IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT
FOLYÓIRATA

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

AMBRÓZY P. (Budapest), ANTAL E. (Budapest), BENGTSSON, L. (Reading), BÖHME, W. (Potsdam), BUDYKO, M. I. (Leningrád), FISHER, B. (Leatherhead), GEORGII, H.-W. (Frankfurta. M.), GÖTZ G. (Budapest), GULYÁS O. (Budapest), HAMAN, K. (Warshaw), HUSAR, R. (St. Louis, Missouri), KAPOVITS A. (Budapest), MAJOR GY. (Budapest), MESINGER, F. (Beograd), PRUPPACHER, H.R. (Mainz), RÁKOCZI F. (Budapest), RENOUX, A. (Paris-Créteil), ŠAMAJ, F. (Bratislava), SPÄNKUCH, D. (Post dam), STELCZER K. (Budaqest), 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)

88. ÉVFOLYAM — VOLUME 88
1984

BUDAPEST 1985

A TANULMÁNYOK SZERZŐI — AUTHOR INDEX

Ács Ferenc *(Novi Sad*, Yugoslavia) 134
Ajtay Ágnes *(Budapest)* 154, 238
Ambrózy Pál *(Budapest)* 121
Anand-Reddy, K. *(Hyderabad*, India) 86
Balog Mihály *(Budapest)* 101
Bartholy Judit *(Budapest)* 121
Béll Béla *(Budapest)* 174
Bella Lászlóné *(Budapest)* 299
Bernát Tivadar *(Budapest)* 358
Boncz József *(Budapest)* 154, 238
Bora Gyula *(Budapest)* 358
Csabai Dolores *(Pécs)* 46
Dévényi Dezső *(Budapest)* 92
Dragutin, M. T. *(Novi Sad*, Yugoslavia) .. 134
Faller Gusztáv *(Budapest)* 309
Gebhardt János *(Budapest)* 325
Geresdi István *(Pécs)* 21
Gulyás Ottó *(Budapest)* 101, 121, 161
Györe Simon *(Pécs)* 109
Horváth László *(Budapest)* 339
Horváth Sándor *(Keszthely)* 154
Hunkár Márta *(Keszthely)* 139
Iványi Zsuzsanna *(Budapest)* 145
Jain, T. C. *(New Delhi*, India) 86
Kapolyi László *(Budapest)* 253
Kapovits Albert *(Budapest)* 210
Ketskeméthy László *(Budapest)* 161
Kmetykó Katalin *(Budapest)* 232
Korándi Márta *(Budapest)* 161
Kovács György *(Budapest)* 345
Major György *(Budapest)* 339
Markó Tamás *(Pécs)* 3
Martos Ferenc *(Budapest)* 251
Mersich Iván *(Budapest)* 145
Mészáros Ernő *(Budapest)* 250, 339
Mitosinková, M. *(Bratislava*, Czechosl). 202
Molnár Károly *(Pécs)* 46
Nathan, K. K. *(New Delhi*, India) 228
Patel, S. R. *(Raipur*, India) 223
Patvaros József *(Miskolc)* 322
Péczely György *(Szeged)* 185
Penzar, B. *(Zagrab*, Yugoslavia) 193
Penzar, I. *(Zagrab*, Yugoslavia) 193
Rétvári László *(Budapest)* 358
Sallai Márta *(Budapest)* 92
Sastri, A. S. R. A. S. *(Raipur*, India) 223
Simon Kálmán *(Budapest)* 317
Sövér Ferenc *(Pécs)* 3, 109
Stoyanov, St. *(Sofia*, Bulgaria) 46
Székely Csaba *(Pécs)* 32
Szentimrey Tamás *(Budapest)* 101
Sziklaváry János *(Budapest)* 335
Takács Ferenc *(Őrhalom)* 238
Takács Pál *(Budapest)* 299
Tóth Miklós *(Budapest)* 309
Vajda György *(Budapest)* 271
Wirth Endre *(Pécs)* 1, 3, 57
Zavodsky, D. *(Bratislava*, Czechosl.) 202
Zettner Tamás *(Budapest)* 281
Zoltán Csaba *(Pécs)* 21, 32

TARTALOMJEGYZÉK — TABLE OF CONTENTS

Tanulmányok — Papers

Ajtay Ágnes – Boncz J. – Horváth S.: A csapadék és napfénytartam hatása a burgonya terméshozamára (Effect of the precipitation and the sunshine duration on the yield of the potato) 154

Ajtay Ágnes – Boncz J. – Takács F.: Összefüggés a vetőburgonya terméshozama és a meteorológiai tényezők között (Relation between crop yield of seed potatoes and meteorological parameters) ... 238

Ambrózy Pál – Bartholy J. – Gulyás O.: A system of seasonal macrocirculation patterns for the Atlantic-European region (Az atlanti-európai térség évszakos makrocirkulációs típusrendszere) 121

Anand Reddy, K. – Jain, T. C.: Evapotranspiration values obtained from planting patterns and their relationship whit empirical estimates based on climatological approach (Eltérő vetésszerkezetű parcellák evapotranspirációja és összefüggésük néhány éghajlati módszerrel számított értékkel) 86

Balog Mihály – Gulyás O. – Szentimrey T.: Meteorológiai megfigyeléssorozatok szélső értékeinek statisztikája (Statistics of extrem values of meteorological data-series) 101

Béll Béla (Budapest): A meteorológiai kutatás általános kérdései (Some problems of meteorological research) 174

Bernát Tivadar – Bora Gy. – Rétvári L.: Az ásványi nyersanyagtermelés és felhasználás földrajzi és társadalmi hatásai (Geographical and social impacts of production and utilisation of mineral raw materials) 358

Dévényi Dezső – Sallai M.: Műholdas információk felhasználása a meteorológiai mezők objektív analízisében. I. A műholdas információ bevonásának hatása az interpoláció elméleti hibájára (The use of the satellite information for the objective analysis of the meteorological fields. I. The effect of satellite information on the theoretical error of optimum interpolation) 92

Dragutin, M. T. – Ács, F.: A contribution to the relation between global radiation and sunshine duration or cloudiness (A globál-sugárzás és a napfénytartam vagy felhőzet kapcsolatáról) 134

Faller Gusztáv – Tóth M.: A környezeti hatások gazdasági és innovációs kapcsolatai a különböző tüzelőanyagbázisú erőművekben (The economical and innovative relations on environmental effects of power plants with different fuel-basis 309

Gebhardt János: Az alumíniumfeldolgozás különböző fázisaiban keletkező környezeti hatások és az azok elhárítási lehetőségei (Environmental impacts originating from the various processing stages of the aluminium industry and their possible production) 325

Gulyás Ottó – Kecskeméthy L. – Korándi M.: Többsávos digitális műholdképek számítógépes clusterezése (Computerized clustering of multispectral digital satellite pictures) 161

Györe Simon – Sövér F.: Konvektív cellák mozgásának statisztikai elemzése (A statistical analysis of cell motion) 109

Hunkár Márta: A simple calculation of the vertical profile of average PAR flux density within a maize stand (Egyszerű számítási módszer a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) fluxus átlagos vertikális profiljának meghatározására kukorica állományban) 139

Iványi Zsuzsanna – Mersich I.: A climatological analysis of two- and four-day back-ward trajectories (2 és 4 napos trajektóriák klimatológiai vizsgálata) 145

Kapolyi László (Budapest): Az ásványi nyersanyagtermelés és feldolgozás hatása a környezetre (Effects of the production and utilization of mineral row materials on the environment) 253

Kapovits Albert: Frontális felhő – csapadék rendszer radar vizsgálata (Radar study of a frontal cloud – precipitation system) 210

Kmetykó Katalin: A kukorica területi termésátlagának előrejelzése meteorológiai paraméterek segítségével (Prediction of areal average yield of maize on the basis of meteorological parameters) 232

Kovács György: Az ásványi nyersanyagtermelés hatása a felszíni és a felszín alatti vizekre (Impacts of the exploitation of mineral resources on surface and groundwater 345

Martos Ferenc: Elnöki megnyitó a Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának az MTA 1984. évi Közgyűlése alkalmából megtartott ülésszakán (Opening address for the conference of the Department of Earth Sciences and Mining held on the Occasion of the General Assembly of the Hungarian Academy of Sciences in 1984) 251

Mészáros Ernő – Major Gy. – Horváth L.: A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának hatása a légkör összetételére, savasodására és hőszennyeződésére (Effects of the use of fossil fuels on the composition, acidification and heat pollution of the atmosphere) 339

Molnár Károly – Csabai D. – Stoyanov, St.: Jégesők előrejelezhetősége zivatarfelhő-modell segítségével (Possibility of hail forecasting by applying a thunderstorm model) 46

Nathan, K. K.: A note on the relationship between reference crop evapotranspiration and its components in a semiarid environment (Egy referencia növényállomány evapotranspirációja és összetevői közötti kapcsolat szemiarid területen) 228

Patvaros József: Az építőanyagbányászat környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei (Environmental effects of building material mining and possibilities for their removal) 322

Péczely György: Az afrikai Száhel-övezet csapadékingadozásainak kapcsolata a Föld időjárási anomáliáival (Relationship between the oscillations of precipitation in Sahel-zone in Africa and weather anomalies of the Earth) 185

Penzar, I. – Penzar, B.: Features of sunshine duration in Croatia determined by means of distribution functions (A napfénytartamnak az eloszlásfüggvény segítségével meghatározott jellemzői Horvátországban) 193

Sastri, A. S. R. A. S. – Patel, S. R.: Classification of agricultural droughts of rained rice crop – A case study for Central India (A szárazgazdálkodású rizs mezőgazdasági aszályának osztályozása – Esettanulmány Közép-Indiára) 223

Simon Kálmán: A bányászat és környezetvédelem kapcsolata (Relationship between mining and environmental protection) 317

Székely Csaba – Zoltán Cs.: A jégesőindikátor és felhasználásának lehetőségei (The hailpad and possibilities of its usefulness) 32

Sziklavári János: Vaskohászati salakok és a természeti környezet kapcsolata (Relation between siderurgical slags and natural environment) 335

Takács Pál – Bella L.-né: A szénelőkészítés és szénnemesítés emisszió-csökkentő hatása (The emission lowering effect of coal preparation and processing) 299

Vajda György: A hasadó anyagbázisú erőművek környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei (Environmental effects of nuclear power plants and possibilities for their reduction) 271

Wirth Endre: Bevezető megjegyzések (Introductory remarks) 1

Wirth Endre: Jégesőelhárítás Magyarországon (Hail prevention in Hungary) ... 57

Wirth Endre – Markó T. – Sövér F.: A jégesőelhárítás értékelése: fizikai hatások és gazdasági következmények (The evaluation of hail suppression: physical effects and economical consequences) 3

Závodský, D. – Mitošinková, M.: Estimation of atmospheric budget of nitrogen compounds over Czechoslovakia (A nitrogénvegyületek légköri mérlege Csehszlovákia fölött) 202

Zettner Tamás: A szénbázisú erőművek környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei (Environmental effects of coal-fired power plants and possibilities for their reduction) 281

Zoltán Csaba – Geresdi I.: A one-dimensional steady-state jet model for thunderclouds (Zivatarfelhők egydimenziós stacionárius jet modellje) 21

II. Irodalom — Literature

Barbato, J. P. – Ayer, E. A.: Atmospheres. A view of the gaseous envelopes surrounding members of our Solar System (Légkörök. A Naprendszer tagjait övező gázburkok áttekintése). *(Mészáros Ernő)* 119
Bengtsson, L. – Ghil, M. – Källén, E. (szerk.): Dinamic meteorology – Data assimilation methods (Dinamikus meteorológia – Adatasszimilációs módszerek). *(Dévényi Dezső)* 247
Ivanov, M. V. – Freney, J. R. (szerk.): The global biogeochemical sulfur cycle (A kén biogeokémiai körforgalma). *(Mészáros Ernő)* 372
Kondratyev, K. Ja. – Moszkalenko, N. I. – Pozdnjakov, D. V.: Atmoszfernij aerosol (Légköri aeroszol). *(Mészáros Ernő)* ... 120
Kondratyev, K. Y. – Unt, G. E.: Weather and climate on planets (A bolygók időjárása és éghajlata). *(Mészáros Ernő)* .. 119
Mazin, I. P. – Smetyer, Sz. M.: Oblaka, sztrojenyiji i fizika obrazovanyija (A felhők szerkezete és keletkezése). *(Mészáros Ernő)* 52
Saltman, B. (szerk.): Theory of climate (Klimaelmélet). *(Szalai Sándor)* 179
Tarakanov, G. G.: Tropical meteorology Trópusi meteorológia). *(Koppány György)* 248

III. Krónika — Chronicle

Ambrózy Pál: Nap- és szélenergia szakosztály az MMT-ben 184
Dávid Aranka: A XIII. Meteorológiai Világnap 182
Iványi Zsuzsanna – Lőrincz Anna: Fiatal meteorológusok szakmai fóruma 56
Lépp Ildikó: A Magyar Meteorológiai Társaság 48. közgyűlése 181
Lőrincz Anna: Péczely György, 1929 – 1984 183
Tänczer Tibor: Meteorológiai tudományos napok 53
Tänczer Tibor: Műhold-program a Föld éghajlatának jobb megismerésére 54
Tóth Erzsébet: Ankét az 1983. évi aszályról 183

TÁRGYMUTATÓ

A tárgymutatóban * = könyvismertetés

Aeroszol részecskék 120*
Afrika szahel-övezete 185
Agrometeorológia 86, 139, 154, 223, 228, 232, 238
Agrometeorológiai kutatás műhold adatokkal 161
Alap- és alkalmazott kutatás a meteorológiában 174
Árnyékoltság növényállományon belül 139
Ásványi nyersanyagtermelés
– földrajzi és társadalmi hatása 358
– hatása a felszíni vizekre 345
– hatása a felszínalatti vizekre 352
– hatása a környezetre 253
Aszály 1953-ban 183
Atlanti-európai cirkuláció 121
Atomerőmű és a környezet 263, 271
Atomerőművi hulladékok 279

Bauxitbányászat és a környezet 267, 325
Biogeokémia 372*
Bolygók légköre 119*
Budapesti középhőmérséklet jellemzői 101
Burgonya fejlődése és az időjárás 154, 238

Cirkulációs típusok 121
Csapadék és a burgonya terméshozama 154
Csapadékmennyiség maximumai 101
Csapadékvíz savassága 339, 343

Dinamikus meteorológia 247*

Éghajlati világprogram 54
Égitestek légköre 119*
Emisszió környezeti hatása 202, 256, 282, 299
Energiahordozók és a környezet 257
Építőanyag-bányászat és a környezet 322
Evapotranspiráció meghatározása 86, 228

Felhőalap hőmérséklete 21
Felhők szerkezete 52*
Felhőmagvasítás 64
Felhőtető magassága 27
Felhőzet és globálsugárzás 134
Fosszilis tüzelőanyagok 281, 339
Fotoszintetikusan aktív sugárzás 139
Föld éghajlata 54
Föld időjárási anomáliái 185
Front-rendszerek radar-vizsgálata 210
Füstgázok összetétele 282

Globál-sugárzás és a napfénytartam 134

Háttérszennyezettség mérése 145
Horvátország napfénytartama 193
Hőszennyeződés 293, 343, 344

Időjárási adatok komplex analízise 210
Időjárási anomáliák 185

Jégesőelhárítás 1, 3, 5, 21, 57, 109
Jégesőelőrejelzés 46
Jégesőindikátor 32
Jégesőmérő lap 35
Jégkárok becslése 11
Jégkárok változékonysága 6

Kén biogeokémiai körforgalma 372*
Kén-emisszió 258, 283, 293
Klimaelméleti szimpózium 179*
Konvektív cellák mozgása 109
Környezet savasodása 339, 342, 372*
Környezeti hatások és a villamosenergia-termelés 309
Környezetszennyezés
– és hasadóanyagbázisú erőművek 271
– és hőerőművek 290
– és szénbázisú erőművek 281, 299
– és vaskohászat 335
– és alumínium-feldolgozás 325
– és ásványi nyersanyagtermelés 253

Környezetvédelem
– és bányászat 253, 267, 317, 322, 325
– és vízgazdálkodás 345
– és nyersanyagfeldolgozás 256
– és erőművek emissziója 282, 299
– és ipari beruházások 263, 269
Középhőmérséklet sűrűségfüggvénye 101
Kukoricaállomány fotoszintetikus produkciója 139
Kukoricatermés mennyiségi előrejelzése 232

Légkör savasodása 339
Levegő hőszennyeződése 145, 202, 339
Levegőkémia 120*, 282, 372*

Magyar Meteorológiai Társaság
– Nap- és szélenergia szakosztálya 184
– 48. közgyűlése 181
– Róna Zsigmond-Ifjúsági Köre 54
Megfigyelési sorozatok szélső értékei 101
Meteorológiai kutatás elvi kérdései 174
Meteorológiai mezők analízise 92
Meteorológiai Tudományos Napok 53
Meteorológiai Világnap 182
Műholdas információk felhasználása 92, 210
Műholdképek agrometeorológiai felhasználása 161
Műhold-program és a Föld éghajlata 54

Napfénytartam és a burgonya terméshozama 154
Napfénytartam Horvátországban 193
Napfénytartam kapcsolata a globálsugárzással 134
Naprendszer tagjainak légköre 119*
Nitrogénvegyületek emissziója Csehszlovákiában 202

Numerikus prognosztika 247*

Objektív analízis 92
OMSZ Ifjúsági Bizottsága 56
Optimális interpoláció hibája 92
Öntözési program párolgásmérés alapján 86

Paksi Atomerőmű 271, 293
Péczely György emlékezete 183
Pernyék radioaktivitása 290
Porszennyezés 281, 299, 318

Savasodás a légkörben 339
Száhel övezet csapadéka 185
Számítógépes clusterezés 161
Szennyezőanyagok útvonalai 145

Többsávos digitalizált műholdképek 161
Trajektória-modellek és a háttérszennyeződés 145
Trópusi öv meteorológiája 248

Vetőburgonya terméshozama és az időjárás 238
Viharágyúzás története 59
Villamosenergiatermelés és a környezet 309

Zivatar-cellák mozgása 109
Zivatarfelhők modellje 21, 46, 62

SUBJECT INDEX

The sign * denotes literature reviews

Acidification 339, 342, 372*
Aerosol particles 120*
Agricultural meteorology 86, 139, 154, 223 228, 232, 238
– and satellite data 161
Air chemistry 120*, 282, 372*
Air pollutants, trajectory of 145
Aluminium industry and the environment 267, 325
Atlantic-european circulation 121

Background air pollution 145
Basic and applied research in meteorology 174
Biogeochemistry 372*
Budapest, average temperature of 101
Building material mining and the environment 322
Circulation types 121
Climatic theory, symposium of 179*
Cloud base temperature 21
Cloud seeding 64
Cloud structure 52*
Cloud top height 27
Clouds and global radiation 134
Cluster analysis 161
Convective cells 109
Corn and photosynthesis 139
Corn growth forecasting 232
Croatia, sunshine duration of 193

Density function of average temperature 101
Drought in 1953 183
Dust pollution 281, 299, 318
Dynamic meteorology 247*

Earth's climate 54
Electric power and environment 309

Emissions
– environmental effects of 202, 256, 282, 299
– composition of 282
Energy production and the environment 257
Environmental pollution and
– aluminium industry 325
– coal fired power plants 281, 299
– mineral row material production 253
– nuclear power plants 271
– power plants 290
– siderurgy 335
Environmental protection and
– industrial investment 263, 269
– mining 253, 267, 317, 322, 325
– power plant emissions 282, 299
– row material preparation 256
– water management 345
Evapotranspiration, determination of 86, 228
Extreme values of observational series 101

Fossil fuels 281, 339

Global radiation and sunshine duration 134

Hail damages
– estimation of 11
– variability of 6
Hail forecasting 46
Hail indicators 32
Hail pad 35
Hail prevention 1, 3, 5 ,21, 57, 109
Heat pollution 145, 202, 293, 339, 343, 344

Irrigation and evaporation 86

Meteorological fields, analysis of 92
Meteorological research, fundamental aspects of 174

Meteorological Scientific Days 53
Meteorological Society of Hungary
– branch on solar and wind energy 184
– 48th Assembly of 181
– youth branch Zs. Róna 54
Mineral row materials, utilisation of
– environmental effects 253
– geographical and social effects 358
– hydrological effects 345, 352

Nitrogen emission in Czechoslovakia 202
Nuclear power plant
– and the environment 263, 271
– and wast 279
– in Paks 271, 293
Numerical forecasting 247*

Objective analysis 92
Optimum interpolation, error of 92

Péczely, Gy., *in memoriam* 183
Photosyntetically active radiation 139
Photosynthesis and corn 139
Planets, atmosphere of 119*
Potato growth and weather 154, 238
Precipitation
– acidity 339, 343
– and potato growth 154
– maximums 101

Radar studies of frontal systems 210
Radioactivity of fly ash 290

Sahel zone 185
Satellite data
– in agricultural meteorology 161
– in digital form 161
Satellite information 161
Satellite program and Earth's climate 54
Shade in plant community 139
Storm guns, history of 59
Sulfur cycle 372*
Sulfur emission 258, 283, 293
Sunshine duration
– and potato production 154
– correlation with global radiation 134
– in Croatia 193

Thundercloud cells, movement of 109
Thundercloud model 21, 46, 62
Trajectory models 145
Tropical zone, meteorology of 248

Weather anomalies 185
Weather data, complex analysis of 210
World Meteorological Day 182
World Weather Watch 54

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

88. ÉVF. ★ 1. SZÁM ★ 1984. JANUÁR—FEBRUÁR

TARTALOM

Wirth Endre: Bevezető megjegyzések 1

Wirth Endre — Markó Tamás — Sövér Ferenc: A jégesőelhárítás értékelése: fizikai hatások és gazdasági következmények 3

Zoltán Csaba — Geresdi István: Zivatarfelhők egydimenziós stacionárius jet modellje (angol nyelven) 21

Székely Csaba — Zoltán Csaba: A jégesőindikátor és felhasználásának lehetőségei . 32

Molnár Károly — Csabai Dolores — St. Stoyanov: Jégesők előrejelezhetősége zivatarfelhő-modell segítségével 46

Irodalom 52

Krónika 53

CONTENTS

Wirth, E.: Introductory remarks 1

Wirth, E. — Markó, T. — Sövér, F.: The evaluation of hail suppression: physical effects and economical consequences 3

Zoltán, Cs. — Geresdi, I.: A one-dimensional steady-state jet model for thunderclouds (in English) 21

Székely, Cs. — Zoltán, Cs.: The hailpad possibilities of its usefulness 32

Molnár, K. — Csabai, D. — Stoyanov St.: Possibility of hail forecasting by applying a thunderstorm model 46

Literature 52

Chronicle 53

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 88. ★ NO. 1. ★ JAN.—FEB. 1984. ★ 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)
LOGVINOV, K. (Kijev)
MAJOR, GY. (Budapest)
MESINGER, F, (Beográd)
PÉCZELY GY. (Szeged)
PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
RÁKÓCZI F. (Budapest)
RENOUX, A. (Paris-Créteil)
ŠAMAJ, F. (Bratislava)
SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
STELCZER K. (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:
LŐRINCZ ANNA (Budapest)

Szerkesztőség: Budapest, Postafiók 38. 1525
Előfizetés: 1 évre 228 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályá n Budapest, Kitaibel Pál utca 1. 1024. Levélcím: Budapest, Pf. 38. 1525. Megjelenik kéthavonként.
Egyes szám ára 38 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

Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 1. szám. 1984. január—február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 1. No. 1 Jan.—Feb. 1684 Budapest

Bevezető megjegyzések

Az Időjárás jelen számában a zivatarfelhő modellezésével, a jégesők modell segítségével történő előrejelzésével, a zivatarcellák mozgásával, a jégszemek fizikai sajátosságainak „indikátorral" történő mérésével és a védekezés gazdasági hatékonyságának vizsgálatával foglalkozunk. A következő számokban kívánjuk publikálni a jégesők klimatológiájára, a jégkárok szerkezetére, a védekezés döntési modelljére, valamint a jégeső elleni védekezés előzményeire és perspektíváira vonatkozó dolgozatokat.

A felhőfizikai kutatások eredményei alapján ma már sikerrel kísérelhetjük meg a felhők módosítását, a csapadék mennyiségének megnövelése, illetve a jégeső okozta károk csökkentése céljából. Mivel a jégesők Magyarországon igen komoly károkat okoznak, néhány évvel ezelőtt az Országos Meteorológiai Szolgálat megszervezte a jégeső elleni védekezést. A védekezést szovjet módszerrel, rakétákkal a felhőbe juttatott mesterséges jégmagvak segítésével végezzük.

A jégeső elleni első rakéta 1976. július 23-án röppent fel Magyarországon a Baranya megyei Tenkes hegyről: Ezzel a meteorológiai szolgáltatások új korszaka kezdődött el Magyarországon. E szolgáltatást az Állami Biztosító finanszírozza; ezért, és a munka értékeléséhez szükséges adatok rendelkezésre bocsátásáért ezúton is köszönetünket fejezzük ki.

1979-ben a Minisztertanács — értékelve a hároméves kísérleti időszakot — határozott a védekezés megerősítéséről és kiterjesztéséről. (Ez utóbbi feladat megoldásán az OMSZ jelenleg is fáradozik.) A döntés helyességét ma már hét esztendő káradatainak vizsgálata alapján támasztjuk alá. Tevékenységünk azonban nem korlátozódik a védekezésből származó gazdasági megtakarítás és a hatékonyság kimutatására. A főleg pályakezdő fiatalokból álló szakembergárda ui. az operatív munkában számos megoldatlan kérdéssel találkozott, amelyekre mintegy három évvel ezelőtt kezdte intenzívebben keresni a választ.

Vizsgálataink végcélja gyakorlati: a beavatkozások sikeresebb végrehajtása. Ennek eléréséhez sokszor olyan kutatómunkát kell folytatni, ami egyesek szemében fölöslegesnek tűnhet. Mi szükségesnek ítéljük ezeket, így is hangsúlyozva, hogy ismereteink jelenlegi szintjén — amely a jégesőképződés folyamatainak bonyolultságához képest igen alacsony — a kutatások elhanyagolásának következményei beláthatatlanok.

Wirth Endre
az Alkalmazott Felhőfizikai Központ vezetője

Introductory remarks

In the present number of Időjárás the numerical modeling of thunderclouds, the forecast of hailstorms by means of a jet model, the movement of thunderstorm cells, the measurements of the physical characteristics of hailstones by hailpads and the investigation of the economical efficiency of hail prevention are dealt with. The following numbers are intended to involve papers relating to hail climatology, the structure of damages from hail, the decision model of the suppression and to the antecedents and perspectives of hail prevention in Hungary.

On the basis of the results of cloud physics research we have become able to try the modification of clouds to produce more precipitation or to prevent hail losses. Since in Hungary hail losses are very serious, a project was organized by the Meteorological Service in the Southern part of the country in order to modify hail clouds, on the basis of Soviet methods, by means of artificial ice nuclei emitted by rockets.

In Hungary the first anti-hail rocket was launched on 23rd of July, 1976, from Tenkes-hill, Baranya county, opening a new era of meteorological services in the country. The prevention is financed by the State Insurance Company; we wish, hereby to express them our thanks for this and also for presenting us the necessary data to evaluate the results.

In 1979, the Council of Ministries, evaluating the given experimental period of three years, adopted a resolution of strengthening and extension of the hail prevention. (The Meteorological Service of Hungary is settling a solution of this latter problem.) Nowadays, we are able to support the correctness of this decision on the basis of examining the data of seven years' losses. Our research, yet, is not restricted to the analysis of economic savings and effectiveness due to the suppression. Our staff, consisting of mostly young specialists, was faced with a number of unresolved problems in the practical work and it began to search intensively after the solutions about three years ago.

The purpose of our investigations is quite practical: to perform the seeding of Cb clouds more succesfully in order to reduce losses from hailfalls. However, to reach this aim research is needed, seeming useless to some people. We, on the contrary, deem them necessary, underlying, also in this way that, at the present level of our art, being very low as compared to the complicated processes of hail formation, the consequences of neglecting research are unpredictable.

E. Wirth
Head of Applied Cloud Physics Centre

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 1. szám. 1984. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 1. Jan. – Feb. 1984. Budapest

A jégesőelhárítás értékelése: fizikai hatások és gazdasági következmények

WIRTH ENDRE, MARKÓ TAMÁS és SÖVÉR FERENC, *Országos Meteorológiai Szolgálat, Alkalmazott Felhőfizikai Központ, H-7601 Pécs, Pf. 353*

A jégesőelhárítás értékelése: fizikai hatások és gazdasági következmények. A dolgozat célja kettős. Egyrészt áttekintjük az értékelés általános problémáit, amelyek a jégesők saját változékonyságából, ill. a beavatkozások elsődleges (fizikai) és másodlagos (gazdasági) hatásainak bonyolult kapcsolatából erednek; továbbá két nevezetes randomizált jégesőelhárítási kísérlet példáján bemutatjuk a prediktor- és válaszváltozók kiválasztásának és alkalmazásának lehetőségeit a fizikai hatások detektálására. Másrészt eljárásokat adunk a Magyarországon (Baranyában) 1976 óta folyó védekezés gazdasági következményeinek becslésére. Így alkalmazzuk a már korábban használt gazdasági megtakarítás fogalmát és definiáljuk a gazdasági hatékonyságot és a jövedelmezőséget. Az Állami Biztosító statisztikáin alapuló számítások egyértelműen a védekezés eredményességét mutatják.

⁂

The evaluation of hail suppression: physical effects and economical consequences. The aim of this paper is twofold. First, its goal is to review the general problems of evaluation of the hail suppression experiments, originating both from the great variability of hailfalls themselves and from the complex relationships between the primary (physical) and secondary (economical) effects of the seeding, in addition to demonstrate by means of two notable randomized hail prevention experiments the possibilities of the selection and application of predictor and response variables for the detection of physical effects. Second, some procedures are presented to estimate the economical consequences of the hail suppression project which has been conducted since 1976 in Hungary (Baranya county). The earlier introduced term of economical earnings and the newly defined economical effectiveness and rentability are applied to the statistics of the State's Insurance Company. The results of the calculations seem to show unanimously the efficiency of suppression.

⁂

Bevezetés. A Meteorológiai Világszervezet adatai szerint (*Summers*, 1979) a hetvenes évek elején 34 országban folytattak jégesőelhárítási kísérleteket és 32 más ország tervezett vagy hajtott végre – sokszor közösen – a témával kapcsolatos kutatásokat vagy előkészítő munkákat. Az 1975–81 közötti időszakban 14 országban közel 70 millió hektárnyi területen végeztek ilyen típusú beavatkozásokat (*WMO-regiszterek*, 1976–82).

E felhőmagvasítási tevékenységet világszerte két alapvetően különböző céllal folytatják. A tudományos jellegű, randomizált kísérletek – az ún. *experiment*-ek – a magvasítás meteorológiai következményeinek kinyomozását tekintik legfontosabb feladatuknak. A kereskedelmi jellegű vállalkozások – a *project*-ek – deklarált célja viszont a jégeső okozta károk csökkentése.

A Regisztereket tanulmányozva feltűnik, hogy az experimentek az összes érintett („védett") területnek csak mintegy 4%-án folytak (elsősorban Kanadában és az USA-ban). E területi aránynak megfelelően a projectek

száma is sokszorosan múlta felül a tudományos kísérletek számát a hetvenes évtizedben.

A kereskedelmi jégesőelhárítási vállalkozások „sajátossága", hogy gyakran semmiféle eredményelemzést nem tartalmaznak. Például egy 1973-ban készített felmérés szerint hét, hosszú időtartamú és jelentős területre kiterjedő kísérlet közül *(I. táblázat)* „külső" (tehát független) szakértői csoport csupán egyet elemzett rendszeresen és egyet esetenként; kettőt a felhőmagvasító társaság, vagyis maga a végrehajtó „ellenőrzött", hármat pedig egyáltalán nem vizsgáltak a fizikai hatások szempontjából (*Borland*, 1977).

I. TÁBLÁZAT

Néhány nagyobb jégesőelhárítási kísérlet Kanadában és az USA-ban. (A kísérleteknél a feltüntetett különböző időtartamok a kísérlet körülményeiben bekövetkezett fontos változásokra utalnak, pl. megváltoztatták a beavatkozás módszerét.)

Ország (állam)	Időtartam	Területi kiterjedés (millió ha)	Értékelés
Kanada: Alberta	1956 – 72; 1973-tól	2,8	van (független)
USA: Colorado	1951 – 65; 1966-tól	1,8	van (nem független)
N – Dakota	1961 – 63; 1964-től	1,4	1972-től nincs
N – Dakota („Tri-county")	1951 – 61; 1962 – 69; 1970-től	1,8	1951 – 72: van, 1973-tól: nincs
S – Dakota	1951 – 62; 1962-től	12,0	esetenként van (független)
Texas	1970-től	0,5	nincs
Texas	1973-tól	0,5	van (nem független)

Ez a körülmény jól jelzi, hogy a főleg mérsékelt égövben jelentkező és világszerte legalább évi kétmilliárd dollárnyi veszteséget okozó (*Summers*, 1979) jégesők mérséklésének igénye komoly gazdasági hajtóerőt képvisel. A kívánt eredmény érdekében a „felhasználó" és a „végrehajtó" is bizonyos kockázatot hajlandó vállalni: feltételezi – de szakmailag nem erősíti meg – a védekezés alapjául szolgáló elgondolás helyességét. Erre főképp az ad lehetőséget, hogy – sok más tudományos felfedezéssel ellentétben – a felhőfejlődés mikrofizikai eljárással történő módosításának lényege roppant egyszerűen magyarázható; és mivel a módszer – némi befektetéssel – könnyen kivitelezhetőnek tűnik, igen jól „eladható", tehát jövedelmező ötletet is képvisel. Ezt az ötletet – különösen az USA-ban – sokan igyekeztek hasznosítani, hangoztatva, hogy: „...a kereskedelmi felhőmagvasító nem engedheti meg magának azt a luxust, hogy a bizonytalanságot használja fel a döntésképtelenség igazolására..." (*Howell*, 1966). Ugyanakkor az ilyen típusú beavatkozások nem, vagy csak hosszú idő elteltével teszik lehetővé olyan (statisztikailag kielégítő) mennyiségű adat összegyűjtését, ami tudományos szem-

pontból is meggyőző lehet. Jól érzékelteti ezt *Henderson* (1975) véleménye, aki személyes benyomásait összegezve írja a szovjet kísérletekről: „... tudományos bizonyítékokat szolgáltatni, vagy gazdasági hasznot nyújtani olyan szignifikancia szinten, ami elfogadható azok számára, akik az eredményeket értékelik: két teljesen különböző dolog. Ezt a szovjet kutatók pontosan értik és ... erősen úgy vélik, hogy a tudomány az operatív fejlődést gyorsan fogja követni". *Henderson* azt is érzékelteti, hogy itt tulajdonképpen két filozófiai alapállás régi harca tükröződik. Az egyik szerint: „Tegyünk valamit, még akkor is, ha nem értünk mindent!" A másik azt hangoztatja: „Alapozzuk

II. TÁBLÁZAT

Jégeső-elhárítási kísérletek eredményei néhány országban

Ország (állam)	Időtartam	A változás %-ban	
		jégeső-jellemző	eső
USA:			
Texas	1970–73	–48 kárarány	0
Dakota	1961–75	–31 biztosítási díj	?
N–Dakota	1968–71	–30 „fizikai" és káradatok	+23
S–Dakota	1972–75	–20 kár	+7
Colorado, NHRE	1972–74	(+4) és (+40) között jégeső össztömeg	+23
Szovjetunió: *			
Kaukázus	1972–79	–70 kár	?
Krasznodár	1972–79	–70 kár	?
Ukrajna	1972–79	–92 kár	?
Üzbegisztán	1972–79	–92 kár	?
Grúzia	1972–79	–96 kár	?
Azerbajdzsán	1972–79	–95 kár	?
Moldávia	1972–79	–89 kár	?
Tadzsikisztán	1972–79	–86 kár	?
Örményország	1972–79	–87 kár	?
		Átlag: –86%	
Dél-Afrika	1971–74	–40 intenzitás	–4

* Az egyes területegységek nagysága szerint súlyozott területi átlagok. Összterület 1979-ben 5,8 millió ha. (*Changnon*, 1977, *Burcev*, 1980).

meg jobban ezt a tevékenységet, mielőtt bármit is tennénk". Az első vélemény általában erősebb, annál is inkább, mert a finanszírozó intézmények nem a költséges és hosszadalmas, bár lényegében nélkülözhetetlen kutatásokban, hanem a befektetett pénzösszegek minél gyorsabb, kamatos visszatérülésében érdekeltek. Ezért azután az operatív beavatkozások gyakran a tudományos ismereteket meghaladó mértékben és keretek között folytak (és folynak); sajnos azonban időtartamuk és egyéb jellegzetességeik legtöbbször nem teszik lehetővé a korrekt értékelést.

Azoknál a kísérleteknél, amelyeket (legtöbbször a biztosítási adatok elemzésével) valamilyen gazdasági értékelésnek alávetettek, az eredmények széles határok között változtak. Erre példa a *II. táblázat*, amelyben *Changnon* (1977) reprezentatív felmérése alapján öt amerikai és egy dél-afrikai kísérlet, továbbá *Burcev* (1980) után a kilenc szovjet köztársaságban folyó védekezési munkák átlagos eredményeit mutatjuk be.

A fentiek ismeretében nem meglepő, hanem inkább természetes, hogy az

elmúlt évtizedben az időjárásmódosítás területén a legvitatottabb témává éppen a jégeső elleni védekezés vált. A hetvenes évek közepétől az egyöntetűen jó hatékonyságról beszámoló szovjet publikációk (pl. *Burcev*, 1976) a nyugati szaksajtóban – az ottani negatív eredmények miatt – különösen heves reakciókat váltottak ki (*Changnon*, 1977; *Atlas*, 1977; *Battan* 1977; *Federer et al.* 1978/79). Élesedtek a viták a nemzetközi konferenciákon is (WMO-konferenciák: *Proceedings...*, 1973; *Conference-Workshop*, 1982 stb.).

Az okokat elsősorban talán a beavatkozások értékelésének nehézségeiben kell keresnünk. E nehézségek itt is tudásunk hiányosságaiból erednek. Közismert ugyanis, hogy a negyvenes évek óta bekövetkezett óriási fejlődés ellenére ma sem vagyunk képesek a felhő-, és csapadékképződés folyamatainak kvantitatív jellemzésére, ill. előrejelzésére. (Ez a megállapítás különösen érvényes a mezoléptékű folyamatokra.) Az is triviális, de idevágó megállapítás, hogy ha rendelkeznénk e feladatokat megoldó módszerekkel, a beavatkozások hatásait is könnyűszerrel ellenőrizhetnénk.

A megbízható fizikai ismeretek hiánya miatt tehát az értékelés különböző fázisaiban statisztikai eljárásokat kell – és szokás – alkalmazni. Ehhez „elegendően nagyszámú", (vagy: „elegendően hosszú" időtartamra vonatkozó) „megbízható", „homogén", továbbá a vizsgált jelenségre „jellemző" stb. adat szükséges. (Ezeket az adatokat természetesen a kísérlet végrehajtása közben végzett különböző típusú mérések szolgáltatják.) E kívánalmakat igen nehéz, ha egyáltalán lehetséges teljesíteni (*Foote* és *Knight*, 1979; *Federer et al.*, 1982). Ennek fő oka valószínűleg a jégeső legjellemzőbb sajátossága: a minden skálán megnyilvánuló különleges változékonyság (*Changnon*, 1976).

A következőkben röviden jellemezzük ezt a változékonyságot, majd részletesebben foglalkozunk a beavatkozások fizikai és gazdasági hatásainak meghatározása során fellépő problémákkal.

1. *A jégesők és jégkárok változékonysága; kapcsolatuk a beavatkozások értékelésének nehézségeivel*

Említettük azt a közismert tényt, hogy a jégeső a legváltozékonyabb meteorológiai jelenségek egyike. Összefoglalva e változékonyság jellemzőit, nagy különbségeket tapasztalunk: a jégszemek nagyság szerinti eloszlásában (az átlagos, a modális és a maximális méretekben is); a felületegységre hulló jégszemek számában (a felületi koncentrációban) – lásd pl. *Székely* és *Zoltán* (1984) –; a sűrűségben („kemény" és „puha" jégszemek egyaránt előfordulnak); a megjelenés időpontjában (a nap és az év bármely időszakában jelentkezhetnek); az időtartamban; az intenzitásban (a területegységre időegység alatt lehulló jég mennyiségében); végül mindezek, továbbá a jeget hordozó felhőgócok mozgása miatt a talajon megjelenő jégfoltok, vagy jégutak kiterjedésében. A változékonyság tehát sokféle skálán jelentkezik és nyilván az előidéző okok sokféleségéből származik.

A jégesőelhárítás – a konkurrens embriók hipotézisének alkalmazásával (l. *Wirth*, 1969, 1984) – a felsorolt tényezőknek (vagy azok egy részének) megváltoztatását kívánja elérni; ennek sikeressége pedig a magvasítás elsődleges, vagy fizikai hatásait reprezentálja. A védekezés tulajdonképpeni célja azonban a *károk csökkentése*, ami viszont meteorológiai szempontból „csak" másodlagos, *gazdasági következmény*. Sajnos, az elsődleges és másodlagos következmények között nincs egyértelmű összefüggés. A beavatkozások fizikai eredményeire ugyanis rárakódik a növényfajtától és a vegetációs periódustól függő „jégérzékenység" kombinált hatása. Ez azt jelenti, hogy ugyanolyan

(vagy hasonló) káreloszlás elvileg a fizikai hatások sokféle kombinációja révén alakulhat ki, és ellenkezőleg: nagyjából hasonló jégesők igen különböző károkat okozhatnak.

A jégesők és jégkárok változékonyságának illusztrálására bemutatjuk a *III. táblázatot*, amely az 1962–82 közötti időszak adatai alapján készült Baranyára.

III. TÁBLÁZAT

A jégesők változékonyságát jellemző néhány adat Baranyában 1962–1982 között

	Átlag	Maximum	Minimum	Szórás
Jégesős napok száma	24,3	50	3	10,9
Kártérítés mFt	66,2	196	0,3	48,9

(A megye területe kereken 4500 km². Jégesős nap: amikor e területen belül április 1. és október 31. között jégeső fordult elő a biztosítási adatok szerint. A kártérítési összeg ugyancsak ÁB-statisztikákból származik.)

Az elmondottak miatt alapvetően fontos lenne olyan, magára a jégesőre jellemző paraméterek kiválasztása, amelyek szoros kapcsolatban állnak a kárral. Ilyennek látszik pl. a lehullott jég össztömege, vagy a teljes becsapódási energia meghatározott területi és időbeli határok között összegezve. Egyes vizsgálatok szerint azonban e paraméterek csak mérsékelt korrelációt mutatnak a becsült kárral (*Wojtiw* és *Renick*, 1973). Hasonló kutatások nálunk is elkezdődtek (*Szabó* és *Vástyán*, 1980), és véleményünk szerint folyamatos végzésükre, sőt kiterjesztésükre az elsődleges és másodlagos hatások megbízható összefüggéseinek feltárása érdekében feltétlenül szükség van.

A jégesőelhárítási kísérletek értékelésére tehát elméletileg igen különböző jellemzőket választhatunk akár a fizikai hatások, akár a gazdasági következmények osztályából. Nem véletlen, hogy ez a kettősség igen fontos további vitaforrássá vált. Egyesek szerint ui. (*Federer*, 1980) a felsorolt okok miatt eleve reménytelen megpróbálkozni azzal, hogy a védekezés hatásait a gazdasági következmények vizsgálata útján mutassuk ki. Mások viszont állítják (*Changnon*, 1977), hogy a különböző kultúrák jégkárstatisztikáinak tanulmányozása (minden ellentmondásosságuk és megoldatlan kérdéseik ellenére) a legjobb általános eszköz a jelenség és a védekezés közvetett hatásainak feltérképezésére. A szovjet szakirodalomban évtizedeken keresztül – mindmáig – ugyanez a szemlélet tükröződött (*Szulakvelidze*, 1967; *Abshaev et al.*, 1980). Ugyanakkor nem kétséges, hogy a változékonyság miatt a magvasítás fizikai hatásait – legalábbis jelenleg – a természetes fluktuációk „zajától" csak akkor lehet elkülöníteni, ha a változások jelentősek. (Jelentős változáson általában a lehullott jég össztömegének, vagy a jégesők területi kiterjedésének *legalább* 40%-os csökkenését értik.)

A különböző éghajlati körzetekben és hosszú évek során kimutatott szovjet eredményeket – amelyek 70–96% közötti átlagos kárcsökkenésről számolnak be (lásd a *II. táblázatot*) – éppen azért éri kritika a legutóbbi időben, mert azokat a fizikai hatások detektálása helyett állítólag nem kielégítően ellenőrizhető gazdasági adatokra alapozzák.

A szakemberek ugyanakkor megegyeznek abban, hogy a SZU-ban kidolgozott koncepció gyakorlatilag az egyetlen fizikailag megalapozott lehe-

tőség a jégeső elleni védekezésre; továbbá, hogy ezt a feladatot szakmai és szervezési szempontból is mintaszerűen oldják meg.

Mivel jégesőelhárítási módszerünk és eszközeink lényegében megfelelnek a SZU-ban alkalmazott eljárásnak, ugyanakkor a másodlagos effektusokra vonatkozó – az ÁB-tól származó – adataink pontossága a célnak megfelelő, az értékelés e módszerét ért kritikákra saját eredményeink bemutatásával is igyekszünk választ adni. Az első magyarországi kísérlet színhelyén, Baranyában ui. aránylag hosszabb időre (21 évre) vonatkozó, egyedülállóan jó minőségű és mennyiségű biztosítási és egyéb jellegű adatsorok állnak rendelkezésre. (A biztosítási adatok – amelyek speciálisan képzett kárbecslő-szakemberek felméréseiből származnak – a területre azért is reprezentatívnak tekinthetők, mert ebben az időszakban a biztosítási „fedettség" a nagyüzemeket tekintve gyakorlatilag 100%-os volt.)

A védekezés értékelése azonban – a meteorológus szempontjából – az elsődleges hatások kimutatását is igényli. A lehetőségek és nehézségek bemutatása itt is szükségesnek látszik annak érzékeltetésére, hogy milyen típusú és mennyiségű vizsgálat lenne szükséges a fizikai következmények tudományos szempontból is meggyőző értékeléséhez.

2. *A fizikai hatások értékelése*

A jelenleg általánosan elfogadott védekezési koncepció (*Szulakvelidze*, 1967) szerint a természetes jégszemek *növekedését* gátoljuk meg: magvasító anyagot juttatunk a felhőbe, ezzel ún. konkurrens jégesőembriókat hozunk létre, amelyek a természetes embriókkal „versengve" növekszenek a rendelkezésre álló, korlátozott mennyiségű folyékony víztartalom terhére. Végeredményben sokkal több, de kisebb méretű jégszem képződik. Ez a módosítás a kisebb jégszemek gyorsabb olvadása és rohamosan (az átmérő köbével) csökkenő kinetikus energiája miatt az alábbi változásokra vezet: csökken a jégeső intenzitása (a felületegységre időegység alatt lejutó össztömeg és kinetikus energia), a jégeső időtartama, a jégfoltok mérete stb., végül mindezek miatt szükségszerűen – a jégeső okozta kár is.

Az elsorolt tényezők a védekezés *fizikai hatásainak* összességét jelentik. Elvileg akár egy (esetleg néhány) jellegzetes hatás (vagy hatásegyüttes) mérésével is lehetne számszerűen értékelni a magvasítás eredményét. A fizikai értékelés e lehetősége akkor válna valóságossá, ha

1. rendelkezésünkre állnának olyan „prediktorváltozók", amelyek a legfontosabb jégeső-jellemzők mennyiségi előrejelzését lehetővé tennék, és
2. a beavatkozások ún. „válaszváltozóit" olyan pontossággal tudnánk mérni, amely kétségtelenné tenné a természetes folyamatoktól való eltéréseket.

A *prediktorváltozók* (vagy a belőlük szerkesztett függvény) olyan jellemzők, amelyek a jelenség kialakulásában és lefolyásában döntő szerepet játszanak, és maguk nem változnak a kísérlet folyamán. Ebből következik, hogy csak olyan jellemzőkről lehet szó, amelyeket a kísérlet előtt határozunk meg. A prediktorváltozóktól (ill. függvénytől) azt várjuk, hogy a válaszváltozók értékeit minél pontosabban képesek legyenek előrejelezni a jelenség természetes lefolyása esetén. Nyilvánvaló, hogy elvileg igen sok ilyen változót találhatunk a termodinamikai paraméterektől a dinamikai jellemzőkön keresztül egészen a mikrofizikai sajátosságokig (pl. az instabilitás mértéke, a feláramlás számított értéke, a természetes jégmagvak koncentrációja stb., vagy akár az egyes változók felhőmodellel előrejelzett értékei, pl. *Zoltán* and *Geresdi*, (1984).

A *válaszváltozók* száma ugyancsak igen nagy lehet. A beavatkozások fizikai koncepciója miatt valószínűleg legjobb lenne a jégszemek nagyság szerinti eloszlásának (egyúttal térfogati koncentrációjának) pontos meghatározása. Megfelelhet azonban az ebből levezethető bármely mértékszám is, ha mérhető és valódi válaszváltozónak, tehát a jelenségre jellemzőnek tekinthető. Mivel azonban jelenleg nem ismerjük a beavatkozások egzakt hatásmechanizmusát, továbbá feltételezhetjük, hogy ezt a hatásmechanizmust egymagában egyik válaszváltozó sem tükrözi kielégítően, célszerű minél több ilyen változót, ugyancsak még a *kísérlet* végrehajtása *előtt* kiválasztani. Erre azért is szükség van, mert így növelhetjük az értékelés objektivitását és nem utolsósorban: elegendő időnk marad arra, hogy megfelelően előkészítsük a kérdéses változó megbízható mérését. *Flueck* és *Mielke* (1977) rámutatnak arra is, hogy a jól megtervezett kísérletben egy (legfeljebb két) döntő és több másodrendű válaszváltozót tanulmányoznak. Ez azért fontos, mert remélhető, hogy minél több változó alakulását vagyunk képesek követni, annál nagyobb a hatás kinyomozásának esélye. A mellékesnek tekintett változóról ui. a körültekintő vizsgálatnál kiderülhet, hogy fontos; viszont a kísérlet megismétlése azért, mert újabb, nem várt szempontok merültek fel, gyakran pénzügyi okok miatt lehetetlen.

A prediktor- és válaszváltozók kiválasztásának lehetőségeit az alábbiakban a hetvenes évek két legnevezetesebb kísérlete segítségével illusztráljuk.

A svájci „*Grossversuch IV*"-ben (1976—1981) a prediktor-változókat széleskörű adatgyűjtés és adatelemzés után választották ki. Kétféle: aerológiai, ill. szinoptikai és radar-mérésekből származtatott változókat alkalmaztak. (Ilyenek voltak pl. a felhőalap hőmérséklete, a 850 mb-os szint magasságának eltérése a normál légköri értékektől; továbbá a 45 dBZ-es radarkontúr területe, a felhőtető mért magassága stb.) A válaszváltozó értékének előrejelzésére ezekből a változókból szerkesztették meg a prediktorfüggvényt (*Federer et al.*, 1978/79).

A „*National Hail Research Experiment*" (NHRE) folyamán (1972—74 között) a zivatarfelhők radarparamétereit, többek között az érintett területen lévő, vagy azt megközelítő felhők —5 °C feletti tartományban megjelenő, 45 dBZ-es reflektivitási kontúrt tekintették prediktornak (*Foote* és *Knight* 1979).

A *Grossversuch IV.* elsődleges válasz-változója a jégesők kinetikus energiája volt (*Federer et al.*, 1978/79). Ezt a jégesőindikátorok talajhálózata által mért értékekhez kalibrált radarmérésekkel határozták meg (*Waldvogel et al.*, 1978). Mivel azonban az adatok erősen aszimmetrikus eloszlásúak — ami a jégkárok szerkezetében is tükröződik — tényleges válaszváltozóként a kinetikus energia logaritmusát használták. Így véleményük szerint csökken annak a lehetősége, hogy a szélsőséges esetek jelentősen befolyásolják az értékelés eredményét.

Az *NHRE*-ben — hosszas vizsgálatok és viták után — végül is az érintett területre hulló teljes jégtömeget tekintették elsődleges válaszváltozónak (*Lovell*, 1972). Ennek két oka volt. Egyrészt úgy vélték, hogy a jégesőelhárítás valóban a talajra lejutó összjégtömeget csökkenti, mivel a jégszemek nagyobb aránya olvad el földetérés előtt; másrészt mintavételi és méréstechnikai problémák miatt valószínűnek látszott, hogy ez a jellemző pontosabban mérhető, mint a jégszemek nagyság szerinti eloszlása. Ennek ellenére ez utóbbi paramétert, továbbá a jégfoltok területi kiterjedését másodlagos, a jégesők kinetikus energiáját és a radarreflektivitás mértékét, valamint az embriók

típusát harmadlagos fontosságú válaszváltozóként a kísérlet teljes időszakában szintén mérték (*Crow* et al., 1979).

E kísérleteknél nagy figyelmet fordítottak a statisztikai tervezésre is, amellyel – mint már említettük – lehetőség nyílik arra, hogy ismereteink hiányosságait némileg áthidaljuk. Ennek megfelelően mindkét kísérletet randomizálták; a randomizálási egység a nap volt. Így az adatokat elvileg két olyan, meteorológiai szempontból hasonló osztályba sorolták, amelyek – a feltevések szerint – csupán a magvasítás tényében különböztek egymástól.

Mindezek ellenére tény, hogy e kísérletekkel nem sikerült statisztikailag meggyőző módon demonstrálni a beavatkozások feltételezett hatását (*Knight*, et al., 1979; *Federer* et al., 1982). Az okokra itt nem térhetünk ki; a lehetséges magyarázatot másik dolgozatban kívánjuk megadni. Itt csupán arra hívjuk fel a figyelmet, hogy – mint már jeleztük – megfelelő prediktorfüggvény előállítására, továbbá a válaszváltozó kielégítő mérésére jelenleg – úgy tűnik – nincs lehetőségünk.

Leszögezhetjük tehát, hogy bár nem adhatjuk fel a fizikai értékelés megvalósítására irányuló igényt, még kevésbé azt a célt, hogy felderítsük a fizikai és gazdasági hatások közötti kapcsolatokat, a sajátos hazai körülmények között is meg kell találnunk és alkalmaznunk kell azokat az egyéb információkat, amelyek segítségével a jégesőelhárítás hatását demonstrálni tudjuk. Ilyen – e pillanatban kizárólagos – lehetőséget az ÁB jégkárokra vonatkozó részletes és objektívnek tekinthető statisztikai adatai kínálnak.

3. *A gazdasági hatás kimutatása*

3.1 *Definíciók.* A védekezés gazdasági hatását többféle mutatóval jellemezhetjük. A hároméves (kísérleti) időszakban az átlagos gazdasági megtakarítás *(ÁGM)* fogalmával dolgoztunk (*Földvári* és *Wirth*, 1979). Ezt a következőképpen értelmeztük: az éves gazdasági megtakarítás *(GM)* a „megvédett" mezőgazdasági termékek védekezésre fordított kiadásokkal csökkentett értéke:

$$GM = V - T - K \tag{1}$$

ahol V a várható, T a ténylegesen bekövetkezett kár, K pedig a jégesőelhárítás költsége. Ennek többéves átlaga az $ÁGM$. Definiáljuk most a gazdasági hatékonyságot *(H)*, és a jövedelmezőséget *(J)*. A jégesőelhárítás gazdasági hatékonyságán azt a százalékban kifejezett számot értjük, amely megadja, hogy a jégesőelhárítás nélkül bekövetkező jégkárnak hányad részét sikerült megelőzni:

$$H = \frac{V - T}{V} 100\ (\%) \tag{2}$$

A jövedelmezőséget a kiadásokkal csökkentett „megelőzött" kár és a kiadások hányadosaként határozzuk meg, vagyis a GM-t viszonyítjuk a kiadásokhoz:

$$J = \frac{V - T - K}{K} 100\ (\%) \tag{3}$$

Megjegyezzük, hogy a (2) mutatót közgazdasági értelemben nem lehet hatékonyságnak nevezni, mégis mind az angol, mind az orosz nyelvű szakirodalomban használatos rá ez az elnevezés (*Rouet* és *Megreditchian*, 1980; *Stanchev* és *Simeonov*, 1977). Ugyanakkor felhívjuk a figyelmet arra, hogy az ál-

talunk jövedelmezőségnek nevezett mutatót is szokás hatékonyságnak hívni (*Poluektova* és *Tsykunov*, 1973).

Az utóbbi két fogalom megkülönböztetése igen fontos, hiszen elvileg elképzelhető olyan rendszer, amelynek gazdasági hatása kimutatható, de haszna a kiadásokat nem fedezi.

Az (1)–(3) mutatókat célszerű hosszabb időtartamra – egy vagy több évre – vonatkoztatni egyrészt az ÁB éves elszámolási rendszere, másrészt az időjárás évi menete miatt. A fenti definíciók azonnal felvetik a *kár mérésének*, valamint a *várható kár becslésének* problémáját.

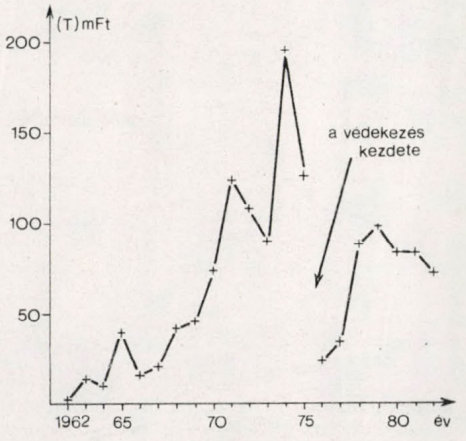
3.2 *A jégkárok jellemzése, a várható kár becslése.* A kárt – bekövetkezése után – többféleképpen is mérhetjük: a károsodott mezőgazdasági területtel, a jégeső okozta terméscsökkenéssel, ennek pénzben kifejezett értékével, az ÁB által kifizetett kártérítéssel, esetleg a biztosítási gyakorlatban alkalmazott kárhányaddal, vagy káraránnyal is. (A kárhányad a kártérítési összeg és a biztosítási díj aránya, a kárarány pedig a kártérítési összeg és a biztosított érték hányadosa, mindkettő százalékban kifejezve.) A jégkárt a legkézenfekvőbb a kártérítéssel jellemezni, annál is inkább, mivel ez az adat közvetlenül összehasonlítható a jégesőelhárítás költségeivel. Mindezek a lehetőségek felhasználhatók a védekezés nélkül várható kár jellemzésére is. Ennek megállapítására általában kétféle módszert alkalmaznak (*Wirth*, 1976a):

1. A „védett terület" *(VT)* és valamely megfelelően kiválasztott „kontroll terület" *(KT)* jégesőre vagy jégkárra jellemző adatainak összehasonlítását.
2. A *VT* megfelelő adatsorainak összehasonlítását a védekezés előtti és alatti évekre.

A világ különböző részein (pl. a Szovjetunióban a hetvenes években) végrehajtott kísérleteknél gyakran az első módszert használták, annak ellenére, hogy jó *KT*-et nehéz kiválasztani. Ennek ugyanis a *VT*-hez

- klimatológiailag és földrajzilag hasonlónak kell lennie,
- hasonló termelési szerkezetűnek kell lennie,
- ugyanakkor nem szabad a *VT*-hez közel feküdnie, hogy a magvasítás hatásai át ne terjedjenek.

Mivel a Baranya megyei jégesőelhárítás éppen a sajátos termelési- és kárszerkezet (nagyobb érték, nagyobb károk stb.) miatt települt az adott helyre, a fenti követelményeknek megfelelő *KT* kiválasztására nem volt lehetőség.

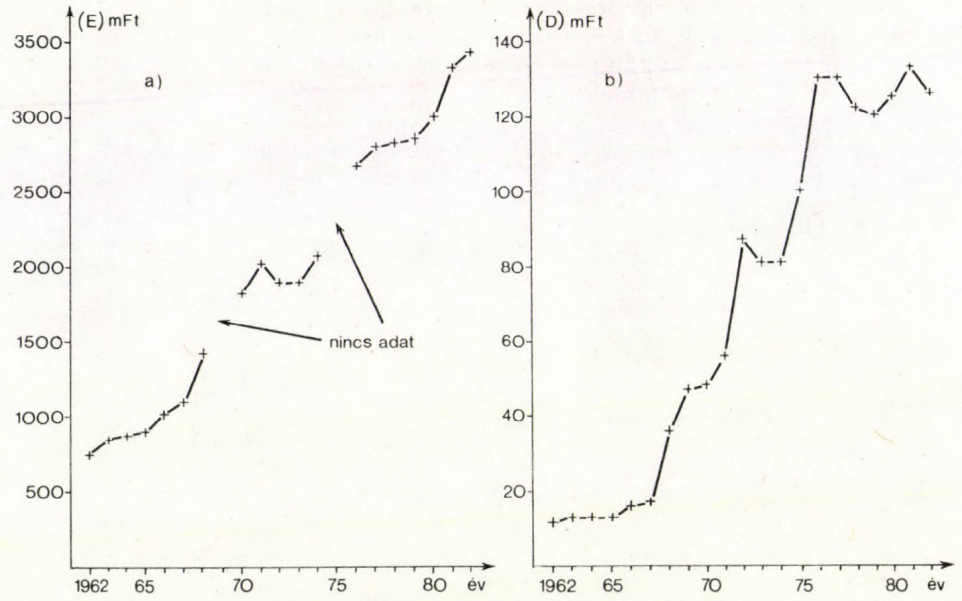


1. ábra: A jégkártérítések alakulása Baranyában 1962-től 1982-ig (*T*: az Állami Biztosító által fizetett kártérítés)

Ez világosan kitűnik *Gulyás* és *Légrádi* (1978) tanulmányából is, akik a megyék 13 évből származó kárstatisztikái alapján multilineáris regresszióval becsülték meg a Baranyában védekezés nélkül várható károsodott terület nagyságát, de nem találtak elég szoros kapcsolatot. Emiatt értékelésünkben az idősoros összehasonlítás módszerét alkalmaztuk. A kísérleti időszak végén, az *ÁGM* számításánál egyszerűen az előző öt év (1971 – 75) átlagos kártérítését tekintettük összehasonlítási alapnak (*Földvári* és *Wirth*, 1979). A várható kár ilyen becslése nyilvánvaló túlegyszerűsítés. Az *1. ábrán* ugyanis látható, hogy a károk az évek során — egészen 1975-ig — emelkedő tendenciát mutatnak. Az okok a fajlagos, területegységre jutó termelési érték növekedésével és — kisebb részben — a károsodott terület változásával kapcsolatosak. Feltételezzük, hogy védekezés nélkül a növekedés — a fejlődés lassuló üteme miatt talán kissé csökkenő mértékben — tovább folytatódott volna. A pénz értéke ugyancsak változik, így a különböző időszakok folyó forintértékeinek összehasonlítása félrevezető.

A várható éves kár biztosabb becsléséhez olyan független változókat kell keresnünk, amelyek e mutatóval tényleges és szoros kapcsolatban állnak. Elvileg ilyenek lehetnek pl.: a jégesők gyakorisága, időtartama, a jégszemek méreteloszlása és a jégfoltok területe is. Ugyanakkor — mint korábban már említettük — a jégeső hatása függ a növényi kultúrától; de ugyanannak a kultúrának változik az érzékenysége a tenyészidőszak folyamán, sőt az évek során általában változik a vetésterület, a termésátlag és a termények egységára is.

A felsoroltak közül csupán az utóbbiak — a termésátlagok és az egységárak — mutatnak évről-évre növekvő tendenciát. Így ezekkel indokolt becsülni a kárt. A két mennyiséget egyesíti az éves *növénytermelési érték*, mint agráripari mutató, ill. az ennek többé-kevésbé megfelelő *biztosított érték*, mint



2. ábra: A biztosított érték *(a)* és a növénybiztosítási díj *(b)* évenkénti alakulása Baranyában (*E:* biztosított érték, *D:* biztosítási díj)

biztosítási jellemző. Különböző okok miatt (pl. mert a kistermelők általában nem, a termelőszövetkezetek pedig gyakran a ténylegesnél kisebb termésátlagra biztosítanak stb.) ez utóbbi mindig kisebb a termelési értéknél. A biztosított érték és a jégeső-előfordulás gyakorisága együttesen alakítják ki a biztosítási díjat. Ez változékonyabb ugyan, mint a növénytermelési érték, de növekedési trendje ugyancsak kifejezett. A *2. ábrán* e két mennyiség időbeli alakulását mutatjuk be.

Nyilvánvaló, hogy a meghatározott mezőgazdasági kultúrában, adott időpontban lehullott jégeső által okozott kár egyenesen arányos a terméshozammal és az egységárral. Bár az arányossági tényező változik a növénytől, ennek fejlettségi állapotától és a jégeső fizikai jellemzőitől függően, összességében mégiscsak a biztosított termelési érték lineáris regressziójával indokolt becsülni a kárt. E mennyiség ui. független a jégesőelhárítás bevezetésétől és hatékonyságától, így — ha a kárral elég szoros kapcsolatban van — használható a védekezés nélkül várható kár becslésére is. Az összehasonlítás kedvéért megvizsgáltuk a kár és a biztosítási díj közötti összefüggést is.

A védekezés előtti időszak adatai alapján a regressziós egyenesekre az alábbi kifejezések adódtak:

$$V_1 = 0{,}10 \cdot E - 79533, \tag{4}$$

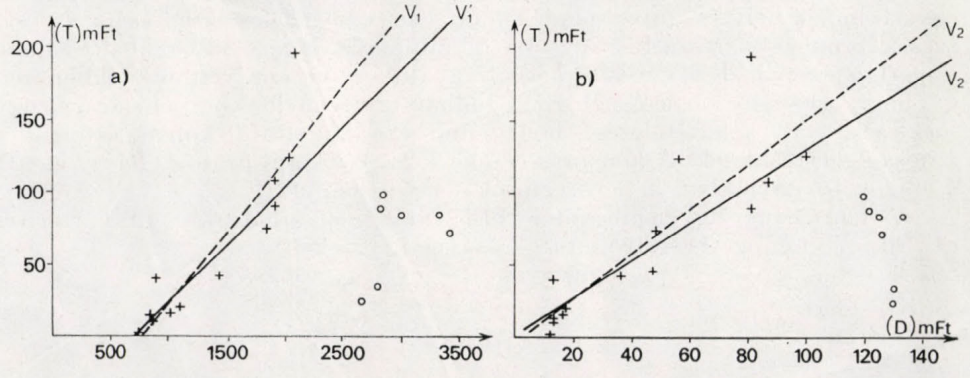
ill.

$$V_2 = 1{,}55 \cdot D - 3635 \tag{5}$$

ahol E a biztosított termelési érték, D a biztosítási díj (eFt-ban) az adott évben. E becslések a varianciát rendre 0,232-szeresére, ill. 0,294-szeresére csökkentették, ami azt jelenti, hogy a kár változékonyságának nagy részét meg lehet magyarázni e két mennyiség változásával. Az adatokra illesztett regressziós egyenesek a *3. ábrán* láthatók.

Látható, hogy a várható kár becslésének szempontjából a biztosított termelési érték és a biztosítási díj gyakorlatilag ekvivalens. E becsléseket elfogadhatónak tartjuk, és feltesszük, hogy a maradék változékonyságért a jégesők változékonysága a felelős.

A védekezést megelőző időszakból azonban a meteorológiai információk közül csupán a jégkáros napok dátuma áll rendelkezésünkre, az is csak többkevesebb biztonsággal. (A bizonytalanság oka, hogy a gazdaságok nem mindig jelentik helyesen a jégkár időpontját, az ÁB pedig, amelynek adataira támaszkodunk, nem ellenőrzi a bejelentések pontosságát.) Egyetlen, a jégesővel



3. ábra: A kár becslése a biztosított összegből *(a)* és a biztosítási díjból *(b)* +: védekezés előtti, ○ védekezés utáni értékek

kapcsolatos adatot ismerünk tehát: a jégkáros napok éves számát. Így a fenti regressziós maradékokat ezzel próbáltuk meg kapcsolatba hozni. A korrelációs együttható mindkét regressziós egyenes maradékaira 0,005-nél kisebb volt, tehát *az éves jégkár gyakorlatilag független a jégkáros napok számától.* Ez nem nagyon meglepő, mivel – a jégkárstatisztikák szerint – az éves kár nagy részét 3–6 jégeső okozza.

A továbbiakban a védekezés nélkül bekövetkező kár túlbecslésének elkerülése érdekében meghatároztuk a regressziókat úgy is, hogy a kiugróan magas jégkárt és nagy maradékot adó 1974-es év adatait figyelmen kívül hagytuk. Ekkor a regressziós egyenesek a következők szerint módosultak *(3. ábra)*:

$$V'_1 = 0{,}08 \cdot E - 59477, \tag{4'}$$

$$V'_2 = 1{,}30 \cdot D + 847. \tag{5'}$$

E becslések a varianciát rendre 0,106-szorosára, illetve 0,183-szorosára csökkentették, így a továbbiakban a (4') formulát használjuk a védekezés nélkül bekövetkező kár becslésére. A várható kár és a károsszeg megállapításánál számolnunk kell a következő jelenséggel is: A károk a valóságban mindig nagyobbak, mint az ÁB által kifizetett kártérítési összeg, a következők miatt:

a) Nem csak a biztosított területen következik be jégkár (az „egyéb" gazdaságoknak – háztáji, kiskert stb.– általában nincs biztosítása);

b) Az ÁB nem téríti a teljes kárt, mert:
- 5% alatti kárt nem térítenek;
- a mezőgazdasági növények többségénél a tényleges terméskiesés nagyobb az ÁB által megállapítottnál, ugyanis ez utóbbi *általában* csak az effektív súlycsökkenésre vonatkozik, és nem tartalmazza a következményes károkat;
- a díjat az előrejelzett termésre fizetik, és a kárt ennek %-ában értékelik. Ha a tényleges termés nagyobb lett volna, mint az előrejelzett, a tényleges kár is nagyobb lenne, mint a kifizetett;
- a biztosítási egységárak rendszerint elmaradnak az értékesítési egységárak mögött.

c) A károk abszolút értéke a termésátlagoktól is függ, amelyek évről-évre a tervezettnél is gyorsabb mértékben növekszenek (a termékszerkezet gyors változása stb. miatt).

Mindezek miatt a V várható kárt is mindig alulbecsüljük. Ezt a hatást multiplikatívnak tételezhetjük föl – kivéve a *b)* első pontját. Utóbbinál nem egyértelmű a helyzet, mivel elképzelhető, hogy a védekezés hatására az összes kár nagyobb része lesz 5% alatti, mint a megelőző időszakban. Ennek következtében a V-t kevésbé becsüljük alul, mint amilyen mértékben nagyobb a valóságos kár a T-nél. Ezt azonban nincs módunkban ellenőrizni, így megtartjuk azt a feltételezést, hogy mind a V, mind a T konstansszorosa a valóságos értékeknek. A konstans értéke 1/2–1/3 körül mozog (*Bálint* et al., 1969), a továbbiakban ennek reciprokát c-vel jelöljük.

A fenti hatás figyelembevételével a valóságos várható kár, ill. kártérítés cV, ill. cT, így az (1)–(3) mutatók korrigált értékei

$$GM' = c\,(V-T) - K$$

$$H' = \frac{c(V-T)}{cV} \cdot 100\ (\%)$$

$$J' = \frac{c(V-T)-K}{K} \cdot 100\ (\%)$$

Látható, hogy $c > 1$ miatt a GM és a J értéke megnő, míg a H értéke változatlan marad.

Ahhoz, hogy GM'-t és J'-t meghatározzuk, c jó becslésére lenne szükség. Ehhez azonban nem állnak rendelkezésünkre kellően részletes adatok, így a továbbiakban a túlbecslés elkerülése végett mindig csak a tényleges kifizetett értékekre támaszkodunk.

Ezek után a fenti becslésekkel végzett hatékonyságvizsgálatok eredményeit ismertetjük.

IV. TÁBLÁZAT

Várható kár, kártérítés, költség és gazdasági megtakarítás Baranyában 1976–82 *között, a várható kár különböző becslései esetén* (mFt/év-ben)

Év	Várható kár becslése			Kártérítés	Költség	Gazdasági megtakarítás		
	1971–1975 átlaga	V_1	V_1'			1971–1975 átlaga	V_1	V_1'
	alapján					alapján		
1976	128	191	159	23	10	95	158	126
1977	128	203	168	38	24	66	141	106
1978	128	207	171	89	20	19	98	62
1979	128	208	172	93	23	12	92	56
1980	128	225	186	85	28	15	112	73
1981	128	258	212	84	31	13	143	97
1982	128	267	220	71	40	17	156	109
Átlagos gazdasági megtakarítás: 1976–1978						49	136	101
1976–1982						30	124	86

Történeti okokból – mivel ilyen volt az első hatékonyságszámítás (*Földvári* és *Wirth*, 1979) – először a megelőző öt év (az ún. bázisidőszak) átlagos kártérítésével becsüljük a várható kárt. Ez Baranya megyére 128 mFt. A *IV. táblázat* tartalmazza az egyes évekre ily módon kapott gazdasági megtakarítást, valamint az *ÁGM*-et.

Az egész megyére vonatkozó adatok alapját tehát az 1976–78-as „kísérleti" években az *ÁGM* – a 32 mFt-os beruházási összeget is figyelembe véve – 49 mFt/év.

Az *ÁGM*-et – ugyanígy becsülve a kárt – megvizsgáltuk hét év időszakra is. A *IV. táblázat* szerint a védekezés első hét esztendejének *ÁGM*-je 30 mFt. Látható az is, hogy a kísérleti időszak sokkal jobb értéke az első két évnek tulajdonítható. Az akkori kiemelkedő eredményhez valószínűleg időjárási okok (pl. a jégeső kisebb gyakorisága) is hozzájárultak: bár az 1977-es év összesen 30 védekezéses napja és az ezalatt felbocsátott kb. 550 db rakéta megfelelnek pl. az 1979-es igen jeges év hasonló adatainak (34 nap és 530 rakéta).

Sokkal megbízhatóbb értékeket kapunk az *ÁGM*-re, ha a várható kárt a (4') képlettel határozzuk meg. Így kitűnik (IV. táblázat), hogy a kísérleti időszakra kapott *ÁGM* legalább 101 mFt, és még a hétéves időtartamra sem kevesebb 86 mFt-nál.

Itt is megfigyelhető ugyanaz a hatás, mint az előbbi *ÁGM*-becslésnél. Az első két év kiugróan jó eredményének köszönhetők a kísérleti időszak jóval magasabb értékei, és ezután a *GM* viszonylag csekély ingadozással változik évről évre. Itt felvetődik az az általános kérdés, hogy jogos-e a védekezés hatásának kimutatásánál az egész megyére és nem csupán a *VT*-re vonatkozó ÁB-adatokra támaszkodni. Úgy véljük igen, mivel a *VT*-et a megye azon részén jelöltük ki, ahol a legmagasabb termelési érték a legnagyobb jégeső gyakorisággal párosult. Ezért nyilvánvaló, hogy e terület az ÁB kárstatisztikáiban a legnagyobb károkkal jelentkezett. A *VT* határa egyébként sem

V. TÁBLÁZAT

A kártérítés (mFt) *és a károsodott terület* (km²) *alakulása az* 1971–75, *az* 1976–78 *és az* 1976–82 *közötti időszakban*

	Baranya megye		Magyarország	
	mFt	km²	mFt	km²
1971–75 átlaga	128	401	1000	2225
1976–78 átlaga	50	158	1393	3428
Változás %-ban	−61	−61	+39	+54
1976–82 átlaga	69	215	1233	2976
Változás %-ban	−46	−46	+23	+34

éles vonal, hanem egy meglehetősen széles zóna, amelyben a védekezés hatása kifelé csökkenő mértékben érvényesül (*Wirth*, 1976b.).

Emiatt és mivel a *VT* és a mezőgazdasági nagyüzemek határa egyáltalán nem esik egybe, a továbbiakban is az egész megyére vonatkozó adatokkal dolgoztunk. Ez azért is indokolt, mert a kárstatisztikák feldolgozása sokkal egyszerűbb és közigazgatásilag jól körülhatárolt területen kevésbé munkaigényes.

3.3 *A gazdasági hatékonyság és a jövedelmezőség.* Először itt is azoknak a számításoknak az eredményeit ismertetjük, amelyeket a bázisidőszak átlagával végeztünk. Az *V. táblázat*-ban megadtuk a bázis-, a kísérleti- és az 1976–82-es évekre Baranya megyére, valamint — összehasonlításul — az ország egész területére az átlagos éves kártérítési értékeket és a károsodott terület átlagos nagyságát. Az adatok mindkét időszakra országosan jelentős növekedést mutatnak, a baranyai károk és károsított területek egyidejű jelentős csökkenése mellett. A (2) képlettel számolt három-, ill. hétéves hatékonyság 61, ill. 46%.

A *VI. táblázat* első sorában feltüntettük a *H*-t az egyes évekre is. Ezek átlaga — a *V* évenkénti állandó értéke miatt — éppen a fentebb kiszámított több éves hatékonyságokkal egyezik meg. A második sorban a (4') képlettel számított várható kárból kapott éves hatékonyság-értékek szerepelnek. Összehasonlításképpen megadtuk a hatékonyság becslését a (4) formula felhasználásával is (3. sor).

Amint látható, a (4) és a (4') képlettel végzett becslések közötti eltérések nem túl jelentősek, viszont az évenkénti változékonyság elég nagy. A hétéves védekezés átlagos jellemzéséhez a (2)-ben szereplő mennyiségeket vonatkoztassuk erre az időszakra úgy, hogy az egyes változók helyébe a megfelelő évenkénti adatok összegét írjuk. Így 62,4%-os átlagos hatékonyság adódik. Ez alig tér el (jelen esetben) az évenkénti hatékonyságok átlagától (62,6%). Általában belátható, hogy a hatékonyságok átlagával szemben az átlagos ha-

tékonyság nemcsak az évenkénti hatékonyságok változására érzékeny, hanem a megelőzött kár konkrét nagyságára is, így ezt jobb mutatónak tartjuk.

Eredményeink ellenőrzése céljából az alábbiakban más módszerekkel is megvizsgáljuk az átlagos hatékonyságot.

Tételezzünk fel h %-os hatékonyságot. Ez annyit jelent, hogy 7 év alatt védekezés nélkül

$$V_{ö} = \frac{100}{100-h} \sum_{i=1}^{7} T_i \tag{7}$$

lenne az összkár, ahol T_i a védekezés i-edik évében bekövetkezett tényleges

VI. TÁBLÁZAT

A jégesőelhárítás gazdasági hatékonysága (H %) *évente (1) : bázisidőszakos becsléssel számítva, (2) : 4 alapján, (3) : 4' alapján számítva*

Év	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	Átlag
H % *(1) :*	82,4	70,1	30,2	27,1	33,6	34,1	44,7	46,3
H % *(2) :*	85,5	79,5	48,1	42,7	54,6	60,3	67,6	62,6
H % *(3) :*	87,9	83,0	57,0	52,6	62,4	67,3	73,3	69,1

kár. Feltételezésünk realitásáról a következő eljárással győződhetünk meg. Legyen H a valóságos hatékonyság, V pedig a valóságos várható kár. Mivel a h és a $V_{ö}$ között egyértelmű a kapcsolat, ezért:

$$P\,(H<h) = P\,(V < V_{ö}) \tag{8}$$

Feladatunk most a jobb oldalon szereplő valószínűség meghatározása. Ehhez a regressziós becslés felhasználásával meghatározzuk a $V - \sum_{i=1}^{7} V'_{1i}$ próbastatisztika eloszlását, amiből a

$$P\,(V > V_{ö}) = P\left(V - \sum_{1=i}^{7} V'_{1i} < V_{ö} - \sum_{i=1}^{7} V'_{1i}\right) = F\left(V_{ö} - \sum_{i=1}^{7} V'_{1i}\right) \tag{9}$$

összefüggés alapján éppen a keresett valószínűséget kapjuk. A V'_{1i} a (4') becslés a védekezés i-edik évében, F pedig a próbastatisztika eloszlásfüggvénye. F közelítő meghatározását úgy végeztük el, hogy az 1962–73-as időszakból minden lehetséges módon kiválasztottunk 7 évet. (1975-ből nincs adatunk a kiválasztott értékre, 1974-et pedig a magas kár miatt hagytuk ki.) Ezek után a h „valódiságát" a

$$P\left(H \geq h\right) = 1 - F\left(V_{ö} - \sum_{i=1}^{7} V'_{1i}\right) \tag{10}$$

képlettel kapott valószínűséggel jellemezhetjük, vagyis azzal: mi annak a valószínűsége, hogy a valóságos H nagyobb az általunk föltételezettnél? A *VII. táblázat*-ban néhány h-ra megadtuk a (10) szerinti valószínűséget. Látható, hogy az így meghatározott átlagos hatékonyság nagy valószínűséggel

VII. TÁBLÁZAT

Különböző szintet meghaladó átlaghatékonyságok (h) valószínűségei a 10 *formula alapján*

h %	55	60	61	62	63
P (H > h)	1,00	1,00	0,98	0,70	0,16

60 és 63% között van, vagyis meglepően jól egyezik a korábban kapott eredménnyel.

Felvetődhet a kérdés: a viszonylag kevés pontból meghatározott regressziós becslés alapján számított hatékonyság-értékek elég megbízhatók-e? Ezért az átlagos hatékonyságot meghatároztuk más módszerrel is.

VIII. TÁBLÁZAT

Különböző szintet meghaladó átlaghatékonyságok valószínűsége a kárhányadok alapján

h %	40	49	50	51	53	56	60
P (H>h)	1,00	0,99	0,98	0,95	0,89	0,70	0,35

Vizsgáljuk a hét év alatt bekövetkezett kár és az ezen időszakban befizetett biztosítási díj hányadosát (vagyis az átlagos kárhányadot). Ekkor — h %-os hatékonyságot föltételezve — az átlagos kárhányad

$$\overline{KH} = \frac{V_{\ddot{o}}}{\sum_{i=1}^{7} D_i} = \frac{100}{100-h} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{7} T_i}{\sum_{i=1}^{7} D_i} \qquad (11)$$

lett volna védekezés nélkül. (Az összegezés a védekezés éveire történik, $V_{\ddot{o}}$-t a (7) képlettel határoztuk meg.) Az előbbi eljárást megismételve az átlagos kárhányadok eloszlásából határozzuk meg a $P(H > h)$ valószínűségeket. Az eredményeket — néhány h-ra — a *VIII. táblázat* tartalmazza.

Itt valamivel alacsonyabb értékeket kaptunk, 50—55%-os hatékonyság tételezhető fel nagy valószínűséggel. Az eltérés a korábbi eredményektől egyrészt azzal magyarázható, hogy — biztosítási rendszerünk sajátosságai miatt — a kárral együtt a biztosítási díj is csökken a védekezés következtében; másrészt azzal, hogy a biztosítási díj és a kár között a lineáris kapcsolat kevésbé jó, mint a biztosítási összeg és a kár között.

Így eredményeink nem ellentmondók, a védekezés nélkül bekövetkező kár becslésére használhatjuk a (4') formulát. Ezek után térjünk rá a jövedelmezőség vizsgálatára.

A (3) képlethez T rendelkezésre áll, V-t pedig a bázisidőszak átlagával illetve (4') alapján határozzuk meg. A jégesőelhárítás költségei két különböző jellegű részre bonthatók: beruházási és fenntartási kiadásokra. A beruházá-

IX. TÁBLÁZAT

A jövedelmezőség alakulása a vizsgált időszaktól függően a bázisidőszakos (a) és a (4') becslés (b) alapján számolva

Időszak	K (mFt)	*a)*		*b)*	
		V — T (mFt)	J (%)	V — T (mFt)	J (%)
1976	42	105	150	136	224
1976—77	66	195	196	266	303
1976—78	86	234	172	348	305
1976—79	109	269	147	427	292
1976—80	137	312	128	528	285
1976—81	168	356	112	656	291
1976—82	208	413	99	825	287

si tételek amortizációs kulcsait nem ismerjük, így – az egyszerűség kedvéért – az egész összeget figyelembe vettük. Az éves fenntartási költségek egy részével hasonló a helyzet, tudniillik a beszerzett álló- és fogyóeszközök, valamint anyagok nem használódnak el teljesen az adott évben, de ezt a részt sem áll módunkban meghatározni.

A *IX. táblázat*-ban – a várható kár kétféle meghatározására – különböző időszakokra adjuk meg a jövedelmezőséget. *K* értékét a kezdeti beruházás és a vizsgált évek fenntartási költségeinek összegeként határoztuk meg.

X. TÁBLÁZAT

A növénybiztosítási összeg: E, *növénybiztosítási díj:* D *és a jégkártérítés:* T *Baranyában*, 1962–1982

Év	E (eFt)	D (eFt)	T (eFt)
1962	761 454	12 028	264
1963	847 547	12 879	14 402
1964	865 523	12 833	10 470
1965	906 545	13 413	39 617
1966	1 023 964	15 517	15 122
1967	1 090 391	17 246	19 817
1968	1 435 248	36 002	41 767
1969	–	46 586	45 805
1970	1 820 951	47 662	74 833
1971	2 026 097	55 879	123 205
1972	1 907 625	87 098	107 139
1973	1 902 360	80 910	89 593
1974	2 074 060	80 815	195 990
1975	–	99 860	126 964
1976	2 672 800	129 912	23 058
1977	2 793 485	130 067	34 591
1978	2 826 462	122 374	88 885
1979	2 840 924	120 217	98 701
1980	3 010 489	125 279	84 620
1981	3 331 051	132 883	84 207
1982	3 422 612	126 146	71 194

Mint a IX. táblázatból látható, a (4') becslés szerint minden, a jégeső elhárításra fordított forint már rövid távon is körülbelül három forint tiszta hasznot eredményez.

Számításaink ellenőrizhetősége végett az alábbi, *X. táblázat*-ban megadtuk a felhasznált biztosítási adatokat.

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Állami Biztosító Központja Mezőgazdasági Kárrendezési Osztályának és Baranya-megyei Igazgatóságának az értékeléshez szükséges adatok rendelkezésünkre bocsátásáért és az évek folyamán tanúsított jó együttműködési készségükért.

IRODALOM

Abshaev, M. T., Burtsev, I. I., Vaksenburg, Sz. I. i *Shevela, G. F.*, 1980: *Rukovodstvo po primeneniu radiolokatorov MRL-4, MRL-5* i *MRL-6 v sisteme gradozasity.* Gidrometeoizdat, Leningrad.

Atlas, D., 1977: The paradox of hail suppression. *Science 195*, 139–145.

Bálint Gy., Csaplak, A., Czakó F. és *Wirth E.*, 1969: *Koncepciótervezet a jégeső-elhárító kisérletek előkészítésére.* OMFB-kiadvány, Budapest.

Battan, L. J., 1977: Weather modification in the Soviet Union–1976. *Bulletin of the American Meteorological Society 58*, 4–19.

Borland, S. W., 1977: Hail suppression: progress in assessing its cost and benefits. *Met. Mon. 16*, 155–175.
Burcev, I. I., 1976: Hail suppression. *Papers presented at the Second WMO Scientific Conference on Weather Modification.* WMO-No. 443, Genevaú, 217–222.
Burcev, I. I., 1980: Hail suppression activities in the Soviet Union. *Papers presented at the Third WMO Scientific Conference on Weather Modification.* WMO, Geneva, 547–554.
Changnon, S. A., 1976: Scales of hail. *J. Appl. Met. 12*, 1–38.
Changnon, S. A., 1977: On the status of hail suppression. *Bull. Am. Met. Soc. 58*, 20–27.
Conference-Workshop on Hailstorms and Hail Prevention, 1982, Sofia, Bulgaria.
Crow, E. L., Long, A. B., Dye, J. E., Heymsfield, A. J. and *Mielke, P. W.*, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in northeast Colorado. Part II: Surface data base and primary statistical analysis. *J. Appl. Met. 18*, 1538–1558.
Federer, B., 1980: Aktuelle Probleme der Wolkenphysik. *Meteorol. Rundsch. 33*, 43–49.
Federer, B., Waldvogel, A., Schmid, W., Hampel, F., Rosini, E., Vento, D., Admirat, P. and *Mezeix, J. F.*, 1978/79: Plan for the Swiss randomized hail suppression experiment. Design of Grossversuch IV. *Pageoph. 117*, 548–571.
Federer, B., Waldvogel, A., Schmid, W., Hampel, F., Schweingruber, M., Mezeix, J. F., Doras, N., Vento, D. and *Stahel, W.*, 1982: First results of Grossversuch IV. *Conference-Workshop on Hailstorms and Hail Prevention.* Sofia, Bulgaria.
Foote, B. G. and *Knight, C. A.*, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in northeast Colorado. Part I: Design and conduct of the experiment. *J. Appl. Met. 18*, 1526–1537.
Flueck, J. A. and *Mielke, P. W.*, 1977: Design and evaulation of hail suppression experiments. *Met. Mon. 18*, No. 38. 225–233.
Földvári, J. és *Wirth, E.*, 1979: *Jégeső-elhárítás Magyarországon.* Baranya megyei Tanács kiadványa, Pécs.
Gulyás, O. és *Légrádi, G.*, 1978: Kísérlet a jégeső-elhárítás hatékonyságának becslésére. Kézirat.
Henderson, T. J., 1975: Observation of the Soviet hail projects. *J. Weather Mod. 7*, 101–108.
Howell, W., 1966: Conceptual models that guide applied cloud seeding. *Bull. Am. Met. Soc. 47*, 397–400.
Knight, C. A., Foote, G. B. and *Summers, P. W.*, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in northeast Colorado. Part IX: Overall discussion and summary in the context of physical research. *J. Appl. Met. 18*, 1629–1639.
Lovell, C. C., 1972: Some aspects of the suppression program in the National Hail Research Experiment. *Preprints Third Conf. Weather Modification*, Rapid City, Amer. Met. Soc., 44–47.
Poluektova, L. P. and *Tsykunov, V. V.*, 1973: On physical and economical effectiveness of hail-suppression projects. *Proceedings of the WMO/IAMAP Scientific Conference on Weather Modification* Tashkent, 459–472.
Proceedings of the WMO/IAMAP Scientific Conference on Weather Modification. Tashkent, 1973. WMO – No. 399.
Rouet, J. P. and *G. Der Megreditchian*, 1980: Methodological aspects of the statistical control using hailpad data, of the effectiveness of a hail modification experiment. *Papers presented at the Third WMO Scientific Conference on Weather Modification*, WMO, Geneva, 771–776.
Stanchev, K. and *Simeonov, P.*, 1977: Ob ocenke effektivnosti vozdeystvia na gradovye processy na dvuh poligonah v Bolgarii. *Hidrologia i Meteorologia 26*, 37–46.
Summers, P. W., 1979: Major Weather modification activities other than precipitation enhancement. *PEP Report*, No. *13*, 153–171.
Szabó, L. és *Vástyán, Z.*, 1980: Jégkáranalízis. Kézirat.
Székely, Cs. és *Zoltán, Cs.*, 1984: A jégesőindikátor és felhasználásának lehetőségei. *Időjárás, 88.* 32–45.
Szulakvelidze, G. K., 1967: *Livnyeviye oszadki i grad.* Gidrometeoizdat, Leningrád.
Wirth, E., 1969: Jégesőképződési elméletek és megelőzési módszerek a Szovjetunióban. *Időjárás, 73*, 99–108.
Wirth, E., 1976a: A jégeső-elhárítás gazdasági hatékonyságának becslési módszerei. Kézirat.
Wirth, E., 1976b: A „védett terület" definíciója. Kézirat.
Wirth, E., 1984: A jégesőelhártás Magyarországon. Megjelenés alatt az *Időjárás*-ban.
Waldvogel, A., Federer, B., Schmid, W. and *Mezeix, J. F.*, 1978: The kinetic energy of hailfalls. Part II: Radar and hailpads. *J. Appl. Met. 17*, 1680–1693.
WMO-Registers of National Weather Modification Projects, 1976–1982, Geneva, Switzerland.
Wojtiw, L. and *Renick, J. H.*, 1973: Hailfall and crop damage in Alberta. *Preprints 8th Conf. Severe Local Storms*, Denver, Am. Met. Soc., 138–141.
Zoltán, Cs. and *Geresdi, I.*, 1984: One dimensional steady-state jet model. *Időjárás, 88.* 12-31.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 1. szám. 1984. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 1. Jan. – Feb. 1984. Budapest

A one-dimensional steady-state jet model for thunderclouds

ZOLTÁN, CS.—GERESDI, I., *Hungarian Meteorological Service, Applied Cloud Physics Center, H-7601 Pécs, Pf. 353*

Zivatarfelhők egydimenziós stacionárius jet modellje. A modellt az operatív jégesőelhárítás számára fejlesztettük ki. A leírásában kritikus szerepet játszó besodródási arányt két közelítő összefüggéssel is megadtuk. A felhőalap hőmérsékletének és magasságának számítására négyféle módszert próbáltunk ki. A modellt egy konkrét meteorológiai helyzetben teszteltük. A számított paraméterek közül a felhőtető magasságát radar mérésekkel hasonlítottuk össze.

⁂

A *one-dimensional steady-state jet model for thunderclouds.* A one-dimensional steady-state cloud model developed for operational hail suppression is presented. The entrainment rate is given in two different ways. The temperature and the height of the cloud base are determined by four methods. The model is tested in a concrete meteorological situation. From the calculated parameters the height of the cloud top is compared with radar measurements.

⁂

Introduction. Numerical cloud models have played more and more important role in weather modification since early 1970s. Their usefulness were proven in precipitation enhancement experiments (*Weinstein*, 1972; *Simpson* and *Wiggert*, 1971) and they grew in favour in hail suppression too. The models make possible to calculate some parameters of a thunderstorm cell, which can be measured little, or not at all, by radiosonde and common weather radar. Several types of models were developed depending on their application. Two or three dimensional and time dependent models are mostly, used in theoretical investigations (e. g. to calculate the efficiency of cloud seeding in hail suppression, *Farley* and *Orville*, 1982). The application of these models require great computer capacity. In addition to collect input data and to control the results require a sophisticated technology. In the operational hail suppression the one-dimensional jet models have come into general use (*Weinstein*, 1971). Their application is advantageous in many respects. In spite their simplicity they give some cloud parameters (e. g. heigth of the cloud top, water content) well enough. Their input data can be given by a sounding. Their short running time makes possible to provide data for the short and ultra-short range weather forecast and for the operational hail suppression (*Stoyanov* and *Boev* 1978). In the paper we deal with a one-dimensional steady-state cloud model developed for use in operational hail suppression. It is a modified version of an earlier model (*Geresdi* et al., 1982). The description of the phase changes of water substance is given here in more detail.

List of symbols

A	constant in freeze equations	$0.66\,K^{-1}$
a	constant in distribution of water drops	$m^{-3}kg^{-1}$
B	constant in freeze equations	$100\,m^{-3}s^{-1}$
b	constant in distribution of water drops	m^{-1}
c_p	specific heat of dry air at constant pressure	$1007\,Jkg^{-1}K^{-1}$
D	diameter of water drop	m
dQ_c	released heat of condensation	J
dQ_d	released heat of deposition	J
dQ_f	released heat of freezing	J
e	weighted vapour pressure in the jet	Pa
e_o	vapour pressure in the environment	Pa
e_i	saturation vapour pressure with respect to ice	Pa
e_w	saturation vapour pressure with respect to water	Pa
g	acceleration of gravity	$9.81\,ms^{-2}$
L_c	latent heat of condensation	Jkg^{-1}
L_d	latent heat of deposition	Jkg^{-1}
L_f	latent heat of fusion	Jkg^{-1}
m	mass of air parcel	kg
N_w	water drop concentration of diameter D	kg^{-1}
n_w	water drop concentration	kg^{-1}
P	probability of a drop freezing	
p	air pressure	Pa
q	water vapour mixing ratio in the jet	$kg \cdot kg^{-1}$
q_o	water vapour mixing ratio in the environment	$kg \cdot kg^{-1}$
$\overline{q_o}$	average water vapour mixing ratio in the environment	$kg \cdot kg^{-1}$
R	gas const. for dry air	$286.7\,Jkg^{-1}K^{-1}$
r	jet radius	m
T	temperature in the jet	K
T_o	temperature in the environment	K
T^v	virtual temperature in the jet	K
T^v_0	virtual temperature in the environment	K
t	time	s
V	volume of air parcel	m^3
v	updraft velocity	ms^{-1}
v_o	wind velocity in the environment	ms^{-1}
w	vertical component of the updraft velocity	ms^{-1}
x	variable of integration	
z	height	m
α	entrainment coefficient	0.1
ε	ratio of gas constant for dry air to that of water vapour	0.622
Θ	potential temperature	K
$\overline{\Theta}$	average potential temperature	K
μ	entrainment rate	m^{-1}
ϱ	density of moist air in the jet	kgm^{-3}
ϱ_w	density of water	$1000\,kgm^{-3}$
σ	hydrometeor mixing ratio	$kg \cdot kg^{-1}$
σ_i	ice mixing ratio	$kg \cdot kg^{-1}$
σ_{iw}	liqued water mixing ratio	$kg \cdot kg^{-1}$

1. *The dynamics of the jet*

Lagrangian method is used for dynamic description of the updraft. The following simplifications are introduced: the jet and its environment are steady-state, the isobaric surfaces crossing the jet are horizontal and the horizontal cross-sections of the jet are circles at any level.

Let the air parcel be a cylinder of thickness Δz and of radius r and its base horizontal *(Fig. 1)*. The mass of the air parcel is $m = \varrho r^2 \pi \Delta z$, where ϱ is the density of moist air in the jet. (Δz is so small, that the air parcel can be considered homogeneous.)

2. *Continuity of air*

The concept of entrainment, formulated first by *Stommel* (1947) has been proven by observations and measurements (e. g. *Squires* and *Turner*, 1962).

In our model it was supposed, that the inflowing air mixes well with the air parcel at any level. (It must be noted that there is also detrainment in real cases, but our model does not includ this effect.) According to the most generally used approximation, the inflow velocity is proportional to the vertical velocity component of the air parcel (*Squires* and *Turner*, 1962; *Orville* et al., 1980, *Stoyanov*, 1975). On the basis of these assumptions the entrainment rate μ is

$$\mu \equiv \frac{1}{m}\frac{dm}{dz} = \frac{2\alpha}{r}\cdot\frac{T^v}{T_0^v}, \tag{1}$$

where T^v and T_0^v are the virtual temperatures in the jet and in its environment, respectively. The proportionality factor α is equal to 0.100 ± 0.015 in case

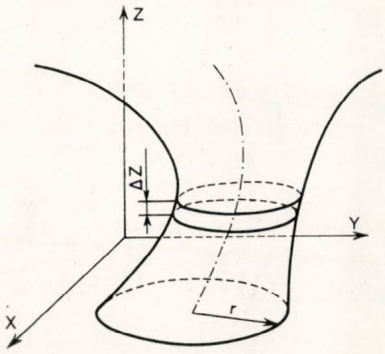


Fig. 1 : Schematic illustration of the jet and the air parcel

of large updraft velocity. According to *Sloss'* (1967) measurements the entrainment rate can not be given by (1). *Simpson* (1971) fitted the next empirical relationship to these measurements:

$$\mu = 7.6\cdot10^{-5}\,\mathrm{m}^{-1} + \frac{7\cdot8\cdot10^{-2}}{r} \tag{2}$$

Substituting the expression of the mass of air parcel into the definition of the entrainment rate for the change in the jet radius with height, we obtain

$$\frac{dr}{dz} = \frac{r}{2}\left[\mu - \frac{1}{w}\frac{dw}{dz} - \frac{1}{\varrho}\frac{d\varrho}{dz}\right], \tag{3}$$

where w is the vertical component of the updraft velocity. (In the calculations Δz was supposed to be so small that $\frac{1}{\Delta z}\cdot\frac{d\Delta z}{dt} \approx \frac{dw}{dz}$. This requirenment can be satisfied, because $\lim_{\Delta z \to 0} \frac{1}{\Delta z}\cdot\frac{d\Delta z}{dt} = \frac{dw}{dz}$.) Using the barometric formula and the ideal gas law we can eliminate the density from (3):

$$\frac{dr}{dz} = \frac{r}{2}\left[\mu - \frac{1}{w}\frac{dw}{dz} + \frac{g}{RT_0^v} + \frac{1}{T^v}\cdot\frac{dT^v}{dz}\right] \tag{4}$$

where g is the gravitational acceleration and R is the gas constant for dry air.

3. *The equation of motion*

Supposing that all hydrometeors are always falling at their terminal velocity, the vector equation of motion of the air parcel is

$$d(m\boldsymbol{v}) = \boldsymbol{v}m\left[\frac{T_0^v - T^v}{T_0^v} + 5\right]dt + \boldsymbol{v}_0\,dm, \tag{5}$$

where $\boldsymbol{v}$ is the updraft velocity in the jet, $\boldsymbol{v}_0$ is the velocity of the environment, ζ is the mixing ratio of the sum of the liquid water and ice (hydrometeor mixing ratio).

It is supposed that the compensating downflow occurs at a great distance from the jet and for this reason the entraining air has no vertical velocity component (*Squires* and *Turner*, 1962).

4. *Continuity of total water content*

In the jet the total water content of the ascending parcel is changed by the entrainment:

$$d[m(\sigma + q)] = q_0\,dm, \tag{6}$$

where q and q_0 are the water vapour mixing ratios in the jet and out of the jet, respectively. The water vapour mixing ratio can be given approximately by the following relation:

$$q \approx \varepsilon\frac{e}{p}, \tag{7}$$

where ε is the ratio of the gas constant for dry air to that of water vapour, p is the air pressure. A weighted vapour pressure is used in the jet (*Squires* and *Turner*, 1962; *Wisner* et al., 1972):

$$e = \frac{e_w\,\sigma_w + e_i\,\sigma_i}{\sigma}, \tag{8}$$

where σ_w and σ_i are the mixing ratios of liquid water and ice, e_w and e_i are the saturation vapour pressures over flat water and ice surfaces, respectively. The vapour pressures and their derivatives are given by the empirical Tetens formulas:

$$e_w = \exp\left(\frac{23.684T - 4948.2\ \mathrm{K}}{T - 35.9\ \mathrm{K}}\right);\quad \frac{de_w}{dz} = e_w\frac{4097.9\ \mathrm{K}}{(T - 35.9\ \mathrm{K})}\cdot\frac{dT}{zd};$$
$$e_i = \exp\left(\frac{28.291T - 6019.1\ \mathrm{K}}{T - 7.5\ \mathrm{K}}\right);\quad \frac{de_i}{dz} = e_i\frac{5806.9\ \mathrm{K}}{(T - 7.5\ \mathrm{K})^2}\cdot\frac{dT}{dz}. \tag{9}$$

Using (6), (7) and (8) we obtain the height derivative of the hydrometeor mixing ratio:

$$\frac{d\sigma}{dz} = \frac{\mu\left(e_0 - e - \dfrac{\sigma p}{\varepsilon}\right) - \left[D_1\dfrac{dT}{dz} + (e_w - e_i)\dfrac{\sigma}{1}\cdot\dfrac{d\sigma_w}{dz} + e\dfrac{g}{R\,T_0^v}\right]}{\dfrac{p}{\varepsilon} - (e_w - e_i)\dfrac{\sigma_w}{\sigma^2}} \tag{10}$$

where $D_1 = \left(e_w \frac{4097.9\text{K}}{(T-35.9\text{K})^2} - e_i \frac{5806.9\text{K}}{(T-7.5\text{K})^2}\right)\frac{\sigma_w}{\sigma} + e_i \frac{5806.9\text{K}}{(T-7.5\text{K})^2}$

and e_0 is the vapour pressure in the environment. The $d\sigma_w/dz$ and dT/dz terms are unknown in the above equation, therefore they will be analysed in detail in the next two sections.

5. *The liquid water mixing ratio*

In the model the change in the liquid water mixing ratio is caused by three effects:

a) The growth of mass of the ascending air parcel
b) Condensation and evaporation
c) Freezing of water drops

The change of liquid water in the air parcel can be written in the following manner:

$$d(m\sigma_w) = d'(m\sigma_w) + d''(m\sigma_w). \tag{11}$$

Here d' denotes the change due to condensation or evaporation and d'' denotes the change due to freezing. Condensation and evaporation are supposed to be proportional to the change in mass of all hydrometeors:

$$d'(m\sigma_w) = f\, d(m\sigma). \tag{12}$$

To specify f is one of the problems in cloud modelling, because exact solution of the diffusion equation is very difficult, if not impossible, in a three-phase, dispersed, non steady-state system. Essentially different approaches can be found in the literature (e. g. *Squires* and *Turner*, 1962; *Wisner* et al., 1972). In our model, we use the the next simple approximation:

$$f = \begin{cases} \frac{\sigma_w}{\sigma} \cdot \frac{e_i}{e_w} & \text{if} \quad T < 273\text{ K} \\ 1 & \text{if} \quad T > 273\text{ K}. \end{cases} \tag{13}$$

If $T > 273\text{K}_1$ the relation expresses that in this temperature range the model does not contain ice. If $T < 273\text{K}$, $f = \frac{\sigma_w}{\sigma} \cdot \frac{e_i}{e_w}$ means that the change in liquid water due to condensation or evaporation should be proportional to its mixing ratio if the ratio of the vapour pressure over water to that of ice were constant, and in this temperature range condensation proceeds more slowly than deposition.

For the calculation of the freezing process we use an empirical equation suggested by *Bigg* (1953). On the basis of laboratory experiments he has suggested the following relation for the freezing probability P for a drop diameter D:

$$\ln(1-P) = B \int_0^t \frac{\pi}{\sigma} D^3 \left[\exp(A(273\text{K}-T)) - 1\right] dx. \tag{14}$$

The values of the constants A and, in particular, B, depend on conditions of the experiment. Instead of the values suggested by *Bigg*, the ones used by *Wisner* et al., (1972) were applied. After differentiation of (14), the number of drops of diameter D frozen during dt can be obtained:

$$dN_w = -B \frac{D^3\pi}{6} N_w [\exp(A(273\text{K} - T)) - 1]dt \tag{15}$$

It will be assumed that the water drop size distribution is of the Khrgian – Mazin type everywhere in the jet:

$$N_w(D) = aD^2 \exp(-bD)\, dD \tag{16}$$

The values of the constants a and b can be calculated from the water drop concentration n and the liquid water mixing ratio. Using this distribution, the change in water drop concentration and liquid water mixing ratio due to freezing is given by

$$\frac{d''n_w}{dz} = -\frac{\sigma_w B[\exp(A(273\text{K} - T)) - 1]}{w\varrho_w}, \tag{17}$$

$$\frac{d''\sigma_w}{dz} = -\frac{28\sigma_w^2 B[\exp(A(273\text{K} - T)) - 1]}{5n_w w\varrho_w} \tag{18}$$

The height derivative of the liquid water mixing ratio can be written with knowledge of f and $\frac{d''\sigma_w}{dz}$

$$\frac{d\sigma_w}{dz} = \mu[f\sigma - \sigma_w] + f\frac{d\sigma}{dz} + \frac{d''\sigma_w}{dz}. \tag{19}$$

It was supposed that $d''(m\sigma_w) = md''\sigma_w$

The number of hydrometeors is assumed to be constant in the air parcel. For this reason the change in its mass influences the water drop concentration

$$\frac{dn_w}{dz} = \frac{d''n_w}{dz} - \mu n_w \tag{20}$$

Using (10) and (19)

$$\frac{d\sigma}{dz} = \frac{\mu[e_0 - e - \sigma D_2] - D_1\frac{dT}{dz} - e\frac{g}{RT\frac{v}{o}} - \frac{1}{\sigma}(e_w - e_i)\frac{d''\sigma_w}{dz}}{D_2} \tag{21}$$

where $D_2 = \frac{P}{\varepsilon} + \frac{1}{\sigma}(e_w - e_i)\left(f - \frac{\sigma_w}{\sigma}\right)$.

6. *The temperature in the jet*

Using the first law of thermodynamics, the change in the enthalpy of the air parcel can be written as

$$d(c_p mT) = c_p T_o\, dm + dQ_f + dQ_d + dQ_c + Vdp \tag{22}$$

The first term on the right side is the enthalpy of entraining air, dQ_f is the released heat of freezing, dQ_d and dQ_c are those of deposition and condensation, respectively. These heats can be given by

$$\frac{dQ_d}{dz} + \frac{dQ_c}{dz} = L_d(1-f)\frac{d(m\sigma)}{dz} + L_c f\frac{d(m\sigma)}{dz}, \tag{23}$$

$$\frac{dQ_f}{dz} = -L_f m \frac{d'' \sigma_w}{dz}, \tag{24}$$

where L_d is the latent heat of deposition, L_c is the latent heat of condensation and L_f is the latent heat of fusion. The dependence on temperature of these latent heats are given by the following equations *(Pruppacher* and *Klett*, 1978):

$$L_c = 2.5003 \cdot 10^6 \left(\frac{273.15\text{K}}{T} \right)^{\gamma} \text{JKg}^{-1}, \tag{25}$$

where $\gamma = 0.167 + 3.67\ 10^{-4}\text{K}^{-1}\text{T}$,

$$L_f = (-10.465\text{K}^{-2} \cdot \text{T}^{-2} + 7747.2\text{K}^{-1} \cdot \text{T} - 1.0017 \cdot 10^6)\ \text{JKg}^{-1}. \tag{26}$$

and $L_d = L_c + L_f$.

Using (9), (21), (22), (23) and (24) the following equation is obtained for the temperature lapse rate in the jet:

$$\frac{dT}{dz} = \left\{ \mu \left[D_2 (T_0 - T) + \frac{\hat{L}}{c_p} (e_0 - e) \right] - D_2 \left(\frac{L_f}{c_p} \frac{d'' \sigma_w}{dz} + \frac{g}{c_p} \cdot \frac{T^v}{T_0^v} \right) - \right. \tag{27}$$

$$\left. - \frac{\hat{L}}{c_p} \left[e \frac{g}{R T_0^v} + (e_w - e_i) \frac{1}{\sigma} \frac{d'' \sigma_w}{dz} \right] \right\} \Big/ \left(D_2 + \frac{\hat{L}}{c_p} D_1 \right),$$

where $\hat{L} = L_d - f L_f$.

7. *Initial conditions*

The model describes the updraft in a mature thunderstorm. For solving the differential equations which describe the jet one has to know the environmental parameters of the ascending air parcel (temperature, humidity, wind velocity) and its initial stage. The air parcel is started at the condensation level (cloud base), where the initial parameters are:

height of the cloud base,	cloud radius,
cloud temperature,	liquid water mixing ratio,
updraft velocity,	drop concentration.

The data from soundings, considering their representativeness, give a right description about the environment of the air parcel, but they are insufficient to determine the above-mentioned parameters at the cloud base.

The following methods were tried to determine the height and the temperature of the condensation level by the help of radiosoundings and surface measurements:

a) Calculate the average mixing ratio and potential temperature in the lower 900 m of sounding representative of the environment just prior to thunderstorm activity:

$$\bar{q}_0 = \frac{1}{900} \int_0^{900} \varepsilon \frac{e(z)}{p(z)} dz\ , \qquad \bar{\Theta}_0 = \frac{1}{900} \int_0^{900} \Theta_0 (z)\ dz\,. \tag{28}$$

Lift these values upward along their respective isopleths until saturation is reached. Then the temperature and height correspond to the temperature

and height of the cloud base. This procedure was suggested by *Foster* and *Bates* (1956).

b) Potential temperature and mixing ratio of the air parcel is equal to the average values measured at the surface of the given territory. This air parcel is lifted to determine the height and temperature of the cloud base in the above manner.

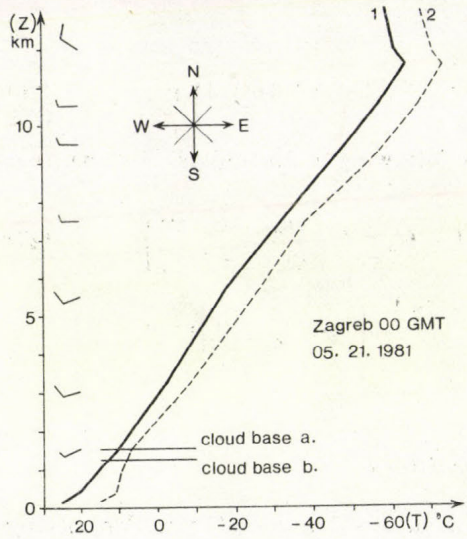


Fig. 2: The sounding of Zagreb. 21. 05. 1982. 00 GMT. Both different heights of cloud bases calculated by method *a.* and *b.* are also drawn. [(1) temperature, (2) dew point temperature, flags indicate the direction and the velocity of wind, half flag means 2 – 3 m/s, flag means 4 – 6 m/s]

c) At the condensation level the virtual temperature of the air parcel is equal to that of its environment (*Squires* and *Turner*, 1962). The height was determined by using the procedure described at *a)*

d) The temperature was determined as in *c)*, the height of the cloud base was calculated in the same way as in.

The initial values of updraft velocity, cloud radius and microphysical parameters were taken from the literature, because direct measurements had not been available.

The initial radius was chosen to be 5 km on the basis of measurements reported by *Byers* and *Braham*, (1949). 3 km and 7 km initial radii were being tried out too. Using these values the greatest difference between the calculated cloud tops was about 1 km. (Here the cloud top means the height where the vertical component of the updraft velocity becomes zero *(Simpson* and *Wiggert*, 1971*)*.) The difference was found to depend on the entrainment ratio. Using expression (1) the differences were greater than in the case of expression (2).

At the condensation level the horizontal velocity component of the air parcel was supposed to be equal to that of its environment. The initial vertical velocity component of the jet was chosen to be 5 m/s. When this initial value was changed by ± 2 m/s only differences of several hundred metres in the cloud top were obtained.

On the basis of data reported by *Mason* (1957) the mean droplet radius

is about 5 μm and the average droplet concentration is 10^8 kg^{-1} at the base of continental Cumulonimbus. The initial value of the liquid water mixing ratio can be calculated from these data and equals to 5.24 10^{-5} kg/kg.

8. *Results*

The model described in this paper can not be applied in the case of fronts. Therefore, to present results of the model we chose such a day (21. 05. 1982).

