modellekkel kapott eredmények értékelésére szorítkoztak, míg a modellek tervezésével, kidolgozásával és számítógépes realizálásával kapcsolatos ismereteket és tapasztalatokat továbbra is csak — az általában belső használatra szánt — dokumentációk rejtik. A neves szovjet szerzőgárda — szakítva ezzel a hagyománnyal — az általa kidolgozott általános cirkulációs modellek ismertetését összekapcsolja az általános cirkuláció numerikus modellezése elvi kérdéseinek tárgyalásával.

Az ismertetendő kötet három részből tevődik össze. Az egyes részek fejezetekből állnak, amelyek számozása — kicsit zavaró módon — az egyes részekben elölről kezdődik. A könyvet gazdag irodalomjegyzék (összesen 226 hivatkozás) egészíti ki. Sajnálatos, hogy egy ilyen széles témakört felölelő monográfiánál nem könnyíti tárgymutató az olvasó munkáját.

Az *első rész*, amely a *légkör* általános cirkulációjának modellezésével foglalkozik, öt fejezetből áll. Ezek közül az elsőnek a hidrotermodinamikai egyenletrendszer és a horizontális (szférikus rendszer), valamint a vertikális (szigma rendszer) koordináták megválasztása a témája. A szerzők különös hangsúlyt fektetnek — adiabatikus közelítésben — a lokális (differenciális) modell-egyenletek és az integrális megmaradási törvények kapcsolatára. Ahhoz, hogy megfelelően nagy időlépcsőjű és abszolút stabil, konzervatív véges-differencia sémát alkalmazhassanak modelljükben, a modell egyenletrendszerét szimmetrizálják (ebben az esetben az energia kvadratikus invariánsa a rendszernek és a numerikus séma stabilitásának vizsgálata négyzetes normában történhet). A második fejezetben a rácshálózattal fel nem bontható fizikai folyamatok *parametrizációját* tárgyalják. Általános elvi összefoglalást adnak a horizontális és vertikális turbulens kicserélődés, a szárazföldi hidrológia ciklusa, a száraz és nedves konvekció, a makroskálájú kondenzáció és a sugárzási hőáramok általános cirkulációs modellekben történő parametrizálásáról. A harmadik fejezetben a modell-egyenletek közelítő megoldásának problémáit tárgyalják. Terjedelmi okokból csak véges-differencia sémákra szorítkoznak, ahol a hangsúlyt az approximáció és a stabilitás kérdései mellett a modell-egyenletek véges-differencia megfelelőinek megmaradási tulajdonságaira helyezik. Az általános megmaradási törvények teljesítésén kívül azonban vizsgálják a numerikus séma *konkrét* fizikai folyamatokat (például az inerciális-gravitációs hullámok terjedése, baroklin instabilis hullámok fejlődése, spektrális energiakaszkád stb.) reprodukáló képességeit. A szimmetrizált kiindulási egyenletrendszerre végül is a *G. I. Marcsuk* által javasolt *particionálási módszert* (metod raszcseplenyija, splitting method) alkalmazzák, amely lehetővé teszi a bonyolult háromdimenziós feladat egyszerűbbekre történő visszavezetését a kvadratikus megmaradási törvények egyidejű teljesítésével. A nagy térbeli gradiensű mezők (például a nedvesség) esetén alkalmazott ún. *monoton* véges-differencia eljárások összefoglalása zárja a fejezetet. A negyedik fejezet a légkör januári általános cirkulációjára a szerzők modelljével kapott eredményeket és azoknak a tényleges adatokkal történt összehasonlítását tartalmazza. A modell négy változatával (durva felbontású változat domborzattal és anélkül, finom horizontális felbontású változat és hatszintű változat) végzett számítások eredményeit részletes spektrális analízisnek vetették alá. Ennek a fejezetnek szerves folytatása az ötödik fejezetben bemutatott érzékenységvizsgálatok eredményeinek interpretálása. A szerzők különös gonddal vizsgálják a sugárzás-átvitel-felhőzet kapcsolatrendszert. Vizsgálataik szerint télen a közepes szélességeken a felhőzet pontos leírása nem döntő tényező, mivel a makroskálájú felhőzet eloszlása ebben az esetben nem generátora, hanem indikátora a dinamikának, ugyanis a cirkulációt generáló források és nyelők a magas és az alacsony szélességeken helyezkednek el.

A *második rész* (három fejezetből tevődik össze) az *óceáni* globális cirkuláció numerikus modelljeit és a modellkísérletek eredményeit tartalmazza. Az első fejezet itt is a megfelelő hidrotermodinamikai egyenletrendszer származtatásával foglalkozik az óceáni cirkuláció specifikumának megfelelő módon (redukált vertikális koordináták, *Boussinesq*-közelítés, hidrosztatikai egyensúlyfeltételezése, a külső módus elkülönítése stb.), míg a másodiknak a modell-egyenletek numerikus megoldása a tárgya. Az óceáni általános cirkuláció modellezésének alapvető nehézsége abban áll, hogy a számítástechnikai lehetőségek által behatárolt tér- és időbeli felbontás nem teszi lehetővé olyan fontos hullámok megfelelő pontosságú leírását, mint például az energiahordozó baroklin *Rossby*-hullámok, a part menti *Kelvin*-hullámok stb. A szerzők véleménye szerint a jövőben itt nagy jelentőséget kap az óceánok szabálytalan (különböző „aktivitású") résztartományokra osztása, ott a folyamatok szükséges rendbeli approximációja és a véges elemek módszerének alkalmazása az energia konzisztencia biztosításának érdekében. A harmadik fejezet itt is az óceáni cirkuláció modellezésének eredményeit mutatja be. A számítások alapvető célja az óceáni cirkuláció dinamikai és hőszállítási folyamatai klimatológiai karakterisztikáinak modellezése volt azon feltétel mellett, hogy az óceánok felszínén az északi félteke téli légköri viszonyai hatnak.

A *harmadik rész* (szintén három fejezetből áll) a légkör és az óceánok *együttes* cirkulációjának (és modellezésének) kérdéseivel foglalkozik. Az első fejezet összefoglaló jellegű és az együttes cirkuláció modellezése megközelítési módszereinek elméletével foglalkozik. Különleges hangsúllyal vizsgálják a szerzők az óceánok szerepét a légkör rövid periódusú (egy év nagyságrendű) klímaváltozásaiban. A második fejezet a légkör – óceánrendszer cirkulációjának modellezésében kapott eredményeket foglalja össze és analizálja. A harmadik fejezet a modell-fejlesztés számítástechnikai (elsősorban szoftver) vonatkozásait tárgyalja. A szerzők modelljeik kidolgozását és futtatását a SZUTA Novoszibirszki Számítóközpontjában, illetve az Európai Középtávú Előrejelző Központban (ECM – WF) végezték BESZM – 6, illetve CRAY – 1 típusú számítógépeken. A hagyományos, illetve a konvéjerizált szervezés melletti optimalizálás a számítási idő nagyságrendekkel történő csökkenéséhez vezetett. Az ebben a fejezetben bemutatott további programozási „fogások" is hasznosak a numerikus modellezéssel foglalkozó szakembereknek.

Összefoglalásul elmondható, hogy a *G. I. Marcsuk* vezette szerzői kollektíva művében a légkör és az óceánok általános cirkulációjának numerikus modellezésével kapcsolatos kérdések széles körét mélyen és korrekten tárgyalja. Ezért ezt a könyvet haszonnal forgathatják az éghajlatváltozás modellezésével, az időjárás számszerű előrejelzésével és a numerikus modellek számítástechnikai realizálásával foglalkozó szakemberek. A könyv jelentős része felkészült egyetemi hallgatóknak is elérhető, tehát az oktatást is jól szolgálja.

Dévényi Dezső

*

Az alábbi három egyetemi doktori értekezésről A. Renoux, szerkesztő bizottságunk tagja küldött francia nyelvű ismertetést. A kötetek az Université Paris XII, Créteil 1985. évi kiadványai (Szerk.).

VANHEE, JEAN-MICHEL: **Contribution à l'étudedes paramètres physiques gouvernant la production d'aérosol monodispersés par centrifugation de liqui des. Application au générateur à toupie tournante de MAY** *(Folyadékok centrifugálásával előállított monodiszperz aeroszolok keletkezését befolyásoló fizikai tényezők vizsgálata. Az elmélet alkalmazása a May-féle forgókorongos generátorra).*

A dolgozat első része a folyadékok diszpergálásának elméleti leírását tartalmazza, beleértve a cseppek képződését, valamint az oldatcseppek nagyságának meghatározását. Ezután Szerző leírja a May-féle forgókorongos generátor kalibrálását két különböző tulajdonságú oldat alkalmazásával. A vizsgálat kiterjed a korong forgási sebessége, a folyadék és a levegő mennyisége és az oldat-koncentráció hatásának tanulmányozására.

A második részben megismerkedhetünk a keletkezett aeroszolrészecskék jellemzőivel, illetve azzal a fél-empirikus formulával, amelyet Szerző a monodiszperz-részecskék nagysága és a kísérleti paraméterek közötti összefüggés leírására levezetett. Az értekezést a berendezés gyakorlati alkalmazhatóságának taglalása zárja.

*

MOUDEN, ANDRÉ; **Contribution à l'étude des propriétés physiques des aérosols naturels et radioactifs en atmosphères controlées** *(Légköri természetes és radioaktív aeroszolok fizikai tulajdonságainak tanulmányozása).*

A munka a nem radioaktív és a radonból származó radioaktív aeroszolrészecskék fizikai tulajdonságaival foglalkozik.

Az első fejezetet Szerző a Rn – 222 radioaktivitása tanulmányozásának szenteli. A vizsgálatok szerint a levegőben jelen levő aeroszolrészecskék jellemzői mind a radioaktív egyensúlyt, mind az aktivitás nagyság szerinti eloszlását alapvetően meghatározzák. A második rész a munkában használt dozimétert mutatja be, amelyet a „Commission de l'Énergie Atomique" munkatársai fejlesztettek ki. Ennek keretében Szerző ismerteti a számlálás hatékonyságát, illetve az aeroszol azon nagyságtartományát, ahol a műszer detektál.

Az utolsó fejezet célja az aeroszolrészecskék szűrőkkel való felfogásának ismertetése. Így az olvasó megismerkedhet a felfogási hatékonyság és a szűrőt alkotó szálak nagysága közötti elméleti összefüggéssel, amelyet a mérések elfogadható módon alátámasztanak. Ezzel szemben membránszűrők esetén az elmélet és a gyakorlati mérések egyezése kevésbé kielégítő.

*

DIBI, NIAGME MARTIN: **Modélisation du transfert de la pollution atmosphérique sur le site de Fos-sur-Mer. Comparaison avec certains résultats de la Campagne Européenne de mesures dans le cas du SO_2** *(A légköri szennyeződés Fos-sur-Mer-ben való terjedésének modellezése. Az SO_2-vel kapcsolatos eredmények összehasonlítása más európai programokkal).*

Az ipari szennyezőanyagok légköri terjedését Fos-sur-Mer körzetében speciális Gauss-féle modell segítségével tanulmányozták. A modellben a szórásokat az átviteli idő függvényében parametrizálták két légköri stabilitási osztály esetén. A vizsgálatot az Európai Gazdasági Közösség által szervezett program keretében hajtották végre. A modellben analitikus formában figyelembe vehetők a füstgomoly tulajdonságait befolyásoló paraméterek, a száraz és nedves kihullás, az SO_2 fizikai-kémiai átalakulása, a háromdimenziós meteorológiai paraméterek (pl. a szél sebessége a talaj közelében és a magasban), valamint a kémény különböző jellemzői. Az eljárás mind rövid ideig tartó, mind folytonos kibocsátás esetén alkalmazható. A dolgozatban számos gyakorlati alkalmazási példát is találhatunk.

A. Renoux (Ford.: *Mészáros Ernő*)

*

GHIL, M.; BENZI, R.; PARISI, G. (szerk.): **Turbulence and predictability in Geophysical Fluid Dynamics and Climate Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi" Course LXXXVIII** *(A turbulencia és előrejelezhetőség; az „Enrico Fermi" fizikai iskola LXXXVIII. tanfolyamán elhangzott geofizikai folyadékdinamika és klímaelőadások).* North-Holland, 1985.

Az Olasz Fizikai Társaság gondozásában megjelent kötet az 1983 júniusában a Como tó partján megtartott előadássorozat anyagát tartalmazza. A hidrodinamika utóbbi időben nagy fejlődésnek indult két területének – a turbulencia elméletnek és a geofizikai hidrodinamikának – alaposabb áttekintése volt a fő cél, ami kiegészült az előrejelzések elméletével és a klímadinamikájával. Ennek megfelelően a 22 előadó között hidrodinamikusok, matematikusok, meteorológusok és fizikusok szerepeltek. A 21 előadás természetesen csak egy részét világítja meg az érintett témáknak, de jó alapokat teremt a további vizsgálatokhoz.

Az első fejezet a turbulencia kezdeti szakaszát tárgyalja. A dinamikus rendszerek matematikai elméletébe vezet be *D. Ruelle* dolgozata, amelyben a szükséges definíciók leírása található példákkal és magyarázatokkal a differenciálható dinamikus rendszertől kezdve a Kolmogorov – Sinai variánsig. Ezt szemléletessé teszi *A. Libchaber* cikke a gyenge turbulenciáról. A Rayleigh – Benard-cellával végzett kísérletek eredményeit számos ábra mutatja be kis Prandtl-számú folyadék esetére (Na, He). Ez a két dolgozat a kis szabadsági fokú, nem lineáris, determinisztikus kölcsönhatások által létrehozott „determinisztikus káosszal" foglalkozik, míg a következő, amelynek szerzője *G. Jona-Lasinio* a nagy szabadsági fokú hatásokat modellezi, mint egyszerű sztochasztikus folyamatokat. A szerző a dinamikus rendszerekben végbemenő kis véletlenszerű perturbációk matematikai oldalát vizsgálja, lehetőleg kerülve a bonyolultabb formulákat. Az összetettebb, részletesebb tárgyaláshoz az irodalomjegyzékben található útmutató.

A második fejezetet a már teljesen fejlett turbulenciának szentelték. *H. Tennekes* a két- és háromdimenziós légköri turbulenciát hasonlítja össze, kiemelve a köztük lévő különbségeket. Külön vizsgálja a súrlódás jelentőségét a két- és háromdimenziós turbulencia spektrális karakterisztikáit. Különösen érdekes az Entrópia és információ c. rész, amelyben a turbulens folyadék, mint információforrás szerepel és *Prigogine* bizonytalansági relációról szóló hipotézisének magyarázata található meg. *U. Frisch* a turbulencia klasszikus, statisztikai elméletét egy újabb dinamikus rendszerelméleti közelítéssel egészíti ki. Az első előadó térbeli rendszertelen, időben főként stacionárius szerkezetet ír le, míg az utóbbi fordítva, az időbeli változásokat viszonylag egyszerű térbeli szerkezeten vizsgálja. A nagy Reynolds-számú, homogén izotróp turbulencia esetén részletesen tárgyalja a hullámszám-energia spektrum függvénytulajdonságait, a széles skáláját, a 3 – D esetben a spektrális ugrást (ami a légkörben a nagy skálájú baroklin instabilitás és a kis skálájú konvektív instabilitás között van), a nagy skálájú 2 – D és a kis skálájú 3 – D turbulencia közti ugrást. Végül az utolsó, *G. Parisi*val együtt írt részben a megoldás szingularitásai által okozott lépcsőzetességet vitatja meg. *C. W. van Atta* a teljesen fejlett turbulencia laboratóriumi vizsgálatának elméleti alapjait mutatja be. A fejezet a spektrális módszerek turbulenciaelméletben való alkalmazásával zárul, szerzője *S. A. Orszag* módszerét összehasonlítja a véges differenciálás közelítéssel. Az LU-1 általános alakú lineáris differenciálegyenlet kapcsán bebizonyítja, hogy (Gauss-eliminációt használva) a spektrális módszerek az általános geometria főbb problémáinál hatékonyan használhatók, az azonos szabadsági fokú problémák legegyszerűbb véges-differenciás közelítéseinél nem sokkal több művelettel és memóriafelhasználással. Mivel az azonos pontossághoz a spektrális módszer sokkal kevesebb szabadsági fokot igényel, ezért hatékonyabb. A módszert két párhuzamos fal közti síkbeli Poiseuille-áramlásra alkalmazva, nagy Reynolds-számok esetén.

A harmadik fejezet témája a geofizikai áramlások turbulenciája. *R. Sadourny* a *Charney* által bevezetett nagy skálájú geofizikai áramlások nem lineáris viselkedését kifejező kvázigeosztrofikus turbulenciát választotta témául. Bevezetőt ad a kvázigeosztrofikus turbulencia statisztikus elméletébe és numerikus modellezésébe, kis Rossby-számok esetére. Ez a helyzet a közel kétdimenziós örvényesség következtében a nagy térségű, az egyenlítőtől távolodó légköri és

óceáni áramlásoknál a függőleges változásokat erősen leegyszerűsítve, illetve pontosabban figyelembe véve. A kinetikus energia hullámok közötti eloszlását, illetve ennek megváltozását részletesen a statisztikus egyensúly állapotában tekinti át. *R. Hilde* a klasszikus forgófalú edényben végzett kísérletet írja le, alkalmazza a különböző bolygókra (Jupiter, Szaturnusz). *D. J. Trítton* a földköpenyben lezajló turbulens, konvekciós és rotációs folyamatok kölcsönhatását, *S. Childress* a dinamó-elvet ismerteti. A fejezetet *J. L. Mitchell* és *T. Maxworthy* írása zárja a nagy skálájú turbulenciáról a Jupiter atmoszférájában.

A negyedik fejezetben a geofizikai áramlások turbulenciával kapcsolatos előrejelzésével foglalkozó írások kaptak helyet. Az első előadás *E. N. Lorenzé*, amely az „Előrejelzési hiba növekedése" címet viseli. Bevezetőben egy egyszerű iterációs példán ($x_{n+1}=x_n^2-c$) mutatja be a kezdeti hiba viselkedését az egyenlet paramétere függvényében. Ezután áttér az általánosabb rendszerek vizsgálatára, az általános légköri modellekre, végül napi két térképet használva a 850, 500 és 200 mb-on magára a légkörre. A rendszer stabilitása, az állapotok gyakorisága és az előrejelezhetőségük közti kapcsolatra helyezi a hangsúlyt *E. E. Leith* 2−D stabil koherens modellt mutat be a légköri és tengeri perzisztens lokális áramlás leírására. *D. K. Lilly* a kis és mezoskálájú folyamatok előrejelzésével a statisztika turbulencia-elmélet segítségével foglalkozik. A mikroskálájú áramlásokban található lépcsőzetes jelleg meghatározása a legnehezebb. Megemlíti az előrejelzés és a megfigyelés különböző lehetőségeit. *G. D. Robinson* megfigyelési eredményekre alapozva írta meg „A légköri mozgások skála- és variancia-analízise" c. dolgozatát. A nyers adatokból különböző módszerekkel kapott varianciaspektrum-adatokat mutatja be. A cikk előnye, hogy sok grafikonja, táblázata a mért adatokon alapul, azaz jelentős információforrás.

Végül az utolsó fejezetben a hosszú távú előrejelzések és a klíma dinamikája kapott helyet. *E. Kalnay* és *R. Livezey* az egy héten túli előrejelzéseket választotta témául. Több modellt is bemutatnak, általános cirkulációs modelleket és ezek egyszerűsítéseit. A lassan változó jelenségek előrejelzését és a hosszú távú előrejelzések helyzetét és beválását külön is tárgyalják az amerikai meteorológiai szolgálat hónapos és évszakos modellje alapján, megkísérlik az egyes modellek jövőjét megmondani a jelenlegi helyzet alapján. *M. Ghil* foglalja össze az elméleti klímadinamikát, 100-tól millió éves skálán. Érinti a légköri sugárzási mérleget az energia-egyensúlyi modellek és a negyedkori eljegesedést a kényszeroszcillátor-modellek segítségével. Ezeknél vizsgálja a stacionárius megoldásokat és a belső stabilitást. Egyszerű modellen mutatja be az eljegesedést, figyelembe véve a Föld orbitális paramétereinek változását is. Az oszcillációknál külön megemlíti a radar oszcillációkat és a nem lineáris rezonanciát. *R. Benzi* és *A. Sutera* a periodikus kényszer és sztochasztikus perturbáció együttes hatását tanulmányozza egy multistabil állapotú energia-egyensúlyi modellen. A kapott eredményt általánosabb rendszerben hasznosítják. *T. L. Bell* „A klímaérzékenység és a fluktuációs disszipációs viszonyok" című írása zárja a könyvet. Becslést ad természetes és antropogén klímaváltozásokra. A fluktuációs-disszipációs arány a külső változás hatására a rendszerben létrejövő fluktuációk lecsillapodásának mértékén alapul. Érinti a mintagyűjtés kérdését is.

Végezetül megállapítható, hogy a tanfolyam szervezői nagyon nagy tudományterület átfogására vállalkoztak, így valóban csak bepillantást kaphattunk az egyes fejezetekbe. A könyv érdekessége, hogy rugalmasan alkalmazkodva a résztvevők igényeihez, a szerzők némelyike az előadás utáni vita alapján kibővítette dolgozatát, így a tartalom közelebb került az olvasóhoz. Némely szerző elég szűkszavúan bánt az irodalomjegyzékkel, habár az ilyen globális áttekintések során is több figyelmet lehet fordítani az esetleges egyéni érdeklődés kielégítésére. Egészében véve a dolgozatok érdekes, hasznos olvasmányt nyújtanak.

Szalai Sándor

KRÓNIKA

ÖSZTÖNDÍJJAL AMERIKÁBAN: KUTATÁSI KISÉRLETEK ÉS TAPASZTALATOK

Lehetőséget kaptam, hogy hat hónapot, államközi ösztöndíjasként az Amerikai Egyesült Államokban töltsek. Az utazást magyar részről az Országos Ösztöndíj Tanács, amerikai részről a New York-i székhelyű International Research and Exchange Board (IREX) intézmény menedzselte és szervezte. 1985. augusztus harmadikától egy hónapon át – a többi Magyarországról érkezett ösztöndíjassal együtt – részt vettem a Providenci Brown Egyetem (Rhode Island állam) tanfolyamán, melynek célja kettős volt: a nyelvtudás elmélyítése és a tengeren túlról érkezettek bevezetése az amerikai életbe. A tanfolyam szervezői egy átfogó oktatási programot dolgoztak ki számunkra, melyben Amerika történelmére, irodalmára vonatkozó ismeretek mellett, az amerikai bankhálózatban való eligazodás, a tízemeletes könyvtárak computerizált katalógusrendszereinek használata és az angol nyelvű szakfolyóiratok cikkszerkesztési technikái is helyet kaptak. Az egyetem nyelvlaboratóriumában nyelvhelyesség- és beszédkészség-fejlesztő kurzusokat, az egyetemi számítóközpontban a szövegszerkesztő gépek kezelését és programozását és sok egyéb kiegészítő képzési formát igénybe lehetett venni.

Kutatóhelyem: NOAA/NMC/CAC

Szeptember elejétől – kisebb megszakításokkal – öt hónapon át a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) alá tartozó National Meteorological Centerben (NMC) voltam. Az Amerikai Egyesült Államokban, az NMC Camp Springs-i Adatközpontjában kumulálódik a legtöbb észlelési adat a világ minden részéről. Innen továbbítják 12 óránként az Egyesült Államok 52 regionális központjába az analizált térképeket, a szinoptikus körzetekre vonatkozó előrejelzéseket, a globális méretű felszíni észlelési, szondás és műholdadatokat. Az NMC hét alközpontja és osztálya közül a Climate Analysis Center volt a kijelölt kutatóhelyem ez időszak alatt.

A Climate Analysis Center (CAC) feladata sokrétű: ők látják el a szervező, kutató és operatív munkálatait a hosszútávú (havi és évszakos) előrejelzésnek; ők figyelik és azonosítják a globális klímarendszer szignifikáns anomáliáit, gyűjtik, rendszerezik és rögzítik a klímaadatokat, klímaanalíziseket; kutatják és értelmezik a Föld – óceán – légkör klímarendszer jelenségeit, módszereket dolgoznak ki a klíma előrejelzésére. Nagy szerepet játszik ez a kutató közösség az amerikai National Climate Program és a WMO-World Climate Program végrehajtásában. A CAC vezetője *D. Rodenhuis* professzor, aki a marylandi egyetemen is komoly kutató- és oktatómunkát végez. A CAC szervezetileg három csoportból áll: 1. Prediction Branch (vezetője: *D. Gilman*), 2. Diagnostics Branch (vezetője: *E. Rasmusson*), 3. Analysis and Information Branch (vezetője: *F. Finger*) (az utóbbi keretein belül működik a kifejezetten a mezőgazdaság számára hasznosítható információkat szolgáltató Agricultural Weather Section). A CAC kiadványai:

1. „Élelmiszer-, energia-, vízforrások gazdasági hasznosítási lehetőségei" témakörben számos, az aktuális eseményekhez kapcsolódó jelentésen kívül a hetente megjelenő Agroklimatológiai Bulletin.

2. Az aktuális klímamegfigyelés témakörben: speciális klímadiagnosztikai bulletinek, a sztratoszféra és az ózonkészlet aktuális állapotáról beszámoló jelentések, heti klímabulletin, és a speciális eseményekről beszámoló jelentések.

3. A klímaelemzés és -értékelés témakörében: kutatási beszámolók, cikkek, az évente megrendezésre kerülő klímadiagnosztikai konferencia többszáz oldalas kötete.

4. Havi, évszakos és klíma-prognosztika témakörben: havi előrejelzés, évszakos előrejelzés, kutatási cikkek, a világon folyó kutatások áttekintése, szintézise a CAC kutatómunkájával.

Ösztöndíjasként öt hónapot a Prediction Branch kutatórészlegénél töltöttem.

A CAC Előrejelző Csoportjában folyó operatív, ill. kutatómunkák

Az NMC Előrejelző Csoportjának fő feladatköre természetesen a havi és évszakos előrejelzések operatív szintű kiadása. (Az Amerikai Egyesült Államokban összesen két helyen készítenek havi, ill. évszakos előrejelzést – a

másikat a californiai San Diegóban, a Scripps Oceanográfiai Intézetben —, mindkét intézetben az egész USA területére vonatkozó előrejelzést adnak ki.) Az operatív munkával közel azonos súllyal szerepel a csoport munkájában a kutatómunka. Vizsgálják a módszerükkel adott előrejelzések valódi érvényességi idejét, gazdasági hasznosítási lehetőségeit, valamint, hogy milyen meteorológiai paraméterek idősorait és milyen térségre kell figyelembe venni ahhoz, hogy optimális előrejelzéseket kapjunk.

Havi és évszakos előrejelzésükben három kategóriában (átlagos, átlag alatti és átlag feletti), valamint anomáliaértékekben adják meg a hőmérséklet és a csapadék várható alakulását. Kétlépcsős előrejelzési módszerük: lineáris regressziót, egy dinamikus eljárást és a perzisztencia elvét alkalmazza. A 700 mbar-os abszolút topográfia-mezőből — lineáris regressziós együtthatók segítségével — az Amerikai Egyesült Államok 57 állomására számítják a hőmérsékleti előrejelzés egyik komponensét. A másik összetevő az előrejelzendő időszak első 5 napjára adott dinamikus prognózis előjelének — a megmaradási hajlam figyelembevételével történő — interpolációjából adódik. A csapadék-előrejelzéseket analógiakereső módszerrel készítik, az archív időszak térképei közül az aktuális időszakhoz a leghasonlóbbat egyelőre még szemmel keresik ki. A magyarországi gyakorlattól eltérően az átlagos kategóriát ők 40 százalékos az átlag alatti és feletti kategóriákat pedig 30 – 30 százalékos valószínűségi intervallumként definiálják. (Magyarországon három kategória esetén 33 – 33%, öt kategória esetén 20 – 20 százalékos valószínűségi intervallumokkal szokás számolni.)

Jelenleg még kutatási szinten van az új évszakos analógiás előrejelzési módszerük. Ebben három meteorológiai paraméterből (a 700 mbar-os abszolút topográfiamező, a 700/1000 mbar-os relatív topográfiamező, valamint néhány összevont SST-szektor) összeállított klímaállapot vektor a kiinduló adatállomány. Ezekhez többszörös ortogonális sorfejtés után, a célnak megfelelően transzformált és sorfejtett archívumból keresik majd ki az analóg időszakokat. (Az ezzel kapcsolatos kutatásokat *T. Barnston* és *R. Livezey* végzi.)

(R. Livezey azóta az OMSZ és az MTESZ vendégeként 5 napig Magyarországon tartózkodott, ellátogatott az OMSZ budapesti intézeteibe, kutatókkal konzultált és az MMT-ben „Tropical-extratropical teleconnection during the northern hemisphere winter" címmel 1986. június 30-án előadást tartott.)

A közeljövőben új távkapcsolatokat feltáró kutatások indulnak, melyek szervesen kapcsolódnak majd a 70-es évek végén, 80-as évek elején *Namias* professzor által megkezdett és több helyen publikált munkákhoz (*N. Maisel* matematikus és *J. Wagner* meteorológus).

A tengerfelszín hőmérsékleti (SST) adatbázis összehasonlító és elemző analízisével foglalkozik *R. Reynolds*. Munkájában az idők során a hadiflotta és a kereskedelmi tengerjáró hajók által gyűjtött, kicsit rendezetlen adatokat próbálja összesíteni egységes adatbázissá és ezek statisztikáit összevetni a műholdfelvételek alapján becsült SST-karakterisztikákkal.

Clusterezési kísérletek és azok hazai hasznosítási lehetőségei

A Magyar Tudományos Akadémia Tudományos Minősítő Bizottságánál 3 éves, továbbképzési ösztöndíjat kaptam a „Meteorológiai mezők szignifikáns hatáscentrumainak kiválasztása clusterező algoritmusokkal, valamint elemzése az éghajlati előrejelezhetőség szempontjából" témában egy kandidátusi dolgozat elkészítésére. Ösztöndíjam első két évében (a tanulmányút előtt) *Ambrózy* Pállal és *Gulyás* Ottóval együtt az Atlanti-európai térségre évszakos felbontású makroszinoptikus típusrendszert dolgoztunk ki, és ennek elemző, értékelő munkáit is elvégeztük. Az öt hónapos amerikai ösztöndíj ideje alatt — ennek a vizsgálatnak a folytatásaképpen — sok adatelőkészítő munka és számos kísérleti jellegű osztályozás után, melyek az optimális adatbázis, időlépcső, clusterező eljárás és egyéb optimalizációs törekvéseket szolgáltak, hemiszférikus tipizálást készítettem.

A CAC-nál töltött időszak elején lehetőségem nyílt egy számítógépes szakembereknek szervezett tanfolyamon részt venni és ott elsajátítani a QED, valamint az USA-ban is újnak számító és csak 1985-ben bevezetett SPF operációs rendszert (pontosabban: azok IBM óriásgépre alkalmazott változatait). Ezek lehetővé teszik a számítógép terminálról történő kezelését, ill. gyorsított programkönyvtárhozzáférést, programfuttatást, perifériahasználatot és a térképrajzológép vezérlését közvetlenül a számítógépről.

a) Közelítések hierarchikus clusterezési algoritmusokkal. A magyarországi számítástechnikai lehetőségek nem tették lehetővé (még a Központi Statisztikai Hivatal IBM számítógépe sem) a nagy térségű, hemiszférikus méretű magassági mezők hierarchikus típusú clusterezését, melyet az irodalom gyakran jobbnak értékel az egyéb osztályozó algoritmusoknál. A kinti számítástechnikai lehetőségekkel élve (sokszorosára megnőtt számítógép-kapacitás, párhuzamos és gyors futtatási lehetőségek) így először a hierarchikus clusterezési eljárást próbáltam tesztelni már ismert és új adatbázisokon.

Kísérletképpen osztályoztam az északi hemiszféra 500 és 700 mbar-os abszolút topográfia mezőit: az 500 mbar-os szinten napi,

pentád és havi anomáliamezőket, a 700 mbar-os szinten dekád és havi mezőket. A vizsgálatok eredményeiből az tűnt ki, hogy a hierarchikus módszer instabillá válik ilyen nagy dimenziószám esetén (545 rácsponti érték reprezentál egy magassági mezőt). Az instabilitást részben indokolhatja a teljes északi hemiszférára való térbeni kiterjesztés is, amely lényegesen bonyolultabb, összetettebb fizikai rendszer, mint az általunk eddig vizsgált Atlanti–európai térség.

Az 500 és 700 mbar-os hemiszférikus adatállományokra végzett alapstatisztikákból kiderült, hogy az 500 mbar-os szinten megközelítően csak feleannyi az értékes adat, mint a 700 mbar-os szinten.