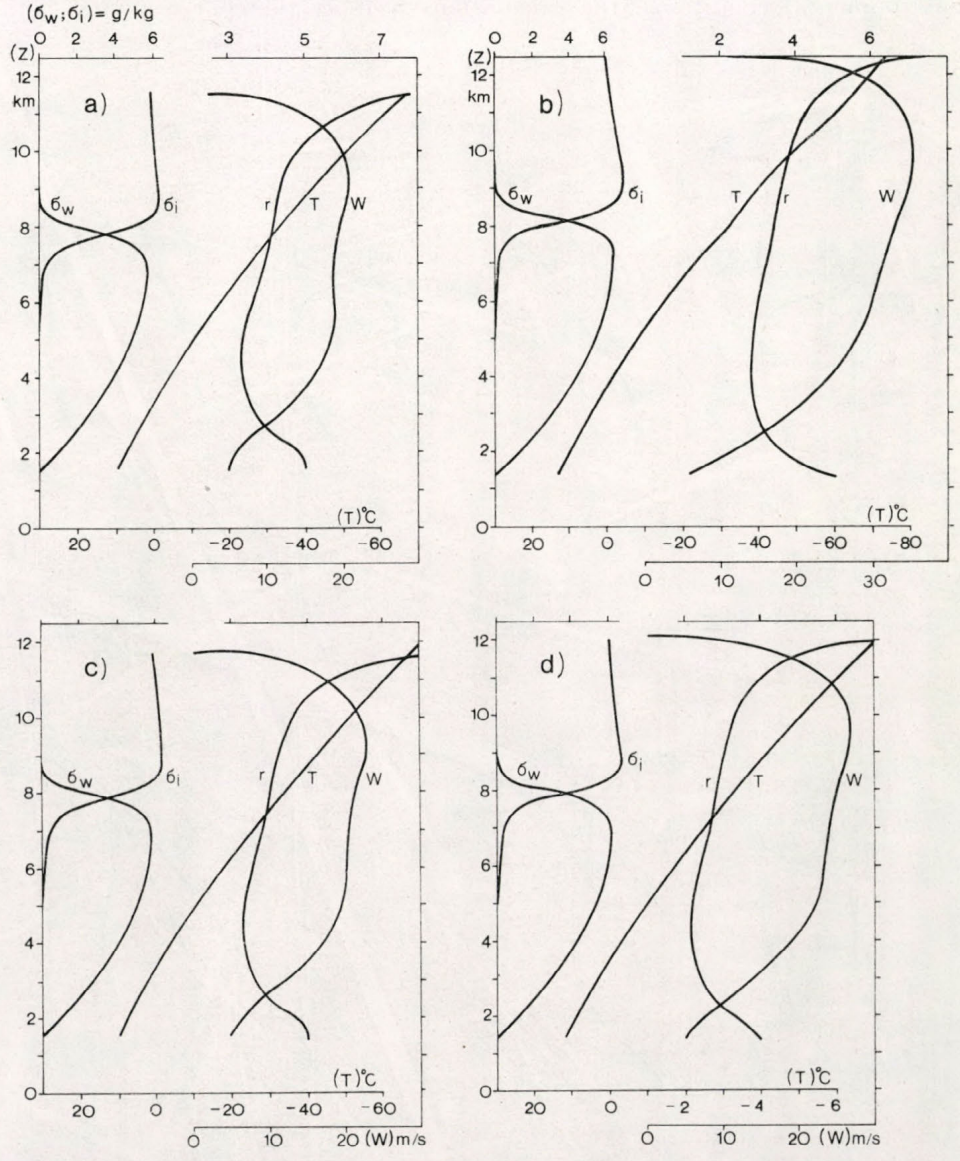


Fig. 3: Cloud parameters calculated by using entrainment rate *(1)*, the cloud bases determined by *a*, *b*, *c*, and *d* methods, respectively.(*T* is the cloud temperature, *W* is the vertical component of the updraft velocity, *r* is the jet radius, σ_w is the liquid water mixing ratio, σ_i is the ice mixing ratio)

when heavy showers and thunderstorm were formed in homogeneous air-masses in the west-part of the country. The sounding of Zagreb 21. 05. 1982. 00 GMT was used to define the environment of the jet, because the general orientation of the flow was from south-west *(Fig. 2.)*. The cloud base was determined by using the data of meteorological stations located in the southern part of Transdanubia as well. The height of cloud bases calculated by method *a)* and *b)* are shown in Fig. 2. Using the above initial and environmental conditions, the calculations were carried out applying both

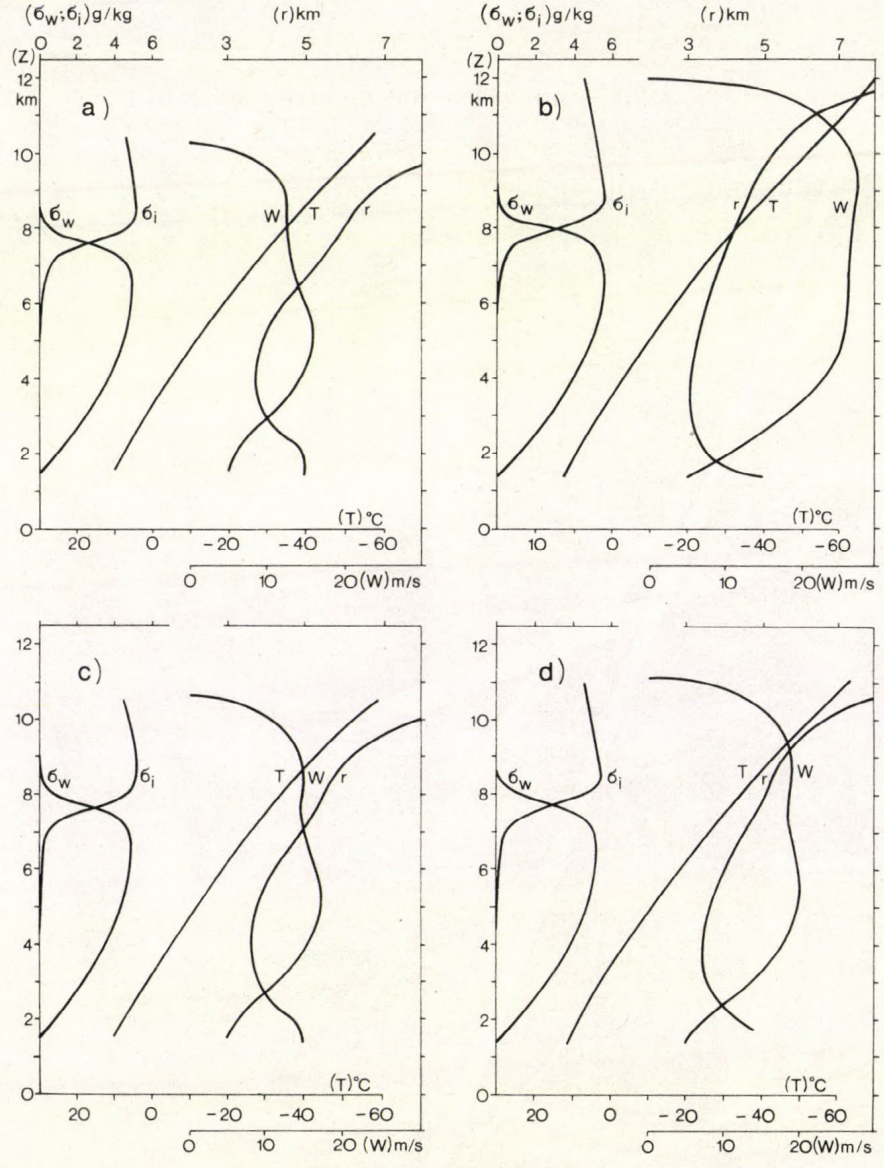


Fig. 4: As in Fig. 3. except that the entrainment rate is given by expression *(2)*

entrainment rates [equations (1) and (2)]. Results are shown in *Fig. 3* and *Fig. 4.*

The height of the cloud top calculated from the model is the only parameter which can be checked by radar measurements. (In our case the error of height measurements using an X-band radar is about ± 500 m.) The tallest thunderstorms of this day were 12 km high in Baranya county between 9 and 11 GMT. The comparisons between the calculated and measured maximum cloud tops show greater differences than the measuring error in Fig. *3b*, *Fig. 4a, c, d.* In cases of *4a, c* and *d* the entrainment rate was given by (2). This type of entrainment rate probably can not be used in our situation. In case of 3b the cloud base was determined by method *b)*. In our opinion this method overestimates the temperature of the air parcel at the cloud base. (In this case the temperature excess was greater than 1 °C.)

Naturally, these problems can not be resolved by investigation only a single case. More reliable and more accurate inference can be drawn only by using a large enough and more representative input and control data set. Unfortunately, no radar or other kind of control measurements are available can be regarded representative. This situation will substantially be improved by the installation of three (storm warning) weather radars in Hungary in the near future.

REFERENCES

Bigg, E. K., 1953: The Formation of Atmospheric Ice Crystals by the Freezing Droplets. *Qart. J. Roy. Met. 79*, 510–519.

Byers, H. R. and *Braham, R. R.*, 1949: The Thunderstorm. U. S. Govt. Print. Office, Washington D. C.

Farley, R. D. and *Orville, H. D.*, 1982: The Numerical Modelling of Hailstorm and Cloud Seeding Effects. *Conference-Workshop on Hailstorm and Hail Preventation*, Sofia.

Foster, D. S. and *Bates, F. C.*, 1956: A Hail Size Forecasting Technique. *Bull. Amer. Meteor Soc. 37*, 135–141.

Geresdi I., Molnár K. and *Zoltán Cs.*, 1982: Egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell. *Beszámolók 1980*, 225–233. (OMSZ Budapest)

Mason, B. J., 1957: *The Physics of Clouds.* Clarendon Press, Oxford.

Orville, H. D., Hirsch, J. H. and *May, L. E.*, 1980: Application of a Cloud Model to Cooling Tower Plumes and Clouds. *J. Appl. Meteor. 19*, 1260–1272.

Pruppacher, H. R. and *Klett, J. D.*, 1978: *Microphysics of Clouds and Precipitation.* D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.

Simpson, J., 1971: On Cumulus Entrainment and One-Dimensional Models. *J. Atm. Sci. 28*, 449–455.

Simpson, J. and *Wiggert, V.*, 1971: 1968 Florida Cumulus Seeding Experiment: Numerical Model Results. *Mon. Weath. Rev. 99*, 87–117.

Sloss, P. W., 1967: An Empirical Examination of Cumulus Entrainment. *J. Appl. Meteor. 6*, 878–881.

Squires, P. and *Turner, J. S.*, 1962: An Entraining Jet Model for Cumulo-nimbus Updraught. *Tellus 14*, 422–434.

Stommel, H., 1947: Entrainment of Air into a Cumulus Cloud. *J. Meteor. 4*, 91–94.

Stoyanov, S., 1975: Struynaya model konvektivnich oblakov. *Hidrologia i Meteorologia 3.*

Stoyanov, S. and *Boev, P.*, 1978: Fiziko-statistitseskij podhod k analizu gradovich yavlenij na osnove rastsetov s pomosju strujnoj modeli konvektivnich oblakov. *Hidrologia i Meteorologia 5.*

Weinstein, A. I., 1971: Application of Numerical Models to Cumulus Cloud Modification. *J. Weath. Mod. 3*, 177–185.

Weinstein, A. I., 1972: Ice-Phase Seeding Potential for Cumulus Cloud Modification in the Westen United States. *J. Appl. Meteor. 11*, 202–210.

Wisner, C., Orville, H. D. and *Myers, C.*, 1972: A Numerical Model of Hail-Bearing Cloud. *J. Atm. Sci. 29*, 1160–1181.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 1. szám. 1984. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 1. Jan. – Feb. 1984. Budapest

A jégesőindikátor és felhasználásának lehetőségei

SZÉKELY CSABA—ZOLTÁN CSABA, *Országos Meteorológiai Szolgálat, Alkalmazott Felhőfizikai Központ, H-7601 Pécs, Pf. 353*

The hailpad and possibilities of its usefulness. The paper reports on some characteristics of the hailpad itself and those of the hailpad measurements too. After presentation of the hailpad, the calibration problems and quantities which can be measured by hailpads are discussed. Selected data of hailpad measurements in Baranya county during 1978 – 81 are presented in figures and in a table.

⁎

A jégesőindikátor és felhasználásának lehetőségei. A cikk a jégesőindikátor és a jégesőindikátoros mérések jellemzőbb tulajdonságait tárgyalja. A jégesőindikátor bemutatása után a hitelesítés problémáival, majd a jégesőindikátorral mérhető mennyiségekkel foglalkozik. Tájékoztatást ad az 1978 – 81. évi Baranya megyei jégesőindikátoros mérésekről.

⁎

Az időjárási jelenségek mennyiségi leírása a meteorológiai kutatások egyik alapvető kérdése. Egyes jelenségek (pl. a hőmérséklet, a szélsebesség és -irány, a légnyomás stb.) megfigyelése és mérése alapvetően megoldottnak tekinthető, míg más jelenségek esetében a helyzet nem kielégítő. A jégeső is ez utóbbiak közé tartozik, annak ellenére, hogy minden évben jelentős gazdasági károkat okoz. (*Bálint* 1967) adatai szerint ez a kár Magyarországon, évi átlagban kb. 2,4%-os termésveszteség; ÁB-adatok alapján pedig 1971 és 1981 között átlagosan évi 1 – 1,5 milliárd Ft 300 – 350 ezer ha területen.)

Bár jégesőre vonatkozó megfigyelések Magyarországon a XVIII. század végétől ismertek (*Aujeszky*, 1947), a pontosabb mennyiségi leírásokhoz szükséges mérések megszervezésére csak a jégesőelhárítás bevezetése (1976) óta történtek lépések (*Wirth* és *Zoltán*, 1979).

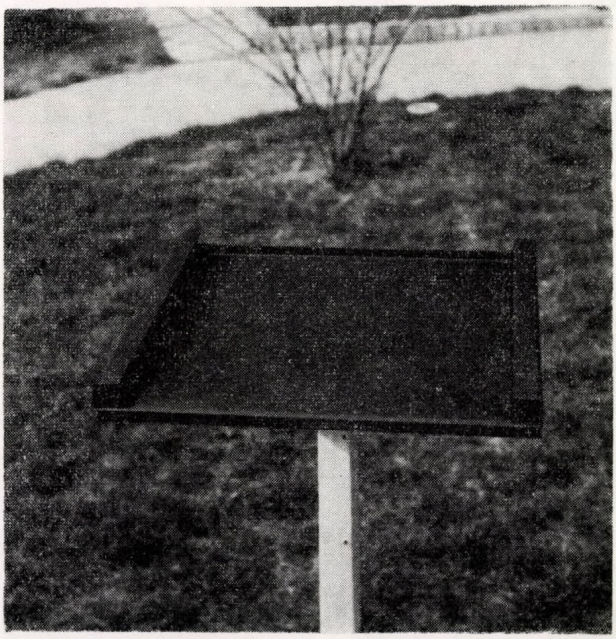
A nehézségek a jégesők szeszélyes tér- és időbeli eloszlásából, valamint a mérendő mennyiségek jellegéből adódnak. A jégfoltok jellemző méretei néhány száz métertől néhányszor tíz kilométerig terjednek. Magyarországon egy-egy meteorológiai állomáson megfigyelt és feljegyzett jégesők sokévi átlaga 1 – 3 között mozog (*Bacsó* et al., 1953), de előfordul az is, hogy egy megfigyelőhelyen évekig nem esik jég.

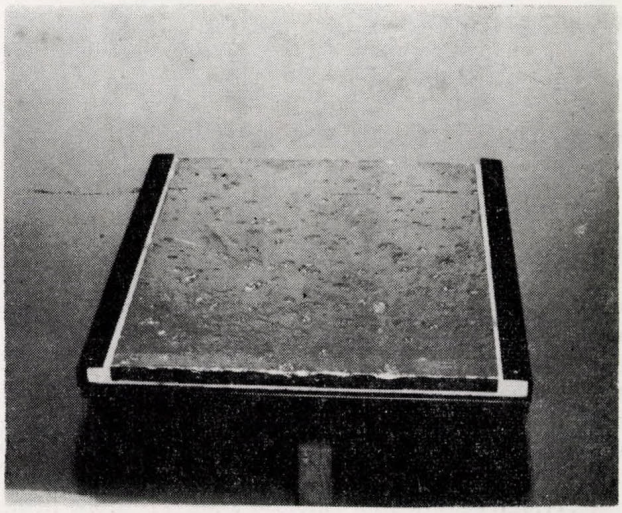
Ezek szerint megbízható információk csak sűrű mérőhálózattal nyerhetők. Ez megköveteli, hogy a mérőműszerek olcsók és könnyen kezelhetőek legyenek. Ugyanakkor feltétlenül mérnünk kell a jégszemek számát és méreteloszlását. Ezen paraméterek ugyanis nemcsak a képződési folyamatok elméleti vizsgálatánál fontosak, hanem jelentős mértékben befolyásolják a jégesők okozta gazdasági károkat is.

A jégszemek méretének megfigyelésére nincs egységesen elfogadott ész-

lelési útmutatás. Magyarországon például az észlelő csak az állomás területére lehullott legnagyobb jégszem méretét köteles jelenteni az időjárási táviratban; a nagyság megállapítása vizuálisan (a borsó, mogyoró, cseresznye, dió, galamb- és tyúktojás méretével való összehasonlítással) történik (*Bálint* és *Wirth*, 1970). Ez a módszer nem kielégítő.

A méreteloszlás mérésére szolgáló műszerek többsége viszonylag drága: a jégszemeket mechanikailag osztályozza és fotoelektromosan számlálja, vagy





1. ábra: Magyarországon jelenleg használt jégesőindikátor

a becsapódó jégszemek impulzusát méri (*WMO*, 1969; *Towery* et al., 1976). Megemlítjük, hogy történtek kísérletek magyar jégszemosztályozó szabadalmaztatására is (*Horváth*, 1969).

A jégszemek spektrumának és tömegének mérésére jelenleg az egyetlen olcsó és könnyen kezelhető mérőeszköz a jégesőindikátor. A cikk a jégesőindikátor és a jégesőindikátoros mérések jellemzőbb tulajdonságait tárgyalja, valamint tájékoztatást ad a magyarországi mérésekről.

Mi a jégesőindikátor?

A jégesőindikátor a talajfelszíni jégesőmegfigyelések egyik eszköze. Többek között a jégszemek mennyiségének, méreteloszlásának, illetve hálózatban

I. TÁBLÁZAT

Az első — 1959-ben alkalmazott — és néhány, Európában használatos jégesőmérő-lap fontosabb adatai

Jégesőmérő-lap	Méret [cm]	A habosított műanyag	Borítása
Schleusener, (1969) USA	12,5×12,5×1,5	styrofoam	2/3-án vékony, 1/3-án vastag alumínium fóliával burkolt
Francia	30×30×2,5	roofmate	festett
Olasz	20×20×2,0	poliuretán	20 μm-es alumínium fólia, ragasztva
Bolgár	30×30×2,5	poliuretán	50 μm-es alumínium fóliával burkolt
Olasz–Svájci	35×35×2,0	poliuretán	festett
Magyar (1979–81)	20×20×2,0	poliuretán vagy roofmate	festett vagy alumínium fólia, ragasztva
Magyar (1982)	30×30×2,0	poliuretán	10 μm-es alumínium fólia ragasztva

felállítva a jégfoltok és a jégesős napok számának meghatározására szolgál. Két részből áll: a jégesőmérő lapból, és az állványból. A jégesőmérő lap egy deformálható lap, amelyen a jégszemek értékelhető nyomokat hagynak. A mérőlapot vízszintes helyzetben, teljes felületén szilárd alátámasztást biztosító állványban, úgy szokás elhelyezni, hogy a ráeső jégszemek útja zavartalan legyen *(1. ábra)*.

Az első jégesőindikátoros méréseket 1959 nyarán ÉK Coloradóban végezték, az ott folyó jégesőelhárítási kísérlet hatékonyságának a becsléséhez (*Schleusener* and *Jennings*, 1960). A használt mérőlapok anyaga és hitelesítése lényegileg megegyezett a jelenleg használtakéval, a jégnyomok kiértékelhetősége azonban sokkal rosszabb volt. A jégesőindikátorokat azóta különböző kísérletekben sok helyen használták (pl. *Admirat*, 1973; *Oomoto*, 1973; *Morgan* and *Towery*, 1975; *Mezeix* et al., 1976; *Changnon*, 1977; *Federer* et al., 1977; *Morgan* et al., 1980; *Simeonov*, 1982).

A gyakorlatban használt jégesőmérő lap többnyire négyzet alakú, valamilyen habosított műanyagból készült, felülete a vízhatlanság biztosítása, a napsugárzás károsító hatásának kiküszöbölése és a kiértékelés megkönnyítése céljából festett, vagy alumíniumfóliával borított. Az első és néhány Európában használatos jégesőmérő lap fontosabb adatait az *I. táblázatban* tüntettük fel.

A jégnyomok alakja többnyire ovális. A nagy- és kistengely aránya általában kisebb 3-nál (*Schleusener* and *Jennings*, 1960). Ezeket a tengelyeket szokás nagyobbik, ill. kisebbik átmérőnek is nevezni.

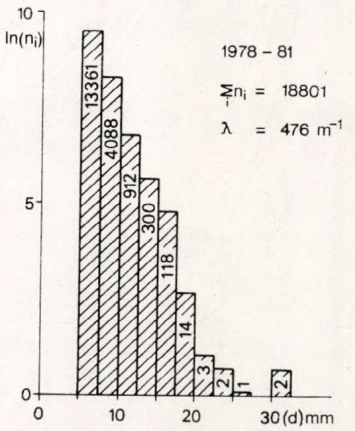
A jégnyomok kiértékelése azok kisebbik átmérőjének megmérésével tör-

ténik, amelyből a következő fejezetben leírt hitelesítési eljárás segítségével következtethetünk a jégszemek méretére.

Vento (1978), valamint *Mezeix* és *Admirat* (1978) javasolták a nagyobbik jégnyomátmérő mérését is. Szerintük a két átmérő hányadosából megállapítható a szélsebesség nagysága.

A szélsebesség és szélirány mérésére régebben öt mérőlapot használtak kockaszerű elrendezésben, égtájak szerint tájolva. Az oldallapokon, ill. a fedőlapon keletkezett jégnyomok számából a spektrum figyelembevételével elvileg számíthatók ezen paraméterek (*Vento*, 1976; *Vento* and *Morgan*, 1976).

Az indikátoros szélmérések mégsem terjedtek el. Ennek fő oka a szél sebességének és irányának szeszélyes váltakozása, valamint a jégszemek szabálytalan alakja.



2. ábra: A jégszemek méreteloszlása az 1978–81. évi Baranya megyei indikátorhálózat adatai alapján

1. *A jégesőmérő lap hitelesítése*

A hitelesítés célja a mérőlapon lévő jégnyomokról megállapítani, hogy azokat milyen jégszemek okozták. Természetesen ehhez egyszerűsítő feltevéseket kell tennünk. A nemzetközi gyakorlatban (*Vento*, 1975; *Sarrat* et al., 1977; *Lozowski* and *Strong*, 1978; *Lozowski* et al., 1978; *Vento*, 1980; *Zoltán* et al., 1981; *Montefinale* and *Ferrari*, 1982) egységesen a következő alapfeltételezések használatosak:

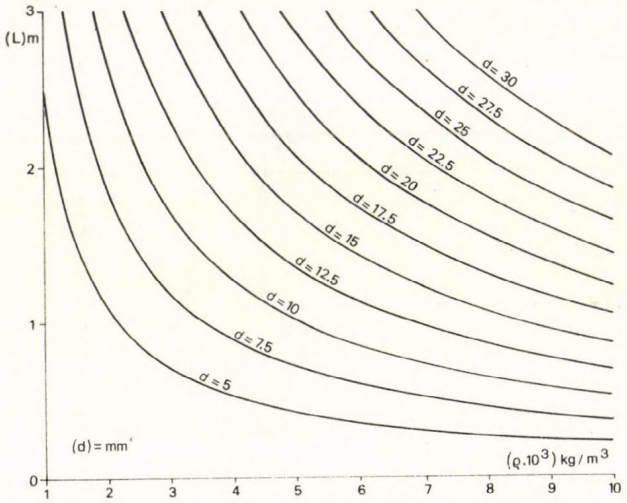
a) a jégszemek gömb alakúak,
b) a jégszemek becsapódáskor nem deformálódnak,
c) a jégszemek sűrűsége egyenlő,
d) a jégszemek a határsebességükkel esnek,
e) a függőlegesen becsapódó jégszem által okozott lenyomat átmérője csak a jégszem méretétől és kinetikus energiájától függ,
f) a jégnyomok kisebbik átmérője megegyezik azzal az átmérővel, amely akkor jönne létre, ha a jégszemek függőlegesen esnének.

A feltevésekhez a következő megjegyzéseket fűzzük:

a) Már *Schleusener* és *Jennings* (1960) azt találták, hogy a jégszemek többsége (kb. 75%-a) közel gömb alakú. Ezt későbbi mérések is megerősítették (pl. *Matson* és *Huggins* (1979) által vizsgált 621 jégszem közül 522 a gömbalakúak kategóriájába sorolható). *Long* et. al. (1979) szerint az európai, délafrikai és kanadai mérések úgy összegezhetők, hogy a 2 cm-nél kisebb átmérőjű jégszemek többsége gömb alakú, kis része pedig kónikus. A 2–4 cm

átmérőjű jégszemek rendszerint gömb vagy ellipszoid alakúak és durva felületűek. A nagyobb jégszemek alakja ellipszoid vagy szabálytalan, felületük durva. A leggyakrabban előforduló jégszemek 2 cm-nél kisebb átmérőjűek. (A jégszemek méret szerinti eloszlását az 1978–81. évi Baranya megyei jégesőindikátoros mérések alapján a *2. ábrán* mutatjuk be.)

b) A kemény és puha jégszemek arányára a legkülönbözőbb értékek találhatók. A puha jégszemek aránya különböző mérésekben pl.: *Schleusener* és *Jennings* (1960): 10%; *Summers* (1968): 50%; *Held* (1973): 23%. Ez a változékonyság természetesen a jégesők változékonyságából adódik. Annak valószínűsége, hogy a jégszem kemény, a jégszem méretével nő (*Long* et. al., 1979).



3. ábra: Az L ekvivalens ejtési magasság függése a golyó sűrűségétől és d átmérőjétől

A puha jégszemek lenyomata a jégesőmérő lapokon jellegzetesen más, mint a keményeké. A puha jégszemek a jégesőelhárítás szempontjából kevésbé jelentősek, mivel csak kisebb károkat okoznak.

c) A jégszemek sűrűségét különböző szerzők 800–910 kg/m³-nek becsülik (*Vittori* and *Caporiacco*, 1959; *Macklin* et al., 1960 stb.). Indikátorok hitelesítéséhez 900 kg/m³ körüli értéket szokás használni (*Schleusener* and *Jennings*, 1960; *Vento*, 1976; *Lozowski* et al., 1978).

d) A tapasztalat és a számítások (*Zoltán*, 1980) szerint a jégszemek a talaj közelében nagyjából a határsebességükkel esnek, azaz esésük közben a nehézségi és a közegellenállási erő egyensúlyt tart. Így becsapódáskor a d átmérőjű jégszem vízszintesen a szél sebességével mozog, a függőleges sebességkomponens – négyzetes közegellenállási törvényt feltételezve – a következő:

$$v_j = (4\varrho_j g d/3\varrho_1 C_j)^{0,5}, \qquad (1)$$

ahol ϱ_j, illetve ϱ_1 a jégszem, illetve a lebegő sűrűsége, C_j a jégszem alakellenállási tényezője, g a nehézségi gyorsulás.

A C_j alakellenállási tényező értékét vagy állandónak tételezik fel (*Vento*, 1976: $C_j = 0{,}6$; *Lozowski* és *Strong*, 1978: $C_j = 0{,}5$; *Lozowski* et al., 1978: $C_j = 0{,}6$), vagy valamilyen, a Reynolds-számtól függő mérési eredményt használnak (*Schleusener* and *Jennings*, 1960; *Zoltán* et. al., 1981). Az általunk használt paraméter értékek: $\varrho_1 = 1{,}22$ kg/m³, $\varrho_j = 900$ kg/m³, $g = 9{,}81$ m/s², C_j-re *Matson* és *Huggins* (1979) eredményét használjuk, amelyet természetes körülmények között eső jégszemek esetében mértek a talaj közelében:

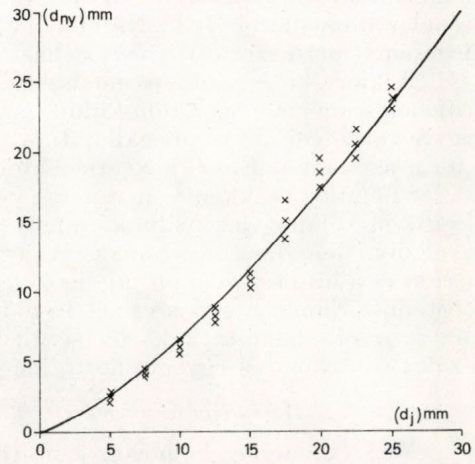
$$C_j = 3{,}92\ Re^{-0{,}1689}, \qquad (2)$$

ahol $Re = \varrho_1 v_j d/\eta$ a Reynolds szám, η a levegő viszkozitása. η-ra a 15°C levegő viszkozitását használva $\eta = 1{,}796\ 10^{-5}$ kg/(ms) (1) és (2)-ből:

$$v_j = K\ d^{\alpha}, \qquad (3)$$

ahol $K = 198{,}5\ \mathrm{m}^{1-\alpha}/\mathrm{s}$ és $\alpha = 0{,}6384$.

e) Schleusener és *Jennings* (1960) $7{,}8 \cdot 10^3$ kg/m^3 sűrűségű acél és $2{,}6 \cdot 10^3$ kg/m^3 sűrűségű márványgolyókat ejtett mérőlapokra, és azt találta, hogy azonos méret és kinetikus energia esetén a keletkezett nyomok alakja és mérete nem különbözik lényegesen egymástól. *Lozowski* és *Strong* (1978) acél,



4. ábra: Hitelesítő görbe (AFK 1982). d_{ny} a nyom, d_j a jégszem átmérője

üveg, és jéggolyókra találta ugyanezt. A nyomok keletkezésére vonatkozó elméletek (*Lozowski* and *Strong*, 1978; *Matson* and *Huggins*, 1979) szintén megerősítik a fentieket.

Ez lehetővé teszi, hogy a mérőlapokat acélgolyókkal hitelesítsük. Ennek előnye az, hogy az ejtési magasság jelentős mértékben lecsökken *(3. ábra)*. Ahhoz, hogy a d átmérőjű ϱ_a sűrűségű acélgolyó az azonos méretű jégszem mozgási energiájával csapódjon a mérőlap felületébe, a golyót

$$L = -\frac{v_a^2}{2g} \ln\left(1 - \frac{\varrho_j}{\varrho_a}\frac{v_j^2}{v_a^2}\right)$$

magasságból kell ejtenünk, ahol $v_a = (4dg\varrho_a/3\varrho_1 C_a)^{0,5}$ az acélgolyó határsebessége ($C_a = 0{,}45$ az acélgolyó alakellenállási tényezője). Ezt a magasságot ekvivalens ejtési magasságnak nevezik.

f) A jégszemek a szél miatt általában nem függőlegesen esnek. Laboratóriumi kísérletek szerint (*Lozowski*, 1977; *Vento*, 1977; *Lozowski* and *Strong*, 1978; *Lozowski* et. al., 1978) a mérőlapokba különböző szögek alatt becsapódó, azonos méretű, a mérőlapokra merőlegesen azonos nagyságú sebességkomponenssel rendelkező acélgolyók által okozott lenyomatok kisebbik átmérői 10%-nál kisebb mértékben különböznek egymástól. *Long* et al. (1979) mérései szerint az eltérés a „szél nélküli" esettől kb. annyi százalék, ahány m/s a szélsebesség. A maximális jégnyom-átmérőben a változás 50%-nál is nagyobb lehet (*Lozowski* et al., 1978; *Long* et al., 1979). (Megjegyezzük, hogy ezekben a kísérletekben az acélgolyó függőlegesen esett, a ferde becsapódást a mérőlap megdöntésével érték el.)

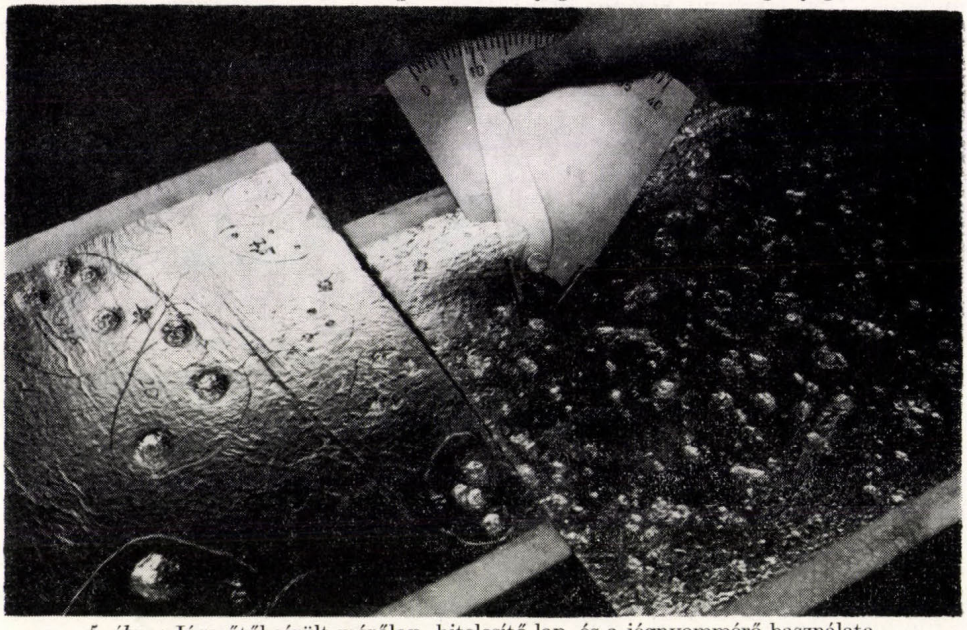
Az előzők alapján a jégesőmérő lapot a következőképpen hitelesítjük: Különböző méretű acélgolyókat ejtünk a mérőlapra, mindegyiket az ekvivalens ejtési magasságból. A keletkezett lenyomatok átmérője és az acélgolyók sugara közötti összefüggés alapján, adott jégnyom esetén meghatározhatjuk a hozzátartozó jégszem méretét. Megjegyezzük, hogy a hitelesítést időről-időre meg kell ismételni, mivel a mérőlapok anyaga gyártási sorozatonként más és más tulajdonságú lehet.

A kisebbik nyomátmérő—jégszemátmérő összefüggést szokás folytonos görbével is megadni. (A *4. ábrán* bemutatjuk az 1982-es hitelesítésünkből kapott görbét.) Általában azonban csak az a kérdés, hogy a jégszem egy adott méretintervallumba esik-e. Ezt adatkezelési problémák, a hitelesítés és a kiértékelés hibái indokolják. Nálunk 5,0 mm—7,5 mm; 7,5 mm—10,0 mm;... jégszemátmérő szerinti beosztás használatos.

A kiértékelés szokásos módszere: minden egyes jégnyom kisebbik átmérőjének a megmérése külön-külön, majd a mért átmérő és a hitelesítési görbe egybevetésével annak megállapítása, hogy melyik méretintervallumba soroljuk a jégszemet. Ennél közvetlenebb és az intervallumba sorolás bizonytalanságát némileg csökkentő módszer a következő: hitelesítési görbe helyett hitelesítő mérőlapot használunk, amelyen az intervallumhatároknak megfelelő acélgolyó lenyomatok vannak. A jégnyomok intervallumba sorolása a jégnyom és a hitelesítő lapon található lenyomatok közvetlen összehasonlításával történik. Ennek a módszernek fő előnye a jelentős munkaidő-megtakarítás. Az *5. ábrán* bemutatunk egy sérült mérőlapot, a jégnyomátmérő mérésére szolgáló eszközt és egy hitelesítő mérőlapot.

2. *Az indikátorok mérete és az indikátorhálózat sűrűsége*

Még viszonylag homogén jégfoltban is előfordulhat, hogy egy indikátor nagyságú felületre nem esik jég. Az 1978—1981-es években Magyarországon használt 0,04 m² felületű mérőlapokon 100 jégszem/m² sűrűségű jégesőben an-



5. ábra: Jégesőtől sérült mérőlap, hitelesítő lap, és a jégnyommérő használata

nak valószínűsége, hogy a mérőlapra nem esik jég 1—2%, 20 jégszem/m² esetén kb. 50%. Az újabban használt 0,09 m² felületű mérőlapoknál ezek a valószínűségek kb. fele ekkora sűrűségű jégesőknél érvényesek. Látszik, hogy ez az effektus elsősorban a jégeső mért spektrumát torzítja. A jégesős napok és a jégfoltok vizsgálatánál viszont az indikátorhálózat sűrűsége és elhelyezkedése a mérvadó.

Mint már említettük, a jégfoltok jellemző méretei igen széles határok között (néhány száz métertől néhányszor tíz kilométerig) változnak. Nagyobb területen olyan sűrű mérőhálózat telepítésére, amely biztosan detektálja a legkisebb jégfoltokat is, nincs lehetőség. Az, hogy a mérőhálózat megfelelő sűrűségű-e, mindig a konkrét feladattól függ.

3. Egyetlen indikátorral mérhető paraméterek

Indikátorral a mérőlap felületére hullott jégszemek számát és nagyságát lehet mérni. Ez megköveteli az egyes jégnyomok elkülönítését, és kisebbik átmérőjének pontos mérését.

A jégnyomok elkülönítésekor két problémát kell megoldani. Az egyik a jégnyom és az egyéb hatások (eső, állatok, ágak, ujjlenyomat stb.) által bekövetkezett sérülések szétválasztása. Ez nem okoz jelentős problémát (pl. az eső síma benyomódásokat hoz létre, amelyek követik a mérőlap habanyagának szemcsés szerkezetét; a jégszemek lenyomata durvább, a habanyag sérül, a jégszem élei, kitüremkedései határozott nyomokat hagynak). A másik probléma a nyomok átfedése. Ez az úgynevezett telítési probléma kevésbé sérült mérőlapok esetén könnyen tárgyalható (*Zoltán, és Vento*, 1979; *Székely* és *Zoltán*, 1982). *Huggins* et al. (1980) szerint 7—8 ezer jégnyom/m² esetén, hacsak néhány 1 cm-nél nagyobb átmérőjű jégnyom van, a nyomok rendszerint megkülönböztethetők, de ha az 1 cm-nél nagyobb a nyomok sűrűsége meghaladja az 500—700 jégnyom/m²-t, az átfedések már zavaróak. Súlyosan sérült mérőlapok (jégnyomsűrűség nagyobb, mint kb. 10^4 jégnyom/m²) már csak igen nehezen, vagy egyáltalán nem értékelhetők.

A kisebbik átmérő mérésének szubjektív hibái a már említett intervallumba sorolással, vagy a kiértékelők számának növelésével csökkenthetők. *Huggins* et al. (1980) szerint a hiba a kiértékelő számának négyzetgyökével arányosan csökken. Több kiértékelő alkalmazásától azonban általában eltekintenek, mivel ez jelentősen megnöveli a kiértékeléshez szükséges munkaórák számát.

A kiértékeléskor kapott adatok a (d_i, d_{i+1}) átmérőintervallumba eső jégszemek n_i felületi koncentrációi. Ezekből a következő mennyiségeket származtathatjuk:

1. Az exponenciálisnak feltételezett méreteloszlás λ paraméterét:

$$(\bar{n} = \int_{d_i}^{d_{i+1}} n_0 e^{-\lambda x}\, dx;\ n_0 = \lambda e^{\lambda d_1},\ \sum_{i=1} n_i),$$

ahol λ-át a legkisebb négyzetek módszerével határozzuk meg. (A jégszemek méreteloszlása, több jégeső átlagában közel exponenciális, lásd pl. a *2. ábrát*, vagy *Crow* et al. (1979) adatait.)

2. A jégszemek felületi koncentrációját: $n = \sum_{i=1} n_i$;

3. A felületi tömegkoncentrációt: $M = \sum_{i=1} n_i \varrho_j \frac{\pi}{6} \overline{d_i^3}$, ahol

$$d_i^3 = \int_{d_i}^{d_{i+1}} [X^3/(d_{i+1}-d_i)]dX.$$

4. A kinetikus energia felületi sűrűségének azon részét, amely a függőleges sebességkomponensből számolható, a (3) alapján):

$$E = \sum_{i=1} n_i\,(\pi/12)\,\varrho_j\,K^2\,\overline{d^{2\alpha+3}},$$

ahol $$\overline{d^{2\alpha+3}} = \int_{d_i}^{d_{i+1}} [x^{2\alpha+3}/(d_{i+1}-d_i)]\,dX.$$

Az 1–4. pontban felsorolt mennyiségek a jégeső időtartamára integráltak és így nem mondanak semmit a jégeső időbeli lefolyásáról. Ha valamilyen forrásból (pl. az indikátor kezelőjétől) a jégeső t időtartama ismert, számíthatjuk:

5. a tömegáramsűrűséget: $\dot{M} = M/t$.

6. az energiaáramsűrűséget: $\dot{E} = E/t$.

7. a Z ekvivalens radarreflektivitási tényezőt: *Ulbrich* (1878) alapján −0,01 cm vízréteget feltételezve a jégszemek felületén – E és Z között az összefüggést a következő számértékegyenletek adják meg, ha $\dot{E}$-t J/(sm-)-ben, Z-t mm^6/m^3-ben értjük:

3,21 cm-es hullámhosszon: $\dot{E} = 4{,}11 \cdot 10^{-4}\ (Z/100)^{1{,}05}$

10 cm-es hullámhosszon: $\dot{E} = 4{,}75 \cdot 10^{-4}\ (Z/100)^{0{,}87}$

II. TÁBLÁZAT

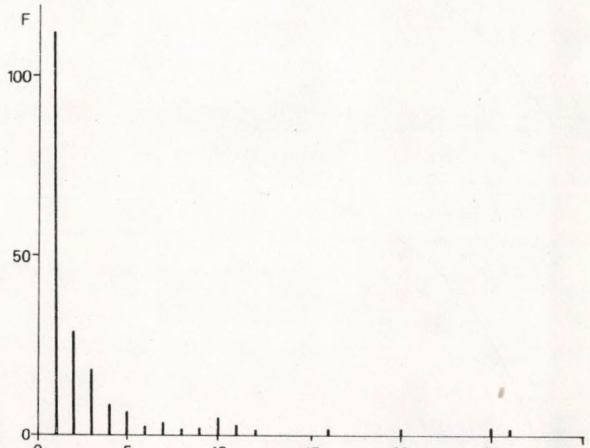
Néhány jégesőmérő-lap adataiból számított paraméter-értékek Dél-Baranyában
(A jelölések értelmezése a szövegben)

Dátum	Jéghullás		n_i db/m²							n	λ	M	E	$\dot{M}$	$\dot{E}$	Z_{10} / $Z_{3,21}$ x 10^{-4}	
	kezdete h'	időtart. min.	5,0–7,5	7,5–10,0	10,0–12,5	12,5–15,0	15,0–17,5	17,5–20,0	20,0–22,5	db/m²	1/m	g/m²	J/m²	g/sm²	mW/m²	mm⁶/m³	
			d_i mm														
1978																	
V. 16.	11^{31}	10	2400	250	0	50	150	0	0	2850	909	735	50	1,2	83	3,8	1,6
V. 20.	14^{35}	5	1050	400	200	0	0	0	0	1650	476	390	19	1,3	63	2,7	1,2
V. 29.	18^{38}	2	450	350	100	100	50	0	5	1050	278	460	32	3,8	269	14,3	4,8
VI. 24.	19^{03}	3	200	0	0	0	0	0	0	200	104	24	1	0,1	4	0,1	0,1
VI. 25.	14^{39}	3	6000	500	100	0	50	0	5	6650	909	1049	45	5,8	252	13,6	4,5
VII. 19.	12^{30}	5	0	50	100	50	100	0	0	300	124	349	31	1,2	104	4,9	1,9
1979																	
V. 26.	18^{54}	14	925	475	550	600	325	125	0	3000	179	2459	213	2,9	254	13,7	4,5
VI. 12.	14^{00}	10	200	375	125	175	150	25	25	1075	164	942	88	1,6	146	7,2	2,7
VI. 18.	11^{20}	20	1275	700	275	200	50	0	0	2500	322	914	59	0,8	49	2,1	0,9
1980																	
V. 22.	11^{40}	10	3225	2325	575	0	0	0	0	6125	385	1525	73	2,5	122	5,9	2,3
VI. 27.	10^{30}	3	1650	1500	625	100	125	0	0	4000	278	1483	93	8,2	519	31,1	9,0
VII. 29.	03^{23}	1/3	100	25	0	0	0	0	0	125	625	20	1	1,0	38	1,5	0,8
1981																	
IV. 28.	12^{26}	11	4200	50	0	0	0	0	0	4250	1667	519	17	0,8	25	1,0	0,5
VI. 04.	10^{30}	10	2325	775	75	25	50	25	25	3300	476	903	63	1,5	105	5,0	2,0
IX. 26.	09^{47}	3	1650	800	100	25	0	0	0	2575	476	554	26	3,1	142	7,0	2,2

Z értelmezése a következő: rádiólokátorral mérhető a visszaszórási hatáskeresztmetszet átlagos térfogati sűrűsége, az η radarreflektivitás. Ez egyszeres szórást feltételezve elméletileg a következőképpen adható meg, ha a visszaszóró részecskék egyenlő „n" komplex törésmutatójú, homogén térfogati eloszlású gömbök, amelyek sugara a Rayleigh-tartományba esik (azaz a szóródó rádióhullámok λ hullámhosszánál jóval kisebb):

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \left| \frac{n^2-1}{n^2+2} \right|^2 \sum_i n_i d_i^6,$$

ahol n_i a d_i átmérőjű részecskék térfogati koncentrációja. η kifejezésében a felhőre jellemző paraméterek egyszerűen kiemelhetők. A $Z^* = \sum_i n_i d_i^6$ meny-



6. ábra: 1978–81. években X darab indikátorral detektált jégfoltok F szám

nyiség a radarreflektivitási tényező. Mivel nagyobb részecskék esetén a felhőparaméterek nem emelhetők ki a reflektivitás kifejezéséből, a radarmeteorológiában a Z ekvivalens reflektivitási tényező a használatos:

$$Z = \frac{\lambda^4}{\pi^5} \left| \frac{n^2+2}{n^2-1} \right|^2 \eta$$

A Rayleigh-tartományban $Z = Z^*$, ezen kívül pedig Z függ a hullámhossztól.

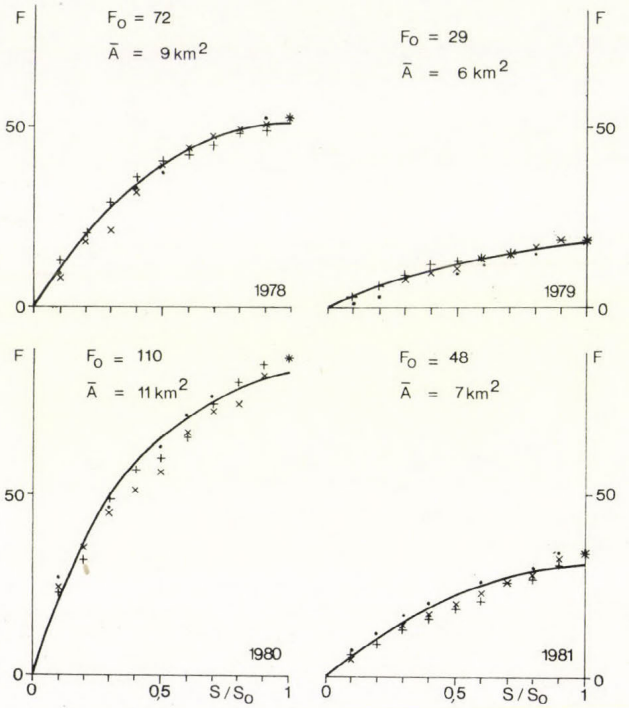
Ezen paraméterek jellegzetes értékeire a *II. táblázat*ban adtunk példákat, feltüntetve a jégszemek intervallumonkénti eloszlását, valamint a jégeső kezdetének időpontját és időtartamát. Megjegyezzük, hogy a jégeső időpontját gyakran csak körülbelül tudjuk (nap, napszak), és időtartamára pedig sokszor egyáltalán nincs adatunk. Ilyenkor természetesen az 5–7 paraméterek nem számolhatók.

4. Indikátorhálózattal mérhető mennyiségek

Indikátorhálózattal elvileg mérhető egy adott területen a jégesők száma és az egyes jégfoltok szerkezete. Itt csak a jégesős napok és a jégfoltok számának meghatározását tárgyaljuk.

A jégfoltok mérete és szeszélyes elhelyezkedése miatt az indikátorhálózat sűrűségét ésszerűtlenül nagyra kellene választanunk, ha minden jégfoltot detektálni akarnánk.

Reális sűrűségű hálózat esetében *Götz* és *Mészáros* (1968) nyomán a következőképpen járhatunk el: legyen N a mért jégesős napok, F a mért jégfoltok száma, S az indikátorhálózat sűrűsége. A hálózatból véletlenszerűen indikátorokat elhagyva meghatározhatjuk az empirikus $N-S$ és $F-S$ függvénykapcsolatokat. Az $N-S$, $F-S$ függvények monoton növekvő telítési függvények.



7. ábra: A jégfoltok mért száma *(F)* az indikátorhálózat S sűrűségének függvényében. $S_5 = 0{,}16$ km^2 az indikátorhálózat tényleges sűrűsége. A ●, ×, + jelek különböző egyenletes eloszlású véletlen szám-generátor által csökkentett sűrűségű indikátorhálózattal mért értékek. A folytonos vonal az illesztett elméleti görbe, F_0 ennek telítési értéke, $\bar{A}$ pedig a jégfoltok területének becsült, várható értéke

Telítési értékük a jégesős napok, illetve a jégfoltok száma. Ha a mérési adatokra grafikusan telítési függvényt illesztünk, ennek telítési értékét azonosíthatjuk a fenti mennyiségek valamelyikével.

A telítési függvény illesztését numerikusan is elvégezhetjük, ha alakjára valamilyen feltételezést teszünk (*Zoltán* és *Cseh*, 1979 kéziratban). Ez az eljárás kiküszöböli a grafikus módszer szubjektivitását. A következőkben ennek a módszernek egy továbbfejlesztett változatát mutatjuk be, amely a jégfoltok átlagos méretére is becslést ad.

Legyen az indikátorhálózat sűrűsége S. Tételezzük fel, hogy egy A felületű jégfolt detektálásának valószínűsége:

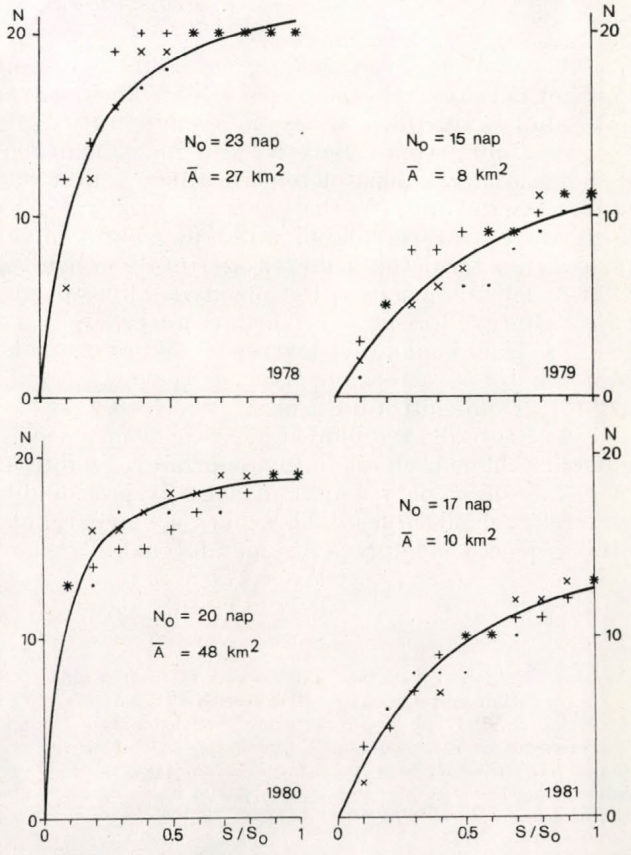
$$P = \begin{cases} 1 & \text{ha } A > 1/S \\ AS & \text{ha } A \leq 1/S \end{cases}$$

Tegyük fel továbbá, hogy a jégfoltok méret szerinti eloszlásának sűrűségfüggvénye $n(A)$. Ekkor F_0 foltból az indikátorhálózat várhatóan

$$F = \left(\int_0^{1/S} AS\, n(A)\, dA + \int_{1/S}^{\infty} n(A)\, dA \right) F_0 \qquad (4)$$

foltot detektál.

$n(A)$ alakjának meghatározására az 1978–81. évi mérésekből indultunk ki. Az egyes foltok körülhatárolása után (ez egyéb adatok hiányában gyakran szubjektív) meghatároztuk, hogy a foltokat hány indikátor detektálta. Az indikátorhálózat sűrűsége ezekben az években közel egyenlő volt (0,16 indikátor/km²). A foltok számának eloszlását az azt detektáló indikátorok



8. ábra: A jégesős napok mért száma (N) az indikátorhálózat S sűrűségének függvényében. $S_0 = 0{,}16$ km² az indikátorhálózat tényleges sűrűsége. A ●, ×, + jelek különböző egyenletes eloszlású véletlenszám-generátor által csökkentett sűrűségű indikátorhálózattal mért értékek. A folytonos vonal az illesztett elméleti görbe, N_0 ennek telítési értéke, $\bar{A}$ pedig a jégfolt területek napi összegének becsült várható értéke

számának függvényében a *6. ábrán* mutatjuk be. Ennek alapján $n(A)$-ra exponenciális eloszlást választottunk:

$$n(A) = \frac{1}{\bar{A}} \exp\left(-\frac{A}{\bar{A}}\right),$$

ahol $\bar{A}$ a jégfoltok méretének a várható értéke. Ezzel (4) a következőképpen alakul:

$$F = F_0 \bar{A} S (1 - \exp[-1/\bar{A}S)].$$

Ha a fentiekben $\bar{A}$ a jégfoltok területének napi összegét jelöli, akkor F helyett N-t, a jégesős napok mért számát és F_0 helyett N_0-t, a jégesős napok tényleges számát kell írnunk.

Az $F-S$ és $N-S$ empirikus függvények mindegyikét évenként háromszor határozzuk meg, ehhez a különböző S sűrűségeket indikátorok véletlen-

szerű elhagyásával állítottuk elő, esetenként más és más egyenletes eloszlású véletlenszám-generátort használva. F és N empirikus értékei a *7.* és *8. ábrán* láthatók, a legkisebb négyzetek módszerével (a három görbére együttesen) illesztett elméleti görbékkel együtt. Az ábrán feltüntettük a telítési értékeket, valamint az A paraméter értékét is.

5. Megjegyzések

A vázolt magyarországi jégesőindikátoros mérések klimatológiai szempontból nem tekinthetők teljes értékűeknek, mivel olyan területre vonatkoznak, ahol egyidejűleg aktív időjárásmódosítás: jégeső elleni védekezés folyt.

1982 júniusában Bács-Kiskun megyében 500 km^2 területen 60 indikátorból álló mérőhálózatot telepítettünk, amit 1983-ban 1143 km^2-re (127 indikátor) bővítettünk. Várhatóan csak viszonylag rövid adatsorunk lesz a módosítatlan zivatarfelhőkből hulló jégesőkre, mivel a jégesőelhárítás beindítása ezen a területen a tervek szerint 1985-ben fog megtörténni. Mégis ez az adatsor lehetőséget nyújthat bizonyos klimatológiai jellemzők (jégszem spektrum; pontgyakoriság stb.) becslésére és így a későbbiekben fontos szerepe lehet a jégeső elleni védekezés hatékonyságának megítélésében. Ezen felül rádiólokátoros, aeroszinoptikus és jégkár-adatokkal párosítva jelentősen segítheti az elméleti kutatásokat.

A jégeső olyan időjárási jelenség, amely nemcsak jelentős gazdasági károkat okoz, hanem elméleti szempontból is rendkívül érdekes. Úgy véljük, jobb megismeréséért nem volna túl nagy ár jégesőindikátorok (esetleg jégspektrométerek) telepítése legalább azokra a helyekre, ahol csapadékmérések, illetve elvileg jégeső megfigyelések már folynak.

IRODALOM

Admirat, P., 1973: Natural „hailcores" and their abilities to estimate the effenciency of hail prevention systems. *Proc. WMO/IAMAP Sci. Conf. Weather Mod.*, 197–206.

Aujeszky, L., 1947: Jégeső-gyakoriság és valószínűség Budapesten 1871–1945. *Országos Meteorológiai és Földmágnestani Intézet kisebb kiadványai, 19*, Budapest.

Bacsó N., Kakas J. és *Takács L.*, 1953: *Magyarország éghajlata.* OMSZ, Budapest.

Bálint Gy., 1967: A jégverés okozta károk a mezőgazdaságban. *Időjárás 71*, 44–50.

Bálint Gy. és *Wirth E.*, 1970: Jégesők Magyarországon és a jégesőelhárítás lehetőségei. *Kertgazdaság 2*, 49–67.

Changnon, S. A., 1977: The scales of hail. *J. Appl. Meteor. 16*, 626–648.

Crow, E. L., Long, A. B., Dye, J. E. and *Ulbrich, C. W.*, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in northeast Colorado. Part III: Analysis of halistone size distribution for seeding and yearly effects. *J. Appl. Meteor. 18*, 1559–1568.

Federer, B., Schmid, W. and *Waldvogel, A.*, 1977: The design of Grossversuch IV, a randomized hail suppression experiment, in Switzerland. *First international workshop on the measurement of hail.* Banff, Canada.

Götz G. és *Mészáros E.*, 1968: A jégesők gyakoriságának területi eloszlása a nyári félévben Magyarországon. *Időjárás 72*, 46–54.

Held, G., 1973: Ten years of hail observations in the Pretoria-Witwatersrand area. *J. de Rech. Atmos. 7*, 195–197.

Horváth, E., 1969: Eljárás és berendezés a jégeső nagyságrendek szerinti szétválasztására és mérésére. Kézirat.

Huggins, A., Crow, E. L. and *Long, A. B.*, 1980: Errors in hailpad data reduction. *J. Appl. Meteor. 19*, 733–747.

Long, A. B., Matson, R. J. and *Crow, E. L.*, 1979: The hailpad: construction and materials, data reduction, and calibration. *NCAR/TN-144+STR.* Boulder, Colorado.

Lozowski, E. P., 1977: Comment on "The hailpad calibration for Italian hail damage documentation". *J. Appl. Meteor. 16*, 688.

Lozowski, E. P., Erb, R., Strong, G. S., Matson, R., Vento, D., Admirat, P., Long, A. and *Wojtiw, L.*, 1978: The hail sensor intercomparison experiment. *Atmosphere-Ocean 16*, 94–106.

Lozowski, E. P. and *Strong, G. S.*, 1978: On the calibration of hailpads. *J. Appl. Meteor. 17*, 521–528.

Macklin, W. C., Strauch, E. and *Ludlam, F. H.*, 1960: The density of hailstones collected from a summer storm. *Nubila 3*, 12–17.

Matson, R. and *Huggins, A. W.*, 1979: Field observations of the kinematics of hailstones. *NCAR/TN-139+STR.* Boulder, Colorado.

Mezeix, J. F., Vaissiéres, B. and *Admirat, P.*, 1976: Etude physique des chutes de grêle dans la région du Napf. *Rapport technique 22, GNFA*, Montpellier, France.

Mezeix, J. F. and *Admirat, P.*, 1978: The measurement of hail at ground level. *Atmosphere-Ocean 16*, 61–68.

Montefinale, T. and *Ferrari, P.*, 1982: On hailpad data in Trento-Bolzano area, covering period 1974–79 incl. *Conference-Workshop on hailstorms and hail prevention*, Sofia.

Morgan, G. M. and *Towery, N. G.*, 1975: Small scale variability of hail and its significance for hail prevention experiments. *J. Appl. Meteor. 14*, 763–770.

Morgan, G. M., Vento, D., Mezeix, J. F., Admirat, P., Federer, B., Waldvogel, A., Wojtiw, L. and *Wirth, E.*, 1980: A comparison of hailfall intensity and spatial variability in the United States and Europe based on data from instrumented networks. *Third WMO scientific conference on weather modification.* Clermont-Ferrand. 607–613.

Oomoto, Y., 1973: Hailstorms in Japan. *Proc. WMO/IAMAP, Sci. Conf. Weather Mod.*, WMO-No. *399*, 207–215.

Sarrat, J. L., Mezeix, J. F., Admirat, P., 1977: Etalonnage des grélimétres á feuille D'aluminium. *GNEFA, rapp. tech. 27.*

Schleusener, R. A. and *Jennings, P. L.*, 1960: An energy method for raletive estimates of hail intensity. *Bull. Amer. Meteor. Soc. 41*, 372–376.

Simeonov, P., 1982: First results from the surface measurements of hailfall in Bulgaria. *Conference-Workshop on hailstorms and hail prevention*, Sofia.

Summers, P. W., 1968: Soft hail in Alberta hailstorms. *Proceedings of the International Conference on Cloud Physics*, Toronto, 455–459.

Székely, Cs. and *Zoltán, Cs.*, 1982: Errors in hailpad measurements. *Conference-Workshop on hailstorms and hail prevention*, Sofia.

Towery, N. G., Changnon, S. A. and *Morgan, G. M.*, 1976: A review of hailmeasuring instruments. *Bull. Amer. Meteor. Soc. 57*, 1132–1140.

Ulbrich, C. W., 1978: Relationships of equivalent reflectivity factor to the vertical fluxes of mass and kinetic energy of hail. *J. Appl. Meteor. 17*, 1803–1808.

Vento, D., 1976: The hailpad calibration for Italian Hail Damage Documentation. *J. Appl. Meteor. 15*, 1018–1022.

Vento, D., 1977: Reply. *J. Appl. Meteor. 16*, 669.

Vento, D., 1978: The angle of fall of hailstones at the ground. *Atmosphere-Ocean 16*, 81–85.

Vento, D., 1980: Presentazione con revisione critica dei dati delle campagne antigradine del Grossversuch IV. 1977–78–79. *Instituto Italo-Latino Americano, Piazza Guglielmo Marconi 26*, Roma EUR 00144.

Vento, D. and *Morgan, G. M.*, 1976: Statistical evaluation of energy imparted to hail by wind in Europe and Unites States. *2th WMO Sci. Conf. on Weather Mod.*, Colorado.

Vittori, D. and *di Caporiacco, G.*, 1959: The density of hailstones. *Nubila 2*, 51–57.

Wirth, E. i *Zoltán Cs.*, 1979: Pervüe ekszperimentü i rezultatü izmerenij sz pomosju indikatorov grada v Vengrii. *Össz-szövetségi felhőfizikai és felhőmódosítási konferencia.* Nalcsik.

WMO, 1969: The measurement of hail size, intensity and duration *CIMO-V/Doc. 20*, Paris.

Zoltán, Cs., 1980: The dynamics of hailstones. *Időjárás 84*, 78–82.

Zoltán Cs., Székely, Cs. és *Sövér, F.*, 1981: Talajfelszíni jégesőmegfigyelések reprezentativitása. *Meteorológiai Tudományos Napok*, Budapest.

Zoltán, Cs e *Vento, D.*, 1979: Comparazione di panelli quasi saturati colpiti dalla gradine. *Relazione presso l' UCEA*, Roma.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 1. szám. 1984. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 1. Jan. – Feb. 1984. Budapest

Jégesők előrejelezhetősége zivatarfelhő-modell segítségével

MOLNÁR KÁROLY—CSABAI DOLORES, *Országos Meteorológiai Szolgálat, Alkalmazott Felhőfizikai Központ, Pécs Pf. 353,*
STOYAN STOYANOV, *Hydrometeorological Service, Blvd. Lenin 66. Sofia, Bulgaria*

Possibility of hail forecasting by applying a thunderstorm model. By means of a 1-D steady-state jet-model, post hoc calculations were made to express numerically the connection between hailstorms and the state of the atmosphere and to forecast them more precisely. The study was based on selected data from radar and ground observations and deals with 57 hail and 24 no hail cases. The processes occurred during the summers of 1978 to 1982 in South-Transdanubia, Hungary, and were connected with quasi air-mass processes only. Of the quantities investigated, the parameters most relevant to the thermal instability and its distribution with height proved to be the best ones. These are the maximum of the updraft velocity (w) and the layer with $w > 15$m/s.

⁎

Jégesők előrejelezhetősége zivatarfelhő-modell segítségével. A légállapot és a jégesők közötti számszerű kapcsolat kifejezése és a jelenség pontosabb előrejelzése céljából utólagos számításokat végeztünk egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell segítségével. A rendelkezésünkre álló rádiólokátoros mérések és talajmenti megfigyelések alapján az 1978 – 82-es évek nyári féléveiben a Dél-Dunántúl térségében előfordult 57 jeges és 24 nem jeges kvázi légtömegen belüli helyzetet dolgoztuk fel. A vizsgált mennyiségek közül a termikus instabilitás nagyságával és annak magasság szerinti eloszlásával legszorosabban kapcsolatba hozható paraméterek bizonyultak a legjobbaknak: a feláramlási sebesség maximális értéke és a 15 m/s-ot meghaladó feláramlási sebességű réteg vastagsága.

⁎

A jégeső előrejelzésének több módszere ismeretes a hazai és a nemzetközi irodalomból (*Sulakvelidze* et al., 1970; *Götz* és *Szalay*, 1977; *Zverev*, 1977; *Stoyanov* és *Boev*, 1980; *Fedchenko* és *Belentsova*, 1980; *Bartha* és *Böjti*, 1982., stb.). Néhányat a jégesőelhárítás hazai gyakorlatában is kipróbáltunk (Szedleckij-, Gluskova- és Cox-féle módszerek, SSI és K indexek), de beválásuk valószínűsége nem bizonyult kielégítőnek. Az utóbbi években több országban is sikerrel kísérleteztek a jégesők és a záporesők szétválasztásával felhőmodellel számolható paraméterek alapján (*Stoyanov* és *Boev*, 1980; *Renick* és *Maxwell*, 1977). E munkák nyomán célul tűztük ki – egydimenziós zivatarfelhő-modell segítségével – olyan paraméterek meghatározását, amelyekkel a jégeső előrejelzése a Dél-Dunántúl területére megbízhatóbbá tehető. Vizsgálatunk első szakaszában kiválasztottuk az 1978 – 1982-ben előfordult kvázi-légtömegen belüli záporos és jégesős napokat, majd az adott jelenség és a modellel számolt bizonyos paraméterek közötti kapcsolatot vizsgáltuk. Ennek eredményeit közöljük jelen dolgozatunkban.

Az említett évek április 1-től október 31-ig terjedő időszakában a Tenkeshegyen levő MRL-1 rádiólokátor mérései alapján számba vettük azokat a napokat, amikor a déli országrész, illetve Jugoszlávia északi része fölött – a lokátor 100 – 150 km-es körzetében, a nappali órákban – konvektív jellegű meteorológiai célokat figyeltek meg. Lehetőség szerint megállapítottuk a kon-

vektív aktivitás maximumának idejét is. Abban az esetben, amikor egy napon belül több órás különbséggel a konvektív aktivitás két maximumát lehetett megállapítani, ezek időpontját is rögzítettük, és külön esetként vettük figyelembe, ha megfeleltek a későbbiekben felsorolt követelményeknek.

Az így kapott halmazok még magukban foglalták a frontális s a nem frontális eseteket is. A vizsgálatunkhoz alkalmazott modell környezetét diszkrét magaslégköri mérésekből határoztuk meg. Ezért ki kellett zárnunk azokat az eseteket, amikor a konvektív folyamatok jelentősen különböző légtömegek keveredési zónájához, markánsan jelentkező frontokhoz kapcsolódtak. Ennek eldöntésére talajanalíziseket és magassági térképeket használtunk.

Az így kiválasztott eseteket a különböző forrásokból származó információk alapján (indikátorhálózat, az Állami Biztosító által megállapított jégkár, jégjelentő lapok, napi jelentések, stb.) jeges és nem jeges csoportra osztottuk. Összesen 57 jeges és 24 nem jeges esetet vizsgáltunk meg.

A modell környezete, bemenő és kimenő paraméterei

A 850-, 700- és 500 mb-os AT-térképek segítségével minden esethez kiválasztottunk egy reprezentatívnak tekinthető rádiószondás mérést. Ennek helyét az áramlások iránya határozta meg, míg a mérés időpontját, a konvektív aktivitás maximumának ideje és az áramlási sebesség nagysága alapján választottuk ki, figyelembe véve a szondázó állomás és a lokátor említett környezetének a távolságát is. Jellegtelen áramlások (1 – 3 m/s, változó irány) esetén a 00 GMT-s zágrábi mérést használtuk. Mivel eseteink légtömegen belülieknek tekinthetők és kizárólag a nappali órákra korlátozódtak, feltételeztük, hogy keletkezésük termikus okokra való visszavezetésével lényeges hibát nem követünk el. Így a kondenzációs szintet a részecske módszerrel (*Götz* és *Rákóczi*, 1981.) a következőképpen határoztuk meg: Minden egyes esetre megállapítottuk a lokátoros mérések által érintett területen levő és az áramlások irányába eső több állomás adatai alapján a területre jellemző maximumhőmérsékletet ±1 °C pontossággal, és a talajmenti átlagos harmatpontot. Ezeket az értékeket a levegőrészecske állapothatározóinak tekintettük a talajon. A kondenzációs szint hőmérsékletét és magasságát szárazadiabatikus emelés föltételezésével kaptuk meg. A kapott hőmérséklet legfeljebb 1 °C-kal tért el a környezet hőmérsékletétől. Az esetek túlnyomó többségében a „felhő" néhány tized fokkal volt melegebb. A további kezdeti feltételeket a kondenzációs szinten *Bekryaev* és *Vorobyov* (1972) nyomán adtuk meg: a feláramlási csatorna sugara 5 km, a feláramlás sebessége 5 m/s, a cseppkoncentráció 10^8 db/kg, a cseppsugár $5 \cdot 10^{-6}$ m. A környezet hőmérsékletét, nedvességét és a szél sebességét a kiválasztott rádiószondás mérés felhasználásával tíz szinten adtuk meg úgy, hogy a szintek közötti rétegekben az említett mennyiségek magasság szerinti gradienseit állandónak véve a lehető legkisebb hibát kövessük el. A vizsgálatunk során alkalmazott egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell (*Geresdi* et al. 1982) számolja a feláramlási csatorna sugarát, a feláramlás sebességét, a „felhő" hőmérsékletét, a homogén eloszlású cseppek sugarát, a folyékony víztartalmat (a fagyás nincs figyelembe véve) és a relatív nedvességet (túltelítettséget).

A vizsgálat eredményei

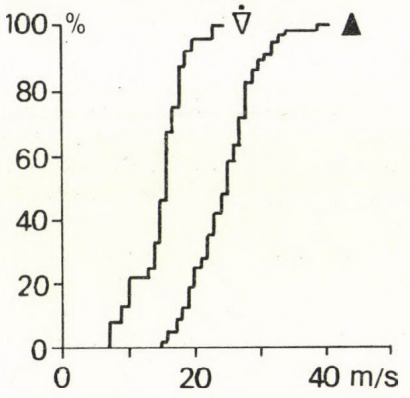
Különböző szerzők (*Bodolai*, 1954; *Weickmann*, 1964; *Sulakvelidze* et al., 1970; *Shmeter*, 1972; *Rogers*, 1978; *Götz* és *Szalay*, 1977) eredményei alapján a jégesők kialakulásának alapvető feltételei a következők:

– a légkör viszonylag jelentős termikus instabilitása,

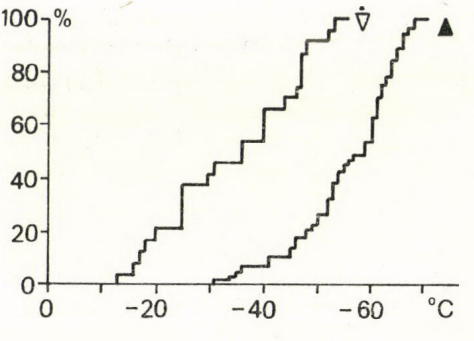
– az abszolút nedvesség aránylag magas értéke (elsősorban a talaj és a kondenzációs szint közötti rétegben),

– viszonylag nagy folyékony víztartalom (min. 1 – 2 g/m³) a felhő túlhűlt tartományában.

Az általunk használt egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modellel számított folyékony víztartalom értékét lényegében a kondenzációs szint hőmérséklete határozza meg, mert itt válik először telítetté a feláramló levegő, s ezt a besodródás nem változtatja meg lényegesen (*Boev* és *Stoyanov*, 1977). Jelen dolgozatunkban azonban a folyékony víztartalomra kapott eredmények értékelésével nem foglalkozunk.



1. ábra: A jeges és nem jeges esetek eloszlása a feláramlási sebesség maximumának függvényében



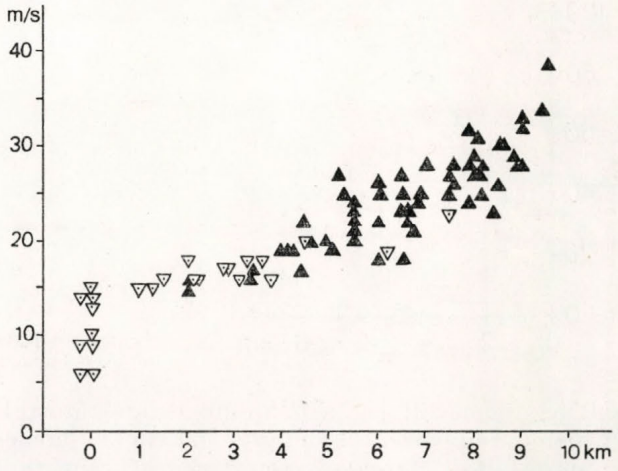
2. ábra A jeges és nem jeges esetek eloszlása a 15 m/s-ot meghaladó feláramlási sebességű réteg vastagságának függvényében

A fenti alapvető feltételeken kívül bizonyos hőmérsékleti kritériumok teljesülésére is szükség van. A Szovjetunióban végzett rádiólokátoros mérések eredményei szerint ugyanis a –37 °C-nál hidegebb felhőtetőjű felhők 83%-ából hullott jég, míg –18 °C-nál melegebb felhőtető esetén jégesőt nem figyeltek meg (*Abshaev* et al., 1980). Vagyis a felhőtetőnek jégesők esetén általában az „intenzív kristályosodás szintje" fölé kell emelkednie. E szint hőmérsékletét a különböző szerzők –20 °C és –35 °C közé teszik (*Sulakvelidze* et al., 1970; *Kachurin*, 1978).

A légkör instabilitását és ennek magasság szerinti eloszlását a számított feláramlási sebesség maximális értékével (W_m) és a 15 m/s feláramlást meghaladó sebességű réteg vastagságával ($\Delta H_{w>15}$) jellemeztük. Ugyanis W_m az instabilitási energia azon részére jellemző, amely kinetikus energiává alakul át, $\Delta H_{w>15}$ pedig megadja, hogy az egységnyi tömegű légrészecske kinetikus energiája milyen vastag rétegben halad meg egy bizonyos értéket (lásd az *1.* és *2. ábrát*).

Jégesős napokon a W_m minden esetben elérte a 15 m/s-os értéket, és a napok több mint 80%-ában meghaladta a 20 m/s-ot is. 20 és 30 m/s közé esett a jeges esetek 70%-a, míg egy esetben kiugróan magas értéket kaptunk (39 m/s). A nem jeges esetek egyharmadánál W_m kisebb, mint 15 m/s, és csak egy esetben nagyobb 20 m/s-nál (23 m/s). A 15 m/s-ot meghaladó feláramlási sebességű réteg vastagsága a jeges esetek több mint 90%-ában elérte vagy meghaladta a 4 km-t, míg ez az érték a többi esetnek csupán 20%-ában fordult elő. Érdemes megjegyezni, hogy e viszonylag nagy sebességű réteg vastag-

sága a jeges esetek egyötödében igen jelentős – $\Delta H_{w>15} \geq 8$ km – volt, gyakorlatileg átfogva a troposzféra középső és felső részét. Abban a két nem jeges esetben, amikor $\Delta H_{w>15}$ meghaladta a 6 km-t, a 0 °C-os izoterma viszonylag magasan, 4 km fölött helyezkedett el. Így feltehető, hogy ezeken a napokon is volt olyan felhő, amelyben jégszemek képződtek, ezek azonban még a felszín elérése előtt elolvadtak. Alátámasztják ezt *Sulakvelidzetal.* (1970) számításai is amelyek szerint még az 1,5 cm átmérőjű jégszemek is elolvadnak, ha az olvadási pont magassága a 4 km-t meghaladja. A *3. ábrán* a különböző esetek W_m és $\Delta H_{W>15}$ szerinti együttes eloszlása látható. A W_m és a $\Delta H_{W>15}$ értékeinek növekedésével a jégeső valószínűsége is nő. Ha $W_m \geq 19$ m/s, vagy $\Delta H_{W>15} > 4$ km, az esetek mintegy 95%-a jeges.



3. ábra: A jeges és nem jeges esetek együttes eloszlása a feláramlási sebesség maximumának és a 15 m/s-ot meghaladó feláramlási sebességű réteg vastagságának a függvényében

A jeges és nem jeges eseteknek a felhőtető számított hőmérséklete szerinti eloszlása a *4. ábrán* látható. Jégesők esetén $T_{Hm} \leq -31$ °C, míg a nem jeges esetek 42%-ánál $T_{Hm} \geq -31$ °C. A jégesők 77%-ában $T_{Hm} \leq -49$ °C (a legalacsonyabb érték −68 °C), a nem jeges esetek 92%-ában pedig $T_{Hm} \geq -49$ °C (a legmagasabb érték −13 °C). Ezeket az eredményeket úgy értékelhetjük, hogy a jégesős napok döntő többségében a számított konvekciós szint (a felhőtető) megközelíthette, vagy elérhette a tropopauzát, míg a záporos napok közül ez csak két esetben fordult elő. Megjegyezzük, hogy a kapott felhőtető mindig hidegebb a környezeténél s ez a különbség a tropopauzát áttörő felhők esetén akár a 10 °C-ot is elérheti.

A jeges és nem jeges esetek W_m és T_{Hm} együttes eloszlása *(5. ábra)* szerint a már korábban említett $W_m \geq 19$ m/s vagy a $T_{Hm} \leq -49$ °C egyikének teljesülésekor az esetek mintegy 95%-a jeges, és a jeges esetek 95%-ára is igaz ez az állítás. Ez a két érték – a $\Delta H_{W>15} \geq 4$ km feltétellel együtt – jól jellemzi a jégesők kialakulásához szükséges alapfeltételek jelenlétét, vagyis az instabilitási energia nagyságát, realizálódásának magasság szerinti eloszlását és a hozzá tartozó hőmérsékleti viszonyokat.

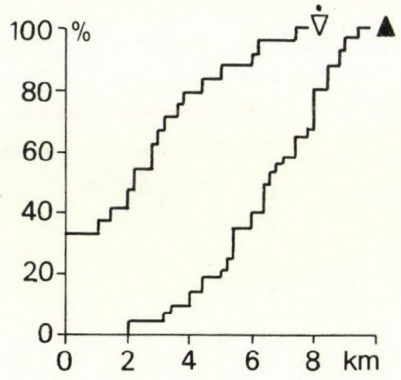
Az eredmények értékelése

A vizsgált paraméterek közül a $\Delta H_{w>15} \geq 4$ km, a $W_m \geq 19$ m/s és a $T_{Hm} \leq -49$ °C külön-külön is olyan értékeknek bizonyultak, melyek 91, 87 és 83%-os biztonsággal válogatták szét a jeges és nem jeges eseteket. Az,

hogy a W_m és a $\Delta H_{W>15}$ ilyen jó prediktor változók, arra utal, hogy az instabilitási energia nagyságának és függőleges eloszlásának döntő szerepe van a jégesők kialakulásában.

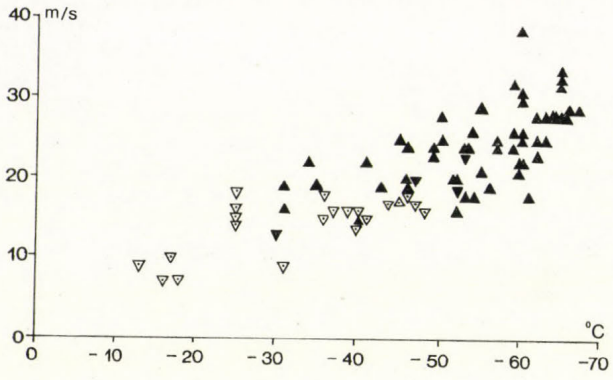
Eredményeink azt mutatják, hogy a kvázi légtömegen belüli jégesők – megfelelő légállapot méréseket használva – meghatározott statisztikai valószínűséggel előrejelezhetők az alkalmazott egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell bizonyos számított paramétereinek segítségével. Ezen paraméterek a légrétegződés termikus instabilitásának nagyságával és az instabilitás vertikális eloszlásával vannak szoros kapcsolatban.

Meg kell jegyezni azonban hogy ezeket az eredményeket utólagos feldolgozás alapján nyertük, amikor az egyes folyamatokra vonatkozó adatok



4. ábra: A jeges és nem jeges esetek eloszlása a felhőtető hőmérsékletének függvényében

(volt jég, nem volt jég, a felhőtető rádiólokátorral mért magassága, légtömegen belüli vagy frontális helyzet, maximális hőmérséklet stb.) már rendelkezésünkre álltak. Tizenkét esetet még így sem tudtunk teljes bizonyossággal sem a jégesős, sem pedig a nem jégesős csoportba besorolni, mert csak Baranya megye területén van olyan információs hálózatunk, amely segítségével tudomást szerzünk az előfordult jégesőkről és az általuk okozott kár nagyságáról. Bizonyára kedvezően hatott eredményeinkre az a tény is, hogy ismertük a területre jellemző maximális hőmérsékletet és a harmatpontot, az időjárási térképek utólagos analízise pedig lehetővé tette a frontátvonulások pontos rögzítését, valamint a reprezentatív légállapotmérés pontosabb kiválasztását. Ily



5. ábra: A jeges és nem jeges esetek együttes eloszlása a feláramlási sebesség maximumának és a felhőtető hőmérsékletének függvényében

eredményeink is a jégesők kialakulását befolyásoló ismert feltételek szükségességét igazolják.

módon a tévedés lehetősége minimálisra csökkent, és ennek megfelelően

Az elmondottakból következik, hogy ha az egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell segítségével kapott eredményeket prognózis készítéséhez kívánjuk felhasználni, csak úgy remélhetünk sikert, ha megoldjuk a modell kezdeti föltételeinek – mint amilyen a szinoptikus helyzet, az áramlási viszonyok, a légállapot, a maximális hőmérséklet, a nedvesség és a felhőalap – előrejelzését.

1983-ban vizsgálatainkat már előrejelzett hőmérséklet szerint végezzük. A légállapot és főleg a kondenzációs szint előrejelzése nehezen megoldható feladat (*Belentsova* et al., 1974), a megoldás pontossága jelentősen befolyásolhatja a konvektív folyamatok előrejelzésének sikerességét. Ezenkívül a fentiekből következik, hogy szükség van az eddig már megvizsgált és az ezután megvizsgálandó esetek mezoszinoptikai feldolgozására, valamint a felhőzet fejlődési menetének tanulmányozására.

Köszönetnyilvánítás. A szerzők kifejezik köszönetüket *Wirth Endrének* a munka végzése során nyújtott sokoldalú támogatásáért és a mindenre kiterjedő segítségéért, valamint *Geresdi Istvánnak*, *Székely Csabának* és *Zoltán Csabának*, az Alkalmazott Felhőfizikai Központ munkatársainak a hasznos tanácsaikért.

IRODALOM

Abshaev, M. T., Burcev, I. I., Vaksenburg, S. I. és *Shevela, G. F.*, 1980: *Rukovodstvo po primeneniyu radiolokatorov MRL-4, MRL-5 i MRL-6v sisteme gradozashchity.* Gidrometeoizdat Leningrad.

Bartha I. és *Böjti B.*, 1982: Radarral mért adatok a viharjelzésben. *Meteorológiai Tanulmányok 40*, Budapest.

Bekryaev, V. I. és *Vorobyov, B. M.*, 1972: Strujnaya model oblachnoj konvekcii. Chislennyj experiment. *Fizika Atmosfery i Okeana 9.*

Belentsova, V. A., Fedchenko, L. M. és *Chepovskaya, O. I.*, 1974: Issledovanie vzaimosvyazi visoty nizsnej granici konvektivnyh oblakov s termodinamicheskimi harakterisztikami podoblachnogo sloya. *Trudy VGI 28*, 109–117.

Bodolai I., 1954: *A konvektív zivatarok aerológiai-szinoptikai feltételeiről.* Akadémiai Kiadó, Budapest.

Boev, P. és *Stoyanov, S.*, 1977: Vliyanie stratifikacii vlazsnosti na oblachnuyu konvekciyu. *Hidrologiya i Meteorologiya 4*, 17–26, Sofia.

Fedchenko, L. M. és *Belentsova, V. A.*, 1981: Forecast of hail processes. Nowcasting: Mesoscale observations and short-range prediction, *ESA SP-165*, 169–172, Paris.

Geresdi I., Molnár K. és *Zoltán Cs.*, 1982: Egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell. *Beszámolók 1980*, 225–233 (OMSZ) Budapest.

Götz, G. és *Szalay G.*, 1977: A konvektív folyamatok előrejelzésének elméleti alapjai és gyakorlati módszerei. *Meteorológiai Tanulmányok 19*, Budapest.

Götz G. és *Rákóczi F.*, 1981: *A dinamikus meteorológia alapjai.* Tankönyvkiadó, Budapest.

Kacsurin, L. G., 1978: *Fizicseszkije asznovü vozgyesztvija na atmoszfernüje processzü.* Gidrometeoizdat, Leningrád.

Renick, J. H. és *Maxwell, J. B.*, 1977: Forecasting Hailfall in Alberta. *Meteorological Monographs 38.*

Rogers, R. R., 1978: *A Short Course in Cloud Physics.* Pergamon Press, Oxford, New-York, Toronto, Sydney, Paris, Braunschweig.

Shmeter, S. M., 1972: *Fizika konvektivnyh oblakov.* Gidrome teoizdat, Leningrad.

Stoyanov, S. és *Boev, P.*, 1980: K prognozu grada. *Bulgarien Geophysical Journal, 3*, 10–16.

Sulakvelidze, G. K., Glushkova, N. I. és *Fecdhenko, L. M.*, 1970: *Prognoz grada, groz i livnevyh osadkov.* Gidrometeoizdat Leningrad.

Weickmann, H. K., 1964: The language of Hailstorms and Hailstones. *Nubila-Anno 1*, Verona.

Zverev, S. S., 1977: *Sinopticheskaya meteorologiya.* Gidrometeoizdat, Leningrad.

IRODALOM

MAZIN, I. P. — SMETYER, SZ. M.: **Oblaka, sztroenyija i fizika obrazovanyija** *(A felhők szerkezete és keletkezése)*. Gidrometeoizdat, Leningrád, 1983. 279. old., 92 ábra, 46 tábl., 6 melléklet, 289 irod. hivatk.

Jelen sorok írója a kötetet igen nagy érdeklődéssel vette kézbe. Ennek az a magyarázata, hogy a hatvanas évek első felében megjelent két előző szovjet felhőfizikai kézikönyvet annak idején igen gyakorta forgatta. Az előző két könyv egyikét a moszkvai iskola reprezentánsai 1961-ben publikálták (szerkesztő *A. K. Khrgian*), míg az 1964-ben megjelent másik munka szerzője *N. Sz. Siskin*, a leningrádi iskola nemrég elhunyt neves képviselője.

A felhőfizika fejlődéséből, a kutatások kiszélesedéséből az következne, hogy *Mazin* és *Smetyer* műve jóval terjedelmesebb, mint az előző két kiadvány. Érdekes módon ennek éppen az ellenkezője igaz. A Khrgian által szerkesztett kötet 459 oldal, míg *Siskin* könyve 401 oldal terjedelmű. Mindez azt a tételt bizonyítja, hogy az információk gyarapodása nem szükségszerűen jár együtt a kézikönyvek terjedelmének növelésével. Nyilvánvaló viszont, hogy napjainkban a szerzők sokkal nehezebb helyzetben vannak, mint elődeik. A túl sok információ korában azonban elsősorban nem azért nehéz tudományos könyvet írni, mivel a szerzőnek számos folyóiratot kell átlapoznia, illetve számos cikket kell elolvasnia. Feladata azért nem könnyű, mivel művének meghatározott irányt kell szabnia és minden, nem közvetlenül ehhez kapcsolódó adatot és eredményt könyörtelenül ki kell hagynia. Ha valaki mindent beír könyvébe, amit tud, vagy amiről tudomása van (ez egyébként igen csábító), akkor majdnem biztos, hogy a munka túlságosan szerteágazóvá, esetleg áttekinthetetlenné válik.

Örvendetes, hogy jelen kötet mentes ezektől a problémáktól. A szerzők csak az alapvető ismereteket foglalják össze tömör, egy két helyet nem tekintve világos formában úgy, hogy a mikrofizikai folyamatok mellett a felhők mezo- és makrofizikájának is jelentőségének megfelelő figyelmet szentelnek. Ily módon, egyetlen kötetből, a felhőfizika korszerű eredményeivel viszonylag könnyen megismerkedhetünk.

A könyv három részből és tizenkét fejezetből áll. „A felhők makrofizikai szerkezete" címet viselő első rész *Smetyer* munkája, míg a másik két részt *Mazin* állította össze. Ezek címe: „A felhők mikrofizikai szerkezete", illetve „A felhők keletkezésének fizikája".

A tartalom elsősorban abban különbözik a hatvanas években publikált szovjet felhőfizikai könyvek tartalmától, hogy *Mazin* és *Smetyer* nem tárgyalják a felhők mesterséges módosítását, illetve a méréstechnikai részleteket. Az utolsó fejezetben röviden összefoglalják viszont a felhő- és csapadékképződés numerikus modellezésére tett erőfeszítéseket.

A kötet érdekessége — és a szerzők érdeme —, hogy az irodalomjegyzékben lényegében csak az 1970 után megjelent publikációkkal találkozunk. A 289 korszerű irodalmi hivatkozásból 177 orosz nyelven jelent meg. A kötet forgatása így lehetővé teszi a legújabb szovjet irodalom áttekintését is. Az idézett, nem orosz nyelvű tanulmányokból kettőt magyar szerzők készítettek.

A szöveget jól használható mellékletek teszik teljesebbé, amelyek elsősorban különböző fizikai állandók numerikus értékeit tartalmazzák. Végül a könyv megfelelő tárgymutatóval zárul.

Az elsősorban kezdő kutatóknak, illetve egyetemi hallgatóknak ajánlható kötet értékét csak fokozta volna, ha a szerzők a matematikai formalizmust még tovább egyszerűsítik.

Mészáros Ernő

KRÓNIKA

METEOROLÓGIAI TUDOMÁNYOS NAPOK

Az évenként immár szokásossá vált meteorológiai tudományos napok előadás-sorozatára az elmúlt évben november 17—18-án került sor az MTA székházában. Az előadások sorra vették a *műholdmeteorológiának*, nemkülönben a *távérzékelésnek a meteorológiával összefüggő* kérdéseit. A témaválasztást két körülmény indokolta: egyrészt a magyar meteorológiai szolgálatban a meteorológiai műholdak adásának rendszeres vétele 15 évvel ezelőtt kezdődött meg, másrészt az elmúlt néhány év folyamán a kozmikus meteorológia és a távérzékelés területén jelentős hazai eredmények születtek. A Központi Légkörfizikai Intézetben a műholdvevő állomás fejlesztése és a kiépített számítógépes képfeldolgozó rendszer megnyitotta a lehetőséget a korszerű kutatások előtt.

A tudományos napok másfélnapos ülésszaka keretében 20 előadás hangzott el. *Mészáros Ernő* igazgató, a Meteorológiai Tudományos Bizottság elnöke bevezető szavai után a megnyitó előadást *Kozák Béla* elnökhelyettes, a Kozmikus Meteorológiai Szakbizottság elnöke tartotta „A kozmikus távérzékelés jelene és jövője a meteorológiában" címmel. Rámutatott a kozmikus távérzékelésben rejlő hatalmas lehetőségekre a meteorológia különböző ágazataiban. Meggyőző érvekkel és külföldi példákkal bizonyította, hogy a műszaki fejlesztésbe és a kutatómunkába befektetett költségek többszörösen megtérülnek.

György István előadásából kitűnt, hogy az OMSZ műholdvevő rendszere technikai színvonalával, megbízhatóságával és szolgáltatásaival megfelel a nemzetközi technikai színvonalnak. Többek között megoldották a műholdak automatikus vételét. A METEOSAT-2-ről vett WEFAX felvételeket rendszeresen továbbítják a Központi Előrejelző Intézetbe és a ferihegyi repülőtérre. A feltételek adottak magasabb kategóriájú vevőrendszer üzembeállítására.

Pintér Ferenc az analóg képek *on-line* vételét és interaktív digitális feldolgozását biztosító rendszerről számolt be, amelyet egy CII-10010-es számítógépre fejlesztettek ki. A rendszer egyelőre kutatási szinten működik, de a közeljövőben a feldolgozásokat operatív szolgáltatássá kívánják fejleszteni.

E képfeldolgozó rendszer egyik produktuma a szélvektor számítás a METEOSAT felvételek alapján interaktív huroktechnika alkalmazásával. Ez az eljárás az időjárási képződmények fejlődési folyamatába, mozgásába minden eddiginél mélyebb bepillantást tesz lehetővé. Ezt igazolta *Rákóczi Ferenc—Pintér Ferenc* előadásában bemutatott időjárási helyzetelemzés.

Egy másik alkalmazást illusztrált *Kapovits Albert—Pintér Ferenc—Tänczer Tibor* előadása, amelyben az időjárási radar és a meteorológiai műholdinformációk együttes analízisére tesznek kísérletet. A módszer lényege a műholdfelvételeknek a radar képernyőjére történő transzformációja. Ennek hasznosságát konkrét példával támasztották alá.

Értékes elméleti munkáról számolt be *Dombai Ferenc—Jákfalvy Mihály—Németh Péter*. A radar iránykarakterisztikájának figyelembevételével a meteorológiai célok és rádiólokációs képeik közötti kapcsolatot vizsgálták. Emellett matematikai eljárást dolgoztak ki a rádiólokációs kép szűrésére.

A műholdfelvételek éghajlati vonatkozású feldolgozására vizuális digitalizálásuk révén kerülhetett sor. *Kapovitsné Róth Renáta* ilyen megközelítéssel tanulmányozta az összfelhőzet éghajlati jellemzőinek (havi és évszakos eloszlás, variancia, szerkezeti és autokorrelációs függvények) alakulását 5 éves adatbázis alapján Európa fölött. A vizsgálat jól tükrözte az általános cirkuláció változásait, valamint a tenger és a szárazföld eltérő hőgazdálkodásának hatását.

Kísérlet történt a csapadékhullás valószínűségének és mennyiségének becslésére az infravörös műholdfelvételek alapján (*Saikó János—Tänczer Tibor* előadása). Prediktorként a vizsgálati területen (Dunántúl és Alföld) denzitométerrel képezett átlagos fényességet, illetve az abból leszármaztatott felhőtető hőmérsékletet és magasságot tekintették. A kapott eredmények biztatók, az ilyen kutatások folytatására ösztönöznek.

Lényegében az analóg felvételek operatív célú digitális feldolgozását biztosítja az EMR 810-M8 típusú adatmanipulátor, amelynek sokoldalú felhasználási lehetőségeiről *Saikó János* tartott előadást. Példákkal demonstrálta a berendezés hasznosságát különféle feladatoknál (fényességi kiemelés, földfelszín-, ill. felhőtető-hőmérséklet analízis, nagyítás).

A digitális műholdfelvételek számítógépes

feldolgozására *Rajki Ilona* mutatott be szép példát. TPA 11/40-es számítógépen egy képrészletre vonatkozóan linearizálást hajtott végre, kijelölte a partvonalat, vizsgálta a felhőzet magasság szerinti elrendeződését és annak típusát. Az eredményeket földfelszíni megfigyelések alapján ellenőrízte.

A műholdfelvételek mellett nagy jelentőséget kapnak a légkörkutatásban a műholdról folytatott sugárzásmérések. *Major György* előadásában áttekintette a sugárzási egyenleg mérésének jelenlegi helyzetét és perspektíváit a közelmúltban e témában rendezett nemzetközi ülés anyaga alapján, továbbá az eddigi hazai sugárzási vizsgálatokat.

Rimócziné Paál Anikó a METEOSAT felhőképekből a relatív globálsugárzás meghatározására fejlesztett ki eljárást. A felállított empirikus formulával a műholdas felhőadatok alapján a relatív globálsugárzás 6 – 8%-os pontossággal becsülhető.

A hagyományos megfigyelésekhez képest aszinkron műholdinformációknak meteorológiai mezők objektív analízisében és előrejelzésében történő alkalmazására *Dévényi Dezső – Sallai Márta* dolgozott ki módszert. Lényege az optimális interpoláció metodikájának kiterjesztése. Numerikus kísérletekkel kimutatták, hogy a műholdadatok ritka aerológiai állomáshálózat esetén akár 60 – 80%-os javulást eredményezhetnek az analízisben.

A számítógépes műholdkép feldolgozó rendszer derült idő esetén képes az infravörös műholdfelvételekből talajfelszíni hőmérsékleti térképek előállítására. *Kozma Ferenc – Pintér Ferenc – Tänczer Tibor* ismertették az ilyen módon nyert magyarországi térképek fő jellemzőit, előnyeit, felhasználási területeit, valamint a földi mérésekkel történt összehasonlítás eredményeit.

Az ilyen hőmérsékleti adatok pontossága nagyban függ a légköri, elsősorban a vízgőztől származó elnyeléstől. Ezzel a kérdéssel foglalkozott *Miskolczi Ferenc* előadása. Egzakt módszert dolgozott ki az elnyelési korrekció kiszámítására.

A népgazdaság különböző területein (mezőgazdaság, földhasznosítás, vízgazdálkodás stb.) mindjobban előtérbe kerül a finomfelbontású (néhányszor 10 m) digitális műholdfelvételek (Landsat, Meteor) alkalmazása. Feldolgozásuknál az egyik legfontosabb feladat a különböző területek elkülönítése, ill. azonosítása. Ebben a feladatban nagy a szerepe a clusterezés problematikájának, melynek kérdésköréről *Gulyás Ottó – Ketskeméty László – Meisingerné Korándi Márta* tartott előadást.

Egy másik előadás *(Faragó Tibor – Gulyás Ottó)* az optimális döntési eljáráshoz tartozó minimális hiba becslését ismertette. A módszert négysávos műholdképeken végzett kísérleti eredményekkel illusztrálták.

Bozó Pál – Leszták Sándor – Vadász Vilmos magyarországi területek fölött készült finomfelbontású digitális műhoidfelvételet feldolgozásával azonosították a különböző mezőgazdasági művelésű területeket és értékelték a növényállomány állapotát. Vázolták a legfontosabb növényekre kapott biomassza-vegetáció index összefüggéseket, amelyek az értékelések alapját képezik.

A növénytakaró spektrális jellemzőiről számolt be *Mátrai Marina – Sipos Győző* szovjet és amerikai vizsgálatok alapján. E kutatások a növények azonosítását és a vetés állapotának meghatározását szolgálják.

A finomfelbontású felvételeknél hatványozottan jön számításba a légkör befolyása a mérési adatokra. *László István* az ebből fakadó torzulás számításbavételére iterációs eljárást dolgozott ki. A módszer alkalmazását példán keresztül mutatta be.

A tudományos ülésszak *Major György*-nek, a Kozmikus Meteorológiai Szakbizottság titkárának zárszavával ért véget. Kiemelte, hogy az elért eredményekben nagy része van az Interkozmosz Tanács és az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság anyagi támogatásának.

A rendezvény méltó folytatása volt a korábbi meteorológiai tudományos napoknak. A téma iránti érdeklődést jelzi az ülések nagyfokú látogatottsága. Úgy érezzük, az ülésszak a várakozást kielégítette, a hallgatóság az elhangzott előadásokon keresztül teljes képet kapott az OMSZ műholdvevő és információt feldolgozó rendszeréről, valamint a műholdmeteorológia és távérzékelés terén folyó kutatásokról.

Tänczer T.

*

MŰHOLD-PROGRAM A FÖLD ÉGHAJLATÁNAK JOBB MEGISMERÉSÉRE

A Nemzetközi Műholdas Földfelszín Klimatológiai Program (röviden ISLSCP) első munkaüléseire a nyár folyamán került sor. Takarékossági okokból külön ülést rendeztek az Egyesült Államokban és Indiában. Az európai és az afrikai kontinens szakemberei számára az ülést Innsbruckban tartották 1983. július 21 – 26 között. Az ülésen 45 fő vett részt, az Országos Meteorológiai Szolgálatot a jelen sorok írója képviselte. A magyar részvételt elősegítette, hogy a WMO az utazáshoz anyagi támogatást nyújtott.

A program fő célkitűzése a Föld éghajlatát befolyásoló tényezők jobb megismerése, különös hangsúllyal az emberi tevékenység hatására. Ennek érdekében a fontos földfelszíni paraméterekre vonatkozóan 20 éves (1972 – 1992) homogén, műholdas adatbázist kívánnak létrehozni. (1972-ben bocsátották fel a *Landsat-1* műholdat.) A terv kapcsolódik az Éghajlati Világprogramhoz, amelyben a világméretű GARP kísérlethez hasonlóan a műholdaknak kulcsfontosságú szerepet szántak. A rendszert az időszak végére operatívvá akarják fejleszteni.

Az ülések részben plenárisak voltak, részben 5 munkacsoport keretében folytak. A plenáris üléseken a témához kapcsolódó előadások hangzottak el és a munkacsoportok jelentéseit vitatták meg. *Tänczer Tibor* a talajfelszín hőmérsékletének műholdas infravörös mérésekből történő kiszámításával kapcsolatban a hazai tapasztalatokról számolt be.

A program részletes összeállítása és megtárgyalása a munkacsoportok keretében történt. A tervekről és határozatokról 132 oldalas jelentés készült. Az egyes munkacsoportok tevékenysége röviden az alábbiakban foglalható össze.

1. Munkacsoport – „Földfelszíni paraméterek műholdas érzékelése az éghajlat modellezése és az éghajlati hatások monitorizálása céljából".

Az eghajlat modellezése a földfelszín igen részletes és sokrétű megfigyelését igényli. Általában elfogadottá vált az a nézet, hogy az éghajlatváltozás a földfelszín és a légkör kölcsönhatásán keresztül következik be. Az éghajlatváltozás tanulmányozására szolgáló legalkalmasabb paraméterek: talajnedvesség, vegetáció (típusa és hossza), albedó, evapotranspiráció, levegő- és vízszennyeződés, erózió, termikus inercia, talajfelszín hőmérséklete, emisszivitás, belvíz, örök fagy határa. A megfigyelések tér- és időskálája változó aszerint, hogy az általános cirkulációval összefüggő vagy mezoskálájú éghajlatmodellezésről van szó. Nagyon fontos a műholdas adatoknak földfelszíni mérések alapján történő hitelesítése. Megállapították, hogy a műholdas paraméterek nem helyettesítik, hanem csak kiegészítik a földi méréseket. Ugyanakkor a műholdas megfigyelések pontossága és hatékonysága viszonylag kevésszámú földi mérés bevonásával nagymértékben megnő.

2. Munkacsoport – „Légköri korrekció".

E munkacsoport keretében vitatták meg mindazokat a hatásokat, amelyeknek figyelembevétele szükséges, hogy a földfelszíni paraméterekre vonatkozóan a tényleges értékek birtokába jussunk. Ide sorolható a felhőzet hatása, az iránykorrekció, a légköri elnyelés, a műszerkalibráció és az emisszivitás. A szükséges korrekció vizsgálatánál külön kell választani a rövid- és a hosszúhullámú sugárzás tárgyalását.

A rövidhullámú sugárzásnál a légkör optikai vastagságát, az aeroszol fázisfüggvényt, a vízgőz- és ózonartalmat, a detektor kalibrációs tényezőjét kell figyelembe venni. A műszerkalibrációhoz nagyon hasznos lehet a nagy magasságú repülőgépek vagy űrkomp igénybevétele.

A hosszúhullámú sugárzásnál elsősorban a vízgőz és az aeroszol elnyelésére kell figyelmet fordítani. A korrekció elvégezhető klimatológiai adatok alapján, egycsatornás szondázással és multispektrális megfigyelések felhasználásával.

3. Munkacsoport – „Történeti adatok analízise: képesek-e a műholdak a földfelszínen végbemenő mennyiségi változások érzékelésére; szúrópróba szerű kísérletek".

Legfontosabb paraméterekként az albedót, a növényzetet és a felszíni hőmérsékletet említették ki. A vizsgálatokhoz speciális körzeteket jelöltek ki, ahol már kimutatható változásokra lehet számítani (Egyiptom, Bangladesh, Izrael, Szahara, Mexikó, Karib-tenger térsége, Kanada). A fő problémák egyébként a túlzásba vitt erdőirtással, illetve az ezt követő elsivatagosodással függnek össze.

Külön figyelmet érdemel az agroklimatológiai információs és monitorizáló rendszer. Ennek fő feladata a Szahel-övezet tanulmányozása, ahol az utóbbi években katasztrófális szárazság pusztít. A terv lényege egy műholdakon alapuló klimatológiai felmérés, amely a későbbiekben aszályfigyelmeztető szolgáltatássá lenne fejleszthető. A programra mintegy 600.000 $-t szánnak.

Kiválasztottak több olyan területet, ahol szúrópróba szerű vizsgálatokat végeznek majd. Az a törekvés, hogy a műholddal mért sugárzási adatokból felszíni fizikai paraméterekhez jussanak, csak földi megfigyelésekkel történő összevetés alapján realizálható. Lényeges, hogy a földi adatok területi integrálásánál olyan karakterisztikákat kapjunk, amelyek reális alapul szolgálnak az összehasonlítás számára.

A vizsgálati területek lehetőleg éghajlatváltozást tükrözzenek. Legyenek elegendően nagyok, homogének és nagy térségre nézve reprezentatívak. Megfelelő műholdadatok (NOAA, Meteosat, Landsat) álljanak rendelkezésre. Lényeges követelmény továbbá, hogy biztosítva legyenek a kísérlet személyi és anyagi feltételei.

A kijelölt kísérleti területek az alábbiak: Európában – Franciaország, Olaszország, Magyarország; Afrikában – Szahara, Szahel-övezet, Niger, Kenya; Ausztrália, Grönland, Antarktisz.

Magyarországon a felszíni albedó és hőmérséklet, valamint a hótakaró műholdas vizsgálatát irányoztuk elő.

4. Munkacsoport – „Geokódolt információs rendszer".

A vizsgálatok lehetnek pixel orientáltak, amikor pixel-adatokat hasonlítunk össze, de épülhetnek térképvetületre transzformált adatokra. A földrajzi azonosításnál gyakran alkalmazott módszer, hogy referencia pontokat választunk ki és polinomiális regresszió számítást végzünk (1 Landsat képre 2–3 óra gépidő).

Kívánatos, hogy a geokódolt információs rendszer tartalmazza a digitális terepmodellt a topografikus korrekció számára. Nagyon hasznosnak ítélték meg a különböző célú (botanika, geológia stb.) tematikus térképek készítését. A hatékony adatcsere érdekében egységes azonosító módszer kidolgozására lenne szükség.

5. Munkacsoport – „A program kivitelezése".

A program megvalósítását 3 fázisban kép-

zelik el: 1. A történeti adatok kiértékelése. 2. A jelenlegi műholdas információk hitelesítése. 3. Az operatív rendszer beindítása.

A program eredményes lebonyolítását szemináriumok, szimpóziumok, munkaülések szervezésével segítik elő. A jövő évre tervezett ülések közül kiemelkedik a grázi COSPAR találkozó és az olaszországi nemzetközi sugárzási szimpózium, amelyeken az ISLSCP aktuális kérdéseit is megvitatják.

Határozat született program-felelős és irányító testület kijelölésére. Javasolták továbbá egy európai földfelszín klimatológiai csoport létrehozását. Ami a program anyagi hátterét illeti, évi 300 000 $-os ráfordítást terveztek be.

Tänczer T.

✳

FIATAL METEOROLÓGUSOK SZAKMAI FÓRUMA

Az OMSZ Ifjúsági Bizottsága és az MMT Róna Zsigmond Ifjúsági Köre a korábbi években önálló munkák megírására meghirdetett pályázatot – kiváló ötlettel – továbbfejlesztette azzal, hogy 1983-ban először a pályázók mindegyike a nagy nyilvánosság előtt tarthatott előadást munkájáról.

Az alkalmat erre, a címben megnevezett fórum megrendezésével teremtették meg, amely 1983. október 11–12-én az MTESZ Kossuth téri székházában zajlott le. Az önálló pályamunkák nyilvánosság előtti bemutatása lehetőséget nyújtott a fiatal meteorológusoknak egymás és egymás munkájának közelebbi megismerésére, előadó- és vitakészségük fejlesztésére ami egyébként a rendezők fő célkitűzése volt. Rendezők, előadók, bírálók és jutalmazottak, valamint a hallgatóság túlnyomó része is a fiatal szakemberek köréből került ki. Az előadással egybekötött pályázatra 24 fiatal szakember nevezett be, közöttük az ELTE meteorológia szakos hallgatói is. Külön örömmel nyugtázta a rendezőség, hogy a technikusok is vállalkoztak munkájuk előadás formájában történő bemutatására.

A fiatalok 1983. évi fórumán rendre az alábbi előadások hangzottak el: *F. Iványi Zsuzsanna* (KMI): Megnyitó, *Mika János* (KEI): Antropogén klimamódosító hatások, *Mika János – Boncz József* (KEI): Kapcsolatok a változó éghajlat egyidejű statisztikai paraméterei között, *Matyasovszky István* (egy. hallg.): Nadaraya-módszer akalmazása a meteorológiában, *Balog Mihály* (KMI): Meteorológiai eloszlások szélső értékeinek vizsgálata, *Szentimrey Tamás* (KMI): Hőmérsékleti és csapadéksorok trendvizsgálata, *Hoffmanné Fiers Daniella* (KMI): Szélviszonyok vizsgálata a szélenergia-hasznosítás szempontjából, *Salamon Lászlóné* (KMI): Népies időjárási szabályok beválásának statisztikai vizsgálata, *Juhászné Békési Zsófia – Tóth Zoltán* (KEI): A 30 napos időjárás-előrejelzésnek továbbfejlesztése, *Kerekes András* (KEI): Hidegfrontok felismerésének numerikus lehetőségei a pszeudopotenciális hőmérsékleti mező gradiensei alapján, *Weidinger Tamás* (ELTE): Finomfelbontású nedvesség-előrejelzési módszer, *Pálvölgyi Tamás* (egy. hallg.): A stabilitáselmélet néhány meteorológiai alkalmazása, *Bézsenyi Ákos* (KMI): Komplex Lorentz-egyenletek és alkalmazása, *Tutsek Endre* (KMI): Az advektív tag közelítésének lehetőségei a turbulens diffuziós egyenletben, *Sallai Márta* (KEI): Műholdas információk felhasználási lehetőségeinek vizsgálata a meteorológiai mezők objektív analízisében, *Kecskeméti László – Korándi Márta* (KMI): Digitalizált műholdképek számítógépes clusterezése, *Fabriczy Attiláné* (KLFI): Ködhelyzetek analízise műholdképek alapján, *Haszpra László* (KLFI): A magyarországi csapadékkémiai állomáshálózat sűrűségének és elhelyezkedésének vizsgálata, *Zsoldos Ilona* (KLFI): A domborzat szerepe az optimális termőhelyek kialakításában, *Csapó Piroska* (KLFI): A szőlőültetvények fagykárainak meteorológiai vonatkozásai, *Mersich Iván* (KMI): Zárszó.

A zárszavak elhangzása után a „legjobb pályamű" és a „legjobb előadó" cím meghirdetésére és jutalmának odaítélésére került sor. A bíráló bizottság tagjai – az előadóülések elnökei, *Németh Lajos, Práger Tamás, Dévényi Dezső, Várhelyi Gabriella*, valamint a szervezők részéről az OMSZ Ifjúsági Bizottság elnöke, *F. Iványi Zsuzsanna* és az MMT Róna Zsigmond Ifjúsági Kör elnöke *Mersich Iván* – a díjak odaítélésekor nehéz helyzetben voltak, mert jónéhány magas színvonalú, tartalmas, a formai követelményeket is kielégítő előadásból kellett egyet-egyet kiválasztaniok. Végül a legjobb pályamű díját *Weidinger Tamás* (ELTE) a legjobb előadó címet és díjat *Mika János* (KEI) kapta. Szépen kidolgozott és kivitelezett munkájáért külön díjban részesült *Salamon Lászlóné* (KMI) és tartalmas előadásukért *Matyasovszki István és Pálvölgyi Tamás* egyetemi hallgatók.

A megjelentek egybehangzó véleménye szerint az előadássorozat eredményes volt, kitűzött célját elérte. A fiatal szakemberek széleskörű tevékenységéről átfogó képet adott, hivatástudatukról, aktív vitakészségükről tanúbizonyságot tett, megmutatta, hogy a felnövekvő ifjú szakembergárda komoly feladatok megoldására alkalmas. Kívánatos, hogy ezt a fórumot jövőre is megrendezzék és remélhető, hogy a későbbiekben a fórum a mindenkori fiatalok hagyományos rendezvényévé válik. A legjobb pályamunka és a legjobb előadó cím mellett, az ötletért és a megvalósításért a „legjobb kezdeményezők" cím illeti meg a fórum megteremtőit.

Iványi Zs. – Lőrincz A.

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 Budapest, Pf. 38. 1525**

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 lelátni.

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 literary adviers.

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.

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 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 igazgató

83. 2209 Athenaeum Nyomda, Budapest — Íves magasnyomás
Felelős vezető: Szlávik András vezérigazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

88. ÉVF. ★ 2. SZÁM ★ 1984. MÁRCIUS—ÁPRILIS

TARTALOM

Wirth Endre: Jégesőelhárítás Magyarországon 57

Anand Reddy, K.: Eltérő vetésszerkezetű parcellák evapotranspirációja és összefüggésük néhány éghajlati módszerrel számított értékkel (angolul) 86

Dévényi Dezső—Sallai Márta: Műholdas információk felhasználása a meteorológiai mezők objektív analízisében. I. A műholdas információ bevonásának hatása az interpoláció elméleti hibájára 92

Balog Mihály—Gulyás Ottó—Szentimrey Tamás: Meteorológiai megfigyeléssorozatok szélső értékeinek statisztikája 101

Györe Simon—Sövér Ferenc: Konvektív cellák mozgásának statisztikai elemzése 109

Irodalom 119

CONTENTS

Wirth E.: Hail prevention in Hungary 57

Anand Reddy, K.: Evapotranspiration values obtained from planting patterns and their relationship with empirical estimates based on climatological approach (in English) 86

Dévényi D.—Sallai M.: The use of the satellite information for the objective analysis of the meteorological fields. I. The effect of satellite information on the theoretical error of optimum interpolation 92

Balog, M.—Gulyás O.—Szentimrey T.: Statistic of extrem values of meteorological data-series 101

Györe S.—Sövér F.: A statistical analysis of cell motion 109

Literature 119

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 88. ★ NO. 2. ★ MARCH—APRIL 1984. ★ 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)
LOGVINOV, K. (Kijev)
MAJOR GY. (Budapest)
MESINGER, F. (Beograd)
PÉCZELY GY. (Szeged)
PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
RÁKÓCZI F. (Budapest)
RENOUX, A. (Paris-Créteil)
ŠAMAJ, F. (Bratislava)
SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
STELCZER K. (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:
LŐRINCZ ANNA (Budapest)

Szerkesztőség: Budapest, Postafiók 38. 1525
Előfizetés: 1 évre 228 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán Budapest, Kitaibel Pál utca 1. 1024. Levélcím: Budapest, Pf. 38. 1525. Megjelenik kéthavonként.
Egyes szám ára 38 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. 88. évf. 2. szám, 1984. március—április
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 2. March—Apr. 1984. Budapes

Jégesőelhárítás Magyarországon

WIRTH ENDRE, *Országos Meteorológiai Szolgálat, Alkalmazott Felhőfizikai Központ, H—7601 Pécs, Pf. 353*

Hail prevention in Hungary. The aim of the paper is to outline the introduction of hail prevention in Hungary, which was necessitated by the serious and frequent losses in crops due to hail, and secured by the possibilities of the physically plausible models of hailfall and hail suppression, elaborated in the Soviet Union, and by the results widely published in that country and at international conferences. First, an historical review is presented of the early method by gun-fire at the turn of the century in Europe and in Hungary; then the ideas of hail formation and prevention are shortly described for the periods before and after 1938, the beginning of modern theories. After a critical examination of the present concepts (and their shortcomings) of hail suppression, a summary is given of Sulakvelidze's model and the principle of his concept of beneficial competition. An enumeration of the most important events preceeding the first artificial intervention in 1976 follows, then the target area, the applied method and the theoretical, instrumental, operational and personal problems of the hail suppression are discussed in detail. The last section is dealing with the perspectives of this activity in Hungary, with the serious *conclusion* that —though the econonomical analysis seems to demonstrate a 55—63% effectiveness of suppression at the 95% significance level— the gaps in our knowledge of the natural processes of hail formation and those of the physical consequences of the seeding itself compel us to apply a higher level of technical development, that is: *to improve the qualitative aspects of this type of weather modification, instead of the fast enlarging of its range.*

⚹

Jégesőelhárítás Magyarországon. A dolgozat célja a jégeső elleni védekezés magyarországi bevezetésének összefoglaló ismertetése. A bevezetés szükségességét a jelentős és rendszeresen visszatérő jégkárok indokolták, lehetőségét viszont a Szovjetunióban kidolgozott jégesőképződési, ill. az ezen alapuló védekezési modell és a széleskörűen publikált eredmények igérték. A védekezésre irányuló próbálkozások történeti áttekintése, majd a jégesőképződési elméletek és a védekezési koncepciók 1938 előtti és utáni fejlődésének bemutatása után a korszerű beavatkozási hipotéziseket és a szovjet modelleket ismertetjük. Ezután felsoroljuk a hazai jégesőelhárítást közvetlenül megelőző időszak legfontosabb eseményeit, majd rátérünk a védekezés helyszínének és az alkalmazott módszernek a részletesebb leírására. A következőkben elemezzük a jégesőelhárítás elméleti, műszaki, operatív és személyi nehézségeit, majd — az utolsó részben — e tevékenység hazai perspektíváit igyekszünk felvázolni. Az eddigi tapasztalatokból levonható legfontosabb *következtetés* az, hogy — bár a gazdasági elemzés 55—63%-os hatékonyságot látszik igazolni — a természetes jégesőképződési folyamatok és a magvasítás fizikai következményeivel kapcsolatos ismereteink hiányossága miatt a következő időszakban *a védekezésnek nem a mennyiségi, hanem feltétlenül a minőségi oldalait kell fejlesztenünk.*

⚹

"Vivos voco, mortuos plango, fulgura frango"
("Az élőket hívom, a holtakat siratom, a villámot megtöröm")
(Harangfelirat)

Az Országos Meteorológiai Szolgálat a „szovjet módszer" alkalmazásával 1976-ban indította meg a jégeső elleni védekezést Magyarországon, Baranya megye pécsi, mohácsi és siklósi járásaiban.

Az időpont — amikor (1973-ban) a döntés megszületett és a szükséges pénzügyi fedezetet is biztosították — kedvező volt ennek az újszerű szolgál-

tatásnak a bevezetésére. A megvalósításnak ui. nemcsak a szükségessége volt nyilvánvaló, hanem a lehetősége is fennállt, mégpedig a korábbi próbálkozásokhoz képest jóval fejlettebb elvi és műszaki alapon. A védekezés *szükségességét* a jelenleg okozta károk (*Wirth* et. al., 1984) indokolták, amelyek nagyságrendje Baranyában 100 millió forintos volt. A *lehetőséget* viszont a Szovjetunióban kidolgozott beavatkozási módszer és az ezzel elért, széleskörűen publikált, 70—100% közötti kárcsökkenési eredmények ígérték (*Szulakvelidze*, 1967; *Gajvoronszkij* et. al., 1967; *Karcivadze*, 1967 stb.), s amelyeket a szovjet szakirodalomban azóta is többször megerősítettek (pl. *Burtsev*, 1976; *Burtsev*, 1980 stb.).

A jégeső okozta károkról megemlítjük, hogy az *Állami Biztosító (ÁB)* Magyarországon a hatvanas években mintegy 350—500 millió (*Bálint* és *Wirth*, 1970), a következő évtizedben viszont már kb. 1,5 milliárd forintnyi kártérítést fizetett évente a mezőgazdasági nagyüzemeknek. Ez az átlagos kártérítési összeg nem tartalmazza az ún. egyéb (a következményes, az 5% alatti, a kistermelőknek okozott stb.) károkat (*Bálint* et. al., 1969). Igaz ugyan, hogy e látszólag jelentékeny összeg a mezőgazdaság termelési értékének csupán 1—2 %-át teszi ki, a további fejlődés mégis feltételezi és szükségessé teszi a különböző károkozó tényezők (mint pl. a jégeső) hatásának csökkentését. Ez annál is inkább érvényes megállapítás, mert a fajlagos (területegységre jutó) termelési érték növekedésével a jégesők relatív veszélyessége is egyre fokozódik.

A jégeső elleni védekezésről rendelkező 2006/1976. (II. 4.) számú Minisztertanácsi határozat a kísérleti időszakot három esztendőben jelölte meg. Ennek végén (1969-ben) az ÁB értékelte az eredményeket Baranyára, ill. az ennél kisebb (kb. brutto 120 000 ha-nyi) *védett területre (VT)* vonatkozó kárstatisztikák alapján. Az előző öt év, mint bázisidőszak átlagkárához képest összesen 200 mFt (a VT-re kb. 140—160 mFt) tiszta megtakarítás volt kimutatható (*Földvári* és *Wirth*, 1979).

Az ezután kibocsátott 2008/1979. (IV. 11.) számú Minisztertanácsi határozat — többek között — kimondta, hogy: „... a jégesőelhárító rendszer üzemelését véglegesíteni kell, és növelni kell a védelem alá vont területeket és a védekezés hatékonyságát".

Ennek keretében ma már befejezett tényként beszélhetünk a baranyai *Rakétás Jégesőelhárító Egység* (az 1. számú *RJE)* 4 új állomással történő megerősítéséről: továbbá a Bács-Kiskun megyei, 2. számú *RJE* beruházásának 1983. évi indulásáról.

A védekezés gazdasági hatásainak pontosabb jellemzésére ma már hétévi adatsorok segítségével nyílik lehetőség. Az ezzel kapcsolatos vizsgálatok eredményeit a következőkben foglalhatjuk össze: az évi *átlagos gazdasági megtakarítás (ÁGM)* mintegy 50 mFt (a megtakarítás hét év alatt összesen: 347 mFt); a *gazdasági hatékonyság (GH)* legvalószínűbb értéke 55—63% között mozog; a *rentabilitás (R)* pedig közel 300%-os volt (*Wirth* et. al., 1984).

Bár a felsorolt eredmények nem érik el a szovjet szakirodalomban közölt és világszerte gyakran idézett, átlagosan 86%-os kárcsökkenést (*Burtsev*, 1980) gazdaságilag mégis egyértelműen indokolják e tevékenység folytatását és kiterjesztését.

A következtetések szervezeti-szervezési szempontból sem kedvezőtlenek. Úgy tűnik ugyanis, hogy a szovjet-moldáviai modell alapján (*Szulakvelidze*, 1967; *Gajvoronszkij* et. al., 1967; *Wirth*, 1969, stb.) sikerült azokat az alapvető hatósági előírásokat teljesíteni, ill. szakmai és szervezési-személyi követelmé-

nyeket kielégíteni, amelyek együttese a védekezés eredményes végrehajtásának, ha nem is tökéletesen elégséges, de mindenképpen szükséges feltételét alkotja.

Az összkép tehát mind gazdasági, mind technikai-szervezési oldalról kedvezőnek, de legalábbis kielégítőnek látszik. Mégis, legalább három objektív körülmény miatt indokolt az óvatosság, mielőtt a jégesőelhárításról általában, az alkalmazott módszerről pedig konkrétan levonnánk a végleges következtetéseket. Az egyik: a jégesők nagy, természetes változékonysága, ami elméletileg nem zárja ki annak lehetőségét, hogy a fenti eredmények véletlenszerűen alakultak ki; a másik: az egyértelműen megállapított összefüggések hiánya a védekezés fizikai hatásai és gazdasági következményei között (*Wirth* et. al., 1984); végül a harmadik: a beavatkozások koncepciójában és végrehajtásában rejlő, a zivatarok szerkezetéhez és a jégesőképződés komplex folyamataihoz képest igen jelentős egyszerűsítések tudata (Wirth, 1980). (Bár az egyszerűsítések nem szükségképpen rosszak, jogosságukat célszerű lenne közvetlen fizikai mérésekkel támogatni, erre azonban nincs lehetőségünk; mint ahogyan arra sem, hogy a magvasítás hatásait közvetlenül mutassuk ki.)

Tekintettel arra, hogy az *Időjárás* hasábjain még nem jelent meg átfogó ismertetés a jégeső elleni védekezésről, az alábbiakban igyekszünk e hiányt pótolni. Ezért röviden foglalkozunk a jégesőelhárítás történetével; a védekezés előzményeivel a Meteorológiai Szolgálatnál; a jégesőelhárítás helyszínének, továbbá a módszer kiválasztásának szempontjaival; a beavatkozások fizikai alapjaival, módszerével és technikai lebonyolításával; a szakmai és egyéb (műszaki stb.) nehézségekkel; végül a védekezés hazai perspektíváival.

1. A jégeső képződése és módosítási kísérletei: az 1938 előtti időszak

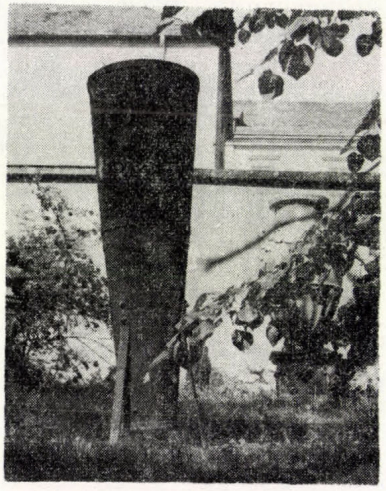
Elmondhatjuk, hogy a jégeső az a természeti jelenség (vagy csapás), amelyről igaz az, hogy előbb próbáltak meg védekezni ellene, mintsem bármit is tudtak volna róla. A jégszemekre vonatkozó első morfológiai ismeretek ugyanis elég újkeletűek: valószínűleg 1908-ból *Volta*-tól származnak (*Pruppacher* és *Klett*, 1978), aki úgy találta, hogy a jégrészecskék középpontjában kicsiny, „hóból álló tömeg" van. (Ez megfelel jelenlegi elképzeléseinknek, amelyek szerint a jégeső-embrió ilyen, ún. *graupel*-nek — hógalacsinnak — nevezett kristály-agglomerátum *is* lehet.) A jégszemek áttetsző és átlátszatlan rétegekből álló szerkezetét elsőként *Walter* és *Horting* tanulmányozták mikroszkóppal, és ők fedezték fel az átlátszatlan rétegek kialakulását okozó levegőbuborékokat is (*Pruppacher* és *Klett*, 1978).

A jégrészecskék kialakulásának minőségi képét — a kor tudományos színvonalát és a felhők megfigyelésének akkori lehetőségeit messze meghaladóan — már a XVIII. században felvázolták. *Marcellin Ducarla Bonifas* 1780-ban meglepő éleslátással a következőket írja: „a levegőoszlopok, amelyek a környező levegőhöz képest erősebben felmelegszenek, hevesen fölemelkedhetnek olyan magasságokig, ahol a hőmérséklet elég alacsony ahhoz, hogy a kondenzációs termékek kicsiny hórészecskékké fagyjanak meg, amelyek azután a párából és a túlhűlt vízcseppekkel való ütközésekkel tovább növekszenek mindaddig, amíg csak elég nehézzé válnak ahhoz, hogy visszahulljanak a földre" (*Pruppacher* és *Klett*, 1978). Ezt az elképzelést — amelyhez hasonlót abban az időben és azóta is többen ismételtek — lényegében ma is helyesnek fogadhatjuk el. Az a körülmény, hogy a részletekben csak *Schumann* (1938), majd *Langmuir* (1948) számításai után következett be jelentősebb fejlődés, két okkal magyarázható.

Az egyik az, hogy a felhők „mikrofizikai" folyamataival kapcsolatos kutatás irányát hosszú időre meghatározta a *Bergeron-féle* (1935) *elmélet*, amely a csapadék létrejöttét az ún. „szublimációs", mai szóhasználattal „*depozíciós*" magvakon képződő jégkristályok keletkezéséhez kötötte. Emiatt a jégesőképződésben döntő fontosságú ütközéses növekedési folyamatok tanulmányozása a negyvenes évek végéig erősen háttérbe szorult. A másik, hogy a technikai fejlődés — elsősorban a repülőgép és a radar megjelenése — csak a második világháború folyamán tett lehetővé olyan közvetlen, ill. közvetett meg-

figyeléseket, amelyek bizonyították, hogy a jégkristály-mechanizmus nem kizárólagos módja a csapadék képződésének. („Meleg" — teljes egészükben pozitív hőmérsékletű — felhőkből is tapasztaltak ui. csapadékhullást.) A méréseken alapuló modellek és elméleti munkák arra is rámutattak, hogy a *gravitációs koaguláció* hatékonysága függ a felhő saját cirkulációs viszonyaitól is (l. pl. *Ludlam*, 1963; *Szulakvelidze*, 1967). Mielőtt azonban rátérnénk annak a korszerűbb, szovjet modellnek az ismertetésére, ami a védekezés jelenlegi elméleti alapjául szolgál, felvázoljuk a „jégesőelhárítás" rövid történetét.

A zivatarfelhőt és következményeit: a villámlást, szélrohamokat és a jégesőt már évezredek óta megpróbálják befolyásolni. *Pausanias* szerint a hettiták i.e. 1400-ban nyilakat lőttek ki a „zivatarfelhőket hajtó démonok" ellen; *Leonardo da Vinci* pedig a mozsarak és ágyúk robbantó hatásáról számol be, ami „szétszórja" a zivatarfelhőket



1. ábra -- Fig. 1: „Viharágyú" a század elejéről (Janus Pannonius Múzeum, Pécs) — *Cloud-cannon from the turn of the century. (Janus Pannonius Museum, Pécs)*

(*List*, 1979). A „zivatar elé harangozás" talán XV. században kialakuló szokásának hátterében valószínűleg nemcsak az imára való buzdítás, hanem a hanghullámok fizika hatásába vetett hit is fellelhető (lásd a mottót). Bár az egyházi és világi hatalmak egyaránt betiltották, a harangozást ma is sok helyütt gyakorolják. Ennek „továbbfejlesztését" jelentette a „lövöldözés": ágyúval, puskával, vagy egyéb durranó szerkezetekkel. Meglepő, de tény, hogy ilyesmi még manapság is előfordul, annak ellenére, hogy tilalmai Mária Terézia óta van érvényben, aki szigorúan büntette a lövöldözésen rajtakapott embereket. Franciaországban a múlt század elején pl. némely vidéken évente 4—5 mázsa lőport is elhasználtak az ágyúkkal és mozsarakkal folytatott lövöldözésre. A mozsárágyúzás igazi „új hullámát" azonban *Stiger Alfred*, az osztrák Windisch-Feistritz polgármestere indította el. Stiger 1896-ban — a régi hagyományokat az „új technika" segítségével felelevenítve — saját birtokán, szőlői védelmére alkalmazta azt a módszert, ami azután rohamosan terjedt el Ausztriában, Olaszországban, Svájcban és hazánkban is. (Ilyen viharágyút az *1. ábránk* mutat be.) Ezek többnyire lőport, vagy valamilyen robbanóanyagot tartalmaztak. A kúpszerűen táguló csőből elsütés után örvénygyűrű tört elő, amelynek mechanikai erejét és stabilitását vízszintesen elsütött ágyúkkal hatásosan demonstrálták. (A néhány száz méterre felállított kartonpapírt az örvénygyűrű széttépte.) Nyilván ez volt annak a hiedelemnek az alapja, hogy a hatás a jégesőképződési tartományokig terjed föl és a kialakult jégszemeket mechanikailag széttördeli. Ennek ellenére *Sávoly* (1900), aki könyvecskéjében részletesen beszámol a viharágyúzás kérdéseiről, őszintén bevallja: „...ha a lövések hatásának természetét akarjuk megmagyarázni, úgy szintén előre kell bocsátani, hogy erre vonatkozó ismereteink lehetőleg még hiányosabbak, mint a jégesőképződésre nézve". *Sávoly*, aki sokféle külföldi és magyar gyártmányú viharágyút kipróbált, hangsúlyozta: a legjobb az Emmerling-féle magyar, ún. „dörreges" ágyú, amelynek töltete a közelebbről nem részletezett összetételű, „pyrolith" elnevezésű robbanóanyag.

Felső-Olaszországban 1899-ben már kb. 2000 (!) viharágyú működött (a legtöbb, 443 db, Vicenza térségében, ahol ma egy kereskedelmi felhőmagvasító szervezet, a

„SOREM" tevékenykedik). Ugyanebben az évben kongresszust hívtak egybe Casale Monferrato-ba, amelyen 560 érdeklődő vett részt, és amelynek díszelnöke *Stiger* Alfred volt. A kongresszus egyetértett abban, hogy „...valahányszor az ágyúkkal (a védekezést) kellő időben megkezdték, a jégeső elhárítása kivétel nélkül mindig sikerült"... „A referensek azonban nem hamarkodtak; ítéletüket oda mérsékelték, hogy a viharágyúzás első kísérleti éve annyiban reményteljes eredményre vezetett, amennyiben immár joggal föl lehet tételezni, hogy a megkezdett út a jégveszélynek viharágyúzással való legyőzésére sok biztatót nyújt."

„A tudós tanárok ítéletének eme elővigyázatos formája azonban nem igen tetszett a praxison keresztülment laikusoknak. Kijelentették, hogy a viharágyúzás eredményeiben tovább kételkedni nem lehet,; őket a tények erről meggyőzték és nekik teljesen mindegy a tényekkel szemben, hogy vajon a tudósok meg tudják-e magyarázni a dolgot vagy sem"... „Mégis sikerült a következő enyhített határozatot elfogadtatni:

Azon eredmények figyelembe vételével, amelyeket a stájerországi... stb. lövőkísérletekkel elértek, a kongresszus meg van győződve, *a)* hogy a viharágyúzással jó eredményt ígérő útra léptünk a jégeső elhárítása fontos problémájának megoldásában; *b)* hogy az ezen évben elért eredmények többet ígérők egyáltalán nem is lehettek volna; *c)* óhajtja a kongresszus, hogy azon vidékek, amelyek az első kísérletben részt vettek, utat és módot találjanak, hogy a védekezést a szerzett tapasztalatok alapján tökéletesítsék."

Sokatmondó megállapítások, amelyek hatása hazánkban sem maradt el. *Darányi Ignác* földművelésügyi miniszter felkérte a Meteorológiai Intézetet, hogy tevékenységét ebbe az irányba is terjessze ki. Az igazgató, *Konkoly Thege Miklós* az állomások felállításával és szervezésével *Raum Oszkár* (1900) intézeti asszisztenst bízta meg, aki még ugyanebben az évben hét „jégeső-fészek" területén szervezett meg védekező hálózatot — Zalában kettőt, Vas, Fehér, Pest, Zemplén és Arad megyékben egyet-egyet — elsősorban a szőlő-, és gyümölcskultúrák előtt nyugaton, délnyugaton telepített állomásokkal. Az általa összeállított „Utasítás..."-ban leírja a „viharágyú-állomást", a „jelzőállomást", a „lövőtelepet" és a „védekező rajvonalat"; ismerteti a „védekezés" módját a mozsaras és a „dörreges gyorstüzelő" ágyúkkal és részletezi az állomások kezelőinek, továbbá a lövőtelep felügyelőjének kötelességeit. A hivatalos lépésekkel párhuzamosan — igen gyorsan — kisebb ipar jött létre az ágyúk gyártására; 1900 közepére már ezernél is több ágyút készítettek, nagyrészt hazai felhasználásra.

A következő évi, Páduában megtartott kongresszus mintegy 1000 résztvevőjének lelkesedése a határozottabb fogalmazásban is kifejeződött, hiszen: „...a viharágyúknak rendkívüli hatását a jégverés elleni védekezésnél megcáfolhatatlanul bebizonyítottnak ismerte fel..." A meteorológus és fizikus szakemberek közül néhányan mégis kételkedtek és további kísérleteket sürgettek. E figyelmeztetésekkel azonban a gyakorlati emberek nem törődtek, sőt egyesek írásban is „kinyilatkoztatták" véleményüket: „...Ha az összes tudósok(!) bebizonyítanák is tudományos pontossággal, hogy a viharágyúzás nem ér semmit, de ő (történetesen egy *Matolay Etele* nevezetű alispán) látná, hogy használ (?), ő bizony mégis csak lövetne a felhőkre!" (*Sávoly*, 1900).

Az alispán úr követelte bizonyítást Olaszországban végezték el. A figyelemreméltó körültekintéssel (és nagy költséggel) szervezett, évekig tartó kísérletsorozat végkövetkeztetése: a jégeső megelőzésében mind a tölcséres viharágyúk, mind a már abban az időben kipróbált robbanó rakéták, — amelyek max. 1 km magasságig hatoltak fölfelé —, *teljesen hatástalanok.*

A magyar Meteorológiai Intézet hivatalosan 1907-ben nyilvánította értéktelennek a viharágyúzás módszerét. Ennek ellenére — gazdasági érdekből, naiv hitből, vagy „szilárd meggyőződésből" — még a harmincas években is közel félezer viharágyú működött a Dunántúlon. Ennél is megdöbbentőbb azonban, hogy éppen Olaszországban — ahol manapság is évente mintegy százezer (!) kisméretű, robbanóanyaggal (néha ezüstjodiddal) töltött rakétát bocsátanak a felhőkbe — napjainkban újból gyártják és árusítják a viharágyúk „korszerű" (elektronizált, „sorozatlövő") változatát.

A „praktikusok", vagy „laikusok" és a kétkedő szakemberek közötti vitát nemcsak történeti érdekessége miatt idézzük fel. A szituáció ui. napjainkban is hasonló és a vita — tudományos szempontból — még ma sem dőlt el. Ez a jelenleg legkorszerűbbnek tartott koncepció és védekezési eljárás hatásainak értékelési nehézségeiből adódik, amelyről már említést tettünk. Ezért vélekednek egyesek — mint *Borland* (1977) megfogalmazza — a következőképpen: „Miért foglalkoznánk egy nem bizonyított technológia föltételezett hatékonyságából származó megmérhetetlen hatások elméleti üzleti következményeivel?" Bár ezt a véleményt több kiváló meteorológus szakember is csztja, mégsem feledkezhetünk el arról, hogy a jégeső elleni védekezés napjainkban olyan konkrét gazda-

sági tevékenységgé fejlődött, amelyet legalább 14 országban, mintegy 70 millió hektáron *szolgálatszerűen* végeznek. Emögött nem egyszerűen csak a „laikusok" meggyőződése áll, hanem az a felismerés is, hogy jobb *megpróbálni tenni* valamit *most*, mint megvárni azt a távoli és bizonytalan időpontot, amíg *mindent* tudni fogunk a jégesőképződés folyamatáról és *csak akkor* elkezdeni a védekezést. Ez annál is inkább igazolható magatartás, mert minden igényesebb operatív „project" hozzájárulhat (és gyakran hozzá is járul) a tudományos megismerés folyamatához, főleg azoknak az anyagi és személyi lehetőségeknek a birtokában, amelyek az alapkutatások céljaira (egy-két kivételesen gazdag országot nem tekintve) nem állnak rendelkezésre. Ugyanakkor nyomatékosan kell hangsúlyozni, hogy — a tudomány jelenlegi állásánál — e lehetőségek ki nem használása: azaz az operatív tevékenység mechanikus folytatása megfelelően kidolgozott és párhuzamosan alkalmazott kutatási stratégia nélkül, az ilyen „projecteket" nagymértékben hasonlóvá teszi azokhoz, amelyeket nyolcvan évvel ezelőtt hoztak létre; a különbségek csak a fejlettebb technikában mutatkoznak.

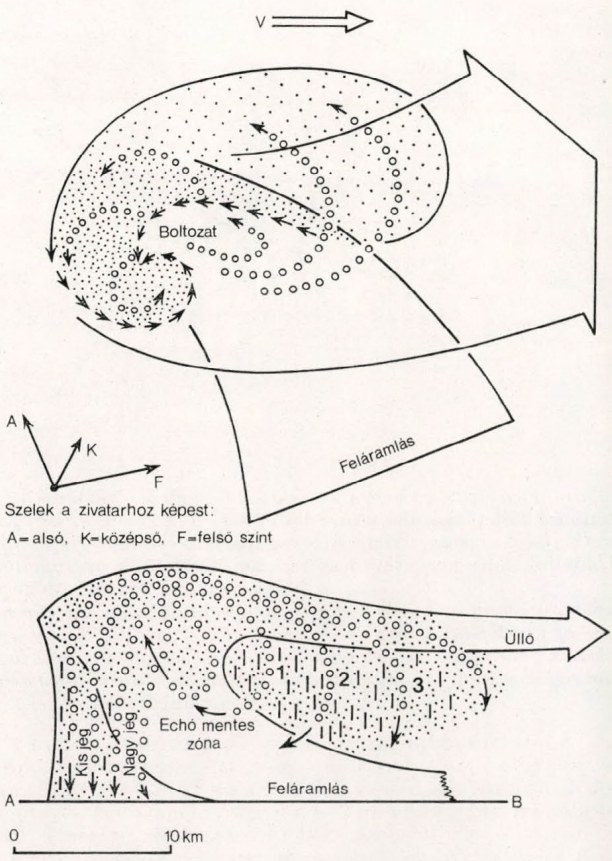
2. Az 1938 utáni időszak: a jégesőképződés korszerű elméletei

Schumann (1938) jégszemnövekedési számításai után egyre nagyobb szerepet kaptak azok a mikrofizikai vizsgálatok, amelyek választ kerestek a talajfelszínen megjelenő jégszemek jellegzetességeinek (méret, forma, belső struktúra stb.) okaira és körülményeire. Fölfedezték, hogy a jégszemek réteges szerkezetének kialakulásához nem szükséges a 0 °C-os izoterma körüli „ingázás" (mint egyes régi elméletek tanították). Az opálos megjelenésű „száraz", ill. az áttetsző rétegeket létrehozó „nedves" növekedés ugyanis döntően attól függ, képes-e eltávozni a környezetbe az a hő, ami a túlhűlt vízcseppeknek a jégszemhez történő ütközésekor a fagyás során felszabadul; ez viszont elsősorban a folyékony víz mennyiségétől, ill. magának a jégszemnek egyes fizikai jellemzőitől függ (*Ludlam*, 1950 és 1958). A rákövetkező laboratóriumi vizsgálatok (elsősorban Angliában, Svájcban és Kanadában) igen sok részletet derítettek fel a jégszem növekedési folyamatairól (pl.: hogyan változik a szélcsatornában lassan forgatott mesterséges jégszemek alakja a hőmérséklet és a folyékony víztartalom függvényében (*Macklin*, 1978), ill. milyen aerodinamikai tulajdonságai vannak a leggyakoribbnak tekinthető típusnak : a forgó, három tengellyel jellemezhető ellipszoidoknak és ennek megfelelően milyen a felfogási hatékonyságuk és növekedési sebességük. Ennek a több évtizedes laboratóriumi munkának egyik legújabb eredménye, hogy a száraz növekedés feltételei nem egészen felelnek meg a Ludlam-féle elképzeléseknek (*List*, 1977): ez nyomatékosan hangsúlyozza a kísérletezés fontosságát a spekulatív elméletekkel szemben. Ennek a megállapításnak a jogosságát azok a vizsgálatok is hangsúlyozzák, amelyeket *Facy* et. al., (1963) már két évtizeddel ezelőtt megkezdtek és amelyek lényege az a fölfedezés, hogy különböző magasságokban képződő jégszemrétegek izotóp-összetétele különböző (itt a $H_2{}^{18}O$, HDO és HTO izotópokról van szó). Bizonyos egyszerűsítésekkel így lehetőség van azon felhőréteg magasságának meghatározására, amelyben a szóbanforgó jégszemréteg kialakult — így a jégszem $R(z)$ trajektóriájának leírására is, ahol R a sugár, z a magasság (*Geresdi* et al., 1984).

A felsorolt, legfontosabb mikrofizikai kutatások már átvezetnek a jégesőfelhő struktúrájára és mozgási körülményeinek vizsgálata felé. Egyre világosabbá vált ugyanis, hogy a képződés és a növekedés kisléptékű folyamatait a felhőt létrehozó és arra jellemző cirkuláció döntően befolyásolja; másrészt, hogy ez utóbbiakra a mikrofizikai sajátosságok (elsősorban a növekedési folyamatok révén) ugyancsak visszahatnak — amint ez *Szulakvelidze* (1967) modelljéből kitűnik. Ez volt az első modellek egyike, amelyek sikeresen szimulálták a felhőben uralkodó feláramlás egyszerű lineáris magassági eloszlásának hatását a nagy folyékony víztartalmú zónák kialakulására, majd az utóbbi destruktív következményeit — amelyek a felgyülemlett csapadékmennyiség hirtelen kiesése révén realizálódnak, — a zivatarfelhő további életére. E modell, mint látni fogjuk, nemcsak igen nagy valószínűséggel alkalmazható ma is a zivatarfelhők *bizonyos* típusaira, hanem egyúttal minden részletében alkalmas alapot is szolgáltat e felhők jégképző magvakkal történő módosítására (*Wirth*, 1969).

Az utóbbi évtizedek fejlődésének másik vonalát a „minőségi" zivatarfelhő-modellek reprezentálják. Ezeket komplex — repülőgépes és radaros — *mérések* segítségével szerkesztették és céljuk éppen az e felhőket környező és a bennük uralkodó, ugyancsak összetett mozgási viszonyok reális ábrázolása. Néhány kiemelkedően szervezett megfigyelési programnak, ill. esettanulmánynak köszönhető, hogy az utóbbi két évtizedben e területen is jelentős az előrelépés a *Thunderstorm Project* egyszerű — de alapjaiban még

ma is korszerű — zivatarmodelljéhez képest. E közismert modell szerint (*Byers* és *Braham*, 1949) a zivatarfelhők életciklusát a cumulus, az érett és a feloszlási szakaszok képviselik, amelyek a felhőben uralkodó feláramlások jellege és a csapadékhullás alapján különböztethetők meg egymástól. Az érett szakaszban ui. a csapadék kihullásával kapcsolatban a leáramlások *is* megjelennek, amelyek a feloszlás stádiumában az egész felhőre uralkodóvá válnak. Bár a korszerű megfigyelések nem cáfolták meg ezt az egyszerűsített képet, rámutattak arra is, hogy e „közönséges" *konvekciós cellán* kívül, bizonyos légköri feltételek mellett ún. *szupercellás* (SC) zivatarfelhő is előfordulhat, amely az előzőtő méreteiben, intenzitásában és élettartamában is különbözik (*Browning* és *Ludlam*, 1962)

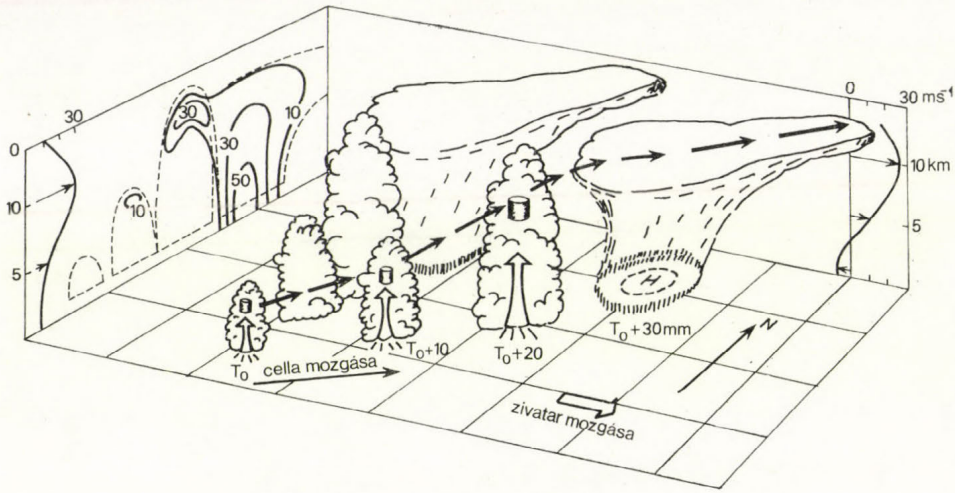


2. ábra — Fig. 2: Áramlások és csapadékrészecske-trajektóriák szupercella vízszintes és függőleges metszetei mentén (*Browning*, 1964).

Airflow and precipitation particle trajectories in horizontal and vertical sections of a supercell (After Browning, 1964)

Erre a *2. ábrán* bemutatott szélprofil (felső kép) ad lehetőséget — *nyírás és szélfordulá a magassággal* — ez biztosítja a fel-, és leáramlások hosszú ideig tartó, egyidejű létezését (*Browning*, 1964). Emellett az USA középső vidékeinek tipikus SC-i esetében gyakran megfigyelték a negatív felhajtóerővel rendelkező felhőalatti réteg kialakulását. Ennek fontossága abban rejlik, hogy meggátolja a konvekciós folyamatok idő előtti megjelenését, továbbá, hogy segíti a feláramlás kvázistacionárius állapotának kialakulását és annak izoláltságát. (Egyidejűleg ui. csak egy-egy SC szokott megjelenni nagy területen.) Az alsó képen a SC függőleges metszete látható a legnagyobb feláramlásban kialakuló echomentes zónával: itt ui. a felhőelemek olyan gyorsan emelkednek fölfelé, hogy nincs idejük csapadékrészecskékké növekedni. A jégszemek közül csak azok növekedhetnek nagyra, amelyeknek trajektóriájára az echomentes boltozat (az ún. *vault*) határán húzódik végig; más részecskék, amelyek túl korán lépnek az intenzív feláramlás zónájába, az üllőbe sodródnak; ismét mások, amelyek túl magasan találkoznak a már kisebb sebességű feláramlással, kisebb jégszemekként esnek ki a felhőből.

Az „egyszerű" és a SC-ás zivatartípusoknál — előfordulási gyakoriságát és emiatt károsító hatását tekintve — számunkra sokkal fontosabb a közöttük (élettartamban és méretekben) mintegy átmenetet képviselő „multicellás" zivatarfajta (MC) (*Browning* 1962), amelynek időbeli fejlődését a radar-jellemzőkkel együtt a *3. ábrán* láthatjuk. (Az ábra interpretálható úgy is, mintha az adott treületen egyidejűleg különböző fejlettségi állapotú cellák lennének jelen). A vastag nyilak a növekvő cella egy levegőparcellájának trajektóriáját mutatják; a radar-visszhang vertikális metszete t=0-nál, és a szélprofil szintén látható (*Chisholm* és *Renick*, 1972). E zivatarfajtát később sokan és részletesen elemezték (*Marwitz*, 1972; *Browning* et al., 1976; *Absajev* és *Karcivadze*, 1973, stb.)



3. ábra — Fig. 3: Multicellás zivaratfelhő-rendszer vázlatos képe. Kezdetben a rendszer négy különböző fejlettségi állapotú cellából áll. A legdélebbi (legfiatalabb) cella fejlődése az időben követhető. A vastag nyilak a levegőparcella trajektóriáját mutatják a növekvő cellában. A bal oldali skálán a kezdeti radarvisszhang eloszlása, a jobb oldalin a magassági széleloszlás látható *(Chisholm and Renick*, 1972).

Shematic view of a multicell storm. At the initial time the storm consists of four cells at different stages of development. The development of the youngest (southernmost) cell at successive times is indicated. The heavy dashed arrow is the trajectory of a parcell in the growing cell. A vertical section of the radar echo at the initial time is shown, as well as an indication of the wind profile. (From Chisholm and Renick, *1972).*

azzal a fontos eredménnyel, hogy a multicellás zivatarokban a jégeső-embriók már az első radarvisszhang (a *first echo*) megjelenése *előtt* kialakulhatnak: ez pedig döntő fontosságú a mesterséges magvasító anyagok bejuttatásával kapcsolatos mindhárom alapkérdést illetően. (E kérdésekre — a jégeső elleni védekezésben elfoglalt gyakorlati fontosságuk miatt — egy későbbi közleményben részletesen is kitérünk.)

A következőkben felvázoljuk azokat a korszerű koncepciókat, amelyek — kiindulva abból, hogy az energetikai beavatkozások nem lehetségesek — mikrofizikai módszerek alkalmazását javasolják a talajfelszínen megjelenő jégesők keletkezési és növekedési körülményeinek módosítására.

3. Jégesőelhárítási koncepciók: kritikai összefoglalás

Az átlagos nyári zivatarfelhő teljes energiája kb. $4{,}2 \cdot 10^{13}$ Joule ($1{,}2 \cdot 10^{7}$ kWh), ami megfelel a Nagasaki-ra 1945-ben ledobott amerikai atombomba energiájának (*Battan*, 1969). Ez nyilvánvalóvá teszi, hogy azokat az okokat, amelyek a Cb-k, illetve ezek révén a jégesők képződéséhez vezetnek, közvetlen energiabefektetéssel nem tudjuk módosítani. (Ez a művelet, még ha sikerülne is, roppant gazdaságtalan lenne, nem beszélve az elmaradt csapadék okozta kárról.)

Ezért a jégeső elleni védekezésnek gyakorlatilag egyetlen járható irányát az ún. „mikrofizikai" módszerek jelentik: ezek révén a felső saját instabilitási energiáit igyekszünk kiaknázni. A felhő – mint kolloid rendszer – instabilitásának két legfontosabb forrása: a halmazállapotoknak és az alkotóelemek nagyságának különbsége. Mindkét ok a részecskék növekedésére, így csapadékelemek megjelenésére vezethet. A túlhűlt állapotú felhőcseppek instabilitási energiáját magvasító anyagok kis részecskéinek bejuttatásával használhatjuk ki, a „meleg" felhők instabilitását pedig óriás higroszkópos magvak (vagy nagy felhőcseppek) bevezetésével idézhetjük elő. E beavatkozások aránylag csekély anyag-, ill. energiabefektetést igényelnek; hatásukra olyan események zajlanak le, amelyek a csapadékképződés természetes folyamatához hasonlók.

Az időjárásmódosítás ezen korai mikrofizikai koncepciói az ötvenes évek végétől jelentős fejlődésen mentek keresztül. Az első javaslatok szerint (*Weickmann*, 1953), a jégképző magvak koncentrációjának jelentős növelésével a jégszemek növekedéséhez rendelkezésre álló *víztartalmat* kellene *csökkenteni*. *Ludlam* (1958) a *csapadékfolyamat korai*, mesterséges *megindítását* ajánlotta, ami a zivatarfelhő érett stádiumának idő előtti, ezért kevésbé intenzív kialakulására vezetne. Ugyancsak *Ludlam* (1958) vetette föl azt a gondolatot, hogy a nagy cseppek számának növelésével a felhő alsó részében olyan mesterséges *jégeső-embriókat* hozhatunk létre, amelyek a természetes részecskékkel versenyezve növekednek; emiatt a jégszemek végső mérete kisebb lesz. *Vittori* (1960) ötlete szerint az ún. „itáliai rakéták"-ban alkalmazott robbanóanyag működése során keletkező *akusztikus lökéshullám* a jégszemekben levő *víz* hirtelen *fagyását*, így azok széttörését *idézheti elő*. *Iribarne* és *Pena* (1962) egyszerű, stacionárius felhőmodelljükben már képesek voltak demonstrálni, hogy a természetes körülmények között igen kis számú jégesőembrió fölemelkedés közbeni növekedését erősen korlátozza, ha azok koncentrációját akár csak tízszeresére megnöveljük.

A fenti elképzeléseket többek között *Szulakvelidze* (1967) vette vizsgálat alá. Rámutatott, hogy a *felhőcseppek fázisállapotának megváltoztatásához* – három óra élettartamú Cb-t feltételezve (amelynek feláramlási csöve 5 km sugarú) – kb. négy tonna ezüstjodidra lenne szükség. Az így kialakuló jégkristálykoncentrációk ugyan teljesen meggátolnák a jégesőembriók növekedését, sőt, a korszerű „direkt injektálási" technikával az ilyen intenzitású magvasítás nem is elképzelhetetlen (ez ui. kb. 3 db *Oblako*-rakétát jelentene percenként), e beavatkozások (azonban) óránként és cellánként kereken 6 millió forintba kerülnének, ami nem ésszerű védekezési alternatíva. A nagy, $d > 20$ μm-es cseppek koncentrációjának tízszeres megnövelése ugyancsak hatalmas mennyiségű, kb. 4,5 tonna higroszkópos anyag felhőbe juttatását igényelné (ugyanezen idő alatt). Ezenkívül – a *Szulakvelidze* munkatársai által kidolgozott modell szerint – a jégeső csírái semmiképpen sem az óriásmagvakon, a felhő alsó részében keletkező, átlagosnál nagyobb felhőelemek. Az említett kis rakétákban alkalmazott (200 g tömegű) robbanóanyag hatása is csak 5–10 m-es körzetben lehet jelentős; így egy átlagos jégesőben előforduló összes jégszem felaprításához mintegy 100 000 db ilyen rakéta lenne szükséges.

Szulakvelidze (1967) ehelyett fölvázolta a jégesőképződés azon modelljét (*Wirth*, 1969), amelyben a jégszemek fő növekedése a zivatarfelhő középső részében, a sajátos feláramlási profil miatt kialakuló, nagy folyékony víztartalmú *akkumulációs zónában* (*AZ*) játszódik le. A jégeső természetes embrióit e felhőtartomány *legnagyobb* cseppjei reprezentálják, amelyek homogén, vagy

heterogén úton lejátszódó fagyása (*Wirth* és *Bónis*, 1971) a leginkább valószínű. Rámutatott arra, hogy (e modell érvényessége esetén) nem szükséges a teljes túlhűlt cseppfrakció átkristályosítása, hanem — *Ludlam*, valamint *Iribarne* és *Pena* elképzeléseinek megfelelően — elegendő, ha a jégszemek embrióinak számát sokszorozzuk meg olyan *„konkurrens" részecskéket létrehozva*, amelyek egymással versenyezve növekszenek a rendelkezésre álló folyékony víztartalom terhére. Mindez a felhőből kieső jégszemek végső átmérőjét csökkenti, esetenként olyan mértékben, hogy azok esésük folyamán teljesen el is olvadhatnak. (A modell legfontosabb sajátosságait a következő fejezetben foglaljuk össze.)

A hetvenes években többen megkísérelték a legfontosabb koncepciók (az eljegesítés, a cseppspektrum-módosítás és a konkurrens embriók létrehozása) mennyiségi vizsgálatát. *English* (1973) szerint pl. egy átlagos intenzitású zivatarfelhő feláramlási zónájának *teljes eljegesítéséhez* 4 kg/perc reagens mennyiség bevezetése elegendő lenne. *Young* (1977), újraértékelve a számításokat, rámutatott arra, hogy e koncepció alkalmazása függ a felhőmodelltől; pontosabban (mint nyilvánvaló) a modellben felvett folyékony víztartalom és feláramlási sebesség nagyságától. Fontos eredménye, hogy multicellás modelljében is egyértelműen demonstrálta a *jégesőelhárítás paradoxonját* (*Atlas*, 1977) — amelyet elsőként valószínűleg *Weickmann* (1963) vetett fel — nevezetesen, hogy a „helytelenül" végrehajtott magvasítás esetenként meg is növelheti a felhőből kieső jégrészecskék számát (össztömegét). (Ugyanilyen következtetésre jutott *Browning* és *Foote* [1976] a „szupercellás" zivatarfelhők magvasításának lehetséges hatását illetően.) *Young* számításai azt is mutatták, hogy a jégesők növekedési tartományában létrehozott nagyszámú, felhőelem méretű ($r > 100$ μm) jégkristályt a feláramlások az üllőbe szállítják: így ezek a csapadékciklusból kiesnek. Az eljegesítési koncepció ezért sem javasolható, hiszen a jégkárok 20%-os csökkenését gazdasági szempontból a május—júniusi csapadéknak már 5%-os csökkenése is túlkompenzálja (*Borland*, 1977).

A *felhőcseppek spektrumának módosítása* alapvetően a csapadékelemek korai létrehozására, a felhő „kiesőztetésére" irányul. A legismertebb ilyen koncepció a „trajektória-süllyesztés' . Ez megvalósítható, ha a jégeső növekedési tartományába belépő legnagyobb embriók méretét meg tudjuk növelni (vagy elérjük, hogy ezek alacsonyabb szinteken lépjenek be oda), így az embriók alacsonyabb pályákon haladnak át e tartományokon, ezért kevesebb idejük lesz a növekedésre és arra, hogy az általuk összegyűjtött folyékony víz megfagyjon. Mindez arra vezet, hogy a kialakult jégszemek kisebbek lesznek és ezért valószínűbb, hogy a pozitív hőmérsékletű légrétegeken áthullva elolvadnak. Ugyanakkor az ilyen részecskék hozzájárulnak annak a folyékony vízmennyiségnek a csökkentéséhez is, amely a természetes jégszemek növekedésének forrását képezi. Ezt a célt az embriók képződési régiójába bevezetett higroszkópos magvakkal érhetjük el, feltéve, hogy ismerjük ezt a tartományt és létre tudunk hozni legalább 100 m^{-3}-es cseppkoncentrációt (*Young*, 1977). *Bartisvili* et. al. (1970) ezt a koncepciót ezüst-jodid-magvasítással kombinálva alkalmazza a grúz jégesőelhárítási kísérletekben.

A felhőmagvasítás — a fázisváltozások elősegítésével felszabaduló rejtett hő-többlet révén — kétségkívül megnöveli az adott felhőtartományban uralkodó felhajtóerőt, így *dinamikai hatást* is kifejt. Ez elvileg a „korai kiesőztetés" révén a feláramlás megszüntetéséhez, vagy újabb záporok keltése segítségével a szomszédos, intenzívebb zivatarfelhő gyengítéséhez vezethet. A konvektív instabilitás kihasználásának újszerű lehetőségét a Szovjetunióban *Vulfszon*

és *Levin* (1964) vetették fel. Ennek lényege: a fejlődésben levő gomolyfelhők szétolszlatása mesterségesen indukált leáramlások segítségével. A leáramlások megindítására különböző módszereket (nagy fajsúlyú, szemcsés anyagok szétszórását, l. pl. *Vilfszon* és *Cserenkova*, 1970, reaktív repülőgépek közel függélyes felhőnbelüli repülését, pl. *Vulfszon* és *Levin*, 1968, valamint irányított

I. TÁBLÁZAT

A jégesőelhárítás mikrofizikai koncepciói

Koncepció	Ellenvetés
1. A túlhűlt felhővíz eljegesítése	– Nem gazdaságos – Növelheti a természetes jégszemek számát (össztömegét) – Csökkentheti a csapadék mennyiségét
2. Felhőcseppek nagyságeloszlásának módosítása (pl. a trajektória „süllyesztése" céljából, vagy a nagyobb cseppek fagyásának korábbi megindítása érdekében)	– Elméleti megalapozottsága hiányos – Nem ismert effektusok léphetnek fel
3. Dinamikai hatások (leáramlások indukálása)	– Kevés kísérlet (gyakorlati bizonyítás hiányzik)
4. Konkurrens jégeső-embriók létrehozása	– Túlegyszerűsített egydimenziós felhőmodell (a feláramlási profil révén rögzített víztartalom) – Újabb jégesőképződési, ill. jégzivatar megjelenése, amelyekben a koncepció nem működik.

és nem irányított lövedékek felrobbantását, pl. *Vulfszon* és *Levin*, 1972) javasoltak. Az említett eljárások instabil légköri állapot esetén akkor vezethetnek a felhő további növekedésének megakadályozására, sőt esetenként a felhő teljes szétoszlására, ha sikerül olyan nagy lefelé irányuló mozgási impulzust kelteni, ami intenzív leáramláshoz vezet. Bár ezeket a dinamikai hatásokat elméletileg meglehetősen jól megalapozottaknak tekinthetjük, az utóbbi évtizedben (*Vulfszon* és *Levin*, 1974; *Zatsepina* et. al., 1980) alig 200 kísérletet végeztek, elsősorban a növekvő Cu cong felső részébe juttatott cementporral. Az eljárás alkalmazhatóságát nagyobb vertikális kiterjedésű felhők esetére még bizonyítani kell; mindenesetre egyes szakemberek véleménye szerint (*Szerjogin*, 1972) ez a jégeső elleni védekezés perspektívikusan legjobb koncepciója.

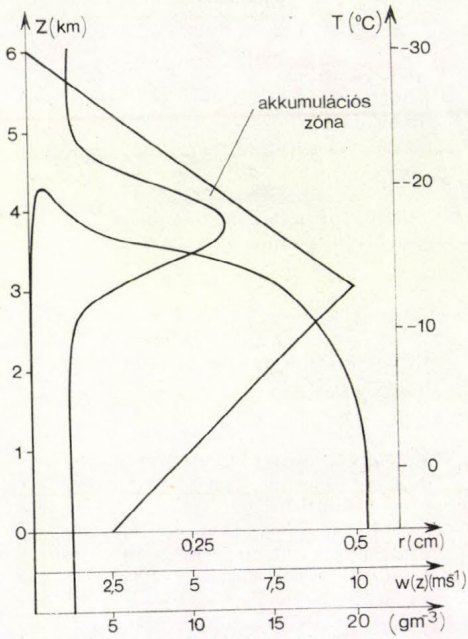
Az *I. táblázat*ban összefoglaljuk a jelenlegi koncepciókat és a legfontosabb ellenvetéseket.

A kutatók mindenesetre általában egyetértenek abban, hogy jelenleg a 4. koncepció a fizikailag leginkább elfogadható, kísérletileg széleskörűen alkalmazott, „kipróbált" gondolat: gyakorlatilag mindegyik utóbbi időben szervezett *project* és *experiment* nyilvánosan deklarált mikrofizikai alapja. Mindezek miatt ennek összefoglalása itt is indokoltnak látszik.

4. A szovjet jégesőképződési modell és a védekezési koncepció

A teljesség kedvéért az alábbiakban összefoglaljuk a *Szulakvelidze* (1967) által kidolgozott jégesőképződési modell és az erre épített beavatkozási eljárás legfontosabb jellemzőit (részletesebben lásd: *Wirth*, 1969).

A zivatarfelhő-modell alapvető sajátossága a *w(z)* feláramlási sebesség lineáris növekedése, majd csökkenése a magassággal (lásd: a *4. ábra* 1-es görbéjét). Az a tény, hogy e modellben *w(z)* a felhő közepe táján maximumot ér el, döntő fontosságú a záporszerű csapadék, ill. jégeső keletkezése szempontjából.



4. ábra – Fig. 4: A Szulakvelidze-féle felhőmodell a maximális feláramlási sebesség szintje felett kialakuló akkumulációs zónával. 1. görbe: a w(z) feláramlási profil (ms^{-1}), 2. görbe: a q folyékony víztartalom (gm^{-3}), 3. görbe: a jégszem koagulációs növekedése a modell-felhőben (r, cm); $w_m = 10\ ms^{-1}$.

The cloud model of Sulakvelidze, with the accumulation zone being formed over the level of maximum updraft velocity. 1. Profile of the updraft, w(z), (ms^{-1}), 2. liquid water content, q (gm^{-3}), 3. coagulation growth of the hailstone in the model cloud (r, cm), with $w_m = 10\ ms^{-1}$.

Az átlagos, 1 – 2 gm^{-3}-es folyékony víztartalomnál (2-es görbe) növekvő, 200 – 400 μm sugarú csapadékelemek ui. trajektóriájuk felhő határánál a rajtuk felfelé „átfutó", kisebb felhőelemekkel történő ütközések hatására lassú növekedésnek indulnak. Ez az esési sebesség növekedéséhez, így magasságvesztéshez vezet. A feláramlási sebesség azonban ebben a tartományban (a z_m fölötti szinteken) lefelé növekszik; a részecske tehát szintről-szintre egyensúlyba, ill. növekedése miatt egyre lejjebb kerül. E növekedésnek a „Lénárd-effektus" szab határt: a cseppeket ugyanis a felületi feszültség 4 – 6 mm-es nagyság elérésekor már nem képes tovább összetartani. A legnagyobb cseppek esési sebessége 9 – 10 ms^{-1}; tehát ebben a rétegben, ahol ilyen a feláramlási sebesség (ami e modellben a felhőalap felett 4,5 – 5 km-en található) a cseppek néhány nagyobb és sok kisebb cseppecskére aprózódnak szét. A feláramlás ekkor a részecskéket ismét magasabbra ragadja, ahol a folyamat megismétlődik és végül láncreakció-szerűen az aránylag nagy cseppek felhalmozódására vezet a maximális sebesség szintje felett. Azt a felhőtérfogatot, amelyben a folyékony, túlhűlt víz összegyűlik, nevezik *akkumulációs zónának (AZ)*. Ha az *AZ* olyan hőmérsékleti intervallumban helyezkedik el, hogy ott néhány

(általában a legnagyobb) csepp megfagyhat, e részecskék növekedését a szétaprózódás már nem gátolhatja. Sőt az *AZ*-ban rendelkezésre álló nagy folyékony és túlhűlt víztartalom a növekedéshez igen kedvező föltételeket teremt, ez tehát gyorsan folytatódik mindaddig, míg a jégszem a maximális sebesség szintjéig nem süllyed; innen a gyors kihullás és a magasabb hőmérsékletek miatt lényegében abbamarad. A jégszem (e modellfelhőben) a 3. görbével jelzett trajektórián végighaladva, 1 cm-nél valamivel nagyobb sugárral érkezik a talajfelszínre.

A feláramlási profil ismeretében a zivatarfelhőkben felhalmozódó maximális vízmennyiség és az egyes csapadékelemek legnagyobb átmérője vázlatosan az alábbi gondolatmenettel határozható meg. A kiindulás az a kísérleti eredmény, hogy a különböző R sugarú részecskék határsebessége más-más összefüggésekkel írható le:

$$V(R)=\beta R, \text{ ha } 45\mu\text{m}<R<1000\ \mu\text{m} \tag{1}$$

ill.

$$V(R)=\gamma\sqrt{R}, \text{ ha } R>1000\ \mu\text{m},$$

ahol β és γ állandók. [Itt jegyzem meg, hogy ez az itt idézett (1) és (3) egyenletünk az *Időjárás* 1969/1. számában hibásan jelent meg. *W. E.*]

A *4. ábra* bizonysága szerint $V(R)<w_m$ esetén (ahol w_m a feláramlási sebesség maximuma) az adott nagyságú részecske két helyen kerülhet egyensúlyba: a felső stabilis, az alsó labilis egyensúlyi helyzet.

Az R sugarú részecske trajektóriájának z_f felső határára, a $V(R)=w(z_f)$ föltétellel, a modellből levezethető a

$$z_f=z_v\left(1-\frac{V(R)}{w_m}\right)+z_m \tag{2}$$

kifejezés, ahol z_v a felhő vastagsága a w_m felett. Ezután a különböző nagyságú részecskéknek a maximális sebesség szintje feletti növekedését a *Langmuir-féle* koagulációs egyenlet segítségével oldhatjuk meg. Ilyen növekedést ír le pl. a *4. ábra* 3. görbéje. (A w_m szintje alatt a részecske már alig növekszik; a folyamat lényegében az *AZ*-ban játszódik le.) A részecske R_m méretét a w_m szintjén a következő egyenlettel határozhatjuk meg:

$$R_m=\frac{w_m^2}{\gamma^2}+\frac{qE}{4\varrho_R}(z_f-z_m) \tag{3}$$

ahol q, E és ϱ_R rendre a felhő víztartalma, a felfogási hatékonyság és a jégszem sűrűsége.

Látható, hogy a csapadékelem mérete elsősorban a feláramlási sebesség értékétől, továbbá az *AZ* vastagságától és víztartalmától függ (a z_m szint alatti csekély növekedéstől és az olvadástól eltekintünk).

A modellel – $q=1$ gm^{-3}-es víztartalom alapján (2. görbe) – számított csapadékkeletkezés időtartama néhányszor tíz perc. A „first echo"-ra vonatkozó radarmegfigyelések szerint azonban a koagulációs cseppnövekedés gyakran 5–10 perc alatt lezajlik. Ez, *Szulakvelidze* szerint, akkor lehetséges, ha $q>10$ gm^{-3} (ilyen magas víztartalom azonban csak az *AZ*-ban fordulhat elő). Az itt kialakuló maximális vízmennyiség meghatározásához az időben állandó sebességprofil mellett azt is föl kell tenni, hogy a w_m szint felett a víztartalom a magasság függvénye. Ebben az esetben, adott légállapotnál, a közepes víztartalom

$$\bar{q} = \bar{\varrho} \frac{w_m^2 - V_{kvit}^2}{2g(z_v - z_{krit})} \tag{4}$$

$\bar{\varrho}$: a levegő átlagos sűrűsége, z_{krit}: az a szint, ahol $w(z_{krit}) = V_{krit}$ (a kritikus méretű — $R \approx 2-3$ mm — cseppek esési sebessége) és g a nehézségi gyorsulás. Ebből is látható, hogy AZ csak akkor alakulhat ki a felhőben, ha $w_m > V_{krit}$.

A (4) egyenletből megkaphatjuk a felületegységre hulló csapadék Q mennyiségét a felhő alsó részében lejátszódó koaguláció és a felhő alatti párolgás elhanyagolásával:

$$Q = \bar{\varrho} \frac{w_m^2 - V_{krit}}{2g} < \bar{\varrho} w_m^2 \tag{5}$$

A zóna egységnyi térfogatában felgyülemlett és a talaj felületegységére hulló víz vagy jégmennyiség az alábbiak szerint is kifejezhető:

$$Q = \frac{4}{3} \pi h \Sigma N_i R_i^3 \varrho_R = \frac{4}{3} \pi N \bar{R}_3^3 h \tag{6}$$

ahol h az AZ magassága a w_m szintje felett, N_i az R_i sugarú cseppek száma egységnyi térfogatban, R_3 a cseppek közepes sugara, ϱ_R a víz, ill. jégrészecskék sűrűsége.

Az (5) egyenlet szerint az adott felhőben felhalmozódott vízmennyiség lényegében csak a feláramlási sebességtől függ. Mivel ez az érték a felhő érett stádiumában közelítőleg állandó (és az egyenlet többi tagja is konstans) az (5) és (6) egyenletekből következik, hogy

$$N \bar{R}_3^3 = \text{konstans.} \tag{7}$$

A vázolt egyszerű (egydimenziós) felhő-, ill. részecskenövekedési model kitűnő lehetőségeket kínál a jégesőelhárítás alapvető feladatainak megoldására. A feladatok a következők: a potenciális *jégesőgóc* kellő időben történő *felfedezése* a sokezer km³-nyi felhőtérfogaton *belül*; majd e *góc* olyan *átalakítása* ami a természetes jégszemek méretének csökkenésére vezet. Az elsőre éppen az átlagosnál jóval nagyobb víztartalmú AZ létezése ad lehetőséget; a másodikra viszont a mesterséges jégképző magvak létrehozása, amelyek — megfelelő esetben — [a (7) képlet alapján] konkurrens jégeső-embriók kialakítására vezethetnek.

Ezzel ui. becsülhetjük azon járulékos, mesterséges jégrészecskék számát, amelyet az ún. „hasznos versengés" érdekében az AZ-ban létre kell hoznunk. Sőt, ha ismerjük e magas víztartalmú zónában kialakuló átlagos jégszemkoncentrációt (pl. a talajfelszíni mérések alapján, lásd Wirth, 1976), meghatározhatjuk a mesterséges embriókon kialakuló jégszemek méretét is. Jelöljük ui. a természetes és mesterséges jégszem-kezdemények koncentrációját N, ill. N_m-el, a megfelelő jégszemek közepes köbös sugarát pedig $\bar{R}_3$ és $\bar{R}_m$-mel (gömbalakú részecskéket feltételezve), akkor írható, hogy:

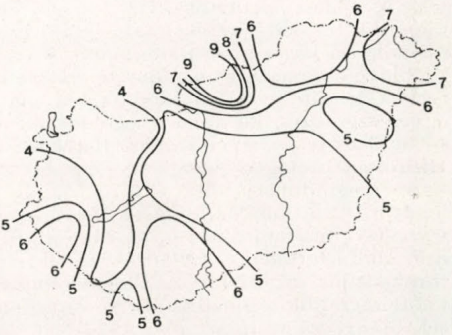
$$\bar{R}_m = \bar{R}_3 \sqrt[3]{\frac{N}{N_m}} \tag{8}$$

E képlet szerint a természetes jégeső-embriók koncentrációját százszorosára növelve a közepes (köbös) sugár kereken egyötödére csökken. Ez — az esetek többségében — teljesen elegendő ahhoz, hogy a felhőből kihulló jég a pozitív hőmérsékletű légrétegekben elolvadjon.

5. *A védekezés közvetlen előzményei*

Nincs módunk a jégeső elleni védekezés 1976. évi indítását megelőző események részletes kifejtésére. Mivel azonban a fenti dátum ma már szakmánk történetének egy olyan eseményét jelzi, amely egyben új fejezetet, új tevékenységi szférát nyitott meg sok meteorológus – és nem meteorológus – munkatársunk számára, a legfontosabb mozzanatok felsorolása mindenképpen indokolt:

1961–65: Az Aerológiai Obszervatóriumban (ma: Központi Légkörfizikai Intézet) megalakul a felhőfizikai kutatócsoport. A csoportból – *Mészáros Ernő* vezetésével – rövidesen osztály alakul. A fő célkitűzés: a kondenzációs és jégmagvak tulajdonságainak, illetve a felhő-, és csapadékrészecskék kialakulási és növekedési folyamatainak kutatása. E kutatások szinte törvényszerűen vezetnek át a következő tíz évben olyan gyakorlati kérdések vizsgálata felé, mint pl. a levegőszennyeződés és a jégeső okozta károk okai és megelőzésük lehetőségei. Ezek alapozták meg a jelenleg folyó kiterjedt és egyre bővülő operatív tevékenységet az említett területeken.



5. ábra – Fig. 5: Az 1000 km²-es területegységre vonatkoztatott jégesős napok számának országon belüli eloszlása az ÁB kárstatisztikái alapján számolva *(Bálint és Wirth,* 1970).

Distribution of the number of hail days, reduced to 1000 km² „unit" areas for Hungary, calculated from the data of the State Insurence Company. (From Bálint és Wirth, 1970).

1966–67: E sorok írója 12 hónapos WMO-ösztöndíj keretében a Szovjetunióban és az USA-ban tanulmányozza az időjárásmódosítás különböző témaköreit. Többek között mintegy két hónapon keresztül vesz részt a kaukázusi jégesőelhárítás operatív munkájában (amely *G. K. Szulakvelidze* professzor vezetésével – és kezdeményezésére – 1962 óta folyik).

1967: A Magyar Meteorológiai Társaság és az Állami Biztosító közös vándorgyűlést rendez Sárospatakon a jégesőelhárítás témakörében [*Ambrózy* (szerk.), 1967]. A vándorgyűlés ajánlása az OMFB-nek, az Állami Biztosítónak és az illetékes kormányszervnek: szorgalmazzák – koordinálják és támogassák – a jégeső elleni védekezés hazai bevezetését.

1968: Az OMFB munkabizottságot alakít, amelynek feladata: a lehetőségek felmérése az előzetes tervek elkészítése, ajánlások kidolgozása. A munkabizottság a HM *(Csaplak Andor)*, az OMSZ *(Wirth Endre)*, és az ÁB *(Bálint György* és *Czakó Flórián)* szakembereiből áll.

1969: A munkabizottság írásos jelentésben számol be az OMFB-nek a jégeső okozta károkról és a védekezés lehetőségeiről. Javaslatot tesz a magyarországi jégesőelhárítás módszerére és helyszínére *(Bálint* et al., 1969). A javaslatot 1970-ben az OMSZ is támogatja. (A megvalósítás jelentősen elhúzódik *Kiss Árpád* – az OMFB akkori elnökének – váratlan halála miatt.)

1966–70: Ebben az időszakban jelenik meg több fontos tanulmány, amelyek föltárják a jégeső-, és zivatarjelenségek alapvető klimatológiai jellegzetességeit, valamint a károk eloszlását Magyarországon *(Götz* és *Mészáros,* 1968; *Bálint,* 1967). Bár e munkák elég rövid időszakokból származó adatsorokon alapulnak, fő következtetéseiket a hetvenes évekre vonatkozó feldolgozások is megerősítették. Így pl. a jégesőelhárítás kísérleti helyszínét a jégesős napok területegységre (1000 km²-re) vonatkoztatott számának országos eloszlása alapján jelöltük ki *(5. ábra);* feldolgozásunk alapja az ÁB kárstatisztikái voltak.

1972: A Minisztertanács elnökhelyettese, *Ajtay Miklós,* személyes szovjetunióbeli tapasztalatai alapján nyilatkozatban foglalt állást a megvalósítás mellett.

1973: Döntés születik a jégesőelhárítás bevezetése és finanszírozása kérdéseiben. A szükséges összegekről az OT, ill. a MÉM, az OMFB, az OVH, az ÁB és az OMSZ gondoskodik. Az OMSZ megrendeli a legfontosabb műszaki berendezéseket (radart, rakétákat, kilövőállványokat).

1974–75: Megérkeznek a műszaki eszközök; kidolgozzák a rakéták honosítási szabályait; folyik a kilövőállomások helyszínének véglegesítése, ill. az objektumok építése; folyamatban van a szakszemélyzet felvétele és kiképzése.

1976: Megjelenik a 2006/1976. (II. 4.) számú Mt. határozat a védekezés megindításáról és a hároméves kísérleti időszakról. Az OMSZ megkapja a védekezés lefolytatásához szükséges hatósági engedélyeket; megtörténik a kilövőszemélyzet felvétele és kiképzése.

1976. július 23. 17[21]*: Az első időjárásmódosító beavatkozás Magyarországon.*

6. A helyszín

A védett területet *(VT)* – az említett nagy jégesőgyakoriság és az átlagosnál nagyobb termelési érték miatt – Baranya megye déli részén, nagyjából a pécsi, siklósi, és mohácsi járások területén jelöltük ki. E körzetben 11 db *kilövőállomást* telepítettünk. A kilövőállomások és a radar telepítésének előkészítése helyszíni bejárásokkal és vázlattervek készítésével tulajdonképpen már 1973-ban megkezdődött. A felmérésekbe, ill. egyes szervezési kérdések megoldásába saját munkatársainkon kívül szovjet szakértők, sőt a Baranya megyei Tanács illetékesei is bekapcsolódtak. Előbbiek korábban a szovjet Hidrometeorológiai Szolgálat Főigazgatóságától, 1976-ban pedig – közvetlenül a védekezés megindulása előtt – a moldáviai Jégesőelhárító Szolgálattól ellenőrizték a rádiólokátor, ill. a kilövőállomások helyének kijelölését. Az állomásokon elhelyezkedő objektumokat (az indítóhelyet, a rakétatárolót, az indítóállást, és az ügyeleti helyiséget) a *6. ábrán* láthatjuk. (A körök az *Oblako*-rakéták hatókörzeteit jelzik.) Kezdettől fogva törekedtünk arra, hogy az állomásokat az észleléshez szükséges legalapvetőbb műszerekkel felszereljük (ezeket az ábrán a megfelelő kezdőbetűkkel jelöltük). A jégesőmegfigyelések hiányosságai miatt már 1975-ben elkezdtük a jégesőindikátorok, a jégszemek lenyomatát közelítőleg megőrző, állványra helyezett felfogólemezek készítését. *(Wirth* és *Zoltán*, 1979; *Székely* és *Zoltán*, 1984). Ezekből – főleg a VT-n – 1977-re közel 300 db-ot telepítettünk le. Az 1-gyel jelzett állomásra (a Tenkeshegy 408 m magas csúcsára) került a 3,2 cm-es hullámhosszon működő MRL-1 típusú rádiólokátor (technikai jellemzői az Appendix-ben) és a Vezetési Pont (*VP*), ahonnan – a „kihelyezett" radarernyők és az URH-központ segítségével – a beavatkozások irányítása történik.

A kilövőhálózatot 1982-től négy db új állomással sűrítettük, ill. (a nyugati részen) bővítettük. Ezzel a *VP* nagyságát bruttó 120 000 ha-ról kb. 150 000 ha-ra növeltük. A ténylegesen védett terület ennél 20–30%-kal kisebb; ennek okaira később visszatérünk.

7. A védekezési módszer

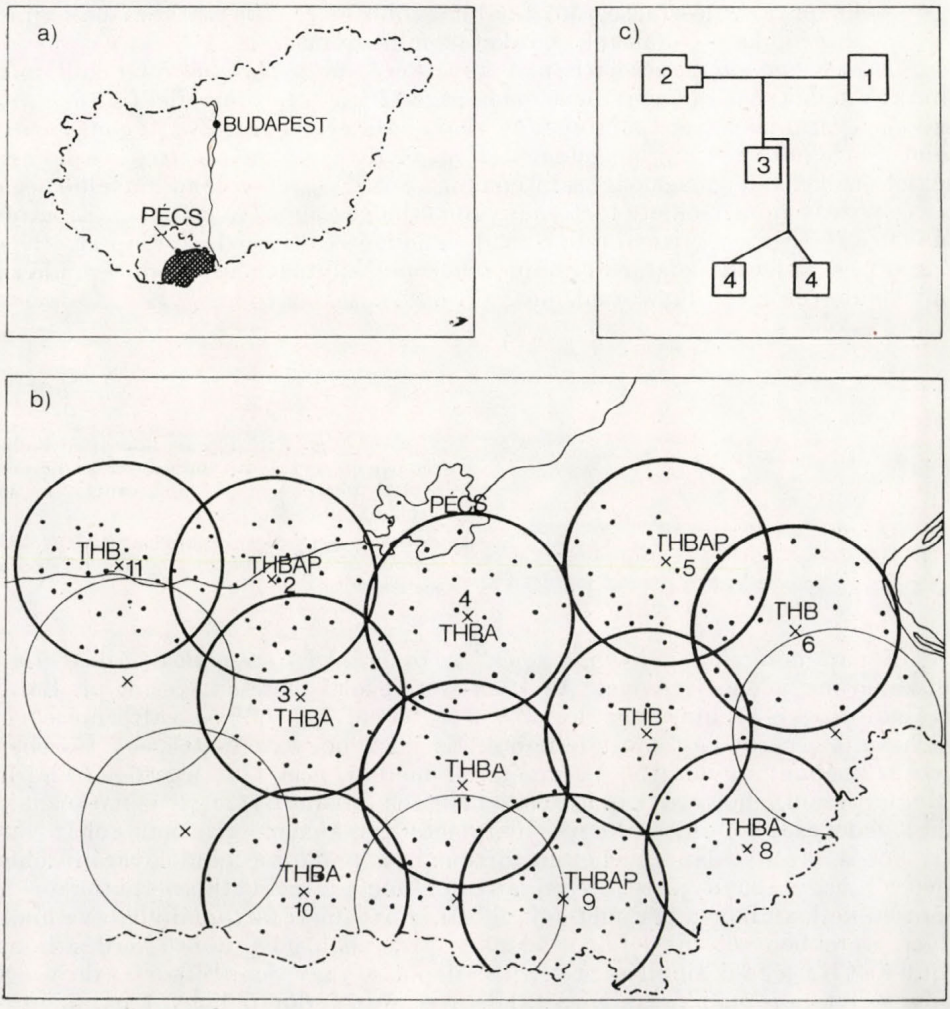
A jégesőelhárítás a *konkurrens embriók* "szükséges" koncentrációjának a kellő időben történő létrehozását jelenti zivatarfelhő akkumulációs (nagycseppű) zónájában. Ehhez:

1. a jégképződés korai szakaszában *detektálni* kell a jégszemek fő *növekedését* biztosító *felhőtartományt*, és
2. jégképző magvak bejuttatásával *meg kell növelni* a rendelkezésre álló víztartalom terhére jégszemekké növekvő, nagy fagyott cseppek – a *jégesőembriók* – számát (*Szulakvelidze*, 1967).

Az utóbbi évtizedben igen nagy mennyiségű adat és eredmény gyűlt össze az első feladat megoldásával kapcsolatban. Itt csupán megemlítjük, hogy elvileg többféle (statisztikai, két hullámhosszon végzett mérésekre alapozott, polarizációs, ill. kombinált) módszer alkalmazása lehetséges. A szakértők általában megegyeznek abban, hogy ezek valamelyikével – *ha a módszert a szóbanforgó földrajzi környezetre adaptáljuk* – a jégesőveszélyes felhők elegendően nagy biztonsággal felismerhetők. Tekintettel a földrajzi közelségre és a

nem túlságosan eltérő éghajlati-topográfiai viszonyokra, a Moldáviában alkalmazott eljárást választottuk. Ennek lényege a következő:

– megmérjük a konvektív felhő bizonyos radar-jellemzőit (lásd alább);

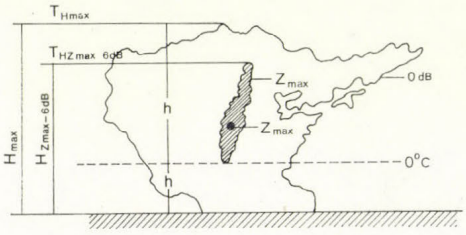


6. ábra – Fig. 6 : a) A védett terület (VT) elhelyezkedése Magyarországon. – *b)* A kilövőállomások hálózata Baranyában. (A számok az állomások sorszámai; a vastagabb körök az *Oblako* rakéta effektív hatósugarát jelzik; a vékonyabbak az 1983-ban üzembehelyezett új állomások hatókörzeteit; a pontok a jégesőindikátorok helyét jelölik. A betűjelzések: T-termográf, B-barográf, H-higrográf, A-Assmann-féle pszichrometer, P-esetenkénti pilotmérések.) – *c)* A kilövőállomás sematikus rajza: 1. ügyeleti épület, 2. rakétatároló, 3. indítóbunker, 4. indítóhely (kilövőállványok).

a) *The location of "protected" area in Hungary.* – b) *The network of launching stations in Baranya county. (Figures indicate the serial numbers of stations; the heavy and the light circles show the effective radius of the Oblako rockets and the new stations established in 1983, respectively; the points represent of the network the hailpads. The meaning of capital letters is:* T-*thermograph,* B-*barograph,* H-*higrograph,* A-*Assmann-psychrometer,* P-*occasional pilot measurements.)* c) *Schematic view of a launching station:* 1. *inspection house,* 2. *depot for the rockets,* 3. *launching shelter,* 4. *laucher's site.*

– a legközelebbi rádiószonda-felszállásból meghatározzuk az egyes paramérerekhez tarozó hőmérsékleti értékeket;
– ezek alapján meghatározzuk a jégkihullás valószínűségét a kérdéses felhőből, végül
– ha ez a valószínűség 50%-nál nagyobb – és a beavatkozásnak nincs kizáró oka – döntünk a rakéták felbocsátásáról.

A *detektálással* kapcsolatban a következő *radar-paramétereket* kell mérnünk: a felhőcsúcs radarral mért magassága (H_{max}); a radarreflektivítás (a részecskék által visszavert jelintenzitás) maximális értéke (log Z_{max}); e maximális jelet adó felhőtartomány magassága (H_{Zmax}). *Az egyéb paraméterek:* a hőmérséklet értékei a két magassági szinten (T_{Hmax} és T_{HZmax}); valamint a felhő negatív és pozitív hőmérsékletű tartományainak magasság-aránya (h^-/h^+). Ez utóbbiakat a térséget körülvevő rádiószonda állomások (Szeged, Budapest, Bécs, Zágráb és Belgrád) adatai alapján, a közepes szinteken uralkodó áramlások figyelembevételével határozzuk meg *(7. ábra)*.



7. ábra – Fig. 7: Cb sematikus (vertikális) radar-metszete a mérendő radar és hőmérsékleti paraméterekkel (magyarázat a szövegben)

Schematic vertical radar section of a Cb-cloud together with the radar and temperature parameters to be measured

E paraméterek mindegyike *egyedi valószínűségi kapcsolatban* áll a talajfelszínen megjelenő jégesővel. Az 1978–80 közötti mérések szerint pl. Baranyában $H_{max} > 11$ km, vagy log $Z > 4$ esetében. kb 76%-os valószínűséggel várhatunk jégesőt egy adott felhőből. Ez jelzi, hogy az esetek egy részében (itt 24%-ában) ugyanilyen paraméterek mellett *nem hull* jégeső a talajra. (Megjegyezzük, hogy a kapott összefüggések olyan területre vonatkoznak, ahol védekezés folyik.) Az egyes paraméter-értékek eloszlásának tehát van egy közös, bizonytalan kimenetelű tartománya, amikor a felhő egyaránt lehet „jeges" vagy „nem jeges". Nyilvánvaló, hogy a beavatkozásról akkor is dönteni kell, amikor a paraméterek ebben az átmeneti tartományban vannak. Ilyen esetekben vetődik fel az a védekezés szempontjából döntő kérdés, hogy eljut-e a Cb a jégeső kihullására vezető állapotig, vagy sem. Ekkor – de a jégesőveszélyt *megelőző* időszakban általában is — az a döntő, hogy a paraméterértékek növekszenek-e, vagy sem. A szovjet kutatók (pl. *Borovikov* et. al., 1967) már régebben rámutattak arra, hogy *egynél több* paraméter mérésével a jégkihullásra vonatkozó előrejelzés pontossága növekszik. Ezért a hatvanas években az operatív munka során egyre több (végül 11) paramétert határoztak meg, ami nem vált be, mert az ezzel járó időveszteség túlkompenzálta az előrejelzés csekély javulását. Így jutottak el a Moldáviában ma is használatos 6 paraméter méréséhez.

Az említett, i-edik paraméterrel kapcsolatos, egyedi jégkihullási valószínűséget, P_i-t a

$$P_i = \frac{n_j}{n_j + n_u} \qquad \text{(a)}$$

összefüggésből határozhatjuk meg. Itt n_j a „jégesős", n_n pedig a „nem jégesős" esetek száma. A tényleges méréseknél a Cb-ok különböző paraméterei általában *eltérő* jégkihullási valószínűségeket adnak, ezért bevezették a fenti relatív gyakoriságok számtani középértékét, a P-t:

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} P_i \cdot 100\%, \qquad \text{(b)}$$

amit „komplex jégveszélyességi kritériumnak", K_p-nek is neveznek. Az erre az új valószínűségi változóra vonatkoztatott, hosszabb időtartamú, radarmérésekből és földfelszíni megfigyelésekből származó statisztikákkal már meghatározható a több paramétert tartalmazó „teljes jégkihullási valószínűség", a P. Mivel ez — a paramétereken keresztül — a 0 °C-os szint magasságával is kapcsolatban áll, a gyakorlatban ez utóbbi magassági eloszlásának megfelelően osztályozzák (táblázatokba foglalják) az egyes paramétereknek megfelelő P_i, ill. K_p (vagy $\bar{P}$) és P értékeket. (Moldáviában a beavatkozást akkor kezdik, ha $P > 50\%$, *és* a paraméterek növekvő tendenciát mutatnak.)

Összefoglalva: a védekezésre vonatkozó döntést *fizikai mérések* alapján, de a felhőfejlődés *valószínűségi* (statisztikai) *prognózisára támaszkodva* hozzuk meg.

Baranyában — részint a földrajzi hasonlóság, részint a saját statisztikák hiánya miatt — a kísérleti időszak folyamán a Moldáviában kapott összefüggések szerint, ugyancsak $P > 50\%$-os jégkihullási valószínűség esetén döntöttünk a rakéták felbocsátásáról. Később, a megfigyelési adatok felhalmozódásával párhuzamosan, megfelelően módosítottuk az eredeti táblázatokat. (A radarparaméterek eloszlását Baranyában a védekezés eddigi adatai alapján egy következő dolgozatban elemezzük.)

Nyilvánvaló, hogy a jégveszélyesség megítélésénél kétféle hibát lehet elkövetni: *nem beavatkozni*, amikor arra szükség van, illetve *beavatkozni*, amikor nem kellene. (Itt eleve föltesszük azt az ideális esetet, — ami a gyakorlatban nem mindig teljesül, — hogy a beavatkozás *időpontját* a beavatkozásvezető *(BV)* jól határozza meg. Ezen első-, illetve másodfajú hiba közül természetesen az utóbbi jár kisebb kockázattal. Ugyanakkor gazdasági szempontok miatt egyáltalán nem közömbös, hány rakétát bocsátunk fel, hiszen a védekezés költségeinek nagyobb részét éppen a rakéták ára teszi ki. A baranyai jégesők sajátossága abban mutatkozott, hogy az eloszlásgörbék modusai a moldáviainál *kisebb* paraméterértékek felé tolódtak el. Emiatt — 1979-től kezdve — úgy döntöttünk, hogy a fontosabb, elsőfajú hiba lehetőségének csökkentése céljából már $P > 30$ %-nál felbocsátjuk a rakétákat.

A gyakorlatban a paraméterek mérése meghatározott sorrendben, és gyorsan történik,. A gyorsaság a szubjektív hibák fontos forrása lehet (l. később). Mégis, erre legalább két ok miatt feltétlenül szükség van. Az egyik a felhőfejlődés hevessége: a zápor, ill. jégeső ui. az első radarvisszhang megjelenése után akár 10 – 15 percen belül is megjelenhet a talajfelszínen. A másik, hogy a *VT*-en egyidejűleg akár 5 – 10 jégesőveszélyes góc is kialakulhat és ezek mindegyikének mérését végre kell hajtani. Az operátor a −5 és −10 °C-os szintek között megméri az intenzív célok (zónák) távolságát és formáját; meghatározza a maximális visszaverődés nagyságát és helyét; ezután az antenna függőleges lengetésével megméri a magassági értékeket. Az adatok továbbítása után ugyanezt elvégzi a következő zónákra is, majd — bizonyos, a *VT* fölött elhelyezkedő gócok számától függő idő után, de lehetőleg 3 – 5 percen belül, — visszatér az első zónához. A mérési adatokat a rajzoló a megfigyelési időponttal

együtt 1:100 000 méretarányú térképre viszi (továbbá magnetofonszalagra is rögzíti). Az aktuális értékek sorozata segítségével a *BV* követi a folyamat időbeli menetét, illetve értékeli a változások tendenciáját, végül dönt a védekezés tényéről és körülményeiről. Ez utóbbiak a magvasítás térbeli helyére és a rakéták számára vonatkoznak. A döntési folyamat során a következő egyszerű szabályokat kell betartani: a magvasítást szimmetrikus (szélnyírás-, illetve advekciómentes) zivatarfelhő esetében a megnövekedett intenzitású zóna alsó részében, mozgó gócok esetében a frontális (elülső) részben kell végrehajtani oly módon, hogy km²-enként 60—120 gr reagens-anyag jusson a Z_{max} 12 dB-lel határolt felhőtérfogatnak a —5 és —10 °C izotermaszintek közötti, közel vízszintes rétegébe.

E gyakran bonyolult feladat megoldását mindenesetre megkönnyíti az *Oblako*-rakéta több km hosszú diszpergálási pályaszakasza, amely „áthidalja" a bizonytalanságok tartományát: a magvasító anyag az embrióképződés valamennyi föltételezett tartományába bejut. Ennek különösen a multicellás zivatartípusok esetében van jelentősége, nem tudjuk, hol és mikor képződnek a jégeső-embriók.

A magvasítás mindaddig tart, — a rakéták 5—8 percenkénti felbocsátásával, — amíg a kérdéses felhőzóna paraméterei nem mutatnak határozott csökkenést. Gyakran előfordul, hogy az intenzív kristályosodás hatására a felhő radarképében jelentős változás történik: a felhőtető magassága csökken vagy a felhő „kilyukad" (a jelintenzítás visszaesik). Mindezek jelzik a beavatkozások fizikailag is *érzékelhető* hatásait. (Ennek ellenére jelenleg nincs semmiféle lehetőségünk arra, hogy ezeket a hatásokat mennyiségileg is mérni tudjuk. A védekezés fizikai eredményességének *bizonyítása* is csak közvetett utakon — pl. a radar-jellemzők és a jégesők talajfelszíni fizikai jellegzetességeinek egymásutáni méréséből származó összefüggések felderítése utján — lehetséges.)

8. A jégesőelhárítás folyamatábrája

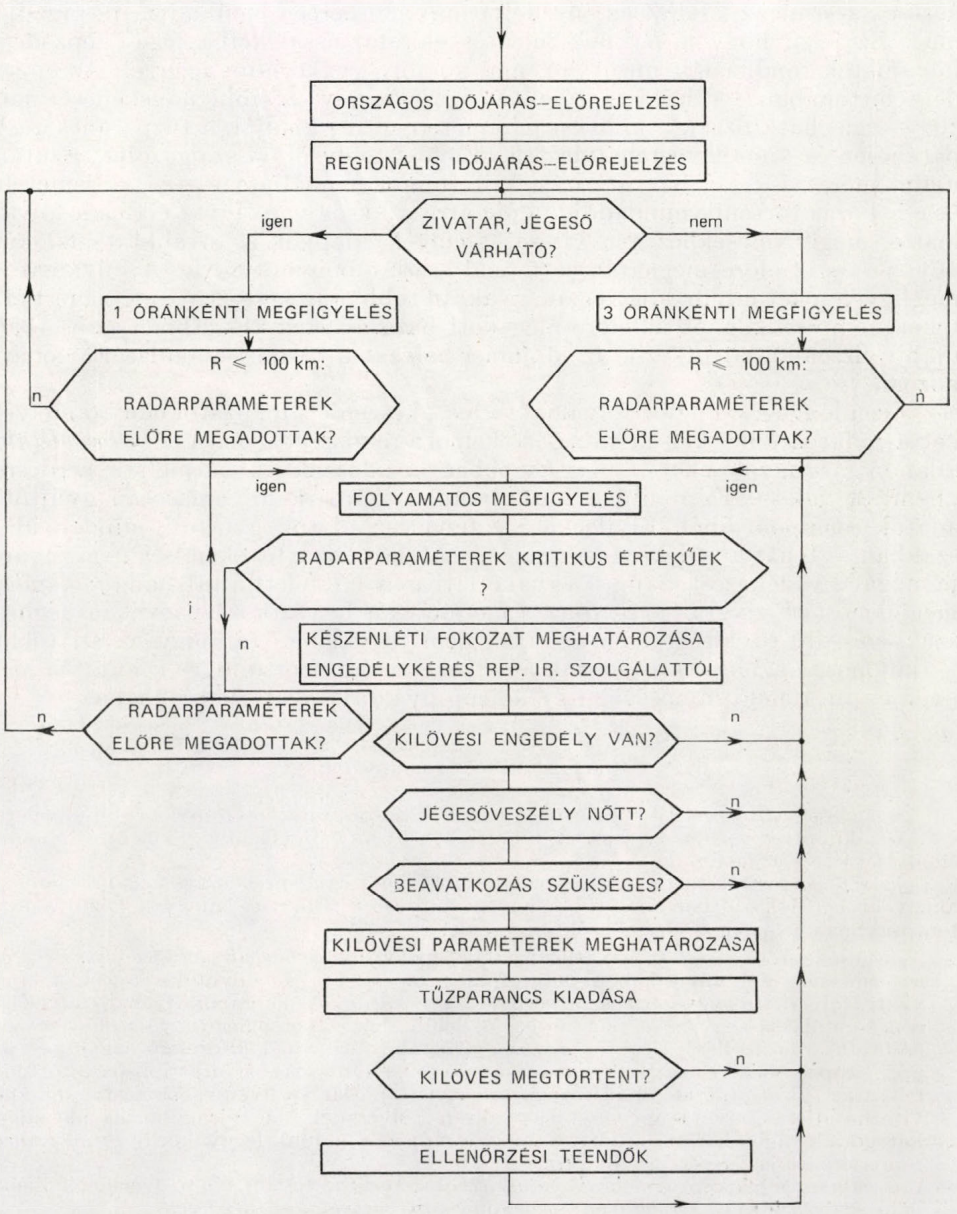
A védekezés ismertetett fő mozzanatai beleépülnek egy olyan, pontosan meghatározott és rutinszerűen végzett tevékenységi láncba, amelynek összefüggéseit, ill. áttekintő képét *folyamatábránkon (8. ábra)* mutatjuk be. Itt a szokott módon a téglalapok feltétel nélküli tevékenységeket, a rombuszok pedig objektív, előre meghatározott kritériumok szerinti döntéseket jelölnek (*Kőhegyi*, 1977.). A gyakorlatban ez úgy történik, hogy minden tevékenységet: a regionális előrejelzést, a radarmegfigyeléseket és ezek regisztrálását, a rakéták felbocsátásának szabályait, vagyis a beavatkozások paramétereinek meghatározását, a parancsok továbbításának és végrehajtásának módját stb. speciális, az adott feladatkörre vonatkozó, általunk készített kötelező érvényű UTASÍTÁS-ok szabályoznak. (Ezek természetesen az előzőkben ismertetettnél részletesebben határozzák meg az egyes munkakörökre előírt feladatokat és a döntési feltételeket.)

A folyamatábra lényeges ciklusai a következők:

A Központi Előrejelző Intézetben készülő országos időjárás-előrejelzésen alapuló és speciális módszerekkel kiegészített regionális célprognózis (*Wirth* et. al., 1977) ad választ a „Zivatar, jégeső várható?" kérdésre. Ez meghatározza, hogy a *VP* szakemberei milyen időközönként végezzék a radarmegfigyeléseket. „*Nem várható*" válasz esetén a megfigyeléseket 3 óránként, „*igen*" esetén 1 óránként kell végrehajtani. A megfigyelések ciklusa a lokátormérések eredményétől függően is megváltozhat. A radarparaméterek bizonyos, előre

megadott értékeinél a háromórás, ill. az egyórás megfigyeléseket a *folyamatos mérések* váltják fel. Ezek a paraméter-értékek tulajdonképpen a 100 km-es körzeten belül észlelt csapadékképződési folyamatok tendenciáira vagy intenzitására (pl. a felhőfejlődés hevességére, frontok közeledésére stb.) nézve nyújtanak tájékoztatást.

A folyamatos megfigyelések során különös figyelmet fordítanak azokra a



8. ábra – Fig. 8: A jégesőelhárítás folyamatábrája (magyarázat a szövegben)
Flow diagram of the hail prevention (see text for details)

felhőképződményekre, amelyek a *VT*-en belül fejlődnek ki (vagy azt megközelítik). Ilyen esetekben a mérés „léptéke" 50 km, ezen a távolságon belül lehetséges ui. a csapadékzónák radar-jellemzőinek a szükséges pontossággal történő meghatározása. A rakéták felbocsátása előtt biztosítani kell a *VT* légterét, pontosabban: le kell szállítani (vagy vissza kell irányítani) az abban tartózkodó (vagy azt megközelítő) repülőgépeket. E feladatot — a *VP* kérésére — a budapesti repülésirányító központ (ERISZ) végzi el. A fennálló rendelkezések szerint az ERISZ az engedélyt max. 30 percen belül adja, ill. tagadja meg. Ez jelzi, hogy a *BV*-nek jelentős előretartással kell a jégesőképződési folyamatok tendenciáit megítélni, ami komoly gyakorlatot igényel. Az engedély birtokában, — ha a mérések a jégesőveszély további növekedését jelzik —, meghatározzák a kilövési paramétereket és kiadják a tűzparancsot. A parancsot és annak végrehajtását a kilövőszemélyzet visszaigazolja. Ezután újabb mérés és — a beavatkozási kritériumok fennállása esetén — ismételt beavatkozás történik mindaddig, amíg arra szükség van. Így a ciklus a folyamatos megfigyelésekhez tér vissza, amelyek alapján a további teendőket ugyancsak az előre meghatározott rend szerint bonyolítják le. A folyamatos megfigyeléseket mindaddig végzik, gyakran több órán keresztül, míg a mért értékek nem csökkennek az előre megadott határértékek alá. Ebben az esetben újabb vizsgálat következik az időjárási helyzet általános alakulására vonatkozóan.

Igen lényeges, hogy a folyamatábra a „készenléti fokozatokban" (amelyeket a radarparaméterek kritikus értékeinél a rendszer számára *el kell rendelni)* állandó megfigyeléseket ír elő, ha ebben az időszakban bármelyik kérdésre „nem" a válasz. Ez döntő a kutatómunka számára folyamatosan gyűjtött adatok szempontjából. Elvileg a megfigyelési adatok gyűjtése minden időszakban — tehát a védekezés során is — kötelező, ha e tevékenység nem zavarja magát a védekezést. Sajnos, a gyakorlatban a *VT* felett általában *egyidejűleg* megjelenő *több* zivatargóc („zóna") mérése és a beavatkozási tevékenységhez szükséges idő rövidsége igen gyakran nem teszi lehetővé, hogy az adatokat — különösen azokról a gócokról, amelyeket módosítottunk — a kutatás igényeinek megfelelő minőségben és főképp gyakorisággal szerezzük be.

9. A védekezés nehézségei

A jégesőelhárítás végrehajtása során legalább háromfajta, úgymint: *a)* elvi-elméleti, *b)* műszaki-operatív és *c)* szubjektív hibaforrás, ill. hiba figyelembe vételére és gondos elemzésére van szükség.

Az *a)* csoportba tartoznak az ismereteink hiányosságaiból származó problémák, amelyekről a dolgozatban már több helyen említést tettünk, és amelyek közül a legfontosabbnak jelenleg a következők látszanak:

- A jégesőképződést és a beavatkozási koncepciót illető *modell* túlságos *egyszerűsége* a természetes folyamatok bonyolultságához képest. Ezt a bonyolultságot pl. a konvektív folyamatok egyszerű osztályozásával igyekszünk csökkenteni. Ilyen osztályozást reprezentál az „egycellás" (légtömegen belüli, hőzivatar jellegű), valamint a már említett „multicellás" (frontokhoz, vagy instabilitási vonalakhoz kapcsolódó) és az ún. „szupercellás" (hosszú ideig fennmaradó és igen intenzív) zivatartípusokra történő felosztás *(Browning* et. al., 1976; *Marwitz,* 1972). Bár az ilyen csoportosítás haszna vitathatatlan, a valóságos esetek gyakran „elvesznek" a túlságosan is általános kategóriák tágas keretei között. Sajnos, ez éppen a nálunk leggyakoribb, multicellás rendszerekre érvényes megállapítás.
- A mesterséges jégképző *magvak hatásmechanizmusára,* továbbá a reagens felhőben való *szétterjedésének mechanizmusára* vonatkozó *megoldatlan* kérdések.
- A „direkt" *magvasítás* végrehajtásával kapcsolatos alapkérdésekre: a bejuttatás *időpontjára, helyére* és a *magkoncentrációra* adott válaszok egzakt voltának hiánya.

– Azoknak a mérési, ill. megfigyelési *módszerek*nek a *hiánya*, amelyek segítségével a *beavatkozások* közvetlen *hatásait mérni* tudnánk. (Ez annak ellenére érvényes megállapítás, hogy több esetben – bár korántsem általában – a radarjellegzetességek időbeli menete világosan mutat különböző változásokat, amelyek a felhőben *magvasítás után* következnek be, azonban e változások pontos leírása, ill. a mennyiségi összefüggések feltárása, – ha egyáltalán lehetséges –, mindeddig még nem történt meg.)

A *b)* csoportba tartozó legegyszerűbb nehézségeket: a meghibásodásokat a *II. táblázat*ban foglaltuk össze; ezek közül természetesen a teljes rendszer kiesését eredményező hibák a legjelentősebbek.

A radar meghibásodása 1982-ig – az MRL-5 típusú lokátor üzembeállításáig – a teljes védekezés azonnali megszünésével járt. Ma ez a veszély már nem fenyeget; az új *RJE*-eket – a Bács megyeit is – 100%-os radartartalékkal tervezzük.

Az egy-egy állomás időleges kiesését okozó érdekesebb hibák közül megemlítjük a sikertelen rakétaindítás után előírt 10 perces várakozási időt; a rakéta eltávolítását és újabb rakéta indítását csak ezután lehet kezdeményezni. (Ez a hiba egyébként meglehetősen gyakran előfordul.)

Műszaki jellegű nehézséget képvisel a kb. 5 cm-nél kisebb hullámhosszúságú radrajelek elnyelődése a csapadékrészecskéken. Ez a hullámhossztól függő jelenség lényegében a részecskék energia-abszorpciójának és a sugárzás szórásának összegéből adódik. Kiszámítása elvileg gömbalakú részecskékre, ill. forgási ellipszoidokra egyaránt lehetséges (pl. *Gossard* és *Strauch*, 1983). A 3,2 cm-es hullámhosszon az elnyelődés pl. 16 mm/h-s záporszerű csapadékban elérheti a 0,3 dB/km értéket. Ez a csapadékzónák valódi képének torzulását idézi elő a radarernyőn; egyes lehetséges következményeivel a szubjektív hibákról szóló részben foglalkozunk.

II. TÁBLÁZAT

	Kiesés	
	Teljes rendszer	1–1 lomás
ERISZ engedély	+	.
Radar (1982-ig)	+	.
Központi URH	+	.
URH	.	+
Kilövő állvány	.	+
Rakéta	.	+
Gépkocsi*	.	+

* A gépkocsik meghibásodásának egyéb problémáit pl. a személyzet szállításának akadályoztatása jelentheti stb.

Döntően fontos operatív probléma a *VT* felett egyidejűleg megjelenő 3–6 (esetleg több) jégesőveszélyes góc paramétereinek mérése és a rákövetkező beavatkozások végrehajtása. Mivel mind a mérés, mind az adatrögzítés manuálisan történik, az időigény jelentős (egy-két perc/zóna); ezt esetenként megnövelik a tűzparanccsal kapcsolatos tevékenységek. A mérés továbbá bizonyos mértékig függ az operátortól, valamint a felhő sajátosságaitól. Mivel a záporszerű csapadékok, ill. jégesők képződése az első radarvisszhang megjelenése után 5–15 percen belül lejátszódhat, ez azt jelenti, hogy több cél esetében szelektálást, ill. elhanyagolásokat kell végezni: vagy egy-egy fontosabb zóna a szükségesnél csak ritkábban figyelhető meg. Mindennek következményei egyediek és a szubjektív hibák csoportjával érintkeznek. Ezt a nehézséget csakis *műszaki fejlesztéssel*, elsősorban *számítógépnek a radarhoz történő kapcsolásával*, vagyis a mérési-döntési folyamat részleges vagy teljes automatizálásával lehet megoldani.

A védekezés operatív lebonyolításával kapcsolatban csak futólag említjük azokat a gondokat, amelyek az egyes tevékenységi köröket szabályozó felsőbbszintű rendeletek és az ezek alapján, továbbá a szovjet tapasztalatokat figyelembe véve készült belső utasítások végrehajtása során felmerülnek.

A *RJE*-k szervezésénél általánosságban is számos egyéb operatív probléma jelentkezik: pl. a kilövőállomások helyszínének a rakéták műszaki jellemzőivel kapcsolatban álló kijelölése, a rakéták honosítási eljárása, a tiltott zónák meghatározása, a rakéták alkalmazása stb. Mindezek kihatnak a *VT* nagyságára és ezen keresztül a gazdasági eredményekre is.

A szubjektív hibák *c)* csoportjába tartoznak:

– A helyzet nem megfelelő értékeléséből származó első-, és másodfajú hibák (vagyis a védekezés elmulasztása „a jégeső várható" jelzések esetében, ill. a fölösleges védekezés); az ilyen jellegű hibák gyakran a „veszélyes" esetben gyors döntést hozó *BV* kényszerhelyzetére vezethetők vissza.
– Az „egyszerű" tévedések, ill. mulasztások, amelyek figyelmetlenségből, fegyelmezetlenségből, vagy egyéb okokból következnek be (és mindig be is következhetnek, lásd: „Murphy törvénye").

– Végül az első és második típusú elvi, ill. műszaki nehézségekből eredő azon hibák, amelyek a megfigyelési, beavatkozási, döntési folyamat hiányosságaival kapcsolatosak. Emiatt – és gyakorlati tapasztalatai alapján – a *BV* sokszor kényszerül egyéni döntésekre. Az ilyen szituációkat az alábbi példákkal illusztráljuk.

A radarkép interpretálásával (a szinoptikus térkép analízéséhez hasonlóan) lehetőség van különböző magyarázatokra és ennek megfelelően eltérő következtetések levonására is. Ez pl. abban nyilvánulhat meg, hogy a *BV* a magvasítási kritériumot „önkényesen" megváltoztatja: nevezetesen a kritikusnál kisebb paraméter-értékek esetén is tűzparancsot ad. A magyarázat egyszerű lehet, többek között az, hogy tudja: az elnyelődés deformálja a radarernyőn megjelenő csapadékzónák képét, a visszhang intenzitását stb.

Önálló döntést igényel a következő, ugyancsak eljárásbeli határozatlanság is. A szükséges reagens-koncentráció létrehozására vonatkozó „ökölszabály" szerint az adott reflektivitású zóna minden km²-ére (a vízszintes síkban) 60 – 120 g hatóanyagot kell bevinni. A zivatarfelhő fejlődése során azonban (eleinte) a zóna paraméterei – így a *Z* reflektivitási tényező, valamint ennek gradiense – is növekszenek. Ez azzal jár, hogy a kritikus echo-kontur mérete (területe) csökken, amit a reagens mennyiségének csökkentésével kellene figyelembe venni. A gyakorlatban ennek az ellenkezője történik: az intenzív fejlődés időszakában lövés-lövést követ, hiszen a jégesőveszély nyilvánvalóan szintén növekszik. A szubjektivitás ilyenkor a rakéták felbocsátási frekvenciájának és trajektóriáinak kiválasztásában mutatkozhat meg. Mivel az így elkövetett hibák gazdasági következményei esetenként súlyosak lehetnek, kívánatos lenne, ha a jelenlegi rendszerrel szemben a *BV*-k önálló tevékenységére a szovjet gyakorlathoz hasonlóan csak kétéves tanulási időszak után kerülne sor.

Mindezek mutatják, hogy a szubjektív elemek – amelyek kiküszöbölése még gondos és időben folyamatos ellenőrzés, ill. az ellenőrzés tapasztalatainak állandó elemzése esetén is igen nehéz – legalább kettős negatív következménnyel járnak: egyrészt ronthatják az eredményeket, másrészt ellenőrizhetetlen hibákat vihetnek bele az adatokba, rajtuk keresztül a döntési folyamatba, mindezeken át pedig az eredmények objektív értékelésébe.

Összefoglalásul megjegyezzük, hogy a legfontosabb hibaforrások felsorolása nem azért történik, hogy ezzel igazoljuk a bekövetkezett balsikereket és a védekezés átlagos hatékonyságát. (Bár kétségtelen, hogy konkrét esetekben mindezek reális, vagy reálisnak tűnő hivatkozási alapot jelentenek.) Személyes tapasztalatok alapján is úgy véljük, hogy hasonló típusú – bár kisebb mértékű – nehézségek és hibák a sokkal jobban szervezett, műszakilag összehasonlíthatatlanul jobban felszerelt és tegyük hozzá, jóval fegyelmezettebben dolgozó szovjet expedíciókban is előfordulnak. Ha célunk ez lenne, akkor nem tennénk mást, mint elődeink, akik a viharágyúzás hatásaira esküdvén, a sikert – vagyis a jég elmaradását –, *mindig* a védekezés hatásainak tulajdonították, a jégverést viszont, műszaki vagy egyéb hibákra való hivatkozással, ugyancsak *mindig* meg tudták „magyarázni" *(Beck*, 1978.).

Ellenkezőleg, az a véleményünk, hogy a hibaforrások felderítése és rangsorolása, továbbá a *hibák* lehető legrészletesebb *elemzése az eredmények javításának nélkülözhetetlen föltétele*. Ezt a megállapítást elsősorban az elméleti hiányosságokra tekintjük érvényesnek, ami azt jelenti, hogy: '

– mivel ismereteink jelentős fejlődése e „kísérleti meteorológiai" területen csupán a *sokoldalú* megfigyelések adatanyaga alapján várható a közeljövőben (lévén maga a jelenség is rendkívül komplex), és
– mivel ilyen adatanyagot csakis megfelelő, *saját* műszaki bázison lehet beszerezni és elemezni, ezért

a jégeső elleni védekezés témakörében a legfontosabb és hosszabb távon sokszorosan visszatérülő teendő az ismereteink fejlesztését biztosító feltételek mgteremtése. Emellett, bár nem elhanyagolható, csak másodlagos jelentőségű (mert igazán döntő javulást nem eredményezhet) a szervezési, vagy szubjektív hibák csökkentésére irányuló törekvés. Ezt a megálapítást a baranyai károknak az utóbbi 6 évben kimutatható viszonylagos állandósága *(Wirth* et al., 1984) is igazolni látszik. Ugyanakkor meg kell állapítanunk, hogy az operatív tevékenységben is bizonyosan rejlenek még tartalékok. Ezeket pl. olyan típusú vizsgálattal lehetne föltárni, amely a várható kár és a várható megtakarítás optimális kombinációját a rakétákra fordított kiadások figyelembevételével adná meg. Könnyen elképzelhető ui. (és 1983-ban elő is fordult) olyan védekezési séma, amely a túlnagy rakétafelhasználás miatt már nem tekinthető gazdaságosnak.

Gondolatmenetünk segítségével a jégesőelhárítás nehézségeinek belső logikai összefüggését is érzékeltetni kívántuk, egyidejűleg rámutatva a döntő kérdésekre. Elfogadása – a gazdasági eredményeket is figyelembe véve (*Wirth* et. al., 1984) – ugyanakkor fontos következtetésekre vezet a védekezés hazai perspektíváinak kijelölésében.

10. Perspektívák

A több évvel ezelőtt készített középtávú tervek szerint, amelyek a kísérleti időszak sikeres befejezésekor a védekezés megerősítésére és kiterjesztésére vonatkozó minisztertanácsi határozat idején készültek, a kilencvenes évekig legalább 3–4 újabb jégesőelhárító egységet kell megszervezni várhatóan Bács-Kiskun, Heves és Szabolcs-Szatmár megyékben.

A Bács megyei védekezés megindítása ma már eldöntött kérdés: a beruházás 1983-ban megindult. A 2. számú RJE teljes üzembehelyezése 1985-re várható.

A további egységek létrehozásáról kormányzatunk valószínűleg csak az 1985–88 közötti időszakban határoz. Ehhez nyilvánvalóan a felhalmozott tapasztalatok elemzése szükséges. Ezek szakmai és gazdasági összetevőkre bonthatók. Vegyük szemügyre előbb a szakmai oldalt.

A kísérleti és elméleti bizonyítékok alapján kétségtelennek látszik, hogy a túlhűlt, konvektív felhők bizonyos tartományainak magvasítása az időjárásmódosítás (korlátozott tér- és időléptékű) lehetőségét kínálja. A változások azonban – amelyeket a védekezési koncepció alapján a reagens részecskéivel létrehozott járulékos jégeső-embriók révén idézünk elő a csapadékképződés folyamatában – ma még közvetlenül nem mérhetők. Ezért eljárásunk hasonlít bizonyos gyógyszerek adagolásához, amelyek kedvező hatása ugyan (legalábbis egyes esetekben) nyilvánvalónak tűnik, de amelyek hatásmechanizmusa ma még nem ismeretes. A hasonlat továbbvihető: a túlságosan kevés, vagy rossz időpontban alkalmazott orvosság hatástalan, a túl nagy adagokban alkalmazott pedig mérgező lehet (pl. MC-nál csökkentheti az esetleg égetően fontos csapadék mennyiségét, SC-nál növelheti a kieső jégtömeget!). A jégesőelhárítás e paradoxonjára (*Atlas*, 1977) korábban már utaltunk.

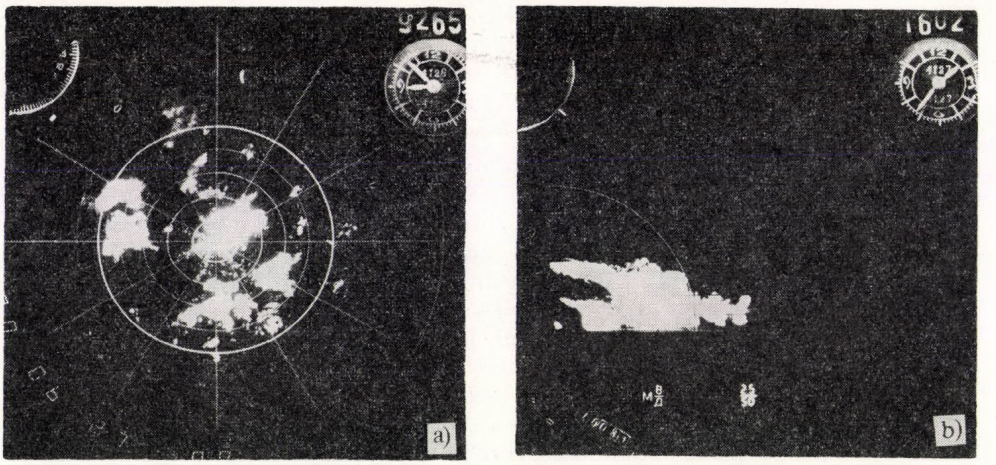
Tekintsük most a gazdasági összetevőt. Itt egy másik, ugyancsak kétségtelen tényt rögzíthetünk. Nevezetesen azt, hogy mind a nagy területen hosszú idő óta folytatott szovjet jégesőelhárítás publikált eredményei, mind pedig saját, hétéves védekezési tevékenységünk elemzése egyaránt a közvetett, vagyis gazdasági hatások „kívánt" irányába: a jégkárok csökkenésének irányába mutatnak. Saját adataink alapján (*Wirth* et. al., 1984) e csökkenést szignifikánsnak – bár a kiemelkedően jónak mondható szovjet eredményeknél 30–50%-kal gyengébbnek – tekinthetjük. Ez az eredmény azonban új. A gazdasági vezetés tulajdonképpen a hároméves kísérleti időszak egyszerű számításai alapján kényszerült hosszabbtávú következtetések levonására. Mindezek a jégeső elleni védekezés gyors kiterjesztésének gazdasági kényszerét hangsúlyozzák. Ezenkívül ma már nemcsak a szakmai közvélemény, hanem a tágabb – elsősorban az érdekelt mezőgazdasági és pénzügyi – körök is lényegében problémamentes, egyszerű „termelői" tevékenységnek tekintik a jégeső elleni védekezést. Ez – sajnos – olyan tévedés, amelynek ugyancsak kellemetlen gazdasági kihatásai lehetnek. Az eddigi tapasztalatok szerint ui. a védekezés költségei gyorsabb ütemben nőnek, mint az elért megtakarítás; és ez különösen szembetűnővé válik az újabb jégesőelhárító rendszerek létesítésekor. A helyzet így félelmetesen hasonló a nyolc évtizeddel ezelőttihez, amikor a

gazdasági érdekek a viharágyúzás robbanásszerű elterjedéséhez, majd sokkal kevésbé látványos elmúlásához vezettek. Ennek tanulságait feltétlenül le kell vonnunk és — a szakma és a takarékosság érdekében — nem szabad megengedni, hogy e döntő kérdések háttérbe szoruljanak.

Véleményünk szerint tehát — a jelenlegi helyzet realitásait figyelembe véve — *szakmailag* az a szükséges és egyetlen lehetséges következtetés, hogy a továbbiakban figyelmünket és erőinket elsősorban a *minőségi* és a nem mennyiségi fejlesztésre fordítsuk. Ennek keretében a lehető legjobban ki kell használnunk azokat a technikai és személyi adottságokat, amelyek a két, egymás mellett elhelyezkedő és egymás munkáját támogató RJE-ben rejlenek; továbbá mindent el kell követnünk a megfigyelési-döntési folyamat automatizálásának kialakítására. Ez utóbbi az eljárás tökéletesítését jelenti — az elemző munka megjavítása és a szubjektívitás kiküszöbölése révén — egyben az eredmények javításának feltétele, így alapvető gazdasági érdek is.

*

Nincs helyünk mindazok nevét felsorolni, akik szolgálatunktól, a mintegy 12 éves szakmai-szervezési, majd a hétéves operatív munkában részt vállaltak. A külső támogatók száma sem csekély, közülük mégis kiemelésre kívánkozik a védekezést finanszírozó Állami Biztosító; valamint a Baranya megyei Tanács részéről Dr. Földvári János általános elnökhelyettes, akinek 1968 óta tartó sokoldalú támogatását mind az előkészítés, mind a megvalósítás szakaszában folyamatosan érzékelhettük; tevékenységükért ezúton mondunk köszönetet.



9. ábra — Fig. 9: Konvektív felhők vízszintes *(a)* és függőleges *(b)* metszetű képe a 3,2 cm-es radar ernyőjén; *a)* a koncentrikus körök távolsága 10 km; a jobb felső sarokban a fotó sorszáma és az idő, a bal felsőben az antenna magassági szöge, bal oldalt lenn a dátum és a dB-ben mért csillapítás értéke; az ábra sporadikus eloszlású, nagyobb zivatarfelhőket és kisebb, konvektív cellákat mutat; *b)* a jelölések hasonlók az *a*-hoz, az ábra közepén, alul látható a 25/50 a magassági-távolsági lépték, km-ben; az individuális zivatarfelhő vertikális metszetének radarképe szerint közel 10 km magasságig nyúlik föl, a felső szinteken a szélnyírás hatása, az ábra jobb oldalán az új cellák képződése figyelhető meg

Horizontal (a) and vertical (b) sections of convective clouds on 3.2 cm radar screen

FÜGGELÉK

A fontosabb műszaki berendezések leírása

Az MRL-1E típusú, általános meteorológiai célokra *készült* radar főbb műszaki jellemzőit *III. táblázatunk* tartalmazza. A beavatkozásoknál alkalmazott 50 km-es távolsági léptéknél a radarparaméterek, még a szükséges pontossággal mérhetők mind a PPI, mind az RHI üzemmódoknál. A beépített csillapító lehetővé teszi a gyengébb jelek fokozatos elnyomását, egészen 72 dB-ig. A radarantenna kézi és automatikus üzemmódban is vezérelhető (mindkét síkban), kiválasztott oldal-, vagy magassági szögek között is. A radarernyőkön megjelenő kép gombnyomásra lefényképezhető. *(9. ábra)*

III. TÁBLÁZAT

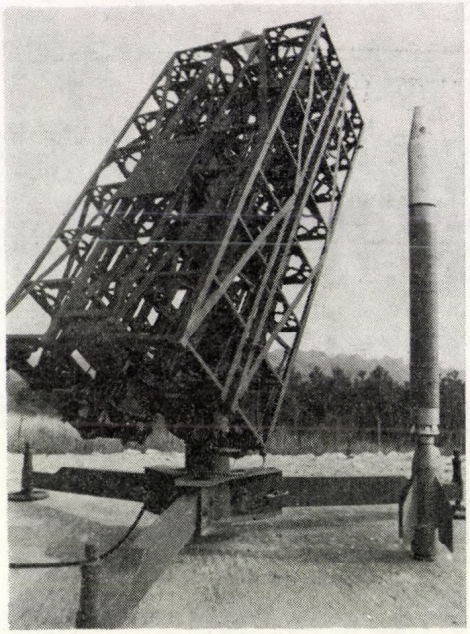
A baranyai jégesőelhárításban alkalmazott radarok (A) és szovjet rakéták (B) fontosabb műszaki jellemzői (Rukovodsztvo, *1980)*

A) Radarok	MRL – 1	MRL-5 I. csat.	MRL-5 II. csat.
Hullámhossz, cm	3,2	3,2	10,3
Impulzus-teljesítmény, kW	210	250	850
Ismétlődési frekvencia, us	1;2	1;2	1;2
Vevőérzékenység, db/W	128	134	136
Apertura-felület, m^2	7	16	16
Antenna-átmérő, m	3	4,5	4,5
Iránykategória, °-ban	0,74	0,5	1,5

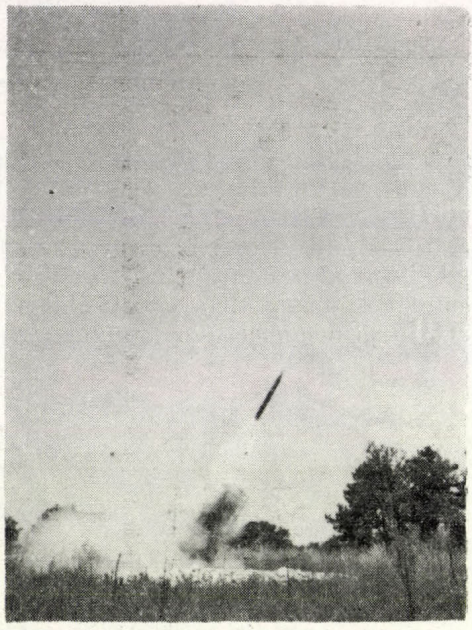
B) Rakéták	OBLAKO	PGI-M
Kaliber, mm	125	82,5
Tömeg, kg	35	3,1
Hosszúság, mm	2163	421
Maximális emelkedési magasság, m	7900	4100
Maximális hatótávolság, m	10200	5100
Effektív hatótávolság, m	8000	1000
Reagens tömeg, g	3770	615
Reagens égési idő, s	max. 45	20

Az ügyeletes rakétakilövők az indítóhelyen veszik az adatokat, majd beállítják az indítóállványokat, és az utasításnak megfelelően (korábban robbantógéppel, 1980-tól akkumulátoros gyújtással) indítják a rakétákat. Kétféle – *Oblako* és PGI-M típusú – rakétákat alkalmazunk *(lásd II. táblázatot)*. Szovjet adatok szerint (*Rukovodsztvo*, 1980) a fajlagos jégmaghozam: 10^{13} részecske grammonként, -10 °C-os hőmérsékletnél. A kilövőállomások fölött, vagy közvetlen közelükben levő zivatargócoknál a kisebb (PGI-M) rakétát kell használni. Az *Oblako* működése után a farokrészben elhelyezett teherernyővel, kb. $6-7$ ms^{-1} sebességgel ereszkedik le a földfelszínre; a kisebb rakétát a pirotechnikai keverék elégetése után detonátortöltet robbantja szét veszélytelen méretű darabokra. (A kilövőállványt és az *Oblako* rakétát, valamint ennek indítását a *10 – 11. ábrán* láthatjuk.)

1978-ban üzembe helyeztünk egy URH-rádióval felszerelt mérőkocsit azzal a feladattal, hogy mintát vegyen a kihulló jégszemekből. A kocsiba



10. ábra – Fig. 10: Oblako rakéta és kilövőállványa — *Oblako rocket and its launcher*



11. ábra – Fig. 11: Oblako rakéta indítása *Launching of the Oblako rocket*

saját munkatársaink által kifejlesztett szélirány- és sebességmérőt, valamint platina ellenálláshőmérő-egységet építettünk be; a mérési adatokat mágnesszalagon, automatikusan rotáltuk. A kocsi berendezéséhez filmfelvevő, fényképezőgép és kazettás magnetofon tartozott (a meteorológiai észlelések rögzítésére). Az 1979-ben szerzett tapasztalatok, majd szervezési nehézségek miatt a kocsit ma már csak az indikátorok szervizelésére, ill. kárfelmérésekre használjuk.

IRODALOM

Ambrózy, P. (szerk.), 1967: A jégesőelhárítás kérdései Magyarországon. A MMT és az ÁB XIII. Vándorgyűlésén elhangzott előadások és hozzászólások. Budapest, MTESZ Nyomda, 119 old.

Abshaev, M. T., and Kartsivadze A. I., 1973: Radar methods and equipment for hail suppression. Proceedings of the WMO/IAMAP Scientific Conference on Weather Modification, WMO No. 399. 343–352.

Atlas, D., 1977: The Paradox of Hail Suppression. *Science, 195*, 139–145.

Bálint, Gy., 1967: Jégkárok a mezőgazdaságban. MMT-ÁB közös, XIII. Vándorgyűlésén elhangzott előadások. Budapest. 81–91 old.

Bálint Gy., Csaplak A., Czakó F. és Wirth E., 1969: Tervezet a jégesőelhárítási kísérletek előkészítésére. OMFB koncepció-tervezet, Budapest, 79. old.

Bálint Gy. és Wirth E., 1470: Jégesők Magyarországon és a jégesőelhárítás lehetőségei. *Kertgazdaság*, 3. No. 2. 49–67. old.

Bartisvili, I. T. – Bartisvili, G. Sz. – Gudusauri, S. L. – Lominadze, V. P. – Civcavsvili, S. I. – Smerling, I. Sz., 1970: Rezultatü Protivogradovüh Rabot, Provogyimüh Po metodu ZakNIGMI. Trudü VIII. Vszeszojuznoj Konferencii Po Fizike Oblakov i. Aktivnüm Vozgyejsztijam, Gidrometeoizdat, Leningrad, 500–507.

Battan, L. J., 1965: A view of cloud physics and weather modification in the Soviet Union. *Bull. Am. Met. Soc. 46*, 309–316.

Battan, L. J., 1969: Weather Modification in the U.S.S.R.–1969. *Bull. Am. Met. Soc. 50*, 924–945.