A hemiszférikus AT_{500}as adatbázisban talált nagyszámú hiány új volt számunkra (hiszen az Atlanti-európai szektor szinte hiánymentes volt), hogy ezt a problémát kiküszöböljük, ezért további clusterező vizsgálatainkban már csak az AT_{700}as állományt használtuk.

b) Közelítések dinamikus clusterezési algoritmusokkal. Az AT_{700}as hemiszférikus mezők vizsgálatakor felvetődött egy másik probléma: a földrajzi szélességekhez és hosszúságokhoz igazodó rácsponthálózat miatt, két különböző szélességen elhelyezkedő rácspont egymástól nagyon eltérő területeket reprezentál. Ez annyit jelent, hogy minden AT_{700}as mezőben egy fizikailag indokolatlan súlyozás van jelen, amely következtében a magas szélességeken, a pólus környezetében az egységnyire átszámított területek közel 10-szeres súlytényezővel szerepelnek. E probléma megoldására (valamint az alacsony szélességek és a Himalája vidékének adathiány-csökkentése érdekében) áttértünk az 541 helyett 358-as rácsponthálózatra, ahol már egy-egy rácsponti érték közel azonos területet reprezentál.

Vizsgálatunkhoz a clusteranalízis dinamikus módszerei közül klasszikusnak számító McQeen-féle „k-közép" eljárást használtuk. E módszernél előre meg kell adni a clusterközéppontok számát: mi 10 clusterközéppontot határoztunk meg. Korábbi kísérleteink tanulságai alapján legalább évszakos bontást mindenképpen célszerű készíteni, de az irodalmi hivatkozásokban gyakran találunk havi vizsgálatokat is. Végül az irodalomban a mások által már alkalmazott ún. „6 évszakos" felbontást használtuk, mely januártól kezdve 2 hónaponként képezi az „évszakok"-at. Iterációszámnak mind a 6 osztályozásnál 10-et választottunk.

Az 1950-től 1984-ig terjedő napi AT_{700}-as adatsoron simítást hajtottunk végre, mely a helyi jellegű háborgásokat kiszűri és csak a hemiszféra egész mozgásrendszerét befolyásoló folyamatokat tartja meg. Napi mezők helyett futtatott dekádátlagokat használtunk az osztályozáshoz, olyan képzési szabállyal, mely az átlagolandó tíz nap kezdődátumait 1 naponként továbblépve adja meg. Így egy adott napi AT_{700}-as mező tíz dekádátlagban szerepel. Ennél a dinamikus clusterező módszernél a kezdő clusterközéppontokat is meg kell adni a számítógépnek. Az iterációs eljárás konvergenciájának gyorsítására és a computeren való futtatás CPU idejének (egy futás CPU ideje 10 perc felett van) csökkentésére, a kezdő osztályközéppontokat nem véletlenszerűen választottuk ki. A kiválasztáshoz a futtatott dekádátlag-mezőknek a kéthavi átlagmezőktől vett távolságait képeztük. A távolságok eloszlásfüggvényének felhasználásával, többlépcsős technikával választottuk ki, a bizonyos kritériumoknak megfelelő, egymástól jól szeparált dekádátlag-mezőket, mellyel a clusterezési eljárást indítottuk. Eredményül 6 osztályrendszert kaptunk, „évszak"-onként egyet-egyet, melyek mindegyike 10 hemiszférikus méretű, AT_{700}-as magassági szintre vonatkozó makrocirkulációs típus. A clusterezés konvergenciájának ellenőrzésére és arra, hogy a 10-es iterációszám elegendő, egy kontrollszámot vezettünk be. Ez a mutató bizonyította a kapott típusok stabilitását. A rendszer külső és belső távolságait is meghatároztuk és a teljes időszak csúsztatott dekádmezőinek katalógusát (mely minden csúsztatott dekádra megadja, hogy az új osztályok közül melyikbe tartozik).

A clusterezés „jóságát" mérő karakterisztikák alapján úgy tűnt, hogy még a 358-as dimenziószám is túl sok és nem különíthetők el jól egymástól a típusok, ezért hosszas előtanulmányok, szakirodalmi tájékozódás után egy új kísérletbe kezdtünk. Itt a clusterezést megelőzően a teljes adatbázist egy lényegkiemelő matematikai eljárással (empirikus ortogonális függvényekkel, valamint VARIMAX rotációval) transzformáltuk. A teljes 358 dimenziós adatbázis korrelációs mátrixának sajátvektorait és sajátértékeit meghatároztuk, és ezek szerint egy sorfejtést végeztünk. Az első 10 sorfejtési együtthatót megtartva egy jelentős adatredukcióhoz jutottunk: a továbbiakban egy AT_{700}-as mezőt 358 rácsponti érték helyett, 10 sorfejtési együttható reprezentált. A teljes 34 éves dekádátlag-állományon végighaladva végrehajtottuk a sorfejtést, és ezután megismételtük a clusterezést az összes többi feltétel megtartásával („évszak"-onként 10 típus, 10 iteráció stb.). A külső, belső távolságok és egyéb karakterisztikák alapján jobban szeparálódó rendszert kaptunk. A transzformálás inverzlépéseit is végrehajtva AT_{700}-as magassági mezőkhöz jutottunk újra.

E típusrendszer és az egész kutatás várhatóan nem csupán klimatológiailag értékelhető eredményeket hoz, hanem megfelelő tesztelések után közvetlenül is hasznosítható lesz, beépítve a szolgálatunknál operatív szinten havonta kiadott „Meteorológiai előrejelzés 6 hónapra" kiadványba.

Kapcsolatfelvételek a CAC-nál

*T. Barnston*nal (CAC) és *R. Livezey*vel (NASA, Goddard Laboratórium) összehasonlító vizsgálatba kezdtünk, melyben a 700 mbar-os magassági szinten végzett EOF analízisüket vetjük össze a mi fent ismertetett clusterezési eredményeinkkel. E közös munka első lépéseiről is beszámoltunk Bécsben az 1986. június 23. és 27. között megrendezett „III. International Meeting on Statistical Climatology" konferencián, a „The use of cluster analysis and rotated empirical orthogonal function (EOF) analysis in describing the macrocirculation pattern of the northern hemisphere and the Atlantic-European region on different heights" című előadásban. A későbbiek során e témában esetleg egy közös cikk publikálására is sor kerülhet.

A Scripps Oceonográfiai Intézetben az elmúlt 10 évben *Namias* professzor vezetésével végeztek távkapcsolatokat feltáró vizsgálatokat. Ehhez kapcsolódva a CAC-ban is kezdenek ilyen jellegű munkákat *N. Maisel* és *J. Wagner* kutatók. Jelenleg még csak a hemiszférikus adatállományokat rendszerező fázisban vannak. Ígéretük szerint az elkészült adatokról, mágnesszalagon másolatot küldenek Magyarországra, hogy mód legyen a későbbiekben bekapcsolódni ebbe a vizsgálatba.

Ugyancsak a CAC egyik kutatója, *R. Reynolds* a havi tengerfelszín-hőmérsékletek (SST) hemiszférikus mezőinek analízisét tervezi. Egyelőre még csak az egységes adatbázis előállítását végzi, ami a kereskedelmi hajók és bóják többmilliós észlelési adatának rendezését, kontrollját jelenti. Ide kapcsolódik az az észrevétel, hogy akár havi, akár — az Országos Meteorológiai Szolgálat hosszútávú előrejelzési modelljébe jobban illeszkedő — pentád vagy dekád SST-adatok megszerzése nagyon kívánatos lenne. A havi állomány átvételére esetleg a CAC-on keresztül, a dekád vagy pentád állomány átvételre pedig esetleges adatcsere révén a Világ Adatközpont ajánlata alapján kerülhetne sor.

Munkaértekezlet, konferencia

Az NMC Climate Analysis Center vezetősége, saját forrásaiból lehetővé tette számomra, hogy részt vegyek a Virginia államban, Virginia Beachen megrendezésre került „Ninth, Probability and Statistics in Atmospherics Sciences" konferencián. Az Amerikai Meteorológiai Társaság által rendezett összejövetel 1985. október 9-től 11-ig tartott és 12 szekcióban összesen 77 előadás hangzott el, valamint 29 poszter került bemutatásra.

Az alábbi szekcióüléseken vehettek részt a jelenlevők: *a)* rövidtávú előrejelzések és helyzetjelentések (0—48 óra); *b)* savas esők; *c)* előrejelzések kiértékelése: trendanalízisek; *d)* középtávú előrejelzések, statisztikus-dinamikai módszerekkel (3—30 nap); *e)* hosszútávú előrejelzések; *f)* verifikációs vizsgálatok: hasznosság, hasznosíthatóság; *g)* objektív analízis; *h)* a „Bootstrap" technika alkalmazásai; *i)* a globális éghajlati rendszer több változós analízse; *j)* jelérzékelés a GCM-kísérletekben és a klímaadatok rögzítése; *k)* távérzékelés; *l)* egyéb alkalmazások.

A konferencián a szűkebb szakterület minden képviselője jelen volt, így lehetőség nyílt a témámban szaktanácsot kérni tőlük, illetve konzultálni korábbról már ismert szakemberekkel. Itt ismertem meg *Baruch Ronberget*, aki a Massachusetts állambeli Cambridge-ből jött és 5-6 éve tipizálásokkal foglalkozik. A clusteranalízis technikáját tekintve sok értékes információt kaptam tőle, amely megkönnyítette a hierarchikusról a dinamikus módszerekre való áttérést. Az ő tapasztalatai is azt mutatták, hogy a hierarchikus módszerek nem alkalmazhatók nagyobb térségű mezők osztályozására. Kísérleteinek célja Izrael központú, mezoskálán értelmezett típusrendszer kialakítása, melyet középtávú analógiás előrejelzések készítésére kíván használni.

*Allan H. Murphy** (Oregon State University, Corvallis, Oregon) és *Richard W. Katz** (NCAR, Boulder, Colorado), a Westview Press kiadásában éppen akkor megjelent könyvük egyes fejezeteire hívták fel a figyelmem. A könyvük címe: „Probability, Statistics and Decision Making in the Atmospheric Sciences". A könyv ajánlott fejezetei és egyéb általuk javasolt cikkek a magyarországi munkatársaimmal tervezett modellfejlesztési kísérletekben jelentős segítséget nyújthatnak. *R. W. Katz*cal megkezdtük az utazási munkatervemben is szereplő boulderi NCAR-látogatásom előkészítését, melynek időpontját úgy választottam meg, hogy egy éghajlatmodellezés témájú munkaértekezlettel egybeessen.

A Colorado állambeli boulderi látogatásra 1985. december 7. és 15. között került sor. A „Model Intercomparison Workshop" 9—12-ig tartott, a National Center for Atmospheric Research (NCAR) intézetben. Bár nem voltam regisztrált részvevője az összejövetelnek, de vendéglátóim lehetővé tették, hogy a számomra legfontosabb előadásokat meghallgassam. Az értekezleten összegyűlt kiválóságok *(J. Shukla, E. Rasmusson, T. Palmer, R. Chervin)* előadásaiban ismertetett kutatási eredmények alapján megállapítható: nem elegendő még a teljes északi hemiszféra mozgásrendszereinek figyelemmel kísérése sem, a nagyskálájú időjárási folyamatok megértéséhez, modellezéséhez, előrejelzéséhez. Meg-

* *A H. Murphy* és *R. W. Katz* előreláthatóan 1986. október elején R. Livezey-éhez hasonló típusú látogatást tesznek Magyarországon.

dőlt az a teoria, amely szerint az Egyenlítő övezete elszigeteli egymástól a két félteke mozgásrendszereit és ezek egymástól közel független régióknak tekinthetők; erre a legmeggyőzőbb bizonyíték az El Nino periódusok és az északi hemiszféra időjárási eseményei között kimutatható vitathatatlan összefüggés.

Intézetlátogatások

Több mint egy hetet töltöttem a Colorado állambeli Boulderben. A megalakulásának 25. évfordulóját ünneplő NCAR (National Center for Atmospheric Research) a világ legismertebb, légkörkutatással foglalkozó intézményei között van. Az Amerikai Egyesült Államok 54 rangos egyeteme közös összefogással hozta létre az UCAR (University Corporation for Atmospheric Research) szervezetét, amely fedezi a kutatóintézet kiadásainak 85%-át; a költségvetésnek csak a maradék 15%-a állami támogatás. Az NCAR létrejöttének elsődleges célja, hogy legyen mód e tudományágban olyan hosszú lejáratú, nem közvetlen hasznú alapkutatásokra is, melyek fedezésére önerőből egyetlen egyetem vagy kutatóintézet sem vállalkozhatna. Fő kutatási irányai mindig igazodnak a legfontosabb aktuális témákhoz; jelenleg a néhány legfontosabb: extrém légköri szituációk éghajlatmodellezése, napfizikai jelenségek hatása a földi légkörre, az emberi tevékenység hatása a légkör kémiai összetételére, a konvektív zivatarok és a tornádók keletkezése közötti kapcsolat kutatása.

Az AAP (Atmospheric Analysis and Prediction Division) kutatói számítógépes modellekkel szimulálják a legkülönbözőbb légköri jelenségeket, értékelik a konvektív viharoknak a globális légköri cirkulációra gyakorolt hatását. Speciális CCM (Community Climate Model) modelljükkel nemrégiben a „nukleáris tél" hipotézist próbálták igazolni, mely alapján egy esetleges kis nukleáris töltetű robbantás során a légkörbe jutó nagy mennyiségű hamu és füst olyan mértékben szűri ki a napsugárzást, hogy hetekre, hónapokra hidegre fordulhat az egész északi hemiszféra, vagy annak egy részének időjárása.

A HAO (High Altitude Observatory) osztály napfizikusai a napkorona fizikai jelenségei közül néhányról beigazolták, hogy a földi légkörben és a felszínen is közvetlen hatásuk érezhető. Bizonyos, napkoronában tapasztalt viharok zavart okoznak a földi telekommunikációs rendszerben és a folyamatos áramszolgáltatást megszakítják. Ezzel kapcsolatban korrelációs és ciklusanalízis-vizsgálatokat folytatnak.

Az ACD (Atmospheric Chemistry Division) kutatói az emberi tevékenységnek a légkör kémiai összetételére gyakorolt hatását elemzik. Az emberi beavatkozás következtében a légkörbe jutó részecskék okozta savaseséseket vizsgálják, amelyek az erdők, állatok és a mezőgazdaság számára sok kárt, gondot okoznak; valamint hogy a fokozott ipari tevékenység miatt megnövekedett szén-dioxid-koncentráció okozta lassú globális felmelegedés milyen drámai átalakulást eredményezhet a nagyskálájú időjárási folyamatokban.

A CSD (Convectiv Storm Division) munkájának középpontjába az utóbbi években az a kérdés került, hogy konvektív eredetű zivataroknak mely paraméterei, jellegzetességei eredményezhetik némely esetben a mezőgazdaságnak, ipari létesítményeknek, településeknek egyaránt óriási károkat okozó árvizeket, tornádókat és egyéb időjárási jelenségeket. Azzal foglalkoznak, hogy ezek a viharok hogyan keletkeznek, hogyan fejlődnek és mi okozza, hogy közülük néhány komoly rombolást, anyagi kárt, mások pedig csak egy rég várt nyári esőt hoznak.

Sok időt töltöttem az NCAR könyvtárában, mely az Amerikai Egyesült Államok jó szakkönyv- és folyóirat-hozzáférési lehetőségei között is kimagaslónak számít.

Az Atmospheric Analysis and Prediction Division-nál tett látogatásom során többek között konzultáltam *R. Madden* csoportvezetővel a magyarországi hosszútávú előrejelző modellünk fejlesztési terveiről és adathiánygondjainkról. Készségesen vállalták, hogy térítésmentesen rendelkezésemre bocsátják az északi hemiszférára vonatkozó havi hótakaróadatokat. Az adatbázist microfiche-en tömörített formában postán utánam küldték Washingtonba. Az adatbázis digitalizált, globális méretű, havi hóadatokat tartalmaz 4°-onként a szélességi és 5°-onként a hosszúsági körök mentén. Ezeket az adatokat az USA Haditengerészeti Oceonográfiai Hivatala irányításával az északi félteke minden részéről gyűjtötték össze, rendezték és digitalizálták.

Megnézhettem a — *Walter Macinture* vezetése alatt álló — NCAR Adatközpontot (Scientific Computing Division), mely többek között két CRAY—1-es, két IBM 4341-es számítógéppel üzemel. A világ néhány leggyorsabb computere közé számító CRAY—1 gép kapacitásáról csak két adat: másodpercenként 100 millió művelet elvégzésére képes, valamint egy új IBM-géphez viszonyítva 10—15-szörös memóriakapacitású és sebességű. Rendszerük 95 város 150 egyetemétől tesz lehetővé közvetlen hozzáférést a számítógéphez.

Az Adatközpontban *Roy L. Yenne* osztályvezető fogadott, akitől az NCAR-tól megvásárolható adatbázisokról kaptam katalógust, adatleírásokat, árjegyzéket.

Szintén Boulderben van a NOAA-nak (National Oceanic and Atmospheric Administration) a Regional Observing and Forecasting Service (PROFS) központja, ahol a magyar

származású *P. A. Mandics* fogadott és számolt be egy, a világon egyedülálló kísérletről.

(*P. A. Mandics* azóta járt Magyarországon, a PROFS-rendszerről a KLFI-ben 1986. július 27-én előadást tartott.)

Az Amerikai Egyesült Államok 52 előrejelző centruma közül bármelyik számára hozzáférhetők a National Meteorological Center Camp Springs-i központja által 12 óránként továbbított szinoptikus előrejelzések, a globális léptékű felszíni észlelési, szondás és műholdadatok, valamint a lokális központokból óránként kapott felszíni jelentések, a félóránként vehető infravörös műholdadatok és a kis körzetre vonatkozó radaradatok. Boulderben létrehoztak egy adatokkal optimálisan ellátott kísérleti megfigyelőállomást, mely a fenti adatokon kívül a város 200 km-es körzetében telepített 22 automata észlelő állomás és 3 radar észleléseit is rögzíti. Az automata állomásokon lévő műszerek a szélirány-, szélsebesség-, hőmérséklet-, harmatpont-, légnyomás-, csapadék- és napsugárzási adatokat 10 másodpercenként észlelik, és az 5 percre átlagolt adatokat továbbítják a központ felé. Kritikus helyzetben különleges üzemmódra kapcsolva az 5 perc alatti maximum és minimum értékek továbbítására is képesek az állomások.

A kísérleti központ rendszere óránként 5 – 10 Mbyte adatot fogad és rendszerez. Az állomás analizálótermében 3 monitoron egyidőben láthatók a tetszés szerint kiválasztott időjárási paraméterek analizált térképei, egymásra montírozva; egy időpontban kimerevítve vagy folyamatában; a sebesség és a térskála szintén változtatható. Az adatok beérkezése és az analizált térképek monitorra hívása között 5 (!!!) perc telik el. Ez a rendszer kutatási célokra nagyon alkalmas, hiszen a nagy mennyiségű adat birtokában pl. a konvektív zivatarok kialakulása, fejlődése olyan részletességgel követhető nyomon, mint azelőtt még soha. Bevezetését az operatív gyakorlatba 5 – 10 év múlva tervezik.

Boulderi tartózkodásom alatt meglátogattam a Világ Adatközpont Glaciológiai Intézetét (World Data Center for Glaciology: Snow and Ice Section), ahol *Roger G. Barry* igazgató fogadott. Elmondta, hogy lehetőség lenne a magyar szolgálat és az ő adatközpontjuk közötti adatcserére. Nekik szükségük lenne egy számítógép által kezelhető adathordozón (mágnesszalag, mágneslemez): egyrészt a magyarországi tavakon a jég beállásának és elolvadásának idősorára, másrészt 10-20 magyarországi állomás hóvastagsági adataira. Ezen állományok fejében az ő árjegyzékük árai alapján egyenértékű, tetszőleges adatbázist kaphatna a magyar szolgálat.

Beszámolóm végén – ezt a fórumot is kihasználva – szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik támogatásukkal, szervezési munkájukkal lehetővé tették számomra ezt a nagyon hasznos és a további munkám szempontjából fontos utazást.

Bartholy J.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

Az IDŐJÁRÁS célja az elméleti és alkalmazott meteorológia tárgykörébe tartozó tanulmányok publikálása. A tanulmányok új kutatási eredményeket tartalmazó beszámolók, illetve adott szakterület időszerű kérdéseit összefoglaló kritikai szemlecikkek lehetnek. A közlés nyelve: magyar vagy angol. A kettes sortávolsággal gépelt kéziratok két példányban küldendők be a következő címre: **Időjárás Szerkesztősége 1525 Budapest, Pf. 38.**

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzővel nem közöljük. A kéziratnak a következő formai igényeket kell kielégítenie:

Címrész: Tartalmazza a tanulmány címét, a szerző(k) nevét, munkahelyét és ez utóbbi pontos címét.

Összefoglalás: Külön oldalakon, magyar és angol nyelven, tartalmazza a kutatás célját, módszerét és a kapott eredményeket.

Szövegrész: Alcímekkel értelemszerűen fejezetekre tagolandó.

Irodalmi hivatkozások: Szövegben a hivatkozás tartalmazza a szerző(k) nevét aláhúzva és a publikálás évét. Pl. egyetlen szerző esetén: *Róna* (1909), vagy ha a szerző neve a szövegbe nem illeszthető be: *(Róna,* 1909); két szerző esetén: *Gamow* és *Cleveland* (1973); szerző esetén: *Bacsó* et al., (1953). Ha adott szerzők ugyanazon évben publikált több cikkére hivatkozunk, akkor az évszámhoz *a, b* stb. betűket írunk. Az irodalom felsorolása a **cikk végén a** szerző(k) neve szerinti betűrendben történik. Folyóirat esetén: szerző(k) neve, évszám, a cikk címe, a folyóirat neve, kötetszám, kezdő és befejező oldalszám. Pl.: *Dési, F.*, 1955: A meteorológiai kutatás időszerű kérdései. *Időjárás 57*, 65—70. Könyv esetén: Szerző(k) neve, évszám, könyvcím, kiadó, megjelenés helye. Pl. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Ábrák: A kézirat első példányához az ábrákat pausz- vagy mm-papíron, a másodikhoz az eredeti ábrák másolatát kell csatolni. Az ábrák aláírásait külön lapon kell mellékelni. Fényképek fekete-fehér színben, fényes, kontrasztos minőségben nyújthatók be.

Táblázatok: A táblázatokat római számozással, szövegükkel együtt, külön lapon kell mellékelni.

Matematikai formulák és jelölések: A nem latin betűket és kézzel írott jeleket a margón ceruzával írt magyarázattal kell ellátni.

A szerzők megjelent tanulmányukért tiszteletdíjat és térítésmentesen 30 db **különlenyomatot** kapnak. Több különlenyomat a szerző költségére a kézirat elküldésével egyidejűleg rendelhető.

NOTES TO THE AUTHORS

The purpose of IDŐJÁRÁS is to publish papers in the field of theoretical and applied meteorology. These may be reports on new results of scientific investigations or critical review articles summarizing current problems in certain subject. Authors may be of any nationality but papers are published only in Hungarian or English. Two copies of the manuscripts, typed with double space, should be sent to the **Editorial Office of Időjárás. Address: Budapest, P. O. B. 38, H-1525, Hungary.**

Papers will be subjected to constructive criticism by unidentified referees.

The manuscript should meet the following formal requirements:

Title: Should contain the title of the papern the name(s) of the author(s) with indicatio, of the name and address of employment.

Abstract: Should contain the aim, method and conclusions of the scientific investigation on a separate page.

References: The text citation should contain the name(s) of the author(s) underlined and the year of publication. In case of one author: *Róna* (1909), or of the name of the author cannot be fitted into the text: *(Róna,* 1909); in case of two authors: *Gamow* and *Cleveland* (1973); there are more than two authors: *Bacsó* et al. (1953). When referring to several papers published in the same year by the same author, the year of publication should be followed by letters *a, b* etc. At the end of the paper the list of references should be arranged alphabetically. For an article: the name(s) of author(s), year, title of article, name of journal, volume number, pages. E. g. *Dési, F.* 1955: Current problems of meteorological research. *Időjárás 57*, 65—70. For a book: the name(s) of author(s), year, title of book, publisher, place of publication. E. g. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Figures: Should be prepared entirely in black India ink upon transparent paper and be attached to the first copy of the manuscript; a copy of the original figures should be attached to the second manuscript copy. The legends of figures should be given on a separate sheet. Photographs of good quality may be provided in black and white.

Tables: Should be marked by Roman numbers and provided on separate sheets together with relevant captions.

Mathematical formulas and symbols: Non-Latin letters and hand-written marks should be explained by making marginal notes in pencil.

Authors are receiving 30 reprints free of charge. Additional reprints may be ordered at the authors expense when submitting the manuscript.

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA
A szerkesztésért fe :dr. Szepesin é Lőrincz Anna

Szerkesztőség: 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.
Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Tel.: 353-500

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, Budapest VII., Lenin körút 9—11. Telefon: 221-285. Levélcím: 1906 Budapest, Pf. 223.
Felelős kiadó: Siklósi Norbert vezérigazgató

86.1616 Athenaeum Nyomda, Budapest — Íves magasnyomás
Felelős vezető: Szlávik András vezérigazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

90. ÉVF. ★ 6. SZÁM ★ 1986. NOVEMBER—DECEMBER

TARTALOM

Pandžić, K.: Faktoranalízis aránylag kis területű hőmérsékleti mezőre (angol nyelven) 321

Haszpra László — Turányi Tamás: A légköri salétromsav keletkezése különböző feltételek között (angol nyelven) 332

Srivastava, V. — Vir Singh: A hidrogén különböző energia-eloszlású proton záporok alkalmával keletkező Balmer-emissziójának modellszámítása (angol nyelven) ... 339

Bartholy Judit — Keller László: Acut cerebrovascularis megbetegedések meteorológiai összefüggései (angol nyelven) 350

Ács Ferenc — Mihalović T. Dragutin: A talaj hőforgalmának évi menete Újvidéken 359

Pintér Ferenc — Rákóczi Ferenc — Tänczer Tibor: Viharos szelek becsülhetősége a Balaton térségében, műholdfelvételek alapján 365

Bartha Imre — Böjti Béla — Horváth Ákos: A balatoni viharjelzések optimalizálása a jelzőrendszer korszerűsítése után 371

Irodalom 381

Krónika 383

CONTENTS

Pandžić, K.: Factor analysis of temperature field on a relatively small area (in English). 321

Haszpra, L. — Turányi, T.: Production of nitric acid in the atmosphere under different conditions (in English) 332

Srivastava, V. — Vir Singh: Model calculation of hydrogen Balmer emissions in case of proton precipitation of different energy distribution (in English) 339

Bartholy, J. — Keller, K.: Meteorological aspects of acute cerebrovascular diseases (in English) 350

Ács, F. — Mihailović, T. D.: The annual course of heat exchange in the soil in Novi Sad 359

Pintér, F. — Rákóczi, F. — Tänczer, T.: On the possibility of estimation of wind storms in surroundings of Lake Balaton by satellite images 365

Bartha, I. — Böjti, B. — Horváth, Á.: Optimization of storm warnings at Lake Balaton after completing the reconstruction of the present warning system 371

Literature 381

Chronicle 384

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 90. ★ NO 6. ★ NOVEMBER—DECEMBER 1986. ★ BUDAPEST

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata
Journal of the Hungarian Meteorological Service

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG – EDITORIAL BOARD

AMBRÓZY P. (Budapest)
ANTAL E. (Budapest)
BENGTSSON, L. (Reading)
BÖHME, W. (Potsdam)
BUDYKO, M. I. (Leningrad)
FISHER, B. (Leatherhead)
GEORGII, H.–W. (Frankfurt a. M.)
GÖTZ G. (Budapest)
GULYÁS O. (Budapest)
HAMAN, K. (Warsaw)
HUSAR, R. (St. Louis, Missouri)
KAPOVITS A. (Budapest)
KONDRATYEV, K.YA. (Leningrad)
MAJOR GY. (Budapest)
MESINGER, F. (Beograd)
MILOSHEV, G. (Sofia)
PRÁGER T. (Budapest)
PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
RÁKÓCZI F. (Budapest)
RENOUX, A. (Paris-Créteil)
ŠAMAJ, F. (Bratislava)
SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
STAROSOLSZKY Ö. (Budapest)
SZEPESI D. (Budapest)
TAYLOR, F. W. (Oxford)
TÄNCZER T. (Budapest)
VARGA-HASZONITS Z. (Budapest)
VITEK, V. (Praha)
WHELPDALE, D. M. (Downsview, Ont.)
WIRTH E. (Pécs)

Elnök – Chairman of the Editorial Board:
MÉSZÁROS ERNŐ (Budapest)
Szerkesztő – Editor:
SZEPESINÉ LŐRINCZ ANNA (Budapest)

Szerkesztőség: 1525 Budapest, Postafiók 38.
Előfizetés: 1 évre 300 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán Budapest, 1024 Kitaibel Pál utca 1. Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Megjelenik kéthavonként.
Egyes szám ára 50 Ft

Editorial Office: H-1525 Budapest P. O. B. 38. This journal, published bimonthly can be purchased from the distributor: KULTURA, H-1389 Budapest P. O. B. 149
The actual subscription rate is determined by the distributor

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 90. évf. 6. szám 1986. november-december
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 6. Nov-Dec. 1986. Budapest

Factor analysis of temperature field on a relatively small area

PANDŽIĆ, K., *Hydrometeorological Institute, 41 000 Zagreb, Grič 3, Yugoslavia*

Faktoranalízis aránylag kis területű hőmérsékleti mezőre. Az analízissel, amelyet az Adriai tenger és a Pannon Alföld (Horvátország) által határolt területen lévő 108 meteorológiai állomás *(1. ábra)* 20 évi (1961–1980) havi középhőmérsékleti adatsorán végeztünk el, 17 homogén hőmérsékleti csoport ill. szektor *(5., 6. ábra)* mutatható ki. A feldolgozás során a faktoranalízisnek a meteorológiában jelenleg egyik leggyakrabban használt eljárását a PC (PC = Principal Component) azaz a főkomponens analízist alkalmaztuk. Az első három PC a teljes hőmérsékleti mező varianciáját 99,6% pontossággal adja meg. Szerző kimutatja hogy az első PC a szárazföldi eredetű, a második a tengeri eredetű melegedéssel, a harmadik pedig a légköri cirkulációval kapcsolatos. Az első PC a pannon- területre, a második az adriai térségre és a harmadik a hegyvidékre van a legjelentősebb befolyással. Az Adriai-tengertől távolabb eső hegyvidéken a három PC hatása elmosódott és itt mutatkoztak az állomásoknak a hőmérséklet szempontjából legváltozékonyabb csoportjai.

⁂

Factor analysis of temperature field on a relatively small area. The analysis for 108 meteorological stations on profile Adriatic sea-Pannonian lowland (territory of Croatia) is presented with the classification in 17 homogeneous temperature groups (sectors). For this purpose 20 year time-series of mean monthly temperature (1961–80) is used. Method of principal components (PC) is applied, today the most used method of factor analysis in meteorology. The first three PC are considered which described 99,6% of total temperature field variance. It is shown that the first PC is related to the mainland heat, the second one to the sea heat and the third one to the atmospheric circulation. The first PC has the strongest influence in Pannonian, the second in the Adriatic and the third one in the mountainous area of above-indicated profile. In mountainous hinterland of the Adriatic sea, the influences of these three PC are intermixed and here the most variety of separate station groups (sectors) is formed.

⁂

1. Introduction. Factor analysis of meteorological parameter fields is recently in frequent use. One of the important results of this analysis is the possibility of defining climate homogeneous sectors. Until now, this analysis was applied for division into rainfall climate types (*Dyer*, 1975; *Melice* and *Wendler*, 1984; *Wigley* et al., 1984; *Maheras*, 1985.)

However, *Bartholy* and *Kaba* (1985) made a division of Norther Hemisphere into temperature homogeneous sectors using monthly (winter) temperature data and factor analysis method. According to their division, almost entire Europe belongs to a single sector.

Contrary to their analysis, in this paper, an attempt is made to apply the factor analysis and division into homogeneous temperature zones to the relatively small area such as a profile Adriatic-Pannonia.

2. Description of the method

The method used in this study is similar to the other methods of factor analysis, by which we attempt to find causes affecting the changes and correlations of the observed variables.

The observed variables are called the manifest variables, and the others established by this analysis are indicated as factors. The hypothesis of the analysis is: 1. that the manifest variables are more numerous than the factors and, 2. that the manifest variables are correlated while the factors are not. If the mathematical-statistical procedure, named as the method of principal components is used, than the factors are called the principal components. Since the complete procedure of this method would need much more space, the reader is referred to the books with more details (*Kendall*, 1976; *Fulgosi*, 1979). In this paper, we will presented the results of the method's practical application.

3. Data

Twenty year time-series (1961 – 80) of surface mean monthly air temperature departure from yearly averages for 108 meteorological stations on profile Adriatic-Pannonia (territory of Croatia-Yugoslavia) were used as the manifest variables. Each of these time-series has 240 statistics. Missing data were interpolated according to the near stations. The station network

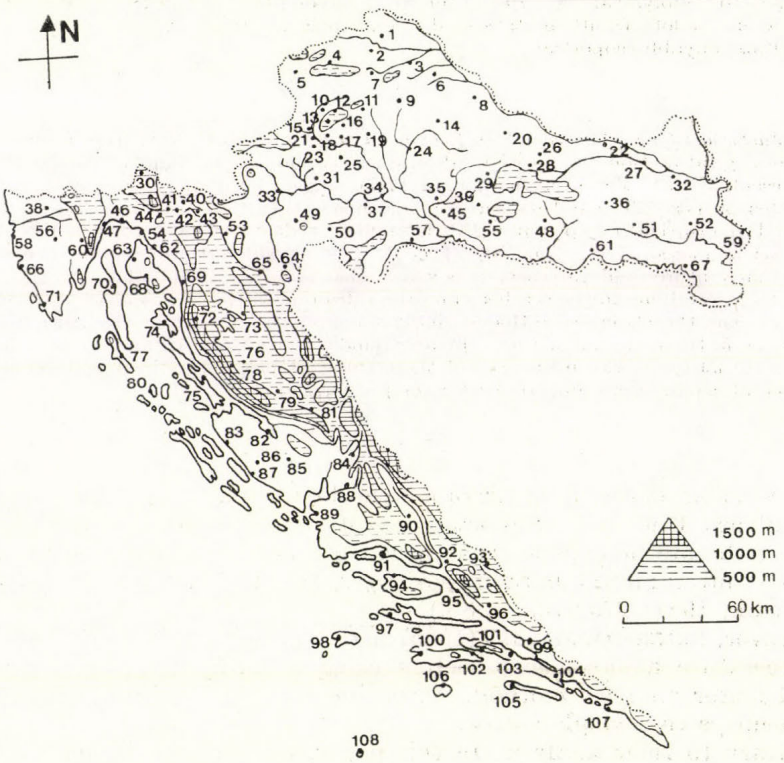


Fig. 1. Map of Croatia (the profile Adriatic-Pannonia) with the numbers of meteorological stations

presented on *Fig. 1* covers rather uniformly distributed stations over the Adriatic, Pannonian and mountainous area.

Data sets are recorded on the tape of microcomputer ZX Spectrum 48 K. The correlation matrix was calculated by the use of Sepctrum's BASIC programs. Since, the memory of this computer is relatively small, correlation matrix is divided in more 10×10 submatricies.

4. Correlation matrix

The correlation 108×108 matrix whose elements are correlation coefficient of monthly temperature from different meteorological stations was calculated. Arrangement of elements in that matrix (in some row or column) corresponds to the number of stations presented in *Fig. 1.* Part of this symmetrical matrix is presented in *Table* I. It is evident that the correlation coefficient are smaller if the distance between the stations is larger or if one station is from Pannonian and the other from the Adriatic area. This

TABLE I.

Part of the correlation matrix of temperature field from the profile Adriatic-Pannonia

Stations	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
51	1.000	.998	.993	.975	.998	.983	.997	.977	.997	.981
52		1.00	.992	.974	.997	.982	.996	.976	.996	.980
53			1.00	.980	.994	.986	.995	.980	.993	.981
54				1.00	.977	.993	.979	.994	.975	.989
55					1.00	.985	.998	.978	.996	.982
56						1.00	.986	.997	.983	.995
57							1.00	.980	.995	.984
58								1.00	.977	.992
59									1.00	.980
60										1.00

fact indicates that differences between correlation coefficients do not represent the noise. Considering the entire matrix it is found that the smallest correlation coefficient appears between the stations numbered by 3 and 108, whose value is 0.934, being therefore still relatively large. For this reason, it can be stated that the variations of monthly temperature have a strong stochastic relations over the considered area, what is a consequence of nearly uniform influence of the common factors. However, looking on the correlation matrix three various groups of stations could be observed: Adriatic, Pannonian and mountainous. Some of these stations are loaded by the particular

TABLE II.

The variances of the first ten PC of temperature field from the profile Adriatic-Pannonia, after VARIMAX *rotation*

Pc's	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VAR.	56.26	51.09	0.14	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.03
%	52.10	47.30	0.12	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.03
CUM.	52.10	99.40	99.50	99.60	99.70	99.70	99.70	99.80	99.80	99.80

factors (PC) more than the others. In the next section we will discuss what these factors are, and how much they load each of the stations (or the group stations).

5. *Principal component analysis*

Since with the unroted PC no satisfying interpretation was achieved, the orthogonal rotation (VARIMAX) of PC is used. By this rotation the PC

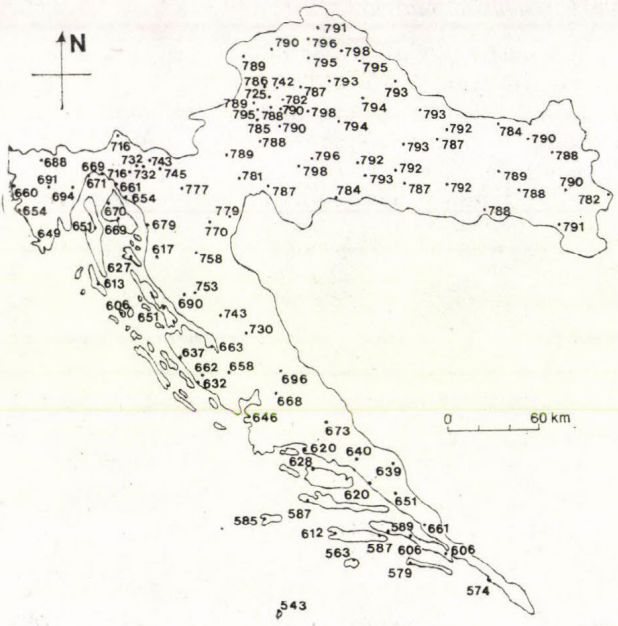


Fig. 2a. PC's loadings ($\times 10^3$) of the first PC temperature field from the profile Adriatic-Pannonia



Fig. 2b. As in Fig. 2a but for the second PC

remain orthogonal (uncorrelated), while PC's loadings (correlation coefficients among PC and manifest variables) have changed. The change of total variance distribution on PC also occurs, whose arrangement following VARIMAX rotation are presented in *Table II*. Contrary to the unrotated case, where the first PC were described 98.2 % and the second one 1.1% of the total variance, the application of VARIMAX rotation, and the second PC describes rather large part of the total variance (43.3%), close to the

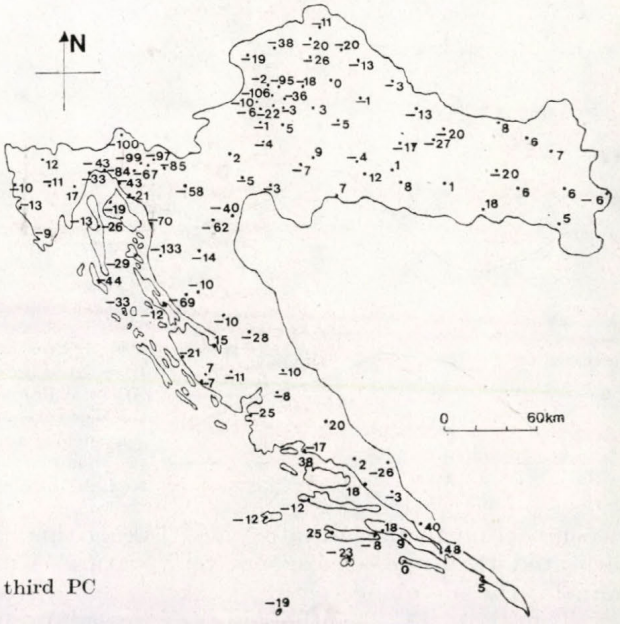


Fig. 2c. As in Fig. 2a but for the third PC

first one (52.1%). The other PC are described almost neglectingly small part of the total variance, before as well as after the rotation. In the following text, only VARIMAX rotated PC will be considered.

a) *Component loadings analysis.* As pointed out above, PC's loadings are correlation coefficient among manifest variables and PC, and therefore they could be used for their analysis. For this purpose PC's loadings are presented in *Figures 2a, 2b* and *2c* for the first three PC. Their values range from 0.543 (on Adriatic) to 0.798 (in Pannonia) for the first PC, as seen in Figure 2a,

TABLE III.

Presentation of dependence of PC's loadings of the first three temperature field PC on the station altitude, for some stations from the profile Adriatic-Pannonia

Stations	Alt. (m)	PC1	PC2	PC3
17	128	0.790	0.612	0.003
18	157	0.788	0.613	−0.022
16	220	0.782	0.619	−0.036
12	620	0.742	0.662	−0.095
13	988	0.725	0.679	−0.106

and from 0.599 (in Pannonia) to 0.837 (an Adriatic) for the second PC, as shown on Figure 2b. Furthermore PC's loadings decrease by the stations altitude for the first and the third PC, while increasing for the second *(Table III)*. Taking this into cosideration it can be assumed that the first PC is related to the mainland heat whereas the second PC to the sea heat. Besides it can be seen that the mountainous stations have similar behaviour

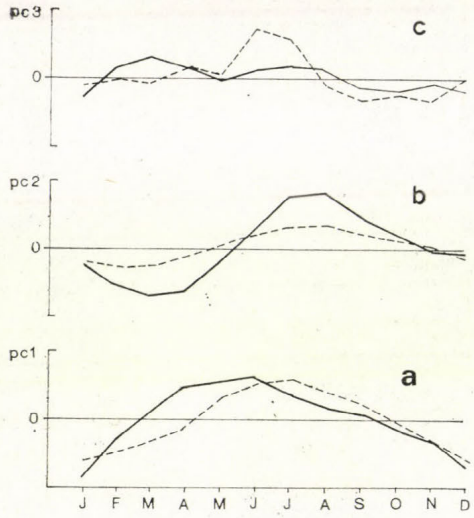


Fig. 3. Presentation of the annual course of the first three temperature field PC from the profile Adriatic-Pannonia in comparison with: a) soil temperature at 2 cm depth for station 17, b) sea surface temperature for station 91 and c) frequency of cold fronts in Yugoslavia according to Lalić (1979)

in comparison to the Adriatic ones. Taking this into consideration, it can be suspected that free atmosphere temperature is more influenced by the sea than by the mainland.

The third PC has the most expressed influence on the mountainous stations, particularly on those orinted toward NE, and those on the North Adriatic, where the bora wind phenomenon occurs frequently. Since the bora is related to the NE cold air outbreaks (associated with the cold fronts), it can be presumed that the third PC is related to the larger scale atmospheric

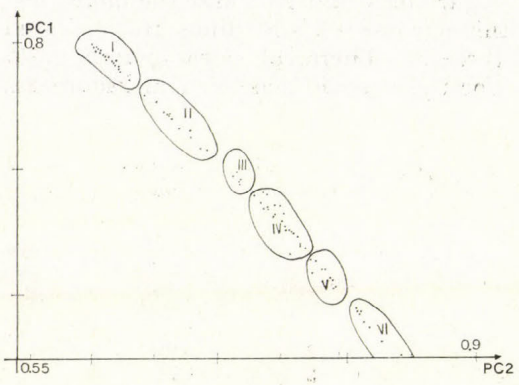


Fig. 4a. Presentation of the meteorological stations from the profile Adriatic-Pannonia in thcoordinate seastem Pc1 – PC2

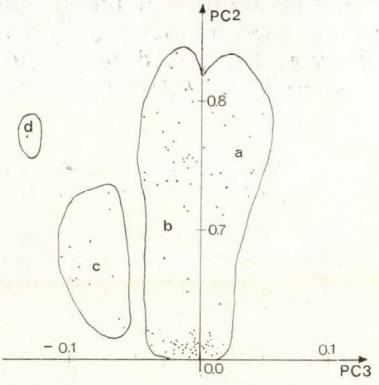


Fig. 4b. As on Fig. PC2 – PC3 4a except for

circulation (particularly the cold fronts). That assumption is also supported by the negative sign of the PC's loadings of the third PC.

b) *Component scores analysis.* In the proceding section, we have considered the spatial analysis (S-mode) of PC. However, PC temporal analysis (T-mod) can be done by considering time course of PC's scores, which are presented in *Fig. 3* for the first three PC. besides the annual course of PC's

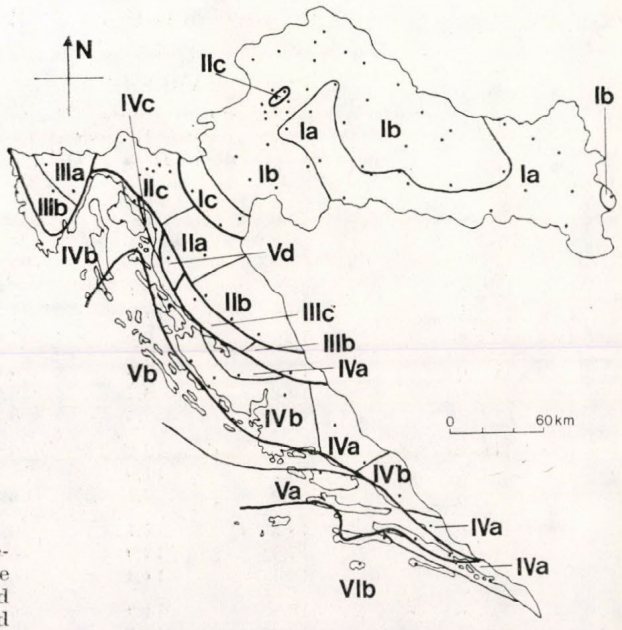


Fig. 5. Distribution of homogneous temperature sectors on the profile Adriatic-Pannonia obtained by the application of PC method

scores for the first three PC. This figure also presents: the annual course of soil temperature at 2 cm depth for station 17, the sea surface temperature for station 91 and the annual course of cold front frequencies in Yugoslavia according to the study by *Lalić* (1979). There are no absolute agreement of the presented PC's scores and indicated quantities but similarity evidently exists. Disagreements are understandable because PC are more general variables than the compared quantities. Besides these PC are uncorrelated, while in reality stochastic dependence exists betwen the mainland and the sea heat as well as cold fronts frequencies. Furthermore, PC's scores for the third PC were calculated for different time period (1961 – 80) than the period (1951 – 60) used for the frequency of cold fronts.

6. *Determination of homogeneous temperature sectors*

In order to determine the homogeneous temperature groups of stations for profile Adriatic-Pannonia, the considered stations in coordinate seastems PC1 – PC2 and PC2 – PC3 are presented in *Fig. 4a* and *4b* (see *Fulgosi*, 1979). In Fig 4a six various groups of stations are separated. In the first group the stations Pannonian part are placed, in the second the mountainous stations and the stations from Adriatic area belong to the groups arranged from the north to the south. Distribution of station groups can be best ilustrated on the map such as shown in *Fig. 5*, where division according to

the first PC has been marked by the thicker line, and the groups by Roman numbers (I—VI). From that figure it is evident that each homogenous group belongs to the geographical compact area except in some cases. Thus, instead of the homogeneous groups of stations we will consider the homogeneous sectors.

Similarly as Fig. 4a, Fig. 4b is constructed. On this figure, four groups of stations are separated according to the third PC only, because the separation according to the second PC was already done. By that the above-indicated

TABLE IV.

Some characteristics of temperature course (°C) in homogeneous temperature sectors of the profile Adriatic-Pannonia (Ta-amplitude, Ts-annual mean, St-stan. dev., ΔT = T [Oct.] − T [April])

Sectors	Ta	Ts	St	ΔT
I. *a*	21.3	10.4	7.6	−0.3
b	20.8	10.2	7.4	−0.1
c	19.3	9.5	7.0	0.5
II. *a*	18.8	8.8	6.8	0.6
b	19.2	8.7	6.9	0.9
c	18.4	7.3	6.7	1.7
III. *a*	17.3	12.2	6.2	1.3
b	18.1	11.9	6.5	1.4
c	17.9	7.1	6.5	1.9
IV. *a*	18.3	14.1	6.5	2.3
b	17.7	13.9	6.4	2.3
c	18.1	14.4	6.6	2.3
V. *a*	16.9	14.9	6.1	2.6
b	16.5	15.3	6.0	2.9
c	16.2	3.4	6.2	3.4
VI. *a*	15.7	16.1	5.6	3.5
b	15.2	16.0	5.6	3.6

groups were subdivided and the subgroups were marked by indices a, b, c and d. They are separated by thinner lines in Fig. 5. Since the first three PC describe 99.53% of total temperature field variance, indicated homogeneous sectors determined according to these PC could be taken as the temperature homogeneous sectors (from the vievpoint of the mean monthly temperature departure from the annual mean). Most of the separated sectors are found in the hinterland of Adriatic, where various influences from the mainland, the sea and the mountains are intermixed.

Since the separation is now accomplished, it is possible to consider some characteristics of the annual temperature course in separate sectors. For this purpose in *Table IV* for each sector space averages are presented for the following statistics: amplitudes of the mean annual temperature course (Ta), annual mean (Ts), standard deviation around the annual mean (St) and the temperature difference ΔT = T (October) − T (April) which can be (conditionally) named 'maritimity index'. From this table it is obvious that the temperature characteristics change gradualy along the profile Pannonia – Adriatic in such a way that the sector Ia is the least and sector IVb. the most influenced by maritime factor.

Finally, it is necessary to emphasize that lines in Fig. 5, separating temperature homogeneous sectors were drawn disregarding the local orography what will be done in the next section.

7. Comparison of the component's division with Köppen's one

As already indicated, the boundaries of temperature homogeneous sectors in Fig. 5 were drawn on the basis of available data without taking into consideration the local orography. In order to obtain more realistic pattern

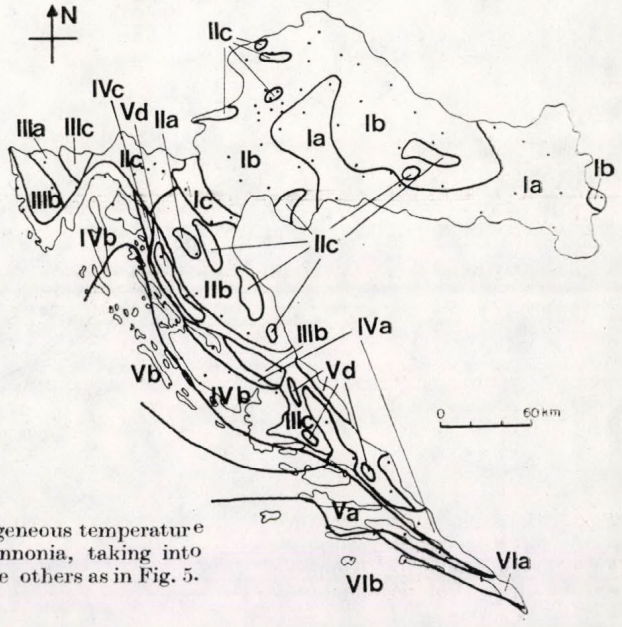


Fig. 6. Distribution of the homogeneous temperature sectors on the profil Adriatic-Pannonia, taking into consideration local orography. The others as in Fig. 5.

of the sector boundaries much more stations would be required, but hardly realized in the meteorological practice. Since most of the meteorological parameters have some vertical gradients, in the regions of poor data coverage the usual procedure is done by the extrapolations according to the regression equations (see *Penzar* and *Penzar*, 1970). The problem is complicated due to space variability of vertical gradients since most of the meteorological parameters, besides this altitude dependence, also depend on: relative station height, terrain configuration, position of the cardinal points, position in respect to mainland or sea, and prevailing winds (bora and sirocco in this case) etc. Similar dependence exists at the PC's loadings of temperature field. Due to these complexities, the procedure is simplified in such a manner that IIc or IIb sectors are extended on slopes over 500 m altitude in Pannonian zone, whereas IIIc sector is extended up to 500 – 1000 m in the Adriatic zone. Vd sector comprises area above 1000 m altitude regardless of the location. Small area slopes are ignored. The results of such a modification of preliminary established temperature boundaries are presented in *Fig. 6*.

The comparison of this division with the Köppen's one (*Volarić* and *Lisac*, 1984) leads to the conclusion that it produces more temperature

climatic types than the Köppen's *(Fig. 7)*, and therefore it is more convenient for the smaller areas. For example, lowland is more distinguished from the higher altitude zones (above 500 m difference in height) inside the Pannonian as well as on the Adriatic area, being more detailed than the Köppen's division (compare *Fig. 6* and 7).

However, it should be emphasized that PC method does not take into direct consideration the temperature annual mean (mean monthly temperature departures from annual mean are considered). Therefore, in general, it could happen that the stations having more or less different annual mean value would be in the same groups. This problem could be solved in such a

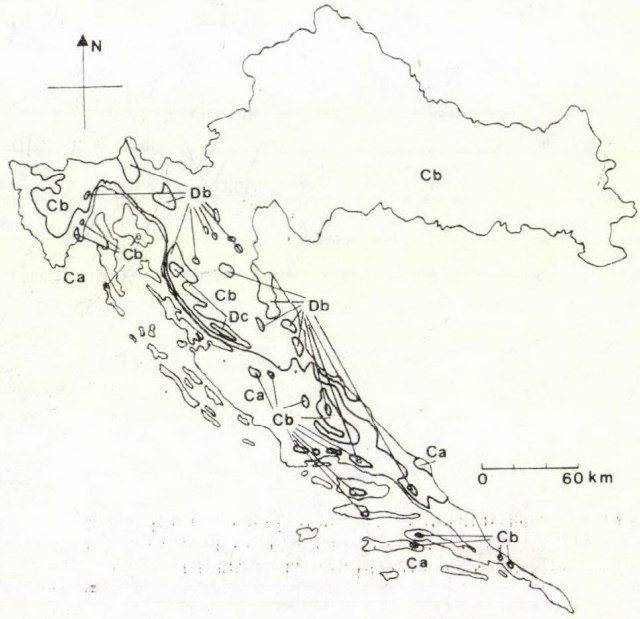


Fig. 7. Homogeneous temperature sectors on the profile Adriatic-Pannonia obtained by Köppen's scheme (from Volarić and Lisac, 1984)

way that the new condition is assigned to the boundaries of annual mean, but this was not been necessary in this paper. Thus, the temperature variations around the annual mean are not absolutely independent of this mean, in others words, different influences of a single factor which generates different temperature departures, generates more or less different annual means (distinct heat regime in a particular region).

7. *Conclusion*

Method of principal component, recently often used method of factor analysis, is a complex mathematical-statistical procedure which can be used for analysis and division into homogeneous climatic types over relatively small area such as the presented profile Adriatic-Pannonia.

Results of this analysis show that there are three dominant factors generating heat regime along the considered profile: mainland heat, sea heat and atmospheric circulation (with associated cold fronts). The first factor has the strongest influence on Pannonian zone, the second in the Adriatic and the third in the mountainous area. Since different factors by different intensitties influence the different parts of the considered area, it was been possible to separate 17 temperature homogeneous sectors. Extent of the

particular sectors depend on orography and therefore the least of them are in Pannonian lowland and the most in the mountainous hinterland of Adriatic.

Comparison by the *Köppen*'s division indicate same advantages of the presented method in respect to details of the division. This is understandable if we take into consideration that the Köppen's scheme allows only part of temperature departure while PC method takes into account more complete gathering of temperature informations.

Even better results could be expected by considering the instant temperature values, assignated to the weather types, what is the objective of our further research.

Acknowledgments. This work was partially supported by the Union for Scientific Research of Croatia. The author thanks to Professor *B. Penzar* for useful comments and suggestions.

REFERENCES

Bartholy, J. and *Kaba, M.*, 1985: Further development of seasonal climate forecasts for territory of Hungary. *Időjárás 89*, 185–193.

Dyer, T. G. J., 1975: The assignment of rainfall stations into homogeneous groups: an application of principal components analysis. *Qurt. J. R. Met. Soc. 101*, 1005–1013.

Fulgosi, A., 1979: *Faktorska analiza.* Školska knjiga. Zagreb.

Kendall, M. G., 1976: *The advanced theory of statistics* 3, Charles Griffin, London.

Lalić, D., 1969: *Hladni atmosferski frontovi nad Jugoslavijom.* Savezni hidrometeorološki zavod. Beograd.

Maheras, P., 1985: A factorial analysis of Mediterranean precipitation. *Arch. Met. Geoph. Biocl.*, Ser. B *36*, 1–14.

Melice, J. L. and *Wendler, G.*, 1984: Precipitation statistics in southern Tunisia – a contribution to the desertification problem in the Sahel zone. *Arch. Geoph. Biocl.*, Ser. B *33*, 331–348.

Penzar, I. and *Penzar, B.*, 1970: O metodici izrade klimatoloških karata u vezi s pojavom hladnih dana. *Geofizički glasnik* (Zagreb) *32*, 61–77.

Volarić, B. and *Lisac, I.*, 1984: Klimatska podjela Hrvatske prema značajkama godišnjeg hoda temperature zraka. *Radovi* (Zagreb) *19*, 3–11.

Wigley, T. M. L., Lough, J. M. and *Jones, P. D.*, 1984: Spatial patterns of precipitation in England and Wales and a revised, homogeneous England and Wales precipitation series. *J. Climatol. 4*, 1–25.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 90. évf. 6. szám, 1986. november-december
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 6. Nov-Dec. 1986. Budapest

Production of nitric acid in the atmosphere under different conditions*

HASZPRA L., *Institute for Atmospheric Physics H-1675 Budapest, P. O. Box 39., Hungary and*
TURÁNYI T. *Central Research Institute for Chemistry H-1525 Budapest, P. O. Box 17., Hungary*

A légköri salétromsav keletkezése különböző feltételek között. A légkörben a nitrogénvegyületek átalakulásait bonyolult, nemlineáris kölcsönhatások szabályozzák. Ezért az emisszió, a koncentráció és az ülepedés közötti kapcsolatot csak komplex matematikai modellek segítségével írhatjuk le. A tanulmány olyan modellt ismertet, amelynek segítségével megvizsgálható, hogyan függ a salétromsav-képződés sebessége és a salétromsav koncentrációja a légkörbe bocsátott szennyeződés kémiai összetételétől. A számítások bizonyítják, hogy a salétromsav képződés és a nitrogén-oxid koncentráció közötti kapcsolat nem lineáris. A salétromsav keletkezés sebességét és légköri koncentrációját a szénhidrogén emisszió/koncentráció befolyásolja.

⁎

Production of nitric acid in the atmosphere under different conditions. In the atmosphere the transformations of the nitrogen compounds are controlled by complicated non-linear interactions. Therefore, the relations between the emission, concentration and deposition can be described only by complex mathematical models. In the paper a model is presented by means of which the dependence of the concentration and the production rate of nitric acid on the chemical composition of the pollution emitted is studied. The calculations prove that there is no linear relation between the rate of the nitric acid production and nitrogen oxide concentration. The production rate and the concentration of nitric acid are influenced by the hydrocarbon emission/concentration.

⁎

Introduction. The acidification of soil and surface waters, the damage to vegetation and building materials cause a growing problem in several countries of the world. These processes are generated by the acidic compounds, first of all by sulfuric and nitric acids being deposited from the atmosphere.

The dominant part of atmospheric sulfuric and nitric acids originates from sulfur dioxide and nitrogen oxides released by human activity. Due to the close control for the sulfur dioxide emission the role of nitrogen compounds in acidic deposition have been growing recently and this tendency is expected to continue in future. Therefore, studies on the formation of nitric acid have an important place in the list of invertigations dealing with acidic deposition and with environmental protection.

1. *Transformations of nitrogen compounds*

Nitrogen oxides, dominantly in the form of nitrogen monoxide, are released into the atmosphere during the use of fossil fuel, for example from the exhaust of the motor vehicles. Nitrogen monoxide catalizing the oxidation

* Paper presented on the EURASAP Symposium, Budapest, 22-24 April, 1986.

of organic species is quickly transformed into nitrogen dioxide. Nitric acid can de directly produced from nitrogen dioxide through its reaction with hydroxyl radical. Nitric acid can be produced from NO_3 and N_2O_5, as well. These precursors are also formed from nitrogen dioxide. Nitric acid can be considered as a final product. It leaves the atmosphere either directly by wet and dry deposition or transformation into nitrate aerosol.

The amount of nitric acid produced and the rate of its formation are not only controlled by nitrogen oxide emissions. They depend on the intensity of solar radiation, air temperature, humidity and the general composition of the atmosphere. The interactions of atmospheric trace gases are so complicated that they can be investigated only by computer based mathematical models.

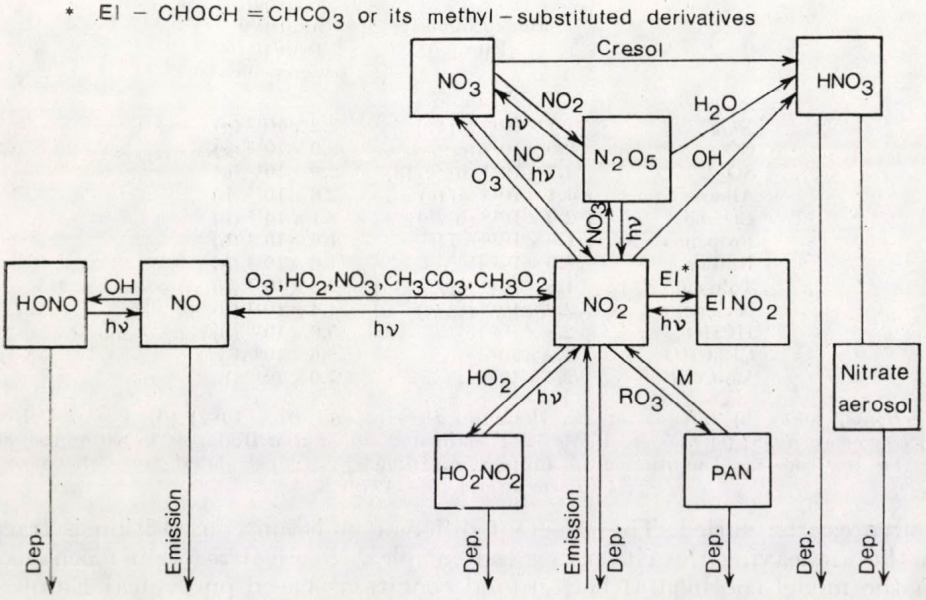


Fig. 1.: The transformation of nitrogen species in the model

To construct such a mathematical model a proper chemical reaction mechanism is necessary. Recently Bérces and his co-workers in the Central Research Institute for Chemistry, Hungarian Academy of Sciences, elaborated a reaction mechanism for the investigation of photochemical smog formation (*Bérces* et al., 1985). That reaction scheme has been considered to be suitable for our purposes. The reaction mechanism is a lumped one in which the hydrocarbons of similar properties are grouped and each group is represented by one species. It is based on the smog mechanism of Atkinson and his co-workers (*Atkinson* et al., 1982) taking into account new findings and data. The mechanism consists of 64 chemical reactions of 41 species. In addition, it has been completed with 24 further steps simulating the emission and deposition of the trace constituents as first order chemical reactions. The scheme of those parts of our reaction mechanism, which relates to the nitrogen species is presented in *Fig. 1.* In the figure only some important agents are

indicated on the reaction paths. The chemical part of the reaction mechanism has been tested against smog chamber measurements of Pitts and his co-workers (*Pitts* et al., 1979) and a good agreement has been obtained.