Battan, L. J., 1977: Weather Modofication in the Soviet Union – 1976. *Bull. Am. Met. Soc. 58*, 4–19.

Battan, L. J., 1979: Fundamentals of Meteorology, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 322 old.

Beck, M., 1978: Tudomány-általudomány. Akadémiai kiadó, Budapest 165. oldal.

Bergeron, T., 1935: On the physics of cloud and precipitation. Proc. 5th. Assembly U.G.G.I. Lisbon, Vol. 2. p. 156.

Borland, S. W., 1977: Hail suppression: Progress in Assessing its Costs and Benefits. Hail: A Review of hail Science and Hail Suppression. Ed.s: Foot, G. B. and Knight, C. A. Met. Mon. Vol. 16. No. 38., pp 155–175.

Borovikov, A. M. – Doreuli, R. J. – Karcivadze, A. I. – Kostarev, V. V. – Lapinskas, B. A. – Salukvadze, T. G., 1967: Radiolokacionnüje harakterisztiki gradovüh oblakov. Fizika oblakov. Izd. Mecniereba, Tbilisi.

Browning, K. A., 1962: Cellular structure of convective storms. *Met. Mag. 91*, 341–350.

Browning, K. A., 1964: Airfloun and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the wind. *J. Atmos. Sci. 22.* 664–668.

Browning, K. A. and Foote, G. B., 1976: Air flow and hail growth in supercell storms and some implications

for hail suppression *Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 102.* 499–533.

Browning, K. A., Frankhauser, J. C., Chalon, J. P., Eccless, P. S., Strauch, R. C., Herrem, F. H., Musil, D. J., May, E. L., Sand, W. R., 1976: Structure of an evolving hailstorm. Part. V., *Mon. Wea. Rev. 104.* 603–610.

Burtsev, I. I., 1976: Hail suppression. Papers Presented at the Second WMO Scientific Conference on Weather Modification. Boulder, Colorado, WMO. No. 443. 217–222.

Burtsev, I. I., 1980: Hail suppression activities in the Soviet Union, Papers Presented at the Third WMO Scientific Conference on Weather Modification. Vol. II. 547–554.

Byers, H. R. and Braham, R. R., 1949: The thunderstorm: report of the thunderstorm project. U. S. Govt. Printing Office, Washington.

Changnon, S. A., Jr., 1977: On the Status of Hail Suppression. *Bull. Am. Met. Soc. 58*, 20–28.

Chisholm, A. J. and Renick, J. H., 1972: The kinematics of multicell and supercell Alberta hailstorms, Alberta Hail Studies, Rep. No. 72–2. 24–31.

English, M., 1973: Alberta hailstorms. Part II. Growth of large hail in the storm. Meteor. Monogr., No. 36, 37–98.

Facy, L., L. Merlivat, G. Nief and R. Roth, 1963: The study of formation of hailstones by isotopic analysis, *J. Geophys. Res 68*, 3841–3848.

Federer, B., Waldvogel, A., Schmid, W., Hampel, F., Rosini, E., Vento, D., Admirat, P., and Mezeix, J. F., 1978/79: Plan for the Swiss Randomized Hail Suppression Experiment. Design of Grossversuch IV. *Pageoph 117*, 548–571.

Federer, B., Waldvogel, A., Schmid, W., Hampel, F., Schweingruber, M., Stahel, W., Mezeix, J. F., Doras, N., and Vento, D., 1982: First result of Grossversuch IV. Előadás a szófiai Nemzetközi Felhőfizikai Konferencián.

Földvári J., Kozák B. és Wirth E., 1980: A jégesőelhárítás bevezetése Magyarországon. *Agrártudományi Közlemények 39*, 189–193.

Földvári J. és Wirth E., 1979: Jégesőelhárítás Magyarországon. *Bíranyai megyei Tanács házi nyomdája*, Pécs, 99 old.

Gajvoronszkij, I. I.–Leszkov, V. N.–Voronov, G. SZ., 1967: Iszledovanyija gradovüh processzov v Moldavii. Iszledovanyija po fizike oblakov i. aktivnüm vozgyejsztriam na pagodu. Moszkva. 108–207. old.

Gajvoronszkij, I. I., Szrjogin, J. A., Voronov, G. S., 1968: Investigations of hail processes and their artificial modification in flat regions of the USSR. Proc. of the International Conference on Cloud Physics. Toronto, Canada.

Geresdi I., Zoltán, Cs., Székely, Cs., Molnár K. and Stojanov, S., 1984: A numerical model of hailstone growth. Előadás a IV. Nemzetközi Felhőfizikai Konferenciára, Tallin.

Gossard, E. E., and Strauch, R. G., 1983: Radar Observation of Clear Air and Clouds, Elsevier, Amsterdam 280 old.

Götz, G. és Mészáros E., 1968: A jégesők gyakoriságának területi eloszlása a nyári félévben Magyarországon. *Időjárás, 72.* 46–54.

Iribarne, J. V. and Di Pena, R. G., 1962: The influence of particle concentration on the evolution of hailstones. Verona.

Karcivadze, A. I., 1967: Opüti vozzyejsztrija na gradovüje javlenyija v Alazanszkoj Doline. Fizika oblakov. Izd. Mecniereba. Tbilisi, 190–197.

Langmuir, I., 1948: The Production of Rain By a Chain Reaction in Cumulus Clouds at Temperatures Above Freezing, Journal of Meteorology, Vol. 5, No. 5. 175–192.

List, R., 1977: Ice accretions on structures, *J. Glaciol. 18.* 375–388.

List, R., 1977/a: Reponse ti "The Characteristics of Natural Hailstones and Theri Interpretation": Laboratory Hail Research A Critical Assesment. Met. Mon. Vol. 16. No. 38. 89–91.

List, R., 1979: Cloud physics and weather modification. PEP-report, No. 13. WMO, Geneva. 17–31 pp.

Ludlam, F. H., 1950: The composition of coagulation elements in cumulonimbus. *Quart. J. R. Meteor. Soc.* 76, 52–58.

Ludlam, F. H., 1958: The hail problem. Nubila, Anno I. 12–96.

Ludlam, F. H., 1963: Severe Local Storms: A Review Met. Monographs, Vol. 5. No. 27. 1–30.

Macklin, W. C., 1978: The characteristics of natural hailstones and their interpretation. Met. Mon. No. 38. 65–88.

Marwitz, J. D., 1972: The structure and motion of severe hailstorms. Part.: Supercell storms. *J. Appl. Meteor., 11.* 166–179.
Nubila, Anno V. No. 1. 7–30.

Pruppacher, H. R., and Klett, J. D., 1978: Microphysics of clouds and precipitation. D. Reidel Publ. Comp. Dordrecht, Holland, pp. 714.

Raum Oszkár, 1900: "Casale-Monferrato". Különlenyomat „*Az Időjárás*" 1900. évi január havi füzetéből.

Rukovodsztvo po primenyenyiju radiolokatorov MRL-4, MRL–5 i MRL–6 v szisztеme gradozascsitü. Gidrometizdat, Leningrad, 230 old.

Sávoly, X. F., 1900: A viharágyúzás. Temesvár, 108 oldal.

Schumann, T. E. W., 1938: The theory of hail formation. Q. J.R.M. Soc. 64. 3.

Székely Cs. és Zoltán Cs., 1984: A jégesőindikátor és felhasználásának lehetősége. *Időjárás, 88.* 32–45.

Szulakvelidze, G. K., 1967: Livnyevüje oszadki i grad. Gidrometeoizdat, Leningrad. 412 old.

Vittori, O., 1960: Preliminaly note on the effects of pressure waves upon hailstones. Nubila, Anno, III. No. 1.

Vulfszon, I. I.–Cserenkova, E. P., 1970: Vozgyejsztvije na konvektivnüje oblaka iszkusztvenno szozdannümi nyiszhodjascsimi dvizsenijami. Trudü IPG. vüp. 12., 17–51 old.

Vulfszon, I. I.–Levin, L. M., 1964: Nyiszhodjascsie konvektivnüe potoki. *Dokl. Ak. Nauk. T. 158.* No. 6. 1320–1323.

Vulfszon, I. I.–Levin, L. M., 1968: Razrusenyie razvivajuscsihszja oblakov iszkusztvenno szozdannümi nyiszhodjascsimi potokami. *Dokl. Ak. Nauk, T. 181*, No 4., 855–857.

Vulfszon, I. I.–Levin, L. M., 1972: Razrusenyie razvivajuscsihszja kucsevüh oblakov sz pomoscsju vzrüvov. Izv. AN SzSzSzR. Fizika atmosztferü i okeana, T. 8. No. 2., 156–165. old.

Vulfszon, I. I.–Levin, L. M., 1974: O forme realizácii szpontannüh konvektivnüh dvizsenyij v atmoszfere. Uo. T. 10. No. 4., 344–349. old.

Weickmann, H. K., 1953: Observational data on the formation of precipitation in Cumolonimbus clouds. Thunderstorm Electricity, 66–138.

Weickmann, H. K., 1963: A Realistic Appraisal of Weather Control. *J. App. Mathematics and Physics, 14*, 528–543.

Wirth, E., 1969: Jégesőképződési elméletek és megelőzési módszerek a Szovjetunióban. *Időjárás, 73.* 99–108.

Wirth, E., 1976: Jégesők szerkezetének vizsgálata. *Időjárás, 80.* 202–210.

Wirth, E., 1980: A jégesőelhárítás kérdései. MTA X. Oszt. Közl. 13/2–4, 177–198.

Wirth E. és Bónis K., 1971: A légköri jégkristályok keletkezése. *Fizikai Szemle, XXI/5.* szám.

Wirth E., Mirkó T. és Sövér F., 1984: A jégeső elhárítás értékelése: fizikai hatások és gazdasági következmények. *Időjárás, 88.* 3–20

Wirth E., Polgár E., Szentiványi M. és Győre S., 1977: Szovjet jégesőelőrejelzési módszerek magyarországi alkalmazásának tapasztalatai: Előadás a MMT XIV. Vándorgyűlésén, Pécs.

Wirth, E.–Zoltán, Cs., 1979: Pervüe ekszperimentü i rezultatü izmerenij sz pomostyu indikatorov grada v Vengrii. Összövetségi felhőfizikai és felhőmódosítási konferencia. Nalcsik.

Young, K. C., 1977: A Numerical Examination of Some Hail Suppression Concepts. Meteor. Monogr., Vol. 16. No. 38. 195–214.

Zutszpina, L. P., Zontov, L. B., Ivanov, A. A. and Seregin Yu, A., 1980: Use for a dymic method in modification experiments to quench cumulonimbus activity. Third WMO Scientific Conference on Weather Modification. Clermont-Ferrand Vol. 1. 349–354.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 2. szám, 1984. március–április
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 2. March–Apr. 1984. Budapest

Evapotranspiration values obtained from planting patterns and their relationship with empirical estimates based on climatological approach

ANAND REDDY, K., *Department of Agronomy, Andhra Pradesh Agricultural University, Hyderabad-500030; and* JAIN, T.C. *Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, India*

Eltérő vetésszerkezetű parcellák evaportanspirációja és összefüggésük néhány éghajlati módszerrel számított értékkel. Az evapotranspiráció elfogadhatóan pontos becslése csak viszonylag hosszú időszakokra – rendszerint egy évszakra vagy annak egy részére – lehetséges. A kapott értékek felhasználhatók a növény vízigényének megállapításához, az öntözött növény betakarításának tervezéséhez, öntözési tervek kialakításához stb.; a módszer azonban alkalmatlan speciális öntözési programmok kidolgozására. Megállapították, hogy az öntözés mérvének csökkentésével az evapontranspirációs együtthatók is csökkentek. Ez azt jelzi, hogy a növények vízszükségletének klimatológiai módszerekkel végzett becslése csak megfelelő talajnedvesség-szint esetén eredményes. Az ikersoros vetési rendszerben kapott együtthatók feleakkorák voltak, mint a hagyományos vetési módszer esetén kapott értékek. A kád-párolgási módszer egy körüli együtthatókat adott. Öntözési programmok kialakításához a legjobb tájékoztatást a – szerzők szerint – a párolgásmérő kád alkalmazása adja.

⁂

Evapotranspiration values obtained from planting patterns and their relationship with empirical estimates based on climatological approach. Reasonable estimates of evapotranspiration can be made onyl over relatively long periods, lasting usually for a season or a part of it. Information thus obtained is useful in assessing corp water requirements, deciding cropping patterns under irrigation, in planning irrigation projects, etc., however, generally it is inadequate for developing specific irrigation schedules. The evapotranspiration coefficients decreased with a decrease in the level of irrigation. This indicates that the climatological approach to estimate the water needs of the crops is effective onyl at adequate soil moisture levels. The coefficients obtained in the paired-row system were about half as compared with the conventional method. The pan evaporation method gave coefficients of about unity. The pan evaporimeter is the best guide for scheduling irrigations.

⁂

Introduction. Evapotranspiration primarily depends on climatic factors. It can be measured directly by the soil moisture depletion method in field experiments. In the absence of data obtained from field experiments, evapotranspiration can be estimated by empirical formulae based on climatological parameters such as temperature, radiation, relative, humidity, wind, etc. A systematic procedure for the estimation of crop water requirements by empirical formulae based on a climatological approach was outlined by *Doorenbos* and *Pruitt* (1977). *Murthy* et al. (1972) developed an empirical formula to estimate the daily potential evapotranspiration by a regression equation using maximum temperature, daily temperature range and extra-terrestrial radiation, and reported an excellent fit over different States in India. The regression equation was originally developed by *Baier* and *Robertson* (1965) and showed a good fit in many States of Canada. Different empirical formulae have been

developed to estimate the potential evapotranspiration. However, most of them have some limitations when used for predicting the evapotranspiration of a crop. Hence there is a need to establish the relationship between actual evapotranspiration values obtained from field experimentation and the empirical estimates based on climatological approach. *Anand Reddy* and *Venkatachari* (1978) reported that the estimates obtained by the regression equation method were very close to field estimates for wheat crop in all dates of seedling. However the methods of Blaney-Criddle and Hargreaves gave higher and lower values, respectively.

1. Materials and methods

The present studies were undertaken at the Andhra Pradesh Agricultural University, Hyderabad, India during the 1979 – 80 and 1980 – 81 *rabi* (winter – rain-free period – irrigated) season. The farm is situated at an altitude of 542.3 m above mean sea level, with geographical bearing of 17°19'N latitude and 79°23'E longitude. The experimental details are given below.

The experiment was laid out in split-plot design replicated four times with three levels of irrigation (IW/CPE ratios of $I_1 = 0.60$, $I_2 = 0.75$ and $I_3 = 0.90$) as main plot treatments and with six treatments of two crops – maize and sorghum, two planting patterns – conventional and paired, and with and without groundnut intercrop in two crops as sub-plot treatments. The depth of water applied (IW) in each irrigation was 50 mm. The sub-plot treatment details are as follows:

1. M-CMI – Maize, conventional method of planting in ridges and furrows of 60×30 cm with irrigation in all furrows.
2. J-CMI – Sorghum, conventional method of planting in ridges and furrows of 60×10 cm with irrigation in all furrows.
3. M-PPi – Maize, paired planting, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs, and 30 cm between plants, with irrigation in planted furrows.
4. J-PPi – Sorghum, paired planting, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs, and 10 cm between plants, with irrigation in planted furrows.
5. M-PPGi – Maize, paired planting, and 2 rows of groundnut (30×10 cm) between pairs, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs, and 30 cm between plants, with irrigation in planted furrows of maize.
6. J-PPGi – Sorghum, paired planting, and 2 rows of groundnut (30×10 cm) between pairs, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs and 10 cm between plants, with irrigation in planted furrows of sorghum.

Based on the results of the first year (1979 – 80), two sub-treatments were modified in the second (1980 – 81), as indicated below:

5. M-PPGi – Maize, paired planting, and 2 rows of groundnut (30×10 cm) between pairs, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs and 30 cm between plants, irrigating both maize- and groundnut-planted furrows.
6. J-PPGi – Sorghum, paired planting, and 2 rows of groundnut (30×10) between pairs, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs and

10 cm between plants, irrigating both sorghum- and groundnut-planted furrows.

Plant population was the same in both planting patterns. The gross and net plot size was 19.8 m^2 and 9.72 m^2 respectively. The rainfall received during the crop growth period was deducted in arriving at the required CPE (Cumulative Pan Evaporation, mm) values for irrigation treatments, and no shower could cause runoff. Further, there was no ground water contribution as the water table varied from 3 to 5 m. Results of the physico-chemical analysis of the experimental site are listed in *Table I.*

TABLE I

Physico-chemical characteristics of the experimental site

Textural composition	*Rating*
Sand	57%
Clay	25%
Silt	18%
Soil type	Sandy clay loam
Single value constants	
Field capacity	13.20%
Wilting coefficient	6.20%
Bulk density	1.65 g cm^{-3}
Hidraulic conductivity	0.92 cm/h
Soil chemical constituents	
Soil pH	7.70 slightly alkaline
Electrical conductivity (1:2 soil water extract)	0.21 m.mho/cm (safe)
Organic carbon	0.46% (low)
Available nitrogen	273 kg/ha (medium)
Available P_2O_5	33 kg/ha (medium)
Available K_2O	287 kg/ha (high)

Date of sowing: 31 10 1979; 11 10 1980
Date of harvesting: 22 2 1980; 4 2 1981

The amounts of rainfall received were 28.1 mm and 22.6 mm, and the number of rainy days was 4 and 2 during the 1979 – 80 and 1980 – 81 period, respectively. The mean maximum temperature ranged from 27.9 °C to 34.4 °C and 25.1 °C to 34.0 °C, and the mean minimum temperature was between 11.9 °C and 19.9 °C and from 10.1 °C to 20.7 °C in the two years, respectively, with an increase from 4th standard week onwards. The relative humidity at 14h varied from 23 to 66% and 22 to 58 %, and the hours of sunshine varied from 5.9 to 10.6 and 4.1 to 10.7. The wind velocity ranged from 3.0 to 7.9 km/h and 3.2 to 7.8 km/h. The daily evaporation recorded by means of a USA Class-I Open Pan Evaporimeter ranged from 2.3 to 7.5 mm and 3.6 to 6.3 mm in the two periods, respectively. In 1979 – 80 the lowest (2.3 mm/day) and highest (7.5 mm/day) values were recorded in the 48th and 8th standard weeks, respectively, while in 1980 – 81 the lowest (3.6 mm/day) value was recorded in the 46th, 52nd and 8th standard weeks, and the highest(6.3 mm/day) value in the 41st week.

The seasonal evapotranspiration computed by the gravimetric method (U) was compared with the empirical estimates based on climatological parameters using the pan evaporation method (P), radiation method (R) and Blaney-Criddle method (B), as suggested by *Doorenbos* and *Pruitt* (1977), the regression equiation method (RE) of *Murthy* et al. (1972), and the pan evaporation (PE_0).

2. Results and discussion

The seasonal evapotranspiration computed by the gravimetric method and empirical estimates based on climatological parameters are presented in *Table II*.

The seasonal consumptive use (Table II) computed by the gravimetric method ranged from 257 to 260 mm (I_1), 264 to 267 and 262 to 263 mm (I_2) and 303 to 307 and 304 to 307 mm (I_3) in case of the in conventional method of planting and irrigation (CMI).

TABLE II

Seasonal evapotranspiration and its relationship with values obtained from empirical estimates based on climatological approach. (U) = Gravimetric method, (P) = Pan evaporation method, (RE) = Regression equation, (R) = Radiation method (B) = Blaney-Criddle method, (PE_o) = Pan evaporation

Treatments	1979–1980 (P) = 290,7; (RE) = 310.9; (R) = 384.6; (B) = 439.0; (PE_o) = 570.4						1980–1981 (P) = 262,7; (RE) = 312.8; (R) = 364.1; (B) = 402.7; (PE_o) = 558.6					
	(U)	U/P	U/RE	U/R	U/B	U/PE_o	(U)	U/P	U/RE	U/R	U/B	U/PE_o
						I_1						
M-CMI	260.49	0.90	0.84	0.68	0.59	0.46	259.82	0.99	0.83	0.71	0.65	0.47 e
J-CMI	257.40	0.89	0.83	0.67	0.59	0.45	257.47	0.98	0.82	0.71	0.64	0.46 e
M-PPi	140.45	0.48	0.45	0.37	0.32	0.25	141.84	0.54	0.45	0.39	0.35	0.25 e
J-PPi	139.38	0.48	0.36	0.36	0.32	0.24	140.23	0.53	0.45	0.39	0.35	0.25 e
M-PPGi	148.33	0.51	0.48	0.39	0.34	0.26	261.38	0.99	0.84	0.72	0.65	0.47 e
J-PPGi	147.93	0.51	0.48	0.38	0.34	0.26	263.03	1.00	0.84	0.72	0.65	0.47 e
						I_2						
M-CMI	267.35	0.92	0.86	0.70	0.61	0.47	263.33	1.00	0.84	0.72	0.65	0.47 e
J-CMI	264.10	0.92	0.85	0.69	0.61	0.46	261.91	1.00	0.84	0.72	0.65	0.47 e
M-PPi	166.25	0.57	0.53	0.43	0.38	0.29	161.85	0.62	0.52	0.44	0.40	0.29 e
J-PPi	163.17	0.56	0.52	0.42	0.37	0.29	160.92	0.61	0.51	0.44	0.40	0.29 e
M-PPGi	167.15	0.57	0.54	0.43	0.38	0.29	262.42	1.00	0.84	0.72	0.65	0.47 e
J-PPGi	167.11	0.57	0.54	0.43	0.38	0.29	269.51	1.03	0.86	0.74	0.67	0.48 e
						I_3						
M-CMI	307.21	1.06	0.99	0.80	0.70	0.54	306.53	1.17	0.98	0.84	0.76	0.55 e
J-CMI	302.92	1.04	0.97	0.79	0.69	0.53	304.44	1.16	0.97	0.84	0.76	0.55 e
M-PPi	186.96	0.64	0.60	0.49	0.43	0.33	182.57	0.69	0.58	0.50	0.45	0.33 e
J-PPi	185.34	0.64	0.60	0.48	0.42	0.32	185.08	0.69	0.58	0.50	0.45	0.33 e
M-PPGi	190.47	0.66	0.61	0.50	0.43	0.33	308.13	1.17	0.99	0.85	0.77	0.55 e
J-PPGi	188.31	0.65	0.61	0.49	0.43	0.33	310.85	1.18	0.99	0.85	0.77	0.55 e
						Mean						
CMI	276.58	0.95	0.89	0.72	0.63	0.48	275.88	1.05	0.88	0.76	0.69	0.50 e
PPi	163.59	0.56	0.53	0.43	0.37	0.29	161.58	0.62	0.52	0.44	0.40	0.29 e
PPGi	168.22	0.58	0.54	0.38	0.38	0.29	279.22	1.06	0.89	0.77	0.69	0.50 e

In paired planting and irrigating the planted rows of maize and sorghum (PPi), the seasonal consumptive use values ranged from 139 to 140 and 140 to 142 mm (I_1), 163 to 166 and 161 to 162 mm (I_2) and 185 to 187 and 182 to 183 mm (I_3). A similar trend was observed in paried planting and irrigating

the base crop rows (PPGi) with 148, 168, 188 to 190 mm during the first year, which was changed to 261 to 263, 262 to 270 and 308 to 311 mm when the groundnut intercrop also received irrigation (PPGi) along with the base crops. The estimated consumptive use values of CMI ranged from 290.7 to 439.0 mm in the first year, and from 262.7 to 402.7 mm in the second. The first year values were higher, as the pan evaporation value (570.4 mm) was higher, too.

The estimated values obtained by empirical methods at I_3 level of irrigation indicated thet the values are approximately the same at adequate moisture level. In paired-rows where restricted irrigation was given to the base crop rows (PPi and PPGi), these methods gave over-estimated values even at I_3 level. These planted rows could take in half the quantity of the water applied in CMI.

The pan evapiration method and regression equation gave better estimated values; this is followed by the radiation method. The Blaney-Criddle method over - estimated the values, and the pan evaporation values were also higher. A similar trend was observed in empirical estimates and pan evaporation at lower levels of moisture (I_1 and I_2).

All empirical methods gave over-estimated evapotranspiration values in the paired-row system with (PPGi) and without (PPi) groundnut intercrop. The planted rows of the base crops (maize and sorghum) alone were irrigated, which cloud take in half the quantity of water as compared with the conventional method (CMI), resulting in about 40 to 41% decrease in consumptive use values. The values of pan evaporation were also higher. The pan evaporation method and regression equation could give a ratio of 0.60 to 0.66 at a higher level of moisture (I_3). The ratios obtained by other methods were less than 0.50 and that of pan evaporation were 0.33. The evapotranspiration coefficients obtained by the pan evaporation method were around unity in both years, using the conventional methods of planting and irrigation (CMI).

In the paired-row system, irrigating the planted rows of the base crop, the ratios were nearly half (0.48 to 0.66 and 0.53 to 0.69), as these treatments applied nearly half the quantity of water used in the conventional method. The mean ratios in CMI and PPGi decreased in the following order: regression equation (0.88 to 0.89), radiation method (0.72 to 0.77) and Blaney-Criddle method (0.63 to 0.69). The ratio with the pan evaporation value was 0.48 to 0.50. Thus it has been clearly shown that the estimated evapotranspiration values by empirical formulae will hold good at an adequate soil moisture level and where the entire field is irrigated as in the conventional method, but not in the paired-row system where the planted furrows of the base crop alone are irrigated.

All these methods either over-estimated or under-estimated the periodical evapotranspiration values, the pan evaporation method alone seems to be somewhat realistic. Hence, periodical evapotranspiration cannot be estimated properly by these empirical methods. Over a long period of time (normally a crop season) these methods give a reasonable estimate of the consmptive use values of a crop in a particular season. Evaporation from the Open Pan Evaporimeter takes into account the effect of advective energy along with other parameters of climate. It may be inferred that the pan evaporimeter can serve as a better quide for scheduling irrigations, as it was the best suited for the estimation of periodical evapotranspiration over short periods of time.

3. Conclusion

The pan evaporation method and regression equation gave relatively good seasonal evapotranspiration coefficients; the third best was the radiation method. The Blaney-Criddle method over-estimated the values. The coefficient ratios decreased with the decrease of irrigation level and in paired-rows, where the planted rows of the base crops were irrigated. Except for the pan evaporation, all empirical formulae over-estimated the periodical coefficients. Pan evaporation was found to be the best suited for scheduling irrigation.

REFERENCES

Anand Reddy, K. and *Venkatachari, A.*, 1978: Actual evapotranspiration from wheat crop and its relationship with estimates based on empirical formulae. *Időjárás 82*, 225–229.

Baier, W. and *Robertson, G. W.*, 1965: Estimation of latent evaporation from simple weather observations. *Can. J. Plant Sci. 45*, 276–284.

Doorenbos, J. and *Pruitt, W. O.*, 1977: *Guidelines for predicting crop water requirements.* FAO Irrigation and drainage paper 24 (revised). FAO, Rome.

Murthy, B. S., Banerjee, J. R. and *Sing, A.*, 1972: *An empirical method to estimate potential evapotranspiration.* Indian Meteorological Department, Pre-published Scientific Report No. 1 83. 13.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 2. szám, 1984. március–április
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 2. March–Apr. 1984. Budapest

Műholdas információk felhasználása a meteorológiai mezők objektív analízisében

I. A műholdas információ bevonásának hatása az optimális interpoláció elméleti hibájára

DÉVÉNYI DEZSŐ és SALLAI MÁRTA, *Országos Meteorológiai Szolgálat, H—1525, Budapest, Pf. 38*

The use of the satellite information for the objective analysis of the meteorological fields. I. The effect of satellite information on the theoretical error of optimum interpolation. In the first part of the paper the authors determine the effect of the satellite information on the error of the interpolation in the case of idealized station-configurations gained by the application of method of generalized optimum interpolation and also for distri butions of real aerological and satellite measurement-points. On the basis of the spatial disitribution of the error of the interpolation i.e. the rate of improvement the regions can be determined in which the use of the data of the satellite saunding might cause a signifantc improvement of the objective analysis.

⁂

Műholdas információk felhasználása a meteorológiai mezők objektív analízisében. I. A műholdas információ bevonásának hatása az optimális interpoláció elméleti hibájára. A dolgozat első részében a szerzők az általánosított optimális interpoláció módszerének alkalmazásával idealizált állomás-konfigurációkra, ill. reális aerológiai és műholdas mérőpont eloszlásokra meghatározzák a műholdas információk bevonásának az interpoláció hibájára gyakorolt hatását. Az interpoláció hibájának, ill. a javulás mértékének a területi eloszlása alapján meghatározhatók azok a tartományok, amelyekben a műholdas szondázás adatainak felhasználása az objektív analízis szignifikáns javulásához vezethet.

⁂

Bevezetés. Az utóbbi években a meteorológiai adatok mennyiségének lényeges növekedése és minőségi tulajdonságainak változása az időjárás numerikus előrejelzésére szolgáló adatfeldolgozó rendszerek új alapokra való helyezését tette szükségessé. Elsősorban a műholdas hőmérsékleti szondázás elterjedése következtében a 60-as évek második felétől ugrásszerűen megnőtt az aszinoptikus megfigyelések jelentősége. Numerikus kísérletek sokaságát végezték el abból a célból, hogy megbecsüljék az aerológiai adatok aszinoptikus információkkal való kiegészítésének, a négydimenziós adat-asszimilációra történő áttérésnek a hatását (*Döös*, 1970; *Bengtsson*, 1975).

Az első alkalmazási kísérletekben a műholdas szondázás értékeit nem mért, hanem modell adatokkal helyettesítették. Az első ilyen kísérletben (*Charney* et al., 1969) a prognózis útján számított értékeket aszinoptikus megfigyelési adatokkal helyettesítették. Eredményeik nagyon bíztatók voltak. Ugyanakkor *Miyakoda* és *Talagrand* (1971) kimutatták, hogy a modellezett adatokkal végzett kísérleteknél nem nélkülözhető az aszinoptikus és prognosztikus információk együttes alkalmazása. Ebből a célból olyan eljárást dolgoztak ki, amely analóg az előrejelzett mezőtől való eltérés optimális interpolációjával. *Bengtsson* és *Gustavsson* (1971, 1972) más módját választotta

a probléma megközelítésének: kutatásaikban négydimenziós modellszerű kísérletek egész sorozatát végezték el. Következtetéseik kevésbé optimisták, de kétségkívül reálisabb becslést adnak az analízis pontosságának javulására.

A gyakorlatban a modellezett értékekről hamarosan áttértek a valódi műholdas adatok felhasználására, ez azonban a várt pozitív eredményt nem hozta meg.

A tényleges aszinoptikus információk bevonása legjobb esetben a prognózis jelentéktelen javulásához, gyakran azonban romlásához vezetett. A kísérletek ellentmondásainak legfőbb okára – a műholdas szondázások mérési hibáinak korrelációjára – viszonylag korán, az operatív szondázások megkezdése előtt mutattak rá (*Gandin* et al., 1972).

Az adat-asszimilációs rendszerek tesztelésére különösen kedvező lehetőséget teremtett az első globális GARP-kísérlet összetett megfigyelő rendszere által szolgáltatott adatbázis (*Götz*, 1978). A nagy prognosztikai központokban kísérleti és operatív előrejelzések sokaságát készítették a megfigyelési rendszer összetevőinek értékelése céljából (*Bengtsson*, 1979; *Lyne* et al., 1982; *Halem* et al., 1982). Hasonló típusú kísérletekre került sor regionális méretekben az NDK meteorológiai szolgálatánál (*Kluge* et al., 1978a, 1978b, 1980). Ezek a kísérletek igazolták azt az előzetes feltevést, hogy a megfigyelési rendszer aszinoptikus összetevőinek, és elsősorban a műholdas szondázási információknak a numerikus prognosztikában történő adekvát figyelembevétele, különösen az adatszegény tartományokban (elsősorban az óceáni területeken) az előrejelzés javulását vonja maga után. A javulás mértéke azonban erősen függ az alkalmazott konkrét analízis, ill. prognózis sémától, ezért célszerű az alkalmazott módszerektől függetlenül, előzetesen meghatározni a (statisztikai értelemben vett) hibaeloszlás mértékét. Erre az optimális interpoláció módszerének kiterjesztése ad lehetőséget.

Dolgozatunkban – az általánosított optimális interpoláció módszerének alkalmazásával – mind idealizált helyzetekre, mind pedig reális aerológiai, ill. műholdas szondázási mérőpont konfigurációkra meghatározzuk a műholdas információk bevonásának az interpoláció hibájára gyakorolt hatását. Az interpoláció hibájának, ill. a javulásnak a területi eloszlása alapján meghatározhatók azok a tartományok, amelyekben a műholdas szondázás adatainak felhasználása az objektív analízis szignifikáns javulásához vezet.

1. Az optimális interpoláció módszerének általánosítása

Az optimális interpoláció módszerét *Eliassen* (1954) és *Gandin* (1960) dolgozták ki. Az eljárás kezdeti változata homogén és izotróp sztochasztikus mezők lineáris interpolációjára vonatkozott azzal a feltételezéssel, hogy a mérési hibák „fehér zaj" típusúak. A módszer általánosítását más típusú hibákra, valamint több meteorológiai elem együttes tér- és időbeli interpolációjára *Gandin* és *Kagan* (1974) végezték el. Az alábbiakban az optimális interpolációnak a korrelált mérési hibákra általánosított változatát tárgyaljuk.

Legyen $f = F - \overline{F}$ az F meteorológiai elemnek az $\overline{F}$ átlagos értéktől (itt és a továbbiakban a „fölülvonás" az átlagos értékeket jelöli) való eltérése és jelölje $\tilde{F} = F + \delta$ ezen elem δ hibával mért értékét. Becsüljük az f eltérés $\vec{r}_0$ pontbeli értékét a környező $\vec{r}_i$ ($i = 1, \ldots, n$) pontbeli mért eltérések lineáris kombinációjával:

$$\hat{f}_0 = \sum_{i=1}^{n} a_i \tilde{f}_i. \tag{1}$$

Itt $\tilde{f}_i = f_i + \delta_i$ (a „hullám" jel a hibával mért értékeket jelöli) és feltételezzük, hogy a δ_i hibák átlaga zérus, azaz nincs szisztematikus mérési hiba. Az a $(i = 1, \ldots n)$ interpolációs súlyokat az

$$E^2 = \overline{(\hat{f}_0 - f_0)^2} = \min \tag{2}$$

feltétel alapján határozzuk meg. (1) és (2) alapján

$$E^2 = \overline{f_0^2} - 2\sum_{i=1}^{n} a_i \overline{\tilde{f}_i f_0} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_i a_j \overline{\tilde{f}_i \tilde{f}_j}. \tag{3}$$

Mivel E^2 minimumának szükséges és elégséges feltétele

$$\frac{\partial E^2}{\partial a_i} = 0 \quad (i = 1, \ldots, n) \tag{4}$$

teljesülése, ezért (3) alapján az a_i súlyokra a

$$\sum_{j=1}^{n} a_j \overline{\tilde{f}_i \tilde{f}_j} = \overline{\tilde{f}_i f_0} \quad (i = 1, \ldots, n) \tag{5}$$

ineáris egyenletrendszert kapjuk. (5) felhasználásával (3) a következőképpen írható fel:

$$E^2 = \overline{f_0^2} - \sum_{i=1}^{n} a_i \overline{\tilde{f}_i f_0}. \tag{6}$$

A (3), (5) és (6) összefüggéseket célszerű dimenziómentes alakra hozni az f meteorológiai elem $\vec{r}_0$ pontbeli $\sigma_0^2 = \overline{f_0^2}$ szórásnégyzetének felhasználásával. Ekkor az új b_i $(i = 1, \ldots, n)$ interpolációs súlytényezőkre az

$$a_i = \frac{\sigma_0}{\sigma_i} b_i \quad (i = 1, \ldots, n) \tag{7}$$

összefüggések teljesülnek (itt σ_i az r_i pontbeli szórást jelöli), amelyek felhasználásával (3), (5) és (6) helyett az

$$\varepsilon^2 = 1 - 2\sum_{i=1}^{n} b_i \frac{\overline{\tilde{f}_i f_0}}{\sigma_i \sigma_0} + \sum_{j=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} b_i b_j \frac{\overline{\tilde{f}_i \tilde{f}_j}}{\sigma_i \sigma_j}, \tag{8}$$

$$\sum_{j=1}^{n} b_i \frac{\overline{\tilde{f}_i \tilde{f}_j}}{\sigma_i \sigma_j} = \frac{\overline{\tilde{f}_i f_0}}{\sigma_i \sigma_0}, \quad (i = 1, \ldots, n) \tag{9}$$

$$\varepsilon^2 = 1 - \sum_{i=1}^{n} b_i \frac{\overline{\tilde{f}_i f_0}}{\sigma_i \sigma_0} \tag{10}$$

összefüggéseket kapjuk. Az $\varepsilon = E/\sigma_0$ mennyiség az f elem interpolációs hibájának és az elem szórásának a viszonyát fejezi ki. Négyzetét az interpolációs hiba mértékének nevezzük.

Könnyen belátható, hogy a $b_i (i = 1, \ldots, n)$ interpolációs súlyok a szórással normált eltérések lineáris interpolációjánál lépnek fel:

$$\frac{\hat{f}_0}{\sigma_0} = \sum_{i=1}^{n} b_i \frac{f_i}{\sigma_i}. \tag{11}$$

Azonban az $\vec{r}_0$ pont azon környezetében, ahol az interpolációt végezzük, a σ mező konstansnak tekinthető (akárcsak az átlagok mezője), így az a_i és b_i súlyok megegyeznek. Abban az esetben, amikor az összes δ_i hiba nullával egyenlő, a (8), (9) és (10) összefüggésekben szereplő

$$\mu_{ij} = \frac{\overline{f_i f_j}}{\sigma_i \sigma_j} \tag{12}$$

típusú mennyiségek az f meteorológiai elem valódi értékeinek i és j pontok közötti korrelációját jelöli. Statisztikai vizsgálatok szerint a meteorológiai elemek többségének statisztikai makroszerkezete homogén és izotróp, azaz a μ függvény csak a két pont távolságától függ: $\mu_{ij} = \mu(\varrho_{ij})$, ahol ϱ_{ij} az említett távolság.

Mérési hibák esetén a

$$\tilde{\mu}_{ij} = \frac{\overline{\tilde{f}_i \tilde{f}_j}}{\sigma_i \sigma_j} \tag{13}$$

alakú korrelációs függvény a

$$\tilde{\mu}_{ij} = \mu_{ij} + \eta_j \chi_{ij} + \eta_i \chi_{ji} + \eta_i \eta_j \nu_{ij} \tag{14}$$

alakban állítható elő, ahol

$$\eta_i^2 = \frac{\Delta_i^2}{\sigma_i^2} \tag{15}$$

a megfigyelési hiba mértéke ($\Delta_i^2 = \overline{\delta_i^2}$ a a megfigyelési hibaszórás négyzete az i pontban), ν_{ij} az i és j pontokbeli megfigyelési hibák korrelációja, χ_{ij} az i pontbeli valódi érték és a j pontbeli hiba közötti korreláció. Az Aerológiai és aszinoptikus mérések esetén χ_{ij} zérusnak tekinthető és (14) helyett a

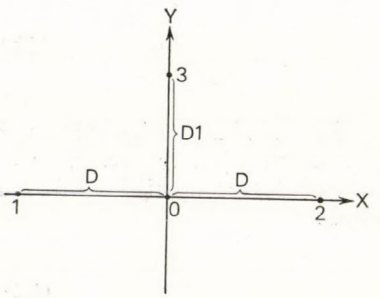
$$\tilde{\mu}_{ij} = \mu_{ij} + \eta_i \eta_j \nu_{ij} \tag{16}$$

összefüggés alkalmazható.

Mivel a $\tilde{\mu}_{ij}$ függvények előzetesen meghatározhatók, az optimális interpoláció módszerének alkalmazásakor csak a (9) lineáris egyenletrendszert kell megoldani a b_i súlytényezőkre. Ezek ismeretében számolható az (1) lineáris kombináció, illetve

$$\hat{F}_0 = \hat{f}_0 + \bar{F}_0 \tag{17}$$

alapján F-nek az $\vec{r}_0$ pontbeli értéke. A módszer nagy előnye, hogy az (5), ill. a (10) összefüggések alapján az interpoláció elméleti hibája, ill. annak változása a meteorológiai mezők statisztikai szerkezetének ismeretében meghatározható. Ez a körülmény lehetővé teszi azt is, hogy az eljárást meteorológiai állomáshálózatok tervezésére használjuk fel.



1. ábra: A két aerológiai (1, 2) és az egy műholdas (3) szondázási pont elhelyezkedése a legegyszerűbb interpolációs feladatban

2. Numerikus kísérletek a műholdas információk felhasználására

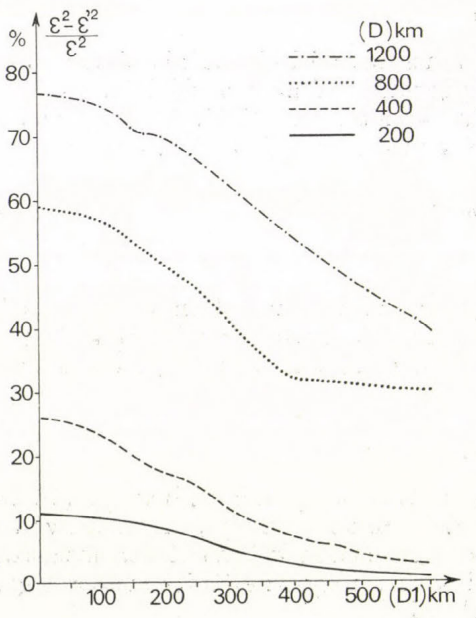
Az optimális interpoláció módszerének alkalmazásakor az interpolációt lokálisan végezzük, azaz a kívánt pontbeli értéket az adott pont közvetlen környezetéből (ezen környezet sugara pl. geopotenciál adatok esetén maximálisan 1000—1500 km) vett legközelebbi adatok lineáris kombinációjával állítjuk elő (a geopotenciál mező interpolációja eseten 4—6 ilyen adatot szokásos felhasználni). Ezért a módszer általánosított vizsgálatával végzett numerikus kísérletekhez első lépésben célszerű az adott interpolációs pont környezetében elhelyezkedő állomáskonfigurációk hatását vizsgálni.

Az *1. ábra* az általunk vizsgált legegyszerűbb szituációt ábrázolja. Az x,y rendszer origójában helyezkedik el az interpolációs pont, amelyre végzett lineáris becslés elméleti pontosságát az 1 és 2 aerológiai, ill. a 3 műholdas mérési pont elhelyezkedése, ill. a meteorológiai elem és a mérési hibák statisztikai szerkezete határozza meg. A kísérleti számításokban a (16) korrelációs függvényt a következő alakban használtuk fel (*Czelnai* et al., 1976):

$$\mu(\varrho) = (1 + 0{,}98\varrho)\ \exp\ (-0{,}98\varrho), \tag{18}$$

ami a 850 mb-os geopotenciálmező korrelációs függvényének felel meg: aerológiai adatok esetén

$$\nu_{ij} = \delta_{ij} = \begin{cases} 0 \text{ ha } i \neq j \\ 1 \text{ ha } i = j \end{cases} \tag{19}$$



2. ábra: Az interpoláció pontosságának százalékos javulása két aerológiai és egy műholdas szondázási pont alkalmazása esetén

$$\eta_i \eta_j = \eta^2 = 0{,}02,$$

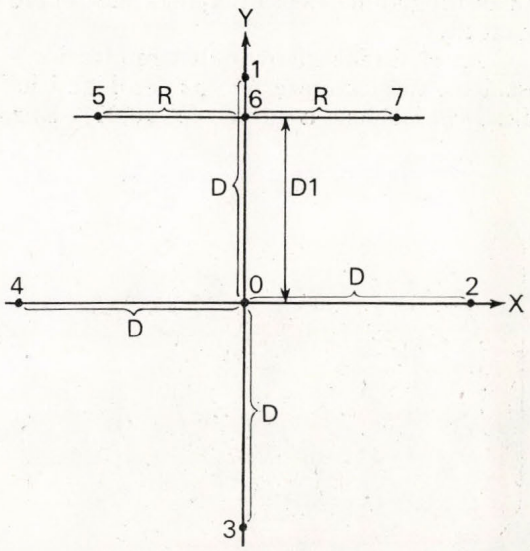
műholdas adatok esetén pedig

$$\nu_{ij} = \mu_{ij}\ ,\ \eta^2 = 0{,}1. \tag{20}$$

A számítások során a rádiószondázó állomások távolságát 100 km-enként növeltük D = 1200 km-ig, míg a műholdas szondázási pont helyét D1 = 0 km-től D1 = 600 km-ig 50 km-enként változtattuk. Az $(\varepsilon^2 - \varepsilon'^2)/\varepsilon^2$ javulás százalékos értékeit D = 1200 km, 800 km, 400 km és 200 km értékekre D1 függvényében a *2. ábra* tartalmazza.

Ugyanazt a kísérletet elvégeztük a *3. ábrán* látható reálisabb állomáskonfiguráció esetére azzal a céllal, hogy egyrészt megvizsgáljuk a több aerológiai, ill. műholdas típusú

információ bevonásának hatását, másrészt a műholdas mérési pontokat egy egyenesen (trajektórián) tartva a gyakorlatban előforduló esetet modellezzük. Az ábrán 1, 2, 3 és 4 jelöli az aerológiai állomásokat. Az $(\varepsilon^2-\varepsilon'^2)/\varepsilon^2$ javulási tényező D=1500 km, 1200 km, 800 km, 400 km és 200 km-hez tartozó százalékos értékeit a *4. ábrán* mutatjuk be a D1 érték függvényében.



3. ábra: A négy aerológiai (1, 2, 3 és 4) és a három (5, 6, 7) műholdas szondázási pont elhelyezkedése az interpolációs feladatban

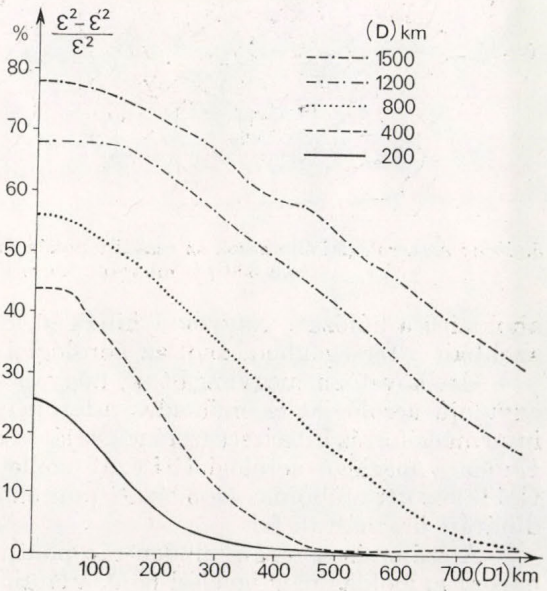
Mindkét kísérlet egyértelműen bizonyította, hogy sűrű aerológiai állomáshálózat esetében a javulás elég csekély, s még abban az esetben sem éri el a 30%-ot, amikor a műholdas szondázási pontok mindegyike közelebb van az origóhoz, mint az aerológiai állomások. Nem sokkal jobb a helyzet a közepesen sűrű rádiószonda hálózat esetében sem. Merőben más a helyzet a ritka aerológiai állomáshálózat esetében ($D \geq 800$ km). Nagyon alacsony sűrűség mellett (D=1500 km) a javulás mértéke a 80%-ot is elérheti, bár ez a javulás a műholdas szondázási pontok távolságának növelésével csökken.

A fenti modellszerű kísérletek tapasztalatai alapján kísérleteket végeztünk az északi hemiszféra valódi aerológiai állomáshálózatára vonatkozóan. Ehhez összesen 428 aerológiai állomás (*5/a ábra*) koordinátáinak felhasználásával, 5×5 fokos felbontású rácsra kiszámítottuk az ε^2 eloszlását a 850, az 500 és a 300 mbar-on. Minden rácspont környezetében a hat legközelebbi aerológiai állomást vontuk be a számításba. A

$$\mu_{ij} = (1+\alpha\varrho_{ij})e^{-\beta\varrho ij}$$

korrelációs függvényt alkalmaztuk az alábbi paraméterekkel (*Czelnai* et al., 1976):

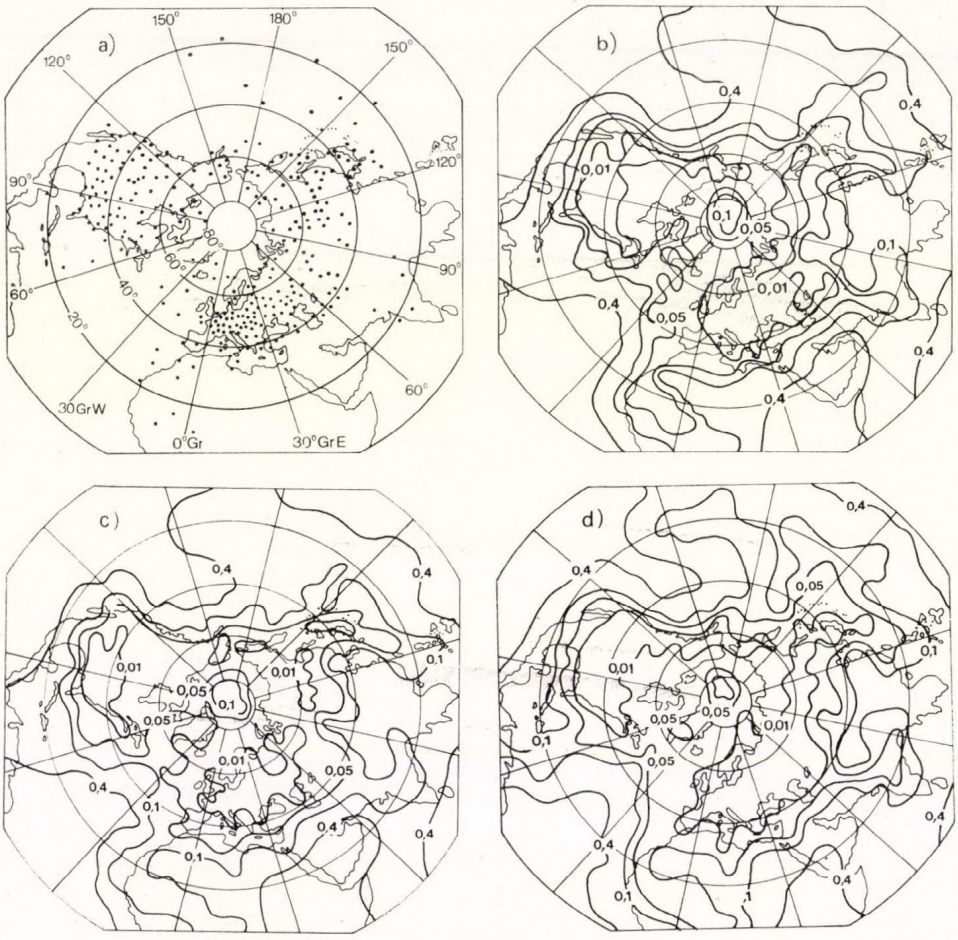
850 mbar-on $\alpha=\beta=0{,}98$;
500 mbar-on $\alpha=0{,}98$ és $\beta=1$;
300 mbar-on $\alpha=\beta=0{,}75$.



4. ábra: Az interpoláció pontosságának százalékos javulása négy aerológiai és három műholdas szondázási pont alkalmazása esetén

Az aerológiai mérések hibájának mértékére az $\eta^2 = 0{,}02$ standard értéket alkalmaztuk.

Az ε^2 értékek izovonalait rendre az *5/b, c, d ábrán* tüntettük fel. Az eloszlások természetszerűen az aerológiai hálózat sűrűségének eloszlását tükrözik. Legkisebbek a hibák ($\varepsilon^2 \leq 0{,}01$) Európa és Észak-Amerika térségében,



5. ábra: Az aerológiai állomások az északi féltekén *(a)*; az ε^2 eloszlása a 850 *(b)*; az 500 *(c)*; és a 300 *(d)* mbar-on, korrelálatlan hibák esetén

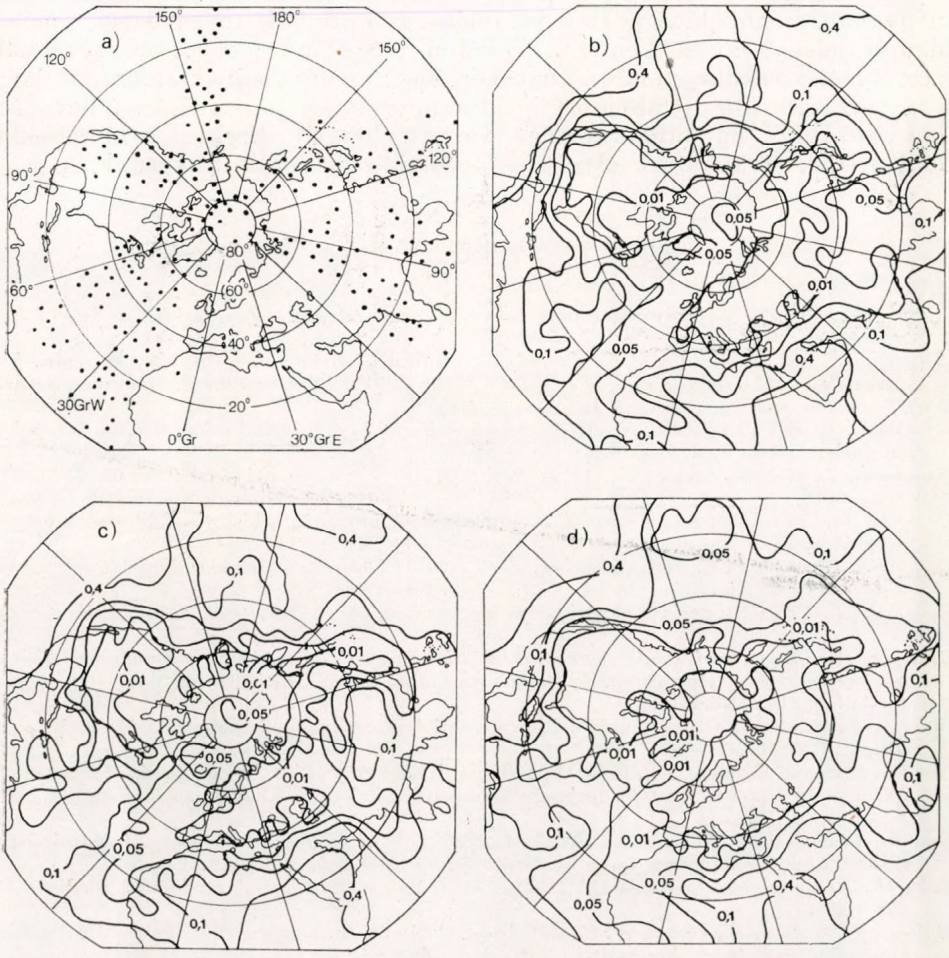
ahol sűrű a hálózat. Nagyok a hibák ($0{,}4 < \varepsilon^2 < 0{,}8$) az óceánok felett, tehát azokban a térségekben, ahol az aerológiai hálózat nagyon ritka.

Ezt követően megvizsgáltuk, hogyan alakulnak az interpolációs hibák az egyidejű aerológiai és műholdas adatok együttes felhasználásánál, mindkét információforrás hibaszerkezetének sajátosságait megfelelően figyelembe véve, Ehhez a meglévő aerológiai hálózat mellett az 1979. december 6-án 12 – 24 GMT közötti műholdas szondázási pontok *(6/a ábra)* (összesen 247 db) koordinátáit használtuk fel.

A számítások során minden rácsponthoz a legközelebbi hat aerológiai és három műholdas megfigyelési pont adatait használtuk fel. A műholdas méré-

sek hibájának szerkezetét az $\eta'^2 = 0{,}1$ és a $\mu_{ij} = \nu_{ij}$ adatokkal jellemeztük. A műholdas, adatok bevonásával számított ε^2 eloszlásokat a *6/b, c, d ábra* mutatja be rendre a 850, 500 és 300 mbar-on.

Az *5.* és *6/b, c* és *d* ábrákat egybevetve látható, hogy ha az interpolációt az aerológiai és a műholdas adatok együttes alkalmazásával végezzük, akkor



6. ábra: A műholdas szondázás pontjai az északi féltekén *(a:)*; az ε^2 eloszlása hat aerológiai és három műholdas szondázási adat felhasználása esetén a 850 *(b)*; az 500 *(c)* és a 300 *(d)* mbar-on

az interpoláció elméleti hibája lényegesen kisebb lesz, mintha a számításokhoz csak a legközelebbi hat aerológiai állomás adatát használjuk föl. Világossá válik az is, hogy annak ellenére, hogy a jó információ-ellátottságot reprezentáló $\varepsilon^2 = 0{,}01$ izovonal a rádiószondázó állomásokkal sűrűn ellátott területeken nagyobb részt foglal magába, az ilyen helyeken nem érdemes a műholdas információkat is figyelembe venni. Nagyon nagy hibacsökkenést eredményez viszont a műholdas adatok bevonása az óceánok területén. Ez nemcsak annak tulajdonítható, hogy az óceánok felett rendkívül ritka a rádiószondázó háló-

zat, hanem annak is, hogy az általunk felhasznált műholdas szondázási pontok nagy része ezeken a területeken helyezkedik el, ami megfelel a valódi SATEM jelentések földrajzi eloszlásának. Ábráinkból az is látható, hogy az összevont adatok alkalmazásával az $\varepsilon^2 = 0{,}4$-nél nagyobb interpolációs hibákat minimális területre sikerült lokalizálni az északi félgömbön.

Összefoglalva elmondható, hogy a ritka aerológiai állomáshálózat tartományában a műholdas adatok bevonása az optimális interpoláció elméleti hibáját jelentősen csökkentheti. További vizsgálatot igényel az így előálló interpolációs feladat stabilitásának kérdése, valamint annak eldöntése, hogy a rendelkezésre álló további megfigyelési információk milyen arányú bevonása optimalizálja a numerikus analízis várható hibáját. Ezekkel a kérdésekkel dolgozatunk – később közlendő – második részében foglalkozunk.

IRODALOM

Bengtsson, L., 1975: 4-dimensional assimilation of meteorological observations. *GARP Publication Series No. 15.*

Bengtsson, L., 1979: Problems of using satellite information in numerical weather prediction. *Proc. Technical Conference on "Use of Data from Meteorological Satellites"*, Lannion, France, 17–21 Sept. 1979. (ESA SP-143, Oct., 1979), 87–100.

Bengtsson, L. and *Gustavsson, N.*, 1971: An experiment in the assimilation of data dynamical analysis. *Tellus 23*, 328–336.

Bengtsson, L. and *Gustavsson, N.*, 1972: Assimilation of nonsynoptic observations. *Tellus 24*, 383–399.

Charney, L., Halem, M. and *Jastrow, R.*, 1969: Use of incomplete historical data to infer the present state of the atmosphere. *J. Atmos. Sci. 26*, 1160–1163.

Czelnai R., Gandin, L. S. and *Zachariew, W. I.*, 1976: *Statistische Struktor der meteorologischen Felder.* OMSZ Hiv. Kiadványai, XLI. kötet, Budapest.

Döös, B. R., 1970: Numerical experimentation related to GARP. *GARP Publication Series No. 6.*

Eliassen, A., 1954: *Provisional report on calculation of spatial covariance and autocorrelation of the pressure field.* Report nr. 5, Videnkaps–Akademiets Institutt for Vaer–Og Klimaforskning, Oslo, Norwey.

Gandin, L. S., 1960: Ob optimalnoj interpoljacii i eksztrapoljacii meteorologicseszkih polej *Trudy GGO 114*, 75–89.

Gandin, L. S. and *Kagan, R. L.*, 1974: O posztrojenii szisztemy objektivnogo analiza raznorodnyh dannyh na osznove metoda optimalnoj interpoljacii i optimalnogo szoglaszovanija. *Met. i Gid. 5*, 3–10.

Gandin, L. S., Kagan, R. L. and *Polisuk, A. I.*, 1972: Ob ocenke informacionnoj znacsimoszti szisztem meteorologicseszkih nabljudenij. *Trudy GGO* 286, 120–140.

Götz, G., 1978: Az első globális GARP-kísérlet összetett megfigyelő rendszere. *Időjárás 82*, 276–298.

Halem, M., Kalnay, E., Baker, W. E. and *Atlas, R.*, 1982: An assesment of the FGGE Satellite Observing System during SOP-1. *Bull. Am. Meteorol. Soc. 63*, 407–426.

Kluge, U. and *Petzold, M.*, 1978a: Zur statistisch optimalen Kombination von aerologischen und SIRS-Daten bei der numerischen Geopotentialanalyse. *Z. Meteor. 28*, 15–25.

Kluge, L. and *Petzold, M.*, 1978b: Nachträgliche Korrektur numerischen Analysen durch SIRS-Daten und einige Ergebnisse zur Abschätzung von deren Informationswert. *Z. Meteor 28*, 145–151.

Kluge, J., Stahnke-Jungheim, K. H. and *Vollbrecht, Ch.*, 1980: Numerische Geopotentialanalyse unter Verwendung von TEMP-, SATEM- und PROGNOSE-Daten sowie anderen informationsarten. *Z. Meteor. 30*, 232–244.

Lyne, W. H., Swinbank, R. and *Birch, N. T.*, 1982: A data assimilation experiment and the global circulation during the FGGE special observing periods. *Quart, J. R. Met. Soc. 108*, 575–594.

Miyakoda, K. and *Talagrand, O.*, 1971: The assimilation of past data in dynamical analysis. I. *Tellus 23*, 310–317.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 2. szám, 1984. március – április
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 2. March – Apr. 1984. Budapest

Meteorológiai megfigyeléssorozatok szélső értékeinek statisztikája

BALOG MIHÁLY, GULYÁS OTTÓ és SZENTIMREY TAMÁS
Központi Meteorológiai Intézet, H–1525 Budapest, Pf. 38.

Statistics of extrem values of meteorological data-series. In the paper the minimum and maximum values of the meteorological elements modeled by series of independent random variables are investigated. Beside the exact distribution the parameters of asymptotic *(Gumbel)* distribution, furthermore the mean values, the variances and the quantilises in the function of the former parameters have been determined. As illustration the monthly averages of temperature and monthly precipitation-amounts are presented for Budapest and Bakonybél.

⁎

Meteorológiai megfigyeléssorozatok szélsőértékeinek statisztikája. Dolgozatunkban független valószínűségi változók sorozataival modellezett légköri elemek minimumait és maximumait vizsgáljuk. A pontos eloszláson kívül meghatároztuk az aszimptotikus *(Gumbel)* eloszlás megfelelő paramétereit és ezek függvényében a várható értékeket, a szórásokat és a kvantiliseket. Illusztrációként az egyes hónapok hőmérsékleti átlagai, illetve havi csapadékösszegek szerepelnek Budapest és Bakonybél állomásokon.

⁎

Bevezetés. A meteorológia iránt gyakran támasztott követelmény, hogy törvényszerűségeket állapítson meg valamely légköri elem szélsőségeinek előfordulásával kapcsolatban. Statisztikus szemléletmóddal az időjárási elemek időbeli alakulása sztochasztikus folyamatként fogható fel, a megfigyelési sorozatok pedig ezek véges hosszúságú realizációinak tekinthetők. Vizsgálatainkban ilyenek az egyes hónapok hőmérsékleti átlagai illetve havi csapadékösszegei egy-egy állomáson.

A továbbiakban olyan légköri elemek sorozatait vizsgáljuk, amelyek a

$$(\xi_1, \xi_2, \ldots\ldots, \xi_n) \tag{1}$$

modell megfelelőinek tekinthetők, ahol a komponensek azonos eloszlású független valószínűségi változók, $F(x)=P(\xi_i<x)$ közös eloszlással. Ez egyben azt jelenti, hogy feltételezzük az éghajlat változatlanságát.

Legyen a megfigyeléssorozat legkisebb ill. legnagyobb eleme ξ_1^* és ξ_n^*, azaz

$$\xi_1^*=\min_{1\le i\le n}(\xi_i),\quad \xi_n^*=\max_{1\le i\le n}(\xi_i). \tag{2}$$

Vizsgálatunk tárgya az adott megfigyeléssorozat ξ_1^* és ξ_n^* szélső értékeinek statisztikai vizsgálata, és az eredmények meteorológiai értékelése.

Jelölje a minta maximumának az eloszlásfüggvényét

$$H_n(x) = P(\xi_n^* < x).$$

A már ismertetett feltételek mellett ez az eloszlásfüggvény kifejezhető a következő egyszerű alakban:

$$H_n(x) = [F(x)]^n.$$

Az általunk vizsgált esetekben olyan eloszlásokkal van dolgunk, melyek akárhányszor differenciálhatók, és analitikusan jól kezelhetők. Ebben az esetben a minta maximumának az eloszlásfüggvénye folytonos, és a sűrűségfüggvénye:

$$h_n(x) = n \cdot [F(x)]^{n-1} \cdot f(x),$$

ahol $f(x)$ a minta elemeinek a sűrűségfüggvénye. A fenti kifejezések a maximum pontos eloszlását illetve sűrűségfüggvényét adják. Az ilyen típusú eloszlások szélsőértékeire jól kezelhető aszimptotikus eloszlások írhatók fel, amelyek két paramétertől függenek.

Az egyik ilyen nevezetes paraméter a $H_n(x)$ eloszlás módusza x_n, azaz

$$h_n(x_n) \geq h_n(x) \qquad -\infty < x < \infty.$$

Bebizonyítható, hogy a módusz értéke éppen az $(1 - 1/n)$ kvantilis, azaz éppen az az x_n érték, amelyre:

$$F(x_n) = 1 - 1/n. \tag{3}$$

A másik ilyen nevezetes paraméter az $f(x)$ sűrűségfüggvény x_n-beli értékének n-szerese α_n, azaz

$$\alpha_n = n \cdot f(x_n). \tag{4}$$

Tételezzük fel, hogy az x_n és α_n paraméterek értékét ismerjük. (Az eloszlás és a paraméterek meghatározására a konkrét meteorológiai alkalmazásoknál visszatérünk.) *Gumbel* (1958) bebizonyította, hogy a fenti típusú sorozatok maximumának az eloszlása jól közelíthető a következő kifejezéssel:

$$\hat{H}_n(x) = \exp\left(-e^{-\alpha_n(x - x_n)}\right) \tag{5}$$

vagy a $B_n = e^{\alpha_n x_n}$ jelölés bevezetése után:

$$\hat{H}_n(x) = \exp\left(-B_n \cdot e^{-\alpha_n x}\right) \tag{6}$$

Ennek alapján a ξ_n^* maximum sűrűségfüggvénye:

$$\hat{h}_n(x) = \frac{d\hat{H}_n(x)}{dx} = \alpha_n B_n e^{-\alpha_n x} \exp(-B_n e^{-\alpha_n x}) \tag{7}$$

Az asszimptotikus kifejezések ismeretében kiszámítottuk, hogy a két paraméter (x_n, α_n) felhasználásával:

a) a maximum várható értéke: $\hat{M}(\xi^*) = x_n + \frac{C}{\alpha_n}$, (8)

ahol $C = 0.577216$ az Euler – Mascheroni féle állandó,

b) a maximum szórása: $\hat{D}(\xi_n^*) = \frac{\pi}{\sqrt{6} \cdot \alpha_n}$, (9)

c) az eloszlás p-kvantilise, $0<p<1$: $\widehat{Q}_{pn} = x_n - \dfrac{\ln(-\ln p)}{\alpha_n}$ (10)

A fentiekhez hasonlóan a ξ_1^* minimum pontos eloszlása:

$$G_n(x) = P(\xi_1^* < x) = 1-[1-F(x)]^n, \tag{11}$$

$$g_n(x) = n[1-F(x)]^{n-1}.f(x). \tag{12}$$

Az aszimptotikus eloszlás két paraméter függvényeként is levezethető: y_n az eloszlás módusza

$$F(y_n) = 1/n, \tag{13}$$

és

$$\beta_n = nf(y_n). \tag{14}$$

Ennek alapján

$$\widehat{G}_n(x) = 1-\exp\left(-e^{+\beta_n(x-y_n)}\right) \tag{15}$$

$$\widehat{g}_n(x) = \beta_n A_n e^{+\beta_n x} \exp(-A_n e^{-\beta_n x}) \tag{16}$$

a ho $A_n = \epsilon^{-\beta_n y_n}$ és rendre a várható érték, a szórás és a p-kvantilis

$$\widehat{M}(\xi_1^*) = y_n - \frac{C}{\beta_n}, \tag{17}$$

$$\widehat{D}(\xi_1^*) = \frac{\pi}{\sqrt{6}\,\beta_n}, \tag{18}$$

$$\widehat{Q}_{p,1} = y_n + \frac{\ln(-\ln(1-p))}{\beta_n} \tag{19}$$

Példa meteorológiai alkalmazásokra

A fentiekből látható, hogy a szélsőértékek fontosabb statisztikai karakterisztikái (az eloszlás, a sűrűségfüggvény, a várható érték, a szórás és a p-kvantilisek) aszimptotikus közelítő formulái két paraméter segítségével kifejezhetők (a maximumoknál x_n, α_n, a minimumoknál y_n, β_n.) Ez a két paraméter csak a vizsgált elem eloszlásától (az $f(x)$ sűrűségfüggvénytől) és attól függenek, hogy milyen hosszúságú intervallumra kívánjuk a szélsőérték statisztikai jellemzőit meghatározni. Ezért az éghajlati szélsőértékek rendszerezése, feldolgozása céljából ezeket a paramétereket kell, illetve célszerű kiszámítani a különböző időjárási elemekre, több éghajlati–földrajzi helyen és a szükséges n-ekre.

Ennek során minden esetben a következő lépéseket kell végrehajtani:

1. A megfigyelési sorozat összeállítása;
2. A sorozat függetlenségének és azonos eloszlású voltának ellenőrzése; az eloszlás meghatározása;
3. Az aszimptotikus jellemzők (x_n, α_n, y_n, β_n) meghatározása a szükséges n-ekre;
4. Az aszimptotikus eloszlás, a p-kvantilis, a várható érték és a szórás kiszámítása;
5. Az eredmények meteorológiai értékelése, verifikációja.

A számításokat a KSH IBM 370/155 számítógépén hajtottuk végre, az erre a célra készített FORTRAN programokkal.

Az alábbiakban két fontos meteorológiai adatsoron – havi hőmérsékleti átlagértékek és havi csapadékösszegek különböző sorain –, mutatunk be példákat gyakorlati alkalmazásra. A ténylegesen elvégzett számítások eredményei roppant nagy mennyiségűek, azok részletes ismertetése e dolgozat kereteit messze meghaladná.

a) *A havi középhőmérséklet sorai.* Vizsgálatunk tárgyául Budapest és Szeged havi középhőmérsékleteinek sorait választottuk. Az eloszlás azonossága és a függetlenség *Kendall—Stuart* (1960) próbákkal igazolódott, az eloszlás típusa a vártnak megfelelően Gauss-i (normális) volt, amit khi-négyzet próbával ellenőriztünk. Az eloszlás m és σ paramétereit a 100 éves sorból számított empirikus értékekkel vettük azonosnak. Segítségükkel a szélsőérték eloszlás x_n és α_n paraméterei az alábbi kifejezések alapján határozhatók meg:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma}\int_{-\infty}^{x_n} e^{-(t-m)^2 2\sigma^2}\,dt = 1 - 1/n,$$

$$\alpha_n = n\cdot\frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma}\,e^{-(x_n-m)^2 2\sigma^2}$$

I. TÁBLÁZAT

A havi középhőmérséklet maximumainak és minimumainak statisztikai jellemszámai (°C), száz és ötven év időtartamra Budapesten,
a = *tényleges maximum*, x_n = *legvalószínűbb érték*, M = *várható érték*,
D = *szórás*, Q_{25} = *alsó*, Q_{75} = *felső kvartilis*

Hónap	100 év időtartamra Budapest 1861—1960						50 év időtartamra Budapest 1911—1960					
	a	x_n	M	D	Q_{25}	Q_{75}	a	x_n	M	D	Q_{25}	Q_{75}
	Maximum						Maximum					
Jan.	4,6	5,7	6,3	1,3	5,4	7,0	4,6	5,0	5,6	1,5	4,6	6,4
Febr.	9,3	7,9	8,5	1,3	7,5	9,2	9,3	7,1	7,8	1,5	6,8	8,6
Márc.	10,4	11,2	11,7	1,0	10,0	12,3	9,7	10,7	11,2	1,1	10,4	11,8
Ápr.	15,1	16,1	16,5	0,9	15,9	17,0	14,6	15,6	16,0	1,0	15,3	16,6
Máj.	20,6	21,5	22,0	1,0	21,2	22,5	20,6	21,0	21,4	1,2	20,6	22,0
Jún.	23,7	22,8	23,1	0,6	22,7	23,4	22,2	22,5	22,8	0,7	22,3	23,1
Júl.	24,9	24,7	25,0	0,6	24,6	25,3	24,7	24,4	24,7	0,7	24,2	25,0
Aug.	24,1	24,4	24,7	0,6	24,2	25,0	24,1	24,0	24,3	0,7	23,8	24,7
Szept.	21,0	21,4	21,8	0,8	21,2	22,2	21,0	20,9	21,4	0,9	20,7	21,8
Okt.	15,6	15,4	15,8	0,8	15,5	16,2	13,9	15,0	15,4	0,9	14,8	15,8
Nov.	10,4	10,2	10,6	0,9	10,0	11,1	10,4	9,7	10,2	1,0	9,5	10,7
Dec.	5,1	6,3	6,7	1,0	6,0	7,3	5,1	5,7	6,2	1,1	5,4	6,8
	Minimum						Minimum					
Jan.	–9,0	–7,0	–7,6	1,3	–8,3	–6,7	–8,3	–6,3	–6,9	1,5	–7,7	–5,9
Febr.	–7,6	–5,1	–5,7	1,3	–6,4	–4,8	–7,6	–4,4	–5,0	1,5	–5,7	–4,0
Márc.	0,3	1,2	0,8	1,0	0,2	1,5	1,8	1,8	1,3	1,1	0,7	2,1
Ápr.	7,7	7,0	6,6	0,9	6,1	7,3	7,7	7,6	7,1	1,0	6,6	7,8
Máj.	12,3	11,4	10,9	1,0	10,4	11,7	12,3	12,0	11,5	1,2	10,9	12,3
Jún.	16,9	16,8	16,5	0,6	16,2	17,0	16,9	17,2	16,8	0,7	16,5	17,3
Júl.	18,4	19,0	18,8	0,6	18,4	19,2	18,4	19,4	19,1	0,7	18,7	19,5
Aug.	18,1	18,2	18,0	0,6	17,6	18,4	18,1	18,6	18,3	0,7	17,9	18,8
Szept.	11,6	13,3	13,0	0,8	12,5	13,6	11,6	13,8	13,4	0,9	12,9	14,0
Okt.	6,8	7,9	7,5	0,8	7,1	7,8	7,9	8,3	7,9	0,9	7,5	8,5
Nov.	0,5	1,1	0,7	0,9	0,2	1,3	0,5	1,6	1,2	1,0	0,6	1,8
Dec.	–10,0	–3,4	–3,9	1,0	–4,4	–3,2	–4,1	–2,8	–3,3	1,1	–3,9	–2,6

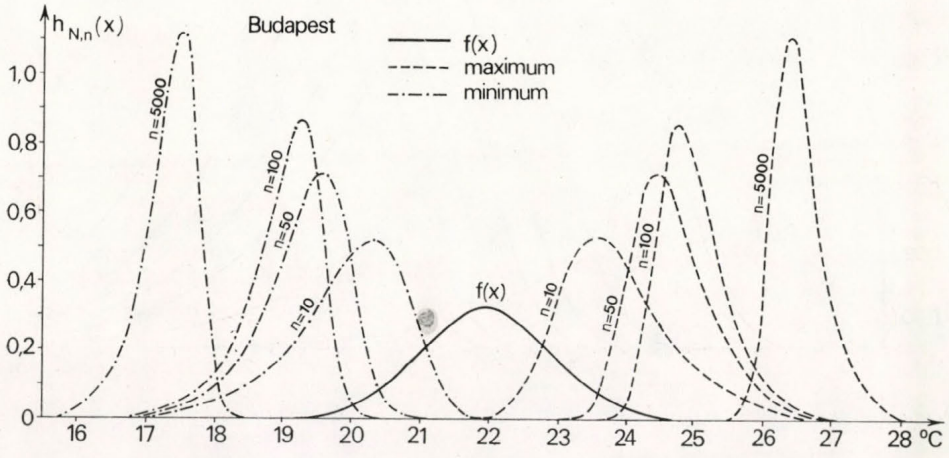
A fenti egyenletek meghatározására a valószínűségszámítási könyvekben található standard ($m=0$, $\sigma=1$) normális eloszlás táblázat szolgált. Ugyanis, ha a standard normális eloszlásra a paraméter x_n^{st}, α_n^{st} ill. y_n^{st}, β_n^{st} akkor a keresett eloszlásra

$$x_n = \sigma . x_n^{st} + m, \qquad y_n = \sigma . y_n^{st} + m$$

$$\alpha_n = \frac{1}{\sigma} \cdot \alpha_n^{st}, \qquad \beta_n = \frac{1}{\sigma} \beta_n^{st} . \tag{20}$$

Számításunk eredményeit az *I. táblázatban* mutatjuk be.

A *100 év időtartamra* számított *legmagasabb* havi középhőmérséklet várható értéke az év csaknem valamennyi hónapjában magasabb, mint a mintául választott (1861—1960) száz esztendő alatt ténylegesen bekövetkezett érték



1. ábra: A júliusi középhőmérséklet sűrűségfüggvénye $f(x)$, valamint maximumának és minimumának becsült sűrűségfüggvényei különböző időtartamokra.

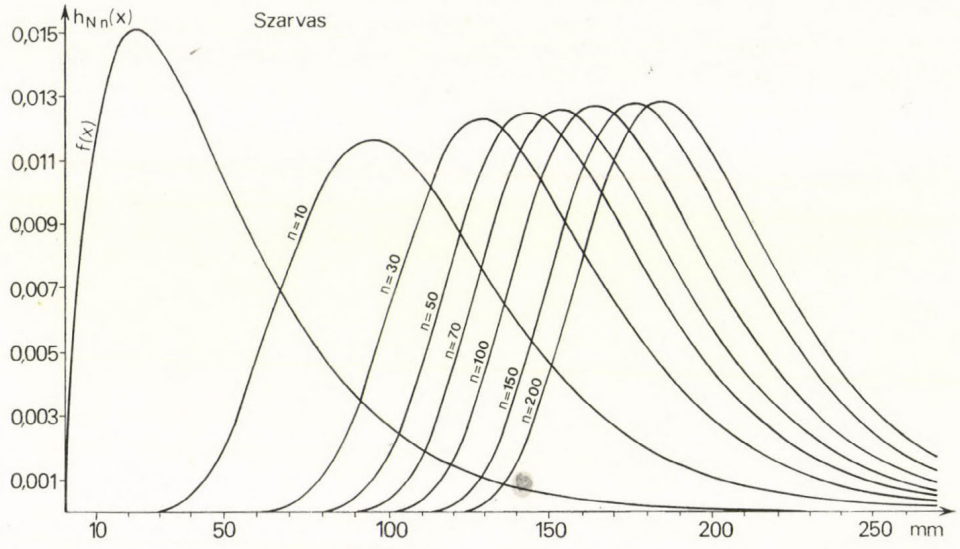
(I. táblázat). Eltérésük azonban csekély, alig haladja meg a standard deviáció értékét. A ténylegesen észlelt maximális havi középhőmérsékletek 92%-a a számított felső kvartilis értéknél alacsonyabb volt.

A *100 év időtartamra* számított *legalacsonyabb* havi középhőmérsékletek várható értéke az őszi-téli hónapokban valamivel a tényleges érték fölött maradt, különbségük általában nem haladja meg lényegesen a standard deviáció értékét. Kivétel a decemberi legalacsonyabb havi középhőmérséklet —10°-os (1879-ben észlelt) értéke, amely hazánk éghajlatában rendkívüli szélsőségnek számít. E száz év folyamán előfordult második leghidegebb decemberi havi középhőmérséklet —6,2° volt Budapesten, ami a számított várható értéktől az előzőnél lényegesen kevésbé tér el. További megállapításunk az, hogy a minimális havi középhőmérsékletek tényleges értékei — csakúgy, mint a pozitív szélsőértékeknél — csupán elvétve haladják meg a felső kvartilis értékét.

A számított értékek megbízhatósága mindig függvénye az alapul vett sor hosszúságának. Nézzük, hogyan alakulnak a havi középhőmérséklet *50 év időtartamra* számított szélsőértékei. A két szélsőségre vonatkozó várható értékek egész esztendőben szűkebb értéktartományt fognak közre mint a 100 évre vonatkozó megfelelő értékek. Az 50 év maximális középhőmérsékletének

standard deviációja valamivel magasabb a 100 évre számított megfelelő értéknél, azonban egyetlen hónapban sem halad meg 1,5°-ot. A várható és tényleges érték különbsége sehol sem haladja meg a standard deviáció értékét.

Ha azonban a várható és tényleges értékeket egy másik 50 évi (1861–1910) minta észlelt értékeivel vetjük össze, egyes hónapokban módosul a különbségük. 100 év során észlelt maximális középhőmérséklet 6 hónapban az egyik, 6 hónapban a másik 50 évben fordult elő.



2. ábra: A novemberi csapadékösszeg sűrűségfüggvénye $f(x)$ és maximumának becsült sűrűségfüggvényei különböző időtartamokra.

A legalacsonyabb havi középhőmérsékletek 50 évre számított várható és tényleges értékei ugyancsak nem mutatnak számottevő eltérést. Ám itt is azt tapasztalhatjuk, hogy a másik 50 évi időszakot véve összehasonlításul, a számított és észlelt értékek különbsége egyes hónapokban módosul. Mindamellett a tényleges érték az esetek 75%-ában mindenkor a felső kvartilis értéke alatt marad. A leghidegebb hónapokban – december, január, február – teljesül legkevésbé a normalitás, ezért az ezekre a hónapokra vonatkozó következtetések óvatosságra intenek.

Az *1. ábra* a budapesti júliusi középhőmérsékletek szélsőértékeinek sűrűségfüggvényeit mutatja különböző n-ekre. Az n időtartam növekedésével a megbízhatóság foka is növekszik, a havi középhőmérsékletek minimuma az alacsonyabb, maximuma a magasabb értékek felé tolódik. Az értékek eltolódásának azonban az adott helyen ható éghajlati tényezők természetes határt szabnak, amit jól szemléltet az 5000 évre ($n=5000$) számított szélsőértékek eloszlásának egy példája. Ez természetesen elvi határ, ami a jelenlegihez hasonló éghajlati rendszert tételez föl, évezredeken át lényeges klímaváltozások nélkül.

b) *A havi csapadékösszegek sorai.* Vizsgálatunk alapjául Bakonybél és Szarvas havi csapadékmennyiségének 80 évi (1896–1975) adatsora szolgált. Hazai hosszú csapadéksorok statisztikai elemzésének eredményeit *Szigyártó* 1972) munkájából és *Adámyné Koflanovits E.* „A havi csapadékmennyiségek

eloszlásának becslése (1981, kézirat) c. tanulmányából ismerjük. Mindketten igazolták, hogy az idősor eloszlása jó közelítéssel gamma eloszlásnak tekinthető, azaz a sűrűségfüggvénye

$$f(x) = \frac{\lambda^p}{\Gamma(p)} x^{p-1} e^{-\lambda x}, \qquad x \geq 0, \tag{21}$$

alakban írható fel. Az egyes hónapokra és földrajzi helyekre vonatkozóan a

II. TÁBLÁZAT

A havi csapadékmennyiség maximumainak statisztikai jellemszámai (mm) *ötven* (1901–1950) *és nyolcvan* (1901–1980) *év időtartamra Szarvason és Bakonybélen*

Hónap	Időtartam év	Szarvas						Bakonybél					
		a	x_n	M	D	Q_{25}	Q_{75}	a	x_n	M	D	Q_{25}	Q_{75}
Jan.	50	89	93	103	22,0	87	114	116	117	129	25,7	111	142
	80	89	101	111	21,5	95	122	116	127	138	25,1	120	151
Márc.	50	102	108	121	29,8	100	137	120	157	174	38,6	147	194
	80	102	119	132	29,4	111	147	181	171	188	38,0	161	208
Máj.	50	147	159	175	35,6	149	193	214	228	247	42,5	217	269
	80	147	171	187	34,9	163	205	214	248	267	41,8	237	288
Júl.	50	161	142	158	33,9	134	175	301	270	301	71,7	251	339
	80	161	155	170	33,3	146	187	301	295	327	70,9	277	364
Szept.	50	107	127	142	34,5	118	160	243	226	253	61,4	210	285
	80	133	139	154	34,1	130	172	243	248	276	60,8	233	307
Nov.	50	122	144	161	37,8	135	181	168	196	219	49,7	184	245
	80	176	158	175	37,4	149	194	231	215	237	49,1	202	262

λ és p paramétereket Adámyné dolgozatából vettük, ahol is a paramétereknek maximum likelihood becslése szerepel.

A csapadékösszeg nem negatív – az eloszlás alulról korlátos – és gyakorlatilag az $n \geq 1$ értékekre a minimum általában már zérus, így módszerünket csupán a maximum eloszlásának vizsgálatára korlátoztuk. Az x_n paraméter kifejezésére az ismert sort használtuk [lásd például *Gradstein–Rizsik* (1963)] amely szerint:

$$\frac{\lambda^p}{\Gamma(p)} \int_0^x t^{p-1} e^{-\lambda t} dt = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{(\lambda x)^{p+k}}{k!\,(p+k)} = 1 - \frac{1}{n}. \tag{22}$$

Ez a sor jól kezelhető, ugyanis – rögzített x esetén – adott tagtól kezdve Leibnitz típusú, így tetszőleges előírt pontossággal csonkítható, valamint a (21) sűrűségfüggvény konvex illetve konkáv attól függően, hogy x kisebb vagy nagyobb mint $(p-1)/\lambda$. Tehát a (22) egyenlet megoldása Newton módszerével tetszőleges pontossággal kiszámítható.

A maximális havi csapadékmennyiség különböző időtartamra számított sűrűségfüggvényét a *2. ábrán* mutatjuk be. A sűrűségfüggvények az időtartam (n) növekedésével előbb erőteljesen majd egyre kisebb lépésben tolódnak és „karcsúsodnak". Kérdés, mely időtartamra számíthatunk a ténylegesen észlelt értékeket jól közelítő statisztikai jellemszámokat.

A *II. táblázat*ban feltüntettük Szarvas és Bakonybél 50 ill. 80 évi csapadéksorából számított statisztikai jellemszámait az év hat hónapjára. Szarvason

a ténylegesen észlelt csapadékmennyiségnek az M várható értéktől, vagy akár a a móduszától való eltérése meglehetősen szeszélyes, de sem 50 év, sem 80 év során nem haladta meg a szórás (D) értékét, sőt az észlelt havi csapadék maximum egyik hónapban sem haladta meg a számított felső kvartilis értékét.

A csapadék területileg is meglehetősen változékony a domborzati tényezőkre érzékeny éghajlati elem. Nézük tehát mennyire eredményesek számításaink egy középhegységi állomás, Bakonybél szélsőséges csapadékmennyiségére.

III. TÁBLÁZAT

A novemberi csapadékösszeg maximumainak statisztikai jellemszámai különböző időtartamokra Szarvason

Az *a* tényleges maximum 1901–1920, 1901–1930, ... 1901–1980 időszakra vonatkozik

Időtartam év	a	x_n	M	D	Q_{25}	Q_{75}
10	95	95,4	113,6	40,5	85,1	134,7
20	99	116,9	134,5	39,1	106,9	154,9
30	100	129,0	136,4	38,4	119,3	166,4
40	100	137,7	154,9	38,1	128,0	147,7
50	122	144,3	161,3	37,8	134,7	181,0
60	176	149,7	166,6	37,6	140,1	186,2
70	176	154,2	171,1	37,6	144,6	190,7
80	176	158,0	174,9	37,4	148,6	194,4
100	–	164,6	181,4	37,3	155,1	200,8
120	–	169,8	186,5	37,1	160,4	205,8
150	–	176,3	192,9	37,0	166,9	212,2
200	–	184,5	201,0	36,6	175,2	220,1

A ténylegesen észlelt és a számított értékek különbsége itt valamivel szeszélyesebben alakul, mint Szarvason, az alföldi állomáson, de általában a standard deviáció értéke alatt marad. A 80 évi májusi sorban észlelt legnagyobb eltérés is kisebb mint 1,5 D. A ténylegesen észlelt maximális csapadékmennyiség Bakonybélen sem haladja meg egyetlen évszakban sem a felső kvartilis számított értékét. A *III. táblázat* a novemberi csapadék összeg maximumainak jellemszámait mutatja Szarvason.

Összefoglalva: a bemutatott számítási eljárás lehetőséget ad arra, hogy megfelelő hosszú észlelési sor birtokában az éghajlati elemek várható szélsőértékeire kellő biztonságú statisztikai jellemszámokat, s ezzel a távlati tervezésekhez — a matematikai statisztika eszközeivel — egzakt éghajlati hátteret adjunk.

IRODALOM

Gradstejn, I. Sz.–Rizsik, I. M., 1963: Tablicü integrálov, szumm, rjádov i. proizvegyennyij. Goszudarsztvennoje izdatyelsztvo fiziko-matematicseszkoj literaturü, Moszkva.

Gumbel, E. J., 1958: Statistics of extremes. Columbia University Press. New York.

Gulyás, O., 1978: Valószínűségszámítás és matematikai statisztika. Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest.

Kendall, M. G.–Stuart, A., 1960: The advanced theory of statistics. Charles Griffin and Company Ltd. London.

Szigyártó, Z., 1972: Az egyhónapos, vagy annál hosszabb időtartam alatt lehulló csapadékmennyiségek változékonyságának térképes ábrázolása. VITUKI Tanulmányok és kutatási eredmények.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 2. szám. 1984. március – április
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 2. March – Apr. 1984. Budapest

A konvektív cellák mozgásának statisztikai elemzése

GYÖRE SIMON—SÖVÉR FERENC, *Országos Meteorológiai Szolgálat, Alkalmazott Felhőfizikai Központ, H-7601 Pécs, Pf. 353*

A statistical analysis of cell motion. The quantitative investigation of the motion of cells formed in convective clouds in hail suppression *a)* supports climatic results, *b)* it makes possible to determine the effective protected area for an existing set of launching stations, and to plan the proper set of such stations to an area to be protected. Some empirical and theoretical distributions and numbers of velocity were determined for "hail" and "no-hail" events for a six-year observational material. The results of a simple statistical investigation are some conclusions useful in the practice of hail suppression. By defining the so called "convective periods" it becomes possible to obtain some climatic characteristics for the motion of cells.

⁂

Konvektív cellák mozgásának statisztikai elemzése. A konvektív felhőkben kialakuló cellák mozgásának kvantitatív vizsgálata a jégesőelhárításban *a)* éghajlati jellemzőket szolgáltat, *b)* lehetővé teszi, hogy egy letelepített kilövőhálózatban meghatározzuk a ténylegesen védett területet, illetve, hogy adott védekezési területhez megtervezzék a megfelelő kilövőhálózatot. Hatéves megfigyelési anyag celláit „jeges" és „nem jeges" kategóriákba sorolva, vizsgáltuk a vonulási sebesség különböző eloszlásait. Az egyszerű statisztikai elemzés eredménye néhány, a védekezési munka számára hasznos következtetés. A „koovekciós időszak" definiálásával a cellák mozgásának egyszerű éghajlati jellemzőit is előállítottuk.

⁂

Bevezetés. Baranya megye déli részén 1976 óta működik jégesőelhárító szolgálat. A kilövőhálózat tervezése, a védekezési munka indítása előzetes rádiólokációs mérések nélkül zajlott le. A kezdés óta összegyűlt megfigyelési anyag lehetővé tette, hogy utólag elvégezzünk néhány vizsgálatot. Így került sor a konvektív felhőkben kialakuló *cellák* mozgásának statisztikai elemzésére.

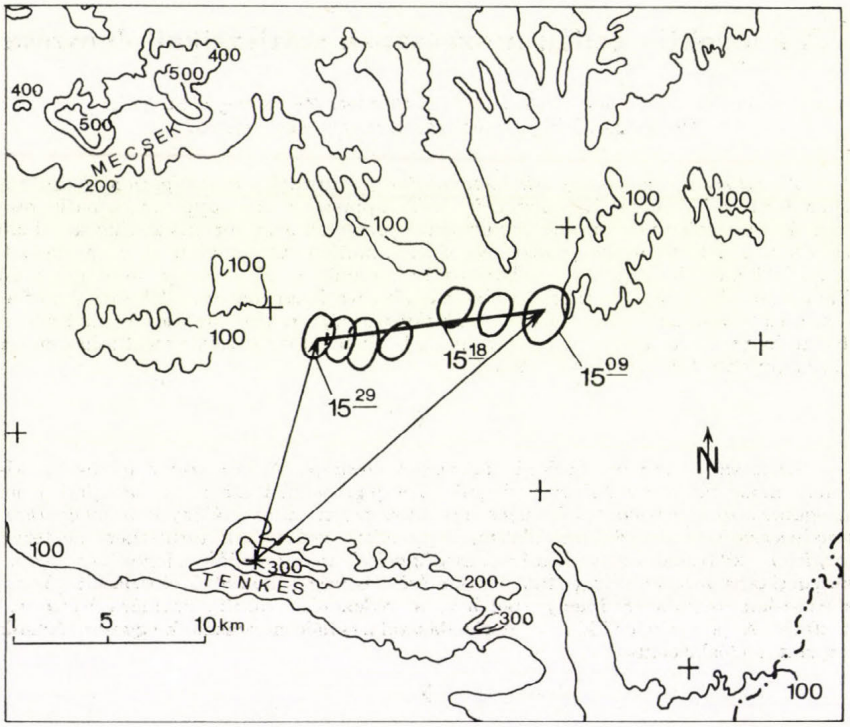
Legyen η_{max} a felhő rádiólokációs visszaverőképességének lokális maximuma. (*Abshaev* et al., 1980) Ekkor egy *cella* η_{max} helyének az a környezete, amelyben a visszaverőképességre $\eta \geq \eta_{max}/16$. (A definíció szerint tehát egy konvektív felhőben több cellát is megfigyelhetünk.) A mérések során a cellának a -5 és a -10 °C-os izoterma szintek közé eső kvázihorizontális – egészen pontosan az antenna optikai tengelye által leírt kúppalásttal való – metszetét kapjuk. Ennek vízszintes vetülete a cella helye, és a cella mozgását az időben egymás utáni vetületekből határozzuk meg.

Tanulmányunkban a cellák mozgásának statisztikai vizsgálatát végezzük el, a cellák összességére és különböző feltételek esetére. Feldolgozásunkhoz az 1977 – 1982 között végzett rádiólokációs megfigyelések munkatérképen rögzített adatokat valamint az Állami Biztosító (ÁB), a jégesőindikátor és a jég-

esőmegfigyelő hálózat által szolgáltatott jégeső- és jégkár-információkat használtuk fel.

Az adatelőkészítés során a következőket tartottuk szem előtt:

– Csak azokat a cellákat vettük figyelembe, amelyek *1)* az első és utolsó méréskor a Tenkesen levő radartól 5 km $\leq R \leq$ 50 km távolságra voltak, és *2)* pozíciójukat legalább négyszer mértük.
– A cellák pályáját manuálisan egyetlen szakasszal(vagy törtvonallal) közelítettük, az *1. ábrán* látható módon.



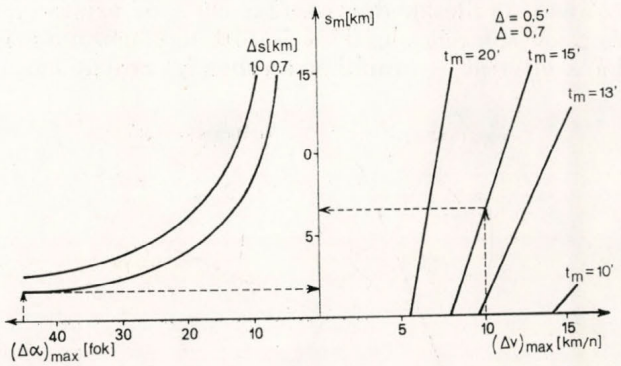
1. ábra: A cella elmozdulásának közelítése — *Fig. 1:* Approaching the moving of the cell

– A 20°-nál nagyobb irányváltoztatásokat töréspontnak vettük figyelembe. (Itt is legalább négy mérésnek kellett történnie az egyes töréspontok között.)
– Figyelmen kívül hagytuk a beavatkozás esetleges módosító hatását.
– Az elemi eseményeket három csoportra osztottuk az alábbi definíció szerint: *a) jeges:* indikátort károsított, vagy: az ÁB által elfogadott jégkárt okozott, vagy: egyéb jégjelentés rendelhető hozzá; *b) nem jeges*: nem károsított indikátort, nem okozott az ÁB által elfogadott növénykárt, és olyan jelentés érkezett hozzá, hogy nem volt jég; *c) bizonytalan:* egyéb esetben.

Vizsgálatunkban *elemi esemény* a cella elmozdulását közelítő törtvonal s hosszúságú irányított szakaszának és a hozzá rendelhető t időtartamnak s/t hányadosa, vektorként értelmezve. A továbbiakban v-vel jelöljük az elemi esemény nagyságát, α-val pedig annak a meteorológiában szokásos módon vett irányát.

Az elemi eseményeknek természetszerűleg van mérési hibája, ami a mérési időpont, ill. a hely meghatározásának pontatlanságából ered. Előbbire $\Delta t = 0{,}5$ percet, utóbbira pedig $\Delta s = 0{,}7$ km-t fogadtunk el.

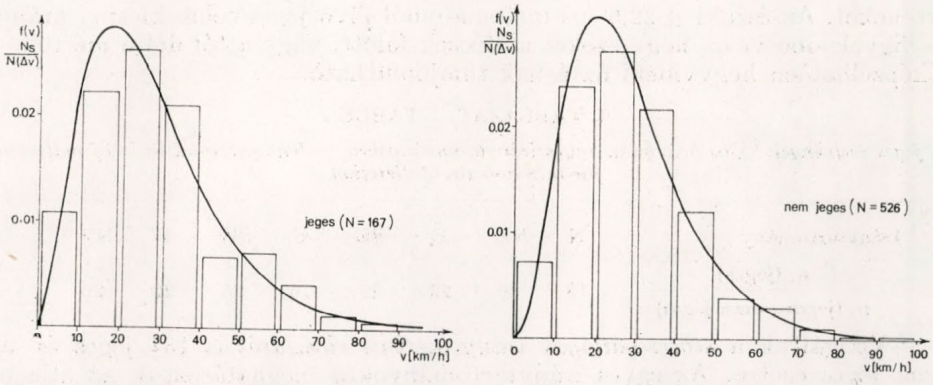
A statisztikai vizsgálatok csak úgy adhatnak megbízható eredményt, ha az adatok pontossága megfelelő. Ezért az iránytól független sebességeloszlás vizsgálata során csak azokat az elemi eseményeket vettük figyelembe, amelyekre $(\Delta v)_{max} \leq 10$ km/h; a sebességtől független irány szerinti eloszlásnál a $(\Delta\alpha)_{max} \leq 45°$-os feltételnek eleget tevőket; az irány és sebesség szerinti együttes eloszlásnál pedig azokat, amelyek mindkét feltételt teljesítik. A $(\Delta v)_{max}$ és $(\Delta\alpha)_{max}$ szimbólumok a lehetséges legnagyobb hibákat jelölik. Ekkor ahhoz, hogy a sebesség bizonytalansága $(\Delta v)_{max}$-nál, a szögbizonytalanság pedig $(\Delta\alpha)_{max}$-nál ne legyen nagyobb, az s_m, t_m, Δs, Δt, $(\Delta v)_{max}$ és $(\Delta\alpha)_{max}$ mennyiségekre teljesülnie kell a következő feltételnek:



2. ábra: Grafikonok az irány- és sebességhibák korlátozására. A bal oldali grafikonról a minimális, a jobb oldaliról pedig a maximális elfogadható s_m értéket olvashatjuk le. Legyen $(\Delta\alpha) = 45°$ és $(\Delta v)_{max} = 10$ km/h. Ekkor $t_m = 15$ percre $1{,}6$ km $\leq s_m \leq 6{,}6$ km adódik.

Fig. 2: Graphes limiting the error of velocity and direction. From the left side one we can get the minimum value of acceptable s_m, from the right the maximum value. Let $(\Delta\alpha)_{max} = 45°$ and $(\Delta v)_{max} = 10$ km/h. In this case for $t_m = 15$ minutes it gives: $1{,}6$ km $\leq s_m \leq 6{,}6$ km

$$\frac{2\,\Delta s}{\sin(\Delta\alpha)_{max}} + 2\,\Delta s \leq s_m \leq \frac{(t_m - 2\Delta t)(t_m - 4\Delta t)}{2\,\Delta t}(\Delta v)_{max} - t_m\frac{\Delta s}{\Delta t} - 4\Delta s \qquad (1)$$



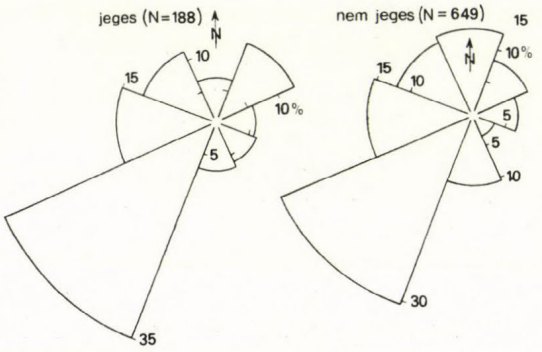
3. ábra: A sebesség iránytól független eloszlása a jeges és nem jeges elemi eseményekre. (Vastag vonallal a közelítő Γ-eloszlás sűrűségfüggvényét jelöltük.)

Fig. 3: Distribution of velocity for hail and no hail elementary events—independently of direction. (Heavy solid line is the Γ-distribution approximating the empirical one.)

Az (1) feltétel meghatározását a Függelékben ismertetjük. A *2. ábrán* mutatjuk be ezeknek a képleteknek a használatát.

Statisztikai vizsgálatok

A továbbiakban megvizsgáltunk néhány, az elemi eseményekre jellemző eloszlást. Az *iránytól független sebességeloszlás* hisztogramját láthatjuk a *3. ábrán* a 167 jeges és az 526 nem jeges elemi eseményre. Az adatokhoz Γ-eloszlást illesztettünk a $\bar{v} = p/L$, $\sigma_v = \sqrt{p}/L$ összefüggések alapján kapott p,L paraméterrel (*Vincze*, 1975). (A $\bar{v}$, ill. σ_v a mérési adatokból kapott becsült átlag, ill. szórás.) Az illeszkedésvizsgálat 99%-os szinten nem vezetett ellentmondásra, és a két sokaság eloszlása között ugyanezen a szinten nem találtunk szignifikáns eltérést – mindkét esetben χ^2 próbát használva.



4. ábra: Sebességtől független irány szerinti eloszlás a jeges és nem jeges elemi eseményekre

Fig. 4: Distribution of direction for hail and no-hail events – independently of direction

A *sebességtől független irányeloszlást* a *4. ábra* tartalmazza, a meteorológiában szokásos ábrázolással, külön a 188 jeges és a 649 nem jeges elemi eseményre. Az *I. táblázat*-ban a 8 iránytartomány mindegyikére megadtuk az

$$\frac{n_i \text{ (jeges)}}{n_i \text{ (jeges + nem jeges)}} \; 100\% \; (i = 1, \ldots, 8) \qquad (2)$$

értékeket. Az északi $\pm 22{,}5°$-os tartományból jövő jeges célok kicsiny aránya – figyelembe véve, hogy ezeket a Mecsek fölött, vagy attól délre mértük – elképzelhetően hegyvidéki hatásnak tulajdonítható.

I. TÁBLÁZAT – TABLE I

A jeges események %-os aránya az egyes iránytartományokra – The percental ratio of hail events for each domain of direction

Iránytartomány	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
$\frac{n_i \text{ (jeges)}}{n_i \text{ (jeges+nem jeges)}}$	13	36	23	38	16	26	22	26

Vizsgáltuk a *sebességátlagok irány szerinti eloszlását* is 154 jeges és 493 nem jeges esetre. Az egyes iránytartományokra meghatároztuk az átlagot, valamint ennek becsült szórását, aminek segítségével konfidencia-intervallumot adhatunk az átlagra *(II. táblázat)*. Látható, hogy mind a jeges, mind a nem jeges eseményekre a $180-270°$-os iránytartományba esnek a szignifikánsan legnagyobb értékek.

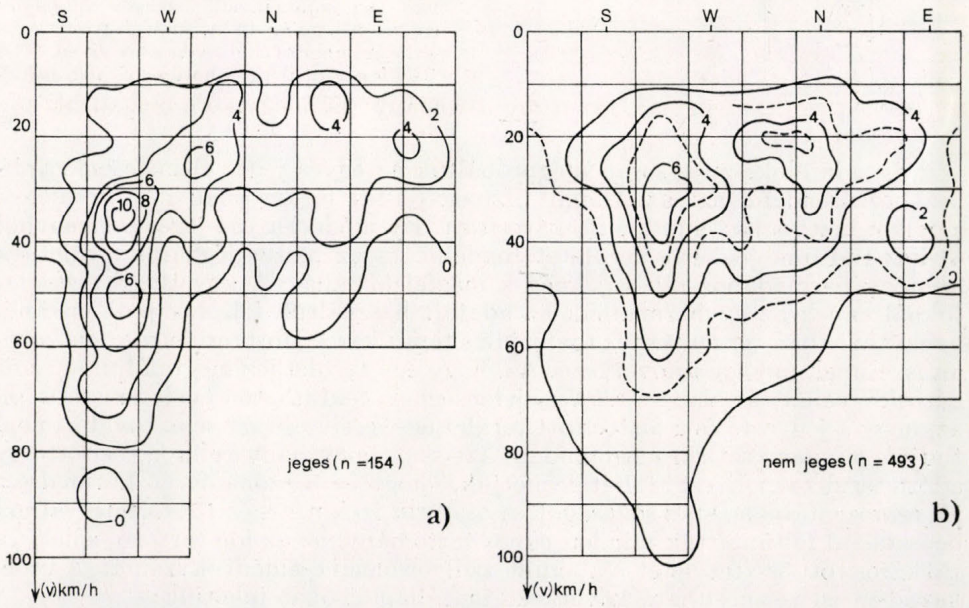
A *sebesség és irány szerinti együttes eloszlást* 154 jeges és 493 nem jeges adat alapján becsültäk *(5/a, b ábra)*. Módszerünk a következő volt: valamely α irányhoz és v sebességhez az $n_{\alpha v}/n$ hányadost rendeltük hozzá, ahol $n_{\alpha v}$ az $\alpha \pm 22{,}5°$-os irányok és a $v \pm 5$ km/h-s sebességek által meghatározott tartományba eső elemi események, n pedig az összes elemi esemény száma. Számításaink során az $n_{\alpha v}/n$ hányadost az

$$\alpha = \text{k}.22{,}5° \qquad (\text{k} = 1{,}2, \ldots, 16)$$
$$v = \text{m}.5 \text{ km/h} \qquad (\text{m} = 1{,}2, \ldots, 22) \qquad (3)$$

II. TÁBLÁZAT – TABLE II

Az átlagsebességek, becsült szórásuk és az elemszámok az n $45° \pm 22{,}5°$ (n = 0, . . .,7) *iránytartományokban. A sebesség- és szórásértékek* km/h-*ban adottak. – The average velocity, its estimated dispersion and the number of events for domains of direction n* $45° \pm 22{,}5°$ *(n = 0, . . ., 7). (The values of velocity and dispersion are in km/h).*

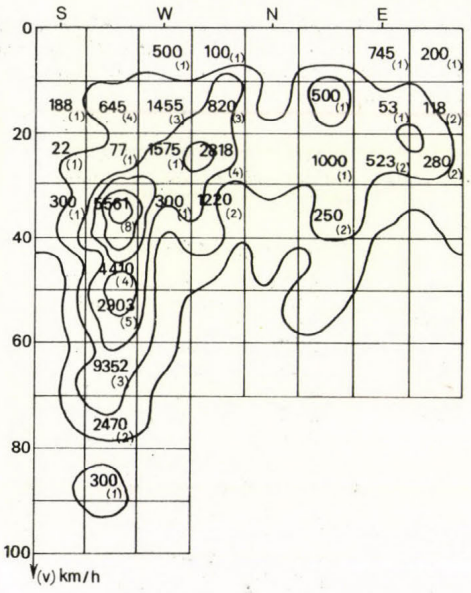
Irány	Átlag-sebesség	Becsült szórás	Eset-szám	Irány	Átlag-sebesség	Becsült szórás	Eset-szám
	Jeges (154)				Nem jeges (493)		
0°	25,4	2,6	11	0°	26,9	1,2	76
	23,1	2,7	21		23,1	1,6	38
90°	18,5	2,7	10	90°	26,0	1,9	34
	19,3	2,4	10		21,2	3,4	15
180°	23,3	3,7	10	180°	28,8	2,3	51
	43,0	2,5	49		35,2	1,4	141
270°	23,8	2,5	21	270°	30,2	1,6	74
	21,4	2,2	22		26,6	1,5	64



5. ábra: A jeges (a) és nem jeges (b) elemi események irány-sebesség szerinti együttes eloszlása. (A 0, 2, . . .,.10-zel jelzett görbék a relatív gyakoriság izovonalai – százalékban)
Fig. 5: Two-dimensional (direction-velocity) distribution of hail (a) and no-hail (b) events. (The curves with numbers 0, 2, . . ., 10 are the isolines of relative frequency – in percents.)

értékekre határoztuk meg. Ezt kiegészítettük azzal, hogy a függvény maximuma közelében, valamint ott, ahol az esetszám lehetővé tette, α = k.11,25°-ra és v = m.2,5 km/h-ra is kiszámítottuk az n_{av}/n-t.

A 154 jeges esemény eloszlása *(5/a ábra)* teljesen megegyezik azzal, amit a szubjektív tapasztalataink is mutattak. Egyértelműen kitűnik a 200—250°-ról 30—60 km/h sebességgel mozgó cellák nagy relatív gyakorisága, és a 230°, 50 km/h-hoz tartozó maximum, amely — valószínűleg — alapvetően frontális tevékenységhez köthető.



6. ábra: A 61, jégkáros területtel összekapcsolható jeges elemi esemény eloszlása. Az egyes tartományokra megadtuk az ide tartozó események által károsított összterületet, valamint — zárójelben — a kárt okozó események számát. (Az ábrán feltüntettük a jeges elemi események irány-sebesség szerinti együttes eloszlását is.)

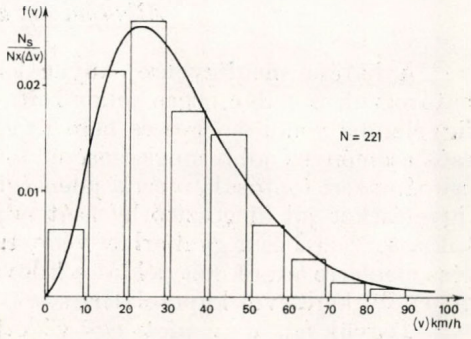
Fig. 6: The distribution of 61 cases connectable with hail damages. For each domain here the summarized damages caused by events belonging to it, and — inparanthesis — the number of such events are given. (The two-dimensional distribution of hail events is on the figure, too.)

Az adatelőkészítés során megpróbáltuk az egyes jeges elemi eseményekhez hozzárendelni azt az Állami Biztosító által jégkárosnak ítélt területet, amelyet biztosan az adott cella károsított. Ily módon a 154 jeges eseményből 61-hez tudtunk jégkáros területet rendelni, és az összes jégkáros területnek mintegy harmadához találtuk meg a megfelelő cellát. A következő vizsgálatoknál ennek az egyharmadnak az adatait használtuk fel, a kapott eredményeket azonban érvényesnek tekintjük a teljes károsodott területre vonatkozóan is. Ennek indoka a következő. Az, hogy egy területhez megtaláljuk-e az őt károsító cellát, általában *véletlen* jelenségnek tekinthető. (Véletlenszerű pl. az, hogy a jégverte és a biztosított terület egybeesik-e vagy sem, továbbá nem tudjuk minden esetben megmondani azt sem, hogy hány cella károsított egy adott területet.) Ezért föltételezhetjük, hogy ez a szóbanforgó harmadrész jól reprezentálja a teljes sokaságot. A *6. ábrán* 10 km/h-s és 45°-os intervallum beosztással feltüntettük minden egyes tartományhoz az ide tartozó cellák által károsított összterületet, valamint az ilyen elemi események számát. A védekezésben is hasznosítható következő megállapításokat tehetjük:

— A 200—250°-os iránytartományból mozgó cellák károsítják az összterület 65—75%-át, és itt még a nagy — 70—80 km/h — sebességgel haladó cellák is számottevő kárt okozhatnak.

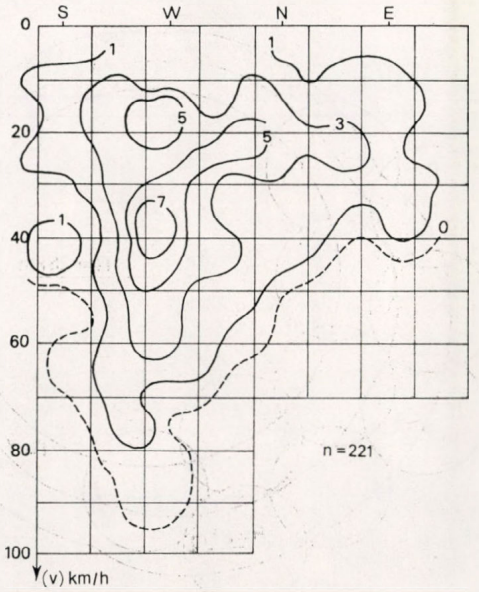
– A 270–360–180°-os tartományból érkező cellák rovására írható az említett területnek mintegy 25%-a.
– Nagy valószínűséggel a Mecsek hatásának is tulajdonítható az, hogy az északi 45°-os tartományba kicsi jégkáros terület esik (0,2%).

Adatsorunk a klimatológiában szokásos feldolgozásra kevésbé alkalmazható, hiszen esetenként változik az, hogy azonos időtartam alatt hány cellát figyeltünk meg, illetve hány elemi eseményhez jutottunk. A megfigyelési időszakok különböző adatsűrűségét azzal próbáltuk meg kiküszöbölni, hogy be-



7. ábra: A konvekciós időszakokban észlelt elemi események átlagsebességének iránytól független eloszlása. (A vastag vonal a közelítő Γ-eloszlás.)
Fig. 7: The distribution of mean velocity of cells – in convective periods – independently of direction. (Heavy solid line is the Γ-distribution approximating the empirical one.)

vezettük a *konvekciós időszak* fogalmát. Ezen azt az időszakot értjük, amelyen belül az egymást követő elemi események vége és kezdete közti idő különbség nem nagyobb egy meghatározott időtartamnál: ezt 3, ill. 4 órának választottuk. Az utóbbinál csak néhánnyal kevesebb időszakot kaptunk, emiatt a 3 órás értékkel dolgoztunk. A továbbiakban mellőztük azokat a feltételeket, amelyeket a mérési pontatlanság korlátozására adtunk, és átlalagoltuk az egy időszakba eső elemi eseményeket. Az átlagokra megadtuk az



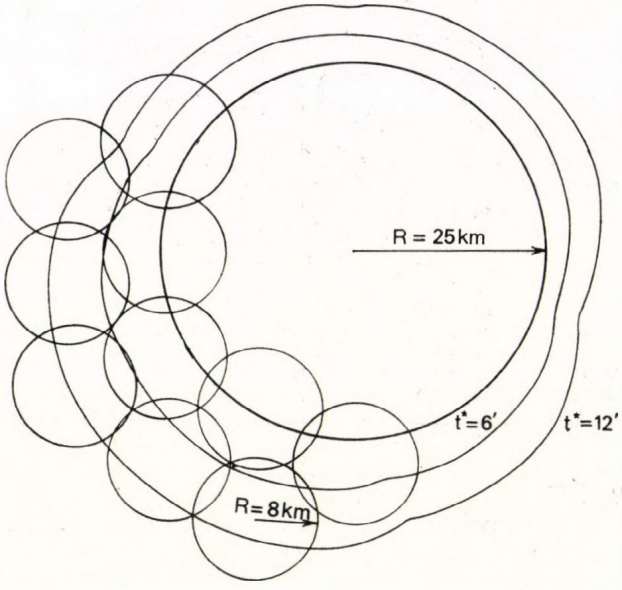
8. ábra: A konvekciós időszakok átlagsebességének nagyság-irány szerinti eloszlása. (A 0,1, ... görbék a relatív gyakoriság izovonalai – százalékban.)
Fig. 8: The direction-velocity distribution of the mean of elementary events in convective periods. (The curves, 0,1, ... are the isolines of relative frequency – in percents.)

iránytól független sebességeloszlás *(7. ábra)*, valamint a sebesség-irány szerinti eloszlás *(8. ábra)* hisztogramját. (Előbbinél feltüntettük a közelítő Γ-eloszlás sűrűségfüggvényét is.) A kicsiny esetszám most nem tette lehetővé, hogy szétválasszuk a jeges és nem jeges konvekciós időszakokat. Ezzel együtt is látható, hogy mindkét eloszlás hasonló az elemi eseményekéhez. Az együttes eloszlásnál egyértelműen kimutatható a 225°, 35—45 km/h-hoz tartozó maximális relatív gyakoriság.

Alkalmazás, következtetések

A hatévi megfigyelési anyag lehetővé tette, hogy viszonylag jól meghatározzuk a cellamozgás jellemzőit. A legtöbb esetben sikerült külön-külön figyelembe venni a jeges és nem jeges eseteket, ami a számunkra fontos jégesős események jobb megismerését tette lehetővé. A kapott eredmények nem csupán azért fontosak, mert a jelenségnek számszerű, az eddigi szubjektív megfigyeléseket jól kiegészítő leírását adják, hanem azért is, mert felhasználhatók a tervezési és a gyakorlati védekezési munka során is. A dolgozat befejező részében erre adunk két példát a kilövőhálózat tervezésével, *ill.* a beavatkozási engedély kérésével kapcsolatban.

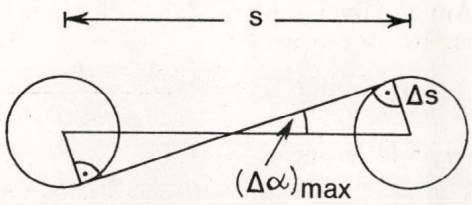
Tegyük fel, hogy adott egy védett terület (VT). A kérdés az: hogyan telepítsük a kilövőhálózatot, ha azt kívánjuk elérni, hogy a VT felé haladó jégesős, vagy jégesőveszélyes cellákon legkésőbb a VT határánál a talajon is észlelhető legyen a beavatkozás hatása. Tételezzünk fel kör alakú VT-t, $R = 25$ km-es sugárral *(9. ábra)*. Tekintsünk el a jégesős folyamat irány szerinti változékonyságától, és legyen t^* a magvasítás és a talajon észlelhető hatása közötti idő. [Ez utóbbi tapasztalataink és irodalmi adatok alapján 6—12 percnek vehető (*Federer* et al., 1982).] Ha egy jeges, vagy jégveszélyes cella v sebességgel mozog a VT felé, akkor ezt legkésőbb a VT-től vt^* távolságra kell módosítanunk ahhoz, hogy a kitűzött célt biztosan elérjük. Mivel a legrosszabb



9. ábra: A módosítás területének meghatározása adott VT-hez 6 és 12 perces „hatékonysági idő" esetén

Fig. 9: Determination of the area of seeding for a given area to be protected — with "efficiency-time" of 6 and 12 minutes

esetre kell felkészülnünk, emiatt minden iránytartományhoz meghatározzuk azt a maximális sebességet, amelynek esetében még előfordulnak veszélyes helyzetek. Az ábrán $t^* = 6$ és 12 perc értékekre adtuk meg a módosítás tartományát, és hozzá néhány kilövőállomást. Az ábrából kitűnik, mennyire fontos a t^* meghatározása, mivel pl. 8 km hatósugarú rakétákat használva 4 – 5 kilövőállomással több szükséges, ha 6 helyett 12 perccel számolunk.



10. ábra: A mérés maximális szögbizonytalanságának meghatározása
Fig. 10: The maximum error of direction

A következő észrevétel a beavatkozási engedély kérésével kapcsolatos. A kérés és az engedély megadása közötti időtartamra 30 perc a megengedett legnagyobb érték. Ez egyrészt azt jelenti, hogy a VT felé mozgó cél esetén a beavatkozási területtől legkésőbb $0{,}5v$ km távolságban el kell döntenünk: szükség lesz-e beavatkozásra, vagy nem. Másrészt: ha egy cella ezen a távolságon belül keletkezik, vagy egyéb ok miatt itt fedezik fel először, akkor az rossz esetben akár 10 – 20 km-t is megtehet a VT fölött, jégesős stádiumban, módosítás nélkül. Így – véleményünk szerint – az engedélyezett 30 perc veszélyesen hosszú.

Függelék

A mért s_m, t_m értékekre:

$$\begin{aligned} s - 2\Delta s \leq s_m \leq s + 2\Delta s \\ t - 2\Delta t \leq t_m \leq t + 2\Delta t \end{aligned} \tag{4}$$

Az irány szerinti bizonytalanságra

$$\sin(\Delta\alpha) \leq 2\Delta s/s \tag{5}$$

(10. ábra). Így $\Delta\alpha \leq \Delta\alpha_{max}$, ill. az ilyen szögeknél ezzel ekvivalens $\sin(\Delta\alpha) \leq$ $\leq \sin(\Delta\alpha)_{max}$ fennáll, ha $2\,\Delta s/s \leq \sin(\Delta\alpha)_{max}$. Átrendezve:

$$2\,\Delta s/\sin(\Delta\alpha)_{max} \leq s \tag{6}$$

Ez utóbbi pedig (4) alapján biztosan teljesül, ha

$$\frac{2\,\Delta s}{\sin(\Delta\alpha)_{max}} + 2\,\Delta s \leq s_m \tag{7}$$

A sebesség szerinti bizonytalanságot úgy korlátozhatjuk, hogy az s_m-re felső határt adunk Legyen $v = s/t$ a valódi sebesség. Ekkor a mért $v_m = s_m/t_m$-re:

$$\frac{s - 2\,\Delta s}{t + 2\,\Delta t} \leq v_m \leq \frac{s + 2\,\Delta s}{t - 2\,\Delta t} \tag{8}$$

Így $\max\left\{\frac{s}{t} - \frac{s - 2\,\Delta s}{t + 2\,\Delta t},\ \frac{s + 2\,\Delta s}{t - 2\,\Delta t} - \frac{s}{t}\right\}$ a $|v_m - v|$-nek felső korlátja. Rövid

számolással meggyőződhetünk arról, hogy a második kifejezés a nagyobb, így ezt használjuk a $2\,\dfrac{t\Delta s+s\,\Delta t}{t(t-2\,\Delta t)}$ átalakított formában. A (4) egyenlőtlenségek alapján

$$2\,\frac{t\,\Delta s+s\,\Delta t}{t\,(t-2\,\Delta t)} \leq 2\,\frac{(t_m+2\Delta t)\,\Delta s+(s_m+2\,\Delta s)\,\Delta t}{(t_m-2\,\Delta t)\,(t_m-4\,\Delta t)}. \tag{9}$$

Amennyiben a jobboldal $(\Delta v)_{max}$-nál kisebb, akkor fennáll a $|v_m-v| \leq (\Delta v)_{max}$ is. Rendezve a

$$2\,\frac{(t_m+2\,\Delta t)\,\Delta s\,+\,(s_m+2\,\Delta s)\,\Delta t}{(t_m-2\,\Delta t)\cdot(t_m-4\,\Delta t)} \leq (\Delta v)_{max} \tag{10}$$

egyenlőtlenséget, s_m-re

$$s_m \leq \frac{(t_m-2\,\Delta t)\,(t_m-4\,\Delta t)}{2\,\Delta t}(\Delta v)_{max}-t_m\frac{\Delta s}{\Delta t}-4\,\Delta s \tag{11}$$

adódik.

IRODALOM

Abshaev, M. T., Burtsev, I. I., Vaksenburg, Sz. I. i *Shevela, G. F.*, 1980: *Rukovodstvo po primeneniu radiolokatorov MRL-4, MRL-5 i MRL-6 v sisteme gradozasity.* Gidrometeoizdat, Leningrad.

Federer, B., Waldvogel, A., Schmid, W., Hampel, F., Schweingruber, M., Stahel, W., Mezeix, J. -F., Doras, N. and *Vento, D.*: First results of Grossversuch IV. *Conference-Workshop on Hailstorms and Hail Prevention.* Sofia, Bulgaria.

Vincze I., 1975: *Matematikai statisztika ipari alkalmazásokkal.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

IRODALOM

KONDRATYEV, K. Y. and UNT, G. E.: **Weather and climate on planets** *(A bolygók időjárása és éghajlata)*. Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris and Frankfurt 1982. 755+XIII old., 4 fejezet.

BARBATO, J. P. and AYER, E. A.: **Atmospheres. A view of the gaseous envelopes surrounding members of our Solar System** *(Légkörök. A Naprendszer tagjait övező gázburkok áttekintése.)* Pergamon Press 1981. 266+XIX old., 8 fejezet.

Talán első pillanatra szokatlan, hogy egy ismertetés két könyvvel foglalkozik. Tekintve azonban a két kötet témájának hasonlóságát, célszerűnek tűnt együttes ismertetésük. Ugyanakkor a két munka érdekes különbsége, hogy az első szakemberek, míg a második szélesebb olvasóközönség számára készült. A másik különbség abból adódik, hogy míg *Kondratyev* és *Hunt* csak a Vénusz, a Mars és a Jupiter légkörét tárgyalja, *Barbato* és *Ayer* az egész Naprendszerrel foglalkozik, a Földet is beleértve.

A köteteket forgatva az olvasóban elsősorban az a benyomás erősödik, hogy mennyire kibővült az utolsó évtizedekben a meteorológia tárgyköre. Ma már nem csak a földi légkör vizsgálata tartozik ebbe a tudományágba, hanem a bolygók és holdjaik gázburkának kutatása is. Így nyugodtan mondhatjuk többesszámban, hogy a meteorológia a *légkörök* tudományává vált. Sőt túlzás nélkül beszélhetünk a meteorológia egy új ágáról, az összehasonlító meteoroló giáról is, amelynek feladata a különböző égitestek légkörének összehasonlítása.

Tekintve, hogy a Földön élünk, elsősorban az a kérdés érdekel bennünket, hogy mennyiben egyezik, illetve különbözik bolygónk gázburka a Naprendszer többi légkörétől. Ez ugyanis nem csak a Föld légkörének múltja és jelene (pl. jelenlegi összetétel, sugárzási mérleg, cirkuláció), hanem jövője (pl. antropogén hatások) szempontjából is alapvető. A két könyv alapján jelenlegi ismereteink a következőképpen foglalhatók össze.

A *Merkurt* igen kis nyomású hidrogén légkör övezi, amelynek szabályozásában a napszél fontos szerepet játszik.

A *Vénusz* légköre elsősorban (95%) szén-dioxidból áll. A felszínen a nyomás (90 bar) és a hőmérséklet (760 °K) magas. A felhőtakaró kénsav cseppecskékből áll. Ennek megfelelően a felhőkből valóban „savas" csapadék hullik. A bolygó igen lassan forog, így az eltérítő erő gyenge. Légköre kiválóan alkalmas a lényegében Coriolis erő nélküli cirkuláció tanulmányozására. A Földdel összehasonlítva a Vénusz lényeges tulajdonsága a jelentős üvegházhatás. Ennek további vizsgálata a levegő CO_2 szintjének növekedésével kapcsolatos kérdések megválaszolásához adhat támpontokat.

A *Marsot* szintén CO_2 légkör övezi. A felszíni légnyomás szonban csak 7 – 8 mb. A felszínnek átlagosan csupán 5%-át borítja felhőtakaró. Igen gyakoriak viszont a porviharok. A cirkuláció a földi szélrendszerhez hasonló. További érdekesség, hogy a bolygón évszakos változások figyelhetők meg. Ennek egyik jele a szilárd szén-dioxidból álló poláris sapka megjelenése, illetve eltűnése. Hosszú vita tárgya, hogy lehetséges-e a Marson primitív élet. Ez a kérdés további vizsgálatokat igényel. Az mindenesetre biztos, hogy a légkör oxigénszintje igen alacsony és a víz gőz vagy szilárd formában fordul elő. Nem kizárt azonban felszín alatti víz jelenléte sem.

Az utóbbi évek űrkutatásának legnagyobb eseménye a „Pioneer" és a „Voyager" űrszondák útra bocsátása volt. A velük végzett megfigyelések alapvetően hozzájárultak a Jupiterről és Szaturnuszról, illetve holdjaikról alkotott jelen elképzeléseink kialakulásához.

A *Jupiter* 20 bar-os referencia szintjén (a „felszín" definiálhatatlan) a hőmérséklet 400 °K. A bolygó hatalmas gáztömegét 99%-ban hidrogén és hélium építi fel. A bolygó energiamérlege meglehetősen különös. Közel kétszer annyi energiát sugároz ki, mint amennyit a napsugárzásból elnyel. A trópusi és szubtrópusi szélességeken a zónális áramlás igen erős (ez a felhőzet jellegéből állapítható meg), míg a magasabb szélességeken turbulens örvények figyelhetők meg. A cirkuláció a földi óceán cirkulációjához hasonlítható. Annak ellenére, hogy az összetétel közel áll a Napéhoz, a Jupiter légkörében szerves vegyületek is kimutathatók. Számos kutató véleménye szerint a feltételek az élet kialakulása szempontjából hasonlóak a néhány milliárd évvel ezelőtti földi feltételekhez. A légkörben a konvekció és az elektromos tevékenység igen erős. A Jupiter *Io* nevű holdján számos vulkán működik. A ritka légkör (0,1 mb) érdekes módon

kén-dioxidból áll. Nagyon valószínű, hogy a hold felszínére időnként szilárd SO_2 rakódik le. A Jupiter legnagyobb holdja a *Ganimedész*, amelyet kis nyomású metán és ammónia légkör övez. A felszíni hőmérséklet kb. 130 °K-nek egyenlő.

A *Szaturnusz* gázburkának összetétele a Jupiter légkörének összetételéhez hasonló. Az 1 mb-os referencia szinten a hőmérséklet 140 °K körül ingadozik. A tropoauza magasságában (100 mg) a hőmérséklet már csak 85 °K. A bolygót magnetoszféra veszi körül. Ebben helyezkedik el a gyűrű-rendszer is. A megfigyelések szerint a Szaturnusz holdjai közül egyedül a legnagyobb, a *Titán* rendelkezik légkörrel. A földi légkörhöz hasonlóan a Titán gázburka is elsősorban nitrogénből áll. Ezen a Merkurhoz hasonló nagyságú égitesten a légnyomás megegyezik a Földön megszokott 100 mb-os értékkel. A 80 °K-es hőmérséklet azonban jóval alacsonyabb, mint a Föld esetében. A felhőtakaró jellege is meglehetősen különbözik. A holdon a felhőket nitrogén, metán és kisebb mértékben hidrogén és ammónia építi fel. Igen érdekes annak felvetése, hogy ezen a hideg, de sok tekintetben az „ősi" Földhöz hasonló égitesten létezhet-e az élet valamilyen kezdetleges formája. A probléma elsősorban az, hogy mindezidáig nem sikerült rajta a víz jelenlétét kimutatni. Ennek ellenére ez a kérdés a jövő-kutatások egyik izgalmas témája lehet.

Talán ebből a rövid összefoglalásból is kitűnik, hogy a két kötet milyen érdekes kérdésekkel foglalkozik. Másrészt talán azt is sikerült érzékeltetni, hogy tudományterületünk a szó szoros értelmében milyen nagy mértékben kibővült. Ezért igen hasznosak azok a könyvek, amelyek az érdeklődő szakemberek számára összefoglalják az elért eredményeket. Különösen akkor, ha jól is vannak megírva, mint ez a két munka. *Kondratyev* és *Hunt* könyvét azoknak ajánljuk, akik a Vénusz, a Mars és a Jupiter légkörével kapcsolatos kutatások részletei iránt is érdeklődnek. A fejezeteket követő bő irodalom további elmélyülést is lehetővé tesz. *Barbato* és *Ayer* leíró formában megírt munkájából viszont gyorsan és lényegre törően ismerkedhetünk meg a problémakör jelenlegi állásáról. Ez utóbbi kötet egyetemi oktatás céljaira is nagyon alkalmasnak látszik.

Mészáros Ernő

KONDRATYEV, K. Ja. – MOSZKALENKO, N. I. – POZDNJAKOV, D. V.: **Atmoszfernyj aerosol** *(Légköri aeroszol)*. Gidrometeoizdat, Leningrád, 1983. 224 old., 54 ábra, 57 tábl., 306 rod. hivatk.

A légköri aeroszol részecskék számos légköri folyamat szabályozásában fontos szerepet játszanak. Ennek megfelelően egy, a „Légköri aeroszol" címet viselő kézikönyvet is különböző szempontok szerint lehet megírni. Jelen kötet a kérdéskört a részecskék sugárzásátvitelre gyakorolt hatása szemszögéből tárgyalja a következő öt fejezetben: *1.* A légköri aeroszol térbeli szerkezete, kémiai összetétele és keletkezése. *2.* A légköri aeroszol optikai tulajdonságai és ezek változása a mikrostruktúra, a kémiai összetétel és a részecskék halmazállapota függvényében. *3.* A több komponensből álló légköri aeroszol optikai tulajdonságainak modellezése. *4.* Légköri aeroszol-modellek. *5.* A rövid- és hosszú hullámú sywgárzási mező sprektrális és térbeli struktúrája homályos légkör esetén.

Az első fejezetben a szerzők röviden áttekintik a légköri aeroszol fizikai és kémiai természetére, valamint keletkezésére vonatkozó korszerű ismereteinket. A második fejezet célja a különböző típusú (talajeredetű, tengeri eredetű, gázreakciókkal keletkezett) részecskék optikai tulajdonságainak bemutatása, míg a harmadik az optikai tulajdonságok matematikai modellezésének lehetőségeit foglalja össze. A negyedik fejezetben *Kondratyev* és munkatársai azokat a modelleket tárgyalják, amelyekkel a légköri aeroszol részecskék tulajdonságai szimulálhatók a magasság és egyéb tényezők (pl. kontinentális, óceáni, trópusi levegő) függvényében. Végül az utolsó fejezetből a sugárzási mező és az aeroszolt tartalmazó levegő kölcsönhatásaival ismerkedhet meg az olvasó.

Az ismertetett kötet legalább két szempontból figyelemre méltó. Az egyik az, hogy a szerzők a téma aktív kutatói és a bemutatott eredmények sok esetben saját kutatásaikon alapulnak. Másrészről igen ritkán találunk olyan kézikönyveket, amelyekben mind az aeroszol tulajdonságairól, mind a részecskék sugárzásátvitelre gyakorolt hatásairól olvashatunk. A jól megírt, rövid, de tartalmas munka komoly hozzájárulást jelent az aeroszol részecskék és az éghajlat kapcsolatának megismeréséhez. Így a meteorológusok széles körének érdeklődésére tarthat számot.

Mészáros Ernő

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 literary adviers.

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.

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 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 igazgató

83. 2209 Athenaeum Nyomda, Budapest — Íves magasnyomás
Felelős vezető: Szlávik András vezérigazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

88. ÉVF. ★ 3. SZÁM ★ 1984. MÁJUS—JUNIUS

TARTALOM

Ambrózy Pál—Bartholy Judit—Gulyás Ottó: Az atlanti-európai térség évszakos makrocirkulációs típusrendszere (angol nyelven).. 121

Dragutin, M. T.—Ács, F.: A globál-sugárzás és a napfénytartam vagy felhőzet kapcsolatáról (angol nyelven) 134

Hunkár Márta: Egyszerű számítási módszer a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) fluxus átlagos vertikális profiljának meghatározása kukorica állományban (angol nyelven) 139

Iványi Zsuzsanna—Mersich Iván: 2- és 4-napos trajektóriák klimatológiai vizsgálata (angol nyelven) 145

Ajtay Ágnes—Boncz József—Horváth Sándor: A csapadék és napfénytartam hatása a burgonya terméshozamára 154

Gulyás Ottó—Ketskeméty László—Korándi Márta: Többsávos digitális műholdképek számítógépes clusterezése 161

Béll Béla: A meteorológiai kutatás általános kérdései 174

Irodalom 179

Krónika 181

CONTENTS

Ambrózy, P.—Bartholy, J.—Gulyás, O.: A system of seasonal macrocirculation patterns for the Atlantic-European region (in English) 121

Dragutin, M. T.—Ács, F.: A contribution to the relation between global radiation and sunshine duration or cloudiness (in English) 134

Hunkár, M.: A simple calculation of the vertical profile of average PAR flux density within a maize stand (in English) 139

Iványi, Zs.—Mersich, I.: A climatological analysis of two- and four-day backward trajectories (in English) 145

Ajtay, A.—Boncz, J.—Horváth, S.: Effect of the precipitation and the sunshine duration on the yield of the potato..... 154

Gulyás, O.—Ketskeméty, L.—Korándi, M.: Computerized clustering of multispectral digital satellite pictures 161

Béll, B.: Some problems of meteorological research 174

Literature 179

Chronicle 181

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 88. ★ NO. 3. ★ MÁJ—JUN 1984. ★ BUDAPEST

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meterológiai Szolgálat folyóirata
Journal of the Hungarian Meterological 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)
LOGVINOV, K. (Kijev)
MAJOR GY. (Budapest)
MESINGER, F. (Beograd)
PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
RÁKÓCZI F. (Budapest)
RENOUX, A. (Paris-Créteil)
ŠAMAJ, F. (Bratislava)
SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
STELCZER K. (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:
LŐRINCZ ANNA (Budapest)

Szerkesztőség: Budapest, Postafiók 38. 1525

Előfizetés: 1 évre 228 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán Budapest, Kitaibel Pál utca 1. 1024. Levélcím: Budapest, Pf. 38. 1525. Megjelenik kéthavonként.

Egyes szám ára 38 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. 88. évf. 3. szám, 1984. május – június
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 3. May – June, 1984. Budapest

A system of seasonal macrocirculation patterns for the Atlantic-European region

P. AMBRÓZY, J. BARTHOLY *and* O. GULYÁS, *Central Meteorological Institute, H-1525 Budapest, P. O. B. 38.*

Az atlanti-európai térség évszakos makrocirkulációs típusrendszere. A tanulmány olyan vizsgálatról számol be, amelynek célja az atlanti – európai térség legszignifikánsabb makrocirkulációs helyzeteinek kiválogatása. A helyzeteket a matematikai clusteranalízis egy dinamikus algoritmusával határozzuk meg. A vizsgált területet az 1. ábra szemlélteti. Az osztályozás alapjául a terület napi 500 mbar-os abszolút topográfia mezői szolgálnak. Az egyes napi mezők összehasonlítására az euklideszi távolságot használtuk. Az osztályozás módszere a matematikai irodalomban k-közép néven ismeretes. Az egyik clusterezési kísérletben 30 típust, a másikban évszakokra bontva 19 tavaszi, 8 nyári, 15 őszi és 17 téli típust állítottunk elő. Az összehasonlító vizsgálatok során e két típusrendszer külső és belső távolságait, scoring mátrixait, valamint a Hess – Brezowsky-féle makroszinoptikus típusok hasonló paramétereit elemeztük.

⁎

A system of seasonal macrocirculation patterns for the Atlantic-European region. The paper gives a description of a study, the aim of which was to select the most significant macrocirculation situations. The situations were determinded by a dynamical algorithm of mathematical cluster analysis. The territory in question is presented in Fig. 1. The classification is based on the daily 500-mbar height fields, whereby the Euclideans distance is used for comparing the daily fields. In mathematical literature the method of classification is known as the method of „k-means". In the present paper two attempts of clustering are described. In the first approach 30 types were established while in the second one, with a seasonal distinction, 19 types were obtained for spring, 8 for summer, 15 for autumn and 17 for winter. To compare the systems their external and internal distances, their scoring matrices and the same parameters of the Hess – Brezowsky macroscale circulation classification were analyzed.

⁎

Introduction. The systematization of atmospheric processes, the determination of their regularities, the establishment of the simplest possible models and, at last but not at least, the prediction of weather or climate have been the endeavour of meteorologists for a very long time. Some years after the European meteorological observation network was established some 100 years ago and the construction of daily weather charts started, Van Bebber worked out the first synpotic climatological classification. He determined the most frequent, fairly separable trajectories of cyclones. Simultaneously Teisserenc de Bort and afterwards, in our century, Multanovski, Schinze, Baur, Vangenheim, Dzerdzeevski, Hess and Brezowsky dealt with the classification, typization of weather situations occurring over the continent. These studies lead, among others to the concept of the „*natural synoptic period*" and „*macrosynoptic types*" as well as to the examination of the interactions between the large-scale atmospheric formations and the tendency of their transformation. In Hungary it was Gy. Péczely who classified the Central-European synoptic

situations with special emphasis on weather phenomena occurring in the Carpathian Basin (*Péczely*, 1961).

The authors listed above based their classification on different parameters (such as the geographical position of cyclones and anticyclones, the direction of ridges etc.). A common feature of all these classifications is that they contain considerable subjectivity and reflect the *a priori* considerations formulated by their authors before taking a decision concerning the classification. A further common characteristic of these studies is that the meteorological phenomena of the given days or periods can be ranked into the established categories only manually, by human intervention, inevitably introducing further subjective elements into the system, not to mention the very labour of preparing the catalogue. Considering these facts the experiments aiming at providing the classification with an objective basis by the aid of a mathematical-statistical apparatus, are justified. In this way the computer-based solution of the problem, i.e. the automation of the typization procedure becomes possible.

The method and the data base

The aim of the present study was to classify the 500-mbar height fields of the Atlantic-European region. Macrocirculation types were established using mathematical cluster analysis. The objects in question, i.e. weather situations, are grouped by the clustering algorithms on the basis of their similarity, according to their common properties.

Due to the great number and complexity of the objects to be studied, it is impossible to carry out the classification by subjective manual methods because they are ineffective in this case. The clustering is, therefore, done by computers. Clustering is a coding or code-shrinking procedure, by which a complex object characterized by a great number of parameters, is given by a single number, the serial number of the appropriate group (cluster). The code of a group reflects the general and common characteristics of the objects belonging to the given group, and from this point of view they are similar.

Weather can also be regarded as a sequence of complex objects. Considering a sufficiently long time series of such objects we shall find similar ones among them. In order to select the similar objects the method of cluster analysis is applied.

As an object, a characteristic of weather situation is to be considered which can be mathematically well described and contains, at the same time, the main features of the weather situation. A complete characterization would obviously encumber the classification because of the great number of components.

A generally used method of characterizing large-scale weather situations (macrosynoptic situations) is the determination of the regional pattern of a certain meteorological element. (Thus, for instance, Hess and Brezowsky based the grouping of similar situations on the fields of surface pressure and the 500 mbar geopotential fields.)

In the present study the objects are represented by the daily patterns of the 500-mbar height over the Atlantic-European region as determined by the geopotential values in 80 gridpoints. For the classification the daily 500-mbar geopotential values of the period from 1 January 1949 to 31 December 1972 were used. (The distribution of the grid-points are shown in *Fig. 1.)*

In order to classify the analyzed objects according to their similarity, they

have to be provided with a similarity factor. In meteorology this factor is called analogy index and the degree of similarity is called analogy. The index of analogy is represented quantitatively by a number, the value of which is between 0 and 1. In our case that means that if two 500-mbar height fields fully coincide the value of their analogy is 1 and if they strongly differ, this value approximates to zero. Several different analogy indices were analyzed relating to Péczely's and Hess – Brezowsky's codes (*Gulyás*, 1977; *Gulyás* et al. 1977; *Bartholy* and *Gulyás*, 1980) and the analogy index derived from the commonly known Euclidean distance was found to be suitable for this purpose. That index was used, therefore, in the present study.

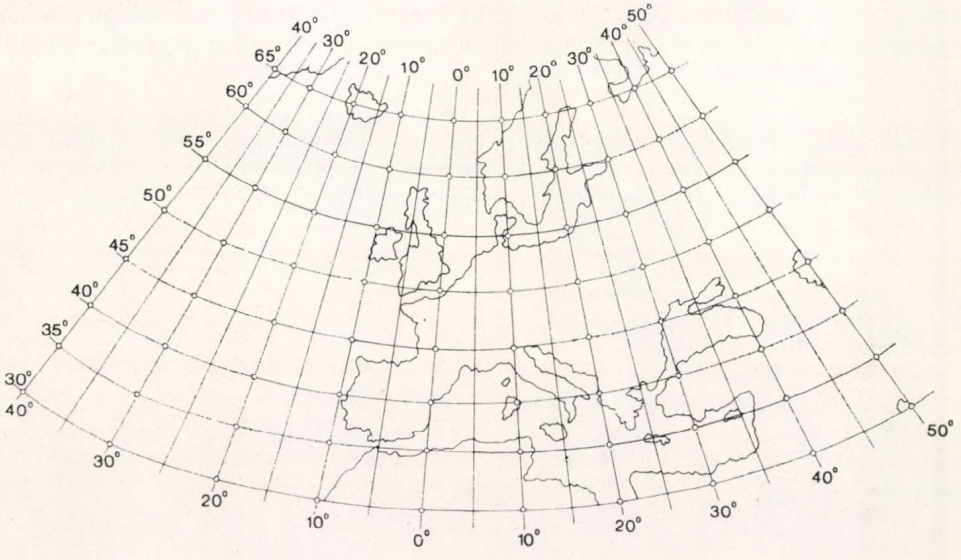


Fig. 1. The analyzed region and the grid

Due to the great number of dimensions and to the complexity of the structure, the classification can not be carried out by a mere ocular estimate. An automatic objective algorithm has to be used.

There is a great number of similar approaches. For our investigations the ,,k-means'' procedure, classic in cluster analysis, was used which had been described by *MacQueen* (1967) with an appropriate mathematical accuracy. A modified version of this procedure was applied for solving the problem.

In the above method the number of clusters as well as a starting center of each of them have to be given in advance. The starting center can be given at random or on the basis of a manual classification, by the means of the fields belonging to a common group or in other ways. According to different papers dealing with this method the results do not essentially depend on the starting vectors, the method being nonsensitive to the vectors. At the same time, experience shows that a well established starting system leads to a faster convergence. Two types of starting systems were applied. In the first one the starting centers were chosen at random. In the second approach the mean fields of days with known codes (received by synoptic methods) were taken as starting mean fields.

The algorithm determining the classes (centers of the classes) operates according to the following principle: the starting centers change continuously. The computer introduces the following element of the sample (in our case the following daily 500-mbar field of the period from 1949 to 1972), ranks it into the *„nearest"* class where the distance of the center of the class is calculated by Euclidean metric. After this ranking a new cluster center is established as the mean of the elements contained in it. Then the next element (daily 500-mbar field) is taken. This procedure is repeated until the conditions of a defined stopping rule are realized. If the objects come to an end earlier, the procedure would be started again from the beginning of the whole data series.

Often a stopping rule is used according to which the procedure is finished when within an iteration the number of the points ranked into an other cluster exceeds a certain limit, or when the number of iterations is great enough (*Ambrózy* et al., 1983).

The first attempt

The first run of the clustering programme was carried out with thirty starting centers randomly chosen from the 24-year series of the 500 mbar fields. The obtained system of types, defined by thirty cluster centers and the

Table I.

Cross scoring matrix of the HB classification and the first experimental classification

HB / NEW	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	1	3	5	3	3	4	2	5	3	4	2	3	1	1	1	2	2	1	2	4	1	3	2	2	2	0	2	1	2	2
2	5	5	5	5	6	6	5	4	6	7	5	6	4	5	6	7	5	6	5	5	6	6	6	7	7	5	6	5	6	5
3	5	4	2	2	3	2	4	2	3	3	5	4	6	6	5	4	4	5	4	3	4	3	4	4	5	6	4	5	4	4
4	6	5	5	7	6	5	5	5	5	6	4	4	3	4	5	6	5	3	3	3	5	6	3	4	5	4	5	4	5	5
5	2	3	4	2	2	3	1	3	3	3	4	5	3	3	2	3	3	5	5	6	2	3	5	4	3	1	3	1	3	3
6	6	6	5	6	6	5	7	5	5	6	5	4	4	5	6	6	5	4	4	3	6	6	4	5	6	6	6	7	6	6
7	6	4	3	4	4	3	6	3	4	4	5	3	5	5	7	6	6	4	3	2	6	5	3	4	5	6	4	5	6	5
8	6	4	3	5	5	3	6	3	5	4	4	3	5	5	6	5	6	5	4	2	6	5	3	4	4	5	4	5	6	6
9	4	4	4	4	4	4	3	5	5	4	4	4	4	3	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	3	1	3	2	4	4
10	1	3	5	3	3	4	2	5	3	4	3	4	1	2	2	3	2	2	3	5	2	3	3	4	3	1	3	1	3	2
11	6	5	3	4	4	3	5	3	3	4	4	3	5	5	5	4	4	3	3	2	4	4	2	4	5	(8)	5	7	5	4
12	7	7	5	6	5	5	7	5	5	5	5	4	5	6	5	6	6	4	4	4	5	5	3	4	5	5	6	6	7	7
13	2	4	4	3	2	3	1	4	2	3	2	4	2	3	1	2	2	3	2	4	1	2	2	2	2	0	3	1	3	3
14	4	5	6	7	6	7	5	7	6	7	4	4	2	3	4	4	4	3	3	5	4	6	4	5	4	3	4	3	5	4
15	5	3	1	3	3	1	5	1	3	2	3	2	4	4	5	4	4	3	2	1	4	3	2	3	3	6	3	5	4	4
16	5	5	4	5	6	5	6	4	6	5	6	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	6	6	5
17	1	2	3	2	3	3	1	3	4	4	4	5	2	2	3	3	2	4	5	6	2	3	6	5	4	1	3	1	3	2
18	6	6	5	4	4	4	5	4	4	5	6	7	6	7	5	6	5	5	5	5	4	4	4	5	7	5	7	6	6	6
19	4	3	1	2	2	0	3	0	2	2	3	2	4	4	4	3	3	2	1	0	3	2	1	2	3	5	3	5	3	3
20	5	6	6	5	4	5	4	5	4	6	5	6	4	5	5	6	4	5	4	5	4	5	4	5	6	3	(7)	4	6	5
21	3	3	3	3	3	3	3	3	5	4	5	4	4	3	4	4	5	6	6	5	4	4	6	5	4	2	3	2	4	4
22	3	4	4	5	4	4	3	5	4	4	2	2	2	2	3	3	3	2	2	3	3	4	2	3	2	0	3	1	3	3
23	4	2	1	2	2	1	3	1	2	2	3	2	4	4	4	3	4	3	3	1	4	2	2	3	3	5	3	5	3	3
24	6	5	4	4	4	3	5	3	4	4	6	5	7	7	6	6	6	7	5	4	5	5	4	5	6	6	6	6	6	7
25	1	2	3	3	3	3	1	3	4	4	3	3	1	1	2	3	3	3	3	4	3	4	4	3	2	0	2	0	3	2
26	4	4	4	5	5	5	4	5	6	5	4	3	3	3	5	5	6	4	4	4	5	6	5	5	4	2	3	3	5	4
27	6	5	3	3	3	2	5	2	3	3	4	3	6	6	5	4	4	4	3	2	4	3	2	3	4	6	5	6	5	5
28	5	4	3	4	4	3	4	3	5	4	5	4	6	5	5	5	6	6	6	4	5	4	4	4	4	4	4	4	6	6
29	2	3	5	3	2	4	1	4	3	4	3	5	2	3	1	3	2	3	3	6	1	3	3	4	3	1	4	2	3	2
30	3	4	6	5	5	5	4	6	5	5	4	4	2	3	4	4	4	3	4	5	4	5	5	5	4	2	3	2	4	3

sohypses were plotted in charts in order to enhance the cyclone-anticyclone-ridge-trough configuration over the region, characteristic of the given type and to reveal the eventual physical relations.

When analyzing a system of classes it is important to see the relation between the classes. The so-called scoring matrix of the new system was therefore determined, i.e. the distances of each center from all the other ones were calculated and then arranged in a 30×30 matrix:

$$D = \begin{pmatrix} \Delta(z_1, z_1) \ldots \Delta(z_1, z_{30}) \\ \Delta(z_{30}, z_1) \ldots \Delta(z_{30}, z_{30}) \end{pmatrix}$$

z_i being the center i^{th}, and $\Delta(z_i, z_j)$ the Euclidean distance between the centers i^{th}, and j^{th}. The matrix is symmetric since the distance of type i^{th} to type j^{th} corresponds to the distance of type j^{th} to type i^{th}. There are zeros on the main diagonal of the matrix since here the distances of the centers from themselves are indicated.

Keeping certain conventions and aiming at the comparability of our matrix with the scroing matrix known from the literature, instead of D the matrix D^*, consisting of $\varphi^*(z_i, z_j)$ elements, were used where

$$\varphi^*(z_i, z_j) = 9 \cdot \left(1 - \frac{\Delta(z_i, z_j)}{d_{max}}\right) \text{ for each } i, j = 1, \ldots, 30$$

$$\text{and } \Delta(z_i, z_j) = \sqrt{\sum (z_{ik} - z_{jk})^2} \text{ and } d_{max} = \max_{i, j} \Delta(z_i, z_j)$$

$$\text{The matrix } D^* = \{\varphi^*(z_i, z_j)\}_{i=1,30 \quad j=1,30}$$

received in that way is also symmetric and along its main diagonal there are numbers *9*. The elements $\varphi^*(z_i, z_j)$ vary between *0* and *9*, *9* denoting the highest similarity (full analogy) and *0* the lowest.

The scoring matrix of the system of the new types permits to conclude that the centers of the types are sufficiently far off from each other (there are no *8* and *9* in the lower triangular matrix – due to the symmetry it is enough to analyze them— and the frequency of analogy *7* is also small).

The so-called cross scoring matrix of the Hess – Brezowsky (HB) system and the new one was determined. It was obtained as described above and it measures the degree of similarity of the elements in the two different systems of macrosynoptic situations. The matrix is presented in *Table I*. Here the jth element of the ith line reflects the analogy between the new type i^{th} and the HB type j^{th}. Of course, this matrix is not symmetric since we are concerned with the Euclidean distances of the two different systems and their transforms.

From Table I it can be seen that not all the classes of the new system are new as compared with the HB macrosynoptic types. For instance, the 11th type of the new system and the 26th type of the HB system (denoted henceforth 11_{NEW}, 26_{HB}) are characterized by the analogy index 8; high similarity can be seen between the types 20_{NEW} and 27_{HB}, too. That means that type 26_{HB} „*Center of low pressure over the British Isles*" and type 27_{HB} „*Through over Central Europe*" appear also in the new cluster system. At the same time in Table I several types can be found which do not show remarkable analogy with any of the HB classes. Types of that kind are, e.g. clusters 1_{NEW}, 18_{NEW}, 19_{NEW} and 25_{NEW}. The importance of this fact became evident especially after having prepared the absolute frequency histogram of the new types where each of the four types mentioned above appears frequently

(their absolute frequency being above 60 and the of type 19_{NEW} having even a value of 360).

Analyzing the new experimental system we can see how much the density of the isohypses vary in different clusters (they are doubled). This phenomenon was attributed to the annual variation of the 500-mbar height and it was supposed, at the same time, that the seasonal frequency of the different types was not equal. This theory proved to be true after having calculated the seasonal frequency of the system. The summer and winter frequencies are almost the complements of each other: there are no types often occurring both in summer and winter. It was decided, therefore, to continue clustering by seasons in order to improve the eventually faint types and the classes faded by the transitional seasons.

The second attempt: seasonal systems of types

Applying our clustering programme to the corresponding daily fields of the 24-year series the systems of spring, summer, autumn and winter types were determined. The number of clusters was reduced according to the results of the analysis of the occurrence of the types by seasons as follows:

	Spring	Summer	Autumn	Winter
Number of clusters	19	8	15	17

In order to increase the rate of convergence, in a given season the centers of the most frequently occurring new classes were taken as starting centers. The number of iterations varied between 8 and 12 (i.e. the number of applications of the programme until stable types were obtained).

The 500 mbar height charts of the seasonal cluster systems received in this way as well as the *catalogue* of the whole time series (1949 – 1980) were published in the paper of *Ambrózy* et al., (1983).

At first glance there are no marked differences between the charts. This is due to the fact that in the typization of this kind too, mean fields appear which unavoidably filter off the smaller disturbances, not characteristic of the given type, leading thus to a certain smoothing of the fields.

TABLE II.

Increasing stability of the seasonal classification with increasing number of iterations

Iteratio	Spring	Summer	Autumn	Winter
1. → 2.	461	446	395	362
2. → 3.	373	120	381	214
3. → 4.	323	109	283	194
4. → 5.	331	111	271	131
5. → 6.	337	116	232	127
6. → 7.	306	7	192	114
7. → 8.	287	0	114	96
8. → 9.	243	–	–	–
9. → 10.	204	–	–	–
10. → 11.	192	–	–	–
11. → 12.	175	–	–	–

In the first column the serial number of iterations is indicated while in the other columns the number of reclusterings between the iterations are given.

In *Table II* the stability of the seasonal systems is demonstrated as a function of the number of iterations. In the course of each iteration the computer ranks each day of the whole time series among the classes of the seasonal systems. In Table II the regroupings made in the course of the iterations are summarized by seasons and these indices obviously give information on the stability of the given system. From the table it can be seen that the rate of convergence strongly depends on the number of clusters contained in the systems. In a single iteration the possible maximum number of regroupings is about 2200, thus it can be seen that 12 iterations were sufficient for each season to reduce the number of regroupings below 8 per cent. We note that here we are concerned with really small values since in the course of iterations the computer ranks the situations bordering on two types alternately into one or the other class and in each case this occurs as a further regrouping in the table mentioned above.

Statistical analysis of the seasonal systems

a) *The external and internal distances and scoring matrices.* The reliability of a cluster system is often characterized by its external and internal distances. By external distances we mean the distances of the cluster centers from each other. The internal distance of a certain type is defined as the average distance between the fields belonging to the class and the center. In the matrix of Euclidean distances, the distances of each cluster center from all the other are contained.

The maximum and minimum distances between the cluster centers are indicated in the following table as taken from the corresponding scoring matrices.

Cluster systems	Minimum distances in gpm	Maximum
1. Hess – Brezowsky	316	1423
2. System without division into seasons	480	2775
3. Spring	650	2090
4. Summer	501	1218
5. Autumn	682	2060
6. Winter	302	2038

The following conclusions can be made:

1. The minimum distances increased by 52 per cent in the new system (without division into seasons) and by 69 per cent on the average in the seasonal systems. This indicates a better separation of the types.
2. The maximum distances also increased, by 23 per cent on the average, better filling in the 80-dimensional space.

All the daily fields of the available whole time series (32 years) were grouped into the new system and after having determined the population of each class it could be noticed that clustering did not establish classes with very low occurrence.

The internal distances of the classes of the cluster systems were also determined (as shown in *Table III*). The decrease of the average internal distances justifies the clustering by seasons resulting in the concentration of the classes as well as in their more pronounced separation from each other. In *Fig. 2*, the internal distances of the four cluster systems are indicated (the classes being arranged according to the increase of the internal distances instead

TABLE III.

Average internal distances of different systems of large-scale weather types

	A		B		C		D							
							Winter		Spring		Summer		Autumn	
	d	n	d	n	d	n	d	n	d	n	d	n	d	n
1.	1052	141	832	195	807	97	831	94	842	57	621	163	795	88
2.	1252	482	900	48	853	7	843	40	731	158	652	104	860	30
3.	1247	116	1159	241	788	108	902	54	810	52	588	191	732	23
4.	1116	110	937	93	823	68	923	81	851	19	607	93	811	109
5.	1049	75	861	45	903	119	851	107	707	58	653	10	732	34
6.	1082	46	957	87	754	151	872	48	832	71	725	69	754	42
7.	1089	95	759	102	832	124	873	75	742	98	624	125	862	32
8.	1166	180	1136	348	784	136	807	35	803	28	640	39	678	111
9.	1106	80	1034	76	888	116	722	33	826	9			694	58
10.	1148	54	923	50	847	130	914	29	740	85			717	70
11.	905	30	808	40	725	191	967	58	811	18			667	88
12.	1128	81	1079	88	782	102	894	51	823	10			716	35
13.	1161	52	915	94	883	124	903	10	708	15			809	72
14.	1253	204	865	75	829	126	877	22	752	53			744	48
15.	1178	66	879	96	763	98	912	41	811	31			909	67
16.	1110	55	881	27	837	124	854	25	749	41				
17.	1201	388	940	147	854	74	844	50	852	26				
18.	1192	126	980	83	876	98			711	25				
19.	1155	125	1010	59	636	340			776	46				
20.	1311	80	1130	250	831	78								
21.	1224	101	879	37	893	63								
22.	1051	46	996	68	824	99								
23.	1134	60	1062	93	669	211								
24.	1226	99	797	25	795	107								
25.	1246	44	775	36	879	68								
26.	1007	59	928	821	869	125								
27.	1158	144	810	69	659	265								
28.	1086	119	784	92	748	119								
29.	1214	31	759	21	872	42								
30.	1187	252	1057	35	809	31								
Mean:	1148		928		810		825		745		639		765	

of the numeration of clusters used previously). This proves very expressively that it was necessary to make a seasonal differentiation. The curves of winter and summer are completely separated from each other while those of the transition seasons run closely. The significant separation of the winter and summer curves is due not to the differences between the absolute values of the 500 mbar fields but first of all to the fact that in summer the pressure gradients are much smaller, consequently the standard deviation around the cluster centers is also small.

In Table III the average internal distances of the different systems of the macrosynoptic types are presented by classes. In columns d the values of the internal distances, in columns „n" the absolute frequency of days ranked into the given class are indicated.

In columns A and B the internal distances of the HB types are contained as calculated in two different ways:

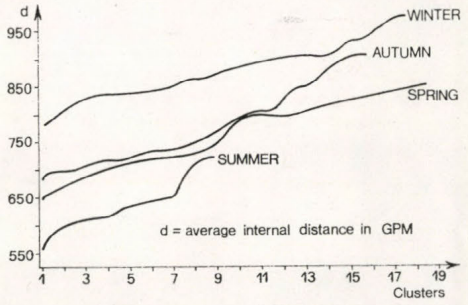


Fig. 2. The internal distances (radii) of the new classes by seasons

A: Each day was clustered into the corresponding type of the HB catalogue and the average distance of these daily 500-mbar height fields from the center of the type were calculated.

B: Each 500-mbar height field was clustered into the HB type having the smallest Euclidean distance from it.

In column C the average internal distances of the new system classified without seasonal distinction, in column D those of the four seasonal macrosynoptic types as well as the absolute frequencies of the types are indicated.

From Table III it can be seen that the internal distances are significantly greater as compared with those of the HB classification. They are by 42 per cent greater in version A and by 15 per cent greater in version B than in the system not divided into seasons (column C). We see that in the seasonal analysis the types become finer, they are more separated and their internal distances continue to decrease.

Let us consider now the values of frequencies indicated in columns A and B. In version B the occurrence of certain types (e.g. 2 and 26) decreased to a tenth or increased to the tenfold, respectively, i.e. a very significant regrouping took place. This also shows that the principle of the above classification essentially differs from that of the HB classification. It should be noted that between the same code numbers of the different systems there is no physical relation (columns A and B excepted) thus it is useless to compare the values of the table horizontally.

b) *Cross scoring matrices and the common scoring matrix of the four systems.* Clustering by seasons was started using the new centers of classes having the highest absolute frequency in the given season. Then cross scoring matrices were developed for the systems with and without seasonal distinction, respectively. The results were used for checking the shift of the centers as a result of reclustering. Among the similarity indices values of 2 and 3 can also be found and that means that due to the introduction of the seasonal distinction very significant changes took place. In *Fig. 3* a similar shift is shown and it

can be seen that thes tarting type 19_{NEW} changed into types 4_{SUMMER} and 11_{AUTUMN} as a consequence of seasonal classification.

The relation between the seasonal systems of classes was also examined. It was intended hereby to reveal how the particular features and the different

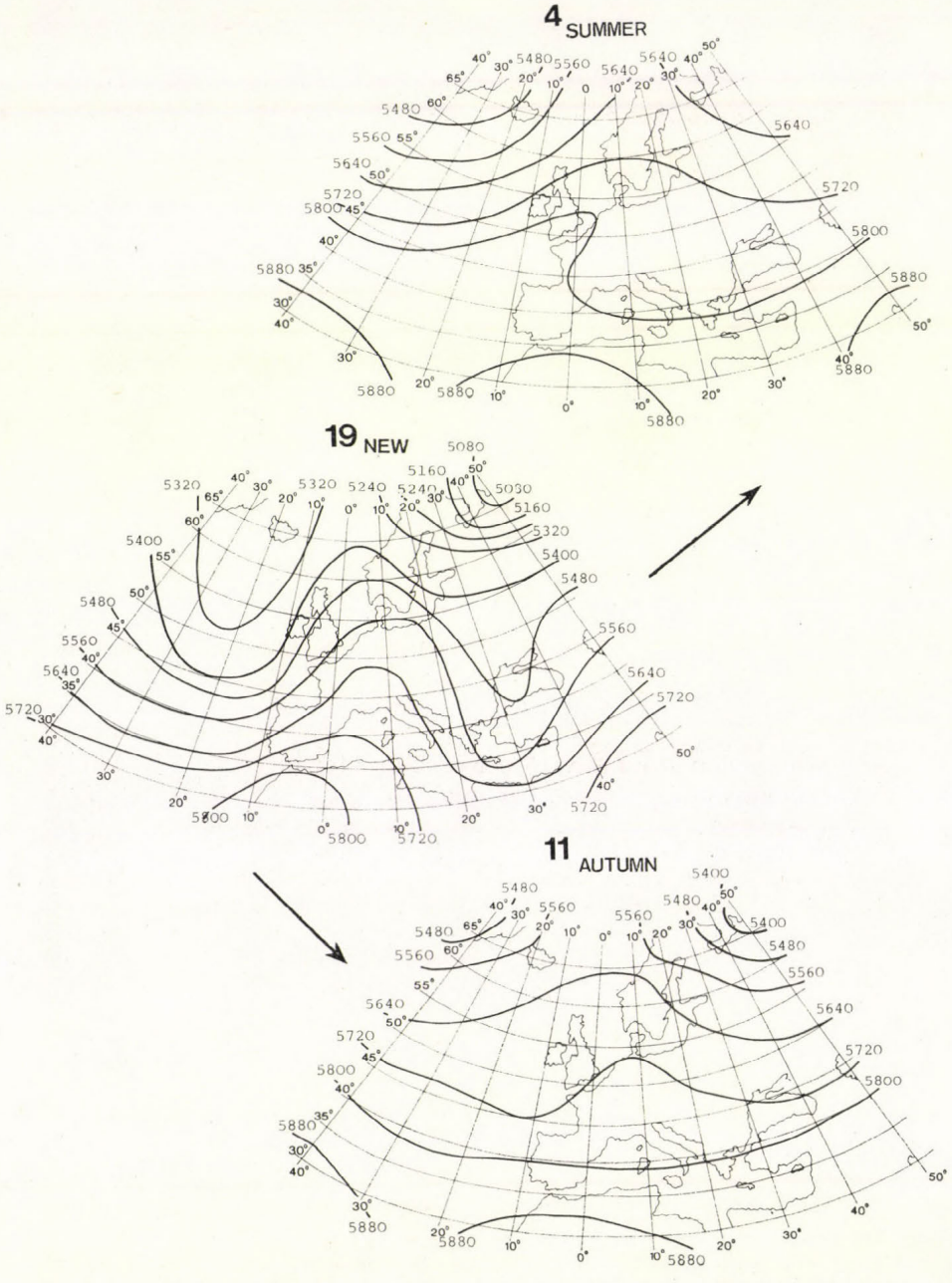


Fig. 3. The repartition of type 19_{NEW} received without seasonal distinction into classes 4_{SUMMER} and 11_{AUTUMN} as a result of clustering by seasons

character of the four seasons would be expressed in the 500-mbar typization. We prepared the common scoring matrix of the four seasons represented by a 59×59 matrix (since $19+8+15+17=59$). The scoring matrix consists of 16 smaller matrices. Along the main diagonal the scoring matrices of the four

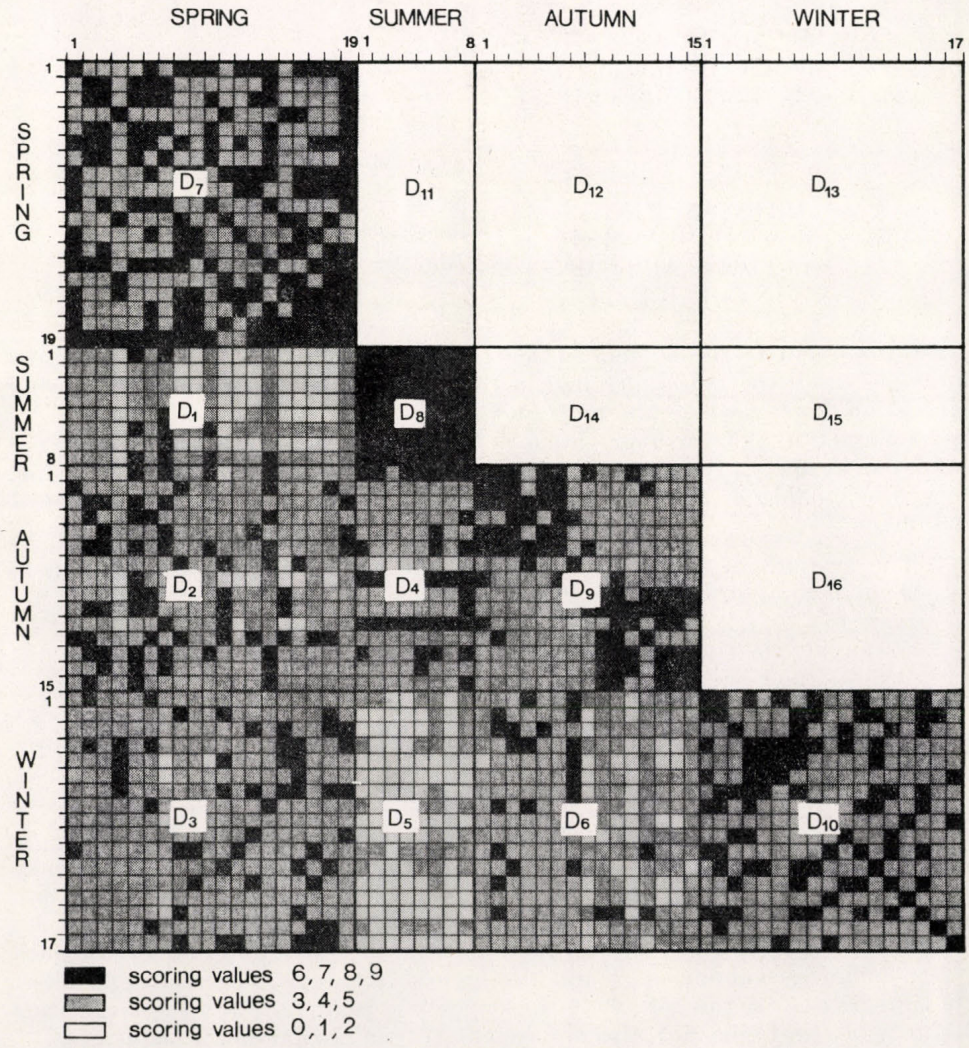


Fig. 4. Common scoring matrix of the four systems of types with differentiated strong, medium and weak interactions

seasons, above and below the main diagonal the cross scoring matrices of the seasons (6 on each side) are to be found. Since the complete matrix is symmetrical the 6 cross scoring matrices above the main diagonal (denoted by $D_{11}, D_{21}, \ldots D_{16}$ in *Fig. 4*) can be left out of consideration in further examination.

The partial matrices are as follows:

a)

D_1 = (SPRING-SUMMER)
D_2 = (SPRING-AUTUMN)
D_3 = (SPRING-WINTER)
D_4 = (SUMMER-AUTUMN)
D_5 = (SUMMER-WINTER)
D_6 = (AUTUMN-WINTER)

} cross scoring matrices

b)

D_7 = (SPRING-SPRING)
D_8 = (SUMMER-SUMMER)
D_9 = (AUTUMN-AUTUMN)
D_{10} = (WINTER-WINTER)

} scoring matrices

Consequently, the system of matrices presented in Fig. 4 contains the analogies of all the types included in the four systems of classes. Fig. 4 is an expressive display where the high, medium and low analogies are marked by different colours. The scoring values 6, 7, 8 and 9 (showing high analogy) are indicated by black, the values 3, 4, 5 by grey and the types with 0, 1, 2 (i.e. very low) analogies, by white. The following remarks can be made in this connexion:

1. The systems of seasonal types are quite closed in general, i.e. each of them is similar mostly to itself. (But the most striking is the summer system!)
2. Arranging the seasons by decreasing cohesion, their sequence is the following: summer, spring, autumn, winter.
3. The elements of the winter system are characterized by a low analogy not only relating to each other but also to the elements of the other three systems.
4. The smallest similarity is between summer and winter.

c) *The life-time of the types.* If a classification of any kind, for any purpose is undertaken for the elements of a time series, in practical application it may be important to know how long the different types persist. In our case that means: for how many days can we reckon with the persistence of a type? After the seasonal classification the average life-time was determined for each type: the lowest value was 1.6 and the highest 4.4 days. The relatively short life-time is due to the fact that the types represent not only the large-scale features of the fields but also the heights of the geopotential fields.

The sequence of the seasons according to the average life-time of the types is:

SEASONS	DAYS
Winter	2.4
Spring	2.5
Autumn	2.7
Summer	3.5

A quite inverted sequence is characteristic of the seasons when arranged according to the number of types contained in them (i.e. the smallest number of types occurres in summer and the greatest in winter).

In spring and in winter (in the seasons with a great number of types) the internal distances of the types with a life-time below average (i.e. in winter the types, the life-time of which does not reach 2.4 days – see Table II) are greater as compared with the average, while those of the longpersisting types are smaller than average. This can be due to the fact that the types persisting for a short time, 2 days at an average, represent rather a sort of transition between the more stable types, thus they don't have as many common internal features as the more stable situations have. The resason of the relatively short life-time of some types may also be that in the case of closed types, the type number can jump over to another for one or two days and than return.

REFERENCES

Ambrózy, P., Bartholy, J. and Gulyás, O., 1983: Évszakos bontású makroszinoptikus típusok kialakítása clusteranalízissel az atlanti-európai térségre. OMSZ Meteorológiai Tanulmányok No 39, 80, Budapest.

Bartholy, J. and *Gulyás, O.*, 1980: A method of analysing types using analogy indices. Acta Climatologica XV – XVI, 11 – 17.

Gulyás. O., 1977: Az analógia fogalma és felhasználása típusok képzésére I. *Időjárás 81*, 11 – 18.

Gulyás, O., Légrády, G. and *Bartholy, J.*, 1977: Az analógia fogalma és felhasználása típusok képzésére II. *Időjárás 81*, 346 – 351.

MacQueen, J., 1967: Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proc. of Fifth Berkeley Symp. on Prob. and Stat.*

Péczely Gy., 1961: Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek éghajlati jellemzése. OMSZ Kisebb Kiadványai, No 32, Budapest.

IDŐJÁRÁS

Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 3. szám, 1984. május – június
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 3. May – June. 1984. Budapest

A contribution to the relation between global radiation and sunshine duration or cloudiness

M. T. DRAGUTIN *and* F. ÁCS, *Department of Meteorology,*
University of Novi Sad, Veljka Vlahovića 2, 21000 Novi Sad Yugoslavia

A globál-sugárzás és a napfénytartam vagy felhőzet kapcsolatáról. A cikk áttekinti a témával kapcsolatos szakirodalmat. A Prescott-formula felhasználásával a szerzők meghatározzák a globál-sugárzás és a relatív napfénytartam vagy felhőzet közötti korrelációt Novi Sad-ra vonatkozóan. A számításokat különböző évszakokra végzik el. Az 1958 – 70 közötti időszakra átlagolt globál-sugárzás adatokat veszik figyelembe a számítások elvégzéséhez.

⁎

A contribution to the relation between global radiation and sunshine duration or cloudiness. The survey of references on this subject is presented. Using Prescott's formula the correletions between global radiation and relative sunshine duration or cloudiness are calculated for Novi Sad. The calculations are performed for different seasons in the year. For the calculations data of the global radiation, averaged over 1958 – 1970 period, are taken into account.

⁎

Introduction. For estimating the flux of global (direct plus diffuse) radiation from records of sunshine duration a number of studies have been dealing with attempts to supplement the measurements obtained from the radiation measuring stations of the observation network. The method, first suggested by *Kimball* (1919), was placed on a mathematical basis by *Angström* (1924). It has been used in its original form and with variations by many authors over several decades since that time. *Angström* (1924) derived a linear relation between the total daily global flux Q and relative sunshine duration n/N which may be written in the following form:

$$Q = Q_0[\alpha + (1-\alpha)\frac{n}{N}], \tag{1}$$

where Q_0 is the flux for a perfectly cloudless day and α is an empirically determined constant. Because Q_0 varies with atmospheric transmission from day to day, many workers followed *Prescott* (1910) using the relation

$$Q = Q_A(a+b)\frac{n}{N} \tag{2}$$

where Q_A is the solar flux on a horizontal surface at the top of the atmosphere, a and b are constants to be determined from measurements. Let us mention that in formula (2) instead n/N cloudiness C (in a scale 0 – 10) can be used. The values of Q_A (somewhere called as Angot value) depending on the time of the year and the latitude, can be found in the Smithsonian Meteorological Tables and in a great number of other papers, viz. *Shaw* (1928), *Milankovitch* (1930), *Schulze* (1963), *Page* (1964) and *Robinson* (1966).

1. The survey of some results using Prescott's formula

Prescott analysed data on radiation and sunshine duration of the weather station Mount Weather in the USA and found the following values: $a = 0.22$ and $b = 0.54$. For the Mount Stromlo Station in Australia he calculated: $a = 0.25$ and $b = 0.54$. *Penman* (1948 and 1956), via Prescott's formula, found for Rothamstead (England) in the growing season (March – October), that $a = 0.18$ and $b = 0.55$. *Black*, *Bonython* and *Prescott* (1954), based on data of 32 stations located throughout the earth, found the following average values: $a = 0.23$ and $b = 0.48$. For various stations, however, these values deviated widely and no distinct relation was found with the latitude. *Glover* and *Mc. Cullock* (1958) thought that a better relation could be established, when the latitude was taken into account, as well. They determined the following values, based on data of 12 stations: $a = 0.29 \cos \varphi$ and $b = 0.52$, where φ is the latitude in degrees. *Scholte Ubing* (1959) found approximately the same.

Lincare (1967) published data on a and b of 34 stations, which he arranged in order of latitude. These data showed that the effect of latitude is not distinct and is predominated by other factors, as water content and pollution of the air and type of clouds.

TABLE I

Values of a *and* b *at the various stations and seasons in Yugoslavia (in accordance to Baars [1973])*

Place	Oct. – March.		Apr. – Sept.		Apr. – June		Jul. – Sept.	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Ljubljana	0.14	0.53	0.21	0.47	0.21	0.47	0.22	0.46
Belgrade			0.26	0.49	0.26	0.53	0.23	0.53
Skoplje	0.18	0.42	0.30	0.42	0.27	0.50	0.26	0.45
Ulcinj			0.35	0.43	0.31	0.53	0.25	0.53

Löf, *Duffie* and *Smith* (1966) arranged the data according to climatic zones and vegetation types, but no a distinctly better results were gained. The number of data available probably was insufficient. Furthermore, it should be kept in mind that at the observation stations no uniform equipment was used and the data were not treated in the same way.

De Jong (1972) made a detailed study of the literature on investigations carried out in this field and he published his findings in a paper with many tables and maps.

In a detailed study *Baars* (1973) showed results of his investigation about global radiation and sunshine duration or cloudiness in several places in Yugoslavia. He has obtained, using Prescott's formula and an averaging period of seven years the results summarized in *Table I*.

For Belgrade *Baars* (1973) calculated values of a and b taking into account cloudiness and he has obtained:

	Apr – June	July – Sept	Apr – Sept
a	0.79	0.73	0.74
b	−0.049	−0.04	−0.041

In the past ten years a number of papers were published and these are concered with this subject. The paper written by *Rietveld* (1978) includes a lot of references in this subject. Finally, in his very instructive book, *Coulson* (1975) summerized results of the investigation in this field.

2. Radiation formula for Novi Sad

Novi Sad is located at 45° 20 north latitude. This region, the Socialist Automatic Province Voyvodina as a whole, is concered with agricultural production of different plants. From that reason to know the global radiation is or great interest. Further, in order to obtain a better correlation between global radiation and sunshine duration or cloudiness, we decided to calculate coeffecients for different periods of the year: October – March, April – June, July – September and April – September (growing season).

TABLE II

Values of a *and* d *in the Prescott's formula and correlation coefficient* r *for Novi Sad for different seasons calculated on the basis of the relative sunshine duration and cloudiness*

October – March			April – September			April – June			July – September		
a	b	r	a	b	r	a	b	r	a	b	r
a)											
0.23	0.61	0.76	0.29	0.46	0.76	0.26	0,53	0.85	0.32	0.40	0.66
b)											
0.78	−0.054	−0.75	0.74	−0.040	−0.71	0.79	−0.048	−0.74	−0.73	−0.025	−0.45

Prescott's method was employed with decade averages of global radiation (Q), sunshine duration (n) and cloudiness (C). Let us say that decade is a ten days period (the first and the second decade in the month have 10 days). Data were taken from Bulletin of Provincial Hydrometeotological Institute of SAP Voyvodina from 1957 till 1970. The Angot-values (Q_A) were taken from the Smithsonian Meteorological Tables (*List*, 1968), Table 132, calculated according to *Milankovitch* (1930) for a solar constant of $I_0 = 1.94$ cal cm^{-2} min^{-1}. This table gives radiation figues in various latitudes at intervals of 10° and for different days of the year at intervals of 22 – 23 days. By interpolation the radiation was determined for Novi Sad, on different days of the year and results are presented in a graph from which the average radiation in the various decades of the year could be read. Day lenght (N) was taken from the Smithsonian Meteorological Tables, (*List*, 1968) Table 171, 199.

By the method of the smalest squares the coefficient a and b were calculated in accordance with formula (2). The results are presented in *Table II* (a and b).

3. Discussion and conclusions

First of all it was checked whether there is any difference between April – September, April – June and July – September season in relation Q/Q_A and n/N. *Table II/a* shows the differences clearly between winter (October – March) and summer (April – September) hald-year. The fact, that the value of

constant a in the summer half-year ($a=0.29$) is higher than in the winter half-year ($a=0.23$) indicates that in winter a smaller part of the radiation reaches the earth's surface than in summer. Further it can also be seen, the coefficient b is greater in the winter half-year ($b=0.61$) than in the summer half-year ($b=0.46$). It may be explained by the fact that in winter a greater part of the radiation is absorbed than in summer. If the analysis is applied to growing season (April – September), summer part (July – September) and spring part (April – June) we can see differences, too. Namely, if we want to estimate evapotranspiration of crops using global radiation, growing season has to be divided into two parts (spring and summer).

The relation, between relative radiation Q/Q_A and cloudiness C, was analysed. The results are shown in Table II/b. The comparison of the results for relative radiation, obtained by taking into account cloudiness and sunshine duration, is presented in *Table III.*

TABLE III

Relative radiation Q/Q_A *calculated on the basis of relative sunshine duration and cloudiness for Novi Sad for extreme cases*

Period	Completely clear sky		Completely overcast sky	
	n/N=1	C=0	n/N=0	C=10
April – September	0.75	0.74	0.29	0.34
April – June	0.78	0.79	0.26	0.31
July – September	0.72	0.73	0.32	0.48

Table III. clearly shows, that in the case of completely clear sky, relative radiation is practicaly the same in both cases. However, when the sky is completely overcast by clouds, the relative radiation calculated from cloudiness is higher than that one obtained from relative sunshine duration, the difference is higher in summer.

REFERENCES

Angström, A., 1924: Solar and terrestrial radiation. *Quart. J. Roy. Met. Soc. 50*, 121 – 125.

Baars, I. C., 1973: Relation between total global radiation, relative, duration of sunshine and cloudiness. *Zbor. Met. i Hid. Rad. 4*, 43 – 53.

Black, J. N., Bonython, C. W. and *Prescott, J. A.*, 1914: Solar radiation and the duration of sunshine. *Quart. J. Roy. Met. Soc. 80*, 231 – 235.

Coulson, K. L., 1975: *Solar and terrestrial radiation.* Academic Press, New York, San Francisco, 5 London.

De Jong, B., 1973: *Net radiation received by a horizontal surface at the Earth.* Delft University Press, Delft.

Glover, J. and *Mc. Cullock, J. S.*, 1958: The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine.. *Quart. J. Roy. Met. Soc. 84*, 172 – 175.

Kimball, H. H., 1919: Variations in the total and luminous solar radiation with geographical position in the United States. *Mon. Weat. Rev. 47*, 769 – 793.

Lincare, E. T., 1967: Climate and the evaporation from crops. *J. Irrigation and Drain 93*, 61 – 79.

List, R. J., 1968: *Smithsonian Meteorological Tables.* Smithson. Inst. Press, Washington.

Löf, G. O., Duffie, J. A. and *Smith, C. O.*, 1966: World distribution of solar radiation. *Solar Energy 10*, 27 – 37.

Milankovitch, M., 1930: Mathematische Klimalehre. *Handbuch des Klimatologie.* Band I, Teil A, Berlin.

Page, J. K., 1964: The estimation of monthly values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40°N – 40°S. *Solar Energy 4*, 368 – 382.

Penman, H. L., 1948: Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society, London A 193*, 120 – 145.

Penman, H. L., 1956: Estimating evaporation. *Transactions American Geophysical Union 37*, 43 – 49.

Prescott, J. A., 1940: Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. Roy. Soc. Aust. 64*, 114 – 125.

Rietveld, M. R., 1978: A new method for estimating the regression coefficients in the formula solar radiation to sunshine. *Agric. Meteor. 19*, 243 – 253.

Robinson, N., 1966: *Solar radiation.* Elsevier, Amsterdam.

Schulze, R., 1963: Zum Strahlungsklima der Erde. *Archiv für Meteor., Geophys. und Bioklim. 12*, 185 – 195.

Scholte Ubing, D. W., 1959: Over stralingsmeingen, de wartebalans en de verdamping van gras (with summary in English). *Mededelingen van de Landbouwhogeschool Wageningen 59*, 19 – 20.

Shaw, N., 1928: In *Manual of meteorology.* Vol. II: Comparative meteorology. University Press, Cambridge.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 3. szám, 1984. május – június
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 3. May – June, 1984. Budapest

A simple calculation of the vertical profile of average PAR flux density within a maize stand

M. HUNKÁR, *Central Institute for Meteorology, H-1525 Budapest, P. O. B. 38.*

A simple calculation of the vertical profile of average PAR flux density within a maize stand. In studies of photosynthetic plant production it is important to determine the interceptable photosynthetically active radiation (PAR) within a canopy. This paper describes a simple method of calculation of the average PAR flux density for any horizontal plane within the canopy. The PAR flux density is to be measured in shade and also in sunflecks with LI-COR 190SB quantum sensors. The effect of penumbras can be neglected. In this way, the vertical change of the ratio of shaded areas on horizontal planes within a plant stand can be determined.

⁂

Egyszerű számítási módszer a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) fluxus átlagos vertikális profiljának meghatározására kukorica állományban. A fotoszintetikus növényi produkció tanulmányozásában igen fontos a növényállományon belüli interceptálható fotoszintetikusan aktív sugárzás meghatározása. A cikk egyszerű számítási eljárást mutat be, mellyel derült égbolt esetén meghatározható az állományon belüli bármely horizontális felszínen az átlagos PAR fluxus. A számításhoz szükséges kiindulási adatokat az adott horizontális síkon árnyékban, ill. napos helyen mért PAR fluxus értékei képezik, mely a LI-COR 190SB kvantum szenzorral mérhető. Ezenkívül szükséges a növényállományon belül az árnyékoltság szintenkénti meghatározása, melyet a szerző a talajfelszín árnyékoltságának mért értékéből számítással állított elő.

⁂

Introduction. Solar radiation is the most important environmental condition for photosynthetic plant production Photosynthetically active radiation (PAR) is defined mainly as radiation in the spectral region between 400 – 700 nm, but sometimes 380 – 710 nm (*Monteith*, 1969). This part of solar radiation can be measured with quantum sensor or quantum flux meters, whose sensitivity within the PAR wavelength range is proportional to the number of quanta per unit wavelength (*McCree*, 1972).

Above the crop canopy solar irradiance depends on the elevation of the sun, the transparency of the atmosphere and the type and amount of clouds. Within the canopy the irradiance of PAR is more complicated. A part of PAR is absorbed by green leaves, another part is scattered and reflected, and there is a third part of PAR that penetrates through the canopy without interception. The quantity of interceptable PAR in a plant stand, so the characterization of the stand is very important.

Since the penetration of direct and diffuse radiation into the plant stand is different, in theoretical discussions one has to distinguish between direct and diffuse radiation. Calculations relating to these kinds of solar radiation are complicated. For practice, in ecological and plant production studies, a simpler theory for the calculation of the average radiant flux within the canopy would be appropriate.

1. Survey of theories

Attenuation of radiant flux density inside the plant canopy is expressed by the penetration function τ. The penetration function is defined by the ratio of the mean total PAR flux density on a horizontal plane inside the canopy (S_{tp}) and above the canopy (S_t).

$$\tau = \frac{S_{tp}}{S_t} \tag{1}$$

τ depends on the height (z) or in plant production studies $L(z)$, where z is the height between the soil surface and the total height of plant stand (h), $L(z)$ is named the downward cumulative leaf area index.

For a random spatial distribution of crop elements the penetration function $\tau(z)$ is given by an exponential function, i.e. by Beer's law (*Monsi* and *Saeki*, 1953).

$$\tau[L(z)] = \exp[-\varkappa L(z)] \tag{2}$$

where $\varkappa$ – the extinction coefficient – is determined experimentally.

The theory of radiative transfer in stands is based on the treatment of a stand as a turbid medium in which leaves act as elements of the medium which scatter radiation. The radiative transfer theory for turbid medium was originally evolved in astrophysics and has been modified to describe the main features of radiation in horizontally homogeneous well-developed stands (*Ross*, 1964; *Ross* and *Nilson*, 1968).

The total PAR above the canopy consists of direct (S_b) and diffuse (S_d) PAR; within the canopy in addition to direct and diffuse PAR a so called complementary radiation due to the scattering of direct and diffuse radiation on the foliage and the ground surface has to be taken into account.

On a cloudless day the large variation in radiation as a result of the alternation of sunflecks and shaded areas is determined by the canopy architecture. The irradiance in sunflecks may exceed that in shaded areas by one or two orders of magnitude. If the effect of penumbras is neglected, the irradiance and the spectral composition of direct radiation do not alter and the mean irradiance in the region of PAR can be deduced from the extension of the sunlit areas.

Ross (1975) derived penetration functions for direct PAR (τ_s) and diffuse PAR (τ_d) and $\varkappa$ extinction coefficient; all of these are determined by the canopy architecture and the elevation of sun (β). He gave a theoretical formula for the average PAR flux density on a horizontal plane within the canopy. In that formula—Eq (3) — the scattered radiation also has been taken into consideration.

$$S_{tp}[L(z),\beta] = S_b\tau_s[L(z),\beta] + S_d\tau_d[L(z)] + \frac{S_t\omega^*\varkappa(\beta)[(\exp - L(z)) - \exp L(z)]}{1-\varkappa}$$

where ω^* is an optical characteristic of the plant stand.

Methods and materials

Instead of applying the complicated formula (3) it would be simpler to measure the average flux density on a horizontal plane. Some authors solved this problem by placing several sensors inside the canopy in the same height. The sensors were parallel connected, so the average flux density was recorded directly (*Campbell* et al. 1981).

There was another approach to solve the problem, when the sensor was moved along a stick. The scanning speed was uniform over a path. The signals from the sensors above and in the canopy were fed simultaneously into an analog-to-digital converter interfaced with an on-line digital computer. The light distributions were printed out at the end of each run (*Norman* et al., 1971). Similar moving systems were applied by Soviet authors (*Laisk*, 1969).

In the present study only two sensor heads of LI-COR 190SB quantum sensor were available without any kind of on-line computer technique. Therefore a simple approximate method had to be found to determine the average PAR flux density on horizontal planes at different heights.

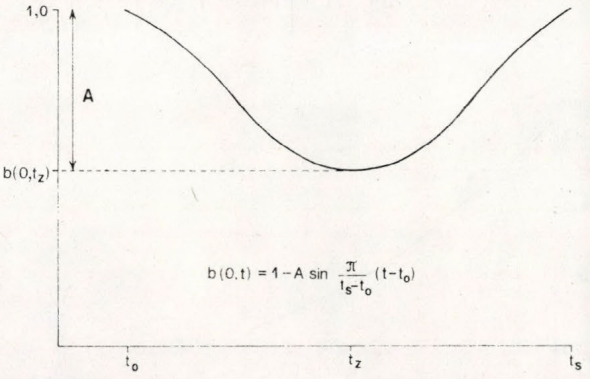


Fig. 1: The daily course of the ratio of shade at the ground surface on a cloudless day – *1. ábra: Az árnyékoltsági arány napi menete a talajfelszínen felhőtlen idő esetén*

The method is based on the following calculation:

$$I(z, t) = b(z, t)\, I_{sh}(z, t) + [1 - b(z, t)] I_s(z, t) \tag{4}$$

where $I(z, t)$ – the average PAR flux density on a horizontal plane at z height at time t,

$b(z, t)$ – the ratio of shaded area on a horizontal plane at z height at time t,

$I_{sh}(z, t)$ – the PAR flux density in shade at z height at time t,

$I_s(z, t)$ – the PAR flux density in sunflecks at z height at time t.

I_{sh} and I_s can be measured directly by LI-COR 190SB. To give the function $b(z, t)$ one has to make some assumptions:

(1) Below a developed stand the ratio of shade at the ground surface depends on the elevation of sun. The least value of this ratio occurs at noon and, obviously, the ratio is equal to 1 at sunrise and sunset. The daily course of the ratio of shaded areas is the inverse of the elevation of the sun. *Fig. 1* shows the daily course of the ratio of shade at the ground surface on a cloudless day. A – is the fraction of sunflecks at ground surface a noon. This fraction is defined by

$$A = 1 - b(0, t_z) \tag{5}$$

Function $b(0, t)$ can be expressed by a sine function of time, where t_z is the time of zenith, t_0 is the time of sunrise and t_s is the time of sunset.

$$b(0, t) = 1 - A \sin\left(\frac{\pi}{(t_s - t_0)} (t - t_0)\right) \tag{6}$$

(2) The next assumption refers to the change of the ratio of shade with height within the canopy. At ground surface $z=0$, $b(z, t)=b(0, t)$; above the canopy $z=h$, $L(h)=0$, $L(z)$ is the downward cumulative leaf area index, and $b(h, t)=0$. At any height z, where $h \geq z \geq 0$, $b(z, t)$ is proportional to the relative cumulative leaf area index expressed by the quotient $L(z)$: LAI (LAI being the total leaf area index).

$$b(z, t)=b(0, t)\frac{L(z)}{\mathrm{LAI}} \tag{7}$$

Substitue $b(0, t)$ (Eq. 6) into Eq. 7.:

$$b(z,\ t)=\left[1\ -\ A\ \sin\left(\frac{\pi}{(t_s-t_o)}(t-t_o)\right)\right]\frac{L(z)}{\mathrm{LAI}} \tag{8}$$

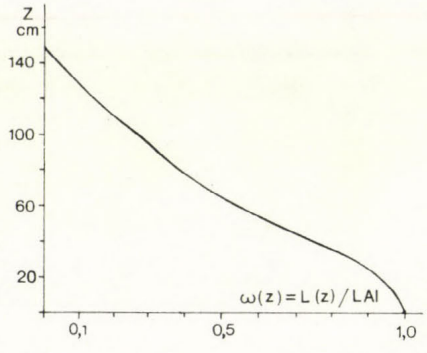


Fig. 2: The vertical distribution of leaf area index; z=height, cm – *2. ábra: A levélfelület index függőleges eloszlása,* z=*magasság, cm*

The sunfleck sizes at the ground surface was determined with a sufficiently large white piece of paper, on which the shaded area was darkened and then the sunlit areas [A in Eq. (8)] were calculated. The times of zenith and sunrise (t_z and t_o) were given by astronomy. Besides A, t_z and t_o, the leaf area index and its vertical distribution have to be determined. The vertical distribution of leaf area was determined by the following procedure: the stems of harvested plants were divided into sections of chonsen lengths and the levels of the point of insertion of petioles were taken as the criterion for including them into a canopy layer. The area of a single leaf was determined with a method of approaches: measuring l, the length of the leaf, and d, the width at the one-third of the length, the leaf area being $F=ld$. To get the total leaf area, or the leaf area in a canopy layer, one has to sum up the areas of the single leaves.

Measurements were effected at the experimental station of Keszthely, Hungary (17° 14′ W; 46° 46′ N) in a maize *(Zea mays)* stand. Maize was an

TABLE I

Calculated ratio of shade on 29th of July in 1982
z=height; $b(0, 8^{\circ\circ})$, $b(0, 12^{\circ\circ})$ – the ratio of shade at the ground surface at 8°° and 12°° LMT

z	cm	20	40	60	80	100	120	140	160
b	$(0,8^{\circ\circ})=0.99$	0.98	0.77	0.56	0.37	0.25	0.12	0.02	0.00
b	$(0, 12^{\circ\circ})=0.56$	0.56	0.44	0.32	0.21	0.14	0.06	0.02	0.00

early subspcies, namely SZTC-255. The spacing of the rows was 70×20 cm. The leaf area index of the developed stand was 2.3, it is relatively small.

PAR measurments were made with LI-COR 190SB quantum sensors. One of the sensors was placed above the canopy and the other one was moved vertically within the canopy. The irradiance of PAR was measured both in shade and sunflecks on clear days twice a day, at 8°° LMT in the morning and at noon.

3. An example for the calculation of the vertical profile of average PAR flux density

The 29_{th} of July 1982 at Keszthely was a clear sunny day. The height of the maize stand was 172 cm, LAI = 2.3, $b(0, t_2) = 0.55$.

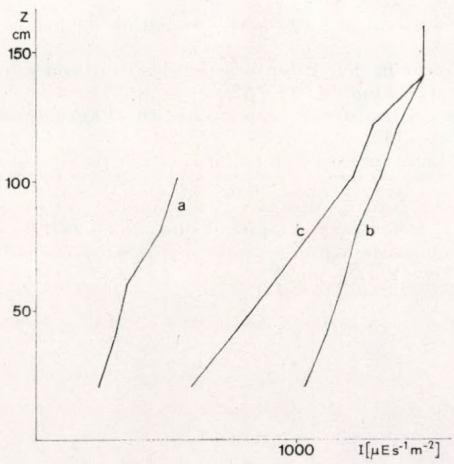


Fig. 3: PAR flux density profiles. (a) in shade (b) in sunflecks – (c) calculated average – *3. ábra: PAR fluxus sűrűség-profilok a) árnyékban, b) napos foltokon, c) számított közép*

Fig. 2. shows the vertical distribution of leaf area, where $\omega(z)$ is $L(z)$:LAI. The length of a layer was 20 cm.

The vertical profile of PAR flux density was measured at 8°° and 12°° LMT both in shade and in sunny places in $\mu E/sm^2$. The calculated ratio of shaded area is given in *Table I.* The PAR flux density profile is shown in *Fig. 3.*, where curve *a* is the profile in shade curve *b* is the profile in sunny places and curve *c* is the calculated average PAR profile [Eq. (4)].

Summary

This paper gives a simple method of calculating the mean total PAR flux density on a horizontal plane within a plant stand.

Previous authors solved this problem theoretically or experimentally with complicated measurements or equipment.

An available instrument the LI-COR 190SB quantum sensor measures the quantum flux density at a small area, less than 1 cm^2. In this way the vertical profile of PAR was measured in shade (I_{sh}) and in sunflecks (I_s). The average PAR interceptable on a horizontal plane within a canopy was calculated using the vertical profile of ratio of shade, while making the following assumptions:

(1) the daily course of the ratio of shade at the ground surface is the inverse of the elevation of the sun, expressed by a sine function of time;

(2) the vertical change of the ratio of shade is proportional to the relative cumulative leaf area index. Therefore one has to measure the least value of the ratio of shade a day – at noon, and the vertical distribution of leaf area. From these the vertical profile of the ratio of shade can be calculated (Eq. (8)]. Using this profile the mean PAR flux density on a horizontal plane can be determined by means of Eq. (4).

REFERENCES

Campbell, R. B., Reicosky, D. T. and *Doty, C. V.*, 1981: Net radiation within a canopy of sweet corn drought. *Agric. Met. 23*, 65–72.

Laisk, A., 1969: Izmerenie prozrachnosti rastitelnovo pakrova. In: *Rezim solnechnoi radiacii v rastitelnom pakrove.* Int. Fiz. i Ast. AN ESSR. Tartu, 81–111.

McCree, K. J., 1972: Test current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agric. Met. 10*, 443–453.

Monsi, M. and *Saeki, T.*, 1953: Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und siene Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. J. of Botany 14*, 22–52.

Monteith, J. L., 1969: Light interception and radiative transfer in crop stands. In: *Physiological Aspects of Crop Yield.* Madison Wisc. USA, 89–111.

Norman, J. M., Miller, E. ad *Tanner, C. B.*, 1971: Light intensity and sunfleck size distribution: in plant canopies. *Agron. J. 63*, 743–748.

Ross, J. K., 1964: *Aktinomntria i optika atmosphery.* Nauka, Moscow, 251–256.

Ross, J. K. and *Nilson, T.e* 1968: *Aktinometria i Atmosphery.* Valgus, Tallin, 263–281.

Ross, J. K., 1975: Radiativ,e transfer in plant communities. In: *Vegetation and Atmosphere* (ed.: J. L. Monteith). Academic Press, London–New York–San Francisco, 13–55.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 3. szám, 1984. május–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 3. May–June, 1984. Budapest

A climatological analysis of two- and four-day backward trajectories

IVÁNYI ZS. *and* MERSICH I., *Central Institute for Meteorology H-1525 Budapest, P. O. B. 38.*

2- és 4 napos trajektóriák klimatológiai vizsgálata. A szerzők a Magyarországon működő három háttérszennyezettséget mérő állomásra nagy távolságról érkező szennyezőanyagok lehetséges útvonalainak meghatározására készített egyszerű, objektív, számítógépes trajektória modellt mutatnak be. A trajektóriák felrajzolását is számítógép végzi. Két- és négy napra vonatkozó trajektóriákat határoztak meg. A modell bemenő adatai 70 rádiószonda állomáson a naponta kétszer mért széladatok. A 850 mb-os nyomásmező szintjére végrehajtott trajektória számítások egy évre vonatkoznak. A nyert eredmények lehetővé teszik a legvalószínűbb forrásterületek megjelölését.

⁎

A climatological analysis of two- and four-day back-ward trajectories. A simple, objective, computer-based calculation method is presented for the determination of two- and four-day backward trajectories from three Hungarian background stations; also the trajectories are drawn by the computer. As input data wind-observations made twice a day by 70 radiosounding stations were used. The calculations were carried out by using the wind data at the isobaric level of 850 mb for one year. By making use of these results and extending the calculations for a longer period, the most probable source areas can be identified.

⁎

Introduction. Most of the pollutants released into the atmosphere have an average residence time of a few days or more. Therefore, air pollutants can travel quite a long distance from the source. For a realistic modelling of the transport, i.e. to relate emission-dilutionremoval-immission, it is necessary to know the actual path followed by an air parcel. It is obvious that during the transport over a long range, both the advection and dispersion are determined by the synoptic scale wind pattern. For this purpose several trajectory models based on large-scale motion have recently been developed. Originally, the trajectories were evaluated by hand, based on successive weather charts (e.g. *Szepesi*, 1978). In order to treat a great number of data, trajectory calculations are not only faster, but at the same time they offer more objective results (*Van der Auwera* and *De Sadeleer*, 1982). The way show the trajectories are generated in the various air quality models are different. Some models use wind data measured near the surface (*Rao* et al., 1983); others apply the wind field determined at a given pressure level, e.g. 900 mbar or 850 mbar (*Daggaputy* et al., 1979; *Szepesi*, 1978; *Bartnicki* et al., 1979; *Pack* et al., 1978; *Patterson* and *Husar*, 1981). In some other models wind averaged through a layer of, e.g., 100–1500 m depth above the surface is considered (*Wrigley* et al., 1979; *Henmi*, 1979; *Niemann* and *Smith*, 1979; *Miller*, 1979; 1981; *Van der Auwera* and *De Sadeleer*, 1982).

Trajectory models generally have uncertainties because of the lack of sufficient wind data. For calculating trajectories, interpolation is mostly ne-

cessary, as the observed data are sparse in both space and time (*Raynor* and *Hayes*, 1983). Another disadvantage of most trajectory models, the neglection of the vertical component of velocity, might cause significant error in the case of light wind conditions, which are potential air pollution episodes. Scale analises have shown that the vertical component is of the same order of magnitude as the horizontal components are, when the wind is weak (*Vander Auwera* and *De Sadeleer*, 1982). There are a few isentropic models which do include the vertical term *Davies* (1979) utilized isentropic considerations.

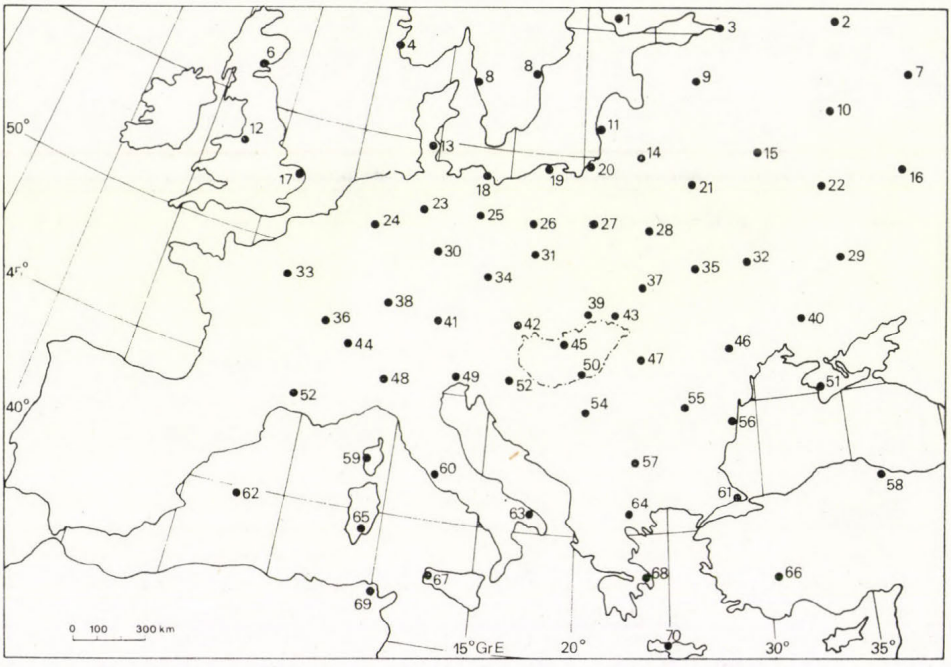


Fig. 1. Location of the radiosounding stations
1. ábra: A rádiószondázó állomások elhelyezkedése

The three components of velocity appearing in the trajectory models are not determined by observed wind data, but calculated by means of theoretical models, so they are rather complicated. For statistical purposes such sophisticated models are not necessary, because the statistical character does not require such an accuracy. For statistical characterization of either backward or forward trajectories over a given area two-dimensional approximation is satisfactory, because the errors owing to the insufficient resolution of the wind data in space and time tend to average out (*Rao* et al., 1983).

Based on the arguments mentioned above, a simple, horizontal trajectory model was applied to calculate backward trajectories from three sites in Hungary, where regional air pollution stations are being operated. The statistical analysis of the backward trajectories can potentially identify source areas from where the pollutants are likely transported to a given place. Further, the trajectories calculated can be used for modelling the long-range transport of pollutants.

1. Method and data

The basic concepts and algorithm to compute the displacement of an air parcel are well known. Each trajectory is constructed of successive segments, each lasting for a fixed unit of time. The necessary wind data at the isobaric level of 850 mb were determined from two daily aerological soundings for one year. The distribution of the radiosounding stations considered is shown in *Fig. 1.* For the calculation of an individual segment, only the part of the whole area located within a circle of 400 km radius centered on the actual trajectory endpoint was considered. The duration of the timestep was chosen to be one hour. For the intermediates time of no observation, a linear interpolation was carried out. Since the radiosounding stations are sparsely located, spatial interpolation is also necessary. The spatial interpolation was executed by using the following formulas:

$$v = \frac{\sum(v_i/r_i^2)}{\sum(1/r_i^2)} \qquad u = \frac{\sum(u_i/r_i^2)}{\sum(1/r_i^2)}$$

where u, v are the horizontal components of velocity interpolated for the endpoint of a trajectory segment;

u_i, v_i are the horizontal components of velocity at various points within a circle of 400 km radius centered at the actual endpoint of the trajectory;

r_i is the destance between the endpoint of the segment and the various points, where wind data are available.

Two-day and four-day backward trajectories were calculated for one year (1. 2. 1982–31.1. 1983) from three sites in Hungary. The locations of the background-stations are shown in *Fig. 2.* Farkasfa is situated in the western, Szarvas in the southern part of Hungary, K-puszta is located in the middle of the country. The calculation of the two-day backward trajectories for one month requires 80 s CPU; computational time for four-day trajectories for the same period is 140 s CPU when using an IBM 370/155 computer. This time includes drawing of the trajectories, as well. The trajectories were drawn in four different scale depending on the velocity. Two examples are presented in *Fig. 3.*

2. Data analysis and results

Two- and four-day backward trajectories from three stations were calculated for one year. In order to treat this great amount of data, categories were defined, according to which the trajectories were classified. By means of the trajectories the possible source areas can be identified. For this purdose the most important thing to know is, where the pollutants come from. This means, that not only the direction, but also the distance covered by the pollutants have to be considered. First a classification depending only on the direction was carried out, then the analysis was extended by taking into consideration the distance.



Fig. 2. Location of the background stations
2. ábra: A háttérszennyezettség-mérő állomások elhelyezkedése

For the sake of simplicity, 360° was divided into four equal sectors. The area between the north and east directions was marked by 1, the sector bordered by south and east by 2, the area between south and west by 3, and the last sector bounded by west and north was marked by 4. If a trajectory is characterized by the mean direction of the sector from where it approaches the measuring point, it does not characterize exactly where the pollutants derive from, since during the transport the trajectories might cross the borders of the main sectors. It also accurred sometimes that the starting and ending point of the trajectory were located in the same quarter-sphere, but the trajectory, having the shape of a spiral, touched other sectors, too.

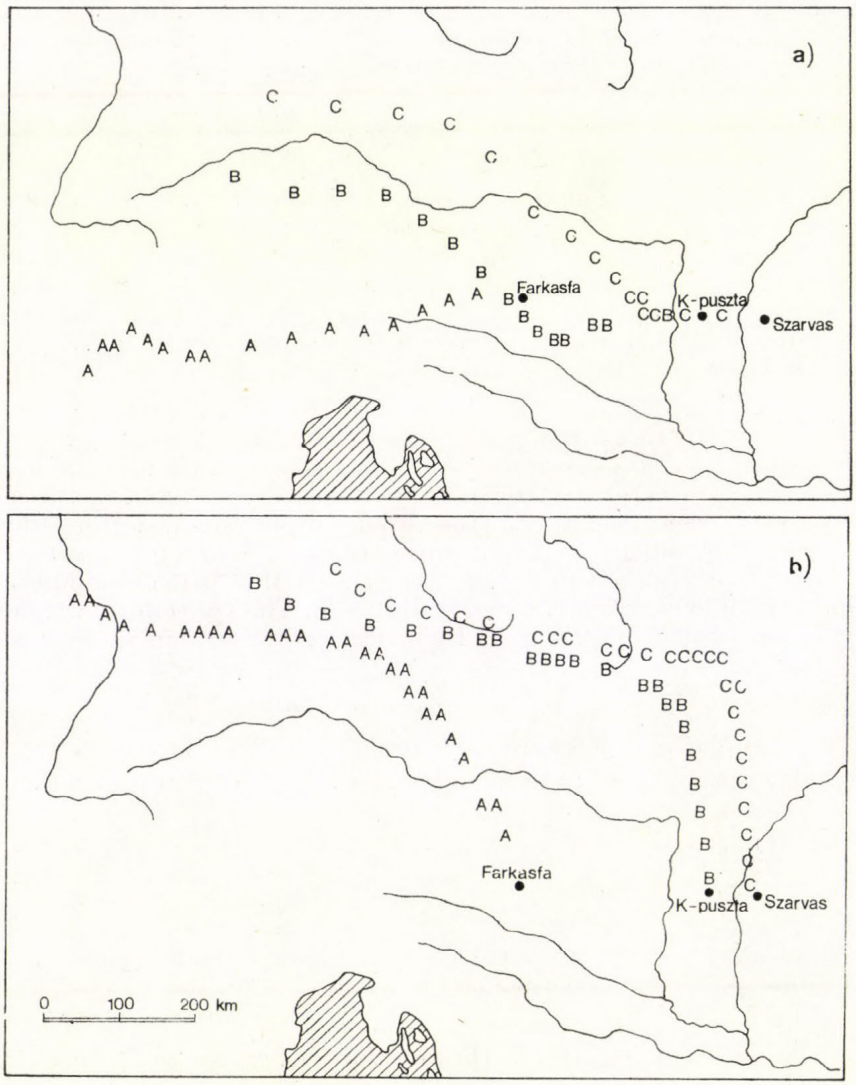


Fig. 3. Computer mapped trajectories in two different sizes
3. ábra: Számítógépes trajektóriák két számítási pontra

Therefore, in addition to the four main classes characterized by the numbers 1 to 4, some other categories had to be introduced. The classes were marked in the following way: a trajectory which remains in one sector defined above is characterized by a single number identifying that quarter. The trajectory which touched two sectors is marked by a double number. If the trajectory touched three or four sectors, the identifying mark is constituted by three or four marks. The order of the numbers corresponds to the order of

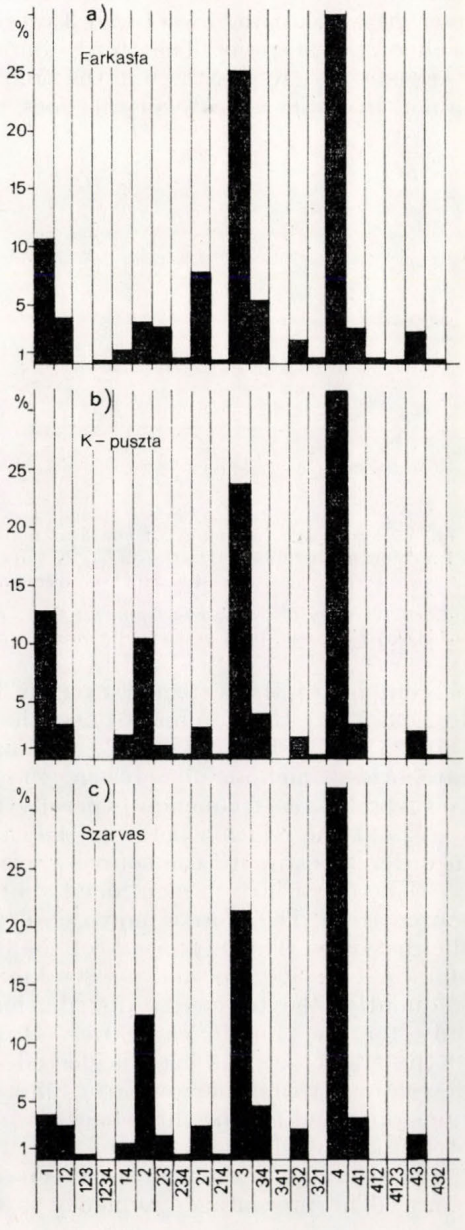


Fig. 4. Frequency distribution of the various 2-day back trajectory types for *a)* Farkasfa, *b)* K-puszta, *c)* Szarvas.
4. ábra: A kétnapos trajektóriák gyakorisága a) *Farkasfa,* b) *K-puszta,* c) *Szarvas*

the sectors touched by the trajectory. For example, mark 123 means that the trajectory starts in sector 1, and after crossing sector 2 it ends in sector 3.

Frequency distribution of the classes occurring during the analysis was determined for the three stations. Theoretically, other classes may also exist, but not all of them did occur in the cases considered. Results for the two-day backward trajectories are presented in *Fig. 4/a,) b), c)*. No remarkable difference is found between the three distributions. Sector 4 (mean wind direction is NW) is the most frequent category for each of the cases, its percent is equal to or more than 30. The other dominant category is sector 3 (SW), its occurrence is over 20%, i.e. categories 4 and 3 represent more than half of all the cases for each of the stations. The third dominant category is 1 (NE) in the case of Farkasfa and K-puszta, but the frequency of category 2 (SE) is almost thei same. In Szarvas, category 1 does not occur so frequently, however, the

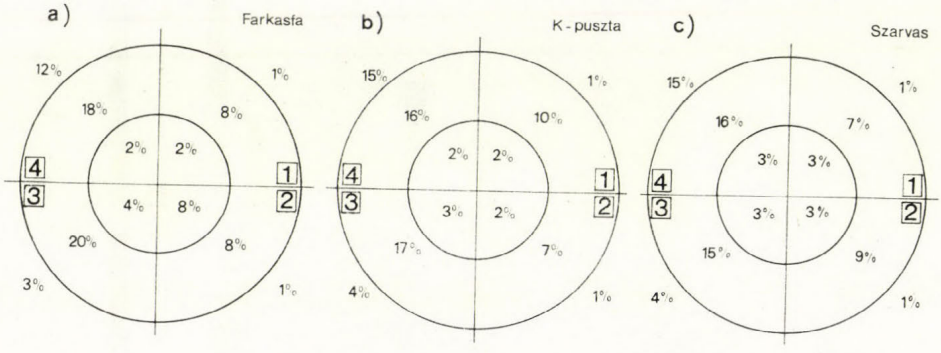


Fig. 5. Percentage frequency of the four main (2-day back) trajectory types (1, 2, 3, 4) as a function of distance *a)* Farkasfa, *b)* K-puszta, *c)* Szarvas; The radius of the inner circle 400 km, the radius of the outer circle is 800 km

5. ábra: A négy fő trajektória típus (1, 2, 3, 4) távolság szerinti eloszlása (kétnapos trajektóriák esetén) a) *Farkasfa,* b) *K-puszta,* c) *Szarvas a belső kör sugara 400 km, a külső kör sugara 800 km*

percent age of this category exceeds 10%. It can well be seen that categories 1, 2, 3, 4 are the dominant ones, the relative frequency of these four classes being 78% in K-puszta, 76% in Farkasfa and 76% in Szarvas. The other categories, which include crossing the borders of the main sectors, occur relatively rarely, the frequency generally being below 5%.

Next the relation between the categories and the distance were analyzed in order to estimate the source areas.

The classification mentioned above is to rough for identifying the possible source areas. Therefore a more detailed classification was carried out including the distances. Three intervals of the distance were distinguished: $x < 400$ km, $400 \text{ km} \leq x \leq 800$ km, and $x > 800$ km. Since categories 1, 2, 3, 4 occur most frequently, the frequency distribution as a function of distance was drawn only for ese thmain categories. However, in this case – though the curve of the trajectory has been neglected – the distances from the stations can be determined within narrow error limits. *Figure 5/a), b), c)* present the distributions obtained for the three background stations. The inner circle has a radius of 400 km, while the radius of the outer circle is 800 km. The numbers show the percentages of the trajectory-types 1, 2, 3, 4 as a function of the originating point. (The precentage frequency is the occurence relative to all the cases.

Since classes crossing the borders are excluded, the sum of the numbers is not equal to 100%.) Figure 5/*a*), *b*), *c*) show that —except in the case of category 4—the trajectories generally cover a distance of less than 800 km. This means that if the life-time of the pollutants is longer than two days, in most of the cases the trajectories originate from an area situated maximum 800 km away from the background stations. The area located farther than 800 km means an essential source only in those cases when the trajectories approach the measuring points from the NW sector (category 4). Beside this category, sector 3 can be considered an important source area. In a more detailed way the following statement can be made:

32% of the trajectories reaching Farkasfa originate from sector 4. Within this category, in 30% of the cases the distance is longer than 400 km. 27% of the trajectories come from sector 3 (within this 23%, if $x > 400$ km). Trajecto-

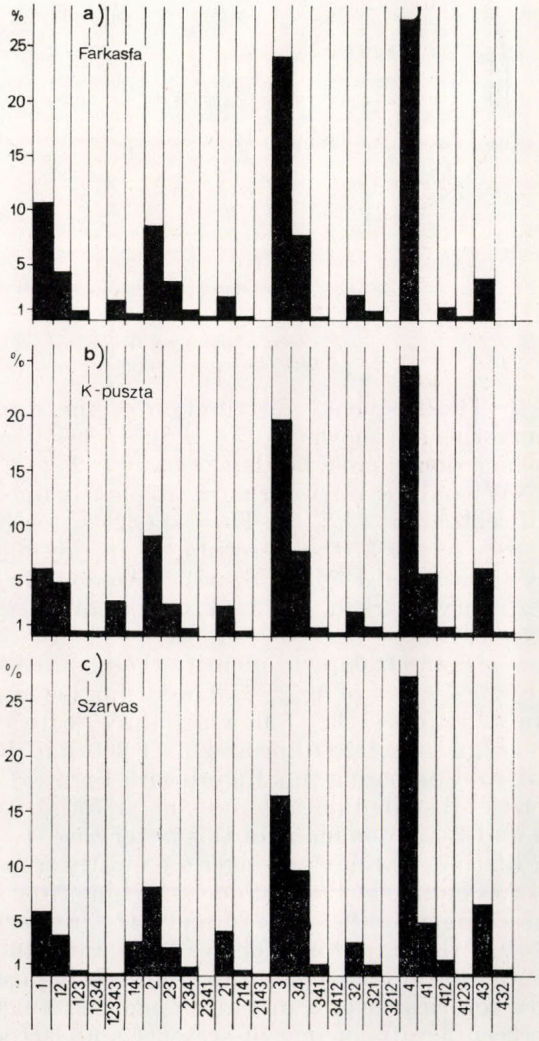


Fig. 6. The same as Fig. 4, except for 4-day back trajectories
6. ábra: Azonos a 4. ábrával, de 4 napos trajektóriákra

ries ending at K-puszta mostly derive from sector 4 (33%) and from sector 3 (24%); within these the occurrence is 31% and 21%, if the distance is longer than 400 km. Regarding Szarvas, again the former two classes are the most frequent ones: 34% for NW (31%, if $x > 400$ km) and 22% for SW (19%, if $x > 400$ km). This means that the most probable sources affecting these stations are situated in Czechoslovakia, the southern part of FRG and GDR, as well as Belgium and the Netherlands. It should also be mentioned that from the areas located in sectors 1 and 2 at a distance less than 800 km, pollutants might sometimes be transported to Hungary. These source areas might be located in Czechoslovakia, Poland, Yugoslavia and Romania.

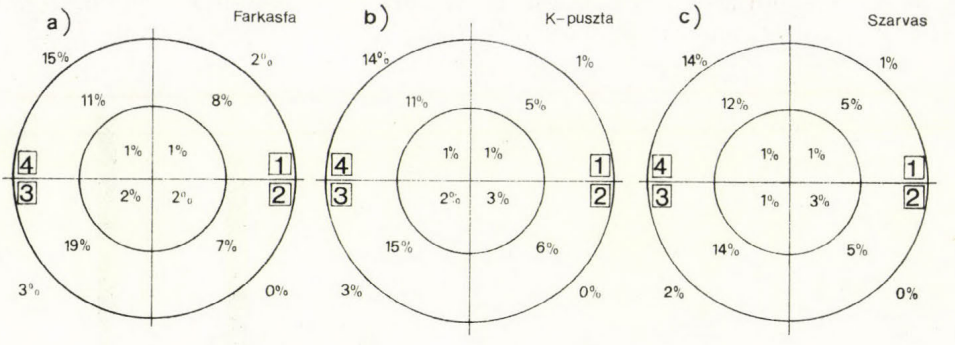


Fig. 7. The same as Fig. 5, except for 4-day back trajectories
The radius of the inner circle is 600 km, while the radius of the outer circle is 1200 km

7. ábra: Azonos az 5. ábrával, de 4 napos trajektóriákra
A belső kör sugara 600 km, a külső kör sugara 1200 km

The frequency distribution of the categories for the four-day back trajectories are shown in *Fig. 6/a), b), c)*. It can again be stated that categories which do not cross borders (sectors 1, 2, 3, 4) are the dominant classes. Sectors 4 (NW) and 3 (SW) occur most frequently for each of the stations. The occurrence of sector 4 is 27% for Farkasfa, 26% for K-puszta and 27% Szarvas. As regards sector 3, the percentages are as follows: 24% for Farkasfa, 19% for K-puszta and 17% for Szarvas. Among the border-crossing trajectory-classes, category marked by 3, 4 occurs quite requently at each of the stations (7 – 10%).

In an attempt to identify the possible source areas, trajectories belonging to the classes of 1, 2, 3, 4 were further classified according to the distance. In this case the following three categories were defined: $x < 600$ km, 600 km $\leq x \leq 1$ 200 km and $x > 1$ 200 km. Results are presented in *Fig. 7/a), b), c)*. Comparing this Figure with Figure 5, it can be stated that the character of the distribution is quite similar for the two-day back trajectories. Sectors 4 and 3 are dominant in this latter case, too. It means that pollutants having a lifetime of 4-day or longer are mostly transported from NW and SW. Trajectories euding at Farkasfa mostly come from sector 4 and sector 3, the precentage frequencies being 27% and 24%, respectively. Among them only 1% and 2% of the trajectories derive from a distance which is less that 600 km; 26% and 20% of the trajectories approach K-puszta from NW and SW. Most of the trajectories cover a distance longer that 600 km. In the case of Szarvas, the precentage frequency of sector 4 and sector 3 is 27% and 17%; of this only

1% each comes from the area located within 600 km. So in this case the possible source areas are extending to a longer distance. Pollutant sources located in countries which are about 1 000 km far from Hungary (e.g. North-FRG, U.K., France, North-Italy) might also have an effect on the Hungarian measuring points.

3. Summary

A simple trajectory model was used to calculate trajectories reaching three measuring points in Hungary. Calculations were caried out for two-day and four-day backward trajectories. The results have shown that both two- and four-day backward trajectories come mainly from north-west (sector 4) and south-west (sector 3) to each of the stations, i.e. concerning the main trajectory types no essential difference can be found between the three stations located in different parts of Hungary. In the case of two-day trajectories, the precentage frequency of sector 4 and sector 3 is over 50% of the cases. At the same time, for the four-day trajectories the occurrence of sector 4 and sector 3 is equal to or less than 50%. Thus in this latter case the percentage frequency of the remaining categories – including border-crossing ones – has increased. As regards distances run by the air parcels, the following statements can be made: two-day backward trajectories deriving from north-west cover mostly a distance of greater than 800 km, while trajectories reaching the measuring points from south-west come mostly from territories located nearer (800 km $\leq x \leq$ 400 km). Results for the four-day backward trajectories have shown that trajectories from north-west come areas located far away ($x >$ 1 200 km), while trajectories from south-west originate in areas located nearer to Hungary (1 200 km $\geq x \geq$ 600 km).

REFERENCES

Bartniczki, J., Druchnicki, I. and *Pudykiewicz, I.*, 1979: Sensitivity of uni-level trajectory mode to random errors in initiale fields. *WMO* No. *538.*

Daggaputy, S. M., Misra, P. K. and *Munn, R. E.*, 1979: Numerical experiment in trajectory modelling for the transport of air pollution over the Great Lakes region. *WMO* No. *538.*

Davies, W. E., 1979: Comparison of the results of an eight layer regional model versus a single layer regional model for a short term assesment. *WMO* No. *538.*

Henmi, T., 1979: Long-range transport model of SO_2 and sulfate and its application to the Eastern United States. *WMO* No. *538.*

Miller, J. M., 1979: The acidity of Hawaian precipitation as avidence of long-range transport of pollutants. *WMO* No. *538.*

Miller, J. M., 1981: A five-year climatology of five-day back trajectories from Barrow Alaska *Atmos. Environ. 15*, 1401 – 1405.

Niemann, B. L. and *Smith, L. F.*, 1979: Application of regional transport model to the simulation of multi-scale episodes over the Eastern United States and Canada. *WMO* No. *538.*

Pack, D. K., Ferber, G. J., Heffter, J. L., Telegades, K., Angell, J. K., Hoecker, W. H. and *Machta, L.*, 1978: Meteorology of long-range transport. *Atmos. Environ. 12*, 425 – 444.

Patterson, D. E. and *Husar, R. B.* 1981: A direct simulation of hemispherical transport of pollutants. *Atmos. Environ. 15*, 1479 – 1482.

Rao, S. T., Pleim , J. and *Czapski, U.*, 1983: A comparative study of two trajectory models of long-range transport. *APCA 33.*

Raynor, G. S. and *Hayes, J. V.*, 1983: Testing of the air resources laboratories trajectory model on cases of pollen wet deposition after long-distance transport from known source regions. *Atmos. Environ. 17*, 213 – 220.

Szepesi, D. J., 1978: Transmission of sulfur dioxide on local, regional and continental scalel. *Atmos. Environ. 12*, 529 – 535.

Van der Auwera, L. and *De Sadeller, M.*, 1982: A two-dimensional trajectory model. *Institut. Royal Meteorologue de Belgique. Serie B*, No. 117.

Wrigley, J., Ap Simon, H. M. and *Goddard, A. Z. H.*, 1979: Meteorological data and the mesos model to the long-range transport of atmospheric pollutants. *WMO* No. *538.*

IDŐJÁRÁS

Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 3. szám, 1984. május – junius
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 3. May – June. 1984. Budapest

A csapadék és napfénytartam hatása a burgonya terméshozamára

AJTAY ÁGNES, BONCZ JÓZSEF, *Központi Előrejelző Intézet H—1675 Budapest, Pf. 32 és*
HORVÁTH SÁNDOR, *Agrártudományi Egyetem, H—8361 Keszthely, Deák F. u. 16.*

Effect of the precipitation and the sunshine duration on the yield of the potato. The paper deals with the relation between the bulk potato-yields and the weather conditions. Among the meteorological factors under the Hungarian weather conditions precipitation has a great effect on the amount of the yield. For this reason, precipitation, as one of the important factors is included into the calculations. The other factor is sunshine – as the source of radiation –, which plays an important role into the amount of yield . These two meteorological parameters had been chosen on the base of experiments of earlier investigationf carried out for country average yield data and now these have been applied for agricultural large scale form data. Results gained by this study are in agreement with our former investigations, the importance of the sunshine duration in May and July, furthermore the precipitation of the period before the increasement of the root have to be emphasised. The method is a principal component analysis. During the investigations an answer was searched for the following questions: which factors effect on the yields of agricultural large-scale farm being operated under varying ecological conditions in the different periods of growing season, furthermore concerning the effect there exists any difference between the areas.

⁎

A csapadék és a napfénytartam hatása a burgonya terméshozamára. A dolgozatban üzemi burgonyaterméshozamok és időjárási tényezők kapcsolatával foglalkozunk. A meteorológiai tényezők közül hazai időjárási körülményeink között a termés mennyiségére a csapadéknak döntő hatása van, ezért szerepel egyik hatótényezőként a számításainkban. A másik tényező a napfény, mint a sugárzás forrása, jelentős szerepet játszhat a termés alakulásában. E két meteorolagiai paraméter kiválasztásához már korábbi megyei termésadatokkal elvégzett vizsgálataink tapasztalatai vezettek, és most üzemi adatsorokra alkalmaztuk azokat. A nyert eredmények összhangban vannak korábbi vizsgálatainkkal, kiemelném május és július hónap napfénytartamának, valamint a gumónövekedés előtti időszak csapadék viszonyainak termést befolyásoló jelentőségét. A vizsgálati módszer a főkomponens analízis. Vizsgálatunkban arra is választ kerestünk, hogy a különböző ökológiai körülmények között működő üzemek terméshozamaira a vegetáció során mely tényezők mely időszakban hatottak, és van-e területi különbség a hatást illetően.

⁎

Hazánkban a 70-es évek elejéig az extenzív burgonya termesztést alacsony terméshozamok, szélsőséges termésingadozás jellemezte, aminek következtében, pl. kedvezőtlen időjárás esetén többször előre nem tervezett burgonyaimport vált szükségessé. Az azóta eltelt tíz év alatt azonban az ország burgonya szükségletének biztonságos kielégítése érdekében a hazai burgonyatermesztés az intenzív fejlesztés szakaszába lépett, amelyet fajtaváltás és technológiai korszerűsítés alapozott meg. A fejlesztés elsősorban a nagyüzemi termesztésre irányult, de kedvező hatásai a háztáji gazdaságokban és a kisüzemi termesztésben is megnyilvánultak.

Az elért eredmények szempontjából nagy jelentősége volt a burgonya termelési rendszerek, különböző termelési társulások megalakulásának; az országban folyamatosan mintegy 100–120 jól felszerelt vető- és áruburgonyatermelő gazdaság jött létre. Elértük, hogy az ország burgonya szükségletét hazai termelésből sikerült kielégíteni, annak ellenére, hogy a vetésterület egyre csökken. Ezzel kapcsolatban megjegyezzük, hogy a legkisebb szántóföldi burgonya vetésterületet 1982-ben mérték (55 ezer ha), ezen belül a nagyüzemi burgonya vetésterület szintén 1982-ben érte el mélypontját (18 ezer ha). Jelentősen nőttek viszont a terméshozamok, ám ezen a téren továbbra is nagyok a tartalékaink. A szocialista országok között eredményeink megfelelőnek minősíthetők (az NDK és Lengyelország termésátlagait követjük), a nyugati országok termelésének színvonalától azonban változatlanul messze elmaradunk. Igy például 1981-ben Hollandiában az országos átlagtermés 39,0 t/ha volt, Magyarországon ugyanakkor 18,2 t/ha.