2. *The model*

For tracing the dependence of nitric acid production on the composition of the pollution emitted the following model has been constructed: The air corresponding to the background condition travels through a city. The composition of the pollutants emitted from the city and the strength of the

TABLE I

Emission values used in the model calculations (molecule $cm^{-2}s^{-1}$)

	Background (Europe)	Urban (industry + transport) (reference case)
NO_x	1.1×10^{11} (a) (b)	2.2×10^{12} (g)
CO	2.9×10^{12} (c)	2.0×10^{13} (g)
SO_2	4.7×10^{11} (b) (c) (d)	2.0×10^{12} (g)
Alkane	1.1×10^{11} (c) (e)	2.6×10^{12} (h)
Ethene	2.0×10^{10} (b) (c)	2.1×10^{11} (h)
Propene	1.0×10^{10} (c) (f)	1.6×10^{11} (h)
Butene	8.0×10^{9} (b) (c)	1.6×10^{11} (h)
Toluene	1.8×10^{10} (c)	2.4×10^{11} (h)
Xylene	2.0×10^{10} (b) (c)	4.4×10^{11} (h)
HCHO	2.8×10^{9} (c)	5.0×10^{10} (h)
CH_3CHO	4.9×10^{8} (c)	8.6×10^{9} (h)
Me-CO-Et	2.4×10^{9} (c)	7.0×10^{10} (h)

(a) *Bónis*, 1981; (b) *Eliassen* et al., 1982; (c) *Derwent* and *Hov*, 1982; (d) *Várhelyi*, 1982; (e) *Hov* et al., 1978; (f) *Tille* et al., 1985; (g) estimated emission of Budapest based on the data of the Institute for Environmental Protection, Hungary; (h) calculated from the data of *Derwent* and *Hov* (1979)

source can be varied. The effect of different emission composition is traced in the air leaving the city using the complex chemical reaction mechanism. In the model continental background conditions based on typical European data and a city similar to Budapest are assumed *(Table I)*. The physical parameters are: summer, clear sky, the daily variation of the temperature and humidity correspond to the monthly averages in July in Budapest. The air enters the city at 10 a.m. and leaves it two hours later. Beyond the city background emission is supposed.

For the calculation a reliable, consistent background concentration set is needed. To obtain such a concentration set a model run only with background

TABLE II

Factors for the urban emissions (A reference case)*

Factors	Case							
	A*	B	C	D	E	F	G	H
NO_x	1	1.5	1	1	1.5	1.5	1	1.5
Alifatic HC	1	1	1.5	1	1.5	1	1.5	1.5
Aromatic HC	1	1	1	1.5	1	1,5	1.5	1.5

emissions has been made. The calculated concentrations have been compared with the results of the measurements published in the literature and it has been found that the concentrations calculated are within the range of the measurements reported for continental air.

The first model run has served as a reference case in which the emissions presented in Table I are used. In the further calculations these emission values have been changed and the effects in the air leaving the city have been traced. Seven cases have been calculated: increased NO_x emission, increased alifatic hydrocarbon emission, increased aromatic hydrocarbon emission, and all of their combinations. The word "increased" means 50% in all of the cases (see *Table II*). In the calculations the mixed layer over the city is 1200 m high and the emitted substances are distributed homogeneously in that layer. The formation of the concentrations in the air leaving the city has been traced for 18 hours, until 6 o'clock next morning. In Europe the source areas are so close to each other that usually an air parcel spends a much shorter time under background condition.

At first, the changes in the composition of the air leaving the urban area were studied. In *Table III* the typical changes are marked with arrows of

TABLE III

Qualitative changes of the atmospheric concentrations beyond the city relative to the reference case for the cases of Table II. The direction and the size of the arrows denote the direction and the measure of the changes

	B	C	D	E	F	G	H
NO_2	⇑	~	↓	⇑	⇑	↓	⇑
HNO_3	↑	~	~	↑	↑	~	↑
PAN	⇓	↑	⇑	↓	↓	⇑	~
O_3	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↓
OH	⇓	~	↑	⇓	↓	↑	↓
Alkane	↑	⇑	~	⇑	↑	⇑	⇑
Propene	⇑	⇑	↓	⇑	↑	⇑	⇑
Toluene	↑	~	⇑	↑	⇑	⇑	⇑
SO_2	↑	~	~	↑	~	~	↑

different sizes. It can be seen that in the case of increased NO_x emission (case B) a significant fall in the concentration of oxidants occurs. They are consumed in the transformation of the increased amount of NO to NO_2. Since less oxidant is available, the oxidation of hydrocarbons and so the production of PAN becomes slower. Because of the depressed concentration of oxidants the rate of sulfuric acid formation in homogeneous gas phase reactions becomes lower, therefore the sulfur dioxide concentration is somewhat higher in comparison with the reference case.

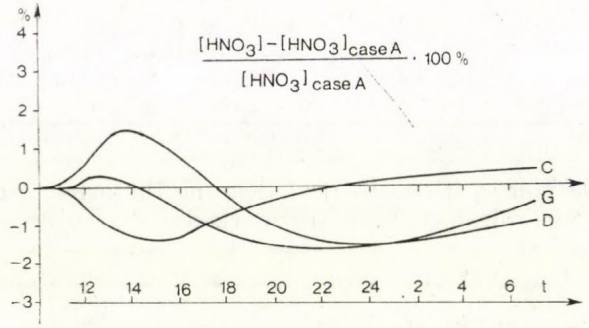


Fig. 2.: The relative changes in the nitric acid concentration for the cases in which the NO_x emission corresponds to the reference case (case A)

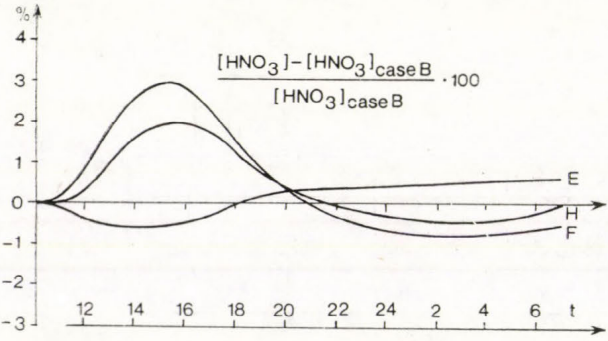


Fig. 3.: The changes in the nitric acid concentration for the cases of increased NO_x emission relative to the case in which only the NO_x emission is increased (case B)

The increase in the emission of alifatic hydrocarbons (case C) causes little changes in the concentration of the trace constituents other than hydrocarbons. Only the PAN concentration increases by a few percent because its formation is promoted by hydrocarbons.

The increased aromatic hydrocarbon emission (case D) also increases PAN concentration and it also causes some increases in the concentration of oxidants. For the remaining cases essentially combinations of the previous ones have been obtained. Of course, it does not mean that the combination of effect is linear.

The changes in the concentration of nitric acid are presented in separate figures. In *Fig. 2* those cases arre collected in which the NO_x emission corresponds to the reference case (case A). In the figure the changes of the nitric acid concentration relative to the reference case are shown. Remarkable changes can be observed in the nitric acid concentration, although the emission of nitrogen oxides is not modified. *Fig. 3* shows the effect of the increase in the

hydrocarbon emission when the NO_x emission is higher by 50% than in reference case. Here the dependence of the nitric acid concentration on the emission of hydrocarbons can also be realized. The reason is that the variations in the hydrocarbon emission modify the general composition of the atmosphere and so influence the rate of nitric acid production.

In *Fig. 4* the relative changes in the rate of nitric acid production are presented for the cases in which the NO_x emission corresponds to the reference case (case A). The rates of nitric acid production differ remarkably from that

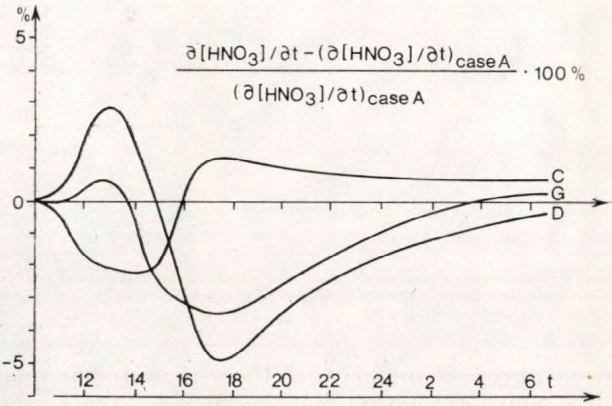


Fig. 4.: The relative changes in the rate of nitric acid production for the cases in which the NO_x emission corresponds to the reference case (case A)

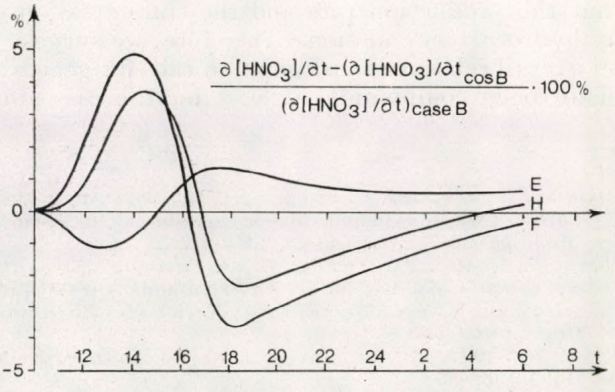


Fig. 5.: The changes in the rate of nitric acid production for the cases of increased NO_x emission relative to the case in which only the NO_x emission is increased (case B)

in the reference case. Similar results are obtained when the cases with increased NO_x and hydrocarbon emissions are compared with the case in which only the emission of nitrogen oxides is increased (case B) *(Fig. 5)*.

In *Fig. 6* the overall relative reaction rate for nitrogen oxide → nitric acid transformation is presented for three special cases as a function of time. The cases are the reference one, the case B in which only the nitrogen oxide emission is increased, and a case corresponding to the background condition supposed in the model calculations. All of the relative transformation rates vary significantly during the day. Their absolute maxima are at about noon when the $NO_2 + OH$ reaction dominates. A local maximum can be seen at about 6 o'clock p.m. when the reaction of N_2O_5 with water vapour takes over the main role in the nitric acid formation. The transformation rates in the three cases

differ from each other significantly during the time period studied. This fact proves that there is no linear relation between the absolute transformation rate and the nitrogen oxide concentration.

3. *Summary*

The calculations prove that the overall relative rate of nitric acid production varies in a wide range depending on the general composition of the atmosphere. It means that there is no linear relation between the rate of the nitric acid production and the nitrogen oxide concentration. The time dependence of the relative transformation rate is also significant. We have shown that the production rate and the concentration of nitric acid are influenced by hydrocarbon emissions. Therefore, we suggest that one cannot recommend an overall relative transformation rate for general use in the transport models of nitrogen compounds, at least for the case studies.

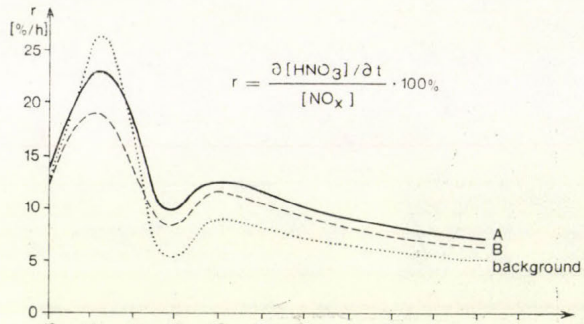


Fig. 6.: The overall relative reactio rate of the $NO_x \rightarrow HNO^3$ transformation for three specialcases

REFERENCES

Atkinson, R., Lloyd, A. C. and Winges, L., 1982: An updated chemical mechanism for hydrocarbon $(NO_x)SO_2$ photooxidations suitable for inclusion in atmospheric simulation models. *Atmospheric Environment 16*, 1341–1355.

Bérces, T., Haszpra, L., Mészáros, E. and Turányi, T., 1985: Légszennyező anyagok terjedésének és kémiai átalakulásának együttes tanulmányozása: primer szennyezőanyagok hatásának vizsgálata a levegő minőségére. KKKI–KLFI Kutatási jelentés a Környezetvédelmi Intézet számára.

Bónis, K., 1981: A nitrogénvegyületek légköri mérlege Magyarország fölött. *Időjárás 85*, 149–156.

Derwent, R. B. and Hov, Ø., 1979: Computer modelling studies of photochemical air pollution formation in North West Europe. *AERE-Report 9434.*

Derwent, R. G. and Hov, Ø., 1982: The potential for secondary pollutant formation in the atmospheric boundary layer in a high pressure situation over England. *Atmospheric Environment 16*, 655–665.

Eliassen, A., Hov, Ø., Isaksen, I. S. A., Saltbones, J. and Stordai, F., 1982: A Lagrangian long-range transport model with atmospheric boundary layer chemistry. *J. Applied Meteorology 21*, 1645–1661.

Hov, Ø., Isaksen, I. S. A. and Hesstvedt, E., 1978: Diurnal variations of ozone and other pollutants in an urban area. *Atmospheric Environment 12*, 2468–2479.

Pitts, J. N., Darnal, K., Carter, W. P. L., Winer, A. M. and Atkinson, R., 1979: Mechanism of photochemical reactions in urban air. *U. S. EPA-Report*, EPA-600/3–79–110.

Tille, K. J. W., Savelsberg, M. and Bächmann, K., 1985: Airborn measurements of nonmethane hydrocarbons over western Europe: vertical distributions, seasonal cycles of mixing ratios and source strengths. *Atmospheric Environment 19*, 1751–1760.

Várhelyi, G., 1982: On the atmospheric sulfur budget over Hungary. *Időjárás 86*, 333–337.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 90. évf. 6.szám, 1986. november-december
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 6. Nov-Dec. 1986. Budapest

Model calculation of hydrogen Balmer emissions in case of proton precipitation of different energy distribution

SRIVASTAVA, V. *and* VIR SINGH, *Department of Physics, University of Roorkee, Roorkee-247667, India*

A hidrogén különböző energia-eloszlású proton záporok alkalmával keletkező Balmer emissziójának modellszámítása. A szerzők a sarki fényben fellépő H_α és H_β térfogati emisszió sebességének tanulmányozására alkalmas elméleti modellt fejlesztettek ki. A H_α és H_β foton hasznosítási tényezőjét nem rég végzett keresztmetszet mérések eredményeiből vezették le. Az elsődleges proton fluxus értékeit is figyelembe véve így lehetővé vált az emisszió magasság szerinti eloszlásának meghatározása. A számított profilok jó egyezésben vannak a sarki fény alkalmával végzett megfigyelésekkel. A szerzők megvizsgálják a különböző fajtájú proton záporoknak az emisszió intenzitására (IH_α és IH_β) gyakorolt hatását és számításaikat régebbi elméleti modellek eredményeivel hasonlítják össze.

⁂

Model calculation of hydrogen Balmer emissions in case of proton precipitaiton of different energy distribution. A theoretical model is developed to study the H_α and H_β volume emission rates in proton auroras. The H_α and H_β photon yields are deduced by using recent experimental cross-sections. These photon yields are then used with the primary proton fluxes to get the altitude profiles of the emissions. The computed profiles agree well with the auroral measurements. The effects of various modes of proton precipitation on the emission intensities (IH_α and IH_β) are discussed and a comparison is made with the earlier theoretical models.

⁂

Introduction. The study of hydrogen emissions in auraras is very useful to understand the characteristics of precipitating protons. These emissions are the signature of direct interaction of protons with the earth's atmosphere. Precipitating protons have been extensively studied by the polar orbiting satellites. According to satellite observations the zones of hydrogen emissions are mainly the polar cusp and the auroral oval. The mode of precipitation is quite different in these two regions. The satellite observations have shown that the precipitation is normally soft in the cusp region (*Formissano* and *Domingo*, 1979; *Winningham* et al., 1977; *Frank*, 1971). On the other hand, the precipitation in the auroral oval (*Thomas*, 1980; *Cazes* and *Emerich*, 1980; *Levasseur* and *Blamont*, 1973) is rather moderate and in the polar cap absorption events the precipitation becomes very hard as reported by *Reagan* et al. (1972) and *Mizera* et al. (1972). In the light of these observations, one may therefore expect large variations in the emission intensities from the cusp to the oval.

Various theoretical models for hydrogen emissions have been published in the literature (*Edgar* et al., 1973; *Singh*, 1981a; *Rees*, 1982; *Van Zyl* et al., 1984). The model studies of *Edgar* et al. (1973) and *Singh* (1981a) predicted

only intergrated intensities. *Rees* (1982) has studied the altitude profiles of these emissions as well as the effects of changing proton fluxes on the emission intensities. He also calculated the photon yields (photon production/proton), and the intensity ratio IH_α/IH_β for H_α and H_β emissions and showed that the intensity ratio IH_α/IH_β increases with the increase of the average energy of protons in the Maxwellian distribution. Recently, *Van Zyl* et al. (1984) have studied these emissions for pure N_2 atmosphere. However, the H_α populations obtained by *Van Zyl* et al. (1984) and *Rees* (1982) are not in good agreement. The results of *Van Zyl* et al. (1984) are about a factor of 6 above the prediction of *Rees* (1982). In the model of *Van Zyl* et al. (1984) it is also found that the intensity ratio IH_α/IH_β is decreasing with the increase of the average energy of protons in the Maxwellian distribution. Thus, the predictions of the intensity ratio IH_α/IH_β given by the two models are contrary to each other and require further study. We therefore, present in this paper, another model to restudy these emissions.

In the present model, the energy deposition problem is treated in the framework of the continuous slowing down approximation (CSDA). The H_α and H_β photon yields are obtained using the recent cross-sections (*Van Zyl* and *Neumann*, 1980).

For the primary proton flux Maxwellian and power law distributions are considered. The photon yields are used with the primary proton fluxes to get the altitude profiles of these emissions. Effects of changing proton fluxes on the emission intensities are also discussed.

1. Description of the model

In this model, the computation of the volume emission rate is based on the continuous slowing down approximation (which assumes the replacement of discrete energy losses by a continuous function). In this approximation, the volume emission rate $V_i(h)$ at altitude h is given by

$$V_i(h) = \int_{E_t} \frac{d\Phi}{dE_i} dE_i \int_{\Omega} \frac{dJ_i[E(h)]}{dE(h)} \left(-\frac{dE(h)}{dx}\right) d\Omega \qquad (1)$$

where Ω is the solid angle, $\left(-\frac{dE}{dx}\right)$ is the stopping power and $\frac{d\Phi}{dE_i}$ is the initial differential proton flux outside the atmosphere. J_i is the photon yield of the exicted state for H_α or H_β emissions along the path of the incident proton (*Edgar* et al., 1975).

The incident proton interacts with the mixture of atmospheric gases mainly composed of N_2, O_2 and O. J_i is therefore, the net photon yield of the emission in the mixture of gases. The photon yield J_{ik} of the ith state in the kth gas is given by

TABLE I

Comparison of the predicted H_α photon yields (in photons proton) as a function of the energy of the primary H^+ incident on the atmosphere during proton aurorae

Energy in KeV	0.1	0.2	0.5	1.0	3.0	10.0	30.0	100.0
Present results	0.58	1.40	3.75	6.00	10.43	16.47	23.50	36.70
Van Zyl et al., 1984 for N_2	–	–	–	4.6	9.4	15.0	22.9	35.8
Rees, 1982	–	–	–	0.62	1.39	2.55	3.84	–

$$J_{ik}(E) = \int_{E_i^{th}}^{E} \frac{\sigma_{ik}(E')}{L(E')} dE' \qquad (2)$$

where σ_{ik} (E') is the energy dependent excitation cross-section in the kth gas, E_i^{th} is the threshold excitation energy of state i and L(E') is the loss function.

In order to evaluate J_i in the mixture of gases, we have first obtained the photon yield in air and then made a suitable correction to take into account the changes in the composition of air with height. The photon yield in the air can be obtained from the following expression

$$J_{air}(E) = \Sigma \Phi_k J_{ik}(E) \qquad (3)$$

In the above expression Φ_k is the fractional composition of the kth species in air. We have calculated $J_{ik}(E)$ for $E < 2000$ eV by using the cross section of *Van Zyl* and *Neumann* (1980) and the extrapolated loss functions for N_2 and O_2 of *Edgar* et al. (1973) and *Singh* (1981b) respectively. For $E \geq 2000$ eV J_{ik} (E) is taken as obtained by *Singh* (1981a). Using these values of J_{ik} (E) in equation (3), the values of J_{air} (E) for H_α and H_β emissions are calculated. The present H_α photon yields are compared with the available earlier results in *Table I*. It can be seen from the table that the present results are in good agreement with those of *Van Zyl* et al. (1984) above 1 KeV. Unfortunately, no results are available to compare the H_α photon yield below 1 KeV.

TABLE II.

Parameters of equations (4) *and* (5)

Parameters	H_α	H_β	Parameters	H_α	H_β
A	6.560	0.9399	r	1.0	1.0
B	1.617	0.1808	s	2.0	2.0
C	−3.700	−0.1200	E_a	0.65 keV	0.06 keV
D	0.333	0.00075	E_0	1.00 keV	1.0 keV
P	0.3638	0.4502	β	8.8×10^{-3} eV^{-1}	1.64×10^{-3} eV^{-1}
q	0.01127	0.1284	γ	−0.3	−0.082

To evaluate dJ/dE, occurring in equation (1), in a comfortable way, we have used the following analytical expressions (instead of eq. [3]) for J_{air} (E) which is obtained by fitting the results of equation (3),

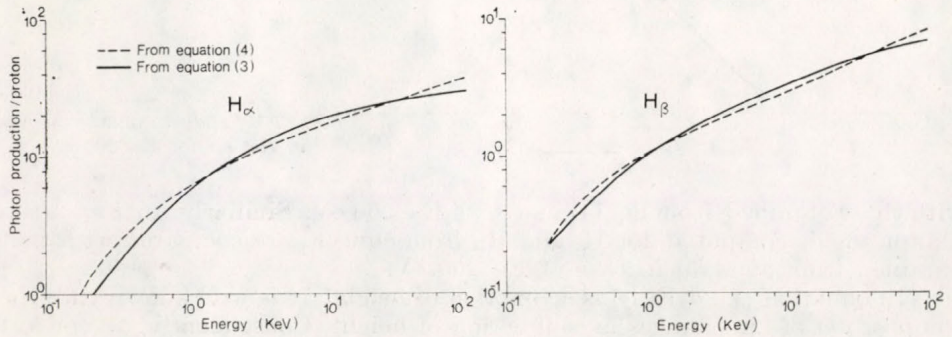


Fig. 1: H_α and H_β photon yields in the air for $E \geq 200$ eV

$$J_{air}(E) = A\left(\frac{E}{E_o}\right)^p + B\left(\frac{E}{E_o}\right)^q + C\left(\frac{E+E_a}{E_o}\right)^{-r} + D\left(\frac{E+E_a}{E_o}\right)^{-s}, E \geq 200\ eV \quad (4)$$

and

$$J_{air}(E) = \beta E + \gamma \qquad E < 200\ eV \quad (5)$$

The various parameters of equations (4) and (5) are listed in *Table II*. In *Fig. 1* the photon yields computed for H_α and H_β from eq. (3) are compared

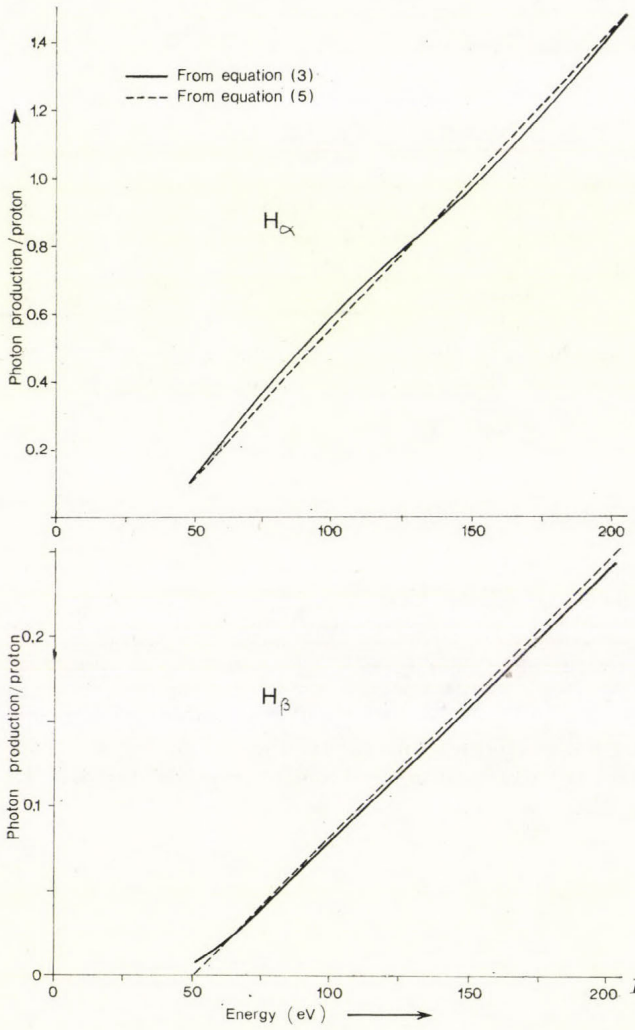


Fig. 2: H_α and H_β photon yields in the air for $E < 200$ eV

with those obtained from eq. (4) in case of $E \geq 200$ eV. Similarly, in *Fig. 2* the photon yields computed for H_α and H_β from eqn. (3) are compared with that obtained from eqn. (5) in case of $E < 200$ eV.

In equation (1), J[E(h)] is a function of height. It is well known that the composition of air changes as a function of height. Consequently, to convert $J_{air}(E)$ into J[E(h)] one should take into account the change of the air com-

position with height. It is evident from the atmosphere model of *Jacchia* (1971) that below 100 km the medium can be treated as air. However, above 100 km the percentage of N_2 and O_2 in air decreases and the percentage of atomic oxygen increases. Above 400 km, atomic oxygen becomes the major constituent of the medium. Taking into account these factors we have used the following relation between J[E(h)] and J_{air} (E)

$$J[E(h)] = F(h)\ J_{air}\ (E) \tag{6}$$

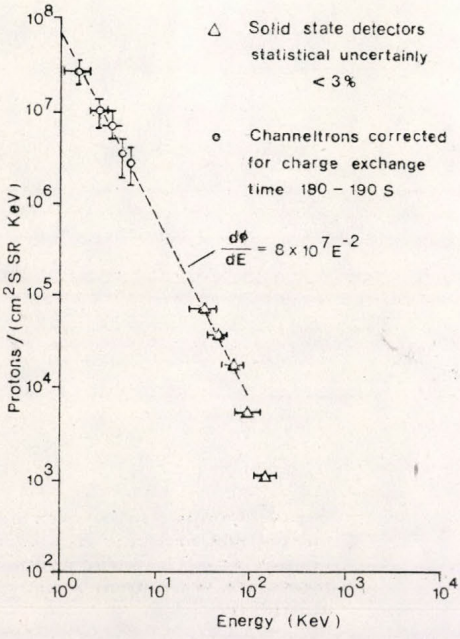


Fig. 3: Proton differential energy spectrum (*Soraas* et al., 1974).

with

$$F(h) = 1.0 \quad \text{for} \quad h < 100 \text{ km}$$

$$F(h) = 0.785 \exp[(100-h)/500] + 0.215 \exp[(100-h)/58]$$
$$\text{for } 100 \text{ km} \leq h \leq 400 \text{ km}$$

$$F(h) = 0.43 \quad \text{for} \quad h > 400 \text{ km}$$

The value of F(h) is taken as 0.43 above 400 km. This value of F(h) is obtained by using the cross-sections of *Edgar* et al. (1975). It is found that the photon yields in a medium composed only of atomic oxygen are about 0.43 of that of air. Consequently by using equations (4), (5) and (6), the following expressions are obtained for $\frac{dJ}{dE}[E(h)]$

$$\frac{dJ\ [E(h)]}{dE} = F(h)\left[\frac{ApE^{p-1}}{E_o^p} + \frac{BqE^{q-1}}{E_o^q} - \frac{Cr\ (E+E_a)^{-r-1}}{E_o^{-r}} - \frac{Ds(E+E_a)^{-s-1}}{E_o^{-s}}\right] \tag{7}$$
$$\text{for } E \geq 200 \text{ eV}$$

$$\frac{dJ\ [E(h)]}{dE} = \beta F(h) \qquad \text{for } E < 200 \text{ eV} \tag{8}$$

Comparison of the model and measurements. in this section we compare the results of altitude profiles (volume emission rates) obtained by using the model described in the previous section with the profiles measured by the rocket.

The method as developed by *Edgar* et al. (1975) is used to solve equation (1). The *Jacchia* (1971) model atmosphere is adopted at 1200°K exospheric temperature. We have taken the differential proton flux from the measurements of *Soraas* et al. (1974). This choice is made because these are the only available

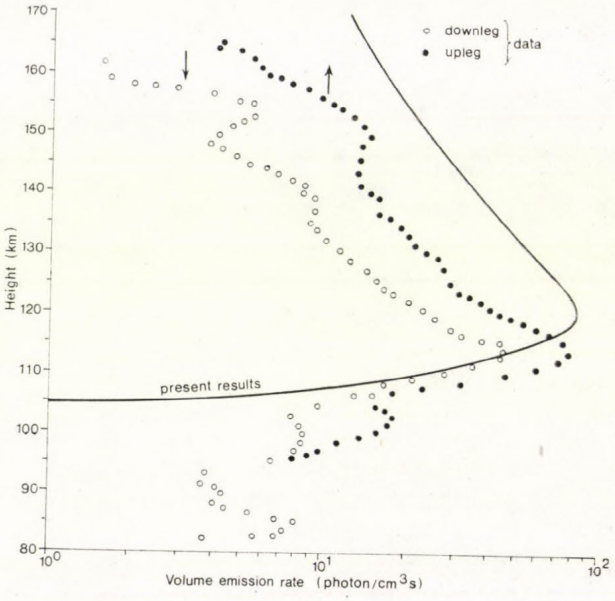


Fig. 4: Comparison between calculated and measured H_α volume emission rate. The rocket measurements are taken from *Soraas* et al., (1974)

simultaneous measurements of the proton flux and H_β altitude profiles. The following analytical form gives the best fit to the measured differential proton flux (See *Fig. 3*)

$$\frac{d\Phi}{dE} = 8 \times 10^7 E^{-2} \qquad (cm^{-2}\, s^{-1}\, sr^{-1}\, keV^{-1}) \qquad (9)$$

The comparison of the calculated H_β altitude profiles with the measurements of *Soraas* et al. (1974) is shown in *Fig. 4*. It can be noted from Fig. 4 that the agreement is fairly good. The maximum volume emission rate measured by the rocket is about 80 photons $cm^{-3}s^{-1}$ whereas the calculated maximum value is 82 photons $cm^{-3}s^{-1}$. Unfortunately, simultaneous measurements of H_α altitude profiles have not been reported in the literature so far. We therefore, are unable to compare the computed H_α altitude profiles with measured values. However, we have calculated the H_α and H_β intensities (IH_α and IH_β) and have found the intensity ratio (IH_α/IH_β). This ratio is about 5 which is in accordance with the auroral measurements. The effect of the changing proton fluxes on the altitude profile and on emission intensities will be discussed in the following section.

2. *Modes of proton precipitation*

Observations have shown large variations of the proton fluxes from event to event. The mode of precipitation is also not uniform over the whole polar region. Consequently, these variations may have strong bearing on the hydrogen emissions. One should therefore investigate the effect of the energy spectrum of the proton fluxes on the emission. In order to investigate these effects, the measured proton flux should be approximated by an appropriate distribution. The Maxwellian distribution has been used by many workers (*Belon* et al., 1966; *Singh* and *Gerard*, 1982; *Gerard* and *Singh*, 1982) to study the electron aurora. This distribution is a good approximation to the energy spectrum of electrons measured in the aurora. The Maxwellian distribution can only be a

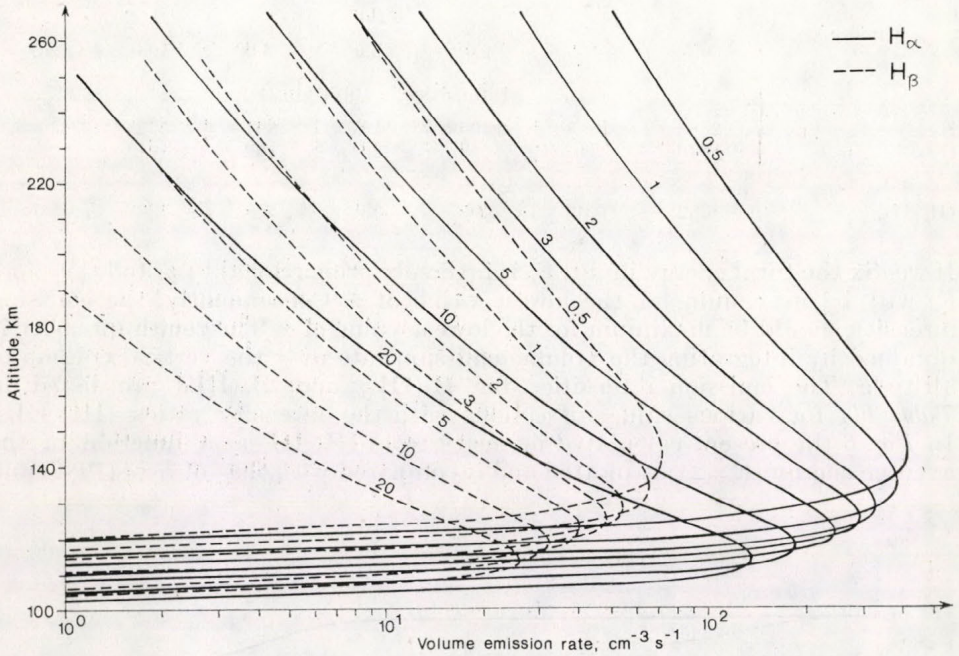


Fig. 5: H_α and H_β volume emission rates for the various values of α (KeV) for Maxwellian distribution

good approximation to the measured proton spectrum in the cusp region. In the auroral oval, the measured proton spectrum can be approximated by a power law distribution. The effect of these distributions are discussed below.