1. ábra: A termelőszövetkezetek elhelyezkedése az ország területén

Az agroökológiai felmérések és eredményeiknek célszerű felhasználása azonban lényeges változást hozhat a terméshozamokban, ugyanis a hazai ökológiai feltételek mellett a gyakorlatban megvalósítható maximális termés (GRMT) 45,0–50,0 t/ha is lehet. Amennyiben a hazai kutatások, amelyeknek elsődleges feladata a klíma és a patológiai rezisztencia közötti összefüggések feltárása, sikerrel járnak, az országosan realizálható termés (ORT) elérheti a 35,0 t/ha-t (OMFI, 1981).

A szántóföldi növények fejlődése és terméshozama valamint az időjárási tényezők közötti kapcsolat behatóbb feltárása érdekében az üzemi termésadatokat kell figyelembe vennünk, hiszen a termelés alapegysége a mezőgazdasági üzem, ennek adatai tükrözik leghűségesebben a termelés ökonómiai és ökológiai körülményeit. A burgonya azon növényeink közé tartozik, amelyeknek terméshozama az időjárási körülményektől igen nagy mértékben függ. Az agroökológiai potenciál meghatározásának egyik fontos összetevője a legalább üzemi szintű termés-időjárás kapcsolat feltárása, s ennek következménye lehet az egyes mezőgazdasági növények, esetünkben a burgonya, vetésszerkezetének esetleges megváltozása is.

Vizsgálati anyag és mósdzer

A vizsgálatba vont valamennyi termelőszövetkezet *(1. ábra)* egy-egy Intenzív Burgonyatermelő Társuláshoz tartoznak. A termelőszövetkezeteket az ország különböző nedvesség- és hőellátottságú területéről választottuk ki.

A burgonyatermesztés agroklimatológiai körzeteinek mindegyikében talá-

unk termelő üzemeket (tsz-eket). Az 1. ábrán a helység körzeti hovatartozását a mellé írt római számmal jelöltük. A burgonyatermesztés agroklimatológiai körzetei Magyarországon (*Ajtay*, 1978) c. tanulmányban a körzeteket részletesen ismertettük, itt csak ismételten hangsúlyozzuk a csapadékellátottság fontosságát, a gumónövekedés időszakában (június közepétől augusztus közepéig). Az I. körzetben a csapadék mennyisége általában 110 mm alatti, az átlaghőmérséklet 22 fok; a II. körzetben a csapadék mennyisége 120—140 mm, az átlaghőmérséklet 20—21 fok; a III. körzetben a csapadékhozam általában 140—160 mm. a középhőmérséklet 19—20 fok, a IV. körzetben — a burgonyatermesztés szempontjából éghajlatilag legalkalmasabb körzetben — az átlagos csapadékhozam több mint 160 mm, és az átlaghőmérséklet pedig 18—19 fok.

A termelőszövetkezetek burgonyatermésének 5—6 évi adatsora állt rendelkezésünkre. Az egyneműség érdekében kizárólag a Desire fajta üzemi átlagával dolgoztunk, melyet száraz műveléssel termeltek. A meteorológiai paramétereket az adott községhez legközelebb eső meteorológiai állomásunk adataiból számítottuk ki. A vizsgálatba négy meteorológiai és egy agrotechnikai, tehát 5 tényezőt vontunk be:

1. A csapadékmennyiség a burgonya fejlődésének kezdeti szakaszában, május 1—június 15 között. *Ajtay* (1979) kimutatta, hogy ennek a fejlődési szakasznak a nedvességellátottsága termést befolyásoló tényező lehet.

2. A csapadékmennyiség a gumónövekedés időszakában, június 16—augusztus 15 között. A tenyészidőszakon belül a burgonya ebben a periódusban a legérzékenyebb a csapadékellátottságra.

I. TÁBLÁZAT

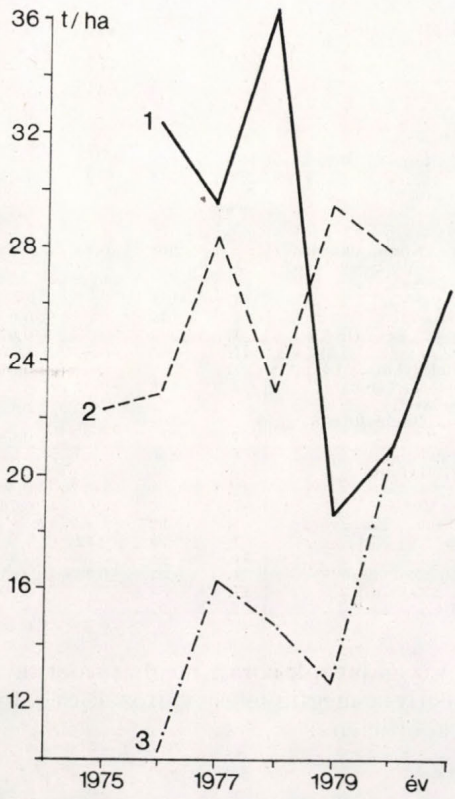
A megfigyelési változók és a termés átlag- (X) és szórásértékei (S)

Helység, termelő szövetkezet a „neve", vonatkoztatás időtartama		Műtrágya kg/ha	Csapadék, mm		Napfénytartam, óra			Üzemi termés átlag (Desire) t/ha
			máj. 1—jún. 15.	jún. 16—aug. 15.	máj.	jún.	júl.	
Zalabér, „Középzalamenti"	$\bar{X}$	624	85	177	251	261	265	22,1
1975—80.	S	108	48	88	54	28	24	4,0
Zalaegerszeg, „Zalavölgye"	$\bar{X}$	554	94	180	251	261	265	22,1
1975—80.	S	81	41	59	54	24	24	6,2
Nagykapornak, „Aranykalász"	$\bar{X}$	628	93	170	253	261	260	17,7
1975—80.	S	117	64	93	60	32	22	7,9
Zirc, „Bakony"	$\bar{X}$	747	99	170	241	248	252	25,6
1975—80.	S	121	42	51	47	42	32	3,3
Somberek, „Béke Őre"	$\bar{X}$	624	99	142	246	260	281	23,7
1975—80.	S	95	45	57	41	31	22	5,4
Kiskunfélegyháza, „Lenin"	$\bar{X}$	569	95	122	249	266	288	15,0
1975—80.	S	223	46	62	45	33	19	3,4
Kecskemét, „Törekvés"	$\bar{X}$	598	93	132	249	266	288	22,4
1975—80.	S	179	56	30	45	33	19	2,1
Érsekvadkert, „Magyar—Csehszlovák Barátság"	$\bar{X}$	618	73	125	234	247	237	21,5
1976—81.	S	207	23	29	43	30	30	3,1
Drégelypalánk, „Szondy György"	$\bar{X}$	409	58	114	234	247	237	20,0
1976—81.	S	132	29	29	43	30	30	4,9
Szügy, „Madách"	$\bar{X}$	474	74	121	234	247	238	27,4
1976—81.	S	54	25	14	43	30	30	6,7
Fényeslitke, „Tiszagyöngye"	$\bar{X}$	450	96	210	224	228	220	14,2
1976—80.	S	69	43	91	35	48	44	1,4
Mándok, „Új Élet"	$\bar{X}$	495	96	211	224	282	221	15,3
1976—80.	S	67	43	91	35	48	44	5,0
Pátroha, „Zöldmező"	$\bar{X}$	545	88	172	224	228	221	20,9
1976—80.	S	109	32	79	34	48	44	3,9
Tuzsér, „Rákóczi"	$\bar{X}$	485	96	210	224	228	221	12,1
1976—80.	S	216	43	91	35	48	44	3,3
Ajak, „Búzakalász"	$\bar{X}$	593	97	144	224	228	221	15,0
1976—80.	S	194	58	83	35	48	44	4,0

3. A napfény tartama május, június és július folyamán. A napfénytartam a sugárzási tényezőt képviseli, amely a fotoszintézist kormányozza, mind a termés mennyiségét mind pedig minőségét jelentősen befolyásolja (*Ajtay*, 1977., 1980.).

4. A trend tényező, lévén az anyag idősoros.

5. Az agrotechnikai tényezők közül a műtrágya kg/ha hatóanyagban kifejezett mennyisége.



2. ábra: A Desire-fajta burgonya terméshozama az egyes években. 1. Madách TSZ, Nógrád m.; 2, Bakony TSZ, Veszprém m.; 3. Búzakalász TSZ, Szabolcs-Szatmár m.

A vizsgálat módszere a főkomponens analízis (*Sváb*, 1979) ugyanis ezzel a matematikai statisztikai módszerrel egyszerre több független változót rendelhetünk a vizsgálandó függő változóhoz, történetesen a terméshozamhoz. Vizsgálatunkban a p számú X változóból és az Y változóból közös főkomponens-analízist számítottunk, így tudhatjuk meg, hogy az Y változó (a termés) mely változókkal alkot közös változócsoportot.

Elemzés

A termés-időjárás adatsort először általánosan vizsgáltuk. Az I. *táblázat*-ban az egyes termelőszövetkezetek termésátlagát, a műtrágya-mennyiség átlagát, a meteorológiai elemek átlagát, valamint szórásaikat találjuk a vizsgált 5–6 évben. Legkiegyenlítettebb a termés a „Törekvés" és a „Tiszagyöngye"

termelőszövetkezetben, a termés szórása 2,4 ill., 1,4 t/ha a vizsgált időszakban. A legkisebb termésátlagokat és hozamokat a Szabolcs megyei üzemekben találjuk, a többiben lényegesen nagyobbak. Ennek szemléltetésére a *2. ábrán* néhány termelőszövetkezet termésadatát ábrázoltuk is. A csapadékmennyiség szórása a vizsgált időszak mindkét periódusában a nógrádi területeken a legkisebb az ország többi részén lényegesen nagyobb. A vártnak megfelelően mennyiségileg a legkevesebb csapadékot mindkét periódusban a Duna-Tisza közén és Nógrád megyében találjuk, máshol a csapadékellátottság sokkal jobb.

II. TÁBLÁZAT

Főkomponenssúlyok

Helység, termelő szövetkezet „neve"	Főkomponensek	Évek trend	Műtrágya kg/ha	Csapadék, mm		Napfénytartam, óra			Üzemi termés átlag t/ha	λ	$\varepsilon\lambda\%$
				máj. 1 – jún. 15.	jún. 15-a-ug. 16	máj.	jún.	júl.			
Zalabér, „Középzalamenti"	I.	−0,68	0,88	0,68	.	.	.	.	0,91	3,58	44,75
Zalaegerszeg, „Zalavölgye"	I.	.	0,83	.	.	−0,70	.	0,92	0,98	3,37	42,13
Nagykapornak, „Aranykalász"	I.	−0,85	.	.	.	−0,68	.	0,95	0,87	3,22	40,25
Zirc, „Bakony"	I.	0,77	.	−0,69	.	.	.	−0,90	0,94	3,27	40,88
Somberek, „Béke Őre"	I.	.	.	0,97	.	−0,74	.	0,81	0,66	3,33	41,62
	II.	0,85	−0,80	.	.	.	.	.	0,66	2,57	73,75
Kiskunfélegyháza, „Lenin"	I.	.	.	0,85	.	−0,90	.	0,90	0,80	3,38	42,25
Kecskemét, „Törekvés"	I.	0,86	−0,92	.	0,92	.	.	.	0,88	3,46	43,25
Érsekvadkert, „Magyar–Csehszlovák Barátság"	I.	.	.	0,98	0,92	−0,91	.	.	0,60	3,61	45,13
Drégelypalánk, „Szondy György"	I.	0,80	.	.	0,72	.	.	.	0·66	3,45	45,13
	II.	.	.	0,60	.	−0,88	.	.	0,71	2,43	73,50
Szügy, „Madách"	I.	.	.	0,76	0,88	−0,82	.	0,77	0,97	4,31	53,88
Fényeslitke, „Tiszagyöngye"	I.	0,92	.	.	0,94	.	−0,91	−0,87	0,66	4,01	50,13
Mándok, „Új Élet"	I.	0,98	−0,82	.	0,94	.	−0,87	−0,90	0,58	4,67	58,38
	II.	.	.	0,96	.	−0,70	.	.	0,74	2,49	89,51
Pátroha, „Zöldmező"	I.	0,91	−0,76	.	0,93	−0,59	−0,78	−0,94	0,85	4,83	60,38
Tuzsér, „Rákóczi"	II.	.	.	0,80	.	−0,69	−0,60	.	0,58	2,08	26,00
Ajak, Búzakalász"	I.	0,97	.	.	0,82	.	−0,87	−0,92	0,73	4,77	59,62
	II.	.	−0,71	0,58	.	−0,71	.	.	0,64	2,04	85,12

Vizsgálatunk során meghatároztuk a főkomponens-súlyokat. A főkomponens-súly a megfigyelési változók és a főkomponens változók közötti korrelációs koefficiens:

$$a_{ij} = r_{X_i C_j} = r_{ij}$$

A főkomponens-súlyt úgy számítottuk ki, hogy az X független változókkal a termés (Y) is benne szerepel; ekkor azt vizsgáljuk, hogy a függő változó mely változókkal képez közös változócsoportot és milyenek az előjelek. A *II. táblázat*ban a főkomponens-súlyok szerepelnek, mégpedig az áttekinthetőség kedvéért csak azokat írtuk be, amely főkomponensben a termés-hozam magas főkomponens-súly értékkel szerepelt, mert csak úgy tekinthető át az összefüggésrendszer, és csak így kapunk választ arra, hogy a termés mely változókkal korrelál szignifikánsan. A kritikus érték a $P = 5\%$-os szinten 0,66, egy-két esetben tettünk csak annyi engedményt, hogy figyelembe vettük a $P = 10\%$-os szinthez tartozó szignifikancia szintet (0,58) is, mert ez már erőteljesen rámutat a kapcsolat szorosságára. A főkomponenes-súly (a_{ij}) realitása elsődlegesen a változók számától függ, de függ a megfigyelési egységek, esetünkben a számításban szereplő évek, ill. ezen keresztül az adatok számától, ez pedig paraméterenként 5 – 6 db.

A terméshozam-idő összefüggés aszerint pozitív vagy negatív, hogy az évek során növekedett-e a terméshozam vagy csökkent. Néhány termelőszövetkezetben nem volt szignifikáns összefüggés, mert nyilván a termés sem csökkenő, sem növekvő tendenciát nem mutatott az évek során. Néhány termelőszövetkezetnél a műtrágya főkomponens-súlya negatív, ami azt jelenti, hogy az a tényező terméscsökkentő hatású volt. Valószínű, hogy egyfelől a felhasznált mennyiség, vagy inkább a műtrágyakomponensek aránya nem lehetett megfelelő, másfelől a műtrágya kiszórása idején a csapadék mennyisége nem volt elegendő arra, hogy a műtrágyát feloldja s így termést növelő hatása érvényesüljön.

A máj. 1—jún. 15. közötti időszak csapadékának összefüggése a terméssel — a „Bakony" termelőszövetkezet kivételével — pozitív előjelű, tehát termést növelő hatású. A Zircen működő gazdaság esetében, az ott előforduló csapadéknál kevesebb lett volna kedvező a kérdéses években. A jún. 16—aug. 15. közötti időszak csapadék főkomponens-súlyának előjele alföldi tájainkon a vártnak megfelelően pozitív, tehát a több csapadék növeli a termést, a dunántúli területeken nincs szignifikáns összefüggés a csapadék és termés között, tehát éppen kielégítő a csapadékhozam.

Amikor a napfénytartam-terméshozam kapcsolatot értékeljük, értelemszerűen elsődlegesen a burgonya éghajlati igényét kell figyelembe vennünk. A napfénytartam olyan meteorológiai tényezőnek számít, mely három meteorológiai paramétert is jellemez. Az első a napfényes órák száma, a második a sugárzás, mely felhős idő esetén is létezik, mint szórt sugárzás, a harmadik funkciójaként pedig a nappali órákban bizonyos mértékig az égbolt borultságát is jellemzi.

A burgonya fejlődésének kezdeti szakaszában — a gumókötés idején és a gumónövekedés kezdeti időszakában — rövidnappalos körülményeket kíván és kevesebb napsütést, mert ez sietteti a gumókötést és a gumónövekedést. Később ez a körülmény hátrányossá válik, ekkor már előnyösebb a több napfény és a hosszabb nappal (Burton, 1965). Ennélfogva májusban a napfénytartam negatív előjele azt jelenti, hogy a kevesebb napfény ebben a periódusban termést növelő, egy bizonyos értékhatárnál több napfény pedig csökkentő hatású. A napfényre vonatkozó főkomponenssúlyok magas értékei és negatív előjelei ezt mutatják. A Szabolcs megyei üzemekben a júniusi napfénytartam főkomponens-súlyának negatív előjelére egyenlőre nem találunk magyarázatot. Ugyanakkor a július hónap bőséges napfénytartama — megfelelő mennyiségű csapadék esetén — a fotoszintézisen keresztül előnyösen hat a gumó növekedésére, szárazanyagtartalmának felhalmozódására.

A Szabolcs megyei gazdaságok s a zirci termelőszövetkezet kivételével a többi területen az előjelek a vártnak megfelelően pozitívok. A Szabolcs megyei körzetben és Zircen a negatív előjel azt jelzi, hogy a vizsgált 5—6 évben több napfényre lett volna szükség.

Zircen a júliusi napfénytartam sokévi középértéke 303 óra, a kérdéses 6 év átlaga 252 óra, tehát az eltérés átlagosan is 51 óra hiányt mutat. Kisvárdán a 30 évi átlag 296 óra, az 5 évi átlag 220 óra, a különbség 76 óra. Mind a zirci körzetben, mind a kérdéses Szabolcs megyei térségben a vizsgált években a napfényes órák száma kevesebb volt, mint a sokévi átlag; oly annyira, hogy bizonyára több éven keresztül nem érte el azt az óraszámot, mely a termés szempontjából kedvező lett volna.

Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy nyert eredményeink nem mondanak ellent, inkább megerősítik, és részben kiegészítik a megyei termésadatokkal

végzett korábbi számításaink eredményeit (*Ajtay* 1980). Ezek a vizsgálatok alkalmasak voltak arra, hogy általános ismereteket nyerjünk a burgonya terméshozama és néhány meteorológiai paraméter közötti kapcsolatról. Tájékoztatnak, arról is, hogy majd ha módunk lesz homogénebb terméshozam adatokra elvégezni az összefüggésvizsgálatokat, azonnal olyan paramétereket alkalmazzunk számításainkban, amelyek biztosan ható, termést alakító tényezőként jöhetnek számításba; ilyen pl. a gumónövekedés előtti és utáni időszak csapadékmennyisége, vagy a napfényes órák száma.

Számításainkba – mint láttuk – a burgonya üzemi termésátlagain és a vegetációs időszakon belüli két periódus csapadékmennyiségén kívül most még három hónap napfényes óráinak számát is bevontuk. A napfénnyel, mint termésátalakító tényezővel kapcsolatban olyan következtetésekre jutottunk, melyek összhangban vannak a már korábban külföldön elvégzett kísérletek és saját megelőző vizsgálataink eredményeivel.

IRODALOM

Ajtay Á., 1977: *A burgonyatermesztés agroklimatológiai feltételei Magyarországon.* OMSZ Kisebb Kiadványai 41.

Ajtay Á., 1978: A burgonyatermesztés agroklimatológiai körzetei Magyarországon. *Földrajzi Értesítő 3–4*, 461–465.

Ajtay Á., 1979: A burgonya terméshozamának előrejelzése meteorológiai paraméterek segítségével. *Burgonyatermesztés 2*, 35–52.

Ajtay Á., 1980: Újabb adalékok a burgonyatermés hozama és az időjárási paraméterek közötti kapcsolat témaköréhez. *Burgonyatermesztés 2*, 29–45.

Burton, W. G., 1965: *The Potato.* Wageningen.

Országos Mezőgazdasági Fajtakisérleti Intézet, 1981: Adott növény genetikai potenciáljának várható növekedésére vonatkozó becslés. Kézirat.

Sváb J., 1979: *Többváltozós módszerek a biometriában.* Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 3. szám, 1984. május–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 3. May–June, 1984. Budapest

Többsávos digitális műholdképek számítógépes clusterezése

GULYÁS OTTÓ, *Központi Meteorológiai Intézet, H-1525 Budapest, Pf. 38.* KETSKEMÉTY LÁSZLÓ *és* KORÁNDI MÁRTA, *Központi Előrejelző Intézet, H-1675 Budapest, Pf. 32.*

Computerized clustering of multispectral digital satellite pictures. The multispectral digital satellite pictures form an immense, big mass of data. One of the most important steps of processing is clustering, when homogeneous pixels of the same type are classified into one group (cluster). Thereby the structure, the main point of the pictures can be emphasised. This operation is the preparatory phase of computerized recognition of the pixels. In the paper the principle of clustering algorithm based on the gradient method is described, which was worked out by the authors. The algorithm was realized by a computer program and the authors give an account on the experiences gained by running the programpackets. The paper presents some examples of LANDSAT satellite pictures processed for agricultural purposes in Marcal basin and in the vicinity of Lake Fertő.

⁂

Többsávos digitális műholdképek számítógépes clusterezése. A többsávos digitális műholdkép hatalmas tömegű, nehezen áttekinthető adathalmaz. A feldolgozás folyamatának egyik fontos láncszeme a clusterezés, melynek során az azonos jellegű egynemű képpontok közös csoportba (clusterbe) kerülnek és ezáltal lehet a felvétel képi struktúráját, lényegét megragadni. Ez a művelet a képpontok számítógépes felismerésének előkészítő fázisa. A dolgozat a szerzők által kidolgozott, gradiens operátoros clusterező algoritmus működési elvét, és az algoritmust megvalósító számítógépes programcsomag futtatásai során szerzett tapasztalatokat ismerteti. A bemutatott példák a LANDSAT műholdképek Marcal medence és a Fertő tó környéki területeinek agrometeorológiai célú feldolgozásával foglalkoznak.

⁂

1. A többsávos digitalizált műholdképek feldolgozása

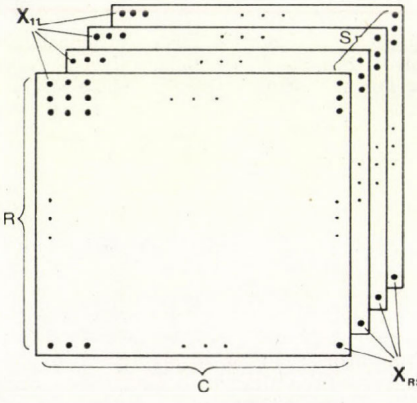
A többsávos digitalizált műholdkép (MSDI) adott területen a Föld felszínére illetve a felhőzetre vonatkozó olyan korszerű, olcsó univerzális adathordozó, amely a vizsgált terület elemeiből különböző frekvenciatartományokban a műholdra érkező elektromágneses sugárzást (EMS) kvantitative jellemzi.

Az MSDI modern információforrás, melynek rendszeres felhasználásához csak a legutóbbi évtizedekben teremtődtek meg a szükséges feltételek. Előállításához bonyolult, és speciális eszközökre van szükség, így a költsége abszolút értelemben nagy. Felhasználása relatíve mégis roppant olcsó, hiszen a vizsgált területet jól jellemző, ilyen volumenü, gyorsaságú és pontosságú adattömeghez csak irreálisan sűrű földi megfigyeléshálózat segítségével lehetne hozzájutni.

Az MSDI univerzális információforrás, hiszen minden olyan termelési ágazat és tudományág felhasználhatja, amelynek célja a Föld felszínének és lég-

körének vizsgálata, illetve a földfelszíni erőforrások (energiahordozók, nyersanyagok, növényállományok, stb.) kutatása. Az egyik legrégibb és legtipikusabb felhasználó a meteorológia, hiszen a nagy magasságból távérzékeléssel nyert adatok segítségével bizonyos meteorológiai elemek (felhő, szél, hőmérséklet, stb.) térbeli és időbeli változásának elemzése válik lehetővé. Az agrometeorológiai kutatásokban az MSDI alkalmas segédeszköz a különböző mezőgazdasági kultúrák fejlettségi állapotának vizsgálatára, illetve a várható terméshozam megbecsülésére.

Az MSDI óriási adatmennyiséget jelent, melynek hatékony feldolgozásához speciális célorientált, számítógépekkel vezérelt berendezésre illetve ilyen eszközökből összekapcsolt hálózatokra — képfeldolgozó rendszerekre — van szükség.



1. ábra: Az MSDI szemléltetése

A műholdról nagysebességgel kisugárzott felvételt egy számítógéprendszerrel közvetlenül (on-line) összekapcsolt vevőrendszer kezeli le, és helyezi el egy nagyteljesítményű adattároló egységen. A rendszer számítógépe speciális perifériákkal van összekötve, melyek lehetővé teszik a felvételek, illetve a képelemek közötti gyors műveletvégzést, valamint elősegítik a felvételek gyors archiválását, újrahívását és megjelenítését.

A számítógép rendszersoftware-én kívül, speciális képmanipulációs programok alkotják a képfeldolgozó rendszer software erőforrásait. A *segédprogramok* az adatmozgatást, kicsinyítést, nagyítást, kivágatok készítését, sávok leválasztását végzik, végrehajtják azokat az adatkonverziókat amelyekkel a különféle műholdképeket egységes formára lehet hozni, és ide tartoznak a felvételek képernyőn való megjelenítéséhez szükséges programok is. Az *előfeldolgozást végző programok* a nyers primer felvétel adatait a későbbi fázisok számára alkalmasabbá alakítják (ide tartozik a mérés, a közvetítés, és a vétel során képződött zajok eltávolítása, a műhold helyzetéből adódó geometriai — és a légkör befolyásolásából fakadó torzulások kiküszöbölése és az adatmennyiség csökkentése). A harmadik csoportba azoknak a *képfeldolgozó algoritmusok*nak, módszereknek számítógépes realizációi tartoznak, amelyek segítségével a műholdkép által eredetileg hordozott (pl. a földfelszín reflexiós képességét leíró) információ átalakítható más, a földfelszínre, illetve a légkörre jellemző, célul kitűzött információvá. Az e típusba sorolható feladatok megoldásának általános matematikai módszere a matematikai statisztika.

A képfeldolgozó algoritmusokról részletes áttekintést *Hall* (1979), valamint *Gonzales* és *Wintz* (1977) könyveiben kaphatunk.

Az MSDI a számítógépes rendszer bemeneti (input) adata, ami tulajdonképpen mátrix formában rendezett, egész koordináta értékű vektorok (képpontok, pixelek) halmaza; ezt szemlélteti az *1. ábra*.

Az MSDI a következőkkel jellemezhető:

1. A műhold alatti földfelszíni felületelemnek a mérete (ΔF).
2. Az a K szám, ami az egyes spektrumokban beérkező sugárzás maximális intenzitását jellemzi (általában $K = 255$).
3. A sorok (R), és az oszlopok (C) száma adja meg a kép méretét.

(ΔF, K, R, C) együttesen fejezik ki a vizsgált kép felbontását.

4. A felvétel sávjainak a száma (S).
5. A megfigyelést végző műhold pályájának adatai.

Különböző típusú űrfelvételek leírása található például a Magyarország az űrből c. (1981) kiadványban.

2. Az MSDI képpontjainak clusterezési feladata és sajátosságai

Az alakfelismerés témakörébe tartoznak azok az algoritmusok, amelyek bizonyos a priori ismeretek alapján az MSDI képpontjait valamilyen földi objektummal azonosítják, azaz a képpontokat felismerik, osztályozzák. Ilyen módon tudjuk a képpontokhoz hozzárendelni a felszíndarab típusát, fizikai jellemzőit (pl. búza, víz, felhő, stb.). Az alakfelismerő algoritmusokat attól függően választjuk meg, hogy a képpontok kategorizálásához milyen információk állnak rendelkezésünkre.

Ha a vizsgált földfelszíni objektumok képpontjainak eloszlására olyan globális a priori információk, mint az osztályok feltételes sűrűségfüggvényei adottak, úgy az osztályozást *statisztikai döntési módszerekkel* (pl. *Bayes*-döntés) lehet végrehajtani.

Ha kiindulásként csak a képpontok egy részének hovatartozását ismerjük – azaz adott egy tananyag – akkor *tanuló algoritmusok* segítségével lehet a kategorizálást elvégezni.

Amennyiben semmilyen segédinformáció nem áll rendelkezésünkre, s az osztályok kialakításánál kizárólag a képpontok egymáshoz képesti elhelyezkedését és eloszlását, azaz a kép belső adatstruktúráját vehetjük figyelembe, a *clusteranalízis* módszereit alkalmazzuk.

A statisztikus alakfelismerés módszereinek összefoglaló tárgyalása megtalálható például *Fukunaga* (1972) könyvében.

A képpontok clusterezésével lehet a felvétel képi tartalmának lényegét megragadni. Az MSDI képpontjainak száma általában több millió; a képelemek lehetséges értékeinek száma (a képtér számossága) még ennél is több, milliárdos nagyságrendű. (pl. egy LANDSAT felvételen a képpontok száma kb. 13 millió, a képpontok lehetséges értékeinek a száma pedig elvileg $256^4 \approx 4$ milliárd.) Ezt az óriási, áttekinthetetlen adattömeget rendszerezzük olymódon, hogy az eredeti kép méreteivel megegyező olyan egysávos digitális képet szerkesztünk meg, amin a képpontok értékei tizes nagyságrendűek, ugyanakkor ez a kép lényegében az eredetivel megegyező vizuális információt hordoz.

A clusterezési feladat a képpontok felismerési folyamatának segédművelete. Segítségével a jellegzetes alakú, ismert kategóriájú objektumcsoportok (pl. egy tó vagy búzatábla képpontjai) azonosíthatóak lesznek a felvételen, s így

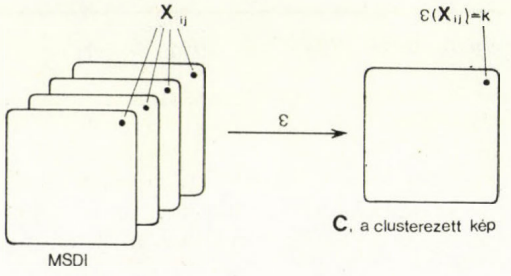
azokból az osztályozást végző tanuló algoritmusokhoz tananyag szerkeszthető.

Végül a clusterezés eredményét felhasználhatjuk annak ellenőrzésére is, hogy a felismerendő osztályok mennyire különülnek el egymástól a képen; mennyire reális az adott anyagon az osztályozás végrehajtása.

Jelölje $X=\{x_{ij}\}_{i=1,\,j=1}^{R,\,C}$ az MSDI összes képpontjainak halmazát. Clusterezési feladaton az X halmaz olyan

$$X=\bigcup_{i=1}^{M} Ci\,,\quad Ci\cap Cj=\varnothing\quad (i\neq j) \tag{1}$$

felbontását, particionálását értjük, ahol az egy csoportba tartozó képpontok valamilyen hasonlósági mérték szerint hasonlítanak egymásra (egynemű földfelszíni objektumnak felelnek meg), míg a különböző csoportba soroltak lényegesen különböznek egymástól.



2. ábra: A clusterezést leíró ε leképezés megadása

Az (1) szerinti particionálás megadásával egyenértékű egy

$$\varepsilon: X\to\Omega=\{1,\ 2,\ 3,\ \ldots,\ M\}$$

leképezés definiálása, úgy, hogy

$$\mathbf{x}\varepsilon C_i \text{ akkor és csak akkor, ha } \varepsilon(\mathbf{x})=i$$

Az MSDI képpontjainak clusterezését ennek a leképezésnek a megkonstruálásával oldjuk meg. Az eredeti felvétel méreteivel megegyező rendű $\mathbf{C}=(\varepsilon(\mathbf{x}_{ij}))$ mátrixot – melynek elemei az 1, 2, ..., M számok közül kerülnek ki – *clusterezett képnek* nevezzük. Ezt a folyamatot szemlélteti a *2. ábra*. A mátrix megfelelő eszközön (pl. színes raszter-display vagy nyomtató) láthatóvá tehető, ha az 1, 2, ..., M számoknak különböző színeket, vagy színárnyalatokat feleltetünk meg.

Az MSDI képpontjainak clusterezési problémája az alább felsorolt specifikumokkal rendelkezik. Ezek egyrészt a megválasztandó algoritmussal szemben bizonyos elvárásokat támasztanak, másrészt lehetőséget nyújtanak arra, hogy a clusteranalízisben általánosan alkalmazott módszertani fogások mellett, csak a tárgyalt esetre érvényes technikai megoldásokat alkalmazhassunk.

i) A műholdképen valódi osztályok léteznek, azaz a képpontok egyértelműen definiálható osztályokba (pl. víz, búza, szántóföld, felhő, stb.) sorolhatók. Ez a sajátosság elkülöníti a clusterezési problémát azoktól a feladatoktól, ahol valódi osztályok létezéséről semmit sem tudunk. Az MSDI képpontjainak clusterezési problémájánál egyben elvárás is az, hogy a kialakítandó clusterek essenek egybe ezekkel a valódi osztályokkal.

ii) A képen felismerhető valódi osztályok száma, így a kialakítandó clusterek száma is viszonylag nagy, tizes nagyságrendű.

iii) Az algoritmusnak gyorsan kell csoportosítania. A clusterezés az MSDI kiértékelésének egy köztes fázisa, aminek eredményét további feldolgozási lépésekben jól fel lehet majd használni. A feldolgozás jellegéből, s abból, hogy bizonyos kinyerhető információk elveszthetik aktualitásukat, adódik az algoritmus sebességére a fenti kikötés.

iv) A csoportosítandó képelemek (pixelek) száma, és a pixelek lehetséges értékei által kifeszített képtér számossága óriási. Ez a specifikum megkülönbözteti a műholdkép clusterezésének feladatát a clusterezési feladatok többségétől, amelyeknél az alaphalmaz számossága nagyságrendekkel kisebb.

v) A csoportosítandó elemek vektorok, a felvétel típusától függően lehetnek pl. 2, 4, 5, 8 dimenziósak.

vi) A képpontok a felvételen sajátos összefüggő alakzatokat, foltokat képeznek. Az is igaz, hogy az egy foltba tartozó pixelek azonos osztályhoz kapcsolódnak. (Pl. egy tó, vagy egy nagykiterjedésű búzatábla pixelei ilyen foltokba tömörülnek.)

vii) A foltokat éles átmenetek, élek határolják. Az egy folthoz tartozó képpontokat éppen annak alapján lehet összegyűjteni, hogy őket ugyanaz az önmagát át nem metsző folytonos él határolja.

viii) Az egynemű, azonos osztályhoz tartozó képpontok a képtérben „közel" vannak egymáshoz. Ez a tulajdonság abból adódik, hogy az egynemű földfelszíni felületdarabok azonos fizikai jellemzőkkel rendelkeznek, így a rájuk beérkező EMS-re minden spektrumban közel ugyanúgy reflektálnak.

3. A kidolgozott algoritmus működési elve

Az alkalmazott clusteranalízis módszerben igyekeztünk az előző pontban felsorolt megkötéseket figyelembe venni és az adottságokat kihasználni. Az algoritmus működési elve röviden a következő:

i) Előcsoportosítás. A képen lévő foltokat meghatározzuk, lokalizáljuk és kölcsönösen egyértelműen azonosítjuk egy sorszámmal (címkével). Az egy folthoz tartozó képpontokat egyneműnek tekintjük, s valamennyit a folt átlagvektorával helyettesítjük.

ii) Az egynemű foltok összevonása. A folt átlagvektorok halmazát egy közismert módszerrel (MacQueen-algoritmus) clusterezzük. Végül az egy folthoz tartozó valamennyi képpontot abba a clusterbe csoportosítjuk, amelyikbe a folt átlagvektorát soroltuk. Ezzel a megoldással az eredeti clusterezési probléma számosságát nagyságrendekkel lecsökkentjük. A módszer alapötlete *Bryant* (1978) cikkéből származik. Az előcsoportosítási részt megvalósító algoritmus A/2 pontja technikailag eltér az említettől, amennyiben a memóriakihasználás sokkal gazdaságosabb. A foltok összevonására cikkünkben bemutatott módszer (*B.* pont), Bryant módszerénél gyorsabb és egyszerűbb.

A) *Előcsoportosítás*

A képpontok előzetes csoportosításának lépései a következők:

A/1. *A felvétel minden egyes pixeléről eldöntjük, hogy élhez tartozik vagy sem.* Ezt a minősítést a képponthoz rendelt Roberts gradiensérték nagysága

alapján végezzük el. Ez a mennyiség akkor nagy, ha a képpont a közvetlen környezetétől jelentősen különbözik, tehát ha a pixel közelében „éles az átmenet". A Roberts gradiensérték értelmezése a következő: az x_{ij} pont Roberts gradiensértéke

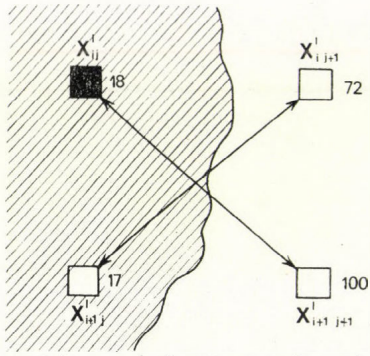
$$RG(x_{ij}) = \sum_{l=1}^{S} [RG(x^l_{ij})]^2,$$

ahol

$$RG(x^l_{ij}) = \max \{ | x^l_{ij} - x^l_{i+1,\,j+1} | , | x^l_{i,\,j+1} - x^l_{i+1,\,j} | \}$$

az l-ik sáv gradiense. A *3. ábrán* az (i, j) koordinátájú képpont *Roberts* gradiensértékének képzését mutatjuk be az l-ik sávban.

Azzal, hogy minden olyan képponthoz elkészítjük a *Roberts* gradiens értéket, amelyikhez egyáltalán értelmezhető, az eredeti kép méreteinél eggyel



$RG(X^l_{ij}) = \max\{|X^l_{ij} - X^l_{i+j\ j+1}|, |X^l_{i+1\ j} - X^l_{ij+1}|\} =$
$= \max\{82, 55\} = 82$

3. ábra: Az (i, j) koordinátájú képpont Roberts-gradiensértékének képzése az l-ik sávban

kisebb méretű mátrixhoz, a „derivált kép"-hez jutunk. (A derivált kép egy olyan egysávos kép, ahol a szürkeségi szintek a *0* és $S \cdot K_2$ közé esnek.) Az élek detektálásához szükséges vágási küszöböt a derivált kép eloszlása és egy kívülről beállítandó paraméter segítségével határozzuk meg. A paraméter a képen szereplő élpontok százalékos előfordulását adja meg. Ez az érték nagy $(50-60\%)$, ha a képen nagyon sok apró folt van, de kicsi $(20-30\%)$, ha csak néhány összefüggő, nagyméretű folt található a képen. Erre a paraméterre nem túl érzékeny a módszer, de alkalmas megválasztása javíthatja az eredményt.

Jelölje p a paramétert, $\mathbf{GH} = (GH_0, GH_1, \ldots, GH_{S \cdot K^2})$ a gradienskép gyakorisági vektorát, azaz GH_i az i gradiensérték előfordulása a derivált képen.

Az L elvágási küszöb definíciója:

$$\frac{1}{N} \sum_{l=0}^{L} GH_l \leq p \leq \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{L+1} GH_l,$$

ahol N a derivált kép elemeinek száma, vagyis $N = (R-1).(C-1)$.

Ezután elvégezzük a kép pixeleinek minősítését:

x_{ij} *határpont*, (élhez tartozik), ha $RG(x_{ij}) > L$,

x_{ij} *tisztapont*, (egy folt belső pontja), ha $RG(x_{ij}) \leq L$.

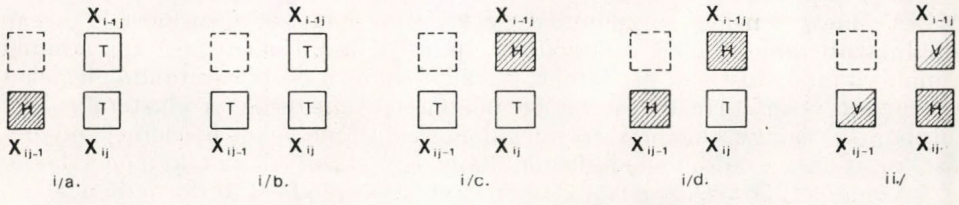
A/2. *Az egymással érintkező tisztapontok csoportosulásainak, a foltoknak az azonosítása, a foltra egyértelműen jellemző sorszámmal.* A foltok identifikálásánál kihasználjuk, hogy azok a sík összefüggő tartományai. Az algoritmus megértéséhez néhány fogalmat kell bevezetni:

Ha x_{ij} és x_{kl} képpontok tisztapontok és $(i-k)+(j-l)=1$, akkor azt mondjuk, hogy a két pixel *közvetlenül érintkezik.*

Ha az x_{ij} és x_{kl} tisztapontokhoz vannak olyan x_{m_1, n_1}, x_{m_2, n_2}, ... x_{m_v, n_v} tisztapontok, hogy

$$x_{ij} \text{ és } x_{m_1, n_1} \text{ ill. } x_{m_1, n_1} \text{ és } x_{m_2, n_2}, \ldots, \text{ ill. } x_{m_v, n_v} \text{ és } x_{kl}$$

közvetlenül érintkeznek, akkor az x_{ij} és x_{kl} pixelek *érintkeznek.* (A fenti értelmezések azt biztosítják, hogy az egymással érintkező tisztapontok halmaza – a folt – összefüggő tartományt alkosson.)



4. ábra: A lehetséges kapcsolatok az x_{ij} pixel azonosító számának meghatározásakor T = tisztapont, H = határpont, $V = T$ vagy H

A foltok azonosítása az algoritmus legbonyolultabb része. Először a legelső sor elemeit vesszük sorra, s az egymással érintkező tisztapontokat közös sorszámmal látjuk el. Minden további sor elemeinek azonosításánál a következőképpen járunk el:

i) Ha a x_{ij} képpont tisztapont, és

a) $x_{i-1,j}$ tisztapont, de $x_{i,j-1}$ határpont, úgy x_{ij} és $x_{i-1,j}$ azonosító számát kapja;

b) x_{i-1j} és x_{ij-1} is tisztapont, úgy x_{ij} a két azonosító szám közül a kisebbiket veszi fel, továbbá, ha ezek a számok különbözőek, a számpárt feljegyezzük egy REL listába. (Ezek az azonosítók „közvetlen relációban vannak egymással".)

c) x_{i-1j} határpont és x_{ij-1} tisztapont, úgy x_{ij} az x_{ij-1} azonosítószámát kapja;

d) x_{i-1j} és x_{ij-1} is határpont, úgy x_{ij} egy új, az eddig felhasznált azonosító számnál eggyel nagyobb azonosítót kap.

ii) Ha x_{ij} határpont, úgy x_{ij+1}-t vesszük sorra.

Az x_{ij} azonosító számának meghatározásakor szóbajöhető kapcsolatokat a *4. ábra* szemlélteti.

Amennyiben valamennyi képpontot ily módon feldolgoztunk, a REL lista kiértékelése következik. Az x és y azonosító számok (címke) *közvetlen relációban vannak egymással*, ha $(x, y) \in$ REL. Ha csak az igaz, hogy x, y-hoz léteznek olyan u_1 u_2, ..., u_k azonosító számok, hogy x, u_1-el, u_1, u_2-vel, ... u_{k-1}, u_k-val, u_k, y-nal van közvetlen relációban, akkor x és y *közvetett relációban vannak egymással.*

Az egymással közvetlen vagy közvetett relációban lévő azonosító számokat a közülük legkisebbel helyettesítjük. Matematikailag ezt úgy lehet kifejezni, hogy a REL lista valamelyik elempárjában szereplő z azonosító számot azzal a z_{min}-nel jelölt számmal cseréljük fel, amelynek a definíciója:

$$z_{min} = \min \{x/x, z \text{ közvetett vagy közvetlen relációban van egymással}\}$$

Ezután a végső foltazonosító számot úgy kapjuk, hogy z_{min}-t az összes címke nagyság szerint növekvő sorozatában elfoglalt sorszámával helyettesítjük. Így, ha a képen F db folt van, akkor az azonosításukhoz éppen a 1, 2, 3, ..., F számokat használjuk fel. (Az algoritmusban, a hatékonyság növelésének érdekében az egyetlen pontot tartalmazó „foltokat" megszüntetjük; továbbá menet közben törekszünk a felvetődő relációk számának a csökkentésére is.)

Az ismertetett technikával tetszőleges nagyságú és alakú (akár konkáv) folt kijelölését úgy tudjuk elvégezni, hogy a számítógép memóriájában a feldolgozandó képnek csak két sora tartózkodik egyszerre.

A/3. *Az egy folthoz tartozó tisztapontok átlagvektorait (foltátlag) és darabszámait (foltméret) kiszámoljuk.*

B) *Foltok összevonása MacQueen algoritmussal:*

A MacQueen-féle súlypont (vagy k-mean) módszer közismert, gyakran alkalmazott dinamikus clusteranalízis eljárás. Kiindulásként meg kell adnunk a kialakítandó clusterek M számát. Az algoritmus a csoportosítandó elemeket egyenként veszi sorra és sorolja be valamelyik clusterbe. A clustereket egy súlyponttal és egy clusterfaktorral jellemezzük, amelyeket új elemek besorolásakor iterative addig módosítunk, amíg egy stabil állapot ki nem alakul.

Az eredeti *MacQueen* (1967) módszert kissé módosított formában alkalmazzuk a foltátlagok halmazára. Ennek a fázisnak a fő lépései a következők:

B/1. *A kezdeti* $\mathbf{S}_i$ *clustersúlypontok és* T_i *clusterfaktorok beállítása* oly módon, hogy a súlypontok viszonylag messze legyenek egymástól:

$$\mathbf{S}_1 = \mathbf{f}_{k_1},\ \mathbf{S}_2 = \mathbf{f}_{,k_2}\ \ldots,\ \mathbf{S}_M = \mathbf{f}_{k_M},$$
$$T_1 = N_{k_1},\ T_2 = N_{,k_2}\ T_M \ldots = N_{k_M},$$

ahol $\mathbf{f}_{k,i=1,2,\ldots,M}$ egymástól egy automatikusan meghatározott D korlátnál messzebb lévő foltátlagok:

$$d(\mathbf{f}_{k_i},\ \mathbf{f}_{k_j}) \geq D \qquad (k_i \neq k_j)$$

(Itt d a képtéren értelmezett Euklideszi metrika) $N\mathrm{k}_i$ jelöli a k_i folt méretét. Ez a beállítás egyben azt is jelenti, hogy a k_i foltot az i-ik clusterbe soroltuk.)

B/2. *Az összes többi foltátlagot* ahhoz a clusterhez *csoportosítjuk*, amelyiknek súlypontjához legközelebb van d szerint:

Az $\mathbf{f}_i$ foltátlagot a k-ik clusterbe soroljuk, ha

$$d(\mathbf{f}_i,\ \mathbf{S}_k) = \min_{1 \leq l \leq M} d(\mathbf{f}_i,\ \mathbf{S}_l)$$

Ilyenkor módosítjuk a k-ik cluster súlypontját és faktorát:

$$\mathbf{S}_k = \frac{T_k \mathbf{S}_k + \mathbf{N}_i \mathbf{f}_i}{T_k + N_i}$$

B/3. *A foltátlagokat újracsoportosítjuk.* Minden egyes foltátlagot összehasonlítjuk az előző besoroláskor kialakult clustersúlypontokkal:

i) Ha $\mathbf{f}_i$ az $\mathbf{S}_k$ clustersúlyponthoz van legközelebb, és $\mathbf{f}_i$-t előzőleg is már a k-ik clusterbe soroltuk, egyik clustersúlypontot és clusterfaktort sem módosítjuk.

ii) Ha $\mathbf{f}_i$ az $\mathbf{S}_i$ clustersúlyponthoz van most legközelebb, habár $\mathbf{f}_i$-t előzőleg az $l \neq k$ clusterhez soroltuk, úgy mind a k mind az l clusterek súlypontjait és faktorait módosítjuk:

$$\mathbf{S}_k := \frac{T_k . \mathbf{S}_k + N_i . \mathbf{f}_i}{T_k + N_i}, \quad T_k := T_k + N_i,$$

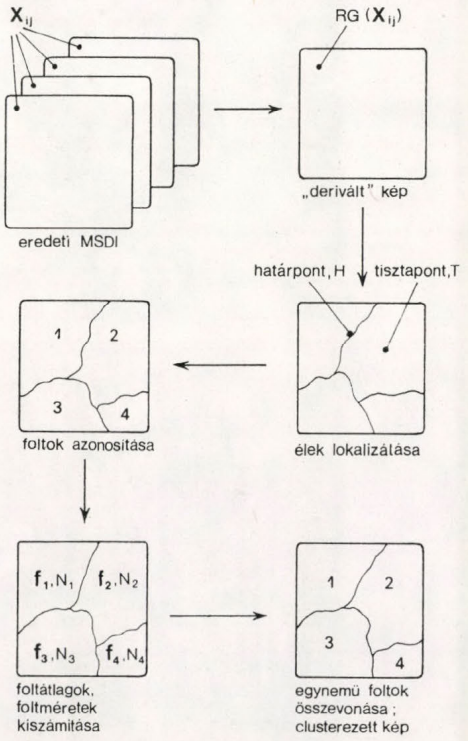
$$\mathbf{S}_1 := \frac{T_1.\mathbf{S}_1 - N_i.\mathbf{f}_i}{T_1 - N_1}, \quad T_1 := T_1 - N_i,$$

továbbá

$$MOD := MOD + 1,$$

ahol *MOD* az újracsoportosítások száma. (B/3 indulásakor $MOD = 0$.)

B/4. *Az újracsoportosítás megállítási szabálya:* amennyiben $MOD \leq F/100$, azaz az összes foltnak az 1%-nál kevesebb részét kellett csak az utolsó lépésben átsorolni, illetve, ha már legalább 10-szer újracsoportosítottuk a foltátlagokat, B/5-re térünk, különben visszaugrunk B/3-ra.



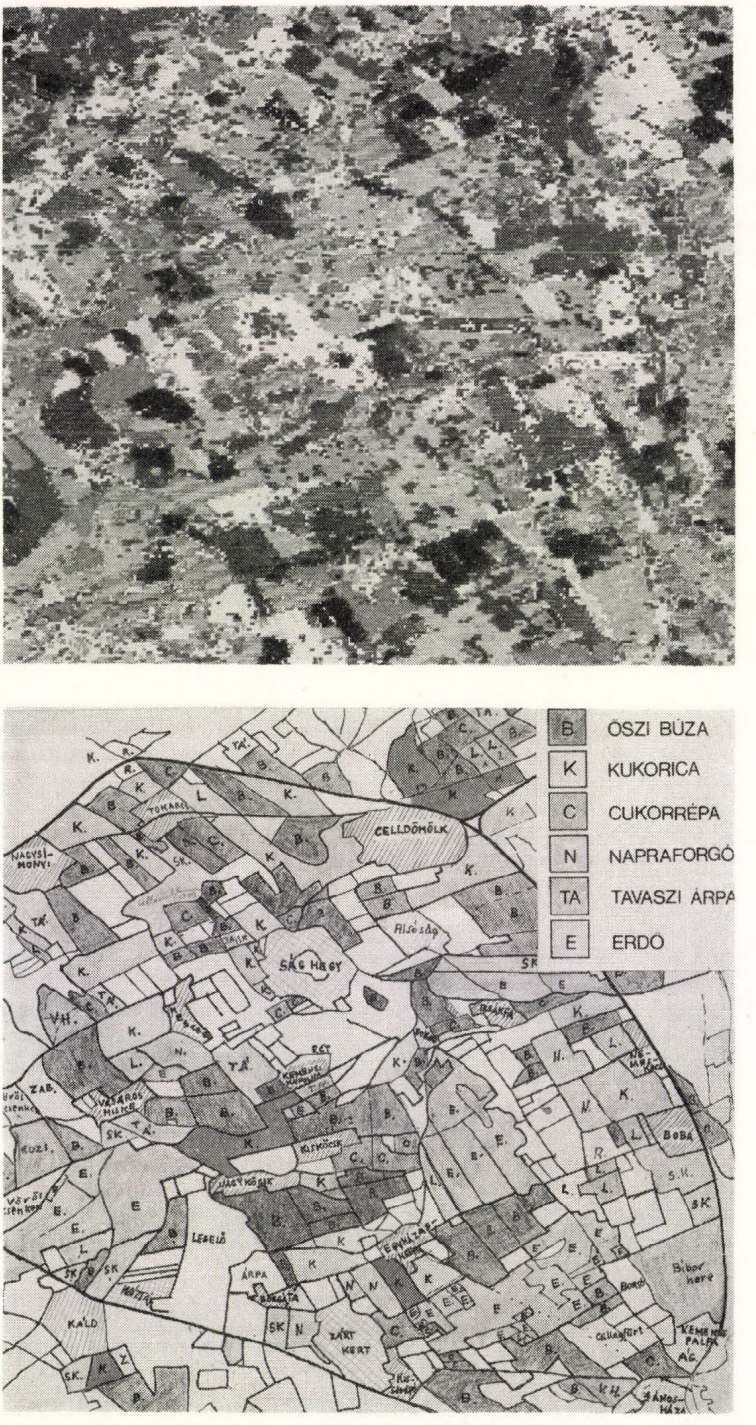
5. ábra: A clusterező algoritmus lépései

B/5. Most *a határpontokat* vesszük *sorra egyenként*, és mindegyiket a hozzá legközelebbi súlypontú *clusterbe soroljuk*, amennyiben ez a távolság nem túlságosan nagy:

A z határpont a k-ik clusterbe kerül, ha

$$d(\mathbf{z}, \mathbf{S}_k) = \min_{1 \leq i \leq M} d(\mathbf{z}, \mathbf{S}_i) \quad \text{és} \quad d(\mathbf{z}, \mathbf{S}_k) \leq D_2$$

Ezzel az MSDI pixeleinek clusterezési problémáját befejeztük. A tisztapontok abba a clusterbe kerültek, amelyikbe az őket tartalmazó folt átlagvektorát soroltuk. A határpontok besorolási szabályát B/5 tartalmazza. Azokat a határpontokat, amelyeket egyik clusterbe sem csoportosítottuk, az $M+1$ azonosítószámmal jelöltük meg. Az algoritmus főbb logikai lépéseit az *5. ábrán* szemléltetjük.



6. ábra : A Marcal-medence felett 1981. május 8-án készült, LANDSAT-felvétel clusterezett képe (felül), és a területhez tartozó földhasznosítási térkép (alul)

4. A módszer tesztelése és értékelése

Az algoritmust különböző típusú műholdképeken (LANDSAT, METEOR, GOES) teszteltük. A clusterezés pontosságának, hatékonyságának ellenőrzésére a megfigyelt területhez tartozó térképeket, és expedícióval gyűjtött referenciaadatokat használtunk fel. Általánosságban az állapítható meg, hogy azok a valódi osztályok, amelyek a felvételeken kb. 50 – 100 képpontból álló foltot alkotnak, jól csoportosulnak; azaz ezeknek az osztályoknak viszonylag pontosan meg lehet feleltetni egy clustert. Például az 1 km felbontású METEOR képen a mezőgazdasági termőterületek nem azonosíthatók a clusterezett képen, viszont a nagykiterjedésű felhők és tavak jól elkülönülő clusterekbe kerültek. A LANDSAT felvételeken viszont (80 m-es felbontás) a különböző kultúrájú táblák már a valóságnak megfelelően tömörültek clusterekbe. A *6. ábrán* a Marcal medence fölött 1981. május 8-án készült és clusterezett LANDSAT felvételt, valamint a hozzátartozó földhasznosítási térképet mutatjuk be.

Az algoritmus pontosságának ellenőrzése céljából az ábrán bemutatott felvételhez statisztikákat használtunk. Az expedíciós adatok és a földhasznosítási térkép segítségével azonosított kategóriájú táblákon téglalapokat jelöltünk ki, majd megszámoltuk, hogy a kiválasztott képpontok közül mennyi esett a különböző clusterekbe.

Tegyük fel, hogy egy táblából (pl. búza) leválasztottunk egy $n_1 \times n_2$-es téglalapot ($n = n_1 \times n_2$). Jelöljük k_i-vel a téglalap pixelei közül az i-ik clusterbe sorolt képpontok számát ($i = 1, 2, \ldots, M$; $0 \leq k_i \leq n$). A téglalapokhoz az alábbi statisztikákat számoltuk:

homogenitás: $h = k_{max}/n$, ahol $k_{max} = \max\limits_{1<i<M} k_i$

bizonytalanság: $E = \sum\limits_{i=1}^{M} p_i \cdot \log p_i$, ahol $p_i = k_i/n$, (entrópia)

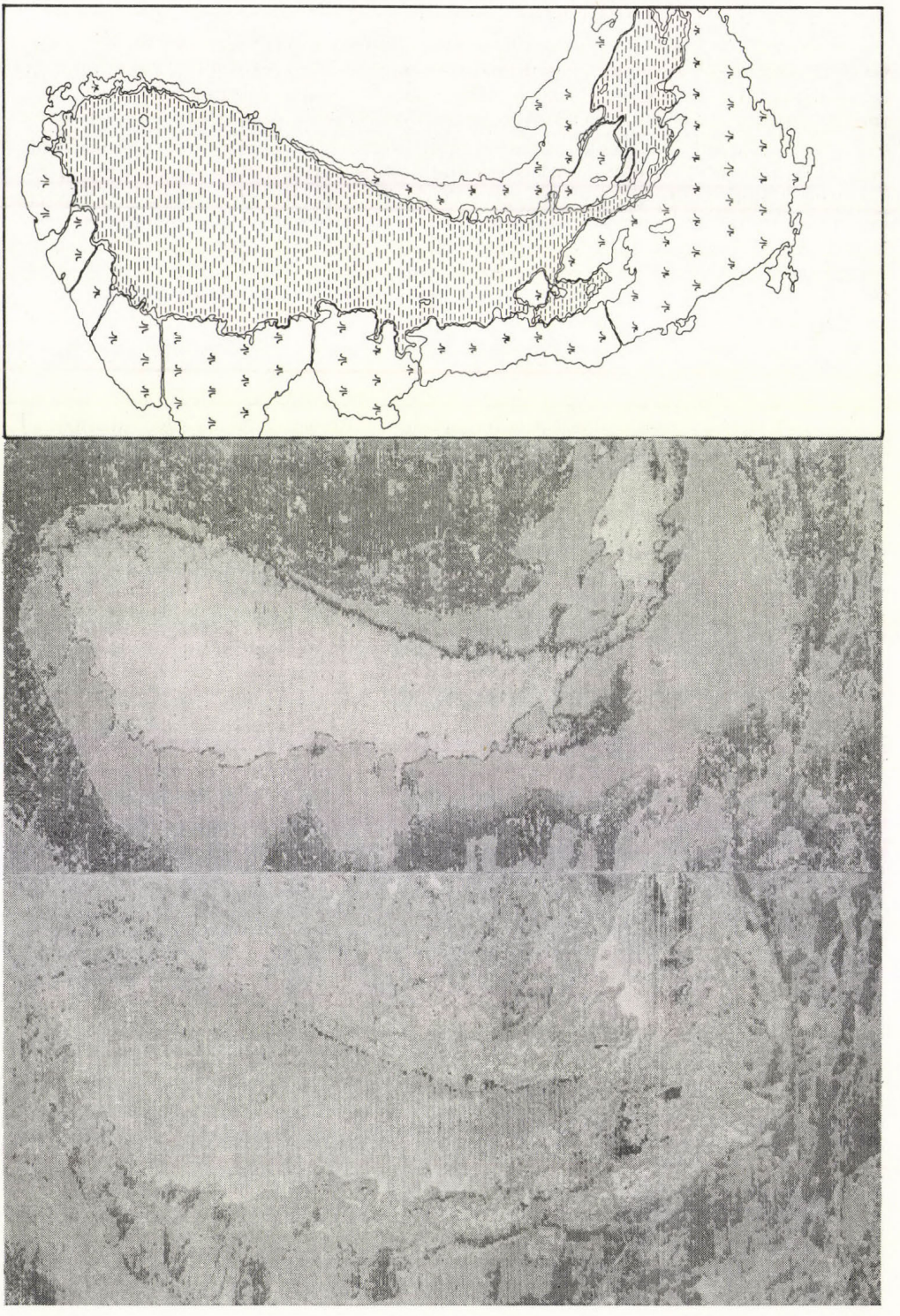
Nyilván a tömörítés akkor tökéletes, ha $h = 1$ és $E = 0$.

Tíz osztályhoz számoltuk ezeket a jellemszámokat. Az egyes téglalapok esetén jó értékeket kaptunk, ami azt jelenti, hogy a homogén foltokat eredményesen lokalizáltuk. Az *I. táblázat*ban bemutatott összesítésen viszont látható, hogy ugyanahhoz a kultúrákhoz tartozó képpontok nem feltétlenül kerültek egy clusterbe. Ez az eredmény azért nem meglepő, mert az azonos kultúrájú növényállományok érettségi fokuk és fajtájuk alapján a legkülönfélébbek lehetnek. (Éppen ez a tény teszi lehetővé fejlettségi állapotuk megállapítását a műholdfelvétel segítségével!)

I. TÁBLÁZAT

A clusterek megoszlása különböző osztályokon

Osztály	Cluster										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Kukorica	158	68	0	10	27	0	14	29	46	13	0
2. Silókukorica	37	39	0	9	31	0	10	12	8	25	0
3. Cukorrépa	0	0	34	0	0	18	1	4	0	2	0
4. Őszi búza	0	0	0	446	0	0	0	0	0	13	0
5. Tavaszi árpa	1	4	27	5	7	23	2	10	0	60	0
6. Napraforgó	0	0	57	0	0	47	2	17	0	0	0
7. Lucerna	3	0	0	0	0	0	1	32	0	47	0
8. Vöröshere	1	4	52	0	9	12	20	25	0	7	0
9. Erdő	102	7	0	43	53	0	5	38	560	74	0
10. Település	1	5	0	38	22	0	38	2	4	346	2



Az algoritmus egy speciális alkalmazását szemléltetjük a *7. ábrán.*

A kitűzött feladat az volt, hogy LANDSAT felvétel alapján határozzuk meg a Fertő tó környéki nádassal borított terület nagyságát. A baloldali képen az eredeti felvétel egyik sávjának megjelenített alakja látható. A középső kép a clusterezés eredménye, amelyen jól azonosítható a nádas terület az egyik clusterrel. Ennek a clusternek a mérete, és a LANDSAT felbontásának ($\Delta F = 57 \times 80$ m^2) ismeretében egyszerű szorzással számolhatjuk ki a kérdéses mennyiséget. Az ábra jobboldalán a clusterezett kép alapján elkészített térkép látható. Az algoritmus egyik jó tulajdonsága a megbízhatóság, stabilitás. Ennek oka az, hogy csupán kettő kívülről beállítható paraméter szabályozza, amikre az algoritmus nem túl érzékeny.

Összegezve, a vizsgálatok szerint az algoritmus alkalmas a műholdfelvételek részletesebb analizálásához szükséges pontos tananyagok kijelölésére; s éppen ez volt a clusterező program elkészítésének a célja.

5. A számítógépes megoldás hardware és software környezete

Az algoritmus számítógépes megoldását, a programot általános célú számítógépen, a Központi Statisztikai Hivatal IBM−370/155 típusú komputerén valósítottuk meg. Ez a számítógép, bár igen nagyteljesítményű berendezés, de nem képfeldolgozás céljára szerkesztették, így az algoritmus egyes technikai megoldásánál ezt figyelembe kellett venni. Például le kellett mondani az interaktivitás, a közvetlen kapcsolattartás lehetőségéről, így törekedni kellett arra, hogy minél kevesebb kívülről beolvasott paraméter szabályozza a csoportosítási műveletet. Nem állt rendelkezésünkre tömbprocesszor sem, amely a képelemek közötti gyors műveletvégzést tette volna lehetővé. Az algoritmus hatékonyságára jellemző adat, hogy egy 512×512-es négysávos képkivágat clusterezési művelete az IBM−370/155-ön kb. 40 perc CPU időt vett igénybe. Ez a költség jelentősen csökkenthető lesz a célorientált képfeldolgozó berendezés beszerzésekor. (Pl. a jelen algoritmusban az egyes műveleteket pixelenként és szürkeségi szintenként, tehát egyesével egymás után lehet megoldani. Ugyanezt egy $512 \times 512 \times 4$-es párhuzamos tömbprocesszoron 2^{20} kb. 1 millió szinttel *egyidőben* lehet végrehajtani!)

A végeredmény, a clusterezett kép megjelenítését, vizualizálását egy másik számítógépes környezetben, a Számítástechnikai Koordinációs Intézet kísérleti képfeldolgozó berendezésén végeztük. A két rendszer között az adatátvitelt off-line úton, mágnesszalagon tudtuk csak kivitelezni.

A program forrásnyelve FORTRAN-IV. Választását a feladat bonyolultsága, és könnyebb adaptálhatósága indokolta.

IRODALOM

Bryant, J., 1978: On the clustering of multidimensional pictoral data. *Pattern Recognition 11*e, 115−125.

Fukunaga, K., 1972: *Introduction to statistical pattern recognition.* Academic Press. New York and London.

Gonzales, R. and *Wintz, P.*, 1977: *Digital image processing.* Addison − Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.

Hall, E., 1979: *Computer processing and recognition.* Academic Press, New York.

MacQueen, J., 1967: Some methods for classification and analysis of multivariate observations *Proc. Berkeley Symp.on probability and statistics 5th* 281−297.

Magyarország az űrből, 1981: Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 11−14.

7. ábra: A Fertő tó térsége részletének hamis, dekompozit képe (bal oldalt), clusterezett kép, ← (középen) és a clusterezett kép alapján készített térkép (jobb oldalt) (az 1981. május 8-LANDSAT felvétel felhasználásával)

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 3. szám, 1984. május–június
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 3. May–June, 1984. Budapest

A meteorológiai kutatás általános kérdései

BÉLL BÉLA, *Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest H-1525. Pf. 38.*

A XX. században felgyorsult tudományos és technikai forradalom egyik eredményeként kibontakozott a *tudomány* nagy társadalmi és gazdasági jelentősége. A tudomány korunkban valóban „termelő erővé" vált. Ennek megfelelően a társadalom szilárdabb anyagi bázist, nagyobb fejlődési lehetőséget kínál és biztosít a tudomány számára. A *tudományos kutatás* struktúrája is szükségképpen átalakult. A kutatók kiléptek a hagyományos „elefántcsont-toronyból" s előtérbe lépett a hosszabb-rövidebbtávú gazdasági tervekhez alkalmazkodó, konkrét célokra irányuló kollektív, interdiszciplináris kutatás. Korunk tudományos kutatásainak jellemző vonásai tehát: *a tervszerűség, a kollektivitás és az interdiszciplináris jelleg.*

Az eredmények értékelési rendszerében új szempont: a „gazdasági hatékonyság" kapott helyet legfontosabb mérőszámaival (haszon/ráfordítás, hasznosulási idő). Napirendre került a kutatási *teljesítmény* objektív elemzése, a kutatóintézetek *optimális belső struktúrája.* Új tudomány született: a *tudomány tudománya*, amely a tudományszervezés általános kérdéseivel foglalkozik.

A következőkben a hazai kutatást is érintő néhány tudományszervezési kérdéssel foglalkozunk. Nevezetesen a meteorológiai kutatás jellegzetes típusairól, értékelési rendszeréről, a kutatóvá képzésről, a kutató kollektívák és intézetek korstruktúrájáról, az utánpótlás kérdéseiről lesz szó.

A mélyreható elemzéseket mellőzve egyetérthetünk abban, hogy a természettudományokon belül a földtudományokhoz tartozó meteorológia a Föld-Légkör rendszerben a légkör fizikai folyamataival foglalkozik. Célja egyrészt a légköri folyamatok megismerése, másrészt a szerzett ismeretek gyakorlati hasznosítása.

A megismerés folyamatában *F. Hansen* általános sémája szerint 3 tényező szerepel: az ok, az okozat vagy hatás (következmény) és a két tényező közti összefüggés (reláció). A kutatás 3 típusa aszerint különböztethető meg, hogy melyik tényezőt keressük, ha a másik kettő ismert. Pl. ismert az ok és a következmény, keressük a relációt *(alapkutatás)*, de ismert lehet a reláció és az okot vagy a következményt keressük a kettő közül valamelyik ismeretében *(fejlesztési, ill. alkalmazott kutatás).*

Hansen sémáját a meteorológiai kutatásokra alkalmazva egyetérthetünk abban, hogy tudományunk alapja a Föld-Légkör rendszerben az okok és a következmények *észlelése.* A puszta adatgyűjtés, még ha ez a legfejlettebb technikával történik is, beleértve a korszerű adattárolást (adatbank), még nem kutatás. *Henri Poincare* szavaival élve: „A tények halmaza éppoly kevéssé tudomány, mint amennyire nem ház a kövek halmaza". Az észlelt okok és következmények jellemző karakterisztikái (adatai) a meteorológiai szolgálatok adatbankjaiban rendezett számhalmazok formájában jelennek meg. Felhasználásuk a szolgálatban mint célra irányított *adatszolgáltatás*, a kutatásban mint az okok és következmények közötti *kapcsolat (reláció)* felismerése a további felhasználásban *(alkalmazott kutatás)* hasznosul.

Minthogy a Föld-Légkör rendszer nyitott és csak a kozmikus hatások bekapcsolásával, *interdiszciplináris* kutatások útján válnék a Föld-Légkör-Kozmosz zárt rendszerévé, az okok és a következmények összefüggésének (relációjának) megközelítése általában a sztochasztikus kapcsolatok szintjén, a *valószínűségszámítás* interdiszciplináris bekapcsolásával lehetséges. A relációt felderítő alapkutatási eredményt a *matematika* korrekt nyelvén fejezzük ki. Szem előtt tartandó azonban, hogy a meteorológiai kutatásban a matematika alkalmazása nem öncél, hanem a kapcsolatok (relációk), ill. ezek szorosságának kifejezési formája, amelynek eleganciájára ma is érvényes *William Occam* 600 évvel ezelőtt

megfogalmazott „egyszerűségi elve", amely szerint: „ostobaság nagy munkával elvégezni (hozzátehetjük: bonyolultabb formában kifejezni) azt, amit kevesebbel (egyszerűbb módon) is el lehet érni".

Ha adott légköri okokból kiindulva a sztochasztikus kapcsolatok felhasználásával a várható következményeket, mint hatásokat keressük, eljutunk az általános meteorológiai *prognóziskutatáshoz* (időjárási, agro-, hidro-, orvosmeteorológiai stb. prognosztika). Ennek a kutatási formának a szolgálat információs csatornáin keresztül már számos gyakorlati vonatkozása s *alkalmazott* kutatási jellege van. Módszereiben a természeti törvények mellett a gazdasági, társadalmi törvények, kölcsönhatások, távlati tervek is messzemenően figyelembe veendők.

Végül adott következményekből kiindulva a sztochasztikus kapcsolatok felhasználásával a kiváltó okokat is kereshetjük. A cél többek között: következtetéseink verifikálása, sztochasztikus összefüggéseink korrigálása. Ebben az esetben az ún. *okkutatás* a módszerek és a szolgáltatások hatékonyságát fokozó *fejlesztési kutatás*nak minősíthető.

A célkitűzések alapján önként adódik az említett három (alap-, alkalmazott és fejlesztési) kutatási főtípus sajátos meteorológiai megfogalmazása, annak előrebocsátásával, hogy a tiszta típusok a valóságban ritkán különülnek el, rendszerint egymásba folynak, áthatják és megtermékenyítik egymást. Az alábbi kategorizálás jogosultsága inkább az eredmények felmérésében és értékelésében nyilvánul meg.

1.) A *meteorológiai alapkutatás* olyan tudományos tevékenység, amelynek célja a meteorológia alapvető ismeretanyagának bővítése a légkörfizika, az időjárási jelenségek és az éghajlat vonatkozásában. Hozzátehetjük az általános meghatározás szokásos zárómondatát: *nem irányul határozott gyakorlati célra.*

Az alapkutatás igényével induló tudományos tevékenység gyakran az adatok többé-kevésbé rendezett bemutatásával, ritkábban a vizsgált jelenség leírásával be is fejeződik. Gyakori, kissé mentegetőző szóhasználattal: „a kutató szerény téglával hozzájárul a tudomány palotájához". Ez a „tégla" azonban csak akkor hasznosul, ha be is épül a tudomány palotájába és nem marad az építmény mellett a fel nem használt és idővel elfeledett téglahalomban. Másrészről a jövő számára gyűjtött és rendezett észlelési anyag a meteorológiai kutatás számára felbecsülhetetlen értékű is lehet, tekintettel arra, hogy a múlt időjárási folyamatai azonos módon nem ismétlődnek és a hosszú időjárási sorok hiányzó szakaszai nem reprodukálhatók. Mindenesetre a feldolgozás nélküli „adatkonzerválás", még ha önzetlen és tiszteletreméltó szándék vezéreli is, az okok és a hatások kapcsolatának feltárása révén válik csak alapkutatássá.

Éppen azért a kutatótól *elvárható* az adatok közötti oknyomozó kapcsolatkeresés, az eredmények konkrét, tézisszerű megfogalmazása, beépítése a tudomány egészébe, széleskörű publikálása nemzetközi fórumokon, hazai hasznosítása az oktatásban, aktív részvétel a hazai tudományszervezésben és a nemzetközi szervezetekben.

Az értékelés során eldöntendő, hogy összhangban van-e a téma a meteorológiai kutatás korszerű irányaival, a nemzetközi szervezetek koordinációs törekvéseivel, a meteorológia egészét tekintve *milyen jelentőségű az alapkutatás eredménye*, milyen visszhangja támadt a nemzetközi publikálásnak (vita, referencia, hivatkozások). Ha új irányt jelöl ki a kutatásban, várható-e ennek nemzetközi kiszélesedése, végül milyen hatással van a kutatási eredmény a hazai kutatások fejlődésére.

A hazai témák közül alapkutatásnak minősíthetjük a felhőfizikai és aeroszol-kutatásokat, a légköri frontok fenomenológiai elemzését és dinamikai modellezését, a kozmikus meteorológiai kutatásokat, a klimatológiai erőforrások: a sugárzás, a csapadékeloszlás stb. vizsgálatát.

2.) Az *alkalmazott kutatások* célja a meteorológiai ismeretek gyakorlati hasznosítása a társtudományok és a gazdasági, társadalmi élet különböző területein.

Az alkalmazott kutatások részben külső kezdeményezésre, részben a várható igények felismerése alapján, saját tervekből kiindulva folytathatók, de mindig az alkalmazási terület kutatóival együttműködésben.

A határterületek kutatóját a társtudomány érdekessége könnyen arra csábítja, hogy a komplex témákat egyedül oldja meg, jóllehet az alapismeretek az idegen területen önálló kutatásra még nem elegendők. Így azután „felfedezései" csak saját szakterületén hatnak újaknak, a társtudomány pedig az óvatos publikálás miatt nem vesz róluk tudomást.

Ezért az *értékelés* során megvizsgálandó, hogy a kutatás eredménye bevezetésre került-e és ha igen, milyen sikerrel a társtudományok, ill. a gazdasági élet területén. Megbecsülendő a gazdasági haszon és ebben a meteorológiai komponens aránya. Megvizsgálandó, hogy a folyamatban lévő alkalmazott kutatások a társadalom szempontjából a legfontosabb feladatokra irányulnak-e.

Az alkalmazott kutatások *sikertelenségét* mutatják, az elfekvő be nem vezetett kuta-

tási eredmények, továbbá azok, amelyek a jövő számára készültek ugyan, de az elhúzódott kutatások miatt időszerűtlenekké váltak.

A folyamatban lévő alkalmazott kutatások témái: agrometeorológiai, hidrometeorológiai kutatások, a levegőkörnyezet kutatása, biometeorológiai, ipari és orvosmeteorológiai kutatások.

3.) A *fejlesztési kutatások* célja egyrészt annak megalapozása, hogy a meteorológiai kutatás és szolgáltatás korszerű szinten elégíthesse ki a tudományos és társadalmi igényeket, másrészt a hazai szolgálat a nemzetközi kötelezettségeket.

Ide sorolhatjuk a hazai témák közül az előrejelző szolgálatban új módszerek kidolgozását, ill. adaptálását (műhold-felvételek), az adatfeldolgozás és tájékoztatás rendszereinek (számítógépes adatbank) kidolgozását, a műszerfejlesztést, a hálózat racionális fejlesztésének, a szolgáltatás gazdasági hatékonyságának kérdéseit. Méltán nevezhetjük ezeket a kutatásokat a korszerű szolgálat tudományos bázisának.

A fejlesztési témák bevezetésében és végrehajtásában a szolgálat igényeit, teljesítőképességét messzemenően figyelembe kell venni. Mindenképpen célját téveszti az a fejlesztési kutatás, amely olyan személyi és anyagi bázissal számol, amelyre a szolgálat és a kutatás a távlatokban sem támaszthat igényt.

A fejlesztési kutatás eszközei közül az említetteken kívül figyelemreméltó az illetékes szervek *tájékoztatása* a szolgáltatások lehetőségeiről és a helyes értelemben vett tudományos *propaganda* az indokolt igények ösztönzésére.

Az elmondottakból következik, hogy a fejlesztési kutatások a kutatóbázisok és a szolgálati ágak szoros együttműködését, az operatív szakemberek részvételét kívánják mind a tervezésben, mind a végrehajtásban, mind pedig az eredmények gyakorlati bevezetésében és hasznosításában.

A fejlesztési kutatások *sikertelenségét* mutatják a szolgálatba valaminő okból be nem vezethető vagy sikertelennek minősült módszerek, az elfekvő, nem igényelt táblázatok, kihasználatlan programok, hibás elgondolással a jövő számára elkészített és az elévülés veszélyével terhelt módszerek.

Az egyes kutatási típusok közti *helyes arány* kialakításához figyelembe veendők a tudománypolitikai irányelvekben és az országos távlati tervekben lefektetett szempontok, ill. a társadalmi igények, a részarányos nemzetközi kötelezettségeink, a szolgálat, az oktatás fejlesztésének követelményei és nem utolsó sorban a kutatóbázis személyi kapacitása, az utánpótlás, a kutatóvá nevelés kötelezettsége. A helyes arány az igények és a lehetőségek változása miatt időről-időre állapítandó meg. Kiindulásul első közelítésben az ország adottságait figyelembevéve *az alap-, alkalmazott és a fejlesztési kutatásokra a 20:40 : 40%-os arány ajánlható.*

Mindenesetre a hazai lehetőségeket és érdekeket szem előtt tartva nem hagyható figyelmen kívül, hogy az *Országos Meteorológiai Szolgálat* legfontosabb feladata a szolgáltatás, ez a kötelezettség azonban megkívánja a korszerű szintentartást biztosító kutatásokat, a többi, kisebb kapacitású kutatóbázis (egyetemi tanszékek) pedig — a nélkülözhetetlen adatbázis tekintetében a Szolgálatra lévén utalva — kutatási terveit szükségszerűen össze kell, hogy hangolja a Szolgálat terveivel, az utóbbi pedig, mint legjobban ellátott országos intézmény, mind az oktatásban, mind a személyi ellátásban és kutatásban segíti az ország kisebb kutatóbázisait.

A megnövekedett igények láttán felmerül a kérdés, *szükséges-e a szervezett kutatóvá képzés*, vagy megfelelőbb, ha a veleszületett tehetség bázisán és a tudományos környezet vonzásában spontán bontakozik ki a kutató egyénisége. A vélemények eltérők, egy azonban biztos: a kutatóvá képzés csak az arra alkalmasok aránylag kis hányadánál hasznosul. Mindenesetre a posztgraduális szakmai továbbképzés nélkülözhetetlen s erről a kutatóbázis — saját érdekében is — gondoskodni köteles. Igaz az is, hogy a spontán kutatóvá érés a legkedvezőbb tudományos környezetben is több időt igényel, mint a szervezett oktatás, már pedig az időtényező, pontosabban a kutatók kora és alkotóképessége ebben a kérdésben döntő jelentőségű, különösen, ha meggondoljuk, hogy az 5 évre növelt egyetemi képzés és a férfiakra kötelező katonai szolgálat a tudományos pálya kezdetét a 24., de inkább a 25. életévre tolta el.

A *Tudományszervezési Tájékoztató* széleskörű irodalmi szemléje szerint a fizikai Nobel-díjasok 50%-a 35 évnél, 90%-a 46 évesnél fiatalabb. De nem csak a legkiválóbbak, hanem az átlagkutatók csoportjában is a nagy teljesítmények 90%-a a 25—60 év közötti, aktív munkában eltöltött idő első felére esik. Az USA-ban végzett felmérések szerint a vegyészetben a legjelentékenyebb teljesítmények 80%-a a 40 évnél fiatalabb tudósoknak köszönhető s a természettudósoknak mintegy a fele a munkábaállás első 10 évében érte el kimagasló eredményeit.

Ezeket az általános megállapításokat hiba lenne egyénekre alkalmazni. Ennek érzékeltetésére a szakirodalom *Otto Hahn*ra hivatkozik, aki 58 éves korában fedezte fel maghasadást. De felsorolhatnánk más neveket is, így a teljesség igénye nélkül említhetjük *Descartes, Galilei, Newton, Euler,*

Faraday, Humboldt, Gauss, a meteorológia magas kort megélt tudósai közül pedig *Hann, Bjerknes* vagy a magyar *Róna, Réthly* nevét. Valamennyiük életművét a 40 éves kor után értékes szintetizáló munka, oktatás, utódok nevelése, összefoglaló munka kiadása fémjelzi.

Az életkor és a teljesítmény általános kapcsolatáról az alaptermészettudományokra (matematika, fizika, biológia) korlátozódva *Birren J. E.* „Az életkor és az egyén" című (Csikágó, 1959) műve az átlagos természettudósra a következőket állapítja meg: az életkor — teljesítménygörbe, amelyben a teljesítmény mértéke a jelentős publikációk száma, aszimmetrikus. Ha a teljesítménynek ezt a sokat kritizált értékelését csak a publikációk számára korlátozzuk, akkor ez a szám a szerző megállapítása szerint az átlagos munkábaállástól (20—25 év) a 40 éves korig meredeken emelkedik, azután elnyúltan csökken. Az átlag természettudós 40 éves koráig publikációinak 60%-át, 60 éves koráig 95%-át produkálta.

A görbe legmeredekebb, azaz a kutató fejlődésének publikációk számában mért legintenzívebb szakasza a 30—40 életévek közé esik. Ebben a szakaszban a 10 éves átlagteljesítmény az egész 35%-ának adódott az átlagos 10 éves teljesítmény 20%-os értékével szemben. Eszerint az átlagos kutató publikációkban mért alkotóképességének legintenzívebb szakasza viszonylag fiatal korára esik s úgy tűnik, hogy a tervszerű kutatóváképzés, a céltudatos startra állítás — mint posztgraduális munkahelyi képzés — megrövidítheti az útkeresés időszakát.

Nem elégedve meg az átlagos természettudósra megállapított teljesítménygörbével, átnéztem a közelmúlt hét, magas kort megélt magyar meteorológus-kutatójának maguk által jelentősnek ítélt publikációit s a közel 2000 publikáció korszerinti megoszlásáról a meteorológusok idős korára a vázoltnál valamivel kedvezőbb képet kaptam. Eszerint a hét kutató átlagában a 2000 publikációnak csak mintegy 30%-a jelent meg a kutatók 40 éves kora előtt, 60 éves korukig (a nyugdíjazás átlagos évéig) ez a szám kb. 80%-ig nőtt *s haláluk-ig, ill. 75 éves korukig publikációs tevékenységüknek még mintegy 20%-át produkálták.* Ezek szerint a meteorológusok a nyugdíjas korban az átlagosnál tevékenyebbnek bizonyultak (a 96 éves korában elhunyt *Réthly Antal*nak pl. a 70. és a 96. életéve között 4 kézikönyve jelent meg az Akadémiai Kiadó rangos kiadásában s az ötödik könyve szerkesztése közben érte a halál).

A némileg kedvezőbb kép ellenére a meteorológusok teljesítménygörbéjének futása hasonlónak bizonyult a Birren által az átlagos természettudósra megállapítottéhoz (meredek felfutás a 40—45 életévig, azután lassú csökkenés a nyugdíjazásig). A nyugdíjas kor aktívabb szakasza a tudományterületnek (időjárás, éghajlat) az idős ember számára viszonylag érdekesebb sajátságával is magyarázható.

Ha a vázolt életkor-teljesítmény görbét egy átlagos kutatóra vonatkoztatjuk, kérdés, hogy egy kutató kollektíva vagy egy nagyobb kutatóintézet munkatársainak kormegoszlása, az ún. *korstruktúrája* a kollektív teljesítmény szempontjából mikor mondható optimálisnak.

A csupa 40 év körüli kutatóból álló „szuperkollektíva" hamarosan elöregednék. Egyébként is az átlagos értékelésnél figyelembe vett publikációk száma alapján a kutatóintézet teljes kollektívájának értékelése a publikációk minőségének figyelembevétele nélkül nagyon egyoldalú lenne. A 40 évnél idősebb kutatók tapasztalata, felhalmozódott ismeretanyaga, megfontoltsága, érett kritikája, nemkülönben kisebb számú, de átfogóbb (nagyobb koncepciójú) publikációi, vezető, irányító és oktató feladatköre, igénybevétele számokban nehezen kifejezhető értéke és potenciális energiája egy széles skálájú teljes kollektívának.

A teljesítménygörbének a maximumot követő, monoton csökkenő szakaszát így értékelve azt mondhatjuk, hogy egy természettudományi kutatóintézet korstruktúrája akkor kedvező, ha a kutatók zöme (mintegy 60%-a) 40—45 évesnél fiatalabb és számuk a nyugdíj-korhatárig (60 év) monoton csökken. A kollektíva legkedvezőbb átlagos életkorára a 36—38 életév adódik.

Mindenesetre az optimális korstruktúrát elért kollektíva is idővel elöregszik, ha személyi állományának létszáma konstans, s ha a kutatók természetes okok miatt (nyugdíjazás, halál) válnak meg az intézettől, még akkor is, ha minden távozót 24—26 éves fiatallal pótolnak. 10 év múlva a kezdetben 36—38 éves átlagos életkor 45—47 évre tolódik el. Ugyanekkor a kutatók életkor szerinti megoszlása eltorzul: a 40 évnél fiatalabbak a teljes kollektívának már csak mintegy 35%-át teszik ki. Húsz év elteltével a kutatók zöme eléri az 50—60 éves kort, majd kilép a szolgálatból. A kilépők helyét a 30 év alatti, kisebb fizetésű, de népesebb korosztály kutatói foglalják el s ez a csoport a kormegoszlási görbe új maximumaként vonul végig a 25—60 év közötti, munkában töltött, aktív időszakon.

Látható, hogy egy átlagos kutatóintézet korstruktúrája az automatikus utánpótlás egyszerű alkalmazásával időnkint eltorzul. Teljesítőképessége — a kormegoszlástól

függvén — nem állandósul, hanem hullámzik s vele együtt, de eltérő fázisban fluktuál a kollektíva *béralapja* is. Ha ehhez hozzátesszük a korstruktúrának a háborúk okozta torzulásait, beláthatjuk, hogy *a helyes kormegoszlás kialakítása és figyelemmel kísérése a tudományszervezés alapvető kérdése és feladata.*

Minthogy a személyi létszám és a munkába lépők átlagos életkora általában adott, a *korstruktúra szabályozója* a kutatásból kilépők korának és számának (az ún. *kilépési rátának)* tervszerű megállapítása lehet. Ez lényegében azt jelenti, hogy a kollektíva teljesítménye szempontjából előnyös, ha a kutatók egy része bizonyos életkorban (általában 40 év fölött) a kutatásból kilép (természetesen egyeztetve a kutatási téma állapotával) és tudását, tapasztalatait az operatív munkában (meteorológusok a szolgálatban) hasznosítja.

A meteorológia egyik sajátosságát: a kutatás és a szolgálat elválaszthatatlan kapcsolatát figyelembe véve, a kutatásból a szolgálatba történő átáramlás úgy oldható meg zökkenésmentesen, ha a tudományos munkaerők egy része munkaidejének változó — a korral eleinte növekvő, majd csökkenő — arányában foglalkozik kutatással. Természetesen nem helyes, ha a szolgálati és a kutató munkát merev fal választja el, vagy ha a szervezés nem biztosítja az átlagon felüli képességű kutatók. a kollektíva- és intézetvezetők optimális kutatói beosztását.

Mindenesetre az életkor és a teljesítmény kapcsolata a *vezetőkre* is érvényes, de figyelemmel kell lenni arra, hogy a vezetéssel járó adminisztratív munka a kutatói tevékenység teljesítményét kisebb-nagyobb mértékben lefékezi. *K. Fränz* szerint (1972) „a vezetőelit határtalan teljesítőképességéről vallott naív hit a természettudományok robbanásszerű fejlődése miatt tarthatatlan". (Hozzátehetjük, hogy „egyébként is ..."). A teljesítőképesség maximumának életkorában (35—40 éves korban) kinevezett vezető — tapasztalt tanácsadók segítségével — 20—25 éven át biztosítani tudja a kutatás frissességét. Ezt követően a vezetésben is megújításra van szükség. Az 5 évenkénti vezetőváltás a kutatóintézetben hátrányos, de nem előnyös a nyugdíjas korig konzervált vezetőnek a korral növekvő konzervatív hozzáállása sem. A helyes középút a vezető *személyének* helyes értékelésében rejlik.

Amint látjuk, korunkban a kutatás olyan szervezettséget kíván, amely a tehetségek kibontakozását segíti, ugyanakkor a kutatást meghatározott célok: a társadalom fejlődésének irányába tereli. A gyakorlati élettel összefüggő kutatások tervezésekor a meteorológiának a tekintetében is mérlegelnünk kell a tudománypolitikai irányelvek idevonatkozó részletét. „Országunk méreteiből, elsősorban korlátozott anyagi forrásainkból kifolyóan nem rendezkedhetünk be a tudományos megismerés minden területén nagy erőket foglalkoztató kutatómunkára. ... A világ tudományos kapacitásának csak kis töredéke van országunkban. Ezért csupán néhány tudományterületen, jól megválasztott irányokban lehet és kell vállalni a *világszínvonal igényével* a hazai kutatást ... A tudományos megismerés más területein elsősorban a nemzetközi tudományos élet eredményeire, a külföldi szellemi termékek nagyobb arányú beszerzésére kell építeni." Megszívlelendő szempontok ezek, a kutatás vonalán is takarékosságra intő mondatok, amelyek a kutatóvá képzésben résztvevő fiatal meteorológusokat idejében figyelmeztetik a *reális* tervek kialakításának fontosságára.

Ezért kínálkozott ez a téma a hazai egyetemi meteorológusképzés 25. évfordulóján tartott megemlékezés tárgyául annál is inkább, mivel aktualitása nem csökkent egy évtized elmúltával sem.

IRODALOM

SALTMAN, B. *(szerk.)*: **Theory of Climate** *(Klímaelmélet)*. Academic Press. New York London, Paris. 1983. 505 oldal. Advences in Geophysics sorozat, 25. kötet

A lisszaboni Tudományos Akadémia fennállásának 200. évfordulójára „A tudomány határai" címmel előadássorozatot szervezett, melynek során klímaelméleti szimpoziumot rendeztek. A szimpozium 10 tanulmányából nyolcat tartalmaz a kötet, amelyek az alábbi csoportokba oszthatók: a numerikus modellezés kezdeti korszaka és az általános cirkulációs modellek alkalmazása, a statisztikus-dinamikus modellek, valamint a Föld-légkör rendszer sugárzási, felszíni és dinamikus tulajdonságai.

J. Smagorinsky bevezető értekezése visszaemlékezéseket tartalmaz az amerikai kutatások megkezdésétől 1960-ig, a ma már tudománytörténeti ENIAC számítógéptől az IBM 7030-ig.

A fejezet másik dolgozata *S. Manabe* írása „A szén-dioxid és a klímaváltozás" címmel. Ebben főleg a NOAA Geofizikai Folyadéklaboratórium munkatársainak azon kutatásait gyűjtötte össze, amelyekben a klíma CO_2 változással szembeni érzékenységét vizsgálták. Manabe röviden áttekintette a földfelszíni hőegyenlegen alapuló modellek elvi alapjait és az ezek segítségével nyert, CO_2 növekedés okozta melegedés becsléseit. Részletesebben kitért a sugárzási konvektív egyensúlyi modellekre. A hőmérséklet eloszlásának kiszámítására Manabe és Wetherald az „időintegrálásos" módszert használta, amelyben a változást leíró egyenlet numerikus megoldása aszimptotikusan közelíti az egyensúlyi állapotot. A különböző CO_2 szinthez tartozó eredményeket magasság-hőmérséklet diagramon ábrázolta, értékelésüknél külön kiemelte a nedvesség szerepét. Mivel az egydimenziós modellek előzetes vizsgálatokra hatásosan alkalmazhatók, de sem a térbeli eloszlásra, sem a cirkuláció és más fizikai folyamatok hatásaira nem képesek választ adni, ezért Manabe áttért a háromdimenziós modellek ismertetésére. A NOAA modell feltételrendszere után a belőle származó legújabb eredmények ismertetése következik. A klímaérzékenységi kísérletet ezúttal a CO_2 szint megnégyszereződésére végezték el. A hőmérséklet és a hidrológiai viszonyok változásait vizsgálták éves átlagban, évszakos bontásban és a földrajzi eloszlás függvényében. Itt került először publikálásra az adott modell jel-zaj arányának kiszámítása, amelyre a példát a hőmérséklet és a talajnedvesség eloszlása szolgáltatta. A CO_2 szint és a hozzá tartozó egyensúlyi állapot beállta közti átmeneti időben lezajló változásokat egy kapcsolt óceán-légkör modellel szimulálta, amely a tenger mélyebb részétől a légkör felsőbb rétegéig terjed (5000 m – 25 mbar), de az óceán – szárazföld eloszlás erősen idealizált. Végül összefoglalta a levonható általános következtetéseket és a kutatás néhány új útját ismerteti meg.

„A klíma problémájának kváziempirikus közelítése, a klímaváltozások és fluktuációk" című írásban *G. S. Golicyn* bemutatta, hogyan hasznosíthatók a legegyszerűbb mérlegegyenletek tényleges adatok felhasználásával. Előző munkáiban a Vénuszra és a Marsra néhány klímakarakterisztikát határozott meg, amelyeket ezúttal a Földre alkalmazott. A csak külső paraméterektől függő becslések kielégítő eredményt adtak a Föld esetében az átlagos szélsebességre és a pólus-egyenlítő közti hőmérsékleti különbségre. A klímaérzékenységi vizsgálatoknál a külső paraméterek megváltozására bekövetkező módosulásokat határozta meg. Az éghajlati rendszer tagjainak karakterisztikus időit becsülte és a Budyko-féle kisugárzás-felszíni hőmérséklet lineáris parametrizációval megkísérelte a felszíni hőmérséklet változását kiszámítani 1%-os napállandó növekedésnél. A hőmérséklet-albedó visszacsatolási mechanizmus leírásakor a kapott eredményt Jefimova paleoklimatológiai eredményeivel vetette össze. A Föld kisugárzásában a felhőzet szerepét lineáris közelítéssel becsülte meg, ahol a nedvességet és a felszíni hőmérsékletet vette figyelembe. Az eddigi eredményekkel kiegészítve több irodalmi utaláshoz hasonlóan értékelte az éghajlati rendszer válaszát a CO_2 szint változására. Végül hemiszférikusan átlagolt hőmérséklet-eloszlás második momentumát kísérelte megadni, mivel egy becslés annál pontosabb, minél magasabb momentumok egyeznek meg.

G. J. Shutts a „Mozgó időjárási rendszerek parametrizációja a nagyskálájú légköri áramlás egy egyszerű modelljében" című cikkében a dinamikus meteorológia két fontos feladatát fogalmazta meg. Az első az élettartam szerint a szinoptikus és a szezonális időskála közötti átlagolt szél, hőmérséklet és nedvesség észlelt mezőinek értelmezése. A második az, hogy ezen az időskálán meghatározott klíma miért változik évről évre és hogyan lehetne ezt a változást előrejelezni.

A számításokhoz szükséges gépidőt jelentősen csökkenti a mérsékelt szélességek szinoptikus skálájú mozgásainak parametrizációja, mert így nagyléptékű tér- és időbeli modellek építhetők. A havi átlagolású klíma vizsgálata két szempont szerint történt: zonális átlagolásban és a hosszúsági körök szerint változó hőmérsékleti és szélmozgás szerinti eloszlásban. Az előbbinél a kiindulási alap a pólus és az egyenlítő közti hőmérsékleti különbség, a második esetben az óceánok és a szárazföld eltérő termikus tulajdonságai. Egy kvázigeosztrófikus modellbe hőmérsékleti és orografikus kényszereket épített be a tranziens örvények vizsgálata céljából. A geosztrófikus turbulencia transzfer-elmélete és a parametrizáció lehetőségeinek áttekintése után a zonálisan átlagolt, illetve a lokális örvényességi fluxust, valamint az örvényesen szállított hőt parametrizálta. Ezek felhasználásával dolgozta ki modelljét, amely vertikálisan σ-koordinátájú, szférikus koordináta-rendszerű, száraz levegőre vonatkozó kvázigeosztrófikus modell. Ennek a parametrizációk miatt viszonylag kicsi a gépidő szükséglete, ezért számos kísérletet tudott végezni vele a paraméterek különböző megválasztásával.

B. Saltzman a „Klímarendszerek elemzése" című dolgozatában kétféle átlagolási időt vizsgált: a szinoptikust (óra nagyságrendű) és a klimatikust (10 év nagyságrendű). A különböző szintű átlagok között a jelenségek időspektrumától függően összefüggéseket állított fel és ezt felhasználva állapította meg az időskálán az egyenletek prognosztikai vagy diagnosztikai voltát attól függően, hogy az éghajlati rendszer mely karakterisztikus idejű elemére vonatkoznak. Tekintettel kell lenni a szomszédos klimatikus tartományok eltérő fizikai tulajdonságaira, amelyek karakterisztikus értékeit részletesen közölte. A szinoptikus időskálának megfelelő átlagolást az általános cirkulációs modellek képviselik. Ezek, bár részletesebb eredményt szolgáltatnak, de nehéz a numerikus vizsgálatuk, sok gépidőt igényelnek (a gépidő kb. a reális idő tizede). A statisztikus-dinamikus modellek klimatikus átlagolásúak, így az évnél kisebb változásokat parametrizálni kell. A szerző szerint azonban hasonló pontosságot adnak, mint az általános cirkulációs modellek. Ezután a Saltzman – Vernekar modell ismertetése következik, külön a determinisztikus részé, külön a sztochasztikus kényszer hatása. Mindkettőnél a stabilitásvizsgálat eredményeit is közölte.

A „Műholdas sugárzási megfigyelések és a klímaelmélet" című tanulmányban *G. Ohring* és *A. Gruber* a NOAA műhold hosszúhullámú kisugárzás, albedó és nettó sugárzás méréseit ismertette, majd ezen adatok segítségével a napállandó változására klímaérzékenységi vizsgálatokat végeztek. Becsléseket adtak a felhők üvegházhatására és az abszorbeált napsugárzásnövelő hatására. Mérési eredményeket közöltek az albedó és a napsugárzás zenitszöge közti összefüggésre és teszteltek egy szezonális, hemiszférikus, zonálisan átlagolt modellt.

R. Dickinson „A felszíni albedók és az energiamérleg" című írásában a növénytakaró modellezésének kísérleteit foglalta össze és az ezzel kapcsolatos paramétereket adta meg. Részletesen szerepelnek a talaj és a hó albedók értékei, amelyek alapján különböző felszíni feltételek energiaegyensúlyi viszonyait vizsgálta.

Sok táblázat, adat és ábra található „A megfigyelések által támasztott követelmények a globális impulzusmomentum és energiaegyensúllyal szemben" című tanulmányban, amelynek szerzői *A. Oort* és *J. Peixoto*. 10 év megfigyelései (1963 – 1973) alapján az alapvető statisztikai vizsgálatokon kívül elemezték az impulzusmomentum és a különböző energiafajták meridionális és vertikális transzportját, a tranziens és az álló örvények, valamint az átlagos meridionális cirkuláció szerepét évszakonként és félgömbönként is. Végül az eredményeket a Lorenz-féle energiaciklusba helyettesítve a különböző energiaformák és az átalakuló energiák nagyságát kapták meg.

A könyvben szereplő tanulmányok tömören foglalják össze a klímamodellezés területeit. A különböző módszerek ismertetése után egy-egy modellben bemutatják alkalmazásukat. Bőséges irodalomjegyzék található mindegyik cikkben, amelyek segítséget nyújtanak az adott téma mélyebb tanulmányozásához. Az adatok sokasága pedig külön is hasznosítható, becsléseknél, számításoknál alkalmazható. Egy-egy jelentősebb kérdést (pl. CO_2 probléma, napállandó változása) több oldalról is megközelíthetünk, több írásban is előfordulnak. A szerzők – szakterületük élvonalbeli művelői – megvilágítják a fizikai hátteret is, értelmezve a kiindulási feltételeket és a kapott eredményeket.

A kötet egyaránt ajánlható az éghajlatmodellezés alapjaival ismerkedő egyetemi hallgatóknak, illetve a témakör aktív művelőinek.

Szalai Sándor

KRÓNIKA

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG 48. KÖZGYÜLÉSE

A Magyar Meteorológiai Társaság 1984. április 12-én tartotta évi rendes közgyűlését az MTESZ Anker közi székházában. *Szász Gábor* elnök megnyitó szavait *Tänczer Tibor*nak a „Nemzetközi földfelszín-klimatológiai program műholdfelvételek alapján" című előadása követte. Az előadó röviden ismertette a nemzetközi műholdas földfelszín-klimatológiai programot (ISLSCP), amelynek fő célkitűzése a Föld éghajlatát befolyásoló tényezők jobb megismerése, különös tekintettel az emberi tevékenység hatására. Ennek érdekében bocsátották fel 1972-ben az első *Landsat – 1* műholdat is. Előadásában kihangsúlyozta ezeknek a műholdaknak kulcsfontosságú szerepét az agroklimatológiai információs és monitorizáló rendszerben, majd ismertette a Magyarországon folyó kutatásokat, amelyek elsősorban a felszíni albedo és hőmérséklet, valamint a hótakaró vizsgálatára irányulnak. Befejezésül az előadó a Kárpát-medencére vonatkozó, igen érdekes és sokatmondó Landsat-felvételeket mutatott be.

A közgyűlés további napirendje keretében *Simon Antal* tartotta meg főtitkári beszámolóját a Társaság 1983-ban végzett munkájáról, valamint azokról a személyi és gazdasági változásokról, amelyek a Társaság további folyamatos tevékenységéhez elengedhetetlenül szükségesek.

Az a körülmény, hogy a Társaság választmánya valamennyi MTESZ központi bizottságába delegált képviselőt, lehetővé teszi a Társaságnak az aktív részvételt a Szövetség munkájában. Bejelentette, hogy a területi csoportok megszervezésével és aktivizálódásával a Társaság munkája jelentősen kiszélesedett, a szakülések látogatottsága a területi csoportoknál jelentősen megnövekedett. Örvendetesnek mondotta a főtitkár a Társaság meteorolóigai tanszékekkel való igen jó kapcsolatát, amelynek keretében a fiatal szakemberek már egyetemi hallgató korukban találkoznak a Társasággal, majd pályakezdőként bekapcsolódhatnak a Társaság szélesebb munkájába.

Kitért a főtitkári beszámoló a nemzetközi kapcsolatok fejlődésére is. Ezt ugyan a devizális kérdések megnehezítik, ennek ellenére e téren is volt előrehaladás. Szocialista partnereink közül a Szlovák Meteorológiai Társasággal a leggyümölcsözőbb a kapcsolat, de sikerült a Csehszlovák Meteorológiai Társaságot is belevonni ebbe az együttműködésbe. Az Osztrák Meteorológiai Társasággal is kezd rendszeressé válni az érintkezés, míg más külföldi társaságokkal erre a rendszeresen megrendezésre kerülő Alpi- és Kárpátmeteorológiai konferenciák adnak lehetőséget.

A főtitkár ezek után ismertette az Elnöki Tanácsnak azt a határozatát, amely a Minisztertanács felügyelete alá rendelve szabályozta az MTESZ jogállását. Az új rendben a Szövetség egyesületei jogi személyek, megfelelő önállósággal.

Az elmúlt évi központi rendezvényekről beszámolva, mint legjelentősebbet kiemelte a főtitkár a Szlovák és Csehszlovák Meteorológiai Társasággal közösen rendezett vándorgyűlést; témája „A számítástechnika alkalmazásai és a távérzékelés felhasználása a meteorológiában" volt. Megemlékezett a beszámoló az 1983. március 24-én tartott immár hagyományos világnapi ülésről, valamint a Róna Zsigmond Ifjúsági Kör által rendezett „Fiatal meteorológusok fóruma" c. üléssorozatról, ahol négy szekcióban magas szakmai színvonalú előadások hangzottak el.

Beszámolója végén a főtitkár kegyeletes szavakkal emlékezett meg a Társaság elhunyt tagjairól, *Takács Lajos* tiszteleti tagról, valamint *Péczely György*ről, a Tudományos Tanács tagjáról. Haláluk a Társaság számára komoly veszteséget jelent. A közgyűlés egy perces néma felállással adózott emléküknek.

A Társaság életéről hű képet adó főtitkári beszámoló után *Kéri Menyhért* az alapszabályt módosító bizottság javaslatát terjesztette a Közgyűlés elé. A kisebb módosításokra a Szövetség megváltozott jogállása miatt volt szükség. A javaslatot a közgyűlés jóváhagyta.

Az ellenőrző bizottság munkájáról *Fejősné Iványi Zsuzsanna* számolt be. Az ellenőrzés részben a Társaság szakmai tevékenységére, részben a gazdálkodásra terjedt ki. A jelentés szerint az MMT szakmai munkája eredményes volt, a munkatervben lefektetett programon kívül számos érdekes és nagyszámú hallgatót vonzó rendezvény került megtartásra. A je-

lentést, valamint az ezt követő pénzügyi beszámolót a közgyűlés jóváhagyólag tudomásul vette.

A külföldi tiszteleti tagok választására *Hallamáné Lépp Ildikó* terjesztette elő az e célra kiküldött bizottság javaslatát. Ennek alapján a közgyűlés eddigi eredményes tudományos és szervezői munkájuk, nemkülönben az MMT érdekében kifejtett tevékenységük elismeréseként, valamint a Szlovák és a Magyar Meteorológiai Társaság közötti kapcsolatok további elmélyítéséért prof. dr. *Ferdinánd Šamajt* és dr. *Ján Lukáčot* a Társaság tiszteleti tagjává választotta.

A beszámolók és javaslatok elfogadása után került sor a Társasági kitüntetések és díjak átadására. A tudományos, valamint a társadalmi munka elismeréséül a Társaság *Bodolai Istvánnét* és *Mezősi Miklóst* a Steiner Lajos-emlékéremmel tüntette ki. Az 1983. évi szakirodalmi nívódíjat *Práger Tamás*, a „Numerikus Prognosztika I., *A hidrodinamikai előrejelzés elmélete*" című egyetemi tankönyvével nyerte el.

A Róna Zsigmond-alapítvány kamatait ebben az évben megosztva *Fejősné Iványi Zsuzsanna* és *Mika János* kapták.

Végezetül a közgyűlés az elnökség javaslatával egyetértve *Csaplak Andort*, *Predmerszky Tibort* és *Szakály Józsefet* a Társaság tiszteleti tagjai sorába felvette; az erről szóló okleveleket *Szász Gábor* elnök, a közgyűlés meleg ünneplése közepette nyújtotta át az új tiszteleti tagoknak.

Befejezésül a közgyűlésen résztvevő *Jéki László*, az MTESZ főtitkár helyettese mutatott rá az MTESZ jogi helyzetének megváltozásából származó előnyökre, elismeréssel nyilatkozott az MMT munkájáról, majd kérte a Társaság további eredményes közreműködését a Szövetség tudományos és mindinkább kiszélesedő társadalmi munkájában, majd *Szász Gábor* elnöki záró szavaival fejeződött be a közgyűlés.

H. Lépp Ildikó

A XIII. METEOROLÓGIAI VILÁGNAP

A Meteorológiai Világszervezet az 1984. évi Meteorológiai Világnap témájául napjaink egyik legidőszerűbb kérdését jelölte meg: „A meteorológia szerepe az élelmiszertermelésben" címen. A probléma fontosságát mutatja az, hogy másodízben (először 1976-ban) hangzott el a Világnapon ünnepi előadás ebben a témában. Míg azonban az első előadás célja az volt, hogy felhívja a figyelmet az élelmiszertermelés és az időjárás kapcsolatára, addig az idei ünnepi ülés előadása — amelyet *Kozmáné dr. Tóth Erzsébet* tartott a MTESZ székházában — elsősorban a hazai agrometeorológiai kutatások, szolgáltatások és az élelmiszertermelés kapcsolatának jelenlegi helyzetét, problémáit és legújabb eredményeit ismertette.

Az előadó az agrometeorológia feladatát a következőkben jelölte meg:

- tanácsadás a mezőgazdaságnak, hogy hogyan használják ki legjobban az ország éghajlati sajátosságait,
- segítés abban, hogy minimálisra csökkenjenek az időjárás okozta károk a mezőgazdasági termelésben.

A hazai mezőgazdasági termelés további fejlesztésére vonatkozó igények szükségessé tették az ország agroökológiai adottságaiban rejlő tartalékok kiaknázását. E felmérő munka alapvető célja volt annak meghatározása, hogy a természeti környezet (csapadék, hőmérséklet, talajtakaró, domborzat, vízellátottság stb.) és a növények genetikai tulajdonságai milyen maximális hozamok elérését teszik lehetővé a századfordulóra. Hazánk klimatikus adottsága a mezőgazdasági termelés fejlesztésének egyik biztosítéka, de számolni kell a csapadék kedvezőtlen eloszlásával.

A víz hazánk területének több, mint felén korlátozó tényező, ezért növelni kell a korszerűen öntözött területeket. Az öntözés agrometeorológiai megalapozását célzó kutatásaink eredményeit (vízigény, öntözési norma) a gyakorlatban már számos, de távolról sem elegendő helyen felhasználták. Jelentősek a fagyvédelmi kutatások, valamint azok, amelyeket a gyümölcs és szőlő termőhelyi igényeinek és optimális termőhelyi adottságainak feltárása céljából végzünk.

A fenti hosszútávú mezőgazdasági tervezések éghajlattani megalapozása mellett olyan napi, heti döntésekre is szükség van, amelyekben a rövid periódusú időjárási feltételek játszanak döntő szerepet. Az agrometeorológusok dolgozzák ki a növényfejlődés, érési időpont és termésmennyiség becslésére alkalmas szimulációs modelleket, amelyek az adott év várható élelmiszerellátásáról nyújtanak tájékoztató adatokat. Ezirányú hazai agrometeorológiai munkák közül legjelentősebbek a MÉM-nek szolgáltatott termésbecslések, valamint a zöldségtermesztés számítógépes irányításában kifejtett tevékenységek; feladatuk a mezőgazdasági nyersanyagtermelés és az élelmiszeripari feldolgozás összehangolása.

Az előadó jól érzékeltette az agrometeorológia sokrétű feladatait, az információk nagy gazdasági jelentőségét az élelmiszertermelés növelésében.

A nagy érdeklődéssel kísért előadást két film vetítése követte; az egyik az ország talajadottságaival, a föld védelmével, a másik pedig a konzervipari termelés különféle ágazataival ismertette meg a nagyszámú hallgatóságot.

N. Dávid Aranka

PÉCELY GYÖRGY 1929—1984



1984. március 3-án, életének 55. évében szívinfarktus következtében elhunyt *dr. Péczely György* klimatológus, egyetemi tanár. 20 éven át volt közvetlen kollegánk, s élete végéig pályatársunk, barátunk.

1929. május 5-én született Budapesten. Elemi és középiskolai tanulmányait Hódmezővásárhelyen, egyetemi tanulmányait a budapesti Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karán és a szegedi egyetem Természettudományi Karán végezte. Középiskolai tanári oklevelet földrajz—biológia szakból 1953-ban szerzett. Pályafutását a Szegedi Egyetem Földrajzi Intézetében kezdte tanársegédként, de hamarosan — 1953 márciusában — az Országos Meteorológiai Intézet kötelékébe lépett.

Kezdetben a Távelőrejelző Osztályon volt 1957-ig, majd tudományos munkatárs és kutató az Éghajlati Osztályon, mint a szinoptikus-klimatológiai kutatócsoport vezetője. 1964-től a Hidrometeorológiai Osztály vezetője, 1969-től az Adatfeldolgozó és Tájékoztató Főosztály vezetője. 1970-től a Marcell György Aerológiai Főobszervatórium igazgatóhelyettese, majd 1971-től a Központi Meteorológiai Intézet igazgatóhelyettese volt egészen 1973 március 15-ig, amikoris a szegedi József Attila Tudományegyetem Természettudományi Kara Éghajlattani Tanszékére tszv. egyetemi tanári kinevezést kapott. A puszta felsorolásból is kitűnik, hogy az Országos Meteorológiai Intézetbe lépő 24 éves fiatalember a pályakezdésétől itt eltöltött 20 év alatt töretlen, egyenletesen fölfelé ívelő pályán haladt.

Tudományos pályafutása során ugyanígy. 1959-ben az ELTE Természettudományi Karán meteorológia főtárgyból, valószínűségszámítás és hidrogeográfia melléktárgyakból vizsgát tett, és „summa cum laude" minősítéssel egyetemi doktori címet szerzett. 1961-ben aspiranturára jelentkezett, 1964-ben védte meg *„Magyarország éghajlatának szinoptikai-genetikai elemzése"* c. kandidátusi értekezését, s nyerte el a „földrajztudományok (éghajlattan) kandidátusa" minősítést, 1974-ben *„A felszíni vízbevétel területi rendszere a Duna felső- és középső vízgyűjtőjén"* című doktori disszertációjával pedig a „földrajztudományok (meteorológia) doktora" akadémiai minősítést szerezte meg.

Hivatali és tudományos pályafutását csak vázlatosan áttekintve is sikeres életút bontakozik ki előttünk. Bizonyos, hogy ilyen életút során számos nehézséggel, értetlenséggel kell meg küzdeni, de erről Péczely kollégánk sohasem beszélt, zárkózott természetű volt. Haladt a maga által kijelölt úton. Kitűnő szellemi képességgel, határozott és kialakult munkaprogrammal, széles szakirodalmi tájékozottsággal — német, orosz és angol nyelven olvasott — szakmaszeretettel és hivatástudattal, rendkívüli munkabírással érte el eredményeit. Első publikációja 22 éves korában az *Időjárás*ban jelent meg *„A passzátrendszer hatása Magyarország csapadékjárásában"* címmel. Egyre elmélyültebb kutatóvá és mind termékenyebb szakíróvá vált. Közel 150 cikk és 5 könyv szerzőjeként tartjuk számon. Témája mindvégig a Föld, Európa, és benne Magyarország éghajlatával függött össze. Az alkalmazott, a szinoptikus és a klasszikus klimatológia művelésének a jelenkorban egyedülálló és talán utolsó képviselője volt Magyarországon.

Az OMSZ kiadásában megjelenő utolsó tudományos kiskiadványa a *„Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek katalógusa (1881—1983)"* c. kötet halála előtt két héttel hagyta el a nyomdát, a szakkörökben nagy érdeklődéssel várt *„A Föld éghajlata"* c. egyetemi tankönyve a szegedi nyomdában most készül.

Külön is meg kell emlékeznünk kiváló népszerűsítő szakirodalmi tevékenységéről. Számos tartalmas, időszerű, közérthető és olvasmányos írása jelent meg a napi- és hetilapokban.

Bár az Országos Meteorológiai Szolgálattól 10 éve megvált, sok szál továbbra is hozzánk fűzte. Tagja maradt pl. tudományos folyóiratunk: az *Időjárás* szerkesztő bizottságának, részt vett több kutatási programunkban.

Korai halála mindannyiunkat megrendített, távozásával rendkívül nagy veszteség érte a szakmát. 1984. március 13-án, a szegedi belvárosi temetőben helyezték örök nyugalomra.

Szepesiné Lőrincz Anna

ANKÉT AZ 1983. ÉVI ASZÁLYRÓL

1984. március 28-án a Magyar Hidrológiai Társaság és a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ, a Magyar Agrártudományi Egyesülettel és a Magyar Meteorológiai Tár-

sasággal közösen egésznapos ankétot rendezett a VITUKI kongresszusi termében, melynek során az 1983. évi aszály meteorológiai, hidrológiai és vízgazdálkodási következményeiről hangzottak el előadások.

Az ankétot *Goda László*, a VITUKI I. Vízrajzi Intézetének igazgatója nyitotta meg. Bevezető előadása után *Szijgyártó Zoltán* az aszály várható előfordulását ismertette, majd *Varga H. Zoltán* az aszály szinoptikai és agrometeorológiai értékelését adta meg. A délelőtti előadások foglalkoztak még az aszálynak a folyókra, a kisvízfolyásokra és a felszínalatti vizekre gyakorolt hatásával.

Az ankét délutáni programjában elsőként *Kiss Károly* előadását hallottuk az aszály mezőgazdasági vízgazdálkodási következményeiről. Az előadó igen reálisan ecsetelte azokat a gazdasági körülményeket is, melyek a mezőgazdasági üzemeket a vízfelhasználásban korlátozzák. A továbbiakban a meliorált területek aszályos időjárásban tapasztalt vízgazdálkodásáról, majd az aszály vízellátási és szennyvízelvezetési következményeiről volt szó.