2a. *Maxwellian distribution*

The Maxwellian distribution of the protons outside the atmosphere is defined as

$$\frac{d\Phi}{dE} = F_0 \frac{E}{\alpha^2} \exp\left(\frac{-E}{\alpha}\right) \qquad \text{protons cm}^{-2}\text{s}^{-1}\,\text{eV}^{-1} \tag{10}$$

where F_o is the total particle flux and α determines the hardness of the spectrum. The average energy is $\bar{E} = 2\alpha$. For illustration purposes, we have adopted

values of α of 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 and 20 keV. In these model calculations, the total energy input is 1 erg cm^{-2} s^{-1}. *Fig. 5* show the H_α and H_β volume emission rates for these values of α. As α increases, the altitude of the maximum emission moves downward, since the high energy protons deposit most of their energy at lower altitudes. One can also notice from these figures that the relative brightness of the emission decreases as α increases. The fact can be explained on the basis of the total energy input.

According to equation (10), the total energy input is given by

$$\text{Total energy input} = 2\alpha F_0 \qquad (11)$$

TABLE III.

Intensities of H_α and H_β and ratio (IH_α/IH_β) for Maxwellian Distribution

Emission	α (keV)						
	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0	20.0
	Intensities in Rayleigh (R)						
H_α	2685	2088	1490	1187	891	572	366
H_β	446	346	249	201	153	101	66
IH_α/IH_β	6.02	6.03	5.98	5.9	5.8	5.66	5.54

If we fix the total energy input, F_0 is inversely proportional to α, and therefore F_0 will be maximum for the lowest value of α. Consequently, the emission intensity should be maximum for the lowest value of α. The zenith intensity is obtained by integrating the volume emission rate over the vertical column of altitude. The emission intensities for $H_\alpha(IH_\alpha)$ and $H_\beta(IH_\beta)$ are listed in *Table III* for various values of α along with the intensity ratios (IH_α/IH_β). In *Fig. 6* the present calculated intensity ratio IH_α/IH_β as a function of the average energy ($\bar{E} = 2\alpha$) is plotted and is compared with that of *Rees* (1982) and

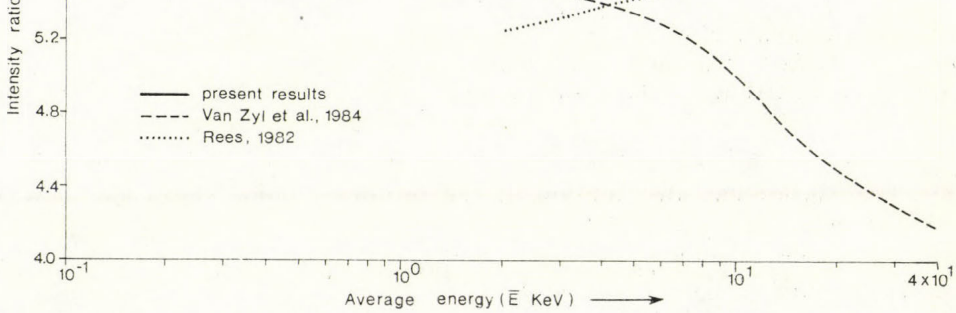


Fig. 6 : Predicted proton auroral intensity ratios for H_α and H_β emissions as a function of the average H^+ energy for a proton shower with Maxwellian distribution of primary H^+ energie.

Van Zyl et al. (1984). As can be seen, the present results are in good agreement with that of *Van Zyl* et al. (1984) at low $\bar{E}$. However, for higher values of $\bar{E}$, our results are somewhat higher than those of *Van Zyl* et al. (1984). According to *Van Zyl* et al. (1984) the intensity ratio IH_α/IH_β varies from 6 to 4 with the average energy whereas our results show the variation of intensity ratio IH_α/IH_β from 6 to 5. The increase of the intensity ratio IH_α/IH_β as predicted by *Rees* (1982) is rather surprising and is difficult to explain. On the basis of these results, we can put the upper limit of the ratio approximately 6, for the case of the cusp region where the energy of protons is less than 1 keV. Overall, we may expect a variation of IH_α/IH_β between 5 and 6 for a moderate proton aurora.

2b. *Power law distribution*

The power law distribution of protons outside the atmosphere is defined as

$$\frac{d\Phi}{dE} = AE^{-m} \qquad \text{protons cm}^{-2}\text{s}^{-1}\,\text{KeV}^{-1} \qquad (12)$$

where A and m are the constants required to fit the measured spectrum. The values of A and m may change from event to event. However, A is not involved directly in the integration and can be taken out from the integrand in equation (1). Only, m remains in the integrand. Therefore, the volume emission rates and intensities are described in terms of A. For illustration purposes, we have adopted for m the values 1.5, 1.8 and 2.0. *Fig. 7* show the H_α and H_β volume emission rates divided by A for these values of m. The low energy cutoff value of E in the spectrum is taken 1 keV. It is evident from the measurements (see introduction) that the low energy cutoff value in the spectrum varies from time to time. The importance of the low energy cutoff was first

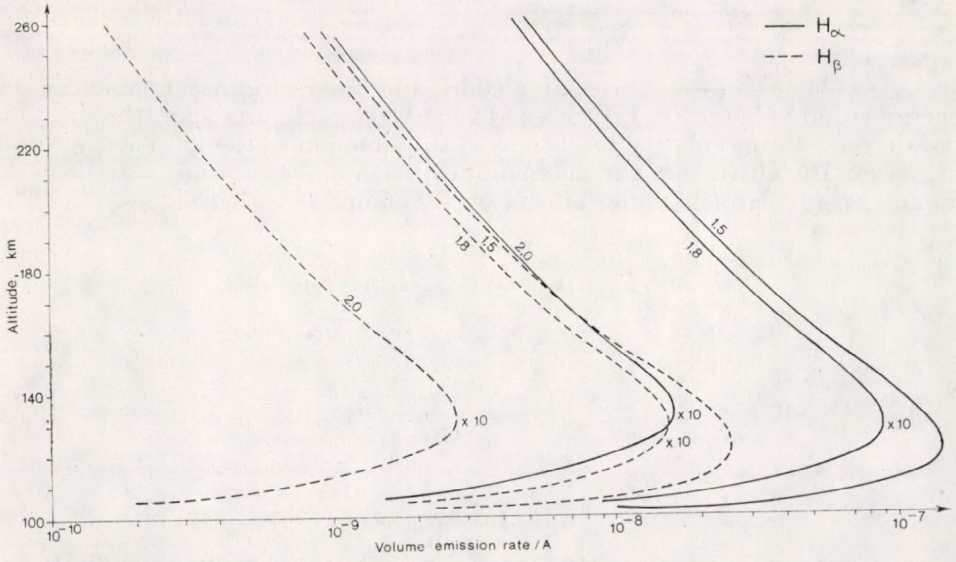


Fig. 7 : H_α and $H\beta$ volume emission rates/A for various values of m for a power law spectrum. The results for m = 2.0 and m = 1.8 are plotted after multiplying these by a factor of 10s The low energy cutoff value is 1 keV

pointed out by *Argemi* (1964) and subsequently, *Edgar* et al. (1975) studied these effects on atomic oxygen emissions. However, the low energy cutoff effects on hydrogen emissions have not been reported in the literature so far. In the present study we therefore, have performed calculations of volume emission rates for various values of the low energy cutoff. *Fig. 8.* shows the H_α

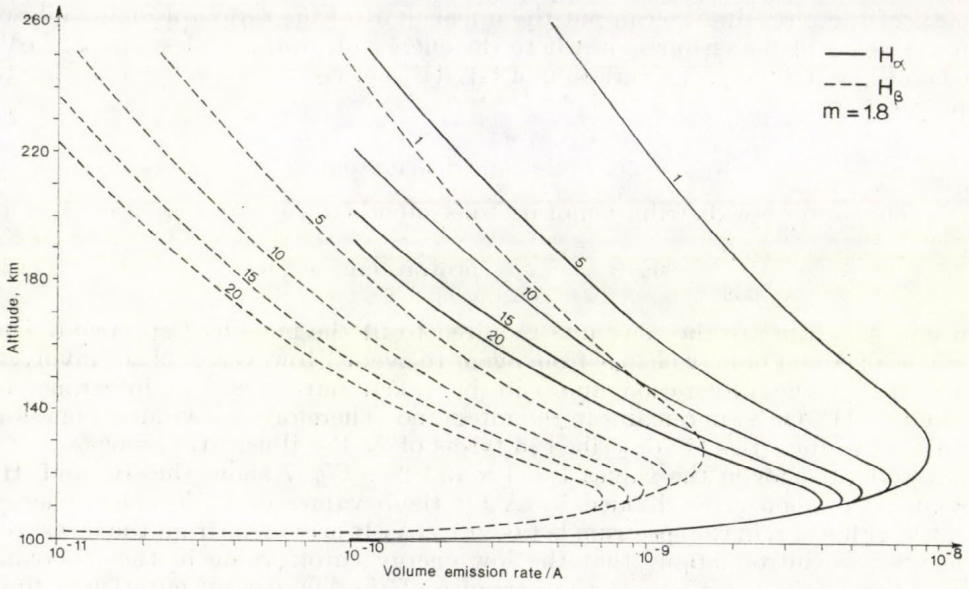


Fig. 8: H_α and H_β volume emission rates/A for the various values of low energy cutoff (E_{cu} t for a power law spectrum

and H_β volume emissiona rates divided by A for the case of m = 1.8 and the low energy cutoff values of 1, 5, 10, 15 and 20 keV. These figures show the substantial decrease in the relative brightness of the emission as the low energy cutoff increases. The altitude of the maximum emission moves upward with decreasing low energy cutoff. Similar effects are also found for other values of m. The

TABLE IV.

Intensity ratio (IH_α/IH_β) *for power law distribution*

m	E_{cut} (keV)				
	1*	5	10	15	20
	Intensities Ratio IH_α / IH_β				
2.0	5.8	5.5	5.1	5.09	5.0
1.8	5.8	5.4	5.2	5.1	5.1
1.5	5.5	5.3	5.1	5.0	4.9

(*E_{cut} is the low energy cut off)

ratio of the intensities (IH_α/IH_β) for various values of m is shown in *Table IV*. It is noticeable from the Table IV that the intensity ratio (IH_α/IH_β) is almost independent of m for fixed low energy cutoff of the spectrum.

3. *Conclusions*

The model described in this paper provides a very useful tool to calculate the volume emission rate profiles of hydrogen emissions. The calculations indicate that the emission intensities are quite sensitive to the mode of precipitation. For a soft precipitation, as observed in the cusp, the altitude of the maximum emission is higher than that in the auroral oval. The intensity ratio (IH_α/IH_β) is found to be decreasing with the average energy of protons in the Maxwellian distribution. According to the present results, the variation of IH_α/IH_β is found between 5 and 6 for a moderate proton aurora.

Acknowledgement. Thanks are due to Computer Centre, University of Roorkee for providing computational facilities.

REFERENCES

Argemi, I. H., 1964: An auroral luminous emission observed in the Antarctic during periods of PCA: The PCG (Polar Cap Glow). *Ann. Geophys. 20*, 273.

Belon, A. E., Romick, G. J. and *Rees, M. H.*, 1966: The energy spectrum of primary auroral electrons determined from auroral luminosity profiles. *Planet. Space Sci. 14*, 597.

Cazes, S. and *Emerich, C.*, 1980: Nonpermanent nighttime H lyman α emissions at low and middle latitude detected from D2A satellite, *J. Geophys. Res. 85*, 6049.

Edgar, B. C., Miller, W. T. and *Green, A. E. S.*, 1973: Energy deposition of protons in molecular nitrogen and applications to proton auroral phenomena. *J. Geophys. Res. 78*, 6595.

Edgar, B. C., Porter, H. S. and *Green, A. E. S.*, 1975: Proton energy deposition in molecular and atomic oxygen and applications to the polar cap. *Planet, Space Sci, 23*, 787.

Frank, L. A., 1971: Plasma in the Earth's polar magnetosphere, *J. Geophys. Res. 76*, 5202.

Formissano, V. and *Domingo, V.*, 1979: Energetic electrons in the cusp and in the high latitude plasma sheet: evidence for source regions. *Planet. Space Sci. 27*, 1478.

Gerard, J. C. and *Vir Singh*, 1982: Model of energy deposition of energetic electrons and EUV emission in the jovian and saturatian atmospheres. *J. Geophys. Res. 87*, 4525.

Jacchia, L. G., 1971: *Smithsonian report No. 332.*

Levassour, A. C. and *Blamont, J. E.*, 1973: Satellite observations of strong Balmer alpha atmospheric emissions around the magnetic equator, *J. Geophys. Res. 78*, 3881.

Mizera, P. F., Fennell, J. F. and *Blake, J. B.*, 1972: Polar cap measurements of solar-flare protons with energies down to 12.4 keV. *J. Geophys. Res. 77*, 4845.

Reagan, J. B., Ihm, W. I. and *Gaines, E. E.*, 1972: Solar Particle Event of November 1969 (Ed. J. C. Ulwick). Proc. COSPAS Symp. *AFCRL Rept. 72–0474*, 141.

Rees, M. H., 1982: On the interaction of auroral protons with the earths atmosphere. *Planet. Space Sci. 30*, 463.

Singh, V., 1981a: Model calculation of hydrogen emissions in the polar cusp. *Ann. Geophys. 2*, 281.

Singh, V., 1981b: Energy loss of protons in the molecular oxygen. *Planet. Space Sci. 29*, 261.

Singh, V. and *Gerard, J. C.*, 1982: The thermospheric heating efficiency under electron precipitation conditions. *Planet. Space Sci. 30*, 1083.

Soraas, F., Lindalen, H. R., Maseide, K., Egeland, A., Sten, T. A. and *Evans, D. S.*, 1974: Protons precipitation and the H emission in a postbreakup auroral glow. *J. Geophys. Res. 79*, 1851.

Thomas, G. E., 1980: An anomalous low-latitude phenomenon observed by OGO 6UV photometer between 400 and 800 km. *J. Geophys. 85*, 6055.

Van Zyl, B. and *Neumann, H.*, 1980: H_α and H_β emission cross-sections for low energy H and H^+ collisions with N_2 and O_2. *J. Geophys. Res. 85*, 6006.

Van Zyl, B., Gealy, M. W$_2$ and *Neumann, H.*, 1984: Prediction of photon yields for proton aurorae in an N_2 atmosphere. *J. Geophys. Res. 89*, 1701.

Winningham, J. D., Speiser, T. W., Hones, E. W., Jeffries, R. A., Roach, W. H., Evans, D. S. and *Stenback-Nielsen, H. C.*, 1977: Rocket-borne measurements of the dayside cleft plasma. *J. Geophys. Res. 82*, 19876.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 90. évf. 6. szám, 1986. november-december
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 6. Nov-Dec 1986. Budapest

Meteorological aspects of acute cerebrovascular diseases

BARTHOLY J., *Central Meteorological Institute, H-1525 Budapest, POB 38. Hungary,*
KELLER L.,, *István-Hospital, H-1476 Budapest, POB 10. Hungary*

Acut cerebrovascularis megbetegedések meteorológiai összefüggései. A Fővárosi István Kórház I. Belgyógyászati Osztályán 8 belosztály kooperatív munkájaként három és negyed éven át összesen 1617 betegben regisztrálták a heveny agyi vasculáris megbetegedések különböző klinikai és epidemiológiai sajátosságaira – köztük a megbetegedések időpontjára – vonatkozó adatokat (*Keller* és *Fischer*, 1984). Ezek felhasználásával végeztük vizsgálatainkat, melyeknek célja az időjárás és az agyi vasculáris történések esetleges összefüggéseinek feltárása, s ezen belül az acut cerebrovasculáris kórképek előfordulásával legintenzívebb kapcsolatot mutató meteorológiai állapotjelzők megkeresése volt. E program végrehajtása során (a) 9 meteorológiai változóból kiválasztottuk az agyi megbetegedésektől közel független paramétereket (χ^2-próbás függetlenségvizsgálattal) és kizártuk ezeket a további vizsgálatokból; (b) elemeztük az agyi megbetegedések szempontjából nagyon aktív napok (4 vagy több agyi történés a minta egy napján) alakulását; (c) meghatároztuk az időjárási jellemzők extrém viselkedésének valószínűségét a nagyon aktív napokon; (d) megvizsgáltuk a különböző meteorológiai paraméterek együttes eloszlásait a napi megbetegedésszám függvényében; (e) összefüggéseket kerestünk a megbetegedések előfordulása és a felléptüket közvetlenül megelőző, valamint követő időintervallumok időjárási paraméterei között.

⁂

Meteorological aspects of acute cerebrovascular diseases. At the Ist Medical Department of the István City-Hospital, Budapest, the dates, circumtances and course of incidences of cerebrovascular diseases had been recorded for three and a quarter years (Keller at al., 1984). These data (altogether 1617 cases) were used for the researches presented in the paper. The aim of the investigations is to reveal the relationship between weather and the cerebral processes as well as to find out the meteorological characteristics having the most intensive impact on acute cerebrovascular diseases. In the investigations the selection of meteorological parameters (daily range of temperature, relative humidity, daily variations of pressure, duration of sunshine, etc.) was carried out and the intensity of their effect studied: (a) the meteorological parameters having practically no effect on cerebral diseases were separated (by χ^2 independence test) and excluded from further analysis; (b) the annual courses of days very active regarding cerebral diseases were analysed; (c) the conditional probability of the extreme behaviour of climatic characteristics on days very active regarding cerebral diseases was determined; (d) the daily incidence rate was studied as a function of the joint distribution of different meteorological parameters; (e) retarded interactions between the incidences and meteorological parameters were searched for.

⁂

Meteorologische Zusammenhänge der acuten cerebrovascularen Erkrankungen. Auf der I. Innermedizinischen Abteilung des Budapester Krankenhauses „István" hat man 3 und ein Viertel Jahre lang die Zeitpunkte, Umstände und Abgänge der zerebrovaskulären Erkrankungen betreffenden Angaben (*Keller* at al., 1984) registriert (insgesamt 1617 Kranke). Wir haben unsere Untersuchungen auf Grund dieser Angaben gemacht. Das Ziel unserer Forschungen ist die Zusammenhänge der Witterung und der Geschehnisse der zerebralen Abläufe zu erforschen, und die meteorologische Parameter zu finden, deren Wirkung auf die akuten zerebrovaskularen Erkrankungen am intensivsten ist. In unseren

Untersuchungen haben wir die Selektion Wirkungsintensität der meteorologischen Parameter (tägliche Temperaturschwankung, relative Feuchtigkeit, tägliche Luftdrucksveränderung, tägliche Sonnenscheindauer) studiert: (a) Wir haben die, von den zerebralen Erkrankungen fast unabhängigen meteorologischen Parameter ausgewählt (χ^2-Unabhängigkeitstest) und wir haben sie von den weiteren Untersuchungen ausgeschlossen. (b) Wir haben den jährlichen Gang der zerebralen Erkrankungen aus dem Gesichtspunkt der aktivsten Tage analysiert. (c) Wir haben die konditionalen Wahrscheinlichkeiten der extremen Verhaltung der klimatologischen Charakteristik auf den, aus dem Gesichtspunkt der zerebrovaskulären Erkrankungen an aktivsten Tagen determiniert. (d) Wir haben die gleichmässigen Verteilungen der verschiedenen meteorologischen Parameter in Zusammenhang mit der täglicher Zahl der Erkrankungen untersucht. (e) Wir haben retardierte (in Zeit verschobene) Zusammenhänge zwischen den Erkrankungen und den Witterungsparameter gesucht.

⁂

Introduction. The influence of changes in atmospheric condition on cerebrovascular and cardiovascular diseases has been recognized for many years. *Hansen* (1970) investigated the relation between barometric pressure and the incidence of peripheral arterial embolism. He shows, that the velocity of the changes in barometric pressure is really an important factor, and the maximum rate of change is more important than the mean rate of change. *Brezowsky* (1965/a, b) found a connection between myocardial infarction and the changes in air masses. *Bokonjić* and *Zec* (1968) found a certain parallellism between changes in atmospheric pressure, air temperature, air humidity and the development of trombosis and embolism. In our inversigation we concentrated on the cerebrovascular processes and we used more meteorological parameters then *Hansen* (1970), the results of his and our work are in a very good agreement.

Data basis

Our data basis consists of two parts: of medical data on the one hand and of meteorological ones, on the other. The medical data were collected in the Ist Medical Department of the István City-Hospital, Budapest. In this department and in eight other medical department during the period from 1 October 1973 to 31 December 1976 detailed case studies of patients afflicted with acute cerebrovascular diseases were carried out. Using a questionnaire for each patient data sets suitable for computer processing were compiled. From these sets the exact dates and the number of incidences were used for our researches. The meteorological data for the whole period of the medical observations were assembled in the Computer Centre and Archive of the Central Meteorological Institute of the Hungarian Meteorological Service. We collect from the Archive all the available meteorological parameters supposed to may have an impact on cerebral diseases were taken into consideration. Such parameters were: cloudiness, relative humidity of the air, daily maximum and minimum temperature, daily precipitation amount, sunshine duration, daily mean temperature, daily variations of air pressure and daily range of temperature. The data were analyzed after having transferred them to computer data carriers.

Selection and filtration of the meteorological parameters, examination of the intensity of their effects

It was intended to filter out the meteorological parameters the distribution of which in time is almost independent of the distribution of cerebral diseases. This examination was carried out using the χ^2 independence test known from

mathematical statistics. The approach itself will not be described here (*Prékopa*, 1972) only the formula for estimating the degree of dependence is given below.

Let A and B be the probability variables represented by whole systems of incidences A_i and B_j ($i=1, 2, \ldots, r$ and $j=1, 2, \ldots, s$) the dependence or independence of which is to be studied. For the empirical estimation of the dependence the formula

$$F = \frac{\chi^2}{n\,(q-1)}$$

was used (*Prékopa*, 1972) where n is the volume of the sample and $q = \min(r, s)$. F varies within the interval [0,1]; 0 denoting the complete independence of both variables and 1: their dependence. In our investigations variables A and B were the frequencies of cerebral diseases and of the meteorological parameters, respectively. The whole systems of occurrences A_i and B_j were defined as follows:

A_i – one day i incidences occured, i being 0, 1, ..., 6, 7. (During the whole observation period more than 7 incidences per day did not occur),

B_j – on the analized day the value of the given meteorological parameter fell into category j.

Five categories were determined with the prerequisit that the values should belong to them with equal probability, i. e., $p=0.2$ in each case. The limits of the categories are the quintiles known from mathematical statitics. The average values, the values somewhat higher and lower then average and those considerably higher and lower than average, respectively, are divided into the 5 categories.

For calculating the value F representing the degree of independence, so called contingence tables were compiled and on the basis of the aforesaid the values $r=8$, $s=5$, $q=5$, $n=1200$ were used in the above formula. This approach permitted to exclude from further analyses the meteorological characteristics being almost independent of the diseases. The following 5 parameters were excluded: sunshine duration, daily mean temperature, daily maximum and minimum temperatures and daily precipitation amount.

Analysis of the significant behaviour of meteorological parameters on days with high incidence rate

During the 1200-day period intogether 1617 incidences of cerebrovascular incidents occurred (with the following distribution: thrombosis cerebri – 1050, embolia cerebri – 95, haemorrhagia cerebri – 193, haemorrhagi subarachnoidealis – 43, transiens ischaemias attack – 236 case). That means the on the average there is hardly more than 1 new patient per day. Analysing the sample it can be stated that:

- the rate of the daily incidences has a considerable fluctuation, i.e. generally not 1 or 2, but often 0 or 3, 4, 5 even 6, 7 incidences occur, on the one hand, and
- the frequency of incidences is not equal in the different seasons and months, on the other hand.

In our sample the days with 4 or more incidences were regarded as *very active*. Altogether 78 such days were found. The monthly frequency of the very active days were calculated and its annual course plotted (*Fig. 1*). It can be

seen that the histogram has maxima in January, April, July and November. Thus these months are the most dangerous for persons inclined to cerebrovascular diseases.

It was supposed that the incidence rate increased on certain days not randomly but in connection with meteorological processes. In order to prove the hypothesis it was examined whether on the very active days the meteorological parameters behave as usual (according to the given season, month) or show a significant deviation in some direction. For this purpose the quintiles

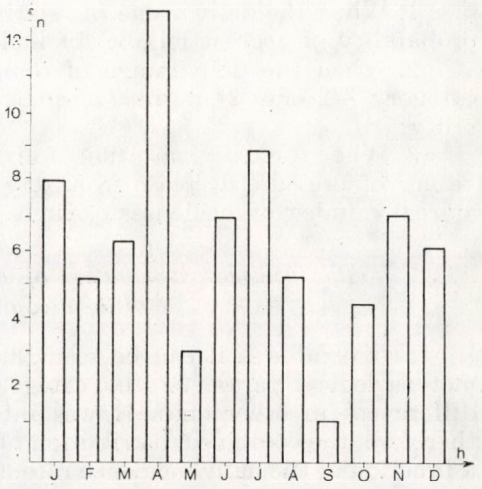


Fig. 1 Annual distribution of the *very active days* (a day is regarded as very active if in our sample 4 or more incidences of cerebrovascular diseases occur on this day). n = the number of incidences

of the 4 meteorological parameters were used (*Prékopa*, 1972). The four quintiles of a parameter for a given month delimit the five intervals, into any of which the studied meteorological parameter falls with equal probability. These intervals were denoted as categories -2, -1, 0, $+1$, $+2$, since they expressively show the average character or the degree and direction of the deviation.

After having ranged the meteorological characteristics of the very active days into categories, according to our expectation, not a smooth distribution was received. In *Table I* the probabilities of the 4 analyzed parameters are indicated by categories, The values contained in the table show with how high

TABLE I

Probabilities of different weather parameters by categories (i.e. the probability that on very active days the values of the given meteorological parameter fall into the different categories)

Categories	Weather parameters			
	Relative humidity	Daily range of temperature	Daily variations of air pressure	Cloudiness
-2	**0.29**	**0.29**	**0.37**	**0.35**
-1	0.21	0.07	**0.21**	0.20
0	0.14	0.11	**0.21**	0.06
1	0.21	0.19	0.06	0.12
2	0.15	**0.34**	0.15	**0.27**

probability the different meteorological parameters fall into one of the 5 categories. It is strinking that, though almost all the elements behave in different ways, their distribution is not smooth in any case and days of average category (0) do not occur with high probability for any of them, except air pressure.

That means that on very active days rather an extreme than average behaviour of the meteorological parameters dominates. In the tables the values with probability higher than average are printed with thick line.

On the basis of Table I and Fig. 2 the following conclusions can be drawn:

1. When the daily value of relative humidity falls into category —2, the probability of a great number of incidences is the highest;

2. When the daily range of temperature or cloudiness are extreme (of category -2 or $+2$), a great number of incidences occurres with high probability;

3. When the daily variation of air pressure is negative or close to 0, i.e. the values of pressure decrease from day to day or do not change considerably, a great number of incidences occurres on that day with great probability.

The complex distribution of weather parameters as a function of the daily incidence rate

From Table I. it can be seen that the course of probability of different meteorological parameters by categories shows similarity in some cases and differences in other ones. It was intended to find out these relations and, therefore, the combined distribution of meteorological, elements was studied as a function of the daily incidence rate. Out of the combined distributions of two different parameters the most meaningful and the best interpretable one is that of the daily range of temperature and cloudiness, thus here only this distribution is presented. In this case each day of the whole data set was taken

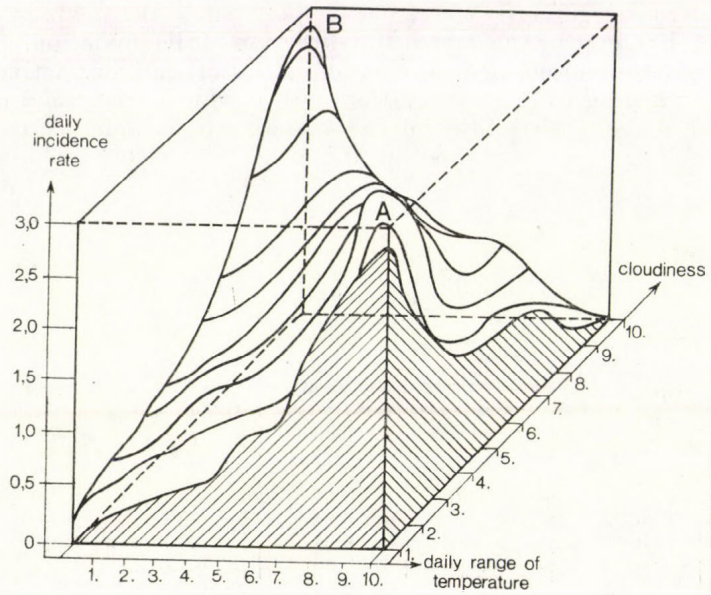


Fig. 2 A 3 D surface representing the average daily incidence rate belonging to the twin values of daily range of temperature and cloudiness

into consideration, not only the days very active regarding the incidence rate. Due to the great number of cases and in order to reach higher accuracy a finer division was applied and from quintiles we turned to deciles. For the whole time series the deciles of both weather parameters, the 2×10 intervals determined by the deciles as well as the table of 10×10 complex distributions were calculated.

The average daily incidence rates belonging to the twin intervals are presented in *Fig. 2*. In the 3 D figure on the surface representing the distribution of the average daily incidence rate the isolines of cloudiness deciles were plotted (10 lines). The 3 coordinates of the grid-points are the deciles of the two meteorological parameters and the corresponding average daily incidence rate. It can be seen that between the two opposite vertices A and B of the covering surface of the cube there is a ridge the two peaks of which are near the vertices A and B. This means that the highest average daily incidence rates are connected with low values of daily range of temperature and high values of cloudiness as well as with high values of daily range of temperature and low values of cloudiness, respectively. This can be explained by the following considerations:

- Small daily range of temperature and high values of cloudiness often accompany strong cyclonic activity being a phenomenon dangerous from the point of view of the analyzed diseases, as shown also by the results of other analyses. We can found this result by other authors too – for instance: by *Hansen* (1970).
- In the case of considerable daily range of temperature and small cloud amounts a temperature change (e.g. in summer daily 14 – 16°C) itself can shatter the organism inclined to cerebrovascular diseases.

Analysis of relations retarded (shifted) in time

In the course of our study the question arose that we might make a mistake (and loose some important relations) by comparing the daily incidence rate with the characteristics determining the weather of only the *given day*, since it can be supposed that the reaction of the organism proceeds not so directly (e.g. in the case of a significant decrease of pressure stroke can supervene eventually not on the same day but only the second or third one). In addition, from the occurrence of the disease up to the moment when the patient is transported to the hospital, often considerable time can pass.

Therefore, in the course of further researches, in addition to the day with high incidence rate, the meteorological parameters of the preceding and following three days were also taken into consideration. The number of the very active days during the whole analyzed period was 78. In order to be able to decide whether the meteorological characteristics of the shifted days are extreme or not, for all the four meteorological elements the 78 extreme days corresponding to the significance level of 78 were determined. Then the very active days were shifted by $+3$, $+2$, $+1$, 0, -1, -2, -3 days and it was examined, in how many cases they coincide with the days of extreme values of different meteorological parameters. The numbers of such cases are given in *Table II* for each meteorological element. The table is remarkable itself, but the analysis is more correct if the values are compared with the mathematical probabilities of the random coincidences.

TABLE II

The overlapping of the very active days and of the extreme values of the four meteorological parameters in case of shifting by +3, +2, ..., −3 days. (The activity of the day *preceding* the cloudy, humidity etc. day by +3, +2, +1 day and *following* it by −1, −2, −3 days)

Meteorological parameters	The measure of the shifting (day)						
	+3	+2	+1	0	−1	−2	−3
Daily range of temperature	2	3	4	6	6	4	1
Relative humidity	2	3	2	6	5	5	3
Cloudiness	5	5	7	7	6	6	5
Daily variations of air pressure	2	3	5	5	4	6	6

The exact definition of the arising probability (or rather combinatorial) problem is as follows:

With how high probability (p) during a given period of N days from among k days *randomly* selected two times, exactly *n are equal?*

(With the random selection in our case the relation between the weather extremes and the high incidence rate is excluded since in this way we receive the mathematical probability of random coincidences.)