A többségében hidrológiai kérdéseket feszegető előadásokat vita követte, melynek során inkább kiegészítő kiselőadások hangzottak el. Az egyébként korlátozott létszámú hallgatóság meteorológus résztvevői szívesen tájékozódtak volna kissé behatóbban – talán több előadás keretében is – az aszály mezőgazdasági vonatkozásairól, s a Magyar Meteorológiai Társaság – a rendezésbe való hathatósabb bevonása esetén – még egy-két előadással színezhette volna az ankét programját.

Tóth Erzsébet

NAP- ÉS SZÉLENERGIA SZAKOSZTÁLY AZ MMT-BEN

A megújuló természeti erőforrások vizsgálatában, ill. feltárásában közismerten fontos szerep hárul a meteorológia művelőire is. A nap- és szélenergia közvetlen vagy közvetett felhasználása – bár spontán módon ez együtt fejlődött az emberiséggel – napjainkban az érdeklődés középpontjába került. Ezért határozott úgy a Magyar Meteorológiai Társaság, hogy a fenti kihívást elfogadva megalakítja a Nap- és szélenergia szakosztályt.

Az alakuló ülésre 1984. március 29-én került sor. *Simon Antal* főtitkár elnökletével a résztvevők egyhangúan *Major György* igazgatóhelyettest javasolták az elnöki, *Zemplényiné Tárkányi Zsuzsát* a titkári tisztségre.

Ezután *Major György* „A nap- és szélenergia hasznosításának általános meteorológiai kérdései" c. előadásában ismertette e két fontos légköri erőforrás feltárásának nemzetközi és hazai helyzetét, a meglévő fontosabb szervezeti és intézményi kereteket. Részletesen foglalkozott az éghajlati potenciál e két összetevőire vonatkozó hazai kutatásokkal, amelyeknek jelentős része az OMSZ intézeteiben folyik. Javaslatot tett a szakosztály ezévi üléseinek programjára.

A hozzászólók népes tábora, véleménynyilvánításuk nem egyszer szenvedélyes volta igazolja a szakosztály létrejöttének szükségességét, és táplálja azt a reményt, hogy működése tartós és eredményes lesz.

Ambrózy P.

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 literary adviers.

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.

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 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 igazgató

83. 2209 Athenaeum Nyomda, Budapest — Íves magasnyomás
Felelős vezető: Szlávik András vezérigazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

88. ÉVF. ★ 4. SZÁM ★ 1984. JÚLIUS—AUGUSZTUS

TARTALOM

Péczely György: Az afrikai Szahel-övezet csapadékingadozásainak kapcsolata a Föld időjárási anomáliáival 185

Penzar, I.—Penzar, B.: A napfénytartamnak az eloszlásfüggvény segítségével meghatározott jellemzői Horvátországban (angol nyelven) 193

Závodsky, D.—Mitošinková, M.: A nitrogénvegyületek légköri mérlege Csehszlovákia fölött (angol nyelven) 202

Kapovits Albert: Frontális felhő—csapadék rendszer vizsgálata 210

Sastri, A. S. R. A. S.—Patel, S. R.: A szárazgazdálkodású rizs mezőgazdasági aszályának osztályozása — Esettanulmány Közép-Indiára (angol nyelven) 223

Nathan, K. K.: Egy referencia növényállomány evapotranspirációja és összetevői közötti kapcsolat szemiarid területen (angol nyelven) 228

Kmetykó Katalin: A kukorica területi termésátlagának előrejelzése meteorológiai paraméterek segítségével 232

Ajtay Ágnes—Boncz József—Takács Ferenc: Összefüggés a vetőburgonya terméshozama és a meteorológiai tényezők között 238

Irodalom 247

CONTENTS

Péczely, G.: Relationship between the oscillations of precipitation in Sahel-zone in Africa and weather anomalies of the Earth 185

Penzar, I.—Penzar, B.: Features of sunshine duration in Croatia determined by means of distribution functions (in English).... 193

Závodsky, D.—Mitošinková, M.: Estimation of atmospheric budget of nitrogen compounds over Czechoslovakia (in English) 202

Kapovits, A.: Radar study of a frontal cloud—precipitation system 210

Sastri, A. S. R. A. S.—Patel, S. R.: Classification of agricultural droughts of rainfed rice crop — A case study for Central India (in English) 223

Nathan, K. K.: A note on the relationship between reference crop evapotranspiration and its components in a semiarid environment (in English) 228

Kmetykó, K.: Prediction of areal average yield of maize on the basis of meteorological parameters 232

Ajtay, Á.—Boncz, J.—Takács, F.: Relation between crop yield of seed potatoes and meteorological parameters 238

Literature 247

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 88. ★ NO. 4. ★ JULY—AUGUST 1984. ★ BUDAPEST

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meterológiai Szolgálat folyóirata
Journal of the Hungarian Meterological 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)
LOGVINOV, K. (Kijev)
MAJOR GY. (Budapest)
MESINGER, F. (Beograd)
PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
RÁKÓCZI F. (Budapest)
RENOUX, A. (Paris-Créteil)
ŠAMAJ, F. (Bratislava)
SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
STELCZER K. (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:
LŐRINCZ ANNA (Budapest)

Szerkesztőség: Budapest, Postafiók 38. 1525
Előfizetés: 1 évre 223 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán Budapest, Kitaibel Pál utca 1. 1024. Levélcím: Budapest, Pf. 38. 1525. Megjelenik kéthavonként.
Egyes szám ára 38 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. 88.évf. 4.szám,1984. július-augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol.88. No 4. July-August.1984. Budapest

Az afrikai Száhel-övezet csapadékingadozásainak kapcsolata a Föld időjárási anomáliáival

PÉCZELY GYÖRGY *József Attila Tudományegyetem Éghajlattani Tanszéke, Szeged. Pf. 661.*

Relationship between the oscillations of precipitation in Sahel-zone in Africa and weather anomalies of the Earth. The author studies the conditions of drought striking the Sahel-zone in the last 15 years, a relation is searched between the weather anomalies of this zone and other parts of Earth. Between 1931 and 1960 the precipitation-supply was relatively favourable in this zone. This present dry period was started in 1968. Analysing the connection between the yearly amounts of precipitation and the synoptic pressure-patterns it has turned out, that there is a positive correlation between the precipitation anomalies of Sahel-zone and he developing phase South-Pacific oceanic and South-Atlantic subtropical anticyclones. At the same time relation is inverse with the North-Atlantic subtropical anticyclone. The author has pointed out, that there exists a negative correlation between the precipitation Sahel-zone and the precipitation of equatorial belt of Pacific Ocean, furthermore the temperature of water in the effective region of the Peru-current.

⁎

Az afrikai Szahel-övezet csapadékingadozásainak kapcsolata a Föld időjárási anomáliáival. Szerző a Szahel-övezetet az utóbbi 15 évben sújtó aszály feltételeit elemzi, kapcsolatot keres az övezetben és a Föld más részein fellépő időjárási anomáliák között. 1931–1960 között az övezet csapadékellátottsága viszonylag kedvező volt. A jelenleg is tartó nagyon száraz periódus 1968-ban kezdődött. Elemezve az évi csapadékösszegek és a nagytérségű légnyomáseloszlás közötti kapcsolatot kiderült, hogy reális pozitív korreláció van a Szahel-övezet csapadékanomáliái és a dél-csendes-óceáni valamint a dél-atlanti szubtrópusi anticiklonok fejlettsége között. Ugyanakkor ellentétes a kapcsolat az észak-atlanti szubtrópusi anticiklonnal. Kimutatta a szerző azt is, hogy a Szahel-övezet csapadéka negatív korrelációban áll a Csendes-óceán egyenlítői övezetének csapadékával és a Perui-áramlás hatáskörzetének vízhőmérsékletével.

The unfinished manuscript of the paper was receied by the editorial staff after the author's untimely death. It was known, that the author was dealing with this theme and the greatest part of the paper had been done. family By the help of his and ex-collaborators the editorial board obtained the manuscript. No change was made, only the last sentence was finished. This last paper of Professor György Péczely, climatologist, even if it is uncompleted was considered worthy of being published, — hopefully with the readers' endorsement.

⁎

E tanulmány kézirata a Szerző váratlan halála után, befejezetlenül került szerkesztőségünkbe. Tudomásunk volt arról, hogy Péczely professzor foglalkozik ezzel a témával, és hogy a kézirat nagyobbik, lényeges része már elkészült, csupán befejezése hiányzik. A Szerző közvetlen hozzátartozói s a tanszék munkatársai eljuttatták szerkesztőségünkbe a kéziratot. Szövegén semmit sem változtattunk, csupán az utolsó, félbemaradt mondatot fejeztük be. Péczely Györgynek, a szegedi

egyetem klimatológus-professzorának írásaival három évtizeden át rendre találkozhattak olvasóink folyóiratunkban. E legutolsó, sajnálatosan befejezetlenül maradt tanulmányát — reméljük, olvasóink egyetértésével — még így is, föltétlenül érdemesnek tartottuk közlésre. (A szerkesztő).

*

A Szahara és az afrikai Szavanna-övezet között az Atlanti-óceántól az Etióp-magasföldig végighúzódó, mintegy 600—800 km szélességű zóna jelentős évközi csapadékingadozásai már a meteorológiai megfigyelések kezdetekor felkeltették a szakemberek figyelmét. Az utóbbi másfél évtizedben egyre szélesebb körű érdeklődés kísérte az afrikai Száhel-övezet csapadékát, mivel a sorozatosan fellépő száraz évek káros következményei a térség megváltozott gazdasági, társadalmi és politikai viszonyai miatt a múlthoz képest jelentősen fokozódtak. A népesség és az állatállomány rohamos növekedése, a túllegeltetés miatti nagymérvű talajpusztulás s a nomád pásztorok vándorlását korlátozó államhatárok együttesen oda hatottak, hogy az utóbbi évek tartós szárazsága máskor nem tapasztalt katasztrófális éhínséget okozott, s több százezer ember éhhalálát idézte elő.

A trópusi száraz Szavanna-övnek, amely az afrikai Száhel-országok (Szenegambia, Mali, Felső-Volta, Niger, Csád, Szudán) mezőgazdasági területeinek túlnyomó részét uralja, legjellemzőbb éghajlati sajátossága a csapadék nagyfokú bizonytalansága. Ez abban áll, hogy az évi csapadéknak szinte teljes egészét adó rövid, 2—3 hónapos nyári esős időszak egyes években alig fejlődik ki, vagy akár teljesen el is marad, ha a délnyugati nyári monszun nedves légtömegei nem érik el az érintett térséget. Ennek közvetlen oka a trópusi konvergencia zóna (ITCZ) szokásosnál délebbi helyzete a nyári hónapokban.

A jelenség azonban, amint arra a következőkben rámutatunk, nem csupán lokális méretű, hanem az kapcsolatban áll a Föld más részein fellépő időjárási anomáliákkal is.

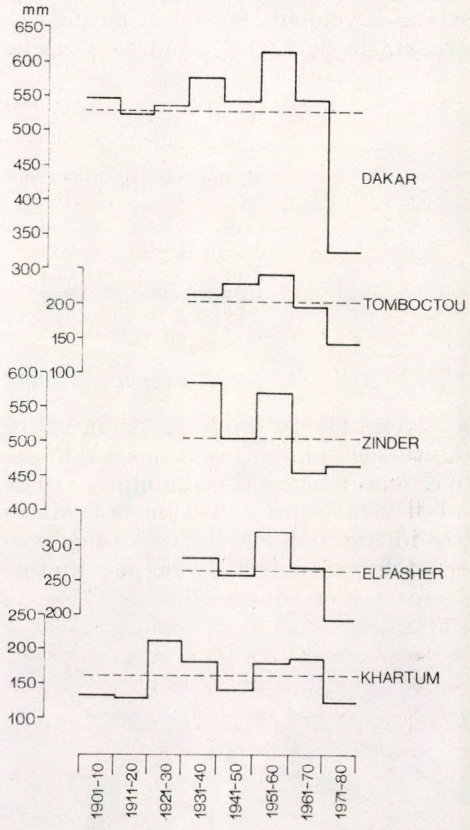
A Száhel-övezet csapadékingadozásai 1901—1982 között

A Száhel-övezet csapadékingadozásainak jellemzésére viszonylag kevés állomásról van hosszúsorozatú észlelési anyag. vizsgálatunkhoz a következő megfigyelőhelyek évi csapadékösszegeinek idősorait használtuk fel: Dakar: $\varphi = 14°44'$ N, $\lambda = 17°30'$W,Tomboctou (Timbuktu): $\varphi = 16°46'$N, $\lambda = 3°01'$W, Zinder: $\varphi = 13°48'$N, $\lambda = 9°00'$E, El Fasher (el-Fáser): $\varphi = 13°37'$N, $\lambda = 25°20'$E, Khartum (Kartúm): $\varphi = 15°36'$N, $\lambda = 32°33'$E. Zárójelben az illető hely elfogadott fonetikus magyar átírása áll. A felsorolt állomások között Dakar és Kartúm adatsora 1901—1982-ig, Timbuktu, Zinder és el-Fáser adatsora pedig 1931—1982-ig terjed. A felsorolt állomások évi csapadékösszegeinek 10 éves átlagait az *1. ábra* tünteti fel.

Kitűnik, hogy a száraz évek utolsó évtizedbeli halmozódása az egész Száhel-övezetre, de főként annak nyugati részére jellemző, Dakarban például az 1971—1980-as időszak átlagos évi csapadéka csupán 61,8%-a volt az 1901—1982 közötti időszak átlagának. Ezzel szemben 1931—1960 között viszonylag kedvezően alakult az övezet csapadékellátottsága, ez az időszak a Száhel *klímaoptimumának* tekinthető.

A Száhel-övezet csapadékellátottságának részletesebb időbeli alakulását az *1. táblázat* adatai érzékeltetik. Az összeállítás az övezet évi csapadékának

átlagos százalékos értékeit tartalmazza 1931 – 1982-ig. Ezeket a számértékeket úgy állítottuk elő, hogy a vizsgált 5 állomás évi csapadékösszegeit a vonatkozó időszak átlagának százalékában fejeztük ki s ezeknek az értékeknek a számtani közepét tekintettük.



1. ábra: A Száhel-övezet néhány állomásának tízéves csapadékátlagai (szaggatott vonal: sokévi átlag)

Látható, hogy a napjainkig tartó Száhel-szárazság 1968-ban kezdődött el, s ezt a hosszú száraz szakaszt csak 1979 közel normális csapadéka szakította meg. Ezen a 15 éves száraz időszakon belül a legsúlyosabb aszály 1972 – 1973-ban, 1977 – 1978-ban, majd 1982-ben alakult ki. Hasonlóan csekély csapadékú, de jóval rövidebb aszályos időszakokat 1947 – 1949 között és 1941-ben regisztrálhatunk, míg a legkedvezőbb csapadékellátottság 1950 – 1967 között volt megfigyelhető a vizsgált idősorban.

I. TÁBLÁZAT

A Száhel övezet átlagos évi csapadékösszege, %

Év	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1930	.	119	108	102	104	128	115	89	136	102
1940	97	75	92	126	97	111	134	70	81	65
1950	145	111	110	123	162	106	110	110	126	105
1960	96	113	141	94	126	89	87	118	92	87
1970	71	79	53	64	84	83	79	60	74	95
1980	81	88	56	.	.	.	.	.	.	.

Érdekes szembeállítanunk egymással a legkedvezőbb csapadékú szakaszokat (1931–1960 és 1950–1967) az 1968–1982-es rendkívül száraz időszakkal *(II. táblázat)*. Kitűnik, hogy *a nagy Szahel-aszály másfél évtizedében az övezet a klímaoptimum átlagos évi csapadékának csupán kétharmadát (66%) kapta*, s ez az évi mintegy 70–280 mm-es csapadékhiány ott ahol a vízellátottság egyébként is csak a mezőgazdasági minimum határa körül ingadozik, katasztrófa helyzetet előidéző vízdeficitet jelent.

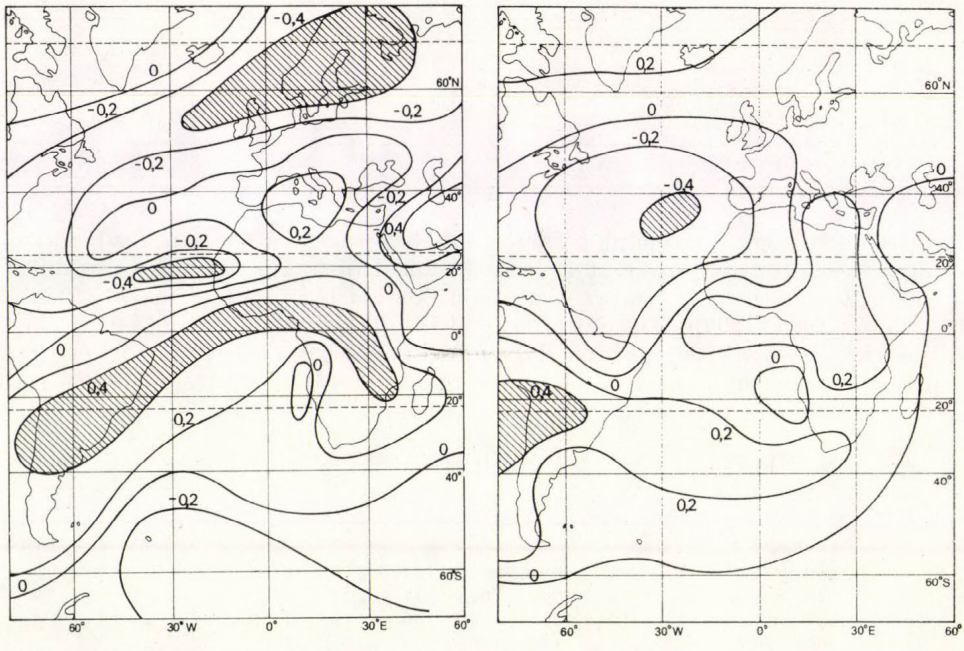
II. TÁBLÁZAT

Átlagos évi csapadék a Szahel-övezetben, mm

Állomás	1931–1960	1950–1967	1968–1982
Dakar	580	622	340
Tomboctou	227	227	148
Zinder	554	541	446
El Fasher	287	317	206
Khartum	169	194	129

A Szahel-övezet csapadékának kapcsolata cirkulációs tényezőkkel

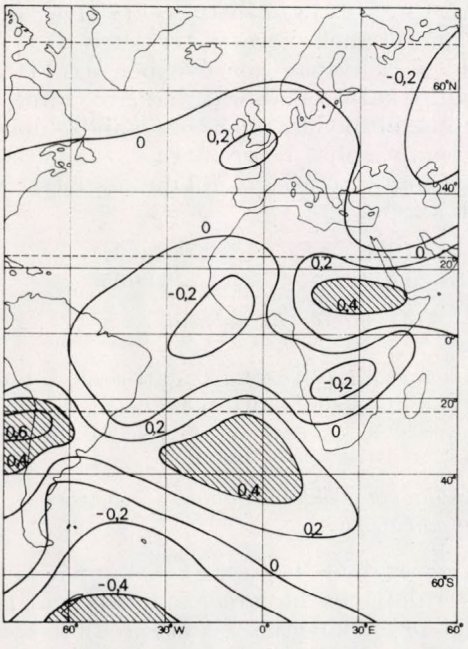
Kézenfekvő, hogy a Szahel-övezet csapadékingadozásait a légnyomás nagytérségű eloszlásával hozzuk kapcsolatba. A kapcsolatkereséshez a 80°W, 60°E meridiánokkal, valamint a 70°N, 70°S szélességi körökkel határolt térségből kiválasztott 40 állomás légnyomási adatsorait használtuk fel az 1951–1978 időszakból. Előállítva a tengerszinti légnyomás évszakos átlagait (december–február, március–május, június–augusztus), meghatároztuk ezek kor-



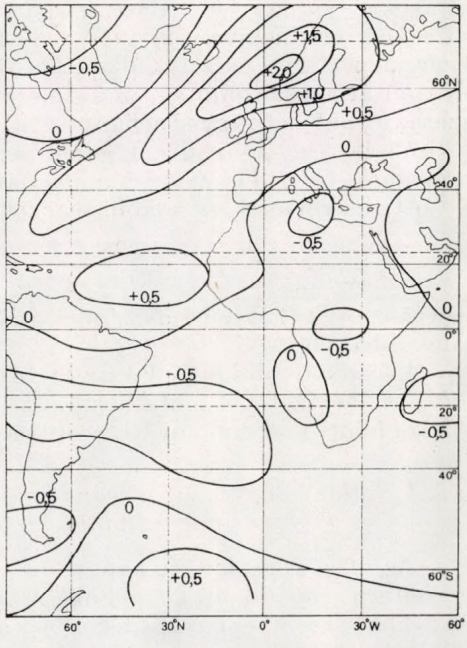
2–3. ábra: A légnyomás és a Szahel-öv csapadéka közötti korreláció a december–februári és a március–májusi időszakban

relációs együtthatóit a Száhel-öv I. táblázatban közölt százalékos átlagos csapadékával. Az adatokból megszerkesztett izokorrelációs térképeket a *2–4. ábrák* szemléltetik. Tekintetbe véve az észlelési sorok hosszát (28 adatpár), az 5%-os valószínűségi szinten 0,36 korrelációs együttható esetén rögzíthetünk reális kapcsolatot.

Megállapítható, hogy a vizsgált térség légnyomásának évszakos átlagai és a Száhel évi csapadéka közötti kapcsolat határozott *földrajzi rendszert* követ. Jelentős területeken találunk statisztikailag reális korrelációt mind a pozitív, mind pedig a negatív értékek tartományában (az ábrákon ezeket a területeket csíkozással emeltük ki). Kétségkívül legjellegzetesebb a Száhel nyári esős évszakát *fél évvel megelőző* december – február időszak légnyomásának a kapcsolata *(2. ábra)*. A statisztikailag reális pozitív korreláció területe a déli félgömb szubtrópusi övén keresztül a Csendes-óceán dél-amerikai partvidékétől Dél-Afrikáig húzódik, vagyis a Száhel szárazságokat fél évvel megelőzi a dél-csendes-óceáni és dél-atlanti szubtrópusi anticiklonok gyengébb fejlettsége. A március – május időszak légnyomási korrelációinál is kitűnik a dél-csendes-óceáni szubtrópusi anticiklon hatáskörzetének pozitív kapcsolata, ám ugyanakkor jellegzetes az észak-atlanti szubtrópusi anticiklon térségével fennálló reális negatív kapcsolat is *(3. ábra)*. Az esős évszak (június – augusztus) légnyomásának korrelációi arra utalnak, hogy a Száhel-övezet száraz éveiben megerősödik, csapadékos éveiben pedig gyengül az Atlanti-óceán trópusi területein a 20°N szélesség és az Egyenlítő közötti nyomásgradiens. Afrika egyenlítői övezetében a száraz Száhel-években az átlagosnál alacsonyabb, a csapadékos Száhel-években pedig magasabb légnyomás jellemző *(4. ábra)*.



4. ábra: A légnyomás és a Száhel-öv csapadéka közötti korreláció a július – augusztusi időszakban



5. ábra: Az Atlanti-térség légnyomás anomáliája június – augusztusban a Száhel-övezet aszályos éveiben (csapadék az évi átlag 80%-a alatt)

Az *5. ábrán* azt mutatjuk be, hogy a legszárazabb években, amikor a Száhel-övezet csapadékának területi átlaga a normálérték 80%-a alá esett, mekkora volt a június–augusztus időszak átlagos légnyomási anomáliája. Az anomáliatérkép legjellemzőbb vonása az, hogy Száhel szárazságok esetén az Atlanti-óceán térségének az Egyenlítőtől északra eső körzeteiben pozitív, míg az Atlanti-óceán Egyenlítőtől délre eső területein, mintegy az 50°S szélességig negatív anomália alakul ki. A légnyomásnak ilyen eloszlása azt jelenti, hogy a Száhel-övezet száraz éveiben a nyári hónapokban gyengül az Atlanti-óceán délkeleti passzátja, s ezzel összefüggésben gyengül a Guineai-öböl délnyugati monszunja is.

III. TÁBLÁZAT

Az ITCZ átlagos földrajzi szélessége (°) június–augusztus között a csapadékos (a. oszlop) *és száraz* (b. oszlop) *Száhel-években*

Hónap	Meridián							
	30° W		10° W		10° E		30° E	
	a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
Jún.	3,7	1,8	16,0	13,8	19,3	17,8	16,7	11,3
Júl.	7,3	4,0	20,3	16,0	19,3	19,0	19,0	16,0
Aug.	6,7	6,5	20,3	18,8	20,7	18,0	18,3	12,0

Nagyon jellegzetes a trópusi konvergencia zóna (ITCZ) helyzetének összefüggése a Száhel-öv csapadékával. A tengerszinti légnyomás havi eloszlásának térképei alapján *(Die Witterung im Übersee)* rögzítettük az ITCZ átlagos helyzetét azokra az évekre, amikor a Száhel csapadéka meghaladta a 120%-ot és azokra, amikor 80% alatt maradt. Az 1958–1975 közötti évekre elvégzett vizsgálat eredményeit a 30°W–30°E meridiánok közötti területre a *III. táblázat* tartalmazza. Megállapítható, hogy a csapadékos években az ITCZ nyáron átlagosan mintegy 2–4 meridiánfokkal északabbra található, mint a száraz években, vagyis néhány száz km-es eltolódása már elég ahhoz, hogy a Száhel-övezet csapadékát jelentősen befolyásolja. Kiszámítva a Száhel évi csapadéka és az ITCZ nyári hónapokra vonatkozó átlagos földrajzi szélessége közötti korrelációt, az alábbi értékeket kapjuk:

30°W	10°W	10°E	30°E
0,527	0,700	0,357	0,605

(Az 5%-os valószínűségi szinten reális korrelációk azok, amelyek 0,47-nél nagyobbak).

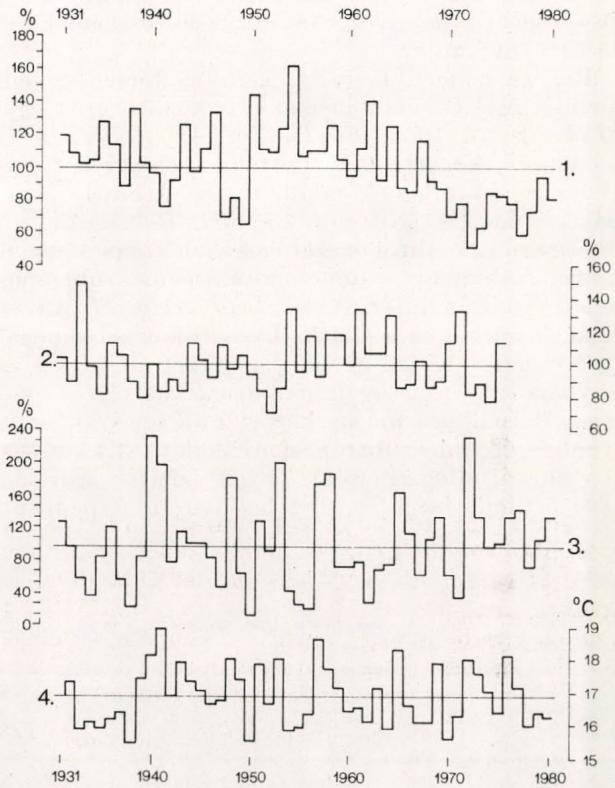
Legszorosabb kapcsolat az ITCZ-nek a Száhel-övezet nyugati része fölött elfoglalt helyzetével mutatkozik, ez ugyanis a leggyakoribb helye az Észak-Afrika fölött kialakuló nyári termikus depresszió központjának. *(Stranz,* 1975).

A Száhel–övezet csapadékának kapcsolata a Föld különböző térségeinek időjárási anomáliáival

Az előzőkben feltárt kapcsolatok arra utalnak, hogy a Száhel-anomáliák összefüggésben állhatnak a Föld más területeinek időjárási anomáliáival is. A Száhel-övezet évi csapadékát (1. adatsor) a következő adatsorokkal korreláltuk: Az indiai monszunterület 5 állomás (Veraval, New Delhi, Nagpur, Visakhapatnam, Calcutta) alapján számított évi átlagos csapadéka (2. adatsor), A Csendes-óceán egyenlítői övezetének évi csapadéka Óceán-sziget adatai

alapján (3. adatsor), a Csendes-óceán partvidékének évi átlagos felszíni vízhőmérséklete Puerto Chicama adatai alapján (4. adatsor).

Az adatokat a *6. ábra* tünteti fel, az adatsorok közötti kölcsönös korrelációkat a *IV. táblázat* tartalmazza. Megállapítható, hogy az adatsorok többsége között statisztikailag reális kapcsolat található. *A Száhel-övezet csapadéka negatív korrelációban áll a Csendes-óceán egyenlítői övezetének csapadékával és a Perui-áramlat hatáskörzetének vízhőmérsékletével.* Ez azt jelenti, hogy a csapa-



6. ábra: Évi csapadék-, ill. vízhőmérsékleti anomáliák a Föld különböző pontjain: 1. Száhel-övezet; 2. öt indiai állomás; 3. Óceán sziget; 4. perui partvidék (vízhőmérséklet)

dékos „El Nino" évek, amikor az egyenlítői hidegvízfeltörés elmaradása miatt a tenger felszíne az átlagosnál melegebb, többé-kevésbé egybeesnek a Száhel száraz éveivel, míg az egyenlítői pacifikus területek szűkös csapadéka idején a Szahel átlag fölötti csapadékban részesül. A 6. ábráról leolvasható néhány ilyen jellegzetes egybeesés. Így például 1931—1980 között a következő kiemelkedően csapadékos *„El Nino"* években lépett fel Szahel-szárazság:

IV. TÁBLÁZAT

A 6. ábrán feltüntetett adatsorok közötti korrelációs együtthatók

Adatsor	1	2	3	4
1	1,000	0,141	−0,325	−0,340
2		1,000	−0,370	−0,409
3			1,000	0,793
4				1,000

Az 5%-os valószínűségi szinten reális korrelációk azok, amelyek abszolút értékben 0,27-nél nagyobbak.

1941, 1948, 1965, 1972, 1977. Érdemes kiemelni, hogy az egyik legcsapadékosabb „El Nino" év (1972) volt a Szahel-aszály legsúlyosabb éve. Az ellenkező szélsőségek (szárazság a Csendes-óceán egyenlítői övezetében, átlagosnál jóval több csapadék a Szahel-ben) összeesésének legjellemzőbb példái 1938, 1950, 1954 és 1962. A két trópusi terület csapadékjárásának ellentétes alakulását további adatokkal is megvilágíthatjuk. Kiszámítva a Szahel átlagos évi csapadékát azokra az évekre, amikor Ocean-sziget évi csapadéka az 50 évi törzsérték 130%-ánál több, illetve 60%-ánál kevesebb volt, az adódik, hogy első esetben az övezet a normális csapadék 86,5%-át, utóbbiban viszont 113,1%-át kapta.

Régóta ismert, hogy a pacifikus térség egyenlítői szakaszának csapadékmennyisége és vízhőmérséklete között erős egyértelmű kapcsolat áll fenn *(Doberitz, R.* 1969, *Bjerknes, J.* 1969, *Péczely, G.* 1978), amelyet a 3. és 4. adatsorok közötti 0,793 értékű korrelációs együttható újfent alátámaszt. Hasonló összefüggés található az Atlanti-óceán trópusi térségében Angola partvidékén is *(Silveira, M. M.*, 1969). Az is kimutatható, hogy a Csendes-óceán egyenlítői övezetének vízhőmérséklete, illetve csapadéka erős negatív korrelációban áll a dél-csendes-óceáni szubtrópusi öv légnyomásával, a délkeleti passzát intenzitásával *(Péczely, G.* 1978). A *2. és 3. ábrák* izokorrelációs görbéi kapcsolatba hozhatók ezzel a megállapítással, tekintve a Szahel és a csendes-óceáni egyenlítői övezet ellentétes csapadékeloszlását. Arról van ugyanis szó, hogy a vizsgált pacifikus térség évi csapadékának a legnagyobb része december – május között hull le, s akkor esik sok csapadék, ha a délcsendes óceáni szubtrópusi öv fejlett. Ekkor viszont, mint pl. a 2. ábráról is látható, elfogadhatóan magas pozitív korreláció van az említett szubtrópusi öv fejlettsége és a Szahel-övezet csapadéka között.

IRODALOM

Bjerknes, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the Equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, Vol. 97. No. 3.

Doberitz, R., 1969: Cross spectrum analysis of rainfall and sea temperature at the equatorial Pacific Ocean: a contribution to the "El Niño" phenomenon. Bonner Met. Abhandlungen. Bonn, No. 8.

Péczely Gy., 1978: Fluctuation of Precipitation in the Tropical Zone on the Pacific *Időjárás, 82.* No. 1.

Silveria, M. M., 1969: Pesquisa duma relação a variação anual da temperatura da aqua do mar na costa de Angola e a variação anual da precipitação no litoral e noutras regiões do territorio mais distantes do oceano. Serviço Meteorologico de Angola, Luanda.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 4. szám, 1984. július-augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 4. July-August, 1984. Budapest

Features of sunshine duration in Croatia determined by means of distribution functions

PENZAR, I. and PENZAR, B., *Geophysical Institute, Faculty of Science, Zagreb, Yugoslavia*

A napfénytartamnak az eloszlásfüggvény segítségével meghatározott jellemzői Horvátországban. A szerzők példát mutatnak be a valószínűségi és a kumulatív eloszlásfüggvény használatára a relatív napfénytartam éghajlati analízisében. A sűrűségfüggvény első momentumaiból, mediánjaiból és kvartiliseiből hasonlóságokat és különbözőségeket állapítanak meg a szárazföld belseje és a partvidék között; s ugyanúgy Horvátország alpi és síkvidéki része között. A régiók közötti különbségek, amelyek hónapról hónapra változnak a domborzatnak és a földfelszín anyagi minőségének, valamint a közép- és dél-európai ciklonpályák évi változásának és gyakoriságának tulajdoníthatók.

⁂

Features of sunshine duration in Croatia determined by means of distribution functions. The paper presents an example of using the probability density functions and the cumulative distribution functions in climatic analysis of relative sunshine duration. From the density function forms, their first moments, medians and quartiles, similarities and differences of the insolation regime between the inland and the coast as well as between the Alpine and the Pannonian parts of Croatia have been established. The differences regarding the respective regions and the month-to-month changes can be attributed to the unequal form and composition of the Earth's surface and to the annual changes of the cyclonic paths and their frequencies in Central and South Europe.

⁂

1. Background

The second degree polynomials

$$f(x) = A + Bx + Cx^2 \quad , \qquad 0 \leq x \leq 100$$
$$f(x) = 0, \qquad x < 0,\ x > 100 \qquad (1)$$

which satisfy the conditions

$$f(x)^{\cdot} = \frac{dF(x)}{dx} \geq 0, \qquad 0 \leq x \leq 100$$

$$F(0) = 0; \qquad F(100) = 1 \qquad (2$$

have been successfully used to describe the frequency distributions of relative sunshine duration in Croatia. Here x is the relative sunshine duration in percent, $f(x)$ is the probability density function, and $F(x)$ is the cumulative distribution function representing the probability of relative sunshine duration which is smaller than x. The goodness of fit between the theoretical and the corresponding empirical distribution has been confirmed by the Kolmogorov test for 46 samples at significance level 0.05 and for the remaining two (Zagreb in September and December) only at significance level 0.01 (*Penzar* and *Penzar*, 1983 b, 1984).

In very few cases even better fit was attained when instead of (1) the form (3) was used.

$$f(x) = D + Ex + Fx^2 + Gx^3, \quad 0 \leq x \leq 100 \qquad (3)$$
$$f(x) = 0, \qquad x < 0, \; x > 100$$

Some important details of the sunshine regime, which the parabola (1) was not able to show, could be reproduced in such a way.

In this study the features of relative sunshine duration are derived from the probability density functions $f(x)$ and their cumulative distribution functions $F(x)$.

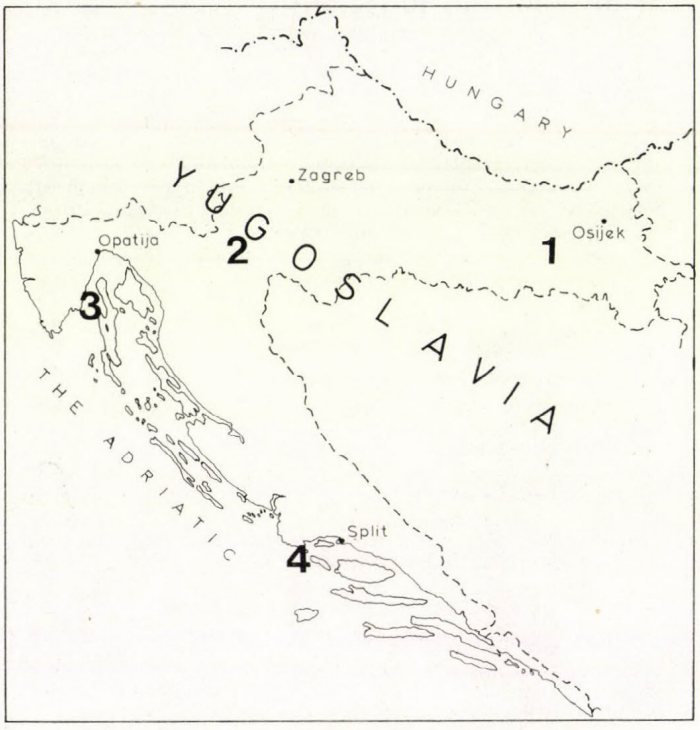


Fig. 1: Location of the meteorological stations used to represent the sunshine conditions in the four parts of Croatia

2. Data

The input data were the daily relative sunshine durations in the last 25 or 30 years for the four places in Croatia representing the meteorological conditions in the east continental and level part, the west continental and mountainous part, the north coastal, and the south coastal part *(Fig. 1)*. The places and the observing periods were

Place	Latitude	Longitude	Period
Osijek	45°33'	18°42'	1958 – 1982
Zagreb	45°49'	15°59'	1951 – 1980
Opatija	45°20'	14°19'	1953 – 1982
Split	43°30'	16°27'	1946 – 1975

The distribution functions were determined for each month of a year. Since the results are derived from the long periods, they show the recent climatic characteristics of the relative sunshine duration.

3. *Discussion of results*

Shapes of probability density functions. Four shapes of the density functions appear. The examples can be seen in *Fig. 2*, and the corresponding cumulative distributions in *Fig. 3*. The shapes *a* and *c* are prevailing. They may be considered as modifications of the symmetrical, bimodal U- distri-

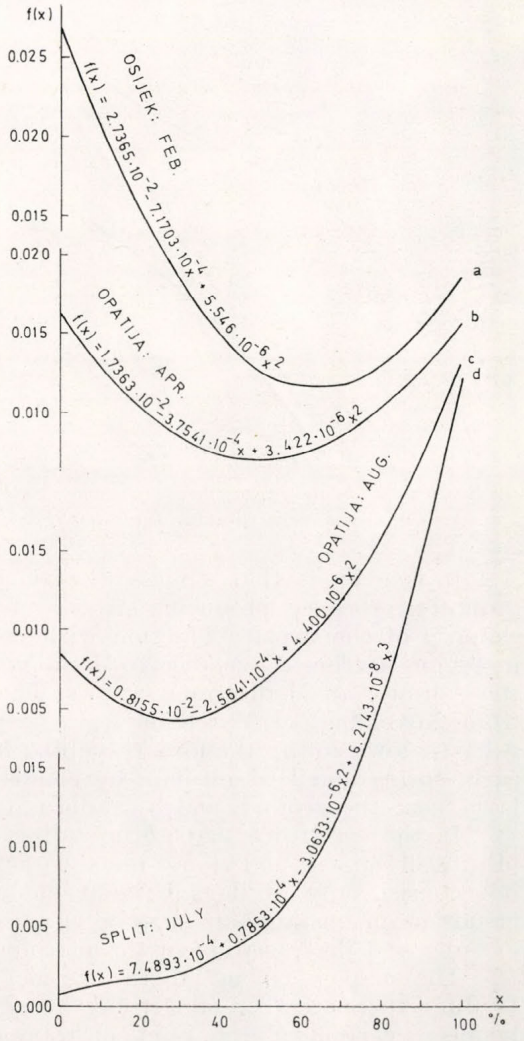


Fig. 2: The four shapes of the probability density functions f(x)

bution (shape *b)*, which rarely appears. All the three shapes *a*, *b*, and *c* are parts of the parabolas expressed by (1). They show the larger probabilities for the border classes of x than for the ones near the middle of the interval for x. But the rarest shape *d* is a third degree polynomial (3) indicating an increase of the probabilities in classes from the left to the right end of the interval for x. In a course of a year the shape of the distribution gradually changes from month to month.

In order to facilitate the discussion of bimodal density functions we may divide the days according to the relative sunshine duration into three groups. The days with some small value of x will be called sunless days. The days represented by a large x- value will be named sunny days, and the ones with relative sunshine duration about the middle of the interval (0, 100) semisunny days.

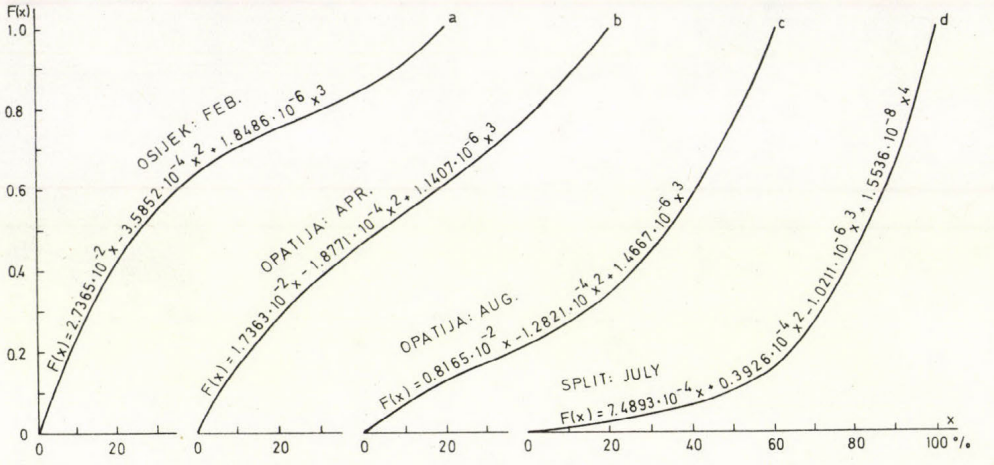


Fig. 3: Cumulative distribution functions $F(x)$ corresponding to the densities in Fig. 2

It is evident that sunless days may appear as a result of frontal or radiation processes producing stratiform clouds or fog of long duration. The shape *a* of the density function with prevailing sunless days can be found in region 4 from November to January, when the region is influenced by the Adriatic an Mediterranean lows. The same shape in regions 1, 2, and 3 from November to March or April is produced by frontal clouds in the Adriatic lows and in the lows travelling from the Adriatic to the continent in early spring and late autumn, by clouds of warm advection over a cold air layer near the ground, and by radiation fogs.

In the transitory shape *b* preceding or following the *a* shape the probabilities of sunless and sunny days are equal. The group of sunny days does not consist only of days without clouds and fog. Uncompact convective clouds in an unstable air mass or clear skies with radiation fog rising in the evening and disappearing in the morning may produce sunny days as well.

The shape *c* belongs to the warmer part of a year. It exists from May or June to September or October everywhere except in region 4, where it begins as early as March. Summer approaching, the conditions for the formation of fog become more and more unfavourable. Hence the secondary mode on the left hand side of the distribution weakens. In June and July it entirely disappears in the southern mo stregion where the distribution transforms into the shape *d*.

None of the density functions has the mode near the middle of the interval for x, in the group of semisunny days. Such days may be expected above all in the vicinity of cold fronts and when the radiation fog or clouds are temporarily destroyed by the daily warming or by the wind.

The first moment. The mean of distribution, differing strongly from the mode, is a value which does not occur frequently. Nevertheless, the first moment

$$\mu = \int_{0}^{100} 100\ x f(x)\, dx \tag{4}$$

is an important parameter defining the location of the distribution. The centre of mass of the material surface bounded by the curve $f(x)$ and the x- axes has the abscissa equal to the first moment μ. The first information on the climate regarding sunshine can be obtained from this moment. The larger the first moment, the sunnier the climate.

TABLE I.

Annual course of the first moment

Month	Osijek	Zagreb	Opatija	Split
Jan.	29.8	26.9	42.6	46.7
Feb.	36.5	32.9	44.4	49.3
March	46.1	40.2	44.2	52.3
April	49.9	45.8	47.2	57.1
May	54.2	49.2	54.1	60.4
June	58.0	51.9	56.9	68.1
July	61.6	59.6	66.5	77.6
Aug.	63.8	61.5	65.3	76.6
Sept.	57.2	52.8	58.1	67.9
Oct.	51.8	44.7	52.9	59.9
Nov.	32.9	28.5	42.2	45.6
Dec.	27.0	26.4	38.5	42.7

From *Table I* five important climatic characteristics can be seen.

i. Region 4 gets the most shunshine during the whole year. The combination of several well known factors leads to this characteristic. The region is much less affected by the Genoa lows than the North Adriatic In summer practically no atmospheric disturbances bringing clouds penetrate as far southwards as region 4. Because of the warm sea and windy atmosphere there is no fog which strongly influences the sunshine duration in regions 1 and 2 in winter.

ii. Region 2 gets least sunshine during the whole year. In this hilly and mountainous part of Croatia the conditions for the development of clouds are always more favourable than in the level parts prevailing in region 1.

iii. July and August are the sunniest months.

This is due to the shifting of the general circulation belts "cum Sole", that means northwards in the summer. Hence the cyclonic paths move to North Europe and the border of the subtropical pressure belt reaches the Adriatic. In summer only the cold fronts from the Atlantic cause clouds and rain in Croatia, above all in the northern regions 1 and 2 *(Penzar*, 1971).

iv. December is the least sunny month.

This is due to the strong Mediterranean cyclonic activity. Besides, in the inner regions the effects connected with the cooling of the lower air layer are also present.

v. An especially large change in the annual course of the first moment takes place from October to November, when the autumn high, recently often to be found over Central and South Europe, disappears. November is the

TABLE II.

Departures of the first moment from the empirical mean

Month	Osijek	Zagreb	Opatija	Split
Jan.	5.9	6.4	5.8	2.9
Feb.	3.6	4.3	4.0	3.5
March	3.3	2.7	3.8	6.1
April	2.1	1.2	2.1	2.6
May	2.1	0.5	1.4	1.8
June	1.5	−1.1	1.2	1.4
July	0.4	0.1	0.7	2.5
Aug.	2.0	0.1	1.2	0.8
Sept.	0.3	−2.3	1.8	4.5
Oct.	1.8	1.7	2.3	5.1
Nov.	5.1	5.4	3.7	2.8
Dec.	5.9	8.0	3.7	3.7

month with main or secondary maximum in the annual course of precipitation in Croatia.

Table II. shows that the differences between the first moment and the empirical mean are not large.

Median and quartiles. The median v, the lower quartile q_L and the upper quartile q_U determined according to formulae

$$F(v)=0.5;\ F(q_L)=0.25;\ F(q_U)=0.75 \tag{5}$$

are presented in *Fig. 4–6.* In the distribution of form *a* the median is situated on the left hand side, and in the distributions of form *c* and *d* on the right hand side of the first moment. As another location parameter it shows all the above characteristics of the insolation features.

For the part of a year when the fog is insignificant we shall closely watch the effect of the annual shifting of the cyclonic paths upon the median and the quartiles.

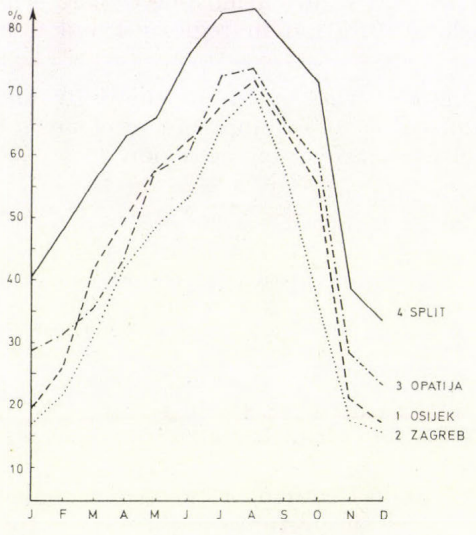


Fig. 4: Annual course of the median

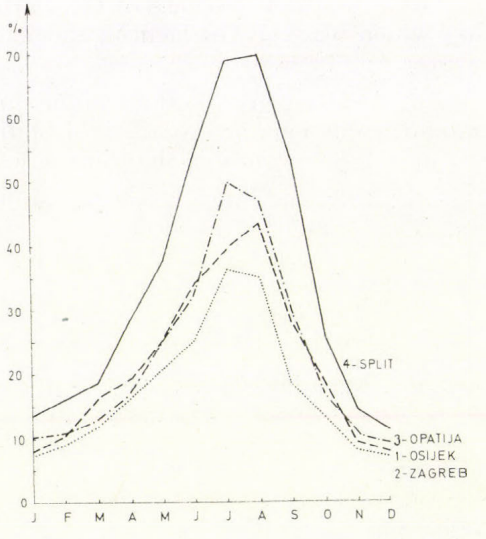


Fig. 5: Annual course of the lower quartile q_L

It is known that in March the cyclonic activity in the Gulf of Genoa is rather strong. Its influence can be seen as a decrease of insolation on the curves for the North Adriatic (region 3) in *Fig. 4–6*. There is a particularly strong decrease in the upper quartile, that means in the number of sunny days. In April and May many Mediterranean cyclones take direction to the continent, which becomes warmer and warmer. They often pass over the North Adriatic, the western part of Croatia and Hungary. All the three Figures show the strong decrease in regions 3 and 2. Region 4 is obviously more influenced by atmospheric disturbances in May than in April. In region 1 only the lower quartile seems to be diminished, i. e. the number of sunless days is increased.

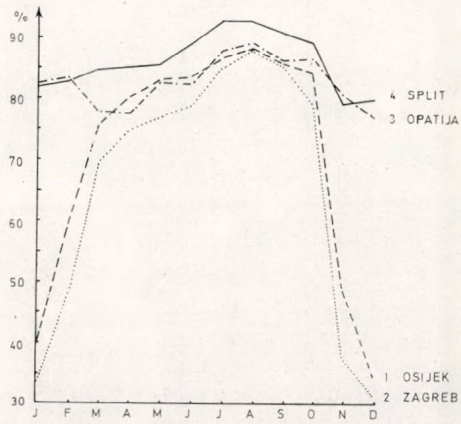


Fig. 6: Annual course of the upper quartile q_U

In June the cyclonic activity on the Mediterranean ceases. The lows often pass over the Central Europe travelling eastwards from the Atlantic. Besides, the number of fresh air invasions from the Atlantic into the Central Europe is increased. Region 4 is not influenced by such weather disturbances but the other parts of Croatia are (Fig. 4–6).

Finally, in July the lows paths are displaced even more northwards. The Adriatic is protected from the cold fronts which cause the lack of sunshine in regions 1 and 2, by the Alps and the Dinaric Mountains. The number of sunless days is increased in eastern Croatia (Osijek, Fig. 5).

Some irregularities can be seen on the descending parts of the curves for the median and quartiles in September. The medians are evidently too low in regions 3, 1, and 2, with regard to the adjoining months and to region 4. The same is valid for the lower quartile in regions 3 and 2, as well as for the upper one in region 3. The conclusion can be drawn that in the time when the belt of planetary long waves returning southwards reaches South Europe again, weather disturbances act upon the North Adriatic and the western part stronger than upon the other parts of Croatia.

The largest ten percent interval. Among all intervals (a, b) in which the variate x can be expected with the probability 0.1, the most interesting is the largest one. The largest ten percent interval contains daily relative sunshine durations that occur rarely. Its location and width may be important in heliotechnics.

The limits a and b can be easily determined from the equations

$$F(b)-F(a)=0.1\,; \qquad t-a=t-b \tag{6}$$

t beeing the abscissa of the minimum of $f(x)$.

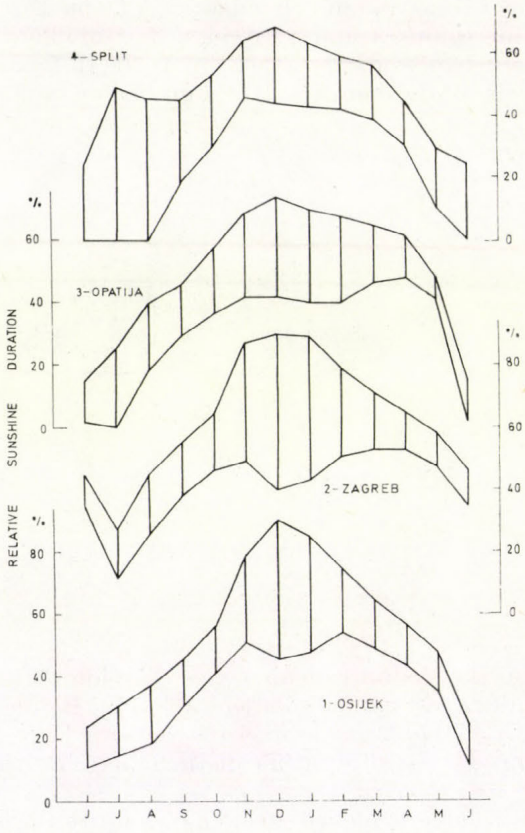


Fig. 7: Upper and lower limit of the largest 10 percent interval for relative sunshine duration

If (6) implies $a<0$ or $b>100$, the equations (7) or (8), respectively, are to be used instead.

$$a=0\,; \qquad F(b)=0.1 \tag{7}$$

$$1-F(a)=0.1\,; \qquad b=100 \tag{8}$$

The wide interval beginning at the small values of relative sunshine duration indicates the favourable conditions for insolation. But the conditions are unfavourable when the wide interval covers the large sunshine duration values. July in region 4 and December in region 2 appear as the extreme cases having the largest ten percent interval as wide as the half of the range for relative sunshine duration ($0-49\%$ and $40-90\%$, respectively). The interval is rather narrow in the spring months when the density functions have a minimum at x somewhat under 50% *(Fig. 7)*.

4. Conclusion

This analysis of the distribution functions and the former researches of the annual courses of cloudiness *(Goldberg,* 1931) and precipitation *(Penzar* and *Penzar,* 1980, 1981, 1983 a) supplement one another. The location and the causes of the precipitation extremes may be connected now with the character of cloudiness, which is deducible from the relative sunshine duration. Regarding these two climatic elements let us mention only three facts here:

– the minimum of precipitation and the maximum of relative sunshine duration coincide only in the Adriatic in summer,

– an increase in precipitation amounts and a diminished increase in relative sunshine duration occur together in the spring months,

– during the secondary minimum of precipitation in northern Croatia in early autumn no increase of relative sunshine duration can be observed.

REFERENCES

Goldberg, J., 1931: Jährliche und tägliche Periode der Bewölkung in Zagreb. *Bull. internat. Académie Yougoslave des sciences et des beaux-arts, Cl. des sc. math. et nat. 25*, 1 – 19.

Penzar, B., 1971: Pression et courants atmosphériques au-dessus de l'Adriatique et de la partie voisine du continent pendant l'été. *Időjárás 75*, 8 – 14.

Penzar, B. and *Penzar, I.*, 1980, 1981: O položaju i uzrocima ekstrema u godišnjem hodu oborine u Hrvatskoj, I, II. (On the position and the causes of the extremes in the annual course of precipitation in Croatia, Part I, II.) *Geografski glasnik* (Bull. de géographie) *41/42*, 27 – 48;, *43*, 27 – 49.

Penzar, B. and *Penzar, I.*, 1983 a: Prikaz godišnjeg hoda oborine u Hrvatskoj pomoću Köppenove sheme. (Types of annual precipitation courses in Croatia based on Köppen scheme). *Radovi* (Transaction, Dept. of Geography, Faculty of Science, Zagreb) *17/18*, 3 – 9.

Penzar, I. and *Penzar, B.*, 1983 b: O mogučnosti sijanja sunca u Splitu i u Zagrebu. (On the possibility of sunshine duration at Split and Zagreb.) *Sunčeva energija 4*, 63 – 67.

Penzar, B. and *Penzar, I.*, 1984: Distribution of daily relative sunshine duration in Croatia. Manuscript.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 4. szám, 1984. július – augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 4. July – August, 1984. Budapest

Estimation of atmospheric budget of nitrogen compounds over Czechoslovakia

ZÁVODSKÝ, D. *and* MITOŠINKOVÁ, M., *Slovak Hydrometeorological Institute, 833 15 Bratislava, Czechoslovakia*

A nitrogénvegyületek légköri mérlege Csehszlovákia fölött. A szerzők csehszlovák statisztikus adatok és elfogadott emissziós tényezők alapján meghatározzák a nitrogén vegyületek természetes és mesterséges forrásokból származó emisszióját. A száraz és nedves ülepedést mért adatok alapján számítják ki. A végzett számítások szerint az 1981-es csehszlovák NO_x-N emisszió 155 – 410 GgN/év-vel, míg NH_x-N emisszió 105 – 186 Gg/N év-vel egyenlő. Mindkét vegyületcsoport esetén a természetes források a teljes emisszió kevesebb, mint 10%-át szolgáltatják. A száraz és nedves ülepedés együttes összege Csehszlovákiában 1981-ben 189 – 355 Gg NO_x-N/év, illetve 145 – 178 Gg NH_x-N/év volt. A forrásokkal az ülepedés így lényegében egyensúlyban van. A szerzők végül megbecslik a nitrogén-oxidok 9 kelet-európai ország közötti nagyléptékű terjedését. Ehhez olyan egyszerű trajektória modellt használnak, amelyben figyelembe vehető a kémiai átalakulások és az ülepedés hatása. A számítások eredményei Csehszlovákia esetén jó egyezésben vannak a mérleg-egyenlet alapján meghatározott értékekkel.

✳

Estimation of atmospheric budget of nitrogen compounds over Czechoslovakia. The emissions of nitrogen compounds from natural and anthropogenic sources are estimated on the basis of Czechoslovak statistical data from the year 1981 and generally accepted emission factors. The wet and dry deposition of nitrogen compounds are determined by the use of empirical data. According to the estimation presented the total NO_x-N emission over Czechoslovakia in 1981 is equal to 155 – 410 Gg N yr^{-1}, while the corresponding figure for NH_x-N is 105 – 186 Gg N yr^{-1}. In both cases natural sources emit less than 10% of the total emission. The sum of dry and wet deposition in Czechoslovakia for the year 1981 is estimated to be 189 – 355 Gg N yr^{-1} for NO_x-N, while it is equal to 145 – 178 Gg N yr^{-1} for NH_x-N. It is found that the Czechoslovak sources of N compounds are practically balanced by wet and dry deposition. The estimation of long range transport and deposition of nitrogen oxides among 9 central European countries is presented by using a simple trajectory model with constant transformation and deposition rates. The results of preliminary calculations for Czechoslovakia agree reasonably well with the mass balance estimation.

✳

1. Introduction. During the last few years there has been a growing realization that the emission of SO_2 is not the only important cause of acid precipitation but that nitrogen oxides also play a very significant role. The relative contribution of nitrate to the overall acidification in the central parts of Europe is at least 30%. Many authors have noted very rapid increase of the nitrate concentration in precipitation during the last 20 years. These facts document the increasing effect of man-made sources on the atmospheric nitrogen cycle mainly on regional and continental scale.

The global atmospheric budget of nitrogen compounds was discussed by *Robinson* and *Robbins* (1972), *Söderlund* and *Svensson* (1976) and *Böttger* et al. (1978). The study of man-made effects on N cycle is of particular interest

for smaller parts of the Earth's surface, where anthropogenic sources are concentrated. Thus, *Söderlund* (1977) investigated the atmospheric mass balance of nitrogen compounds over NW Europe and *Bónis* et al. (1980) for the whole Europe. They found that human activities over the mentioned areas are responsible for the dominant part of total fluxes. Recently *Bónis* (1981) estimated the budget of nitrogen comopunds over Hungary. She concluded that that the sources of nitrogen compounds over Hungary are practically balanced by the sinks.

The goal of the present paper is to estimate the magnitude of long range transport of nitrogen compounds in relation to the territory of Czechoslovakia for the year 1981. Two methods were selected: a mass balance of sources and sinks in the same manner as it was made for Hungary by *Bónis* (1981) and the calculation of transport of nitrogen compounds by using a simple trajectory model on the basis of emission inventory and meteorological data.

2. *Mass balance of nitrogen compounds over Czechoslovakia*

The emission of nitrogen compounds (NO_x, NH_x) into the atmosphere over Czechoslovakia was roughly estimated from the official Czechoslovak statistical data for the year 1981 (*Štatistická ročenka ČSSR*, 1982) and emission factors proposed by *Söderlund* (1977), *Böttger* et al. (1978), *Bónis* et al. (1980) and *Semb* and *Amble* (1981). Natural sources of NO_x (lightning, soil exhalation and partly NH_3 oxidation) were estimated using the figures of *Böttger* et al. (1978) and taking into account the geographical location of Czechoslovakia. The magnitude of the emission factor for the nitric acid production was assumed $0.05-8.5$ g NO_x-N/kg HNO_3 (*Bónis* et al., 1980). The fertilizer production NO_x-N was calculated assuming that 1% of the mass of fertilizer used is emitted into the air (*Böttger* et al., 1978). The emission due to aviation was estimated using the same procedure as *Söderlund* (1977).

Bónis (1981) estimated NH_x emission rates for Hungary on the basis of available published information. The corresponding data for Czechoslovakia were obtained in the same way with respect to the local conditions. The contribution of wild animals to the NH_3 production was neglected.

The results are summarized in *Tables I – V*. As one could expect, the predominant source of NO_x is the combustion of fuels. However, many of the deposits of brown coal contain large amounts of water. Since the coal is usually

TABLE I.

The Czechoslovak NO_x-N emission from the combustion of fuels in 1981

Fuels	Amount $\times 10^6$ t yr^{-1}	Emission factor g NO_x-N kg^{-1}	Emission Gg N yr^{-1}
Hard coal	14	0.9 – 2.8	12.6 – 39.2
Brown coal/lignite	90	0.9 – 2.8	81.0 – 252.0
Oil	6	1.5 – 3.0	9.0 – 18.0
Wood	0.8	0.15 – 1.5	0.1 – 1.2
Natural gas*	7	0.6 – 3.0	4.2 – 21.0
Steel manufacturing	9.9	0.1 – 0.6	1.0 – 5.9
		Total	107,9 — 337.3

* The amount of natural gas and the emission factor is expressed in 10^9 m^3 yr^{-1} and g NO_x-N m^{-3}, respectively

not allowed to dry before being processed, it would tend to lower the combustion temperature. Hence, the true NO_x emissions from this source by *Söderlund* (1977) are probably in the lower part of the given range. Natural sources of NO_x represent only a negligible part of the total budget.

Like as for NO_x, in the case of NH_x compounds anthropogenic sources are dominant. Natural production is less than 10% of the total emission rates.

TABLE II.

The Czechoslovak NO_x—N emission from the automobile traffic in 1981 (By assuming that cars run 15—20 thousand km yr^{-1})

Vehicles	Number of vehicles $\times 10^3$	Emission factor g NO_X—N km^{-1}	Emission Gg N yr^{-1}
Cars	2500	0.9	33.7—45.0
Others (lorries, busses, tractors, ...)	300	1.2	5.4— 7.2
		Total	39.1—52.2

TABLE III.

Natural and anthropogenic NO_X sources and emission rates in Czechoslovakia in 1981

NO_xsources	Emission rates Gg N yr^{-1}
Natural	
Lightning	2.5— 5.5
Soil exhalation	0.6
	Sum: 3.1— 6.1
Anthropogenic	
Fuel combustion	107.9—337.3
Automobile traffic	39.1— 52.2
Nitric acid production	0.1— 10.2
Fertilizer production and use	6.4
Aviation	0.35
	Sum: 153.9—406.5
NH_3 oxidation	0.8— 3.5
	Total: 154.7—410.0

TABLE IV.

NH_3-N emission by different domestic animals in Czechoslovakia in 1981

Domestic animals	Number $\times 10^6$	Emission factor kg NH_3-N yr^{-1}	Emission Gg N yr^{-1}
Cattle	3.60	18.6—27.4	67.0— 98.6
Pigs	7.30	2.2— 3.3	16.7— 25.1
Sheep	0.96	2.2— 4.4	2.1— 4.2
Horses	0.04	7.7—13.1	0.3— 0.5
		Total	86.1—128.4

Characteristic concentrations given in *Table VI* for Czechoslovak rural conditions were estimated on the base of preliminary results from NO_x measurements from 6 background stations in Czechoslovakia. NO_3 and NO_x were determined with the guajacol method and triethanolamine method, respectively. Concentrations of gaseous and particulate nitrate and ammonium compounds were estimated according to field measurements in Danube lowlands by using two filters method and denuder technics, respectively. On the other hand dry deposition velocity data tabulated were taken from the appropriate literature (see e. g. *Bónis* et al., 1980).

Table VI shows the estimation of annual dry deposition of nitrogen compounds in Czechoslovakia. The range of the concentrations of nitrogen compounds given in the table was selected as representative for Czechoslovak rural conditions. Because of very limited empirical data, especially measurements of gaseous nitrate and ammonium compounds, the uncertainty of given values is large.

The physical state of nitrate as well as ammonia compounds is of great importance for the sink processes, the gaseous forms being much more readily deposited than the particulate. Moreover, the deposition processes of nitrogen compounds are not well understood and need further refinement. Deposition velocities of nitrogen compounds reported in this paper were taken from the lit-

TABLE V.

Natural and anthropogenic NH_X sources and emission rates in Czechoslovakia in 1981

NH_X sources	Emission rates Gg N yr^{-1}
Natural	
Soil exhalation	1.1 – 22.4
Anthropogenic	
Domestic animals	86.1 – 128.4
Fertilizer production	16.1 – 32.2
Automobile traffic	1.1 – 1.9
Coal combustion	0.6 – 1.3
Oxidation of NH_3	–(0.8 – 3.5)
	Total: 104.2 – 182.7

TABLE VI.

Annual dry deposition of N-compounds in Czechoslovakia for the year 1981

Compounds	Concentration μg N m^{-3}	Deposition velocity cm s^{-1}	Deposition Gg N yr^{-1}
NO_X	3.0 – 5.0	0.6	72.7 – 121.1
NO_3 particulate	0.5 – 1.0	0.03 – 0.3	0.6 – 12.1
HNO_3 gas	0.5 – 1.5	0.8	16.1 – 48.4
NH_3	1.5 – 3.0	0.5	30.2 – 60.5
NH_4	2.5 – 4.0	0.04	4.0 – 6.5
Initial deposition (5 – 20% of NO_2 emission)			7.7 – 81.3
		Total:	131.3 – 329.9

erature (*Söderlund*, 1977; *Böttger* et al., 1978; *Bónis* et al., 1980). The deposition rate of nitric acid was assumed to be the same as for sulphur dioxide.

Unlike other authors the initial deposition of NO_x was included in the mass balance calculation. The magnitude of this quantity was assumed to be between 5 – 20% of the anthropogenic NO_2 emission. The initial deposition represents the deposition of nitrogen compounds in the proximity of industrial areas and towns, where parameters for the rural conditions cannot be applied. The correct estimation of this quantity is of course very problematical.

The wet deposition of nitrogen compounds on the territory of Czechoslovakia was estimated using precipitation chemistry measurements. Results from 6 Czechoslovak background stations (including 2 BAPMoN stations) were included into the calculations. All samples were analysed in one laboratory wich regulary takes part in WMO intercomparisons.

TABLE VII.

The balance sheet for NO_x and NH_x compounds for Czechoslovakia in 1981 in Gg N yr^{-1}

	NO_x–N	NH_x–N
Emission		
Natural	3.1 – 6.1	1.1 – 22.4
Anthropogenic	153.9 – 406.5	103.9 – 163.8
NH_3 oxidation	0.8 – 3.5	– (0.8 – 3.5)
Sum:	154.7 – 410.0	104.2 – 182.7
Deposition		
Dry deposition	89.4 – 181.6	34.2 – 67.0
Wet deposition	92.2	110.6
Initial deposition	7.7 – 81.3	–
Sum:	189.3 – 355.1	144.8 – 177.6

In *Table VII* the balance sheet for NO_x and NH_x compounds for Czechoslovakia is presented. Considering the average values of the intervals as representative, one could conclude, that the Czechoslovak sources of nitrogen compounds are practically balanced by wet and dry deposition. Because of uncertainties associated with all the emission and deposition terms, improved techniques and much more extensive data are needed to confirm this preliminary conclusion.

3. Model estimation of regional transport and deposition of nitrogen oxides in Central Europe

NO is produced mainly by the combustion of fuels. NO is further oxidized to NO_2 in exhaust gas and in the atmosphere. The fate of NO_2 on regional scale is not well known, but it is likely that a major portion of NO_2 is converted into nitrate and then removed from the atmosphere. This process is similar to the conversion of SO_2 to sulphate. However, whereas almost the entire mass of atmospheric sulphate is in particulate form, it may be supposed that nitric acid and perhaps other nitrates exist primarily as gases in the atmosphere

(*Okita* et al., 1976; *Forrest* et al., 1982; *Stelson* et al., 1982). Because of the relatively rapid reaction of NO_2 with OH radical, the formation of HNO_3 takes place significantly faster than the formation of H_2SO_4. Provided that the precipitation scavenging of these two compounds is not too different one would expect that nitrate in precipitation is of more local origin than sulphate (*Rodhe* et al., 1979).

The estimation of long range transport and deposition of nitrogen oxides among 9 Central European countries was made using a trajectory transport model with the simple parameterization of chemical transformation and deposition processes. For this purpose the transport model elaborated for SO_2 (*Závodský* and *Pukančíková*, 1983) was adopted. The simple chemical scheme $NO_x \rightarrow HNO_3$ (gas) $\rightarrow NO_3$ (particulate) and constant transformation rates with no feedback mechanisms were assumed. A network (24×24 squares)

TABLE VIII.

Estimated country – by – country NO_x-N budget among selected Central European countries in 1981 (total – wet + dry deposition NO_x-N in Gg N yr^{-1})

Emitter countries	Receiver countries										
	Austria	Czechoslovakia	GDR	FRG	Hungary	Poland	Romania	UdSSR*	Yugoslavia	SUM	Q**
Austria	14	3	<1	1	4	1	2	1	6	33	44
Czechoslovakia	10	110	10	4	22	28	20	10	21	244	304
GDR	15	52	127	14	18	48	12	15	19	320	406
FRG	20	18	22	160	9	14	5	5	20	273	365
Hungary	2	8	<1	<1	50	5	21	11	14	113	152
Poland	1	18	2	<1	10	127	21	40	7	227	304
Romania	<1	1	<1	<1	3	2	82	19	3	113	203
UdSSR*	<1	<1	<1	<1	<1	3	6	137	<1	152	304
Yugoslavia	5	3	<1	2	12	2	20	7	132	184	299
SUM	69	214	166	185	129	230	189	254	223	1659	.

* UdSSR west part within grid (690 000 km²)

** Q – emission of NO_x-N in 10^3 tonnes per year (NO_2 emission = one third of SO_2 emission by ECE inventory)

with 75 km grid distance was applied. The input NO_x emission data used in the calculation were obtained by the interpolation of the ECE sulphur dioxide data (*Dovland* and *Saltbones*, 1978), assuming that NO_x emission makes one third of SO_2 emission in each square. Initial deposition of nitrogen compounds as well as wet deposition rates were assumed to be at the same level as for sulphur compounds. In agreement with *Eliassen* et al. (1982) the deposition velocity of nitric acid was assumed 1 cm s^{-1}. The assumption of constant ratio 1:1 between gaseous and particulate nitrate was accepted. Trajectories were computed on the basis of 850 mb wind data. Trajectories started from the centre of each square at 00 and 12 GMT. Precipitation rates used in the calculations were taken as daily means for 300×300 km squares. Model parameters values:

Dry deposition velocity NO_x	0.6 cm s^{-1}
HNO_3 (gas)	1.0 cm s^{-1}
NO_3 (particulate)	0.1 cm s^{-1}
Transformation rate $NO_x \rightarrow HNO_3$	7.0 % h^{-1}
Ratio HNO_3/NO_3	1:1
Wet deposition rate NO_x, HNO_3	0.216 I h^{-1}
NO_3 (particulate)	0.07 I h^{-1}
(I – precipitation rate mm h^{-1})	
Initial deposition	20%
Mixing height	1,000 m

Table VIII contains the results of model estimated country – by – country NO_x-N budget among 9 Central European countries for the year 1981. From the data given in the table one can conclude that for example about 40% of Czechoslovak emission is deposited on its own territory, another 40% is deposited on the territories of selected countries and the remaining 20% is deposited outside the grid. The outflow from the Czechoslovak territory is a little higher than the total deposition in Czechoslovakia resulting from inflow from all the selected Central European countries.

Long range transport of nitrogen oxides is a complex process, which cannot be approximated sufficiently by using a simple transport model. Oxides of nitrogen are photochemically very active. They play a significant role in the atmospheric production of radicals and oxidants. Thus nitrogen oxides indirectly affect the transformation rate of other atmospheric pollutants such as SO_2 and hydrocarbons. Only more sophisticated models incorporating the appropriate chemical kinetics with feedback mechanisms would improve the correlation between computed and observed data. However, the application of the these models requires a more detailed emission inventory and a better understanding of transformation and deposition processes of nitrogen compounds.

4. Summary and conclusions

First attempt was made to estimate the magnitude of long range transport of nitrogen compounds in relation to the territory of Czechoslovakia. Considering the mass balance calculation the preliminary conclusion can be made that Czechoslovak sources of nitrogen compounds are practically balanced by wet and dry deposition.

A simple trajectory model was used to estimate country – by – country NO_x-N budget among 9 Central European countries. The result of model calculation reasonably agreed with the mass balance estimation.

The results presented have to be considered with precaution and they do not allow to come to any definite conclusions. All atmospheric transport terms require further refinement by means of more extensive measurements and more sophisticated models.

REFERENCES

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

Bónis, K. 1981: A nitrogénvegyületek légköri mérlege Magyarország fölött. *Időjárás 85*, 149–156.

Böttger, A., Enhalt, D. H. and *Gravenhorst, G.*, 1978: Atmosphärische Kreislaufe von Stickoxiden und Ammoniak. *Berichte der Kernforschungsanlage Jülich*, Nr. 1558.

Dovland, H. and *Saltbones, J.*, 1978: Emissions of sulphur dioxide in Europe in 1978. NILU Lilleström, *EMEP CCC, Report 2/79.*

Eliassen, A., Hov, O., Isaksen, I., Saltbones, J. and *Stordal, F.*, 1982: A lagrangian long-range transport model with atmospheric boundary layer chemistry. *J. Appl. Meteor. 21*, 1645–1661.

Forrest, J., Spandau, D. J., Tanner, R. L. and *Newman, L.*, 1982: Determination of atmospheric nitrate and nitric acid employing a diffsion denuder with a filter pack. *Atm. Environ. 16*, 1473–1485.

Okita, T., Morimoto, S. and *Izawa, M.*, 1976: Measurements of gaseous and particulate nitrates in the atmosphere. *Atm. Environ. 10*, 1085–1089.

Robinson, E. and *Robbins, R.*, 1972: Emissions, concentrations and fate of gaseous atmospheric pollutants. *Air Pollution Control* – Part II, Wiley – Interscience, Sydney, 1–86.

Rodhe, H., Crutzen, P. and *Vanderpol, A.*, 1979: Formation of sulfuric and nitric acid in the atmosphere during long range transport. *WMO No. 538*, 165–171.

Semb, A. and *Amble, E.*, 1981: Emission of nitrogen oxides from fossil fuel combustion in Europe. *NILU Lilleström, Report 13/81.*

Söderlund, R., 1977: No_x pollutants and ammonia emissions – A mass balance for the atmosphere over NW Europe. *Ambio 6*, 118–122.

Söderlund, R. and *Svenson, B. H.*, 1976: The global nitrogen cycle. *SCOPE Report 7. Ecol. Bull. 22*, 23–73.

Stelson, A. W. and *Seinfeld, J. H.* 1982: Relative humidity and pH dependance of the vapour pressure of ammonium nitrate – nitric acid solutions at 25 °C. *Atm. Environ. 16*, 993–1000.

Štatistická ročenka ČSSR, 1982: ALFA, Bratislava.

Závodský, D. and *Pukančíková, K.*, 1983: Odhad regionálneho prenosu a usadzovania antropogénnej síry v strednej Európe v roku 1980. *Meteorologické zprávy, 6*, 182–186.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 4. szám, 1984. július-augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 4. July-August, 1984. Budapest

Frontális felhő–csapadék rendszer radar vizsgálata*

KAPOVITS ALBERT, *Központi Meteorológiai Intézet, H–1525 Budapest, P.O.B. 38.*

Radar study of a frontal cloud-precipitation system. The weather situation of 4 July 1982 is studied. This day a severe cold front, after having slowed down in the Alpine region and then activated, pushed into the Carpathian basin and crossed Hungary at great speed. This type of weather situation quite frequently occurs in this region. From the point of view of our storm warning system of increasing importance the main problems are the recognition in time of the activation of the frontal system and determination of the risks expected to be associated with it. Significance of radar observations in weather analysis and very short range weather forecasts is demonstrated. Surface and upper-air synoptic data and available meteorological satellite data are analyzed on one hand and weather radar data gained routinely and photographically are used on the other. The case study points out, after all, that weather radar observations make an effective component of the basic observing system and the information originating from it usefully completes the synoptic observational data and even in certain cases it can be used alone for analysing the weather situation because of its good relationships with the synoptic weather characteristics.

*

Frontális felhő-csapadék rendszer vizsgálata. A vizsgálat tárgya az 1982. július 4-i időjárási helyzet. Ezen a napon egy erős hideg front, miután az Alpok térségében átmenetileg lelassult, aktivizálódott, majd betört a Kárpát-medencébe és nagy sebességgel rohant át hazánkon. Az ilyen időjárási helyzet meglehetősen gyakori Magyarországon. Növekvő jelentőségű időjárási veszélyjelző rendszerünk szempontjából alapvető fontosságú a frontális rendszer aktivizálódásának időben történő felismerése és a várható kísérő veszélyes jelenségek meghatározása. A tanulmány a radar megfigyeléseknek a jelentőségét demonstrálja az időjárási helyzet analízisében és ultra-rövidtávú előrejelzésében. Egyrészt tartalmazza a talajfelszíni és magaslégköri szinoptikus adatok analízisét, valamint a rendelkezésre álló műhold-képeket, másrészt az időjárási radarral a rutin megfigyelések során és fényképezések útján nyert adatokat. A vizsgálatok végeredményben bizonyítják, hogy az időjárási radarmegfigyelések a megfigyelő alaprendszer hatékony összetevőjét képezik és a nyújtott információ hasznosan kiegészíti a szinoptikus meteorológiai adatokat, sőt, bizonyos esetekben a radar információ önmagában is felhasználható az időjárási helyzet analízisére, minthogy a radar adatok szoros kapcsolatot mutatnak az időjárás szinoptikus meteorológiai jellemzőivel.

*

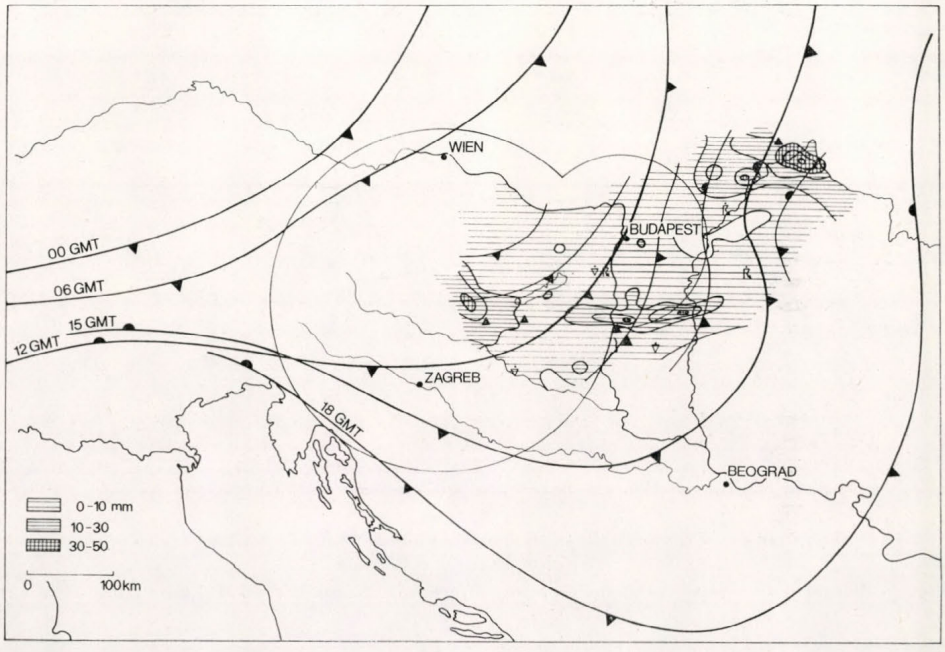
Bevezetés. Tapasztalatainkból ismeretes, hogy a nyugatról érkező időjárási frontok, miközben veszítenek intenzitásukból, gyakran lelassulnak az Alpok előterében, majd aktivizálódva, a következő napon betörnek a Kárpát-medencébe. Ezt a tapasztalati tényt más szerzők is megerősítették (*Pichler*, 1982; *Steinecker*, 1982). A front fejlődésében bekövetkezett ilyen változások nehezen jelezhetők előre, és ráadásul a rövidtávú időjárási előrejelzéseknek, az ezen

* A XI. Nemzetközi Kárpátmeteorológiai Konferencián, 1983. szeptemberében Székesfehérvárott elhangzott angol nyelvű előadás.

időjárási helyzetekben gyakori sikertelenségén túlmenően, nehézségeket okoznak viharjelző rendszerünkben. Sikeres analízist és eredményesebb veszélyjelzést csak az olyan operatív távjelző rendszereknek a használatától várhatunk, mint az időjárási radarok és meteorológiai műholdak.

Szinoptikus időjárási helyzet

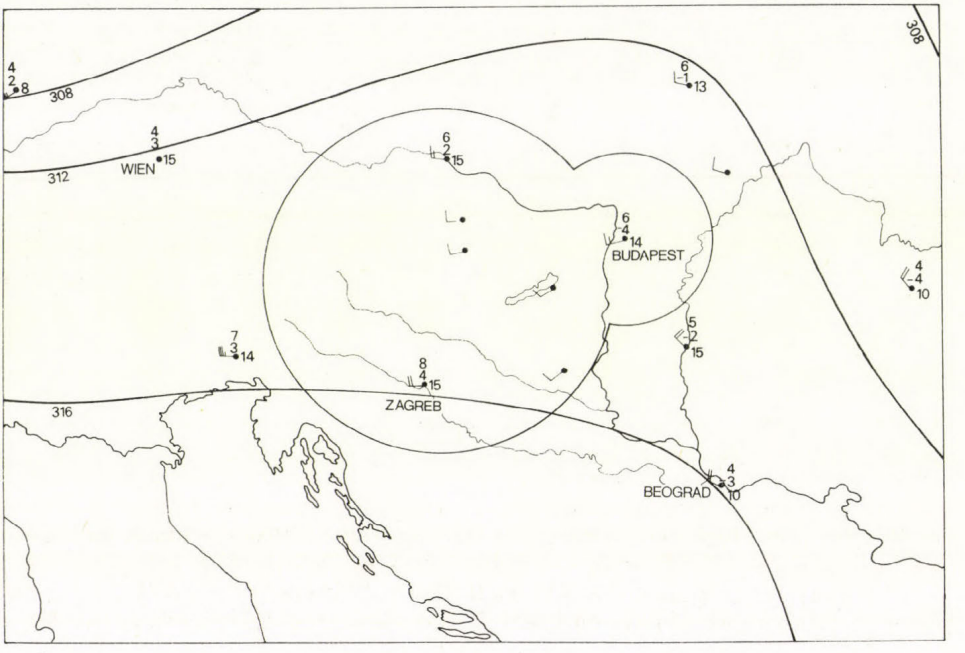
1982. július 4-én éjfélre egy észak-déli irányítottságú hidegfront déli széle, áthaladva az Alpok előterén, elérte az Innsbruck – Salzburg – Linz – Pribyslav vonalat *(1. ábra)*. A frontot szórványosan mérsékelt zivatar-tevékenység kísérte, amely kora reggelre megszünt. A front mögött, 150 – 250 km távolságban, kiterjedt csapadékos terület volt megfigyelhető. A rendszer reggelre Ausztria



1. ábra: A hidegfront izokronjai és a frontátvonulás során lehullott csapadékösszegek a csapadék típusának feltüntetésével 1982. július 4-én Magyarországon
Fig. 1 : Surface cold front isochrones on 4 July 1982 and precipitation totals for the frontal passage with indication of the types of precipitation in Hungary

fölött regenerálódott és 09,20 GMT-kor elérte a magyar határt. Miközben a front mögött nagynyomású terület alakult ki, a rendszer előtt átmenetileg zárt izobárrendszerű mezociklon jelent meg, és heves záporok-zivatarok törtek ki, erős széllökésekkel. A 30 – 35 ms^{-1} erősségű széllökések a Dunántúlon erősebbek voltak, mint keleten, ahol mindössze 20 – 25 ms^{-1}-ot értek el. Magyarország északkeleti részén a front sebessége viszonlag kicsiny volt, az ország nyugati és délkeleti részén tapasztalt sebességhez képest. A front áthaladását jelentős, 3 – 6 mbar/3 óra mértékű nyomásemelkedés és 10 – 12 °C nagyságú, 1 – 2 óra alatt bekövetkezett hőmérséklet-csökkenés kísérte. Egy, az országot délnyugat-északkelet irányban keresztező ív alakú területen tetemes csapa-

dékmennyiséget mértek és jégesőt észleltek. A frontátvonulás alatt lehullott csapadék mennyisége foltokban 10–30 mm volt és északkeleten elérte az 50 mm-t. A front az országot 16.00 GMT körül hagyta el keleti irányban. A frontátvonulás során a Kárpát-medence felett és környezetében a vezető áramlás szintjében a szélmező irányítottsága délnyugat-nyugatiról nyugat-északnyugatira változott és a kezdetben divergáló izohipszák párhuzamossá váltak *(2. ábra)*.



2. ábra: 700 mbar-os szint analízise a Kárpát-medence felett és annak környezetében 1982 július 4-én 00 GMT-kor

Fig. 2: 700 mbar analysis over and around the Carpathian basin at 00 GMT on 4 July 1982

A vizsgálat céljára felhasznált adatok

A vizsgálat céljára az operatív gyakorlatban rendelkezésre álló földfelszíni és magaslégköri szinoptikus megfigyelési adatokat, valamint a veszélyjelző rendszer SPECI jelentéseit használtuk fel. A rendszer mozgása és a csapadékmező finom szerkezetének meghatározásához kiegészítőleg figyelembe vettük a mintegy 1000 éghajlati és csapadékmérő állomás adatait.

Sokoldalúan felhasználtuk a Szentgotthárd-Farkasfa körüli 200 km-es sugarú területről és a Budapest körüli 100 km-es sugarú területről MRL-5 típusú időjárási radarral *(I. táblázat)* megfigyelt adatokat és megkíséreltük figyelembe venni a Magyarország déli részén működő jégeső elhárító rendszer radaradatait is. A radaradatok különböző formában álltak rendelkezésünkre: időjárási radartérképek, manuálisan digitalizált, távgépírón továbbított térképek, fényképfelvételek és az állomások megfigyelési naplóiba történt bejegyzések formájában. Szentgotthárd-Farkasfán az MRL–5 időjárási radar 3 cm-es hullámhosszon működött, míg ugyanakkor a Budapest-i időjárási radarállo-

más 10 cm-es hullámhosszon működött. A Szentgotthárd-Farkasfa-i időjárási radarmegfigyelések a front előtti eseményektől egészen 1982. július 4-én 13.18 GMT-ig folytak, amikoris a megfigyelések villámcsapás miatt megszakadtak.

A fentieken kívül analizáltuk a NOAA–7 13.10 GMT-kor Budapesten vett infravörös (IR) és látható (VIS) tartományban fölvett képeit és a METEOSAT–2 11.00, 12.00 és 13.00 GMT-kor vett VIS2 CO3 képeit.

I. TÁBLÁZAT – TABLE I.

Az MRL-5 típusú időjárási radar paraméterei a vizsgált napon

Properties of the MRL-5 weather radars as used on the day in question

Hullámhossz cm	Antenna átmérő m	Csúcsteljesítmény kW	Impulzus hossz μs	Minimálisan detektálható jel bármely távolságban		Vevő dinamikája dB	Méréshatár km
				mm h^{-1}	dBZ		
3	4,5	250	2	0,1	4	70	200
10	4,5	550	1	0,3	15	70	100

Úgy véljük, hogy a felhasznált adatokkal kapcsolatban az alábbiakat szükséges megjegyeznünk:

1. Magyarországon működik egy viharjelző rendszer, amely főként szinoptikus meteorológiai állomásokból áll. Valahányszor a rendszer valamely állomásán szignifikáns időjárási jelenség lép fel, vagy az időjárási elemek lényegesen megváltoznak, ezt URH-n az időjárást előrejelző központba kell jelenteni;

2. Magyarországon időjárási radarhálózat kiépítése van folyamatban. Ennek a hálózatnak a fent említett 2 állomása, Szentgotthárd-Farkasfán és Budapesten már működött a vizsgált időjárási helyzet idején. Az állomások személyzetének azonban még nem volt elegendő gyakorlatuk abban az időben, megfigyeléseiket nem azonos módszerrel végezték, az alkalmazott hullámhosszak különbözők voltak, és így az adatokat nem tekinthetjük kompatibiliseknek;

3. A jégesőelhárító rendszer és saját radarállomása autonom rendszer, amely csak veszi az időjárási radarhálózat adatait, saját adatait azonban nem juttatja be rendszeresen az időjárási radarhálózat információs áramlásába;

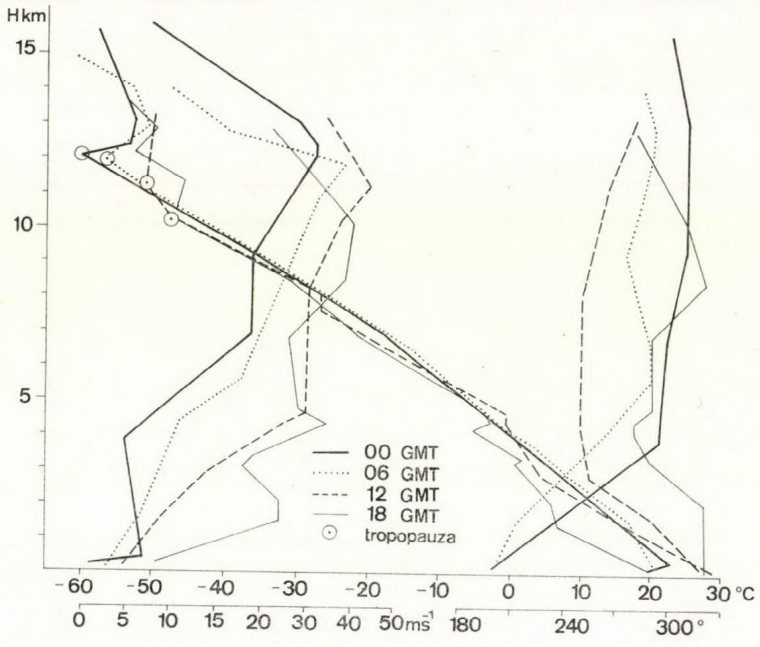
4. A műholdmeteorológia magyarországi művelésének eredményeit elismerték. A tudományos eredmények mellett azonban még nem fejlesztettek ki egy operatív rendszert. Ez a magyarázata annak, hogy a vizsgált napon csak néhány műholdkép állott rendelkezésünkre.

Úgy véljük, hogy a felsoroltak választ adnak arra az eddig kimondatlan kérdésre, hogy miért korlátozódott vizsgálatunk időben és térben a Kárpát-medence belsejére.

Az adatok analízise

A *szinoptikus és csapadékmérő állomások jelentései* alapján meghatározva a front izokronjait, nyomon követtük a front mozgását *(1. ábra)*. Az ország nyugati és délkeleti részén a front növekvő, átlagosan 66 km h^{-1} sebességgel

haladt délkeleti irányba. Az ország északkeleti területein sebessége 36 km h^{-1} volt. A front sebességének növekedése feltehetőleg a rendszer regenerálódásának volt köszönhető, a mozgás sebességében tapasztalt különbözőségeket pedig minden bizonnyal a topográfiai különbözőségek okozták. Ezek a megállapítások általában jól magyarázzák a csapadék mennyiségének és típusának az eloszlását, kivéve egy keskeny, viszonylag nagy csapadékmennyiségű sávot az ország közepén.



3. ábra: Hőmérsékleti és szélviszonyok Budapest felett 1982. július 4-én
Fig. 3: Temperature and wind profiles over Budapest on 4 July 1982

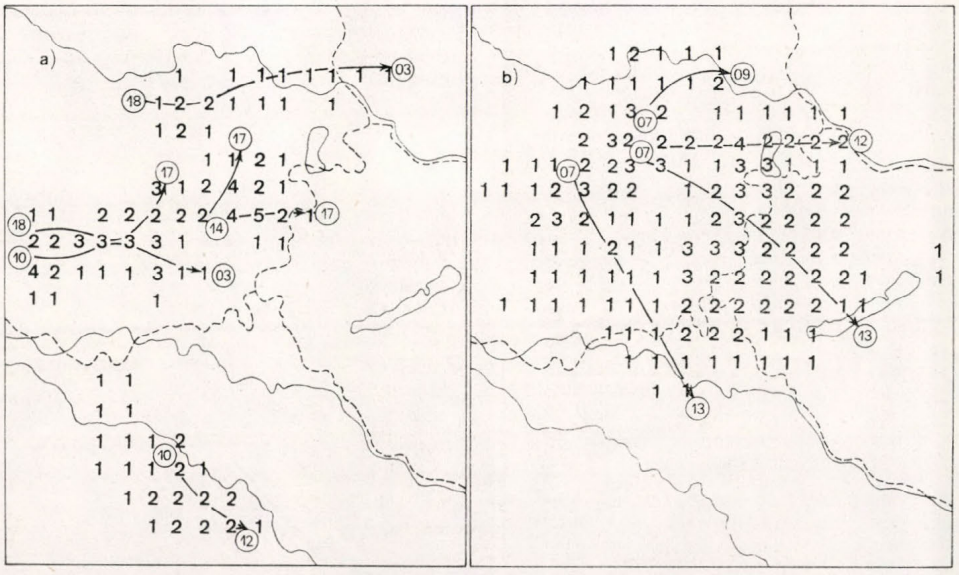
A szinoptikus állomások mindegyikére meghatároztuk a frontális felhőzet és csapadék tartalmát. Ezek az adatok, a front haladási sebességével együtt, lehetővé tették, hogy meghatározzuk a frontális felhőzet- és csapadékrendszer frontra merőleges méreteit. Az ilyen módon becsült felhősáv szélessége 144 és 363 km között váltokozott és átlagosan 274 km volt, a csapadékzóna szélessége pedig 14-től 231 km-ig változott, átlagos szélessége 144 km volt.

A dunántúli állomások csapadék-regisztrátumai alapján megállapított 10 perces csapadékintenzitás értékek igen változatosak voltak; a sok helyen mért tized mm értéktől a Zalaegerszegen (12915) mért 10,0 mm-ig, sőt Szentgotthárd-Farkasfán (12910) mért 27,8 mm értékig terjedtek. Mindenesetre ez az utóbbi érték a heves csapadékok kategóriájába tartozik (*Babos*, 1959). Vas és Zala megyékben néhány helyen jégesőt is észleltek.

A magaslégköri időjárási helyzet jellemzésére bemutatjuk a július 4-i 00 GMT-s 700 mbar-os topográfiát, melyet PILOT jelentésekkel egészítettünk ki. Erre vonatkozóan nem tudunk többet mondani, mint amit már közöltünk a szinoptikus idájárási helyzet ismertetésekor. A magaslégköri állapotoknak a nap során bekövetkezett változásait a budapesti rádiószonda mérések alapján a *3. ábrán* mutatjuk be. Jól látható a hőmérséklet csökkenése, különösen

a légkör alsó rétegeiben, a tropopauzán magasságának 12 km-ről 10 km-re történő csökkenése, valamint az alsó rétegekben a szélsebesség erőteljes növekedése, melyet a szél irányának a magassággal történő erőteljes balra fordulása kísért. Végül is a troposzférikus rétegekre vonatkozó átlagos szélirány délnyugatiról északnyugatira változott, miközben a szél közepes sebessége 25 – 35 km h^{-1}-ről 100 – 120 kmh^{-1}-ra növekedett a nap második felére.

A *radarmegfigyelések* azok, amelyek lehetővé teszik, hogy a csapadékmező-



4. ábra: A csapadék echók órákban kifejezett tartamgyakoriságának eloszlása Szentgotthárd/Farkasfa körül és az echó trajektóriák (a) 1982. július 3-án 10 GMT és 1982. július 4-én 03 GMT között, valamint (b) 1982. július 4-én 07 GMT és 13 GMT között

Fig. 4: Distribution of durations in hours of precipitation echoes around Szentgotthárd/Farkasfa and the echo trajectories between 10.00 GMT on 3 July and 03.00 GMT on 4 July 1982 (a) and form 07.00 GMT till 13.00 GMT on 4 July 1982 (b)

nek a front-áthaladást megelőző és a frontátvonulás alatt bekövetkezett változásainak a részleteit nyomon követhessük. A Szentgotthárd-Farkasfán végzett radarmegfigyeléseket használtuk fel arra, hogy a csapadék echók tartamának órákban kifejezett eloszlását és az echók trajektóriáit bemutassuk *(4. ábra)*. A gyűjtőtérképek szemléletesen mutatják a csapadék folyamatok kibontakozását, néhány egymást követő hullámban, Ausztria keleti tartományai felett és azt, amint a folyamat éjfélre befejeződik, majd 1982 július 4-én reggelre, még mindig Ausztria területén, újból kifejlődik. Nem vitatható a Keleti Alpok szerepe a csapadékfolyamatok ilyetén alakulásában.

Abból a célból, hogy az időjárási helyzet analízisét elősegítsük, táblázatba foglaltuk a fehő-csapadék rendszer időjárási rdarral mért néhány fontos karakterisztikáját *(II. táblázat)*.

A csapadékintenzitás (I) és a radar reflektivitási tényező (Z) közötti jó összefüggések lehetővé teszik, hogy az elektromos jeleket a meteorológusok számára érthető csapadékintenzitás értékekké számítsuk át. Tanumányainkban az átszámításhoz az alábbi összefüggéseket használtuk fel:

$$Z = 200\, I^{1,6} \quad \text{esőre,}$$
$$Z = 450\, I^{1,46} \quad \text{záporra-zivatarra.} \qquad (1)$$

Július 3-án prefrontális időjárási helyzetben kis mezo-méretű konvektív echók alakultak ki néhány helyen Ausztriában. Ezek nem maradtak fenn egy-két óránál tovább és intenzitásuk csak néhány helyen és rövid időre érte el az erős fokozatot (*Brüljov* és *Nizdojminoga*, 1977). Ezek az echók késő

II- TÁBLÁZAT – TABLE II-

A Szentgotthárd – Farkasfán és Budapest – Ferihegyen 1982 július 3-án és 4-én megfigyelt radar-adatok időrendi sorrendben

Chronology of the weather radar data measured on 3rd and 4th July 1982 at Szentgotthárd-Farkasfa and Budapest – Ferihegy

Idő GMT	T	$\overline{S}$	H_{max}	I_{max}	Idő GMT	T	$\overline{S}$	H_{max}	I_{max}	v_r		v_{pf}		v^*_{pf}	
										d	s	d	s	d	s
Szentgotthárd Farkasfa 3 cm, 200 km méréshatár															
Júl. 3.					Júl. 4.										
10	6800	6.2	9.5	1.5	07	1 800	3.0	7.5	0.2	–	–	–	–	080	20
11	2550	4.2	10.0	3.5	08	4 850	3.3	10.0	0.2	040	25	100	30	–	–
12	2000	3.6	11.0	8.0	09	8 400	4.7	12,0	3.5	060	90	120	47	–	–
13	1700	3.4	10.0	8.0	10	6 150	3.8	20.0	20.0	080	40	140	44	–	–
14	2050	3.7	10.0	8.0	11			hiányzik							
15	2450	4.9	9.5	1.5	12	10 900	4.2	14.0	3.5	100	70	130	40	007	50
16	2250	4.1	9.5	1.5	13	15 550	4.9	120	3.5	070	15	150	27	–	–
17	1800	4.0	7.3	0.4											
18	500	3.3	4.0	0.1											
22	2300	4.6	9.3	0.4	Júl. 4. Budapest Ferihegy, 10 cm, 100 km méréshatár										
23	800	3.2	7.1	0.2											
24	1050	3.5	5.0	0.1	12	7 150	4.5	13.5	70.0	110	75	–	–	070	50
					13	9 750	5.4	11.0	28.0	120	60	110	40	–	–
Júl. 4.					14	5 700	3.9	8.2	1.6	100	55	110	45	–	–
01	750	3.0	–	0.1	15	6 400	3.6	8.2	2.3	090	60	090	65	–	–
02	350	2.3	4.5	0.2	16	1 750	3.5	6.2	1.3	090	60	090	90	–	–
03	350	1.8	4.0	0.2	17	150	1.5	3.6	–	090	50	–	–	120	52

Jelmagyarázat és dimenzió:

T a felhő-csapadék rendszerrel fedett terület km^2ben;

$\overline{S}$ a 20×20 km-es pixel-ekre megállapított átlagos fedettség oktákban;

H_{max} a felhő-csapadék rendszer maximális magassága km-ben;

I_{max} a legnagyobb csapadékintenzitás értéke mm h^{-1}ban;

v_r a csapadék-echók mozgása;

v_{pf} az echót határoló pszeudofront mozgása;

v^*_{pf} a (2) egyenlettel számított pszeudofront mozgása;

d irány földrajzi fokokban;

s sebesség km h^{-1}ban.

estére megszüntek, majd július 4-én hajnalra az előbbiekhez élettartamban hasonló újonnan megjelent echók ismét eltűntek. A front regenerálódása július 4-én 07.00 GMT körül kezdődött. Nagy mezo-méretű csapadék echók fejlődtek ki, melyek 09.00 GMT-re szinoptikus méretű, szervezett rendszerré alakultak át *(5. ábra)*. Ugyanakkor a csapadék intenzitása 20 mm h^{-1}-t is elért és a felhő-csapadék rendszer függőleges kiterjedése elérte maximumát, a 14 – 20 km-t. Déltájban az ország középső részein még ennél is intenzívebb csapadék echókat észleltek (28 – 70 mm h^{-1}). Ezeknek a magassága azonban nem haladta meg a 12 – 14 km-t. Később, az idő múlásával, és kelet-délkelet irányban történő távozásukkal a radar echók intenzitása és függőleges fejlettsége csökkent.

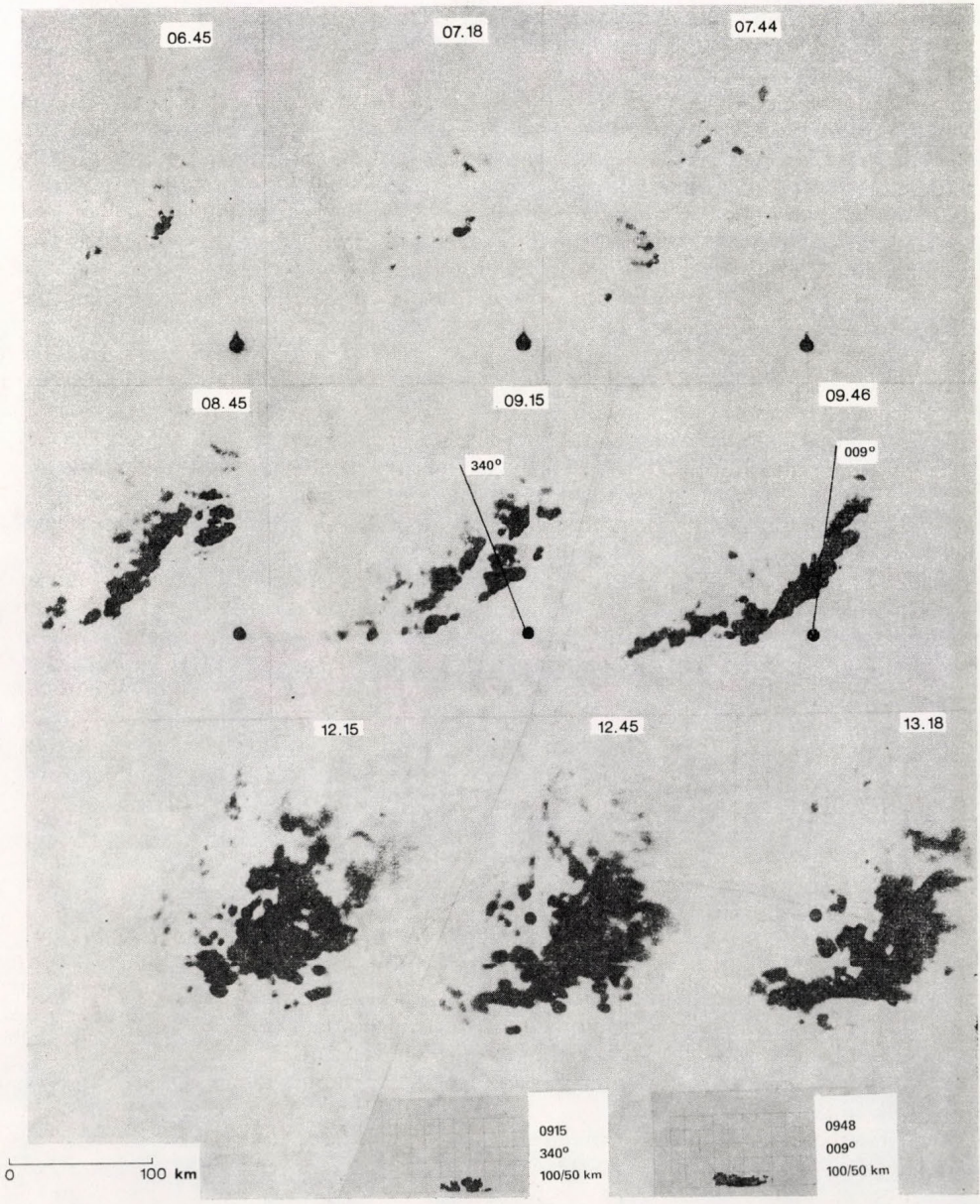
A rendszer áthelyeződését megadhatjuk akár az echók jellegzetes pontjai alapján megállapított v_r értékkel, akár a felhő-csapadék rendszert határozó, úgynevezett pszeudofront áthelyeződése alapján meghatározott v_{pf} értékekkel.

Ezen adatok szerint a frontrendszer kelet-délkeleti irányban haladt, néha nagy (90 km h^{-1}) sebességgel.

A magassági szél és az echó áthelyeződések közötti olyan tapasztalati összefüggések, mint például

$$v_{pf}^{*} = 0{,}8\ v_{700}, \qquad (2)$$

ahol v_{700} a szél sebessége a 700 mbar-os felületen, felhasználhatók a rendszer



5. ábra: PPI és RHI képek Szentgotthárd/Farkasfán 1982. július 4-én
Fig. 5: PPI and RHI pictures taken at Szentgotthárd/Farkasfa on 4 July 1982

mozgásának a meghatározására (*Bodolainé*, 1980). Abból a célból, hogy ennek az összefüggésnek a használhatóságát bemutassuk a budapesti rádiószonda mérések alapján, a (2) egyenlettel kiszámítottuk a v_{pf}^{*} értékeket, melyeket szintén feltüntettünk a II. táblázatban.

A 13.00 GMT-kor Szentgotthárd-Farkasfán végzett megfigyelésekből meghatározott v_r és v_{pf} értékek némi magyarázatot igényelnek. Ezek az adatok nem felelnek meg a várakozásnak. Ez föltehetőleg nem az operátor hibája miatt van így. Ennek oka az, hogy a 3 cm-es hullámhossz a széles és intenzív csapadékzónában erősen csillapodott.

Az elektromágneses hullámnak a csapadékban történő gyengülésével kapcsolatban az időjárási radaradatok két sajátosságára kell rámutatnunk.

A Szentgotthárdon és Budapesten azonos időben megfigyelt felhő-csapadék rendszer radarképeit közös koordináta rendszerben ábrázolva, a csapadékzóna határainak az eltéréseit nem egyszerűen inkompatibilitás okozza, hanem azt a Szentgotthárdtól kelet-északkeleti irányban nyúló intenzív csapadékzónának kell tulajdonítani (lásd később a 8. ábrát).

Némileg meglepő, hogy az aktivizálódó felhő-csapadék rendszernek a haladás irányába mért szélessége 09.46 GMT-kor a legkisebb (*5. ábra*). Ennek a torzulásnak az oka az ezen időpontban mért nagy intenzitás-értékek és az ennek következtében létrejött nagymértékű gyengülések, következésképpen a csapadékzóna a valóságban föltehetőleg sokkal szélesebb annál, mint amit megfigyeltünk. A gyengülés hatása világosan látható a 357° és 005° irányban a radar echók radikálisan távoli szélén megfigyelhető újszerű betűremkedésekből. Ezt bizonyos mértékig alátámasztja az is, hogy az echók magassága kifelé rohamosan csökken, amint az a 09.46 GMT-kor 009° irányban készített RHI képen látható (*5. ábra*).

A szentgotthárdi radarállomás hatásterületén a csapadékzónának a front vonalára merőleges méretei 20—155 km között váltakoztak, átlagos szélessége 73 km volt. Figyelembe véve azt a tényt, hogy a front az állomásokat nem merőlegesen, hanem 40—50°-os szög alatt közelíti meg, a fenti méretek 31 és 241 km, illetőleg átlagosan 114 km. Ezek az értékek nagyon jól megfelelnek a csapadék-regisztrátumok és a rendszer mozgás sebességéből számított értékeknek.

A Szovjetúnióban a zivataroknak rádiólokátorral történő felismerésére kidolgozott úgynevezett Y-kritériumot (*Brüljov* és *Nizdojminoga*, 1977)

$$Y = H_{\max} \lg Z_3 \tag{3}$$

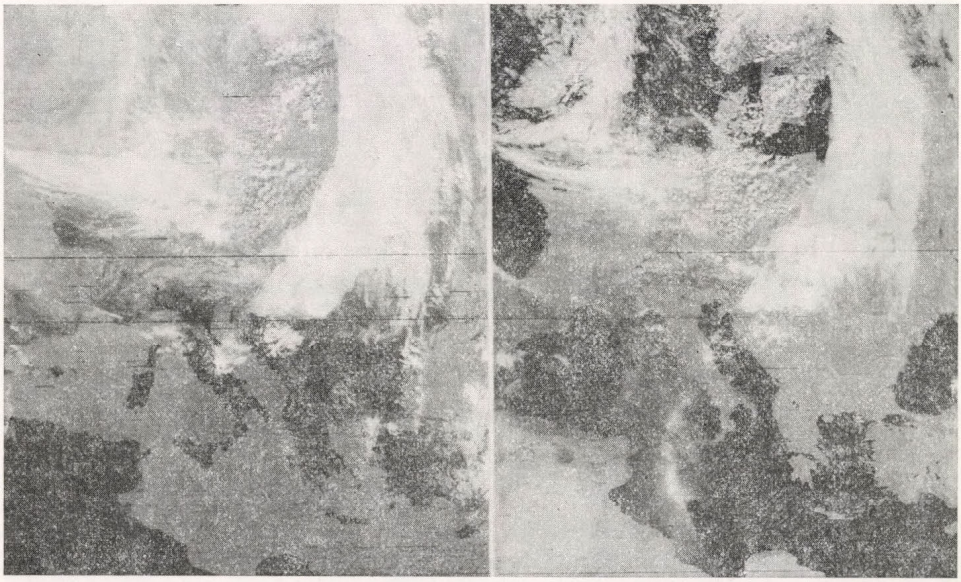
használják Magyarországon az operatív gyakorlatban, azzal a csekély módosítással, hogy valahányszor Y értéke meghaladja a 30-at, zivatarról van szó. A (3) egyenletben $H_{\max}$ a radar echónak a felső határa km-ben és lg Z_3 a dB-ben kifejezett radar reflektivitási tényező, melyet az olvadási réteg fölött 3 km magasságban mérnek. Amint a megfigyelési naplóból kitűnt, ezt a kritériumot nem alkalmazták megfelelően, minthogy zivatar nagyobb területen fordult elő, mintsem rádiólokátorral azonosították. Kitűnt ugyanakkor az is, hogy $Y = 30$-nak a zivatarok megbízható azonosítására demarkációs értékként történő alkalmazása túl magas.

A csapadékos rendszerek megfelelően diagnosztizálhatók az echó eloszlás típusa és a

$$\Delta H = H_{\max} - H_{-22°C} \tag{4}$$

egyenlet alapján (*Brüljov—Nizdojminoga*, 1977). Fizikailag a $H_{-22°C}$ a felhő-

részecskéknek a konvektív felhőkben történő tömeges kristályosodásának a szintje. A ΔH értékeket a konvekció feltételei és a légköri stabilitás határozzák meg, mely tényezők egyúttal meghatározzák a frontális felhő-csapadék rendszer jellegét. Esetünkben az átlagos ΔH érték 3,5 volt, mely érték a záporokkal és zivatarokkal kísért légköri frontokra jellemző.



6. ábra: A NOAA 7 infravörös és látható tartományban készített felvételei 1982. július 4-én 13.10 GMT-kor

Fig. 6 : Satellite images NOAA 7 IR and VIS at 13.10 GMT of 4 July 1982

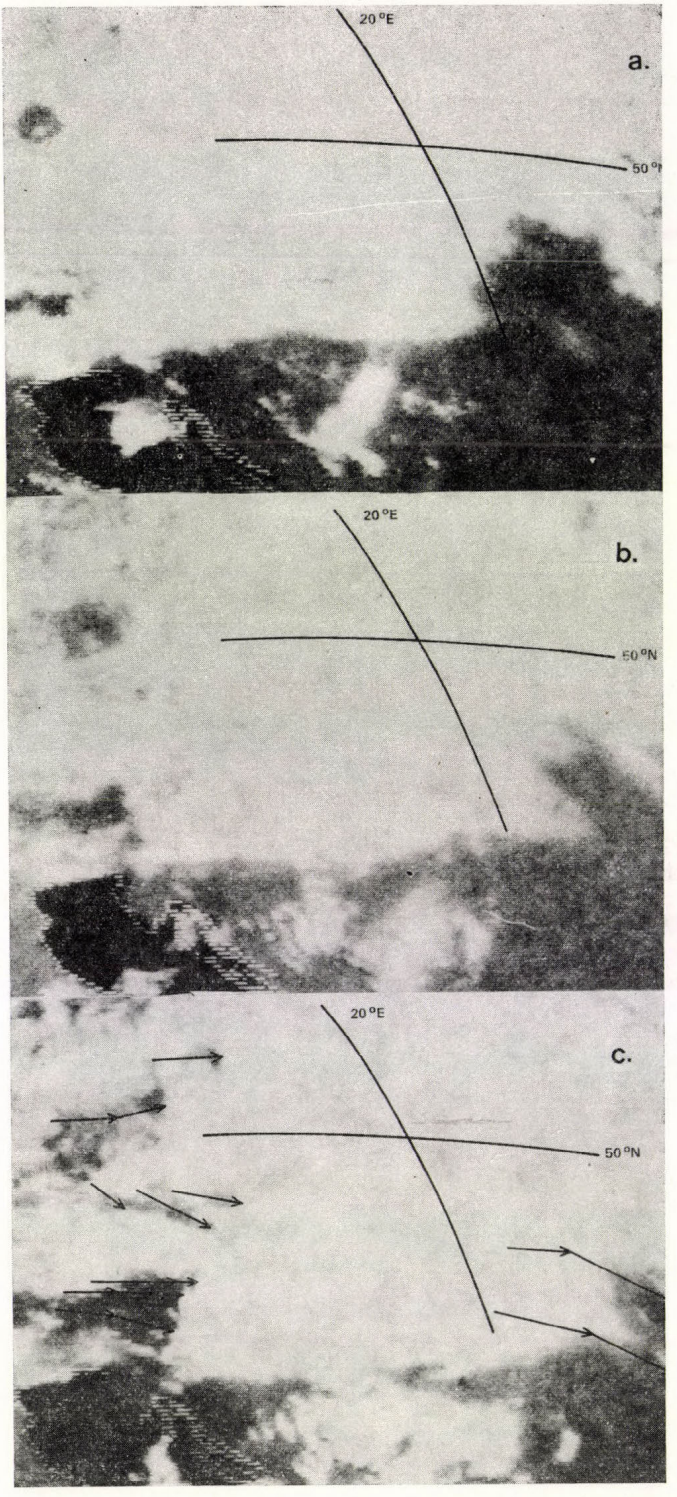
Sokszor a jól fejlett zivatarokat a talajfelszín közelében erős, lökéses szelek kísérik. Ismeretes tapasztalatból, hogy lg Z_3 és

$$\Delta H^* = H_{\text{trop}} - H_{\max} \tag{5}$$

értékei, ahol H_{trop} a tropopauza magassága, lehetővé teszik a széllökések erősségének a megbecsülését (*Brüljov—Nizdojminoga*, 1977). Konkrét időjárási helyzetünkben a lg Z_3 és ΔH^* értékek 20 ms^{-1} erősebb széllökéseket valószínűsítettek.