The problem was solved in general in the following closed form:

$$p = \frac{\binom{k}{n}\binom{N-k}{k-n}}{\binom{N}{k}}$$

In our case $N = 1200$ is the whole length of the sample and $k = 78$ the number of very active days of our sample. The probability values were calculated for $n = 0, 1, \ldots, 7, 8$, since in Table II there is no overlapping value higher than 8.

The curve of the probabilities is shown in *Fig. 3.* The curve has its maximum at the 4-day overlapping. Comparing the curve to Table II we can see that —would the extreme behaviour of the given meteorological parameter and the cerebral incidences be independent happenings— the overlapping figures 3 and 4 would have been regarded as the most frequent ones. Their frequencies are, however, small and at the same time frequent are the values 2, 5, 6 having small mathematical probability.

The table proves that the mentioned events are not independent or, more exactly, the extreme behaviour of the 4 analyzed meteorological parameters

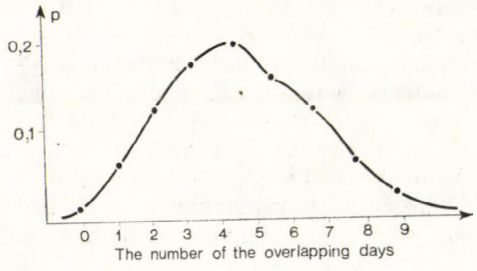


Fig. 3 The probabilities that out of the whole time series ($N = 1200$ days) from 78 days selected randomly two times, there are exactly n overlapping days ($0 \leq n \leq 8$).

implies the cerebral diseases, but not to an equal degree and with some shifting in time.

Considering the aforesaid in conclusion the following remarks can be made:

1. Out of the four meteorological parameters the days with extreme cloudiness or the periods preceding and following them by 1, 2, 3 days coincide with the very active days with the highest probability.

2. On the days with considerable daily range of temperature and relative humidity as well as on the 1st and 2nd following days very active days occure with great probability.

3. On the 2nd and 3rd day preceding a day with great negative pressure change as well as on the 1st and 2nd day following a day with great positive pressure change the probability of a very active day is great.

Summerise our results

In our investigations we intended to reveal the relationship between weather and the cerebrovascular processes as well as to find out those meteorological characteristics having the most intensive connection with acute cerebrovascular diseases.

Our results didn't give any statement contradictory to that of the abovementioned works of *Hansen* (1970), *Brezowsky* (1965/a, b), *Bokonjić* and *Zec* (1968). The results regarding the common object of their and our investigation are in very good agreement. We wanted to take as much aspects into consideration as it was possible, for instance: joint distribution of different meteorological parameters and time shifted interactions between the incidences and the meteorological parameters.

We were able to find some relationship between a certain number of meteorological parameters and the occurrence of cerebrovascular diseases. In some cases the connection proved to be stronger namely when instead of one single parameter we take into accounte simultaneously two meteorological characteristics. On the basis of this investigation we believe that a further research —using other weather parameters or their combination as well as macrosynoptic types— would be promising. We found that:

1. The daily sunshine duration, the daily mean temperature, the daily maximum and minimum temperatures and the daily precipitation amount were mostly independent of the cerebrovascular diseases.

2. The probability of the occurence of stroke proved to be higher:
   a) in the months January, April, July and November,
   b) when the air pressure decreases from one day to the other,
   c) when the daily range of temperature is extreme (high or low),
   d) when small daily range of temperature and high values of cloudiness is accompained by strong cyclonic activity,
   e) when small cloud amount is accompained by big temperature changes (this is an especially strong relationship).

3. By in *time shifted* relations:
   a) on the 1st and on the 2nd *following* days with great daily range of temperature and relative humidity,
   b) on the 2nd and 3rd day *preceding* a day with great negative pressure changes

the occurance of cerebrovascular diseases has higher probability than usual.

REFERENCES

Bokonjić, R. and *Zec. N.*, 1968: Strokes and the weather a quantitative statistical study. *Journal of Neurol. Sci. 6.*, 483–491.

Brezowsky, H., 1965a: Die Abhängigkeit des Herzinfarkts von Klima, Wetter und Jahreszeit, *Arch. Kreisl. – Forsch. 47*, 159–188.

Brezowsky, H., 1965b: Über die Abhängigkeit physiologischer Messwerte von Wettervorgangen, Int. *Journal of Biometeor. 9*, 253–259.

Hansen, J. B., 1970: The relation between barometric pressure and the incidence of Peripheral Arterial Embolism. *Int. Journal of Biometeor. 14*, 391–397.

Haufe, W. O., 1976: Development and Application of Biometeorology. *Int. Journal of Biometeor. 20.* 92–96.

Keller, L. – Fischer, J., 1984: Heveny cerebrovascularis kórképek néhány klinikai-epidemiológiai sajátosságának vizsgálata. (A cooperative study on some clinicalepidemiological characteristics of acute cerebrovascular diseases.) *Orvosi Hetilap 125*, 1429–1437.

Prékopa, A., 1972: *Valószínűségelmélet műszaki alkalmazásokkal.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

Prohaska, F., 1967: Climatic Classification and their Terminology. *Int. Journal of Biometeor. 11.* 1–3.

Tromp, S. W., 1963: *Medical Biometeorology.* Weather, Climate and the Living Organism. Elsevier Publ. Comp., Amsterdam, p. 574.

Weihe, W. H., 1976: The Application of Meteorology in Medical Sciences. *Int. Journal of Biometeor. 20.* 157–165.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 90. évf. 6. szám, 1986. november-december
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 6. Nov-Dec. 1986. Budapest

A talaj hőforgalmának évi menete Újvidéken

ÁCS FERENC és MIHAILOVIĆ T. DRAGUTIN, *Újvidéki Egyetem, Mezőgazdasági Kar, Meteorológiai Osztálya, Veljka Vlahovica 2., 21000 Novi Sad Yugoslavia*

The annual course of heat exchange in the soil in Novi Sad. A short analyse was presented of the annual course of heat exchange in the soil in Novi Sad. The 10 days and monthly mean of daily values of heat exchange in soil and its heat storage and conductivity term was estimated. It was related to the difficulties derived from the absence of the soil moisture data necessary to the final calculations. Eliminating the difficulties, an acceptable result was established and the dominant being of the heat conductivity term in the annual course of heat exchange in soil.

⚹

A talaj hőforgalmának évi menete Újvidéken. A szerző elvégezte a talajhőforgalom évi menetének rövid elemzését Újvidéken. A talajhőforgalom s annak hőtartalomváltozási és hővezetési tagjai napi értékeinek dekád és havi átlagát számítással határozta meg. Közben utalt a számítások következetes elvégzéséhez szükséges talajnedvességi adatok hiányából eredő nehézségekre is. Ezek kiküszöbölésével megállapította a kapott eredmények elfogadhatóságát, valamint a talajhőforgalom évi menetében a hővezetési tag domináns voltát.

⚹

A talajfelszín hőmérlegének pontos meghatározásához nélkülözhetetlen a talaj hőelvezetési tényezőjének ismerete. Ez feltételezi a talaj hőforgalma átlagos és extrém értékeinek felbecslését, valamint időbeli változásainak leírását.

Ezen mennyiségek meghatározhatók teljes egészében műszeres méréssel, vagy a műszeres mérések és a számítások kombinálásával. Műszerállomány hiányában az utóbbi módszer kerül előtérbe, ehhez nélkülözhetetlen a talajhőmérséklet és a talajnedvesség mélység szerinti és időbeli változásainak folyamatos követése.

Éghajlati kutatásokban majdnem teljes egészében méréssel kombinált számítási eljárásokat alkalmaznak. Ezek következetes használata is számtalan nehézségbe ütközik. Használhatóságukat leginkább a talajhőmérséklet vagy nedvesség hiányzó, vagy nem folytonos adatsorai szabják meg.

Újvidéken 1954 óta folyamatosan mérik a talajhőmérsékletet, így az 1954—1981. évi periódusra vonatkozó adatsor megbízható és használható. Ugyanebben a periódusban a megfigyelő állomáson talajnedvesség-észleléseket nem végeztek, csak az utóbbi évek vegetációs periódusában történtek mérések, búzával és kukoricával beültetett talajon. A talajnedvességi adatokat részlegesen pótoltuk az 1981—1984. évi periódusban végrehajtott terepklimatológiai méréseinkből. E mérések alkalmával a talajmintákat május 10-től október 1-ig tartó időszakban vettük, átlagban tíznaponként, 10 cm-enként 1 m-es mélységig. Az október 1-től május 10-ig tartó időszak talajnedvesség-adatainak hiányát szubjektív becsléssel pótoltuk talajhőforgalmi vizsgálataink alapján.

Számítások során a talajhőmérsékleti adatok a hőforgalom, míg a talajnedvességi adatok az egyes talajfizikai jellemzők mélység szerinti változásainak meghatározására szolgáltak. A számítások a dél-bácskai löszterasz gyengén karbonátos csernozjom talajára vonatkoznak, melyek szerkezetét és talajfizikai jellemzőit *Ács* és *Mihailović* (1983) ismertették.

Számítási módszerek

1. A talaj hőforgalma napi értékeinek számítására széleskörűen alkalmazható *Versinyin* (1959) képlete:

$$B = C \cdot Z \cdot \Delta T + \lambda_Z \cdot \left.\frac{dT}{dz}\right|_Z \tag{1}$$

ahol:

Z a felszíni talajréteg vastagsága. Ennek nagysága megegyezik azzal a mélységgel, amelyen a napi hőmérsékleti ingások már elhanyagolhatók. Az adott talajfajtára vonatkozó megfigyelések alapján e mélység nagysága 30 cm,

C a Z vastagságú talajszelvény átlagos (térfogatos) hőkapacitása,

ΔT a Z vastagságú talajszelvény egységnyi idő alatt történő átlagos hőmérséklet-változása,

$\left.\frac{dT}{dz}\right|_Z$ a hőmérsékleti gradiens nagysága Z mélységben,

λ_Z a hővezetőképesség nagysága Z mélységben.

A hőkapacitás a talajnedvesség függvényében *Lehtveer* és *Int* (1977) nyomán következő alakú:

$$C = \varrho \cdot \left(c + 4.187 \cdot \frac{W}{100}\right) \tag{2}$$

ahol:

ϱ a talaj sűrűsége, az adott talajfajtára vonatkozó értéke 1,29 gr cm^{-3} (*Živković*, 1972),

c a talaj fajhője, az adott talajfajtára vonatkozó értéke 0,84 J gr^{-1} C^{-1},

W a talajnedvesség tartalma száraz talajsúly százalékban.

A hővezetőképesség nagysága

$$\lambda = K \cdot C \tag{3}$$

ahol:

K a talaj hőmérséklet-vezető képessége 30 cm-es mélységben, felbecsült értéke az adott talajfajtára *Ács* és *Mihailović* (1983) nyomán $5 \cdot 10^{-3}$ cm^2 s^{-1}.

E módszer pontosságát és használhatóságát a felszíni talajrétegre vonatkozó hőmérsékletadatok száma szabja meg. A hőmérsékletadatok számának csökkenésével a módszer pontossága csökken, ezért ezen esetekben más módszerek használata célszerű.

2. Egy számítási módszert *Orlenko* (1957) javasolt:

$$B = \alpha \cdot (T_0 - T_\infty) + \beta \cdot \frac{\partial T_0}{\partial t} \tag{4}$$

ahol:

T_0 a talajfelszín hőmérséklete. Ennek hiányában a 2 cm-es mélységben levő talajhőmérsékleti adatot használtuk;

T_∞ a talaj hőmérséklete abban a mélységben, amelyben a napi hőmér-

sékleti ingások elhanyagolhatók. Mint ahogy említettük, e mélység nagysága 30 cm;

α a talajhőforgalom hővezetési tagjának arányossági együtthatója. Nagysága: $\alpha = \bar{b}\ (\omega/2)^{1/2}$;

β a talajhőforgalom hőtartalomváltozási tagjának arányossági együtthatója. Nagysága: $\beta = \bar{b}(1/2\omega)^{1/2}$.

$\bar{b}$ a $(\lambda \cdot C)^{1/2}$ mennyiség átlaga a 2–30 cm-ig terjedő rétegre vonatkozóan. ω a napi hőmérsékleti ingás frekvenciája.

E módszer a felszíni talajréteg talajfizikai jellemzőinek ismerete mellett csak két hőmérsékleti adatot igényel, néha ez sincs meg. Ilyenkor az ennél is szélesebb körűen használható számítási képleteket alkalmazzuk.

3. Az egyik közismert módszert *Budiko* (1971) ajánlotta. A módszer a következőkön alapul:

I. TÁBLÁZAT

A léghőmérséklet és a talajhőforgalom évi amplitudói

Léghőmérséklet:	10	15	20	25	30	40	50	°C
Talajhőforgalom:	7 536,6	11 723,6	15 491,9	19 260,2	23 028,5	30 983,8	38 520,5	J/cm²

Sokévi mérések alapján a talajhőforgalom évi amplitúdója szoros kapcsolatban van a levegő hőmérsékletének évi amplitúdójával *(I. táblázat)*. Ugyanakkor a talajhőforgalom havi összegei állandó arányban vannak a meleg vagy a hideg félév hőforgalmának összegével, amely egyenlő a hőforgalom évi amplitúdójának felével. Az adott arányokat kifejező mennyiségi mutatók a *II. táblázat*ban vannak. Ezek alapján a módszert a következőképpen alkalmazzuk:

a) A léghőmérséklet havi átlagainak évi menetéből meghatározzuk a léghőmérséklet évi amplitúdóját.

b) Az I. táblázat segítségével meghatározzuk a kapott léghőmérséklet évi amplitúdójához tartozó hőforgalom évi amplitúdóját.

c) A hőforgalom évi amplitúdójából kiszámítjuk a hideg vagy a meleg félév hőforgalmának összegét. Ebből a II. táblázat segítségével megadjuk a hőforgalom havi összegét.

II. TÁBLÁZAT

A talajhőforgalom havi összegei és a hideg, ill. a meleg félévi összegei közötti arányossági tényezők

Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.
0,23	0,15	−0,08	−0,15	−0,23	−0,23	−0,19	−0,12	0,08	0,12	0,19	0,23

Budiko módszere egyszerű és széleskörűen alkalmazható. Nagyobb kiterjedésű terület átlagos viszonyait jellemzi, a talajok mikroklimatológiai változékonyságát már nem érzékelteti.

Az eredmények bemutatása és értékelése

Versinyin és *Orlenko* által javasolt számítási képletek eredményeit, a talajhőforgalom napi értékeinek tíznapos és havi átlagát a *III. táblázatunk* tartalmazza. A hőforgalom negatív értékei a talajfelszín hőveszteségét, míg a pozitív értékei ugyanennek a felszínnek hőnyereségét fejezik ki.

III. TÁBLÁZAT

A hőtartalomváltozás (Bc), *a hővezetési tag* (Bl) *és a talajhőforgalom* (B) *napi értékeinek* ($7\ cm^{-2}\ n^{-2}$) *dekád és havi átlagai Versinyin és Orlenko formulájával számítva*

Hónap, dekád sorszáma, H = havi átlag		Versinyin			Orlenko		
		Bc	Bl	B	Bc	Bl	B
Január	1.	6,62	63,58	70,20	3,38	41,89	45,27
	2.	2,07	63,58	65,65	0,24	34,75	34,99
	3.	− 2,93	48,17	45,24	− 2,41	25,22	22,81
	H.	1,76	58,11	59,87	0,40	32,86	33,26
Február	1.	− 5,81	39,01	33,20	− 3,62	12,38	8,76
	2.	− 0,71	31,79	31,08	0,72	10,47	11,19
	3.	− 4,56	23,01	18,45	− 3,49	7,14	3,65
	H.	− 3,66	31,56	27,90	− 2,08	10,09	8,01
Március	1.	− 7,75	22,16	14,41	− 2,65	− 2,14	− 4,80
	2.	−13,20	10,60	− 2,60	− 5,55	−14,28	−19,83
	3.	−11,07	− 4,38	−15,45	− 5,93	−23,80	−29,73
	H.	−10,69	9,01	− 1,67	− 4,75	−13,74	−18,49
Április	1.	−13,24	−14,93	−28,17	− 4,59	−34,51	−39,10
	2.	− 5,27	−15,41	−20,68	− 1,93	−30,94	−32,87
	3.	−15,70	−21,19	−36,89	− 7,97	−45,46	−53,43
	H.	−11,40	−17,18	−28,58	− 4,83	−36,97	−41,80
Május	1.	−16,68	−49,61	−66,99	− 6,03	−60,45	−66,49
	2.	−15,17	−50,47	−65,64	− 7,17	−66,53	−73,69
	3.	− 4,86	−48,99	−53,85	− 1,58	−70,09	−71,82
	H.	−12,00	−49,67	−61,67	− 4,82	−63,57	−68,39
Június	1.	− 9,95	−53,78	−63,73	− 4,72	−62,28	−67,00
	2.	− 5,08	−52,72	−57,80	− 0,72	−65,58	−66,30
	2.	0,36	−49,99	−49,63	1,72	−64,09	−62,37
	H.	− 4,89	−52,16	−57,05	− 1,24	−63,98	−65,22
Július	1.	− 6,87	−38,67	−45,54	− 3,98	−60,09	−64,07
	2.	− 4,44	−44,94	−49,38	− 2,38	−67,16	−69,54
	3.	− 1,26	−31,66	−32,92	− 0,24	−53,92	−54,16
	H.	− 4,10	−38,20	−42,30	− 2,13	−58,44	−60,57
Augusztus	1.	3,06	−36,62	−33,56	0,70	−55,17	−54,47
	2.	11,04	−18,60	− 7,56	−14,42	−35,53	−49,95
	3.	10,12	0,86	10,98	5,46	−14,85	− 9,40
	H.	8,14	−17,47	− 9,33	3,95	−31,73	−27,78
Szeptember	1.	3,30	2,88	6,18	0,50	−12,94	−12,44
	2.	14,40	19,84	32,24	7,12	6,54	13,66
	3.	11,02	32,64	43,66	4,84	17,19	22,04
	H.	9,57	18,45	28,02	4,15	3,48	23,25
Október	1.	10,13	43,83	53,96	4,34	24,04	28,38
	2.	17,30	51,06	68,36	7,97	32,61	40,58
	3.	8,80	67,00	75,81	3,07	40,03	43,10
	H.	11,97	54,38	66,35	5,06	32,48	37,54
November	1.	8,07	61,17	69,24	2,41	34,75	37,16
	2.	15,38	69,84	85,23	8,21	44,03	52,24
	3.	11,42	84,78	96,20	3,62	53,07	56,70
	H.	11,62	71,93	83,56	4,75	43,95	48,70
December	1.	7,13	67,92	75,05	2,42	46,65	49,07
	2.	1,98	64,06	66,05	0,96	40,46	41,42
	3.	3,95	60,87	64,82	1,10	37,21	38,31
	H.	4,34	64,17	68,51	1,48	41,30	42,78

A hőforgalom hőtartalomváltozási tagja elenyészően kicsi, értékei a tavaszi (május 1. dekádja) $-16{,}68$ J cm^{-2} nap^{-1} és az őszi (október 2. dekádja) 17,30 Jcm^{-2} nap^{-1} szélsőértékek között mozognak. Az Orlenko-módszerrel számított értékek kisebbek, az állandó eltérés a számítási módszerrel magyarázandó. Az évi ingás elhanyagolható. A téli félévből a nyári félévbe való átmenet a január 2. és 3. dekádja, míg a nyári félévből a téli félévbe való átmenet a július és az augusztus 3. dekádja közötti időintervallumban következik be. Az átmenet időpontja az Orlenko-módszerrel számítva valamelyest eltolódik, vagyis később mutatkozik.

A hőforgalom hővezetési tagja a hőtartalomváltozási taghoz viszonyítva már sokkal nagyobb. Szélsőértékei $-50{,}47$, $-70{,}09$ J cm^{-2} nap^{-1}, ezek a tavaszi időszakban (május 2. és 3. dekádja), és 53,07, 84,78 J cm^{-2} nap^{-1}, ezek pedig az őszi időszakban (november 3. dekádja) jelentkeznek. Ugyanakkor észrevehető az is, hogy a *Versinyin* módszerével számított értékek a téli félévben nagyobbak, a nyári félévben meg kisebbek, mint az Orlenko-képlettel számítottak. E rendszeres eltérés úgyszintén a kétféle módszer eltérő voltából adódik.

A hővezetési tag évi ingása kifejezett. Az előjelváltoztatási időszak körülbelül 1,5—2 hónapos késéssel következik be a hőtartalomtag előjelváltoztatási időszakához képest, pontosan a február és a március 3. dekádja közötti időintervallumban.

A talaj teljes hőforgalma a hővezetési és a hőtartalomváltozási tag összegével egyenlő. Nagyságát, évi ingását a hővezetési tag irányítja, mert a hőtartalomváltozási tag értékei és változásai elhanyagolhatók. Szélsőértékei, mint a hővezetési tagnál is, május 1. és 2., és november 2. és 3. dekádjaiban vannak. Értékeik $-66{,}29$, $-73{,}69$ J cm^{-2} nap^{-1} és 56,70, 96,20 J cm^{-2} nap^{-1}. Az előjelváltoztatás ideje március 1. és 3. dekádjai, valamint az augusztus és szeptember 2. dekádjai közé esik.

A *Versinyin* és *Orlenko* által javasolt számítási képletek eredményei aránylag jó egyezést mutatnak a *Budiko* által javasolt módszer eredményeivel. E megállapítás inkább Orlenko számítási módszerére érvényes, mert az ő formulájával számolva a talajhőforgalom napi értékeinek havi átlagai közelebb esnek azokhoz az értékekhez, amelyeket a *IV. táblázat*ban mutatunk be. A IV. táblázatban a talajhőforgalom napi értékeinek havi átlagát a havi értékekből származtattuk.

IV. TÁBLÁZAT

Budiko számítási módszerével kapott talajhőforgalom napi értékeinek (J cm^{-2} nap^{-1}) *havi átlaga*

Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.
68,34	49,35	$-23{,}77$	$-46{,}06$	$-68{,}34$	$-70{,}62$	$-56{,}46$	$-35{,}66$	24,56	35,66	58,34	68,34

A számítási módszerek hitelességéről, ezeknek kisebb vagy nagyobb érzékenységéről, a mikroklimatológiai vagy a talajszerkezeti változékonyságokra semmi határozottat nem lehet mondani. Az ilyen értelmű megállapítások a számítási módszerek szélesebb körű és a nagyobb területeken való alkalmazását követelik meg.

Befejezésül megállapítható a következő: Újvidék területére vonatkozó további éghajlattani vizsgálatok érdekében elvégeztük a talajhőforgalom évi menetének rövid jellemzését, különböző számítási módszerek segítségével. Értékelésük során rávilágítottunk a hőforgalom hővezetési tagjának döntő szerepére.

IRODALOM

Ács, F., and *D. T. Mihailovič*, 1983: Calculation of soil thermal changes. Időjárás, 4, 200–205.
Budiko, M. I., 1971: *Klimat i zsizny*, Gidrometizdat Lenjingrad, 472 pp.
Lehtveer, R. V., and *Int, L. E.* 1977: Ob izmencsivoszty osznovnih faktorov opregyeljajuscsih teplovoy rezsim pocsvi. Trudy GGO, vyp. 385, Gidrometeoizdat, Leningrad, 87–93.
Orlenko, L. R., 1957: O zaviszimoszti potoka tepla v požvu ot temperaturi poverhnoszti požvi. Met. i gid., No 7.
Versinekin, P. V., 1959: *Osznovi geofiziki* Gosudarstvennoye Izdatelstvo Fiziko-Mathematicseszkoy Literaturi. Moskva, 411 pp.
Živkovič, B. i sar., 1972: Zemljišta Vojvodine. Institut za Poljoprivredna istraživanja, Novi Sad, 684 str.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 90. évf. 6. szám, 1986. november-december
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 6. Nov-Dec. 1986. Budapest

Viharos szelek becsülhetősége a Balaton térségében, műholdfelvételek alapján

PINTÉR FERENC, *OMSZ, Számítóközpont, H-1675 Budapest, Pf. 32;* RÁKÓCZI FERENC, *ELTE, Meteorológiai Tanszék, H-1082 Budapest, Kun Béla tér 2.;* TÄNCZER TIBOR, *Központi Előrejelző Intézet, H-1675 Budapest, Pf. 32.*

On the possibility of estimation of wind storms in surroundings of Lake Balaton by satellite images. The authors use loop-movies compiled from METEOSAT infrared images for estimating the maximum wind gusts at Lake Balaton. Supposing the vertical transfer of the motion momentum, the wind vectors computed from movements of the low clouds are related to wind maximums. In spite of a limited number of cases an acceptable relation is found on one hand between the maximum wind speed derived from satellite images and the maximum wind gust at Lake Balaton, on the other hand between the averaged wind speed estimated by satellite and the mean value of maximum wind speeds measured at stations around the lake.

⁎

Viharos szelek becsülhetősége a Balaton térségében, műholdfelvételek alapján. A szerzők a Balatonon föllépő maximális széllökések becslésére infravörös METEOSAT felvételekből összeállított hurokfilmeket használnak föl. A mozgásmennyiség függőleges átvitelének föltételezésével az alacsonyszintű felhők elmozdulásából számított szélvektorokat hozzák összefüggésbe a balatoni szélmaximumokkal. A korlátozott esetszám ellenére elfogadható kapcsolat mutatkozott egyrészt a műholdfelvételekből levezetett maximális szélsebesség és a Balatonon előforduló maximális széllökés között, másrészt a műholddal becsült átlagos szélsebesség és a Balaton körüli állomásokon mért szélsebességi maximumok átlaga között.

⁎

A Balatoni Viharjelző Szolgálat pontosságának, hatékonyságának a javítása folyamatos feladat. Mai felfogásunk értelmében a balatoni viharelőrejelzés tipikusan *nowcasting* feladat. (Ismeretes, ezen az időjárás mezo- és lokális skálájú jelenségeinek az igen pontos és viszonylag rövid időszakra vonatkozó (0 – 12 óra) analízisét és előrejelzését értjük.) A numerikus előrejelzési módszerek elsődlegesen a szinoptikus skálájú mozgásformák várható alakulásáról tájékoztatnak.

A mezoszinoptikai képződmények és a lokális skálán fellépő meteorológiai jelenségek várható alakulását más módszerekkel kell vizsgálnunk. Ezen módszerek együttes gyűjtőneve a nowcasting. Természetesen a nagyobb tér- és időbeli felbontás a szinoptikus megfigyelési rendszertől eltérő információszerzést is követel. A szakirodalomban általánosan elfogadott, hogy a feladat megoldásához

a) automata állomások,
b) radarok,
c) meteorológiai mesterséges holdak

megfigyelési anyaga szükséges.

Jelen tanulmányban a Balaton térségében fellépő veszélyes szelek előrejelzése és a meteorológiai mesterséges holdak információja közötti kapcsolatról lesz szó. Egészen pontosan azt vizsgáljuk, hogy a METEOSAT geostacionárius mesterséges holdak 30 percenként készített felvételei alapján milyen minőségi és mennyiségi információt adhatunk a Balatonon fellépő veszélyes szelekről.

E kérdés vizsgálatakor az infravörös METEOSAT felvételekből az 1984. év előrejelzési szezonjára (máj.—szept.) készült hurokfilmekből indultunk ki. Feltételeztük, hogy amennyiben az alacsonyszintű felhőzet elmozdulásából számított szélvektor nagy, az impulzus-momentum lefelé történő áttevődése miatt, várhatóan a talajközelben is, erős széllökések lépnek föl. Munkamódszerünk az volt, hogy a kérdéses hurokfilmek tanulmányozásával, szélvektorok kiszámításával megjelöltük azokat a napokat, amelyeken e filmek szerint a Balaton térségében heves széllökéseknek kellett bekövetkezniük. Ezután ezt a naptárt összehasonlítottuk a tényleges riasztásokat rögzítő naplóval *(I. táblázat)*.

I. TÁBLÁZAT

A viharos helyzetek felismerhetősége (1984. május—szeptember)

	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Σ
Műholdfelvétel alapján	7	4	7	8	4	30
Riasztás	6	4	6	7	4	27

A táblázatból kitűnik, hogy a csupán műholdfelvételek által elemzett helyzetek — ilyen kis mintaterjedelem esetén is — nagyon jó megegyezést mutatnak a ténylegesen riasztást igénylő helyzetekkel. Az is látszik, hogy a műholdfelvételek alapján adott becslések némi túlbiztosítást jelentenek. A kapott 90%-os beválási százalék igen magas. E felmérés alapján azt mondhatjuk, hogy a METEOSAT geostacionárius mesterséges hold adataiból előállított hurokfilmek minőségi szempontból hathatós segédeszközei lehetnek a Balaton térségében fellépő veszélyes széllökések analízisének.

Ami a mennyiségi vizsgálatok kérdését illeti, több nehézséggel kell számolnunk.

Elsősorban a Balaton térségében fellépő széllökések struktúrája viszonylag bonyolult. Ezt érzékeltetjük az *1. ábrán*, ahol az 1984. június 15-i helyzetet tüntetjük fel. Látható, hogy az egyes regisztráló állomások maximális széllökése között tetemes eltérések tapasztalhatók. Keszthely esetében például mindössze 9,0 ms^{-1} a maximális szélsebesség, Siófokon azonban 19,5 ms^{-1}-es értéket mértek. Még szembetűnőbb a különbség Keszthely (9,0 ms^{-1}) és Balatonmáriafürdő között (19,0 ms^{-1}). Hasonló különbségeket találunk az óránkénti szélmaximumokból képezett átlagértékek között is. A legnagyobb eltérés itt is Keszthely (8,5 ms^{-1}) és Siófok (13,8 ms^{-1}) között jelentkezik. E két példával arra kívántunk rámutatni, hogy egy-egy időjárási helyzet esetében is, de klimatikus viszonyok közepette is nehéz eldönteni, hogy melyik szélmaximumot tartsuk mértékadónak.

Az egyes helyzetek értékelésére interaktív számítógépes eljárást dolgoztunk ki a Központi Légkörfizikai Intézet CII 10010-es képfeldolgozó konfigurációján.

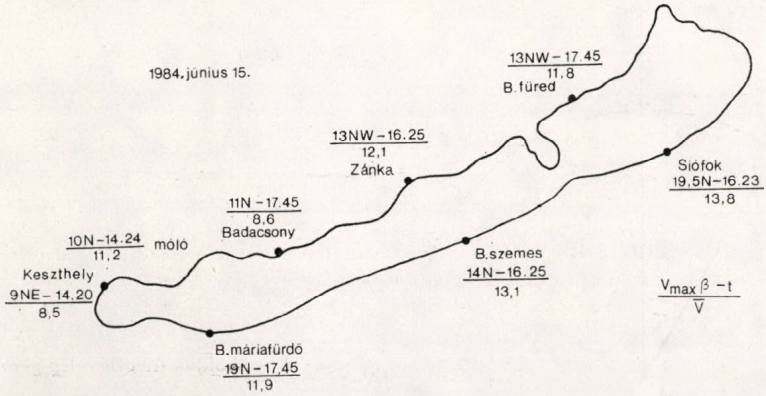
Ezen a számítógépen készül az a hurokfilm archívum, amely a megfelelő helyzetek kiválogatását lehetővé tette. Miután a képanyagot eredeti felbntoás-

ban digitális mágnesszalagokon is tároljuk, lehetőség volt az egyes helyzetek képanyagának további számítógépes feldolgozására is.

Egy konkrét helyzet értékelésére két programot dolgoztunk ki.

Az egyik program segítségével diszkre felvittünk két tetszőleges időkülönbségű infravörös képet, azokat geometriailag standardizáltuk és képernyőn tetszőleges ideig lejátszható, kételemű hurokfilmmé szerkesztettük össze. Ennek segítségével lehetett kijelölni azokat az objektumokat, amelyek elmozdulása mérvadónak volt tekinthető.

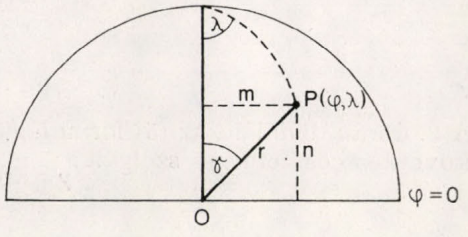
A másik program segítségével a Balaton térségi képrészleteket a képernyő kétfelé osztásával, egymás mellett fekete-fehér vagy színes formában, nagyítva megjelenítettük, majd fényceruzával mindkét képen 1 pixel pontossággal kijelöltük a kiválasztott objektumokat. Ezek földrajzi koordinátáiból kiszámítottuk az elmozdulásokat, illetve az időkülönbség számításbavételével a mozgásvektorokat.



1. ábra: A maximális szélsebesség V_{max} nagysága, β iránya és t időpontja (törtvonal fölött), valamint az óránkénti szélmaximumok $\overline{v}$ átlaga (törtvonal alatt) a Balaton körüli mérőállomásokon 1984. június 15-én. (A szélsebességi értékek ms^{-1}-ben)

Kis gyakorlattal 1 – 1 elmozdulásvektor számítása 10 másodpercig tartott, a többi időt inkább a megfelelő objektumok megkeresése jelentette. Egy helyzet kiértékelése 5 – 10 percig tartott.

A szélvektorok meghatározása során az alábbi eljárást követtük. Megvizsgáltuk a $\Delta t = 2$ óra alatti advektív elmozdulást mutató jellegzetes felhőalakzatokat és képi koordinátáik ismeretében a leképezés törvényének felhasználásával kiszámítottuk azok szférikus koordinátáit. Az elmozdulás nagyságából és irányából pedig a gömbháromszögtan tételei alapján levezettük a szélsebességvektorokat. Röviden bemutatjuk a számítás menetét.

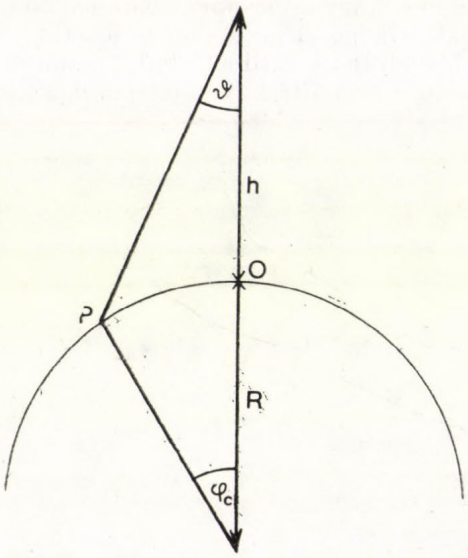


2. ábra: A műholdkép geometriája.

Adott P (φ, λ) pontnak a műhold felvételén a középponttól ($\varphi = 0$, $\lambda = 0$), mint origótól számított n-edik sor (y-koordináta) és a sorok mentén az m-edik képelem (x-koordináta) felel meg *(2. ábra)*. Úgyhogy a ponthoz húzott helyzetvektor nagysága (r):

$$r = \sqrt{m^2 + n^2}. \tag{1}$$

r-hez φ_c geocentrikus szög tartozik és az a műholdról ϑ szög alatt látszik *(3. ábra)*. ϑ-ra vonatkozólag a következő összefüggés áll fenn:



3. ábra: A műholdas megfigyelés geometriája.

$$\vartheta^\circ = \frac{18 \cdot r}{2500}. \tag{2}$$

Ennek felírásakor felhasználtuk azt, hogy a műhold megfigyelő rendszere a képmezőt 18°-os nyílásszöggel 2500 sorban tapogatja le. A 3. ábra alapján

$$\varphi_c = \arcsin (C \cdot \sin\vartheta) - \vartheta, \tag{3}$$

ahol

$$C = \frac{h}{R} + 1, \tag{4}$$

itt h jelenti a műhold magasságát, R pedig a földsugarat.

Ugyanakkor a 2. ábráról a gömbháromszögtan színusz-tételének felhasználásával

$$\lambda = \operatorname{arc\,tg} (\operatorname{tg} \varphi_c \cdot \sin\gamma), \tag{5}$$

$$\varphi = \arccos \frac{\cos \varphi_c}{\cos \lambda}. \tag{6}$$

A 2. ábrán definiált, az (5) formulában megjelenő szög kiszámítására pedig a következő összefüggés szolgált:

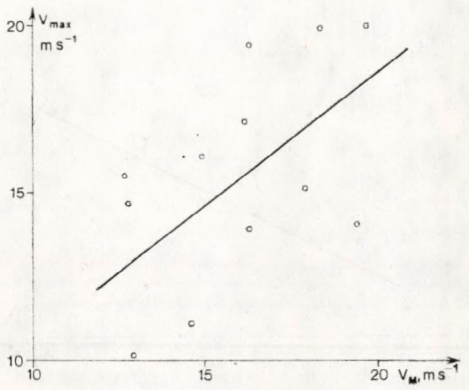
$$\gamma = \operatorname{arc\,tg} \left(\frac{m}{n}\right) \tag{7}$$

Most rátérhetünk a követett felhőelem t_1 időpontban elfoglalt $P_1(\varphi_1, \lambda_1, t_1)$ és t_2 időpontokra vonatkozó $P_2(\varphi_2, \lambda_2, t_2)$ helyzete közötti S elmozdulás kiszámítására. Jó közelítéssel a gömbháromszögtan koszinus-tételéből az S-hez tartozó φ_S ívhossz:

$$\cos \varphi_S = \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos (\lambda_2 - \lambda_1). \tag{8}$$

Úgyhogy az elmozdulás

$$S = 111{,}2 \cdot \varphi_S \tag{9}$$



4. ábra: A felhőelmozdulásból számított V_M maximális szélsebesség kapcsolata a Balatonon fellépő V_{max} maximális széllökéssel.

lesz és ebből a sebességvektor nagysága

$$V = \frac{S}{t_2 - t_1}, \tag{10}$$

Az elmozdulás irányát pedig a

$$\sin \alpha = \frac{\sin (\lambda_2 - \lambda_1) \cdot \cos \varphi_1}{\sin \varphi_S} \tag{11}$$

összefüggés nyújtja. Ebből a meteorológiában megszokott (északról az óramutató járásával megegyező irányban mért) β szélirányokat a következő módon származtathatjuk:

ha	$\varphi_1 > \varphi_2$	és	
	$\lambda_2 - \lambda_1 > 0,$	akkor	$\beta = 360° - \alpha,$
	$\lambda_2 - \lambda_1 < 0,$	akkor	$\beta = \alpha;$
ha	$\varphi_1 < \varphi_2$	és	
	$\lambda_2 - \lambda_1 > 0,$	akkor	$\beta = 180° + \alpha,$
	$\lambda_2 - \lambda_1 < 0,$	akkor	$\beta = 180° - \alpha.$

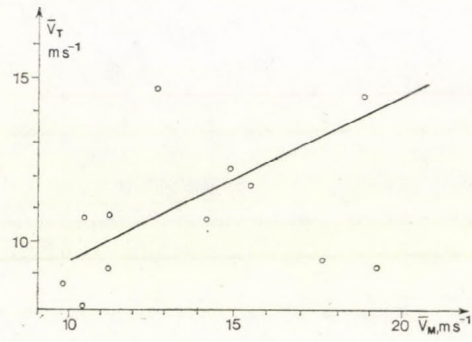
Ezzel az eljárással minden vizsgált helyzetre 3 – 5 szélvektort vezettünk le. A levezetett szélvektorokra szűrést használtunk, nevezetesen nem tekintettük mértékadónak azokat a vektorokat, amelyeket lokális zivatarok föllépése esetén kaptunk, mert ekkor a széllökések nagysága nem a bárikus gradiensre, hanem elsősorban a labilitási energia mértékére vezethető vissza.

A felhőelmozdulásból származó vektorokat egyrészt a Balaton térségében fellépő maximális széllökéssel hoztuk kapcsolatba úgy, hogy a felhőelmozdu-

lásból számított maximális szélvektort a maximális széllökéssel vetettük össze. A kapott eredményt a *4. ábrán* mutatjuk be.

A 4. ábra vízszintes tengelyén találjuk a számított szélvektorok maximumát (V_M), a függőleges tengelyen pedig a Balaton térségében fellépő szélmaximum (V_{max}) értékeit. Az ábrán feltüntetett pontok az összetartozó értékeket reprezentálják. Látható, hogy a kis mintavételi terjedelem és az adatok nagyfokú szóródása ellenére is erős tendencia mutatkozik abban a tekintetben, hogy a maximális felhőelmozdulások mennyiségi információt is jelentenek a Balaton térségében bekövetkező széllökésekre vonatkozóan.

Másik eljárásunk az volt, hogy az adott napra levezetett felhőelmozdulás-



5. ábra: A felhőelmozdulásból számított $\bar{V}_M$ átlagos szélsebesség kapcsolata a Balaton körüli állomásokon mért maximális szélsebességi értékek $\bar{V}_T$ átlagával.

vektorok átlagát ($\bar{V}_M$) hoztuk kapcsolatba a Balaton körüli szélmérő állomásokon fellépő maximális szélsebességi értékek átlagával ($\bar{V}_T$). Eredményül az *5. ábrán* látható eloszlást kaptuk. Ennek az ábrának az a legfőbb tanulsága, hogy sem a kapcsolat szorossága, sem a jellege nem változott az előbbi képhez viszonyítva.

A két ábra alapján azt mondhatjuk, remény van arra, hogy a felhők elmozdulásvektorainak meghatározásával a Balaton térségében föllépő viharos szelek előrejelezhetőségének a megbízhatóságát és pontosságát növeljük. Természetesen e helyzetfeltáró vizsgálatot még további kutatásnak kell követnie ahhoz, hogy a gyakorlat igényeit kielégítő eredmények birtokába juthassunk. Minden bizonnyal a végső megoldásban nagy szerep jut majd az automata állomások, a radar és a mesterséges holdak nyújtotta információk együttes felhasználásának.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 4. szám, 1986. november – december
Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 90. No 4. Nov. – Dec. 1986. Budapest

A balatoni viharjelzések optimalizálása a jelzőrendszer korszerűsítése után

BARTHA IMRE, BÖJTI BÉLA *és* HORVÁTH ÁKOS, *Viharjelző Obszervatórium, H—8601 Siófok, Pf. 80*

Optimization of storm warnings at Lake Balaton after completing the reconstruction of the present warning system. The reconstruction of both the storm warning- and the observing-systems at Lake Balaton will be carried out during the next five-year period. The authors, on the basis of a 2-year data set, have investigated the possibilities of reducing the duration of warning conditions (i.e. restrictions on water sports) as well as of how to issue warnings separately is space and time by introducing the new system. The authors found that the superfluous extension of the warnings for weathet hazards can be reduced by about 30 per cent. Warnings can also be issued separately in time and space is case of some weather conditions, although this problem demands further research. The scientifically supported cancellation of warnings, that is lifting the restrictions on water sports, can be expected by the introduction of a "NOWCASTING" system.

⁂

A balatoni viharjelzések optimalizálása a jelzőrendszer korszerűsítése után. A szerzők két év (1984 – 1985) viharjelzési idényében végzett mérések és megfigyelések alapján vizsgálták, hogy a megfigyelő- és jelzőrendszer nagyarányú korszerűsítése — amely a közeljövőben valósul meg — milyen előnyökkel jár majd, milyen fejlődést hoz a viharjelzés számára. Elsősorban arra a kérdésre kerestek választ, hogy az új rendszer bevezetésével milyen mértékben kerülhető el a viharjelzések túlbiztosítása, és lehetővé válik-e, hogy a meteorológus bizonyos időjárási helyzetekben a riasztást a tó térségére differenciáltan, térben és időben bontva adhassa ki. Kimutatták, hogy a túlbiztosítás közel egyharmaddal csökkenthető majd, hogy a tér- és időbeli bontás is lehetővé válik, bár ez utóbbi további kutatásokat igényel. A viharjelzés optimális ellátása, tudományos megalapozása a „NOWCASTING"-rendszer bevezetésétől várható.

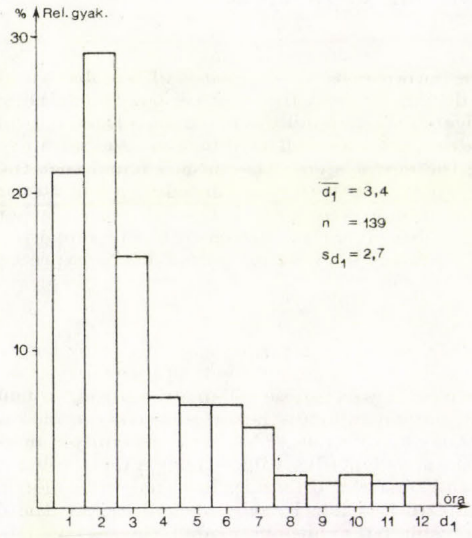
⁂

A tanulmány tárgya egyrészt az, hogy mennyi az a potenciális időnyereség, amellyel a fölöslegesen fenntartott jelzések időtartama csökkenthető a jelenleg fejlesztés alatt lévő új rendszerrel (fényjelzők, automata szélmérők), másrészt melyek azok az időjárási helyzetek, amelyekben a térbeli bontás megvalósítható.

A potenciális időnyereség

Az 1984 és 1985-ös viharjelzési szezonban a balatoni távszélmérők regisztrátumai (Balatonszemes, Balatonmáriafürdő, Keszthely-móló, Badacsony, Zánka és Balatonfüred), valamint a siófoki szélszalagok birtokában megvizsgáltuk, hogy egy-egy viharjelzést követően a viharjelzési szempontból kritikus széllökések mennyi idő múlva következtek be. A statisztikák elkészítésekor a 10 m/s, ill. 15 m/s-os határokkal számoltunk, mert a szélmérő műszerek pontossága 5 m/s fölött $\pm 10\%$-os *(Mezősi és Simon, 1981)*, így jó közelítéssel a 10 m/s, ill. 15 m/s mért határokhoz hozzárendelhetjük a *Hajózási Szabályzat*ban (1980) meghatározott 12 m/s és 17 m/s riasztási határokat.

A vizsgálat során a riasztást értékelhetőnek tekintettük, ha azt a 12 órára szóló prognózis érvényességi tartományon belül ($07^h - 19^h$, ill. $19^h - 07^h$) követte a viharjelzési fokozatnak megfelelő kritikus széllökés, és az addig eltelt időköz nem érte el a 12 órát. Amennyiben a riasztás a nappali órákról átnyúlt az éjszakai órákra, akár változatlanul, akár módosítva, azaz a jelzést tovább fenntartottuk, akkor azt úgy vettük, mintha az éjszakára kiadott előrejelzés időpontjában (gyakorlatilag: $19^h - 21^h$) újabb viharjelzést adtunk volna ki. Hasonlóan jártunk el akkor is, ha mindez a reggeli órákban (gyakorlatilag: $06^h - 03^h$), a nappalra érvényes előrejelzések időpontjában történt. Ezek a túl nagy időintervallumok mindkét esetben kizárólag a jelenlegi rendszer technikai fogyatékosságai miatt használatosak.



1. ábra: A nappali riasztások beválását jelző d_1 értékeinek relatív gyakorisága az 1984–85. évi viharjelzési szezonban.

Külön-külön vizsgálva a nappali ($07^h - 19^h$) és éjszakai ($19^h - 07^h$) riasztásokat követő, a viharjelzési fokozatoknak megfelelő széllökések bekövetkezési időpontjait, meghatároztuk azt az időnyereséget, amely akkor adódna, ha a viharjelző szolgálat ellátása folyamatos lenne. Tehát azt az időnyereséget tudjuk ily módon kiszámítani, ami egy nappali időszakban bármikor riasztó, és ezzel szemben az éjszakai órákra vonatkozólag csak egy fix, gyakorlatilag $19^h - 21^h$ közötti időszakban riasztó szolgálat ellátása között adódik. E vizsgálathoz nyilvánvalóan a nappali órákra kiadott viharjelzésekből készült statisztikák szolgálhatnak összehasonlítási alapul.

A jelenlegi, nappali riasztások beválását jelölje:

$$d_1 = t_1 - t_0$$

t_1 – a viharjelzési fokozatnak megfelelő első kritikus széllökés megjelenési időpontja 07–19 h között;

t_0 – a viharjelzés kiadásának időpontja 07–19 h között, 0,5 óra pontossággal.

Abban az esetben, ha a viharjelzés szempontjából kritikus széllökés nem következett be 19 óráig (vagy az esti viharjelzés kiadásáig), akkor

$$d_1 = t_0 - t_E$$

t_E — 19 óra, vagy az esti viharjelzés kiadásának időpontja.

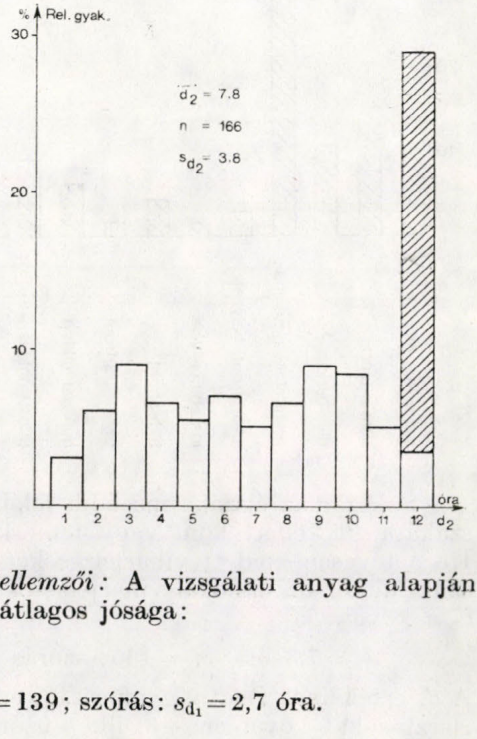
A fentiek analógiájára az éjszakai riasztások beválását jelölje:

$$d_2 = t_2 - t_0$$

t_2 — a viharjelzési fokozatnak megfelelő első kritikus széllökés megjelenési időpontja 19 – 07 h között;

t_0 — a viharjelzés kiadásának időpontja, gyakorlatilag 19 – 21 h közötti időszakban, 0,5 óra pontossággal.

Abban az esetben, ha a kritikus széllökés nem jött be az éjszakai előrejelzés időtartamára, akkor d_2 értékét 12 órának vettük.



2. ábra: Az éjszakai riasztások beválását jelző d_2-értékeinek relatív gyakorisága az 1984 – 85. évi viharjelzési szezonban.

A nappali riasztások statisztikai jellemzői: A vizsgálati anyag alapján (n = 139 esetből) a nappali riasztások átlagos jósága:

$$\bar{d}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (t_1 - t_0)_i}{n} = 3{,}4 \text{ óra}; \; n = 139; \text{ szórás: } s_{d_1} = 2{,}7 \text{ óra.}$$

A $\bar{d}_1$ informál arról, hogy a jelenlegi szakmai felkészültség és meteorológiai háttér mellett átlagosan mennyi idővel előbb tudjuk jelezni a veszélyes széllökésekkel járó jelenségeket. A kapott $d_1 \pm sd_1 = 3{,}4 + 2{,}7$ óra közelítőleg megfelel a jelenlegi követelménynek, miszerint az *I.* és a *II. fokú viharjelzéseket 1 – 3 órával az első kritikus széllökések bekövetkezése előtt kell kiadni.*

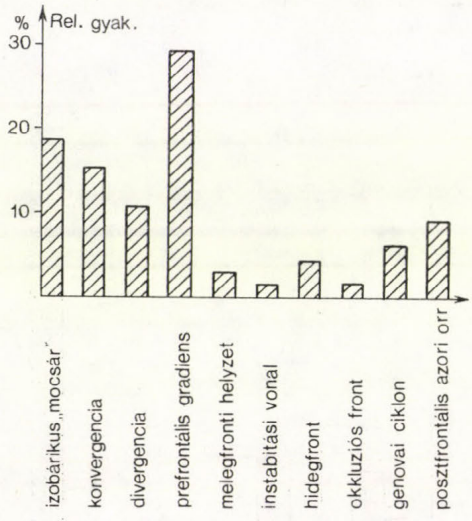
A fényjelző rendszer bevezetése után az 1 – 3 óra előrejelzési igény 1-2 órára csökkenthető, ugyanakkor a szórás jelenlegi 2,7 óra értéke is kisebb lesz.

A d_1 értékeinek relatív gyakorisági értékeit szemlélve *(1. ábra)* látható, hogy az I. és a II. fokú viharjelzéseket leggyakrabban két órával a kritikus széllökések bekövetkezése előtt adták ki. a Balaton térségében.

A nappali órákban a viharjelzések kiadásától az első kritikus széllökések megjelenéséig eltelt időszakok összege a két szezonban:

$$d_1^* = \sum_{i=1}^{n} (t_1 - t_0)_i = 471 \text{ óra.}$$

Az éjszakai riasztások statisztikai jellemzői. Az éjszakai riasztásokra természetesen rosszabb eredményeket kaptunk, mint a nappalira, hiszen az éjszakai szolgálat hiánya miatt az 592 km² nagyságú tómedencére 12 órára szóló viharelőrejelzést kell este kiadni. Természetszerű, hogy a jelenlegi technikai és szakmai felkészültség erre nem elegendő, így az éjszakai viharjelzések gyakran tévesek *(Czelnai, 1955)*.



3. ábra: A téves viharjelzések idején jellegzetes időjárási helyzetek relatív gyakorisága, az 1984–1985. évi viharjelzési szezonban.

Sokszor az éjszaka második felében várt szélerősödés miatt az egész éjszakára ki kellett adni vagy fenn kellett tartani a megfelelő viharjelzést. Ha a tévesen kiadott viharjelzéseket, ill. fenntartásokat is számításba vesszük, akkor az éjszakai viharjelzések jósága átlagos d_2 és összegezett időkre d_2^* a következő:

$$\bar{d}_2 = 7{,}8 \text{ óra}; \; n = 166; \; \text{szórás } s_{d_2} = 3{,}8 \text{ óra}; \quad d_2^* = 1290{,}0 \text{ óra.}$$

A d_2 értékeinek relatív gyakorisági értékeiből *(2. ábra)* látható, hogy az esti riasztásokat követően +3, ill. +9 óra elteltével következtek be legnagyobb gyakorisággal a kritikus szélerősödések. A 12 órás kiugró gyakorisági maximum (az oszlop satírozott része) a *téves riasztásokat* mutatja, azokat az eseteket, amikor a Balatonon a „viharállapot" fokozatot 12 órán át, fölöslegesen fenntartották.

Az $I_1 = \bar{d}_2 - \bar{d}_1$ az egyetlen (átlagos) jelzésre, $I_1^* = d_2^* - d_1^*$ pedig a vizsgált két viharjelzési szezonra (1984–85) vonatkoztatva adja azt az időnyereséget, amit az éjszakai szolgálat bevezetésével nyernénk. A számítások alapján:

$$I_1 = 4{,}4 \text{ óra és } I_1^* = 819{,}0 \text{ óra.}$$

A tévesen kiadott viharjelzések, ill. fenntartások (n = 65) és a szinoptikus helyzetek közötti összefüggések: Az éjszakai viharjelzések leginkább az ún. *izobárikus „mocsár" (A), a gyenge konvergencia (C) és a prefrontális gradiens (F)* időjárási helyzetekben voltak tévesek, figyelemre méltók még ilyen szempontból a

posztfrontális gradiens (K, M és E) időjárási helyzetek is *(3. ábra)*. Az időjárási helyzetek kódjai, részletes magyarázattal a *Bartha és Böjti (1982)* közleményben találhatók meg.

A nappali viharjelzések feloldása vagy módosítása. Az időkülönbséget nemcsak a riasztásokat követő megfelelő, kritikus széllökések bekövetkezéséig kell vizsgálni, hanem a szélsebesség kritikus érték alá csökkenéséig is, a viharállapotok feloldásához vagy módosításához (a továbbiakban csak a „feloldás" szót írjuk, de mindig hozzáértendő a „módosítás" is, a számítások szempontjából ugyanis a kettő ugyanaz) mérten. Az összehasonlítás alapjául itt is a nappali viharjelzések feloldásaihoz kötődő statisztikák szolgálhatnak.

A nappali órákra vonatkozó viharjelzés-felóldás beválását jelölje:

$$d_3 = t_0^* - t_3$$

t_0^* – a viharjelzés feloldásának időpontja, 07 – 19 h között, 0,5 óra pontossággal;

t_3 – a feloldáshoz időben legközelebbi, a fenntartott viharjelzési fokozatnak megfelelő széllökés időpontja 07–19 h között.

A nappali órákra vonatkozó viharjelzés-feloldás jósága átlagosan $\bar{d}_3$ és összegezett időkre d_3^*:

$$\bar{d}_3 = 2{,}5 \text{ óra}; \quad n = 60; \quad \text{szórás } s_{d3} = 2{,}1 \text{ óra}; \quad d_3^* = 152{,}5 \text{ óra}.$$

Az éjszakai viharjelzések feloldása vagy módosítása. Az éjszakai órákra vonatkozó viharjelzés feloldás beválását jelölje:

$$d_4 = t_0^* - t_4$$

t_0^* – a viharjelzés feloldásának időpontja, gyakorlatilag legkorábban másnap 06–08 h közötti időszakban, 0,5 óra pontossággal;

t_4 – a feloldáshoz időben legközelebbi, a fenntartott viharjelzési fokozatnak megfelelő széllökés időpontja 19 – 07 h között.

Az éjszakai órákra vonatkozó viharjelzés feloldás jósága átlagosan $\bar{d}_4$ és összegezett időkre d_4^*:

$$\bar{d}_4 = 5{,}8 \text{ óra}; \; n = 51; \; \text{szórás } s_{d4} = 3{,}0 \text{ óra}; \; d_4^* = 293{,}5 \text{ óra}.$$

Az $I_2^* = \bar{d}_4 - \bar{d}_3$ és $I_2^* = d_4^* - d_3^*$ az egyetlen (átlagos) viharjelzés feloldásra, ill. a vizsgált két viharjelzési szezonra (1984–85) vonatkoztatva adja azt az időnyereséget, amit az éjszakai szolgálattal nyernénk. A számítások alapján:

$$I_2 = 3{,}3 \text{ óra}; \; I_2^* = 141{,}0 \text{ óra}.$$

Itt kihagytuk azokat az eseteket, amelyeknél az éjszakára történő viharjelzés fenntartás egy téves riasztás eredménye volt, mert ezeket a $\bar{d}_2$ és a d_2^* számolásánál már egyszer figyelembe vettük.

A balatoni viharjelzések tér- és időbeli bontásának lehetőségei, az időjárási helyzetek függvényében

A továbbiakban azt kívántuk eldönteni, hogy vajon a tervezett új mezoszinoptikai háttér apparátussal (távmeteorológiai állomások) és automata riasztórendszerrel (fényjelzők) van-e lehetőség a Balatonon a viharjelzések térbeli, azaz nyugati és keleti medencékre történő felbontására, felhasználva a radar- és műholdadatokat is.

Ha a meglévő szélműszerek alapján meghatározzuk a veszélyes jelenség bekövetkezésének időkülönbségét a Balaton nyugati és keleti medencéje között, megállapíthatjuk, hogy viharjelzési szempontból a Balaton térsége két medencére szétválasztható-e. Ugyanezt vizsgálhatjuk a szeles időjárási helyzetek fennmaradását illetően is.

A viharállapot bekövetkezésének átlagos időkülönbsége a Balaton nyugati és keleti fele között. Jelölje t_1 azt az időpontot, amikor a riasztást követően a szélműszerek alapján a nyugati medencét érte el a viharjelzési fokozatnak megfelelő kritikus széllökés és t_2, amikor a keletit. Ekkor a $t_1 - t_2$ előjeles érték informál bennünket arról, hogy melyik medencébe tört be előbb a szélvihar. Értelemszerűen, ha a nyugati medencébe érkezett először a vihar, akkor $t_1 - t_2 < 0$; ha viszont a keletibe, akkor $t_1 - t_2 > 0$. Előfordultak olyan esetek is (összesen 19 a vizsgált 113-ból), amikor csak az egyik medencében volt vihar. Az ilyen esetekben a $t_1 - t_2$ helyett $|t_0 - t^*|$-t vettük számításba, ahol a t^* a fennálló jelzés módosításának időpontja, t_0 pedig az adott medencében bekövetkezett utolsó, a viharjelzési szintnek megfelelő széllökés időpontja. Ha a nyugati medencében volt csak vihar, akkor a $t_1 - t_2 = -|t_0 - t^*|$ értéket, ha csak a keletiben, akkor a $t_1 - t_2 = |t_0 - t^*|$ értékét vettük alapul.

A vizsgálatokba így bevont $n = 113$ esetből a két térfélre bontásból származó időnyereség $(t_1 - t_2)$ átlagértéke $-0{,}4$ óra, a szórás $s_{t_1 - t_2} = 3{,}1$ óra. Tehát

I. TÁBLÁZAT

A $t_1 - t_2$ időkülönbség pozitiv $(+\Delta t)$ és negativ $(-\Delta t)$ értékeinek, valamint az időnyereségnek a viharállapot bekövetkezése (d_5) és feloldása (d_6) esetére számított abszolút gyakoriság

$t_2 - t_1$ időtartam (óra)	Viharállapot					
	bekövetkezése			feloldása		
	n, esetszám		összesen	n, esetszám		összesen
	$+\Delta t$	$-\Delta t$		$+\Delta t$	$-\Delta t$	
0,0	23	–	23	11	–	11
0,5	16	21	37	10	2	12
1,0	11	7	18	8	8	16
1,5	4	4	8	7	3	10
2,0	1	3	4	6	2	8
2,5	1	–	1	6	2	8
3,0	–	2	2	5	–	5
3,5	–	1	1	2	1	3
4,0	1	–	1	3	–	3
4,5	1	3	4	5	4	9
5,0	–	1	1	1	1	2
5,5	2	–	2	3	–	3
6,0	1	2	3	3	4	7
6,5	–	–	–	–	–	–
7,0	–	1	1	–	2	2
7,5	–	–	–	2	–	2
8,0	–	2	2	1	–	1
8,5	–	–	–	1	3	4
9,0	–	2	2	–	–	–
9,5	–	–	–	–	1	1
10,0	1	–	1	–	–	–
11,0	1	–	1	1	–	1
11,5	–	–	–	–	2	2
12,0	–	1	1	–	–	2
$\sum n$	63	50	113	75	35	110

a minta alapján a Balaton nyugati medencéjét a szélerősödés átlagosan 0,4 órával előbb érte el, mint a keletit, azaz az átlagot tekintve nincs szignifikáns eltérés.

A $t_1 - t_2$ abszolút gyakorisági értékeit szemlélve *(I. táblázat)* megállapíthatjuk, hogy a 113 esetből 23 alkalommal a riasztásokat követően az egész Balatonon egyszerre, 50 esetben előbb a nyugati medencében, 40 esetben pedig előbb a keleti medencében következtek be a kritikus széllökések.

A két térfélre történő szétbontásból származó időnyereséget úgy kaphatjuk meg, hogy képezzük az aktuális jelzés kategóriájába tartozó, mért utolsó széllökések időpontjainak a két medence közötti különbségét:

$$d_5 = |t_1 - t_2|$$

Az átlagos ($\bar{d}_5$) és az összegezett időkre vonatkozó (d_5^*) időnyereség:

$$\bar{d}_5 = 1{,}3 \text{ óra}; \; n = 113; \text{ szórás } s_{d_5} = 2{,}6 \text{ óra}; \; d_5^* = 201{,}5 \text{ óra}.$$

A d_5 értékeinek abszolút gyakoriságából *(I. táblázat)* látható, hogy a Balaton nyugati és keleti medencéjében a kritikus széllökések bekövetkezése között leggyakrabban egy óránál kevesebb idő telik el.

A viharállapot feloldásának átlagos időkülönbsége a Balaton nyugati és keleti fele között. A balatoni viharjelzések térbeli szétválaszthatóságának lehetőségét a riasztás feloldásának (módosításának) oldaláról is megvizsgáltuk.

Jelölje a t_1 a nyugati medencében azt az időpontot, amely az adott viharjelzés szerinti utolsó széllökés történt, t_2 pedig ugyanezt a keleti medencében, akkor a $t_1 - t_2$ előjeles értéke megmutatja, hogy melyik medencében mérséklődött időben később a szél a kritikus érték alá. Értelemszerűen, ha a keleti medencében tartott tovább a vihar, akkor a $t_1 - t_2 < 0$, ha pedig a nyugati medencében tartott tovább a kritikus szélerősödés, akkor a $t_1 - t_2 > 0$.

Előfordultak azonban olyan esetek is (összesen 39 a vizsgált 110-ből), amikor az adott prognózis érvényességi intervallumában csak az egyik medencében volt vihar. Ilyenkor, az adott esetben, $t_1 - t_2$ helyett a $|t_0 - t^*|$-t képeztük, ahol t^* a viharjelzés módosításának időpontja, t_0 pedig az adott medencében bekövetkezett viharjelzési szintnek megfelelő utolsó széllökés időpontja. Ebben a vonatkozásban:

$$t_1 - t_2 = \begin{cases} |t_0 - t^*|, \text{ ha csak a nyugati medencében,} \\ -|t_0 - t^*|, \text{ ha csak a keleti medencében volt kritikus szél-} \end{cases}$$

erősödés az adott prognózis tartományban. A megvizsgált $n = 110$ esetből a nyugati és a keleti medencékre történő felbontásból származó időnyereség $(t_1 - t_2)$ átlagértékére $+0{,}5$ óra, a szórásra $s_{t1-t2} = 4{,}1$ órát kaptunk. Tehát a minta alapján, a nyugati medencében átlagosan 0,5 órával később mérséklődött a szél a kritikus érték alá, mint a keleti medencében.

Az *I. táblázat*ból megállapíthatjuk, hogy a 110 esetből 11 alkalommal a nyugati és a keleti medencében egyszerre mérséklődött, 64 esetben a nyugati, 35 esetben pedig a keleti medencében mérséklődött időben később a szél a megfelelő kritikus érték alá. Az időnyereség:

$$d_6 = |t_1 - t_2|$$

A Balaton nyugati és keleti medencékre történő felbontásból származó átlagos ($\bar{d}_6$), és összegezett időkre vonatkozó (d_6^*) időnyereség:

$$\bar{d}_6 = 3{,}1 \text{ óra}; \; n = 110; \text{ szórás } s_{d_6} = 2{,}8 \text{ óra}; \; d_6^* = 337{,}0 \text{ óra}.$$

A d_6 abszolút gyakorisági értékeiből *(I. táblázat)* megállapítható, hogy a

Balaton nyugati és keleti medencéjében bekövetkezett utolsó kritikus széllökések között leggyakrabban egy óra telik el.

A statisztikai jellemzők összefüggése az időjárási helyzettel. Mivel a szélviharoknak a nyugati és keleti medencébe történő betörése között az átlagos időkülönbség kicsi, viszont a szórás, valamint a potenciális időnyereség értékei már nem elhanyagolhatók, feltételezhető, hogy a térbeli bontás lehetősége erősen függ a szinoptikus helyzettől.

Ennek bizonyítása érdekében megvizsgáltuk, hogy a viharállapot bekövetkezése esetén a két térfél (nyugati és keleti medence) közötti átlagos időkülönbség ($\overline{t_1 - t_2}$), valamint a szórás alsó és felső határaival ($\pm 1/2\, s_{t_1-t_2}$; $\pm\, s_{t_1-t_2}$; $\pm\, 3/2\, s_{t_1-t_2}$) vett időintervallumokkal számított időkülönbségekhez milyen időjárási helyzet, milyen relatív gyakorisággal fordult elő *(II. táblázat)*.

II. TÁBLÁZAT

A jellemző időjárási helyzetek relatív gyakorisága (%) a viharállapot bekövetkezésének és feloldásának a két térfél közötti átlagos, valamint a szórás alsó és felső határaival számított időkülönbsége esetén (H = instabilitási vonal, I = hidegfront, A = izobárikus „mocsár", C = konvergencia, F = prefrontális gradiens, M = posztfrontális azori anticiklon orr)

Időjárási helyzet	$t_1 - t_2 = \Delta t$ intervallumok (óra)					
	$-2{,}0 \leqq \Delta t \leqq 1{,}2$	$-3{,}5 \leqq \Delta t \leqq 2{,}7$	$-5{,}0 \leqq \Delta t \leqq 4{,}3$	$-1{,}6 \leqq \Delta t \leqq 2{,}6$	$-3{,}6 \leqq \Delta t \leqq 4{,}6$	$-4{,}7 \leqq \Delta t \leqq 6{,}7$
	Viharállapot bekövetkezése esetén			Viharállapot feloldása esetén		
H, I	41,2	5,3	7,1	11,5	10,3	5,3
A, C	22,3	52,6	50,0	23,0	10,3	5,3
F	20,0	31,6	28,6	9,8	20,7	15,8
M	16,5	10,5	14,3	55,7	58,7	73,6
Esetszám	85	19	14	61	29	19

Ebből a statisztikából kiderül, hogy akár a nyugati, akár a keleti medencében következett is be a veszélyes szélerősödés legalább 2,5–3,5 óra késéssel, ezek az esetek az időjárási helyzet függvényében, az *izobárikus „mocsár"* és a *gyenge konvergencia* helyzetekben fordultak elő leggyakrabban.

A szélnek, viharjelzési szempontból kritikus érték alá mérséklődését hasonlóképpen elemezve, a kapott számadatok szerint (II. táblázat), a veszélyes széllökéseknek a kritikus érték alá mérséklődése a nyugati és a keleti medence viszonylatában legnagyobb gyakorisággal a posztfrontális időjárási helyzetekben realizálódott legalább 3,5–4,5 órával korábban, mint a riasztás feloldása (módosítása).

Következtetések

a) A jelenlegi szakmai felkészültség és meteorológiai háttérinformáció mellett az összehasonlítási alapul szolgáló nappali órákban ($07^h - 19^h$) átlagosan $\bar{d}_1 = 3{,}4$ órával előbb tudtuk jelezni a veszélyes széllökésekkel járó jelenségeket. Ha figyelembe vesszük a riasztások beválását jellemző d_1 paraméterértékek szórását (s_{d_1}) is, akkor a mintából kapott $d_1 \pm s_{d_1} = 3{,}4 \pm 2{,}7$ óra közelítőleg megfelel annak a jelenleg érvényes előírásnak, miszerint az I. és a II. fokú viharjelzéseket az első kritikus széllökések bekövetkezése előtt 1–3 órával kell kiadni. Ezen a gyakorlaton a jelenlegi jelzőrendszer lassúsága miatt csak a kockázat növelése árán lehetne javítani *(Böjti, 1985)*;

b) Az éjszakai szolgálat bevezetéséből származó maximális potenciális időnyereség:

$I_{max} = I_1^* + I_2^* = 960$ óra lehetett volna a vizsgált két szezonra. Egyetlen jelzésre vonatkoztatva az átlag:

$$\bar{I}_{max} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 = 7{,}7 \text{ óra},$$

azaz átlagosan egy jelzést 7,7 órával tudnánk rövidíteni. Ez látszólag igen nagy értéknek tűnik, de ha a jelenlegi riasztási gyakorlatot megvizsgáljuk, ez az átlagos érték magyarázatot nyer. Vegyünk például egy izobárikus „mocsár" időjárási helyzetet, amelyben a délutáni órákban keletkezett zivatartevékenységre 16 órakor riasztani kell. Tegyük fel, hogy a zivatartevékenység átnyúlik az esti órákra, majd megszűnik. Az éjszakai szolgálat hiánya miatt a kiadott viharjelzés reggelig fennmarad. Tehát a jelenlegi rendszer mellett egy 3–5 óra élettartamú objektumra akár 16 órán át is fennmaradhatott a riasztás.

Ha a továbbiakban figyelembe vesszük a Balaton két medencére történő felbontásából származó d_5^* és d_6^* időnyereségeket is, akkor a vizsgált két viharjelzési szezonban a maximális potenciális időnyereség:

$$I_{max} = I_1^* + I_2^* + d_5^* + d_6^* = 1498{,}5 \text{ óra}$$

lett volna, *ha lett volna éjszakai szolgálat*, és alkalmaztuk volna a térbeli bontást a riasztások kiadásánál és a riasztások feloldásánál (módosításánál), valamint ha már az egész Balaton térségében fényjelző rendszer üzemelt volna. A maximális potenciális időnyereség (I_{max}) a vizsgált két évre vonatkozólag, a viharjelzésen fenntartott órák (4410 óra) 34%-át tette ki. Ez *az időnyereség egyetlen viharjelzési szezonra* (máj. 1–szept. 30) *kivetítve maximálisan 31 napra becsülhető;*

c) Ha feltételezzük, hogy a jövőben az időjárási helyzetek előfordulásának gyakorisága a viharjelzés időszakában olyan lesz, mint az 1984 és 1985-ös mintavételi időszakokban, akkor az eseteknek csak 17%-ában várható, hogy a két medencébe az erős vagy viharos széllökések jelentős, legalább 2,5–3,5 órás időkülönbséggel érkeznek. Ilyen időkülönbséggel fellépő erős vagy viharos széllökések nagy valószínűséggel az ún. izobárikus „mocsár", ill. gyenge konvergencia időjárási helyzetekhez (előfordulásuk gyakorisága 27%) kötődnek, amelyekben helyi zivatarok keletkezhetnek. Mindezek felderítéséhez nélkülözhetetlen *a radar- és műhold-adatok Siófokra juttatása*, valamint a vihar előrejelzéséhez olyan módszerek kifejlesztése, amelyek ezen adatokra épülnek, *(Bartha, 1983; Horváth és Práger, 1985).*

A háttér-információ bővítése céljából pedig nélkülözhetetlenek lesznek azok a széladatok, amelyeket a jelenleg fejlesztés alatt álló rendszer szélműszerei szolgáltatnak majd *(Tanulmányterv a balatoni viharjelzés korszerűsítésére, 1979).*

Ami a riasztás-feloldások (módosítások) vizsgálatát illeti, az eseteknek csak 26%-ában várható, hogy a két medencében az erős vagy viharos szelek jelentős, legalább 3,5–4,5 óra időkülönbséggel mérséklődnek a kritikus érték alá. Ilyen időkülönbséggel mérséklődő széllökések nagy valószínűséggel posztfrontális gradiens időjárási helyzetekhez kötődnek (amelyek az időjárási helyzetek kb. 27%-át teszik ki). Közismert ugyanis, hogy a szélviszonyok elsősorban a nyomásmező változásával vannak összefüggésben, ezért *a feloldások pontosítása a jövőben további kutatásokat igényel.*

A riasztás kiadásakor kapott legalább 2,5—3,5 óra, ill. a riasztás feloldásakor kapott legalább 3,5—4,5 óra időkülönbség a Balaton térbeli „viharveszélyeinek" optimális szétválasztásánál kritériumként is felfoghatók, a megállapított karakterisztikus időjárási helyzetek bekövetkezésekor.

Tanulmányunkkal segítséget kívántunk nyújtani a fényjelző rendszer kiépítésén túl, annak üzemeltetéséhez is. A két év (1984—1985) adatainak elemzéséből megállapítható, hogy *folyamatos meteorológiai szolgálat nélkül a balatoni viharjelzés ellátása nem javítható: a szinoptikus-, radar- és műhold-adatok pedig nélkülözhetetlenek.*

IRODALOM

Bartha I. és *Böjti B.*, 1982: Radarral mért adatok a viharjelzésben. *Met. Tanulmányok, 40.*

Bartha I., 1983: Kísérlet a zivatarfelhőkből kifutó maximális széllökések kategóriák szerinti előrejelzésére, radarinformációk felhasználásával. *Met. Tanulmányok, 46.*

Böjti B., 1979: *Útmutatás a viharjelző szolgálat részére.* OMSZ. Kiadvány. Budapest.

Böjti B., 1985: Viharjelzés a Balatonnál. *Időjárás, 89. 173—179.*

Czelnai R., 1955: Adatok a Balaton szélviszonyaihoz, főbb időjárási helyzettípusainak idején. *Beszámolók, 1955.* OMI. Hiv. Kiadvány.

Götz G. (szerk.), 1966: *Sturmwarnung am Balatonsee.* OMI. Hiv. Kiadvány. XXX. 154.

Horváth Á. és *Práger T.*, 1985: Zivatarláncok dinamikája és előrejelezhetősége. *Időjárás, 89. 3.* 141—160.

Hajózási Szabályzat, 1980: A közlekedés- és postaügyi miniszter 8/1979. (V. 15.) KPM számú rendelete a vízi közlekedés rendjéről. *Magyar Közlöny. 28. 409.*

Mezősi M. és *Simon A.*, 1981: A meteorológiai szélmérés elmélete és gyakorlata. *Met. Tanulmányok. 36.*

Tanulmányterv a balatoni viharjelzés korszerűsítésére, 1979: OMSZ—OMFB. Budapest. 1979. 1—38.

IRODALOM

BARRY, R. G. and CHORLEY, R. J.: **Atmosphere, Weather and Climate** *(Légkör, időjárás és éghajlat)*. Methuen. London, New York, 1985. XXIV + 407 oldal, 208 ábra, 13 táblázat, 4 függelék, 440 irodalmi hivatkozás.

Ez a könyv a mű 1968 óta megjelent negyedik, javított kiadása. Szerzői: *R. G. Barry* a Colorado Egyetem, *R. J. Chorley* pedig a Cambridge Egyetem földrajz professzora. Rajtuk kívül számos kiváló szakember működött közre javaslataival, kritikai megjegyzéseivel a könyv jelenlegi formájának, ill. tartalmának kialakításában. Az első kiadás 1968-ban jelent meg, de a szerzők ezt a kiadást az újabb kutatási eredményekkel kiegészítették, lényegesen átfogalmazták a 7. és 8. fejezetet, a szövegben szereplő egységeket átírták az új, nemzetközileg elfogadott mértékrendszerbe. Céljuk: korszerű képet nyújtani arról, miként „működik" a légkör, hogyan alakul ki benne az időjárás és az éghajlat.

Az 1. fejezet *a légkör összetételét és energiaháztartását* tárgyalja. Különleges figyelmet fordít az ózon és a széndioxid térbeli és időbeli változásaira, valamint ezen gázoknak a légkör hőháztartásában játszott szerepére. A napállandó értékére 1360 $W.m^{-2}$ becslést ad. Ebben a fejezetben számos értékes adatot találunk a Föld-légkör rendszer energiaháztartásáról, a hőmérséklet globális eloszlásáról, évi menetéről a legújabb mérések és számítások alapján.

A 2. fejezet tárgya a *légköri nedvesség*. A Föld és a légkör vízkészletei, a hidrológiai ciklus, az evaporáció, transpiráció és evapotranspiráció, a kondenzáció, a felhőképződés, a csapadék kialakulása (Bergeron – Findeisen elmélet stb.) a zivatarok keletkezése és végül az aszály a főbb témái ennek a résznek.

A 3. fejezet címe a *légköri mozgás*. A légkörben ható erők összefoglalásán kívül szemléletes ábrákat találunk ebben a részben a légáramlások különböző formáiról: a vergenciáról, a ciklonális és anticiklonális örvényességről, a hegy-völgyi szélről, a lee-hullámokról, a parti szél okozta hőmérsékleti és nedvességi rendellenességekről, a jet stream-ről, a globális szélrendszerekről.

A 4. fejezet a *légtömegek, frontok és depressziók* fogalmával foglalkozik. A légtömegek főbb kialakulási helyeit térképek mutatják be mindkét hemiszféra nyári, ill. téli évszakát illetően. A frontogenezis és hullámciklonok ismertetését kiegészíti a nem-frontális depressziók, a mezoskálájú jelenségek leírása, valamint a rövid- és hosszú távú előrejelzések rövid összefoglalása.

Az 5. és 6. fejezet *a mérsékelt szélességek*, ill. *a trópusok időjárásával és éghajlatával* foglalkozik. Érdekes térképet találunk itt, amely bemutatja a Gorczynski-, ill. Berg-féle kontinentalitás-index eloszlását Európában. További érdekes megállapítás: a szingularitások és az áramlási típusok alapján Angliában 5 természetes évszak különböztethető meg. Észak-Amerika éghajlatának tárgyalásakor a Conrad-féle kontinentalitás-index területi eloszlását bemutató térképet láthatunk. A trópusok éghajlatának egyik jellegzetessége a passzát-inverzió, amely a leszálló légmozgások következménye a zivatarok környezetében. Az inverzió magassága a 15. szélességeken kb. 500, az egyenlítőn általában 2000 m. Egy másik jellegzetesség a monszunális szélfordulás, továbbá az ITC (trópuson belüli konvergencia), a trópusi háborgások kialakulása, ezek leírását találjuk a 6. fejezetben.

A 7. fejezet témája a *kis-skálájú éghajlatok* fizikája. Ez a rész szemléletes és korszerű összefoglalást nyújt a különböző tér- és időskálákon kialakuló légköri mozgások nagyságrendjéről, a mikro- és mezoskálák energiagazdálkodásáról, a városklímáról, a természetes és antropogén hőforrások energiasűrűségéről.

Az utolsó, 8. fejezet az *éghajlatingadozásokkal*, vagyis az éghajlatkutatás egyik legkorszerűbb témájával foglalkozik. Néhány értékes adatsor mellett az éghajlatingadozások lehetséges okairól is szó esik ebben a részben.

A nyolc fejezet után négy függelék következik: Az 1. az éghajlat osztályozásairól ad rövid áttekintést, a 2. egyes mértékrendszerek átszámításához ad segítséget, a 3. szinoptikai térképeken használt jelöléseket ismerteti, a 4. az SI mértékrendszert mutatja be. Végül a nyolc fejezet anyagának jobb megértését célzó, ellenőrző kérdésekkel, földrajzi név-, illetve tárgymutatóval fejeződik be a könyv.

Összefoglalva: e kötet áttekintést nyújt a klasszikus meteorológiai ismeretekről éppúgy, mint a legújabb kutatási eredményekről. Így megfelel annak a célnak, aminek szerzői szánták: a felsőfokú meteorológiai oktatás segédanyagaként jól hasznosítható.

Koppány György

Comptes-rendus des secondes journées d' études sur les aérosols *(Az aeroszolok vizsgálatával foglalkozó második nemzeti konferencia jegyzőkönyve).* GAMS-kiadás, 1986, 310 oldal. Megrendelhető: GAMS, 88 Boulevard Malesherbes, 75008 Paris.

A kiadvány azokat az előadásokat tartalmazza, amelyek a COFERA (Aeroszol-kutatási Francia Társaság francia rövidítése) második konferenciáján hangzottak el. A konferenciát 1985. november 5-én és 6-án Párizsban tartották. Az előadások két téma köré csoportosíthatók.

1. *Aeroszolrészecskék felfogása és mérése.* A tanulmányok a részecskék felfogásával (szűrés szálas szűrőkkel, hanghullámok hatása a légtisztító berendezések hatékonyságára stb.), optikai (optikai számlálók, kondenzációs magmérő kamrák, homályosságmérés) és elektromos (elektrosztatikus felfogók) tulajdonságaival foglalkoznak. Néhány, az aeroszolok fizikájának alapvető elveit tárgyaló munka szintén olvasható ebben a részben.

2. *Aeroszolok, környezet és egészség.* Az előadások a tengeri aeroszoloktól az ipari létesítményekből (kohászat, termoelektromos erőművek stb.) származó részecskékig számos területet érintenek. Érdekes tanulmányok találhatók az aeroszolrészecskék légzőutakban való lerakódásáról, generálásáról és gyógyászati felhasználásáról is.

A cikkeket neves francia kutatók és ipari szakemberek írták. Sőt, néhány munka külföldi (NSZK, USA, Olaszország) szerző tollából származik. Tekintve, hogy a tanulmányok számos fontos elméleti és gyakorlati kérdést tárgyalnak, forgatásuk a levegőkémiával, légszennyeződéssel és légköri aeroszolokkal foglalkozó szakembernek ajánlható.

Itt említjük meg, hogy az említett társaság következő ülésére 1986. december 8. és 10. között szintén Párizsban kerül sor.

A. Renoux-Mészáros Ernő

KRÓNIKA

A WMO FŐTITKÁRÁNAK MAGYARORSZÁGI LÁTOGATÁSA

G. O. P. Obasi professzor, a Meteorológiai Világszervezet főtitkára, — a Magyar Népköztársaság Kormányának meghívására — 1986. július 8. és 12. között hazánkba látogatott. Személyében magasrangú ENSZ diplomatát és kiemelkedő tudóst üdvözölhettünk.

G. O. P. Obasi a montreáli McGill Egyetem matematika-fizika szakán kitüntetéssel szerzett diplomát. Meteorológiából a Massachusetts Institute of Technology-nál kapott doktori címet. Az Intézet legjobb doktori disszertációjáért elnyerte a Carl Rossby-díjat. Tudományos kutatóként dolgozott a floridai Állami Egyetemen és a boulderi Nemzeti Légkörkutatási Központban is Coloradóban. A Nairobi Egyetemen Kenyában évekig meteorológiát adott elő. Nigéria Szövetségi Kormányának meteorológiai kutatás- és oktatásügyi tanácsadója volt. 1978-ban került a WMO Titkárságához Genfbe, mint az Oktatásügyi és Továbbképző Főosztály igazgatója. Pályafutása sorban a WMO és az ICSU (Tudományos Uniók Nemzetközi Tanácsa) számos nemzetközi tudományos programjában vett részt. A Meteorológiai Világszervezet főtitkárává a IX. Meteorológiai Világkongresszus választotta meg. Hivatalát 1984. január 1-jén vette át.

Magas rangú vendégünket látogatása első napján fogadta *Lázár György* miniszterelnök és *Várkonyi Péter* külügyminiszter. A Parlamentben, majd a külügyminisztériumban tett tisztelgő látogatáson *Obasi* főtitkár kíséretében részt vett *Barát József*, az Országos Meteorológiai Szolgálat elnöke, a Kormány állandó WMO képviselője és *Varga Miklós* az Országos Vízügyi Hivatal elnökhelyettese is.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat történetében fontos eseményként fogjuk nyilvántartani Obasi főtitkár látogatását. Az OMSZ intézményei közül a Központi Előrejelző Intézetet, a Számítóközpontot és a Központi Légkörfizikai Intézetet tekintette meg. A KEI-ben *Kapovits Albert* igazgató ismertette az intézet feladatát, beszélt munkájukról és terveikről. A KLFI-t *Götz Gusztáv* igazgatóhelyettes mutatta be. A főtitkár itt megtekintette a WMO és az ENSZ Környezetvédelmi Programjának (UNEP) támogatásával több mint 10 éve működő légszennyeződési oktatási központot. A rendelkezésre álló idő rövidsége miatt a Központi Meteorológiai Intézetet nem látogatta meg, de *Ambrózy Pál* igazgató ismertette a KMI tevékenységét, az országos hálózat munkáját és fejlesztési terveiket. A főtitkár nagy érdeklődést mutatott szolgálatunk valamennyi tevékenysége iránt. A Központi Légkörfizikai Intézetben tett látogatás során lehetőség nyílt arra, hogy frissítő mellett Obasi főtitkár kötetlen beszélgetést folytasson szolgálatunk vezető szakembereivel.

Obasi főtitkár látogatásának második napján az Országos Vízügyi Hivatal repülőgépén dunántúli kiránduláson vett részt, amely nemcsak szakmai szempontból volt számára hasznos és érdekes, hanem ízelítőt kapott a magyar táj szépségéből is. Az útvonal Budapest – Visegrád – Velencei-tó – Tihany – Balatonfüred – Siófok volt. Siófokon a Viharjelző Obszervatóriumunkban és a Balatoni Vízügyi Kirendeltségen tett látogatást.

A főtitkár magyarországi meghívásának és látogatásának fő célja az volt, hogy a WMO Hidrológiai Bizottságának 25 éves fennállása alkalmából rendezett ünnepi ülésen résztvegyen. Erre a jubileumi ülésre a látogatás harmadik napján került sor a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ székházának ülésztermében hidrológus kollegáink kiváló szervezésében és rendezésében. A főtitkár felszólalásában méltatta a magyar hidrológusok munkát a WMO-ban és külön köszöntötte a Hidrológiai Bizottság magyar elnökét, *Starosolszky Ödönt*, a VITUKI Vízépítési Intézetének igazgatóját.

Obasi főtitkárt magyarországi látogatására elkísérte felesége is, aki a hivatalos programok alatt a Dunakanyar, Szentendre, Esztergom nevezetességeivel ismerkedett meg.

Ambrózyné Mohácsi M.

KOPPÁNY GYÖRGY DOKTORI ÉRTEKEZÉSE

1985. október 2-án tartották meg a Magyar Tudományos Akadémián *Koppány György* „Az időjárás hosszabbtartamú előrejelezhetősége" című doktori értekezésének nyilvános vitáját. Az értekezés opponensei *Dobosi Zoltán* és *Major György* a földtudományok doktorai, továbbá *Götz Gusztáv* a földtudományok kandidátusa voltak. A disszertáció szerzője a kitűzött feladatot több irányból közelítette meg: a légköri mozgások energetikai tanulmányozásával, meteorológiai idősorok variancia analízisével és információ-elméleti alapon. Vizsgálatai során igen lényeges megállapításásokra jutott. Kimutatta, hogy a légköri mozgásrendszerek kiterjedése és élettartama között makroskálán lineáris kapcsolat áll fenn. Sikerült magyarázatot találnia a természetes szinoptikus periódusok kialakulására, amelynek ismeretében időtartamuknak az előrejelzése is megkísérelhető. A variancia elemzés egyik eredménye, hogy az évi menet által megmagyarázott variancia legnagyobb a hőmérséklet esetén, viszont csekély a felhőzet és a légnyomás esetén. A prognózisok információ elméleti vizsgálatában a bizonytalanság mérésére a Shannon-féle entrópiát használta. A prognózisok által szerzett információnyereséget a prognózisadás előtti és utáni bizonytalanság különbségével definiálta.

A disszertáció ismertetését számos hozzászólás követte. Annak ellenére, hogy a vitában felmerült néhány kérdés nyitott maradt, a bizottság pozitívan értékelte a témaválasztás korszerűségét, az egyéni útkeresést és a kapott eredményeket; úgy ítélte meg, hogy az eredmények továbbfejlesztés után a gyakorlatban is használhatók. Ezért javasolta a Tudományos Minősítő Bizottságnak *Koppány György* számára a doktori fokozat odaítélését.

Tänczer T.

SZAKÉRTŐI ÉRTEKEZLET A GLOBÁLIS KÖRNYEZETI MONITORING RENDSZER XII/4. TÉMÁJÁBAN

A KGST keretében folyó környezetvédelmi együttműködés egyik szaktémájának – a komplex háttérszennyeződési mérésekből származó információk feldolgozásának – szakértői 1986. szeptember 22 és 26 között Balatonlellén tartották értekezletüket. Az OKTH megbízásából e téma hazai felelőse a Központi Meteorológiai Intézet. Az értekezletre bolgár, NDK-beli, román és szovjet szakemberek érkeztek, és megjelentek a Környezetvédelmi Intézet képviselői is.

A meghatalmazottak tanácsának legutóbbi értekezlete jóváhagyta az érintett KGST-országok közös nemzetközi háttérszennyeződési adatbankjának terveit. Az ezzel kapcsolatos fejlesztési elképzelésekről a moszkvai Antropogén Monitoring Laboratórium, valamint az Alkalmazott Geofizikai Intézet képviselői számoltak be. Az egyes országokban folyó mérési és adatfeldolgozási programok ismertetése után a résztvevők megvitatták az információs rendszerrel kapcsolatos felhasználói igények felmérésének eddigi eredményeit. A témavezető intézet képviseletében, *J. Kolbig* (NDK) – aki egyben a tágabb nemzetközi együttműködésben kibontakozó EMEP-program tisztségviselője is – átfogó előadást tartott a környezetvédelmi adatbankok fejlesztésének és alkalmazásának főbb irányairól. A delegátusok beszámolói alapján a legtöbb KGST-országban a komplex környezetvédelmi információs rendszer most épül ki, bár a hangsúly elsősorban a környezetbe kerülő ipari eredetű szennyezőanyagok nyomonkövetésén van.

A résztvevők látogatást tettek az OMSZ siófoki obszervatóriumában is. Az értekezlet jegyzőkönyv aláírásával fejeződött be; a külföldi szakemberek elismerésüket fejezték ki a találkozó szervezéséért.

Faragó T.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

Az IDŐJÁRÁS célja az elméleti és alkalmazott meteorológia tárgykörébe tartozó tanulmányok publikálása. A tanulmányok új kutatási eredményeket tartalmazó beszámolók, illetve adott szakterület időszerű kérdéseit összefoglaló kritikai szemlecikkek lehetnek. A közlés nyelve: magyar vagy angol. A kettes sortávolsággal gépelt kéziratok két példányban küldendők be a következő címre: **Időjárás Szerkesztősége 1525 Budapest, Pf. 38.**

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzővel nem közöljük. A kéziratnak a következő formai igényeket kell kielégítenie:

Címrész: Tartalmazza a tanulmány címét, a szerző(k) nevét, munkahelyét és ez utóbbi pontos címét.

Összefoglalás: Külön oldalakon, magyar és angol nyelven, tartalmazza a kutatás célját, módszerét és a kapott eredményeket.

Szövegrész: Alcímekkel értelemszerűen fejezetekre tagolandó.

Irodalmi hivatkozások: Szövegben a hivatkozás tartalmazza a szerző(k) nevét aláhúzva és a publikálás évét. Pl. egyetlen szerző esetén: *Róna* (1909), vagy ha a szerző neve a szövegbe nem illeszthető be: *(Róna,* 1909); két szerző esetén: *Gamow* és *Cleveland* (1973); több szerző esetén: *Bacsó* et al., (1953). Ha adott szerzők ugyanazon évben publikált több cikkére hivatkozunk, akkor az évszámhoz *a, b* stb. betűket írunk. Az irodalom felsorolása a cikk végén a szerző(k) neve szerinti betűrendben történik. Folyóirat esetén: szerző(k) neve, évszám, a cikk címe, a folyóirat neve, kötetszám, kezdő és befejező oldalszám. Pl.: *Dési, F.*, 1955: A meteorológiai kutatás időszerű kérdései. *Időjárás 57*, 65—70. Könyv esetén: Szerző(k) neve, évszám, könyvcím, kiadó, megjelenés helye. Pl. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Ábrák: A kézirat első példányához az ábrákat pausz- vagy mm-papíron, a másodikhoz az eredeti ábrák másolatát kell csatolni. Az ábrák aláírásait külön lapon kell mellékelni. Fényképek fekete-fehér színben, fényes, kontrasztos minőségben nyújthatók be.

Táblázatok: A táblázatokat római számozással, szövegükkel együtt, külön lapon kell mellékelni.

Matematikai formulák és jelölések: A nem latin betűket és kézzel írott jeleket a margón ceruzával írt magyarázattal kell ellátni.

A szerzők megjelent tanulmányukért tiszteletdíjat és térítésmentesen **30 db különlenyomatot** kapnak. Több különlenyomat a szerző költségére a kézirat elküldésével egyidejűleg rendelhető.

NOTES TO THE AUTHORS

The purpose of IDŐJÁRÁS is to publish papers in the field of theoretical and applied meteorology. These may be reports on new results of scientific investigations or critical review articles summarizing current problems in certain subject. Authors may be of any nationality but papers are published only in Hungarian or English. Two copiees of the manuscripts, typed with double space, should be sent to the **Editorial Office of Időjárás.** Address: **Budapest, P. O. B. 38, H-1525, Hungary.**

Papers will be subjected to constructive criticism by unidentified referees.

The manuscript should meet the following formal requirements:

Title: Should contain the title of the paper, the name(s) of the author(s) with indication of the name and address of employment.

Abstract: Should contain the aim, method and conclusions of the scientific investigation on a separate page.

References: The text citation should contain the name(s) of the author(s) underlined and the year of publication. In case of one author: *Róna* (1909), or of the name of the author cannot be fitted into the text: *(Róna,* 1909); in case of two authors: *Gamow* and *Cleveland* (1973); there are more than two authors: *Bacsó:* et al. (1953). When referring to several papers published in the same year by the same author, the year of publication should be followed by letters, *a, b* etc. At the end of the paper the list of references should be arranged alphabetically. For an article: the name(s) of author(s), year, title of article, name of journal, volume number, pages. E. g. *Dési, F.* 1955: Current problems of meteorological research. *Időjárás 57*, 65—70. For a book: the name(s) of author(s), year, title of book, publisher, place of publication. E. g. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Figurens: Should be prepared entirely in black India ink upon transparent paper and be attached to the first copy of the manuscript; a copy of the original figures should be attached to the second manuscript copy. The legends of figures should be given on a separate sheet. Photographs of good quality may be provided in black and white.

Tables: Should be marked by Roman numbers and provided on separate sheets together with relevant captions.

Mathematical formulas and symbols: Non-Latin letters and hand-written marks should be explained by making marginal notes in pencil.

Authors are receiving **30 reprints** free of charge. Additional reprints may be ordered at the authors expense when submitting the manuscript.

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

A szerkesztésért felel: dr. Szepesiné Lőrincz Anna

Szerkesztőség: 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.
Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Tel.: 353-500

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, Budapest VII., Lenin körút 9—11. Telefon: 221-285. Levélcím: 1906 Budapest, Pf. 223.
Felelős kiadó: Siklósi Norbert vezérigazgató

86.2428 Athenaeum Nyomda, Budapest — Íves magasnyomás
Felelős vezető: Szlávik András vezérigazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329