A *műholdképek* az űrbázisú távérzékelési technika produktumai. A vizsgált felhő-csapadék rendszer földrajzi elhelyezkedése jól látható a *6. ábrán* bemutatott NOAA 7 képeken, amelyek kiváló betekintést nyújtanak a rendszer térbeli szerkezetébe. Érdemes megemlíteni a rendszer egyenetlen topográfiáját és a nyilvánvalóan nagy magasságig felnyúló, kör keresztmetszetű szupercellát a medence közepén. A METEOSAT—2 kinagyított részeinek egy rövid sorozata segítségével volt lehetséges a Magyarország nyugati részei fölötti felhő feloszlás folyamata terjedésének és a felhőzet áthelyeződésének a délkeleti országrész feletti meghatározása *(7. ábra)*. Az előbbire átlagosan 70 km h^{-1}, az utóbbira pedig 108 km h^{-1} sebesség értéket kaptunk.

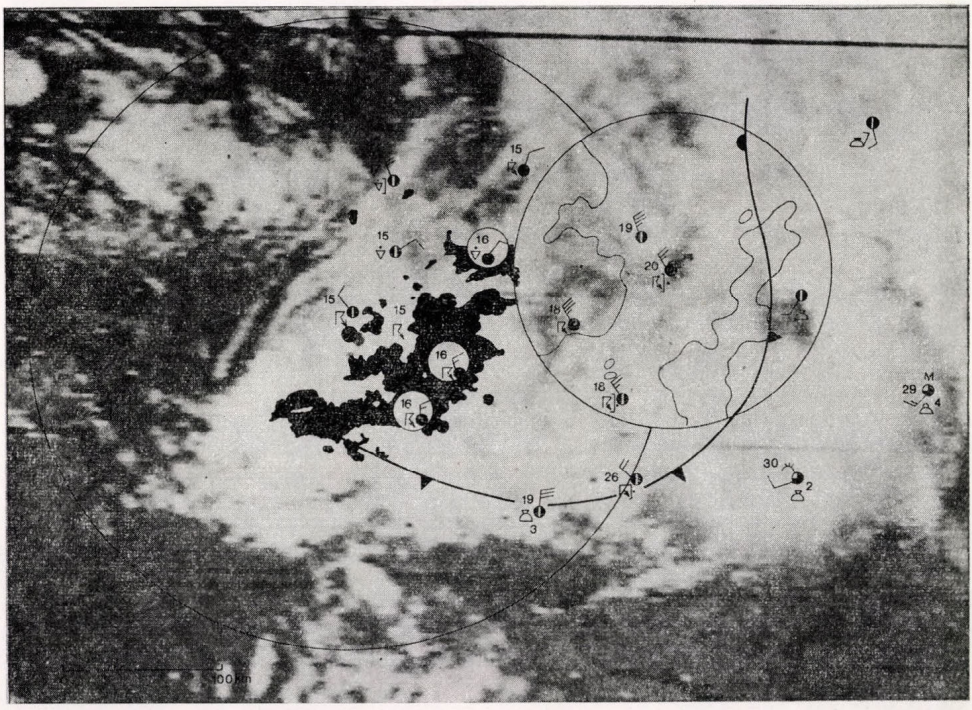
Az *időjárási adatok komplex analízise* nem új gondolat. Ennek a technikának az alkalmazásától az időjárási helyzet jobb megértése várható. Ezt azonban néhány nehézség akadályozza. Az alapvető probléma az, hogy a különböző forrásból származó adatok különböző méretű és vetületű térképeken kerülnek



7. ábra: A MET 2 VIS2 CO3 műhold képei egy, a felhőrendszernek a Kárpát-medence felett és annak környezetében végbemenő változásait bemutató kinagyított részletének sorozata 1982. július 4-én, 11, 12, és 13 GMT-kor. A 13 GMT-kor készített felvételen feltüntetett nyilak a felhőrendszer nyugat felőli felszakadozását és a rendszer délkelet felé történő mozgását mutatják

Fig. 7 : Series of enlarged sections of MET 2 VIS2 CO3 satellite images at 11.00, 12.00, 13.00 GMT on 4 July 1982 showing the developments of the cloud system over and around the Carpathian basin. The arrows on the picture taken at 13.00 GMT indicate as the cloud cover breaks up from W and spreads towards SE

ábrázolásra, azaz a szinoptikus és radar térképek, valamint a műholdképek nem kompatibilisek, az adatok legtöbb esetben aszinoptikusak és az időjárási radar és a mesterséges holdak adatainak az interpretálása nagy gyakorlatot igényel. 13.00 GMT az az időpont, amikor a fenti forrásokból származó valamennyi adat rendelkezésünkre állott. Megkíséreltük az adatok együttes ábrázolását egyszerű fotografikus rátét-technika alkalmazásával *(8. ábra)*.



8. ábra : Szinoptikus és időjárási radar adatok fotografikus rátét-technikával történő ábrázolása komplex analízis céljából a NOAA 7 látható sávban 1982. július 4-én 13.10 GMT-kor készített felvételen

Fig. 8 : Synoptic and weather radar data put with a photographic overlay technique on the satellite images NOAA 7 VIS at 13.10 GMT on 4 July 1982 to make complex analysis

A NOAA 7 látható spektrumban készített felvételének egy részét, amely a Szentgotthárd-Farkasfa időjárási radarállomás hatáskörzetét tartalmazza, és a radarernyőről készített diapozitív felvételt egymásra helyeztük. A Budapest környékén észlelt echó kontúrokat kiegészítőleg feltüntettük és ráadásul a legfontosabb, a front elhelyezkedését leíró szinoptikus adatokat is felrajzoltuk. Annak ellenére, hogy ez egyszerű eljárás, nagy gyakorlatot igényel és operatíve a mindennapi szolgálatban nem alkalmazható. A 8. ábrából világos, hogy csak egyetlen adat típus nem elegendő az időjárási helyzet teljes leírására, ahhoz különböző forrásból származó, természetüknél fogva egymást kiegészítő adatokra van szükség.

Következtetések

A bemutatott esetből néhány általános következtetést vonhatunk le. A szinoptikus adatok nem elegendők a mozgó és gyorsan fejlődő frontok

pontos analíziséhez. Ha az alkalmazott eljárás csak a szinoptikus adatokon alapul, az időjárási helyzet változása csak nagy késéssel követhető. Annak érdekében, hogy a változásokat időben diagnosztizáljuk, a távérzékelési technikának (időjárási radar és műhold megfigyelések) alkalmazására van szükség. Az időjárási radar megfigyelések önmagukban is sokszínű információt szolgáltatnak, amint ezt az esettanulmány is bizonyította, különösen akkor, ha hálózatszerűen működnek és megfigyeléseiket egységes metodika alapján végzik. A helyes eljárás azonban az, amikor a szinoptikus és távérzékelés útján nyert adatokat együttesen alkalmazzák az időjárási helyzet analízisére. A komplex analízis azonban idő- és munkaigényes eljárás, ha az manuálisan történik, operatíve csak akkor alkalmazható, ha ezt egy számítógépes interaktív adatkezelő és megjelenítő rendszer segíti.

IRODALOM

Babos, Z., 1959: *Vízrendezések tervezésénél mértékadó csapadékok.* ÉM Mélyépterv Általános Műszaki Osztály kiadványa, Budapest.

Bodolainé Jakus E., 1980: *Radarral végzett csapadékmérések a csapadék rövidtávú előrejelzésében.* Országos Meteorológiai Szolgálat kisebb kiadványai 48. szám, Budapest.

Brüljov, G. B. and *Nizdojminoga, G. L.*, 1977: *Iszpolzovanyije radiolokacionnüh v szinopticseszkoj praktyike.* Gidrometeoizdat. Leningrad.

Pichler, H., 1982: Mesoscale processes in the Alpine region, *WMO-ALPEX Publication* No. 7., Geneva.

Steinecker, R., 1982: The first ALPEX-SOP coldfront on March 2, 1982. *WMO-ALPEX Publication* No. 7., Geneva.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat Folyóirata. 88. évf. 4. szám. 1984. július-augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 4. July-August, 1984. Budapest.

Classification of agricultural droughts of rainfed rice crop – A case study for Central India

A.S.R.A.S SASTRI and S.R. PATEL, *Zonal Agricultural Research Station / Rice Zone / Jawaharlal Nehru Agricultural University, Raipur 492012, India*

A szárazgazdálkodású rizs mezőgazdasági aszályának osztályozása. – Esettanulmány Közép-Indiára A mezőgazdasági aszály intenzitását szárazgazdálkodású rizsre vonatkozólag osztályoztuk úgy, hogy kiindulási alapként az egyes fiziológiai fázisokban minimálisan szükséges értékekből képeztük az AE/PE hetenkénti hányadosokat, majd azokat az egész tenyészidőszakra összegeztük a rizsföldek vízháztartási mérlegét alapul véve. Az egyenlő nedvesség-ellátottságú években, azaz a nem aszályos, jó csapadékellátottságú, ill. az aszályos esztendők terméseredményeit vizsgáltuk meg, s azt találtuk, hogy a termésgörbe emelkedő trendje az azonos nedvességellátottságú években, az új technológia és a növekvő műtrágya-felhasználás fejlődésével magyarázható.

⁎

Classification of agricultural droughts of rainfed rice crop – A case study for Central India. The agricultural drought intensities of rainfed rice crop were classified based on the departure of weekly AE/PE values from the minimal required values during each physiological stage and then integrated to the whole of the growing season based on the water balance computations of bunded rice fields. The crop yields in the years of equal moisture status *viz*, during good rainfall years with no drought and severe drought years were examined and it was found that there is an increasing trend in the productivity in the years of equal moisture status, which can mainly be attributed to the development of new technology and increased fertilizer use.

⁎

Introduction. Rice, though a water loving plant, is grown under rainfed conditions in regions with seasonal rainfall greater than 1000 mm. Due to aberrant weather conditions, or break in rains for a period of greater than a week, water stress conditions occur in rice crop too. It is, however, well known that the intensity of drought depends upon the physiological stage of crop growth during which water stress occured *(Sastri* et al., 1982). In Central India alone rice is grown in about 47.70×10^5 hectares of which 16.2 per cent of the area is under irrigation (that too protective irrigation but not productive irrigation) and rest of the 83.8 per cent of the area was under rainfed conditions. The whole of Southeastern part of Central India *(Fig. 1)* known as 'Chhattisgarh region' is often called as 'rice bowl' of Central India. But the productivity of this region is the lowest (1.1 t/ha) in the world *(Sastri*, 1983)

In Raipur which is centrally located in the rice zone crop cutting yield data of rice crop are available for the period 1964 to 1982 collected under Integrated Rural Development Project and the meteorological data are also available for the same period collected at the Agromet. Observatory of the Research Station. Based on this data an attempt has been made to classify the agricultural droughts of varying intensities of rice crop during

different physiological stages and then integrated for the whole of the growing season to obtain an overall view of the agricultural drought intensity and the production trend was examined for the period 1964 – 1982 for the years of equal moisture status. The index of moisture adequacy, AE/PE, was considered as the appropriate index for classification of Agricultural droughts by *Sastri* et al. (1981, 1982) and *Rao* etal. (1981) and the same is considered here for this classification too.

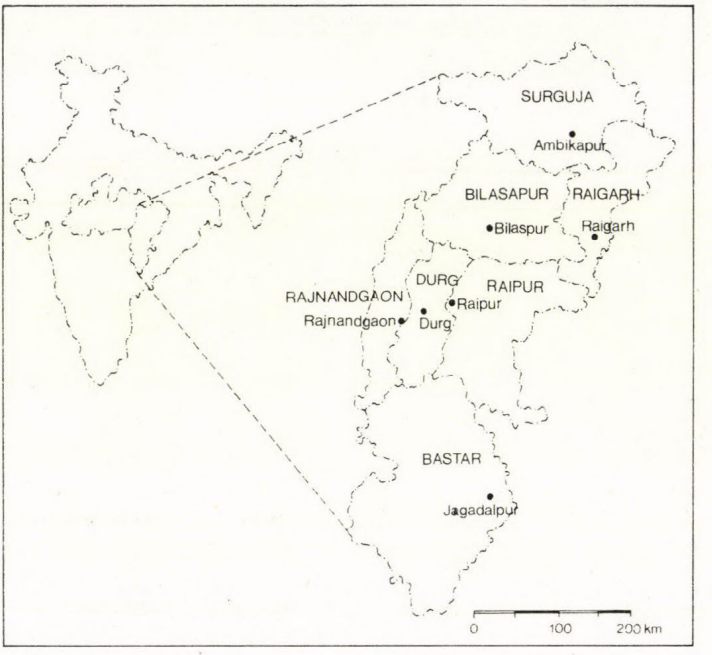


Fig. 1: Location map of Chhatisgarh region

Methodology

Weekly water balance computations for Raipur Station were carried out for the period 1964 to 1982 using the bookkeeping procedure of *Thornthwaite* and *Mather* (1955). However, the procedure was slightly modified as the rice crop in this region under rainfed conditions is grown is massively bunded fields. The surplus water, instead of considering as a loss, as by the book- keeping procedure, is impounded in the fields and hence water balance computations were carried out till the surplus water exhausted by deducting the losses of percolation (3 mm/day in this case) and potential evapotranspiration. After the surplus water exhausted, the book-keeping procedure was carried out as usual.

The potential evapotranspiration values required for this study were computed using *Penman's* (1948) equation. The weekly values of AE/PE, which are used for drought classification, were also computed for the study period.

In this region rice crop is grown under broadcast system and when the crop is at the age of 30 to 35 days, the field is ploughed for not only

disturbing the primary roots of paddy crop which is essential, but also for weeding the field simultaneously and this system is called "biasi operation" in local terminology. As the water is impounded in the field for the fear of drought at later stages, long duration tall varieties of 140 days duration (Local "Safri" varieties) are usually grown. The seedling, vegetative and reproductive stages of these varieties are of 3,7 and 5 weeks of duration respectively. The minimum required values of AE/PE during these three stages are assumed to be 75, 100 and 100 per cent respectively, as reported earlier by *Subrahmanyam* et al. (1963)

The water stress or droughts during the three physiological stages were classified as follows.

Intensity	*Departure from minimal required value of AE/PE during*		
	Seedling	*Vegetative*	*Reproductive*
Mild	1 – 5	1 – 10	1 – 10
Moderate	6 – 10	11 – 20	11 – 20
Severe	greater than 10	greater than 20	greater than 20

A drought in seedling stage is more effective than the other stages and hence lower range of deviation was considered. Thus for the local "Safri" variety of 140 days duration the agricultural drought is classified during the three physiological stages as follows

Crop State	*Duration (weeks)*	*Minimal AE/PE*	*AE/PE range for drought intensity of*		
			Mild	Moderate	Severe
Seedling	3	75	70 – 74	65 – 69	< 65
Vegetative	7	100	90 – 99	80 – 89	< 80
Reproductive	5	100	90 – 99	80 – 89	< 80

Based on this, the number of weeks under each category of drought during the three physiological stages was computed. Now for integrating the drought situation to the whole growing season, mild, moderate and severe droughts were ranked as 1,2 and 3 respectively. For obtaining the total rank for the whole growing season, the summation of total droughts multiplied by their respective number of weeks was done. Integrated drought code

$$\text{IDC}) = \sum_{i=1}^{3} Ci\ Wi.$$

Ci = Drought code for the physiological stage i (Seedling, vegetative & Reproductive).

Wi = No. of weeks under Ci

Based on this IDC, the drought intensity was classified as follows.

Drought intensity	*Code*	*Integrated number*
Nil	0	0 – 3
Mild	1	4 – 6
Moderate	2	7 – 9
Severe	3	> 9

TABLE I.

Year	Integrated number	Drought intensity code	Crop yield * t/ha	Year	Integrated number	Drought intensity code	Crop yield t/ha
1964	2	0	1,20	1973	0	0	1,39
1965	7	2	0,37	1974	7	2	0,75
1966	9	2	0,67	1975	0	0	1,09**
1967	4	1	1,17	1976	0	0	0,48**
1968	0	0	1,14	1977	0	0	1,51
1969	6	1	1,07	1978	0	0	1,46
1970	3	0	1,28	1979	19	3	0,78
1971	0	0	1,30	1980	2	0	1,15
1972	0	0	1,20				

* Source: IRDP, Raipur
** Gall midge incidence

Results and discussion

Based on the above criterion the drought intensity for different years and the respective crop yields for Raipur are given in *Table I.*

It can be seen that except during 1979 there was no severe drought. However if moderate and severe droughts are combined and considered as severe droughts, as the crop yields are reduced to uneconomical levels in both the cases, there were only 4 years (1965, 1966, 1974, 1979) of drought of severe in nature.

The productivity of the severe drought years and good rainfall years with no drought are shown in *Figure 2.* It can be seen that for the 4 years of severe drought, the productivity is in the increasing trend. Same is the case

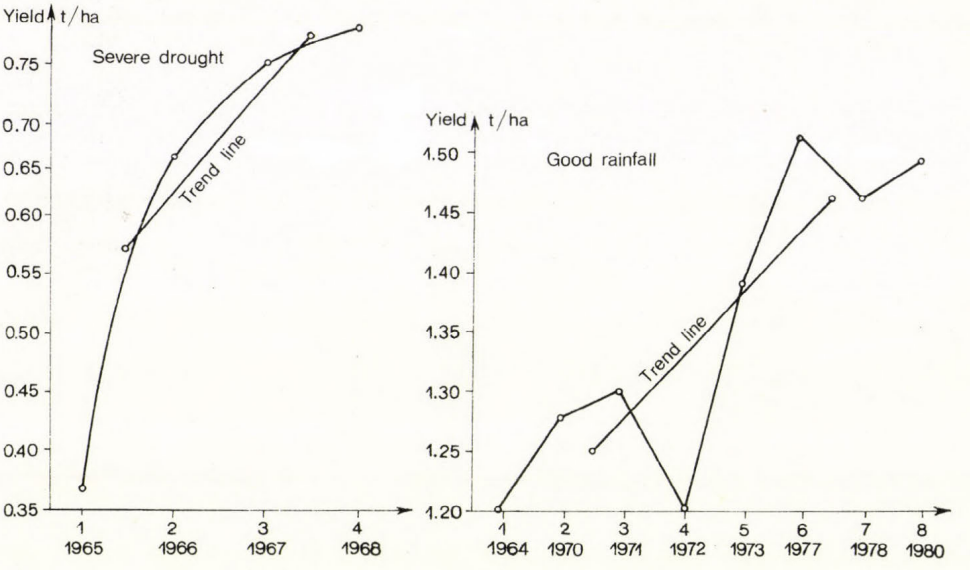


Fig. 2: Rice productivity trend under good rainfall and severe drought years in Dharsiwa Tehsil during the period 1964—1981

for good rainfall years also with some occassional fall of yield in individual years may be due to other causes like pests and diseases though of mild intensity. However, the rice productivity is in the increasing trend under severe drought as well as good rainfall years in the recent periods, which can only be visualized if the years of equal moisture status are compared.

Summary and conclusion

The drought intensity during different physiological stages was worked by computing the water balance of bunded rice fields and from the deviation of weekly values of AE/PE from that of the minimal required values in each physiological stage. The drought intensity during different physiological stages was then integrated for whole of the crop growing season for obtaining the total drought situation by ranking each category of drought intensity.

Based on this integrated drought situation the productivity trend of rainfed rice crop in the recent years was examined and the productivity was in increasing trend for years of equal moisture status.

Such studies are useful for examining the drought pattern in a particular region for an individual crop. This would help in assessing the suitability of a particular crop/crop variety in the region.

Acknowledgements. The authors are thankful to the Associate Director Research, Raipur and the Director of Research Services, Jabalpur, Jawaharlal Nehru Agricultural University for providing necessary facilities in conducting the above study.

REFERENCES

Penman, H. L., 1948: Natural evaporation from open water, bare soil and grasses. *Proc. Roy. Soc.* (A) *193*, 120–148.

Ramana Rao, B. V., Sastri, A. S. R. A. S. and *Ramakrishna, Y. S.*, 1981: An integrated scheme of drought classification as applicable to the Indian Arid Zone. *Időjárás 85*, 317–322.

Sastri, A. S. R. A. S., Rama Krishma, Y. S. and *Ramana Rao, B. V.*, 1981: A new method of classifying agricultural droughts. *Arhc. Met. Geoph. Biokl.* Ser. *B, 29*, 293–297.

Sastri, A. S. R. A. S., Ramana Rao, B. V., Rama krishna , Y. S. and *Rao, G. G. S. N.*, 1982: Agricultural droughts and crop production in the Indian arid zone. *Arch. Met. Geoph. Biokl.* Ser. B, *31*, 405–411.

Sastri, A. S. R. A. S., 1983: Production of rice in Chhattisgarh region of Central India- An ag oclimatic perspective. Paper presented at the *International Conference on Biometeorology*, New Delhi 26–30 Dec' 1983.

Thornthwaite, C. W. and *Mather, J. R.*, 1955: The water balance. Publ. in *Climatology*, Drexei Inst. Tech. N. J., 8, 1–104.

Subrahmanyam, V. P., Subba Rao, B. and *Subramanyam, A. R.*, 1963: Moisture adequacy in relation to the distribution of a few crops in India. Proc. Berkeley (California) *Symp. of the International ASSn. Sci. Hydrol.* (IUGC) 462–467.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 4. szám. 1984. július-augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 4. July-August, 1984. Budapest

A note on the relationship between reference crop evapotranspiration and its components in a semiarid environment

K. K. NATHAN, *Water Technology Centre, IARI, New Delhi-21, India*

Egy referencia növényállomány evapotranspirációja és összetevői közötti kapcsolat szemiarid területen. Új-Delhi (28° 35' N) szemiarid környezetében a téli tenyészidőszak (október – április) folyamán a csapadék csekély és változékony, gyakran átlag alatti. A legtöbb növényállomány, mint pl. a búza, az árpa, a mustár stb. vízigénye csupán öntözéssel elégíthető ki. A referencia növényállomány evapotranspirációja (ET_0) nagyon ingadozik *(I. táblázat)* két fő összetevője az aerodinamikus tag és az energiaháztartási összetevő az, amely számottevő hatást gyakorol értékeire *(II. táblázat)*. Az energia-háztartási összetevő százalékosan jóval nagyobb hatást gyakorolt, mint az aerodinamikus tag. Mindazonáltal e két összetevő és az ET_0 között számított korrelációs együttható közel azonosnak adódott, noha az energiaháztartási tényező túlsúlya vitathatatlan. Az összetett korrelációs együttható +0,997-nek adódott és az előrejelzésre alkalmas egyenletet (4-es összefüggés) az ET_0 két összetevőjének felhasználásával kapták meg.

✳

A note on the relationship between reference crop evapotranspiration and its components in a semiarid environment. New Delhi (28° 35N) is under semi-arid environment. During the crop growing season in winter (October – April) the rainfall is erratic and meagre. The seasonal rainfall is often well below normal. Water demand of most of the crops like wheat, barley, mustard etc. are met by irrigation alone. Reference crop evapotranspiration (ET_0) values are quite fluctuating *(Table I)*. The main two components of ET_0 are the aerodynamic term and energy balance component which influence significantly its values *(Table II)*. The percentage contribution of energy balance component was higher than aerodynamic component. However, their coefficient of correlation with ET_0 were nearly same, although energy balance factor has an upper hand marginally. The multiple correlation coefficient was + 0.997 and the predictive equation (Eq. 4) was obtained using the two components of ET_0.

✳

Introduction. The information on the potential evapotranspiration *(ET_0)* during *Rabi* crop season (October – April) in India is very important, particularly in a semi-arid areas like New Delhi (28°35'N). During this season the rainfall is quite erratic, meagre and remains well below normal. Most of the important crops like wheat, barley, mustard, gram etc. during this period requires adequate water and this met by irrigation only. The estimate or computation of ET_0 is of great interest to hydrologists, agronomists, irrigation engineers and climatiogists in planning their research projects. The ET_0 during the crop growing season is very much influenced by various climatic factors. The two major components of ET_0 are *the energy balance factor (H)* and *the aerodynamic element (E_a)*. In this paper an attempt is made to understand the location specific relation of these two components with ET_0 and to ascertain which one is more influential for ET_0 computation during the *Rabi* season under semi-arid location were worked out. The necessary climatological data for ET_0 computation were based on four years (1977 – 78 to 1980 – 81).

Material and method

The following equation called *modified Penman method* proposed by *Doorenbos* and *Pruitt* (1977) was adopted in computing ET_0, the aerodynamic term the energy terms:

$$ET_0 = C[W.R_n + (1-W)\cdot f(u)\cdot(e_a - e_d)] \quad (1)$$

ET_0 reference crop evapotranspiration,
e_a saturated vapour pressure (mb) at the mean air temperature (°C),
e_d mean actual vapour pressure of the air (mb),
$f(u)$ wind related function given by $0.27[1+(u_2/100)]$, for wind speed at 2 m height, in km/day,
$(1-W)$ a temperature and elevation related weighing factor for the effect of wind and humidity on ET_0,
R_a net radiation $- R_{ns} - R_{nl}$,
R_{ns} net incoming short wave solar radiation $= R_a(1-x)\cdot(0{,}25 + +0{,}50\ n/N)$, x is albedo factor, equal to 0.25,
R_a extra terrestrial radiation expressed in equivalent evaporation in mm/day,
n/N the ratio of actual sunshine hours to possible sunshine hours,
R_{nl} net long wave radiation $= f(t)\cdot f(e_d)\ f\ (n/N)$,
C adjustment factor for day and night wind speed and relative humidity.

TABLE I.

Weekly means of aerodynamic component, energy balance component and ET_0 (1977–78 *to* 1980–81)

Std. Wk. No.	Date and month	Aerodynamic component (mm)	Energy balance component (mm)	ET_0 (mm)
42	15–21 Oct.	0.9	3.4	4.3
43	22–28	1.0	3.1	4.1
44	29– 4 Nov.	0.9	3.2	4.1
45	5–11	0.9	2.3	3.2
46	12–18	0.6	2.2	2.8
47	19–25	0.8	2.1	2.9
48	26– 2 Dec.	0.8	2.0	2.8
49	3– 9	0.8	1.6	2.4
50	10–16	0.7	1.5	2.2
51	17–23	0.8	1.6	2.4
52	24–31 Dec.	0.7	1.3	2.0
1	1– 7 Jan.	0.6	1.5	2.1
2	8–14	0.8	1.5	2.3
3	15–21	0.6	1.5	2.1
4	22–28	0.8	1.7	2.5
5	29– 4 Feb.	1.0	1.6	2.5
6	5–11	1.0	2.0	3.0
7	12–18	0.8	2.2	3.0
8	19–25	0.8	2.4	3.2
9	26– 4 March	1.0	3.0	4.0
10	5–11	1.1	2.8	3.9
11	12–18	1.2	3.0	4.2
12	19–25	1.1	3.2	4.3
13	26– 1 April	1.2	3.5	4.7
14	2– 8	1.4	4.2	5.6
15	9–15 April	1.6	4.7	6.3

Equation (1) could be split further into two equations:

$$W = R_n + (1 - W) \text{ radiation energy component } (H) \quad (2)$$

$$f(u) \cdot (e_a - e_d) \text{ aerodynamic component } (E_a) \quad (3)$$

The meteorological parameters required for the evaluation of equation (2) and (3) were obtained from the standard meteorological instruments installed at the agrometeorological observatory of Water Technology Centre farm area, IARI. The exposure of the equipments are good. They are according to WMO standards and specifications. The surroundings of the observatory were fully covered on all sides by wheat crop . From the daily climatic values energy balance component, aerodynamic component and ET_0 were computed for four year period (1977–78 to 1980–81) taking only winter growing season (October–April). Weekly means were obtained for these four years and *Table I* shows the average values of these components. Simple correlation and multiplelinear regression equation were worked out between these two major components of ET_0 and their significance were tested.

2. *Result and discussion*

Table 1 gives an overall idea of variation of ET_0 and its components for New Delhi during the *Rabi* season taking the average four year values (1977–78 to 1980–81) on weekly basis. The energy balance component is following closely the same trend as ET_0 values. The aerodynamic term did not behave in a similar fashion. Their values were also much lower. The gradient between ET_0 and energy balance component values are very narrow compared to ET_0 and aerodynamic factors. However, there is not much difference

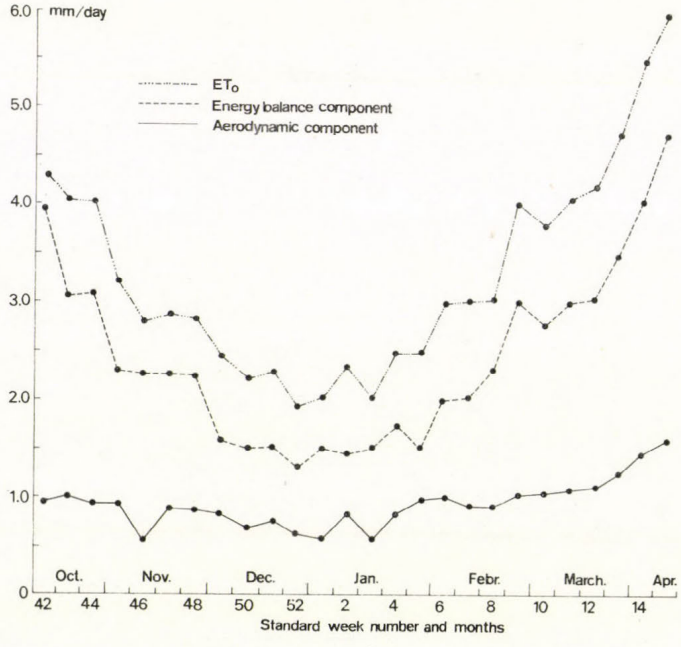


Fig. 1: Weekly values of ET_0 and its components during *Rabi* season (Oct.–Apr.)

in the coefficient of variation (c. v.)of both the components (c. v. for H was 38% c. v. for E_a was 39.5%).

It was found that aerodynamic factor contributed about 20% to 37% towards ET_0 on a weekly basis, whereas energy term contributed 63% to 80% towards ET_0.

A simple correlation was worked out between these two components and ET_0 *(Table II)*.

TABLE II.
Correlation coefficient r *and its significance*

Parameter	r value	Significance at 5%
ET_0 and energy term	+0.99	highly significant
ET_0 and aerodynamic term	+0.91	significant
Energy component and aerodynamic component	+0.86	significant

From Table II it can be seen that energy balance and aerodynamic components are significantly correlated with ET_0. However, energy term has marginal advantage our aerodynamic term unlike in arid condition where it is the aerodynamic factor that is very significant *(Krishnan* and *Kushwra*, 1971). A linear multiple regression equation was worked out between ET_0, H and E_a by taking data on weekly basis for the same period gave the following equation:

$$Y = 1.07\ X_1 + 1.09\ X_2 - 0.24, \qquad (4)$$

$Y = ET_0$ (mm/day),
X_1 = energy balance term (mm/day),
X_2 = aerodynamic term (mm/day).

So one could determine the ET_0 values knowing its major components.

The multiple correlation coefficient came out for the above equation (4) to be + 0.997 there by explaining about 99% of these variations of the dependent variables could be explained by these two major components, namely energy balance term and aerodynamic term.

Thus under semi-arid situation like New Delhi during winter growing season, both energy balance factor and aerodynamic factor are equally important for potential crop water deficit. However, energy balance term is having a marginal gain over the aerodynamic term in determining ET_0.

Acknowledgement. The author is thankful to *Dr. A. M. Michael*, Project Director, Water Technology Centre and Director, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi for his encouragement in this study.

REFERENCES

Doorenbos, J. and *Pruitt, W. O.*, 1977: Crop water Requirements, *Irrigation and Drainage paper 24* (Revised). FAO Publication, Rome.

Krishnan, A. and *Kushwa, R. S.*, 1971: A critical study of evaporation by Penman method during growing season of vegetation in the arid zone of India. *Arch. Met. Geoph. Biokl.* Ser. B. *19*, 267–76.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata 88. évf. 4. szám, 1984. július-augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 4. July-August, 1984. Budapest

A kukorica területi termésátlagának előrejelzése meteorológiai paraméterek segítségével

KMETYKÓ KATALIN, *Központi Előrejelző Intézet, H-1675 Budapest, Pf. 32.*

Prediction of areal average yield of maize on the basis of meteorological parameters. The paper presents the forecasting equations and results of the investigations concerning the relation between the relative yield and the climatic conditions required by maize for county Tolna. Meteorological elements include 22 parameters. The statistical method applied by the author is linear regression analysis, the period of investigation is 10 years, 1970–1979.

⁎

A kukorica területi termésátlagának előrejelzése meteorológiai paraméterek segítségével. A tanulmány a kukorica éghajlati igényének figyelembevételével 22 meteorológiai paraméter és a relatív terméshozam közötti összefüggés vizsgálatának eredményeit ill. az előrejelzési egyenleteket mutatja be, Tolna megyére vonatkozóan. Az alkalmazott statisztikai módszer a lineáris regresszió analízis, a vizsgálat időszaka 10 év, 1970–1979.

⁎

A termés mennyiségének előrejelzése a kutatókat és a gyakorlati szakembereket több mint 100 éve foglalkoztatja. E témának Magyarországon régi hagyományai vannak. Az első írásos feljegyzések az 1780-as évekből származnak. A szélsőséges időjárású időszakokat követő árvízek, aszályok, fagyok után mind gyakrabban fellépő éhínség hívta fel a figyelmet az ilyen irányú munkák szükségességére. A termésbecslések hosszú időn át szubjektív jellegűek voltak *(Simon,* 1974). A termés időjárási adatokra épülő előrejelzése Magyarországon az 1930-as években indult meg. *Berényi* (1931) korrelációs módszert alkalmazott a terméseredmények és az időjárási elemek közötti összefüggés vizsgálatában, majd a kukorica terméshozamának előrejelzését is erre alapozta *(Berényi,* 1945).

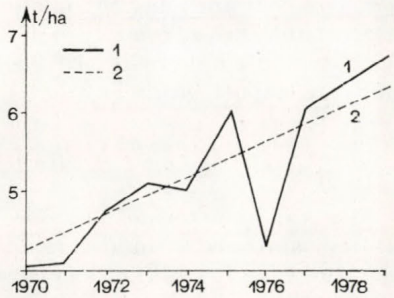
A terméseredmények növelése, az élelmiszertermelés fokozása jelenleg is a mezőgazdasági kutatások központi kérdése. Az utóbbi évtizedekben az agrotechnika, a kemizálás, a növényvédelem és a növénynemesítés eredményeinek felhasználása számos növény termésátlagának gyors emelkedését eredményezte. A termés mennyiségének és minőségének további növelése megkívánja, hogy az eddigiek mellett a környezeti és ezen belül az időjárási-éghajlati tényezők hatásait is mindinkább figyelembe vegyék.

A tenyészidőszak folyamán a növények szempontjából kedvezően, átlagosan, vagy kedvezőtlenül alakulhat az időjárás, de gyakran az egyes fejlődési szakaszokon belül is többször változhatnak a kedvező, illetve a kedvezőtlen hatások. Például a kukorica virágzása körüli időszakban fellépő szárazság 25–50%-os terméskiesést is okozhat *(Brochet* et al., 1975).

1. A kukorica termésátlagának egyik előrejelzési módszere

Termésbecslési módszerünk alapja a meteorológiai tényezők és a kukorica termésmennyisége közötti összefüggés vizsgálata. Célunk a területi termésátlag előrejelzése volt Magyarország közigazgatási rendszeréhez alkalmazkodó területegységekre (megyékre).

A vizsgálathoz felhasznált termés-adatok megyei termésátlagok, amelyek a megyében levő termelési szektorokban (termelő szövetkezet, állami gazdaság stb.) gyűjtött termés-adatok statisztikai halmazából számíthatók. A megye nagyságrendű területek termésátlagában a nem időjárás jellegű helyi tényezők némileg kiegyenlítik egymást és így viszonylag egynemű adatsort kapunk.



1. ábra: A kukorica termésátlagai Tolna megyében)1970 – 1979), (1) – termésátlag, (2): lineáris trend

Termésadatok. Előrejelzési módszerünk kidolgozásához a kukorica terméshozamának 1970 – 1979. évi adatsorát vizsgáltuk meg. Az eltelt időszakban a terméshozamok növekedtek. Az 1970-et követő években a megyei termésátlagok még 3 – 4 t/ha között, 1979-ben 4 – 6 t/ha között voltak. A vizsgált 10 évet követően, 1980 – 1982 között néhány megyében 6 – 8 t/ha-t meghaladó hozamok is előfordultak. A növekvő termésátlagok az agrotechnika fejlődésének, az új hibridek bevezetésének és még sok más tényező együttes hatásának eredményeként jöttek létre.

Az egyik legjobb kukoricatermelő körzet – Tolna megye – terméshozamának alakulását mutatjuk be az 1970 – 1979-es időszakban az *1. ábrán.* A terméshozamok emelkedése a vizsgált években nem volt egyenletes, a kiugró terméshozamokat stagnálás vagy éppen visszaesés követte.

Az időjárásnak a termésre gyakorolt hatását a többi termésalakító tényezőtől elkülönítve vizsgáltuk. Ehhez első lépésként előállítottuk a termésátlagok lineáris trendjét. A trend számítását a legkisebb négyzetek módszerével végeztük *(Köves – Párniczky,* 1973). A trend egyenlete általános alakban felírva:

$$Y^x = b \cdot t + a \qquad (1)$$

hol Y^x a termés-trendet, t az időt (év) jelenti, a és b pedig az egyenlet állandói. Tolna megyére a terméstrend egyenlete:

$$Y^x = 1{,}10 \cdot \text{év} + 50{,}50 \qquad (2)$$

Feltételezésünk szerint a trend a termésátlag idősorában tartósan érvényesülő hatásokat összegezi (agrotechnika, növényvédelem stb.), míg az egyes évek időjárásának hatásai a termésnek a trendtől pozitív vagy negatív irányban való eltérésében mutatkoznak meg. Így kedvező időjárású években – ábránk szerint is – a termésátlag magasabb lesz, kedvezőtlen években pedig alacsonyabb, mint a termés-trend értéke.

Meteorológiai adatok. Az időjárási alapon történő termésbecslés során azokat a meteorológiai elemeket vagy elem-együtteseket, indexeket vettük figyelembe, amelyek a kukorica számára létfontosságú energiát adnak, vagy döntő fontosságú folyamatokat szabályoznak. Általában a fény, a hő és a víz jelenti ezeket a tényezőket.

Az ideális terméselőrejelzési modellnek számtalan meteorológiai és nem meteorológiai paramétert kellene tartalmaznia. Jelenleg csak korlátozott számú paraméter alkalmazására volt módunk. A kukorica fényigényét a napfénytartam, a hőigényét a léghőmérséklet, a vízigényét pedig a csapadék, illetve nedvességi indexek alkalmazásával vettük figyelembe.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat megfigyelő állomásai közül – területi-egységenként aránylag egyenletes eloszlásban – megyénként 4 – 8 állomást választottunk és ezek adataiból állítottuk elő a meteorológiai elemek terület átlagát a vizsgált 1970 – 1979-es időszakra. E tanulmányban, csak a Tolna-megyére kapott eredményeket mutatjuk be.

2. *Összefüggés a kukorica terméshozama és az időjárási elemek között*

A kukorica termésmennyisége és az időjárás közötti összefüggés vizsgálatában statisztikai módszereket alkalmaztunk. A statisztikai módszerek előnye, hogy segítségükkel lehetővé válik a termés és a meteorológiai tényezők közöttikapcslatok mennyiségi elemzése.

A kukoricával kapcsolatos vizsgálatokat több statisztikai módszerrel is elvégeztük, így lineáris és nem lineáris regresszió analízis két- és több-változós egyenleteivel *(Kmetykó,* 1979), valamint a többszörös nem-lineáris regresszio számítás grafikus szukcessizv approximációs módszerével *(Kmetykó – Ajtay,* 1973; *Kmetykó,* 1974).

Az összefüggés vizsgálatának eredményeit statisztikai jellemszámok és a kukorica éghajlati igényének figyelembe vételével értékeltük.

Tanulmányunkban a lineáris regresszió analízissel végzett terméselőrejelzési módszert mutatjuk be Tolna megye adatain. A termés-adatok vizsgálatában – mint említettük – abból a feltevésből indultunk ki, hogy minden egyes év időjárása a trend értéktől pozitív vagy negatív irányban módosíthatja a termésátlagot. A kedvező években tehát a területi termésátlag magasabb lesz, a kedvezőtlen években alacsonyabb a trend értéknél. Az összefüggés vizsgálatában ezért a tényleges termésadatok helyett az adott év terméshozama és a trend érték közötti különbséggel, mint a termést jellemző mennyiséggel számolunk. Ezt az értéket *relatív termésnek* nevezzük és a továbbiakban R_t-vel jelöljük.

A kukorica éghajlati igényét figyelembe véve az *I. táblázatban* felsorolt 22 meteorológiai paraméter és a relatív terméshozam között vizsgáltuk az összefüggést.

A meteorológiai paraméterek döntő többsége a csapadékkal kapcsolatos, mert a térben és időben szeszélyes eloszlású csapadék, főleg az ország középső és keleti területein a kukorica nedvesség-igényének alsó határán van. Így a terméshozamok alakulásában nagyobb szerepet kap a tenyészidőszak csapadékellátottsága, mint hőellátottsága, hiszen ez utóbbi az esetek 80 – 85%-ában megfelel a kukoricának.

A összefüggések lineáris regresszió analízissel végzett vizsgálatában meghatároztuk mind a 22 meteorológiai paraméter kapcsolatát a relatív terméshozammal. A kétváltozós lineáris regressziós egyenlet általános alakban:

$$R_t = a + b \cdot m_p \qquad (3)$$

ahol R_t a relatív termés, vagyis az adott meteorológiai elem termést módosító értéke, a és b az egyenlet állandói, m_p pedig a meteorológiai paraméter.

I. táblázatunkban Tolna megyére a relatív termés *(R_t)* és a különböző meteorológiai tényezők közötti összefüggés vizsgálatok alapján kapott korrelációs koefficienseket is bemutatjuk. Táblázatunkból kitűnik, hogy Tolna megyében a hőmérsékleti paraméterek legföljebb a vetés előtt, illetve alatt (március—áprilisban) mutatnak közepes kapcsolatot a relatív terméshozammal, míg a sugárzási hatásokkal a vetés, virágzás és az érés (ápr., jún. szept.) idején is számolni kell. A csapadékellátottság fontossága a virágzás körüli időszakban jelentős. Vizsgálatunkban a terméshozam előrejelzéséhez közepes vagy szoros kapcsolatot mutató összefüggést táblázatunk szerint — viszonylag keveset kaptunk.

Az ismertetett módszer alapján bemutatjuk a kukorica terméshozamának előrejelzését Tolna megyére az 1980 és 1983 közötti évekre vonatkozóan. A termés-trend értéke a (2) formula alapján számítva:

$Y^x_{1980} = 6{,}48$ t/ha $\qquad Y^x_{1982} = 6{,}91$ t/ha

$Y^x_{1981} = 6{,}70$ t/ha $\qquad Y^x_{1983} = 7{,}14$ t/ha

Az I. táblázatban megadott meteorológiai paraméterek közül a termésbecslés-

I. TÁBLÁZAT

A relatív terméshozammal összefüggésbe hozott 22 meteorológiai paraméter és a korrelációs koefficiensek (Tolna megye, 1970—1979)

Jelmagyarázat: T = hőmérséklet, $\overline{T}$ = havi közép, $\overline{T}_{max}$ = havi átlagos maximum, $\overline{T}_{min}$ = havi átlagos minimum, $\Sigma T_{5°}$ = az 5° feletti hőmérséklet összege (júl+aug.), S = napfénytartam, P = havi csapadékösszeg, ΣP_v = potenciális vízhiány, teljes összeg (márc.—okt.) ΣP = a táblázatban látható időszakokban az összegezett csapadék.

Meteorológiai paraméter		Korrelációs koefficiens							
		Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.
1	$\overline{T}$	-0,45	-0,44	0,12	-0,20	-0,30	-0,17	-0,23	-0,11
2	$\overline{T}_{max}$		0,33	0,08					
3	$\overline{T}_{min}$		0,33	0,07					
4	$\Sigma T5^o$					0,05			
5	S	-0,64	-0,42	0,08	-0,43	-0,10	-0,22	-0,48	0,03
6	P	0,22	-0,19	-0,22	0,35	0,41	0,06	-0,10	-0,08
7	ΣP_v		0,19						

ΣP időszak		Σ hónap	A korreláció a tenyészidőszakon belüli különböző számú hónapok csapadékösszegével
8	márc. — ápr.	2	-0,08
9	— máj.	3	0,04
10	— jún.	4	0,33
11	— júl.	5	0,48
12	— aug.	6	0,51
13	ápr. — máj.	2	0,01
14	— jún.	3	0,30
15	— júl.	4	0,45
16	— aug.	5	0,50
17	máj. — jún.	2	0,43
18	— júl.	3	0,59
19	— aug.	4	0,57
20	jún. — júl.	2	0,67
21	— aug.	3	0,63
22	júl. — aug.	2	0,48

hez a május, június és július hónapokban lehullott csapadék összegét vettük figyelembe. A relatív terméshozamot a (3) formula alapján számítottuk.

Év	R_t(t/ha)	3 havi csapadékösszeg (mm)
1980	+0,04	221
1981	−0,06	209
1982	+0,09	231
1983	−0,17	171

Az adatok jól mutatják a csapadék függvényében a relatív termés változását. Különösen kitűnik az 1983-as aszályos év terméscsökkentő hatása.

A várható termésátlag értékét a termés-trend és a relatív termésátlag együttesen adja meg:

$$Y_{vt} = Y^x + R_t \qquad (4)$$

ahol Y_{vt} az előrejelzett területi termésátlagot, Y^x a termés-trendet, R_t a relatív terméshozamot jelenti. Tolna megyére tehát a (4) formula alapján az előrejelzett termésátlag:

Év.	1980	1981	1982	1983
Y_{vt} (t/ha):	6,52	6,64	7,00	6,97

Az előrejelzett és a tényleges terméshozam alakulása tehát a következő volt:

Év	Tényleges termésátlag t/ha	Előrejelzett termésátlag t/ha	Eltérés t/ha
1980	6,53	6,52	−0,01
1981	6,88	6,64	−0,24
1982	8,25	7,00	−1,25

Tolna megyére 1980-ban 0,01 t/ha-ral, 1981-ben és 1982-ben 0,24 illetve 1,33 t/ha-ral kevesebb volt az általunk becsült terméshozam a ténylegesnél. Az 1983. évi termésbecslés értékelését nem tudtuk elvégezni, mivel tanulmányunk készítése idején a tényleges termés adatok még nem álltak rendelkezésünkre.

Tolna megyéhez hasonlóan az ország minden megyéjére elvégeztük az összefüggések vizsgálatát. A megyék klimatikus, talajtani, földtani stb. adottságai azonban igen különbözők, így körzetenként más-más meteorológiai tényezők hatnak nagyobb mértékben a terméshozamokra.

A nyugati határ mentén levő megyékben a kukorica vetési időszakán kívül a termésképződési és érési időszakban is kell a hőmérséklet hatásával számolni, míg a keleti és déli körzetekben a nyári időszak csapadékösszegei mutatnak szignifikáns kapcsolatot a terméshozammal.

Összefoglalva: a bemutatott módszer alapján a kukorica területi termésátlagát Tolna megye térségére 4 évre prognosztizáltuk. A tényleges terméshozamot azokban az években tudtuk viszonylag jó eredménnyel közelíteni, amikor a tenyészidőszak időjárása kedvezően alakult, tartós szárazság, aszály nem fordult elő és az agrotechnikában sem volt jelentős változás.

IRODALOM

Berényi D., 1931: Az időjárási elemek és a mezőgazdasági növények terméseredménye közötti összefüggést kutató módszerek. *Debreceni Szemle* 44, 4.

Berényi D., 1945: *A kukorica termelés és összefüggés az időjárással.* Alföldi Magvető Kiadó, Debrecen.

Brochet, P., Gerbier, N., Bedel, J., 1975: Applications á la prevision des phases phénologiques et des rendements. *Monographies de la Météorologie Nationale N° 95.* Paris.

Kmetykó K., Ajtay Á., 1973: Az időjárás hatása a kukorica és a burgonya termelésmennyiségére. *Időjárás 77*, 3. 184-187.

Kmetykó K., 1974: *Kukorica.* Agroklimatológia és növénytermesztés, OMSZ Budapest.

Kmetykó K., 1979: Terméshozam előrejelzés meteorológiai paraméterekkel. *Tudományos napok '78*, OMSZ Hiv. Kiadv. XLVIII. Budapest.

Köves P., Párniczky G., 1973: *Általános statisztika.* Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.

Simon B., 1974: *A termelésbecslés módszerei.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

CORRIGENDUM

In the last issue of *Időjárás* Vol. 87. No. 6, unfortunately remained some errors in the paper of Dr. H. *Neumeister*. The editor apologises for any inconvenience caused by these errors. The corrections are the following:

Page 319, line 7 from below: methods *for* individual...

Page 320, line 9 to 5 from below: The transitory presentation, howewer, has the disadvantage that one has to look at the loop very often to form a nearly area-covering overview in the mind without obtaining *a comprehensible*, i. e. not transitory product of the changes, for instance, in form of a picture.

Page 321, line 19 ...to *the* effects of...

Page 323, line 13 ...is *made* by...

Page 324, lines 23/24 ...shows *the*...
...the simulat*ion*

Colour inset plate, left side: *the picture of figure 1 was mistaken for the picture of figure 4*

Page 325, line 6 ...as *de*fined in...

Page 325, line 11 ...and tra*ck*ing of...

Page 325, 2. Conclusions, lines 10/11 ...processing. *Such refinements could be done as follows:*...

Page 325, 2. Conclusions, line 1 ...be considered *as* a new...

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 4. szám, 1984. július-augusztus
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 4. July-August, 1984. Budapest

Összefüggés a vetőburgonya terméshozama és a meteorológiai tényezők között

AJTAY ÁGNES, BONCZ JÓZSEF, *Központ Meteorológiai Intézet, H-1525 Budapest, Pf. 38 és* TAKÁCS FERENC, *Palóctáj Burgonyatermelő Társulás, H-2671 Őrhalom*

Relation between crop yield of seed potatoes and meteorological parameters. A connection is searched by the authors between the crop yield of seed potatoes cultivated in 6 co-operative groups in county Nógrád by bulk production and the date of plantation, precipitation, sunshine-duration, moisture and daily maximum temperature. The average were evaluated for the growing- season of seed potatoes between April and August by using 6 – 10 year data then the connection between the averages and crop yield is investigated by principal component analysis. It is pointed out, that during the growing season which meteorological element or joint elements effect – when and what an extent – on the amount of crop.

⁎

Összefüggés a vetőburgonya terméshozama és a meteorológiai tényezők között. A vetőburgonyának a nagyüzemi termesztés során a Nógrád megyében működő hat termelőszövetkezetben elért terméshozamait a szerző az ültetés ideje, a csapadék, a napfénytartam, a talajnedvesség és a napi maximumhőmérséklet átlagértékeivel hozza összefüggésbe. Az átlagokat a vetőburgonya vegetációs időszakában, április és augusztus között, havi vagy félhavi bontásban 6 – 10 évi anyagból számítja, majd a főkomponensanalízis módszerével elemzi az átlagok és a terméshozam közötti összefüggést. Kimutatja, hogy a vegetációs időszak folyamán melyik éghajlati elem vagy elemegyüttes mikor, milyen hatást gyakorol a termés mennyiségére.

⁎

A vetőmag előállítása a termelőüzemekben mindig sokkal nagyobb körültekintést és gondosságot igényel az agrotechnika terén, mint az árutermék termelése. Különösen érvényes ez a burgonya szaporítóanyag előállítására, mert a burgonya nagyon érzékeny a környezeti tényezőkre és a betegségekre. A vetőburgonya termesztése során nem csupán az agrotechnikára ügyelnek, hanem arra is, hogy azt országunk mely körzetében állítják elő.

A Palóctáj Intenzív Burgonyatermelő Társulás hat üzeme – ahonnan a termésadatok származnak – részben az Ipoly völgyében (*Hazafias Népfront* Tsz, Őrhalom, *Szondi György* Tsz, Drégelypalánk), a nógrádi medencében (*Madách Imre* Tsz, Szügy, *Magyar–Csehszlovák Barátság* Tsz, Érsekvadkert), részben pedig a Cserhát előterének dombos, erdővel övezett tájain helyezkedik el (*Rákóczi Ferenc* Tsz, Szécsény, *Új Kalász* Tsz, Varsány). Az itt felsorolt területek is a történelmileg kialakult, vetőburgonyát termesztő tájainkhoz tartoznak csakúgy, mint a Bakony vidéke, a dél- és dél-nyugat dunántúli országrész, ill. Borsod-Abaúj-Zemplén megye (*Lőrincz*, 1979).

A kísérleti terület a vegetációs időszakban szárazabb, mint a burgonya termesztésére kiváló, szomszédos Borsod-Abaúj-Zemplén megyei területek, ned-

vességellátottság szempontjából pedig inkább kapcsolódik a Komárom és Pest megyei részekhez, nem tekintve természetesen e megye hegyvidéki területeit. A hőmérséklet e tájon alacsonyabb, mint az Alföldön. Hőmérsékletét, csapadékviszonyait és a Szeljanyinov-féle hidrotermikus együtthatóit *(Szaposnyikova,* 1958) Balassagyarmat adataival (1951–1980) az alábbiakban mutatjuk be:

	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.
Középhőmérséklet (°C)	10,2	15,0	18,6	19,9	19,2
Csapadék (mm)	43	57	79	63	57
HTK (Σr/0,1Σt)	1,60	1,22	1,41	1,02	0,96

A terület hőellátottsága a burgonya fejlődésének kezdeti és középső szakaszában áprilistól–júniusig megfelelő, különösen kedvező a júliusi és az augusztusi, 20 fok alatti átlagos hőmérséklet. A vegetációs időszak (ápr.–aug.) folyamán átlagosan 305 mm csapadék hull, természetesen a különböző években nagy lehet az ingadozás.

A hidrotermikus koefficiens (HTK) értéke áprilistól júniusig pozitív vízháztartást mutat, mert 1-nél nagyobb az átlag, júliusban gyakorlatilag 1,00, tehát a vízháztartás mérlege egyensúlyban van, augusztus egy kissé szárazabb, a HTK értéke 1-nél kisebb.

Ajtay, (1978) korábbi vizsgálata szerint a burgonyatermés mennyisége szempontjából döntő fontosságú gumónövekedési időszakban(június közepétől augusztus közepéig) Nógrád megye azon területein, ahol az említett termelőszövetkezetek vannak, a csapadékmennyiség 120–140 mm, a hőmérséklet középértéke 20 fok, a hidrotermikus koefficiens értéke 0,9–1,00 közötti. Ezen számértékek alapján ez a terület a burgonyatermesztés agroklímatológiai körzetei közül a II. zónába sorolható.

Anyag és módszer

Vizsgálatunk célja a 3–6 cm keresztátmérőjű vetőburgonya mennyiségi alakulásának vizsgálata a meteorológiai elemek függvényében. Nem mulasztottuk el azonban a szaporító területről lekerült teljes terméshozam összevetését sem az időjárási tényezőkkel, sőt a termelési gyakorlatban jellemző számként használt szaporítási hányados évi értékeit is kapcsolatba hoztuk a meteorológiai elemekkel. A szaporítási hányados az a szám, amelyik megmutatja, hogy egy adott területen elültetett elit gumó súlyának hányszorosát takarítják be. Ez a mértékszám évenként változik, érzékeny mérője a termelési, így az ökológiai körülményeknek is. Nem érdektelen ezért ezt a tényezőt is összevetni az időjárási paraméterekkel. A szaporítási hányados adatsora a Hazafias Népfront Tsz-re vonatkozik és *Sárosi* (1981) dolgozatából kölcsönöztük.

A vizsgálatban szereplő terméshozam adatsor kizárólag a Desire-fajtára vonatkozik és a Palóctáj Társulás táblatörzskönyvi anyagából származik. A vetőburgonyát mind a hat üzemben Hollandiából behozott eredeti importú, *elit* szaporítóanyagból állítják elő. Vizsgálatunkhoz messzemenően ragaszkodtunk az egyneműséghez, amelynek feltételeit az alábbiakban összegezzük: fajtaazonosság (Desire), kizárólag a fajtát előállító országból – Hollandiából – származó alapanyagból előállított vetőburgonya, táblatörzskönyvi anyag, a termelési körzet ökológiai egysége, azonos agrotechnika.

Számításunk módszere az ún. *főkomponens-analízis (Sváb,* 1979). Az analízis folyamán a terméshozamot az alábbi 19 független változóval hoztuk kap-

csolatba: az évek száma, ültetési időpont; az április—augusztus időszak csapadékmennyisége havonkénti bontásban; a 0—50 cm-es talaj nedvességtartalma a szántóföldi vízkapacitás %-ában májustól—augusztusig, havi bontásban (számított anyag); májusban a napfényes órák száma; a napfényes órák június-júliusi együttes összege; a napi maximum hőmérséklet félhavi átlagai jún.—aug. között.

I. TÁBLÁZAT

A megfigyelési változók és a terméshozam átlagértékei ($\bar{x}$) és szórásai (s)

Megfigyelés ideje	Őrhalom 1973—1982		Szügy 1975—1982		Érsekvadkert 1975—1982		Szécsény 1976—1982		Varsány 1976—1982		Drégelypalánk 1977—1982	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Ültetési idő											
	IV. 8.	9,1	IV. 13.	8,7	IV. 10.	6,9	IV. 2.	8,2	IV. 11.	8.7	IV. 10.	3,7
	Csapadékmennyiség (mm)											
Ápr.	42	24,6	44	25,4	47	31,2	53	35,6	53	35,6	43	31,8
Máj.	46	25,6	46	20,9	43	20,5	43	20,8	46	20,8	39	24,5
Jún.	73	25,3	71	25,8	70	30,9	61	36,1	61	36,1	63	14,7
Júl.	70	37,5	76	38,8	57	21,8	53	18,8	53	18,8	56	16,1
Aug.	45	22,2	46	17,1	49	20,8	50	30,7	50	30,7	37	12,8
	Talajnedvesség (%)											
Máj.	47	18,7	52	17,2	52	17,2	54	16,9	54	16,9	55	18,5
Jún.	45	15,3	48	15,1	48	15,1	49	16,2	49	16,2	51	16,4
Júl.	37	12,3	42	4,1	42	4,1	42	4,3	42	4,3	42	4,7
Aug.	30	13,0	36	6,0	36	6,0	37	4,6	37	4,6	36	3,3
	Napfénytartam (óra)											
Máj.	232	40,4	231	36,5	231	36,5	233	29,2	233	39,2	234	42,8
Jún.+ Júl.	471	47,8	478	48,7	478	48,7	482	51,6	482	51,6	466	32,6
	Napi maximumhőmérsékletek félhavi átlagai (°C)											
Jún. 1.	24,2	2,8	24,7	2,6	24,7	2,5	25,1	2,3	25,7	2,3	25,7	1,8
2.	24,3	1,8	24,4	2,0	24,4	2,0	24,1	1,9	24,1	1,9	23,6	1,3
Júl. 1.	25,1	2,2	25,1	2,4	25,1	2,4	24,8	2,5	24,8	2,4	24,2	2,1
2.	25,5	1,2	25,5	1,3	25,5	1,3	25,6	1,4	25,6	1,4	25,4	1,5
Aug. 1.	26,3	2,4	26,0	2,6	26,0	2,6	26,0	2,8	26,0	2,8	26,5	2,8
2.	24,5	2,0	23,7	1,3	23,7	1,3	23,6	1,3	23,6	1,3	23,4	1,4
	Vetőgumó hozam (t/ha)											
	19,4	30,1	25,9	84,6	19,9	27,2	21,5	62,6	21,1	56,3	23,8	76,2
	A szaporodási terület össztermése (t/ha)											
	25,3	62,6	30,2	10,1	25,5	59,7	26,5	53,9	24,6	58,4	28,2	67,9
	Szaporítási hányados											
	7,2	1,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

II. TÁBLÁZAT

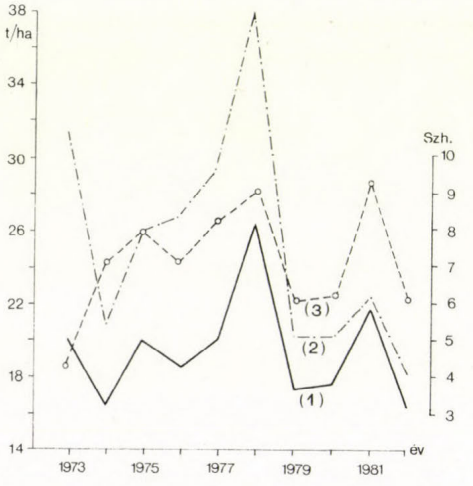
A megfigyelt változók és a vetőgumó hozam együttes analíziséből nyert főkomponens-súlyok

Megfigyelés ideje	Őrhalom				Szügy		Érsekvadkert		Szécsény			Drégely-palánk	Varsány		Szaporítási hányados	
	I.	III.	IV.	V.	II.	III.	I.	V.	I	II.	III.	II.	II.	III.	I.	II.
							Trend									
	.	.	.	.	−0,70	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,73	.
							Ültetési idő									
	.	−0,67	.	.	−0,84	.	.	.	0,77	.	.	.	.	.	.	
							Csapadék (mm)									
Ápr.	.	.	0,78	.	.	.	0,58	0,64	.	.	.	.	.	.	.	.
Máj.	.	0,83	.	.	.	0,78	.	.	.	0,87	.	0,54	0,82	.	.	0,55
Jún.	.	.	.	0,64	.	.	0,78	.	0,91	.	.	.	0,60	.	.	−0,64
Jul.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,51
Aug.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
							Talajnedvesség (%)									
Máj.	0,73	.	.	.	0,70	.	0,74	.	.	0,83	.	.	0,83	.	0,77	.
Jún.	0,85	.	.	.	.	.	0,79	.	0,78	0,59	.	0,43	0,92	.	0,85	.
Júl,	0,61	.	.	.	.	0,51	.	.	.	.	0,93	0,81	.	0,86	0,66	.
Aug.	0,58	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,66	0,57
							Napfénytartam (óra)									
Máj.	.	−0,85	.	.	−0,46	−0,82	.	.	.	−0,67	−0,63	−0,91	−0,49	−0,55	.	−0,55
							Napi maximumhőmérsékletek félhavi átagai (°C)									
Jún. 1.	.	.	.	.	−0,57	.	.	.	.	.	.	−0,61	.	.	.	.
2.	−0,53	.	.	.	.	.	−0,59	.	−0,81	.	.	−0,72	−0,77	.	.	.
Júl. 1.	.	.	.	.	.	.	−0,67	.	−0,77	.	.	.	−0,50	.	.	.
2.	−0,49	.	−0,67	.	−0,49	.	−0,95	.	−0,49	−0,64	.	.	−0,82	.	.	.
Aug. 1.	.	.	−0,43	.	−0,77	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	−0,68
2.	−0,79	.	.	.	−0,46	.	.	.	.	−0,56	.	.	−0,60	.	−0,81	.
							Vetőgumó termés (/ha)									
	0,46	0,39	0,43	0,45	0,72	0,55	0,80	0,44	0,55	0,62	0,55	0,83	0,59	0,60	.	.
							Szaporítási hányados									
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,47	0,66
								λ_j								
	5,07	3,53	2,67	1,65	4,76	3,00	5,63	2,31	7,10	5,92	3,44	4,98	6,03	3,50	5,04	4,33

Ez utóbbi tényezővel jellemezzük a léghőmérséklet nappali alakulását, mert a magas hőmérsékletnek terméscsökkentő hatása van. A fenti megfigyelési változók, valamint a terméshozamok átlagértékeit $(\bar{x})$ és szórásait (S) az *I—II. táblázat* tartalmazza a vizsgált évekre és az egyes termelőüzemekre vonatkozóan. E táblázatokban feltüntettük azt is, hogy adataink mely évekből származnak. A leghosszabb adatsor a Hazafias Népfront Tsz-ből származik (10 év), a többi termelőszövetkezet anyaga 6—8 évet ölel fel.

Értékelés

Az I— táblázat szerint átlagosan a Rákóczi Tsz ültetett legkorábban (ápr. 2.) és a *Madách* Tsz a legkésőbben (ápr. 13). Az adatok tanúsága szerint a *Rákóczi* Tsz több éven keresztül ültetett március utolsó dekádjában, és ültetési időpontjai április első dekádjánál nem estek későbbre. A *Madách*



1. ábra: (1) a vetőburgonya terméshozama (t/ha); *(2)* a szaporítási hányados, szh; *(3)* a szaporítási területről betakarított összes termésmennyiség (t/ha); Őrhalom, Hazafias Népfront TSZ

Tsz-ben átlagosan április második, két esetben a harmadik dekádjában ültettek. Az őrhalmi üzem kivételével a többi termelőszövetkezetben március utolsó napjaitól április közepéig ültettek, tehát nagyjából két hetes periódust ölel fel az ültetési időpontok abszolút ingása.

A vizsgált 10 éves időszakban a csapadékmennyiség középértéke a sokévi átlaghoz közel állt, csupán augusztus hozott kevesebb csapadékot. A szórás áprilistól júliusig elég nagy (25—35 mm), augusztus — két helytől eltekintve, ahol 30 mm körüli — 13—22 mm között alakult.

A talaj nedvességtartalma május—júniusban volt a legnagyobb, átlagosan 45—55% közötti a felső 50 cm-es rétegben, júliusban és augusztusban általában 30—40%. A szórásérték is ez utóbbi két hónapban volt a legkisebb.

A napfényes órák átlagos száma májusban 10—15 órával több volt az átlagosnál, júniusban és júliusban viszont 25—30 órával kevesebb.

A napi maximumhőmérsékletek félhavi középértéke júniusban és augusztus második felében a legalacsonyabb, 24—25 fok közötti, és augusztus első felében a legmagasabb, 26—27 fok.

A terméshozamok átlagait is megtaláljuk a táblázatokban, a vetőburgonya mennyisége természetesen kevesebb, mint a szaporító területről betaka-

rított termés. Az *1. ábra* a Hazafias Népfront Tsz terméshozamait mutatja be az egyes években. Ugyanitt a szaporítási hányados értékeinek évi alakulását is feltüntettük.

A főkomponens-súlyokat a II–III. táblázat tartalmazza, értékelésünket ennek elemzésével folytatjuk; a 0,60 fölötti értéket már jelentősnek fogadtuk el. Az évek számát a termés időben való növekedésére, ill. csökkenésére mutató tényezőként vettük figyelembe.

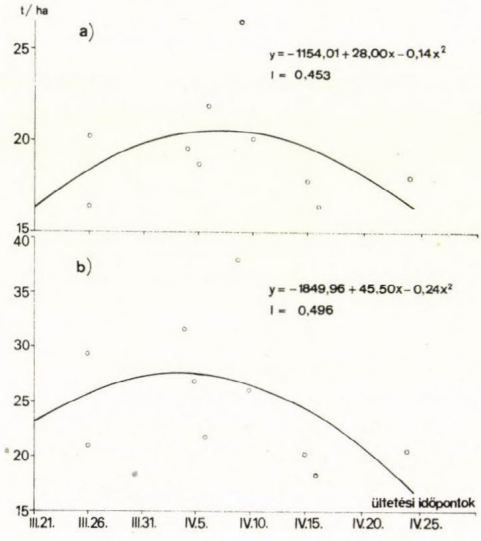
Az ültetés időpontja a burgonya fejlődése és a termés mennyisége szempontjából fontos tényező. Az ültetés optimális talajhőmérséklete akkor áll be, ha az 5–10 cm-es talajréteg hőmérséklete tartósan átlépi a 7 fokot. A tavaszi időszakra jellemzően a talaj-szinkronban a léghőmérséklet emelkedésével – gyorsan, rövid idő alatt melegszik föl, ezért a kedvező ültetési időszak csak 10–12 napot tesz ki (*Ajtay*, 1977). Számításainkból kiderül a kedvező ültetési periódus kihasználásának fontossága.

III. TÁBLÁZAT

A megfigyelési változók és a szaporítási terület össztermése együttes analíziséből nyert főkomponens-súlyok

Megfigyelés ideje	Őrhalom		Szügy		Érsekvadkert			Szécsény		Drégelypalánk		Varsány	
	III.	IV.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	I.	II.	II.	III.
					Trend								
	·	−0,56	−0,70	·	·	−0,94	·	·	·	·	·	·	0,70
					Ültetési idő								
	−0,59	·	−0,82	·	·	·	·	0,78	·	·	−0,71	·	·
					Csapadék (mm)								
Ápr.	·	0,82	·	·	0,56	·	·	·	·	·	·	·	·
Máj.	0,78	·	·	0,78	·	0,53	0,59	·	0,80	0,67	0,58	0,84	·
Jún.	·	·	·	·	0,76	·	·	0,91	·	·	·	0,52	·
Júl.	·	·	·	·	·	·	·	·	·	0,73	·	·	·
Aug.	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
					Talajnedvesség (%)								
Máj.	0,60	·	0,71	·	0,73	·	·	·	0,88	·	·	0,87	·
Jún.	·	·	·	·	0,75	·	·	0,72	0,60	0,46	·	0,88	·
Júl.	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	0,78	·	0,90
Aug.	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
					Napfénytartam (óra)								
Máj.	−0,81	·	·	−0,74	·	·	·	·	−0,55	·	−0,88	−0,52	−0,57
					Napi maximumhőmérsékletek félhavi átlagai (°C)								
Jún. 1.	−0,55	·	−0,51	·	·	·	·	·	·	−0,75	−0,56	·	·
2.	·	·	·	·	−0,57	·	·	−0,75	·	−0,51	−0,49	−0,71	·
Júl. 1.	·	·	·	·	−0,66	·	·	−0,82	·	·	·	−0,45	·
2.	·	−0,68	−0,57	·	−0,95	·	·	−0,48	−0,72	−0,78	·	−0,80	·
Aug. 1.	−0,42	·	−0,76	·	·	−0,84	·	·	·	−0,73	·	·	·
2.	·	·	−0,53	·	−0,71	·	·	·	·	−0,63	·	·	·
					Szaporítási terület össztermelése (t/ha)								
	0,41	0,69	0,74	0,47	0,63	0,39	0,42	0,78	0,36	0,38	0,76	0,51	0,63
					λ_j								
	3,64	2,85	4,81	2,86	5,36	4,66	1,37	7,44	5,65	6,46	5,06	5.91	3,48

A Rákóczi Tsz területére számított ültetési idő főkomponens-súlya pozitív előjelű. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált időszakban a későbbi ültetési időpont választása volt a kedvező. Az előzőkben már utaltunk arra, hogy ebben az üzemben több éven keresztül március utolsó dekádjában, ezen belül is az első napokban került a talajba a szaporítóanyag. Amikor az ültetést április első dekádjában végezték, magasabb terméshozamokat kaptak. A szécsényi üzemhez a varsányi Új Kalász Tsz esik legközelebb, ahol a termésmennyiség és az ültetési időpont között nincs kapcsolat, vagy legalább is nem szoros. Varsányban egy év kivételével április első felében ültették el a burgonyát, így az kedvező hőmérsékletű talajba került.



2. ábra: Az ültetési idő összefüggése (a) a vetőburgonya terméshozamával és (b) a szaporítási területről betakarított összetermés mennyiséggel; Őrhalom, Hazafias Népfront TSZ

A Madách Tsz-ben a főkomponens-súly negatív előjelű; ez arra mutat hogy a vizsgált években akkor volt több a termés, ha korábban ültettek Említettük már, hogy ebben az üzemben általában április második dekád jában, illetve a harmadikban ültették a burgonyát, amikor a talaj hőmér séklete az optimálisnál melegebb volt, így a terméscsökkentő hatás ér vénye sült.

A *2. ábrán* az őrhalmi üzem terméseredményeit (y) ábrázoltuk az ültetési időpontok (x) függvényében. A két változóhoz analítikus függvényt illesztettünk és a másodfokú polinom illesztése adta a legjobb összefüggést az ültetési időpontok és a terméshozam között. Az összefüggés szorosságára az *I* korrelációs együttható utal. Az ültetés intervalluma ebben az üzemben a tíz év során márc. 26. és ápr. 24. közé esett, tehát az abszolút ingás egy hónap. E két ábra szerint — az előbb említettekkel egybehangzóan — a kérdéses körzetben a burgonya ültetésének optimális időszaka április első dekádja.

A csapadék mennyisége — összhangban a korábbi vizsgálatokkal *(Ajtay,* 1980) — termést meghatározó jelentőségű elem. Jelen vizsgálatunkban a májusi és júniusi csapadékmennyiség mutat szoros kapcsolatot a terméssel.

A burgonyagumót takaró termőföld nedvességtartalma kihat a gumó sú-

lyára, nagyságára. A talaj nedvességtartalma a csapadéktól, ill. a párolgást befolyásoló léghőmérséklettől, továbbá a légnedvességtől, széltől, sugárzástól, nemkülönben a talajfajtától függ. E tényezők függvénye az, hogy a burgonya vegetációs periódusában kedvező vagy kedvezőtlen-e a nedvességtartalom alakulása. Számításainkhoz a májustól augusztusig tartó időszak havi talajnedvesség értékeit használtuk fel. Itt is megmutatkozik a burgonya későtavaszi és nyári nedvességigénye, a főkomponens-súly értékek magasak és pozitív összefüggést mutatnak a terméssel.

A napfénytartam és a terméshozam értékelése korábbi vizsgálatainkat (*Ajtay*, 1980; *Ajtay* et al., 1984) megerősítik, tehát azt, hogy a május borultabb, hűvösebb időjárása, párosulva ezen időszak rövidebb nappalaival, előnyös a termés alakulására. A főkomponens-súlyok minden vizsgált helyen jóval meghaladják a 0,60 értéket és előjelük negatív, ez pedig értelemszerűen azt jelenti, hogy a sok napfény, ami áttételesen csekély borultságot, kevesebb esőt, túl meleg időjárást jelent, termést csökkentő hatású. A jún—júl. hónap együttes napfénytartama nem mutat összefüggést a terméssel.

Utoljára a napi maximumhőmérsékletek félhavi átlagértékeit és a terméshozamok közötti kapcsolatot elemezzük. A magas főkomponens-súlyok és a negatív előjelek világosan rámutatnak a burgonya azon éghajlati igényére, amely szerint a gumó növekedése idején alacsonyabb nappali hőmérsékleteket igényel: nappal a 18—21 fok a kedvező, ami viszont nálunk a nyár bármely időszakában csak ritkán fordul elő. Kedvezőbbek azok az évek, amelyekben a gumónövekedés időszakában a hőmérsékleti értékek a fenti értéket közelítik meg. Különösen július második felében kedvező a hűvösebb nappal.

A szaporítási hányados adatsorával végzett főkomponens-analízis is megerősíti az előbbi fejtegetést.

A kapott eredmény is azt bizonyítja, hogy az összterméshozam és a vetőgumómennyiség arányának alakulására pozitív hatással van a májusi és júliusi csapadék, ugyanakkor a kedvező arány kialakulásához előnyös a borultabb május hónap.

Június csapadéka és a szaporítási hányados között az összefüggés szignifikáns, de ellentétes előjelű. Ennek az lehet a magyarázata, hogy a túl sok csapadék gyors növekedésre készteti a burgonyagumót és így kevesebb lesz a vetőburgonyának alkalmas gumó mennyisége. A talajnedvesség optimális alakulása kívánatos, a magas értékű és pozitív előjelű főkomponens-súlyok ezt jelzik. A vetőgumó mennyiségének kedvező alakulására az augusztusi nappali hőmérsékletnek van jelentősége. A szignifikáns értékek és a negatív előjelek is arra mutatnak, hogy a burgonya igényli a hűvösebb talajt. A magas talaj-, ill. léghőmérséklet rendszerint súlyveszteséghez vezet.

Vizsgálatunknak az volt a célja, hogy ismereteket szerezzünk a vetőburgonya hozama és az időjárási tényezők közötti kapcsolatról. Ennek érdekében a burgonya teljes vegetációs periódusán belül olyan meteorológiai tényezőket is számításba vontunk, amelyeket eddig nem volt módunk alkalmazni a használt módszerek korlátai miatt. A korábban használt többváltozós regresszióanalízis csak néhány paraméter figyelembevételét tette lehetővé. E módszer, tehát a főkomponensanalízis, olyan statisztikai elemzési módszer, amely lehetővé teszi az egymással összefüggő tényezők hatásának együttes elemzését. Az elemzés eredménye a tényezők csoportosulásának, egymás közötti összefüggésének vizsgálata, ezen keresztül a kapcsolat kimutatása a termésre.

A mezőgazdaságban ma már a mennyiség mellett mindinkább előtérbe

kerül a minőség kérdése is, ezért szükséges a termőhelyek ökológiai körülményeinek pontos ismerete, elemzése. Ha pedig ezt a követelményt a vetőburgonya termelésére vetítjük, akkor az ilyen jellegű vizsgálatok további kiterjesztése azért lenne fontos, hogy segítséget adhasson az esetleges olyan törekvéseknek – a termelés ökológiai körülményeinek feltárásán keresztül –, hogy csak ott termeljék a szaporítóanyagot, ahol általában 7–9-szeres a szaporítási hányados. Ez a körülmény viszont már a gazdaságosság kérdését is érinti, hiszen az alapanyagot tőkés országból, elsősorban Hollandiából importáljuk és nem csekély deviza terhet ró a népgazdaságra *(Szederkényi*, 1983).

IRODALOM

Ajtay Á., 1977: A burgonyatermesztés agroklimatológiai feltételei Magyarországon. *OMSZ. Kisebb Kiadványai, 42. sz. Budapest.*

Ajtay Á., 1978: A burgonyatermesztés agroklimatológiai körzetei Magyarországon. *Földrajzi Értesítő 3–4. 462–465.*

Ajtay Á., 1980: Újabb adalékok a burgonya terméshozama és az időjárás paraméterek közötti kapcsolat témaköréhez. *Burgonyatermesztés, 2.*

Ajtay Á., Boncz J. és *Horváth S.*, 1984: A csapadék és a napfénytartam hatása a burgonya terméshozamára. *Időjárás 88. 3. 154-160*

Lőrincz J., 1979: A burgonya termesztése. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.*

Sárosi R., 1981: A burgonya vetőgumó szaporításának vizsgálata az őrhalmi „Hazafias Népfront" MGTSz-ben. *Szakdolgozat.*

Sváb J., 1979: Többváltozós módszerek a biometriában. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.*

Szaposnikova, Sz. A., 1958: Opit agroklimatics eszkovo rajonirovanyija tyeritorii SzSzSzR. *Voproszi agroklimaticseszkovo rajonirovanyija SzSzSzR.*

Szederkényi E., 1983: A burgonyatermelés helyzete és a kibontakozás lehetőségei. *Gazdálkodás 4*, 19–29.

IRODALOM

BENGTSSON, L. – GHIL, M. – KÄLLÉN, E. *(szerkesztők)*: **Dinamic Meteorology – Data Assimilation Methods** *(Dinamikus meteorológia – Adatasszimilációs módszerek)*. Applied Mathematical Sciences, Vol. 36. Springer – Verlag, New York, 1981. 330 oldal.

Az *Európai Középtávú Előrejelző Központ* (ECMWF) szemináriumai a numerikus prognosztika és a dinamikus meteorológia aktuális kérdéseinek tematikus áttekintésére adnak lehetőséget. A szemináriumi anyagok általában az ECMWF saját kiadásában jelennek meg. Kivételt jelent ezen gyakorlat alól az ismertetendő kötet, amely a Springer kiadó gondozásában az alkalmazott matematika művelőinek szánt sorozatban került kiadásra.

A kötet az 1980-ban megtartott adatasszimilációs témájú szemínárium anyagát tartalmazza – négy előadás kivételével. A bevezetőt *P. Morel* tartotta, aki áttekintette az adatelőkészítés, az objektív analízis, a négydimenziós adatasszimiláció és az inicializálás aktuális problémáit.

N. Gustavsson az operatív ellenőrzési algoritmusok szerkesztési elveit és a meteorológiai mezők objektív analízisére szolgáló módszereket foglalta össze. Az operatív gyakorlatban legelterjedtebbnek jelenleg az optimális interpoláció módszere tekinthető. A nagy előrejelző központokban több meteorológiai elem együttes interpolációjára kifejlesztett változatát egyaránt alkalmazzák a meteorológiai információ horizontális ellenőrzésére és az objektív analízis céljaira. Feltűnő még, hogy a *Sasaki-féle* variációs optimalizációs eljárás több szolgálatnál is bevonult az operatív gyakorlatba. Összefoglalva megállapítható, hogy a numerikus prognosztikában konvencionálisan alkalmazott állapothatározók objektív analízise – a légnedvesség kivételével – megoldottnak tekinthető. További vizsgálatok szükségesek azonban a megfigyelési adatok ellenőrzési algoritmusainak optimalizálása érdekében és célszerűnek látszik a jövőben sztochasztikus-dinamikus modelleket kidolgozni az előrejelzési kovarianciák meghatározására.

A primitív egyenletekre épülő előrejelzési modellek esetén jelenleg is központi kérdés a modell számára adekvát kezdeti adatok előállítása – az inicializáció végrehajtása. A klasszikus statikus inicializáció (a lineáris vagy nemlineáris balansz-egyenlet alkalmazása), ill. a prognosztikai egyenletek nagy csillapítási tényezővel történő „előre-hátra" integrálása (dinamikus inicializáció) egyrészt nem bizonyult dinamikailag szigorúan megalapozottnak, másrészt a makroskálán és a trópusi területeken nem is működött eredményesen. A legújabban kidolgozott nemlineáris normál módus technikák (ezeket foglalta össze *R. Daley)* alapgondolata a *Laplace-féle* árapály egyenlet *Hough-függvényekkel* történő megoldásához nyúlik vissza. Az eljárás lényege, hogy a modell-módusoknak megfelelően az adat-sokaságot „lassú" és „gyors" sokaságra kell felbontani; az egyes eljárások csupán a sokaságokra történő vetítés módszerében térnek el egymástól. A *Baer* és *Tribbia*, ill. *Machenhauer* által kidolgozott nemlineáris vetítési eljárásokat a vezető numerikus prognosztikai központokban operative alkalmazzák. Ezeknek az eljárásoknak a nagyobb hatékonyság mellett külön előnye, hogy lehetővé teszik a primitív egyenleteken alapuló numerikus előrejelzési feladat minőségi tulajdonságainak a jobb megismerését.

Az aszinoptikus adatok asszimilációjának és az inicializációs feladat *együttes* vizsgálatának eredményeit *K. P. Bube* és *M. Ghil* mutatta be. A shallow-water egyenletek példájával illusztrálták egy szisztematikus, egyesített négydimenziós adatasszimilációs elmélet eredményeit. Ez az elmélet tartalmazza a nem-standard adat-sokaság teljességének kérdését, a prognosztikai feladat (elméletileg is fontos) egyértelmű megoldhatóságának problémáját és az adekvát adatsokaság numerikus előállításának gyakorlati feladatát. Ez utóbbit a *Kreiss-féle* „korlátos derivált elv" keretében fogalmazták meg.

Neves szerzőgárda *(M. Ghil, S. Cohn, J. Tavantzis, K. Bube* és *E. Isaacson)* foglalkozott a becsléselmélet numerikus prognosztikai alkalmazásával. Ezen a területen ma még lényegében nem történt érdemi előrehaladás, ezért a szerzők egyrészt összefoglalták a becsléselmélet fogalmi alapjait, másrészt a linearizált, térben egydimenziós shallow-water egyenletek diszkretizált változatára alkalmaztak egy diszkrét *Kalman – Bucy* szűrőt. Analitikus eszközökkel kimutatták, hogy a lineáris feladat a *Wiener* filterhez konvergál. További eredmények várhatók a *kiterjesztett* Kalman – Bucy filter alkalmazásától, bár jelentős áttörés valószínűleg csak a nemlineáris becsléselmélet részletesebb matematikai kidolgozásától várható.

O. Talagrand analitikus eszközökkel vizsgálta a lineáris prognosztikai egyenletek forward – backward inicializációjának konvergenciáját, ill. numerikus kísérleteket végzett a nemlineáris

esetben. Kidolgozta a konvergencia sebességének növelésére alkalmazható módszerek elméleti alapjait.

Az ECMWF jelentős szerepet vállalt magára az *Első Globális GARP Kísérlet* (FGGE) adatainak feldolgozásában és értékelésében. A III-b szintű analízisek alapján éghajlati és légköri energetikai számításokat végeztek 1979. januárjára vonatkozóan. Az eredményeket *M. Kanamitsu* mutatta be.

A kötet külön érdekessége az a tudománytörténeti jelentőségű függelék, amely *A. Eliassen*nek a meteorológiai mezők térbeli statisztikai szerkezetére és interpolációjára vonatkozó 1954-ben elért eredményeit tartalmazza. Mivel ezek az eredmények a Norvég Tudományos Akadémia rendkívül kis példányszámú jelentés-sorozatában láttak napvilágot és így szélesebb körben nemváltak ismertté, az optimális interpoláció módszerét nem első felfedezőjéről, hanem a tőle függetlenül ugyanezekre az eredményekre jutó *L. S. Gandinról* nevezték el.

Összefoglalva elmondható, hogy a kötet az adatasszimilációs kutatások élvonalába tartozó eredményeket és törekvéseket mutatja be. Ugyanakkor ezek az eredmények megfelelő interpretálással a nemzeti numerikus prognosztikai rendszerek kidolgozásánál és továbbfejlesztésénél is alkalmazhatók.

Dévényi Dezső

TARAKANOV, G. G.: **Tropical Meteorology** *(Trópusi meteorológia)*. Mir Publishers, Moscow, 1982. 206 old., 61 ábra, 13 táblázat, 58 irodalmi hivatkozás.

A mű eredetileg orosz nyelven jelent meg, de a nagy érdeklődésre és szélesebbkörű publicitásra való tekintettel átdolgozott formában, angol nyelven is kiadták. A szerző 25 éve foglalkozik meteorológiával; eddigi főbb munkái a Szinoptikai Atlasz (1962) és a Szinoptikus Gyakorlat (1972), részt vett az Antarktisz kutatásában (1963), továbbá a WMO megbízásából is több feladatot végzett, illetve végez.

A trópusi meteorológia általában ritkán kelt érdeklődést a magyar meteorológusok körében. A kivételek közé tartozik, ha a trópusi, fejlődő országokból idevetődik egy-egy aspiráns, akit magyar szakember irányít értekezésének megírásában. Ilyen esetekben jó szolgálatot tehet ez a könyv.

A trópusi övezet, amelynek pontos földrajzi körülhatárolása még ma is vitatott kérdés, sugárzási energiatöbbletével a globális légkör legfontosabb hőforrása. A trópusi légkörzés évszakos és aperiódikus ingadozásai jelentős hatást gyakorolnak a mérsékelt szélességek időjárási folyamataira is, ezért az előrejelzéseink pontosítása érdekében lehetőleg jól meg kell ismernünk a trópusok éghajlatát.

A szerző könyvének csaknem minden fejezetében gyakran támaszkodik az 1972-ben és 1974-ben végrehajtott *Atlanti Trópusi Kísérlet* (GATE) mérési eredményeire. Már az első fejezetben érdekes összefüggést mutat be a mérések hibái, a mérőpontoktól vett távolság és az adatok interpolálásakor elkövetett hibák között. Ismeretes, hogy az Egyenlítő környezetében a mérőállomások száma s így az adatsűrűség rendkívül kicsiny. Ennek a hiánynak pótlására alkalmazzák a geostaciárius műholdak és az időjárási radarok méréseit. Bár a trópusok időjárását a napsugárzás szabályos évi ingadozása nagymértékben meghatározza, a nagykiterjedésű óceánok pedig meglehetős homogenitást tesznek lehetővé, mégis a hideg tengeráramlások éles, sőt olykor váratlan törést okoznak a meteorológiai mezőkben.

A könyv 6 fejezetre tagolódik. A bevezetés után a 2. fejezetben a szerző részletesen ismerteti a főbb időjárási elemek ingadozását a trópusokon. Különösen figyelemre méltó a passzátinverziók, a nyomási és szélmezők közötti összefüggés (itt hiányzik a geosztrófikus egyensúly) tárgyalása, a passzát-szelek stabilitásának számszerű kifejezése. A felhőzet és az eső leírásában újdonságként hat az ún. meleg felhőkben képződő csapadék, amely fagypont fölötti hőmérsékleten alakul ki, tehát hiányzik a szilárd halmazállapot.

A 3. fejezet a konvekcióval foglalkozik. Három típus ismeretes: 1. Cu konvekció Cu hum felhőkkel, 2. mély vagy áttörő konvekció, jellemző felhője a Cb, 3. elfojtott konvekció a trópuson belüli konvergencia területén. A 4. fejezet a trópusi szinoptikai analízissel foglalkozik, nevezetesen a szélmező speciális, trópusi formáival. Ilyenek a divergencia és konvergencia pontok körüli áramlás, a nyeregpont semleges áramlásai, a konvergencia és divergencia vonalak, a szél diszkontinuitási vonala, az instabilitási vonal *(squall line)* áramlási rendszere. Az 5. fejezetet a szerző a trópusok cirkulációjának és szinoptikai rendszereinek leírására szenteli. Itt különösen érdekes megállapításokat tesz a Hadley-cellák és az antipasszát klasszikus modelljének korlátairól. Végül a 6. fejezet a trópusi ciklonokkal foglalkozik. Számszerű kapcsolatokat mutat be a maximális szélsebesség és a trópusi ciklon középpontjában mért légnyomás között.

A könyvismertetés korlátozott terjedelme miatt számos további részlet és érdekesség megismerése az olvasóra marad. Befejezésül csupán annyit, hogy valamennyi fejezet végén áttekintő kérdések sorakoznak; ezek segítik az egyes fejezetek legfontosabb mondanivalóinak emlékezetbe vésését.

Koppány György

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 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.

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 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 igazgató

84. 1812 Athenaeum Nyomda, Budapest — Íves magasnyomás
Felelős vezető: Szlávik András vezérigazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA
88. ÉVF. ★ 5—6. SZÁM ★ 1984. SZEPTEMBER—DECEMBER

ÖSSZEVONT SZÁM

AZ ÁSVÁNYI NYERSANYAGFELHASZNÁLÁS ÉS A KÖRNYEZET KAPCSOLATA

SPECIAL ISSUE

RELATION BETWEEN THE UTILISATION OF MINERAL ROW MATERIALS AND THE ENVIRONMENT

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 88. ★ NO. 5—6. ★ SEPT—DEC. ★ BUDAPEST

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata
Journal of the Hungarian Meterological 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)
MAJOR Gy. (Budapest)
MESINGER, F. (Beograd)
PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
RÁKÓCZI F. (Budapest)
RENOUX, A. (Paris-Créteil)
ŠAMAJ, F. (Bratislava)
SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
STELCZER K. (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: Budapest, Postafiók 38. 1525
Előfizetés: 1 évre 228 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán Budapest, Kitaibel Pál utca 1. 1024. Levélcím: Budapest, Pf. 38. 1525. Megjelenik kéthavonként.
Egyes szám ára 38 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. 88. évf. 5—6. szám, 1984. szeptember-december
Journal of the Hungarian Meteorogical Service, Vol.88. No 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

TARTALOM

Mészáros Ernő: Előszó 250
Martos Ferenc: Elnöki megnyitó a Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának az MTA 1984. évi Közgyűlése alkalmából megtartott ülésszakán ... 251
Kapolyi László: Az ásványi nyersanyagtermelés és feldolgozás hatása a környezetre 253
Vajda György: A hasadó anyagbázisú erőművek környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei 269
Zettner Tamás: A szénbázisú erőművek környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei 279
Takács Pál — Bella Lászlóné: A szénelőkészítés és a szénnemesítés emisszió-csökkentő hatása 297
Faller Gusztáv — Tóth Miklós: A környezeti hatások gazdasági és innovációs kapcsolatai a különböző tüzelőanyagbázisú erőművekben 307
Simon Kálmán: A bányászat és környezetvédelem kapcsolata 315
Patvaros József: Az építőanyagbányászat környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei 320
Gebhardt János: Az alumíniumfeldolgozás különböző fázisaiban keletkező környezeti hatások és azok elhárítási lehetőségei 323
Sziklavári János: Vaskohászati salakok és a természeti környezet kapcsolata..... 333
Mészáros Ernő — Major György — Horváth László: A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának hatása a légkör összetételére, savasodására és hőszennyeződésére 337
Kovács György: Az ásványi nyersanyagtermelés hatása a felszíni és a felszín alatti vizekre 343
Bernát Tivadar — Bora Gyula — Rétvári László: Az ásványi nyersanyagtermelés és felhasználás földrajzi és társadalmi hatásai 356

CONTENTS

Mészáros, E.: Preface 250
Martos, F.: Opening address for the conference of the Department of Earth Sciences and Mining held on the Occasion of the General Assemble of the Hungarian Academy of Sciences in 1984 .. 251
Kapolyi, L.: Effects of the production and utilization of mineral row materials on the environment 253
Vajda, Gy.: Environmental effects of nuclear power plants and possibilities for their reduction 269
Zettner, T.: Environmental effects of coal-fired power plants and possibilities for their reduction 279
Takács, P. — Bella, L.: The emission lowering effect of coal preparation and processing 297
Faller, G. — Tóth, M.: The economical and innovative relations of environmental effects of power plants with different fuel-basis 307
Simon, K.: Relationship between mining and environmental protection 315
Patvaros, J.: Environmental effects of building material mining and possibilities for their removal 320
Gebhardt, J.: Environmental impacts originating from the various processing tages of the aluminium industry and their possible production 323
Sziklavári, J.: Relation between siderurgical slags and natural environment... 333
Mészáros, E. — Major, Gy. — Horváth, L.: Effects of the use of fossil fuels on the composition, acidification and heat pollution of the atmosphere 337
Kovács, Gy.: Impacts of the exploitation of mineral resources on surface and groundwater 343
Bernát, T. — Bora, Gy, — Rétávri, L.: Geographical and social impacts of production and utilisation of mineral raw materials 356

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5 – 6. szám, 1984. szeptember-december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

ELŐSZÓ

Folyóiratunk jelen száma a Magyar Tudományos Akadémia 1984. évi, CXLIV. Közgyűlése alkalmából rendezett, „Az ásványi nyersanyagfelhasználás és a környezet kapcsolata" c. konferencia anyagát tartalmazza. Az előadássorozatot az MTA Föld- és Bányászati Tudományok Osztálya rendezte.

A földtudományok szoros egységét szem előtt tartva úgy véljük, hogy Szerkesztő Bizottságunk helyesen határozta el, hogy az előadásokat folyóiratunkban jelenteti meg. Ezzel mintegy hangsúlyozni kívánjuk azt a meggyőződésünket, hogy a meteorológiát a földtudományok szerves részének tekintjük.

Másrészt, és ezt e lap olvasói előtt nem kell részletesebben bizonygatnunk, a környezeti ártalmak jelentős mértékben a légkört károsítják. A levegő igen mozgékony közeg, amely a szennyezőanyagokat messzire elszállítja és más földi szférákba juttatja. Erre jó példát szolgáltatnak a savas esők, amelyeket éppen az ásványi nyersanyagfelhasználás, pontosabban a fosszilis tüzelőanyagok elégetése okoz.

Végül meg vagyunk róla győződve, hogy ez az anyag az ember és környezete közötti kapcsolat iránt érdeklődő minden olvasó, így a meteorológusok számára is érdekes, elgondolkoztató olvasmány lesz.

Mészáros Ernő
a Szerkesztő Bizottság elnöke

PREFACE

This number of our journal contains the lectures presented at the conference entitled "Relationship between the utilisation of mineral row materials and the environment". This meeting, held at the occasion of the CXLIV. General Assembly of the Hungarian Academy of Sciences in May 1984, was organized by the Department of Earth Sciences and Mining of the Academy.

Considering the close unity of earth sciences it is believed that the decision of the Editorial Board, to publish these lectures in our journal, has been right. We have wanted to emphasize our conviction that we consider the meteorology as an integral part of earth sciences.

On the other hand, and this is obvious for the readers of this journal, the environmental injuries are very serious in the atmosphere. The air is a very mobile medium which transports the pollutants at long distances modifying in this way other media of our environment. The problem of acid rain serves as a good example. It is just caused by the use of mineral row materials, more exactly by the burning of fossil fuels.

Finally, we are convinced that the material of this number will be an interesting and thoughtful reading for all the readers interested in relationship between man and his environment, including meteorologists.

E. Mészáros
Chairman of the Editorial Board

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5—6. szám, 1984. szeptember-december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

Elnöki megnyitó

a Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának az MTA 1984. évi Közgyűlése alkalmából megtartott ülésszakán

A Föld- és Bányászati Tudományok Osztálya a Magyar Tudományos Akadémia 1984. évi CXLIV. Közgyűléséhez kapcsolódó tudományos ülésszakának témájául *„Az ásványi nyersanyagfelhasználás és a környezet kapcsolata"* című előadássorozatot választotta. A földtani kutatás, az ásványi nyersanyagtermelés, de — tegyük hozzá — minden más anyagi termelés, ill. építés (szolgáltatás), tehát végül is minden, vagy jóformán minden társadalmi tevékenység, valamilyen módon beavatkozást jelent a természetes környezetbe, a bennünket körülvevő környezet rendjébe. Ezt a témát nem most először állítjuk közgyűlési osztályüléseink — az „egyszerű", a „szokásos" rendezvényeknyeknél talán hangsúlyosabb, a közvélemény figyelmét jobban, fokozottabban felkeltő — tárgyalásaink homlokterébe. Más alkalmakkor más oldalról, más összefüggésekben (mint termelési technológiák, természeti erőforrás-kutatás-hasznosítás stb.) már szerepeltünk e témakör különböző aspektusaival. Úgy tűnik azonban, hogy a téma alighanem „kimeríthetetlen", és nem csak az eszmecsere, de — mi több — az érdekében végzendő kutatómunka is számos megoldandó feladatot sürget, nem is szólva a gyakorlati tennivalók sokaságáról. Mindez akkor is igaz, ha — az idő korlátai miatt — ez alkalommal is csupán egy erősen leszűkített rész-témára igyekszünk koncentrálni és csak az ásványi nyersanyag felhasználásának a környezetre gyakorolt hatásaival (kölcsönhatásaival) foglalkozunk.

Tulajdonképpen milyen is az a környezet, amelyről szó van és milyenek is azok a hatások, amelyekkel ezt befolyásoljuk, s amely „befolyásolás"-nak a nem kívánatos, sőt káros elemeit csökkenteni, s ha van ilyen „szint", akkor az elviselhető szint alá szorítani ma kutatónak, tervezőnek, kivitelezőnek (beruházónak), illetékes állami, vagy tanácsi tisztviselőnek, hatóságnak és politikusnak (!) is egyik, nem kevés gondot okozó, mégis elsőrendű feladata. A felsorolásban persze benne vannak a „pénzügyek" képviselői is!

Környezetünket legtöbbször a „természeti" jelzővel illetjük, így említettem magam is, pedig a mai ipar, építőipar, mezőgazdaság, közlekedés, szállítás stb. nem csak a fejlesztés révén, de meglévő puszta létével is, már régen nem valamilyen háborítatlan „ős-természeti" környezetre hat, hanem arra a — nevezzük — *művi* (mesterséges) környezetre, amely a társadalmi fejlődés eddigi folyamatában kialakult.

Valóban: ma már a társadalom bármilyen tevékenysége az időben és térben folyamatosan szuperponálódó hatások bonyolult összefüggéseinek summázását jelenti. Ebben a közegben az esetleg itt-ott még meglévő természetes állapot csak „sziget"-ként jelenik meg, vagy rezervátumként él, ami persze bizonyos vonatkozásban szintén művi, az ember által „alkotott" természet. Ilyen kivételek azonban nem elsősorban Európában találhatók, még kevésbé e kontinens középső régióiban.

Éppen e hosszú folyamat révén kialakult, igen bonyolult helyzet az oka annak, hogy az újabb beavatkozások várható, vagy ténylegesen bekövetkező hatásait két, egymástól élesen el nem választható csoportba sorolhatjuk. A hatások, kölcsönhatások egy része előre látott, előre tervezett jelenségekben mutatkozhat meg, más részük azonban gyakran nem várt, előre nem látott, s nem is tervezett konfliktusokban. Minden esetben olyan jelenségekről, olyan problémákról van szó, amelyek hatásaikban, értelmezésükben (olykor: félreértelmezésükben?!) társadalmi méreteket képesek ölteni és alkalmasak arra, hogy befolyásolják a társadalmi közérzetet. Ismerünk országokat, ahol a környezetvédelmet politikai pártok programjának, esetleg a választókat „manipuláló" agitációs jelszavainak mezébe bújtatták. (Ausztriában nem helyeztek üzembe egy teljesen elkészült atomerőművet, úgy tűnik nem fog megvalósulni a toronyi lignittel fűtött hőerőmű sem, és 9 megépített, egy még épülő dunai vízlépcső és erőmű után, növekszik a tiltakozás a 11. — egyben utolsó — telepítés ellen).

Előre tervezett és meglepetésszerűen jelentkező hatásokat említettem. Nos, éppen a tudományos kutatás egyik igen fontos feladata, hogy a társadalmi fejlődés megkövetelte új létesítmények tervezéséhez és kivitelezéséhez olyan új ismereteket szolgáltasson, amelyek birtokában a váratlan, a súlyos konfliktusokban megnyilvánuló hatások lehetőleg elkerülhetők legyenek. Egy-egy beavatkozás előre tervezhető következményei már több mint félsikert jelenthetnek, hiszen a tudomány és a technika mai szintjén kialakíthatóvá teszik a magasabb szinten optimálisnak értékelhető kompromisszumot, ami nélkül — az esetek többségében — nincs semmiféle elfogadható megoldás.

Az osztályülés mostani előadássorozata azt kívánja bemutatni — néhány szemelvény tükrében — mit tett eddig a magyar tudomány az ásványi nyersanyagfelhasználás környezetet befolyásoló káros hatásainak mérséklésére, netán elhárítására, milyen további feladatok igényelnek sürgető megoldást; és egyik-másik esetben szeretnénk „helyére tenni" olyan gondolatokat is, amelyek „túlzott aggodalmak",„túlhajtott" szenvedélyektől fűtött nyilatkozatok alapján nálunk is hamis képzeteket eredményeztek. A problémák, a bajok nem szűnnek meg, ha elhallgatjuk őket, de a torzképpé felnagyított képzelet még kevésbé lehet alapja a célszerű megoldáshoz vezető munkának.

Szándékunk szerint ez az előadássorozat a tudományos objektivitás józanságával fogja elénk tárni a valós helyzetet, s az abból fakadó cselekvés további menetét.

Martos Ferenc
az MTA rendes tagja,
osztályelnök

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5 – 6. szám, 1984. szeptember – december.
Journal of the Hungarian Meteorological Services, Vol. 88. No 5 – 6. Sept – Dec. 1984. Budapest

Az ásványi nyersanyagtermelés és feldolgozás hatása a környezetre

KAPOLYI LÁSZLÓ, *Ipari Minisztérium, H—1024 Budapest, Mártirok útja 85.*

Effects of the production and utilization of mineral row materials on the environment. The lecture deals with the questions of environmental protection belonging to the utilisation of mineral raw materials. It presents the interactions of utilizations and environment devided into two parts – two blocks: the first is the energy-block, the second is the block of exp otation and processing industry. The lecture sketches out the problems generally characteristic on the transformations and on the system of transformations too, and presents those aspirations and accomplished technological solutions wich are destined for stopping the worrying phenomena.

⁂

Az ásványi nyersanyagtermelés és feldolgozás hatása a környezetre. Az ásványi nyersanyagok hasznosításával összefüggő környezetvédelmi kérdéseket az előadás két blokkra-energetika, illetve az alapanyag- és feldolgozóipar blokkjára felbontva tárgyalja. Felvázolja az egyes transzformációkra, illetve azok rendszerére általánosan is jellemző problé, mákat és bemutatja azokat a törekvéseket, illetve már megvalósult technológiai megoldásokat, amelyek a környezetet veszélyeztető jelenségek visszaszorítását illetőleg megszüntetését hivatottak megoldani.

⁂

Az ásványi nyersanyagok kitermelése, feldolgozása és felhasználása körfolyamatot képez. A körfolyamat elemeivel kapcsolatban ki kell emelni azt, hogy módosul az az értékrend, amely az egyes fázisok gazdasági megítélésének alapját jelenti. A változó értékrend egyik eleme a gazdaságnövekedésben betöltött szerep. Mint ismeretes, korábban valamely gazdaság fejlettségét az egységnyi energia-, és nyersanyagfelhasználás jellemezte. A gazdaság és az energiaigényesség növekedési ütemét általában azonosnak feltételezték, valamint általános rendező elvként tekintették azt, hogy a „legdrágább energia" az energiahiány.

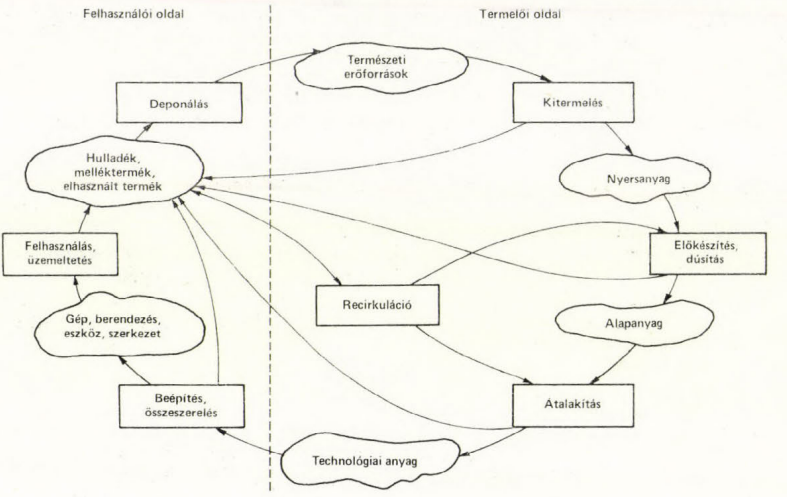
A világgazdasági korszakváltás kikényszerítette a fent vázolt feltételrendszer gyökeres megváltoztatását, aminek eredményeképpen ma már sokkal ökonomikusabb szemlélet érvényesül az ásványi nyersanyaghasznosítás körfolyamatának egészére és egyes fázisaira vonatkozóan.
A kialakult új szemlélet lényegesebb elemei :

– a kitermelés hatásfokának növelése,

– a nyersanyagok előkészítési technológiája színvonalának növelése a komplex hasznosítással egyidejűleg,

– a visszacsatolás (recirkuláció) lehetőségek szerinti megvalósítása.

Az új szemlélet az eddiginél fokozottabban veszi figyelembe a termelőket és felhasználókat összekapcsoló összefüggéseket is. Ezen összefüggéseken belül a felhasználói oldal igényrendszere a meghatározó a termelői oldal műszaki rendszerét illetően, míg az újrahasznosítás megjelenése a termelői és felhasználói oldal közti kapcsolatok új elemét jelenti. A tágabban értelmezett ember – természet – technika relációhoz tartozik az, hogy a megfelelő technikai feltételek biztosításának egyre nagyobb a ráfordítás-igénye, és ez nagyon ve-



1. ábra: Az anyagciklus

szélyes tendencia kialakulásához vezethet. Miután Magyarországon a természeti adottságok a világátlagnál sok tekintetben rosszabbak, a világszínvonalú technikai felszereltség alkalmazása több esetben az eszközhatékonyság romlásához vezet.

Néhány példát szeretnék ezzel kapcsolatban elmondani.

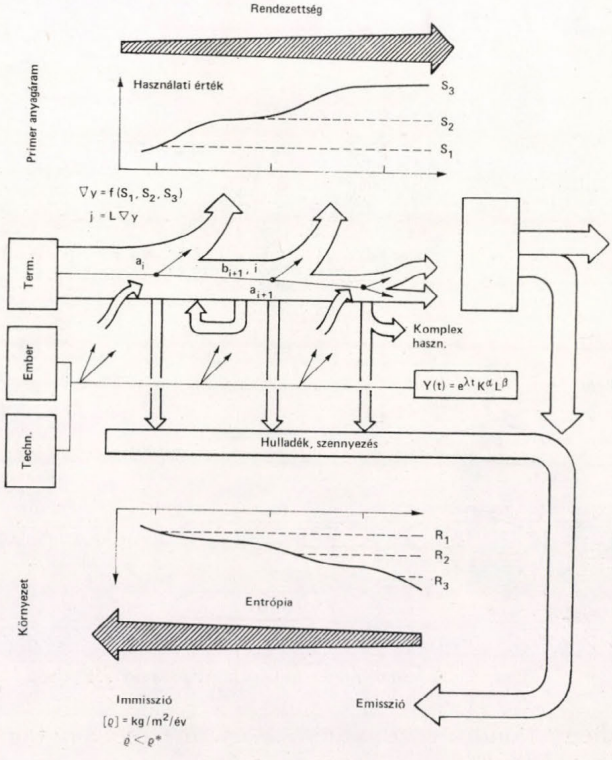
A szénbányászatban alkalmazott komplex frontfejtések esetében maga a technika világszínvonalú, a vele elért teljesítmény lényegesen a világszínvonal alatt áll. Korszerű kutatóberendezések világszinvonalúak, a velük elért fajlagos eredmények lényegesen a világszinvonal alatt állnak. Ezért a technika és a technikával elérhető gazdaságosság konzisztenciájának megteremtése nagy körül tekintést igényel. Az értékrendszer módosulásával kapcsolatosan még egy megjegyzést kell tenni.

Az *1. ábrán* bemutatott körfolyamatok gazdaságosságát korábban egy-egy műszaki rendszer határain belül értelmezték. Ma már ez az értelmezés is bővül, mégpedig úgy, hogy az energiatermelő körfolyamatok elemzésének szemléletmódját követve egész gazdasági körfolyamatokat egy rendszerben, egységesen értékelnek.

A nyersanyagok hasznosítását fizikai analógia alapján transzportfolyamatnak tekintjük. *(2. ábra)*. A változó értékrend miatt a transzportfolyamatok hatékonyságának elemzését sem lehet az egyes energiahordozók, nyersanyagok fizikai paraméterek alapján történő hatékonyságelemzésére korlátozni, hanem figyelembe kell venni a társadalmi erőforrások igénybevételé-

nek teljes egészét. Ebből a szemléletmódból globális és parciális következtetések is levezethetők.

Globális jellegű következtetés pl. az, hogy mindenekelőtt technológiai megoldásokkal oldható fel a primér anyagáram rendezettségének (a felhasználói szempontból értelmezett használati értéknek) a növekedése, illetve a környezet rendezettségének változása között megnyilvánuló ellentmondás, a környezetet illetően a rendezettlenség fokozódik. Ennek bemutatására elegendő végiggon-



2. ábra: Rendezettség

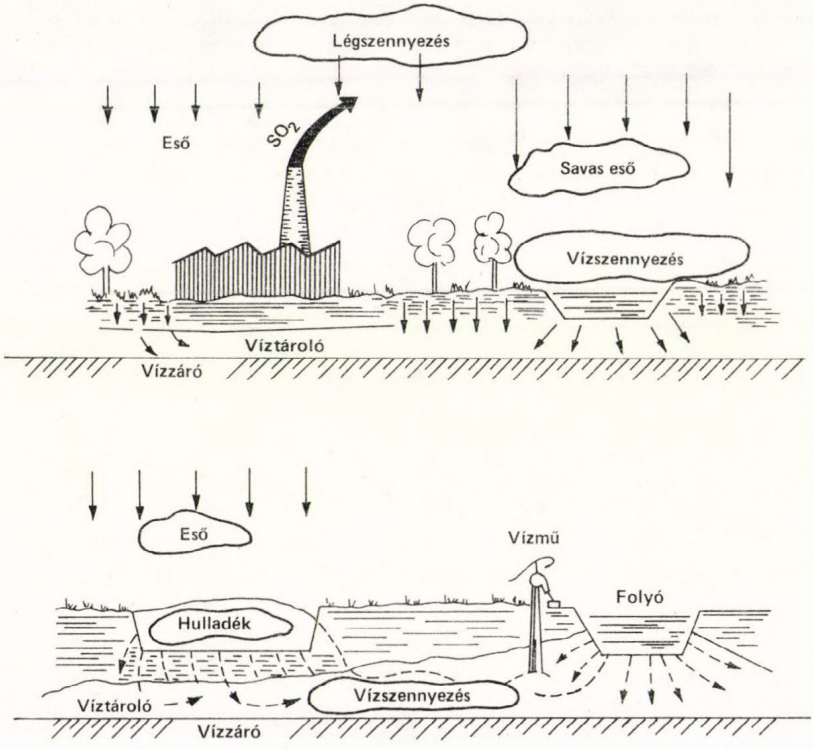
dolni valamely nyersanyag kedvezőtlen természeti körülmények között folyó kitermelésének, átalakításának és felhasználásának teljes folyamatrendszerét.

Könnyű belátni továbbá, hogy a szélesebben értelmezett hatékonysághoz mindenképpen hozzátartozik a nyersanyagok komplex hasznosítása, mivel ezzel egyfelől jobban ki lehet használni a társadalmi erőforrásokat, másfelől csökkenteni lehet a környezetet terhelő hulladékanyagokat. Hasonló a szerepe a visszacsatolásnak, az újrahasznosításnak is.

Ma már például egy erőmű gazdasági hatékonysága nemcsak az energiahordozó hasznosítási hatásfokával mérhető, ennek megítélésében lényeges az a komplex műszaki kultúra is, amely az ilyen energiatermelő vertikum körül kialakul. Gondolok itt a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelésre, vagy a hulladékhő mezőgazdasági vonatkozású hasznosítására, de ide lehet sorolni a pernyehasznosítást is.

A transzportfolyamaton belüli rendezettség-rendezetlenség ellentmondá-

sával kapcsolatban olyan globális környezetvédelmi problémák *(3. ábra)* fogalmazhatók meg, mint a fosszilis energiahordozók hasznosítását kísérő hulladékkibocsátás, bizonyos kohászati tevékenységnél fellépő kénemisszió, illetve a hulladékok elhelyezési gondja, vagy a vízszennyezés. Ezekre a problémákra



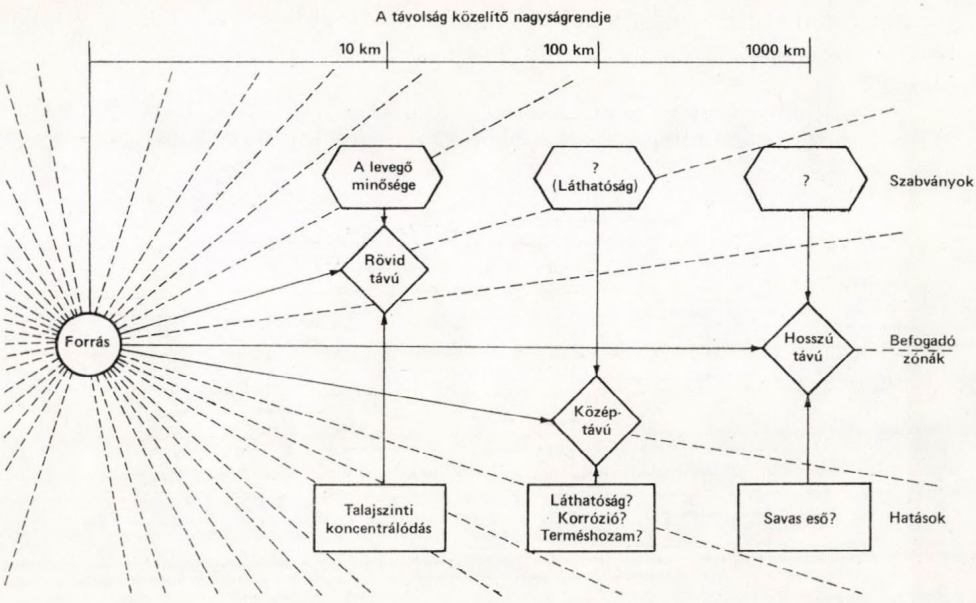
3. ábra: A környezeti hatások általános sémája

az jellemző, ahogy tágul a gazdaságosság értelmezése, úgy tágul ezen objektumoknak a környezeti hatásmechanizmusa is.

Az emisszió hatása *(4. ábra)* sok esetben nemcsak egy-egy körzetre terjed ki, hanem országhatárokat is átlép. (Bizonyára ismert a tisztelt Osztályülés résztvevői számára, hogy az NSZK és NDK ma már mérleget készít arról, hogy adott emisszió a másik ország területén milyen immisszió-károsodást okoz.)

A környezetvédelmi kérdéseket az ásványi eredetű nyersanyagok esetében két nagy blokkban célszerű tárgyalni. Az egyik blokk az energetika, a másik a gazdaság anyagkultúrája. Az energetika rendszerét *(5. ábra)* olyan összefüggő vertikumi folyamat képezi, amely a forrásból kiindulva a kitermelésen, átalakításon keresztül a felhasználáshoz csatlakozik és tevékenységével a teljes népgazdasági rendszert érinti.

Az energetika környezeti hatásai komplex rendszert képviselnek. Minden energiahordozó-hasznosítás a teljes vertikum mentén együtt jár területvesztéssel, részben a művelés, részben a hulladékok elhelyezése miatt. A területvesztésen túlmenően veszélyezteti a légkör, a környező vizek tisztaságát és gázszennyezéssel, porszennyezéssel olyan komplex hatást is gyakorolhat a környezetre, amely sok esetben a termelés ellehetetlenüléséhez vezet.



4. ábra: Az emisszió hatásai különböző távolságokban

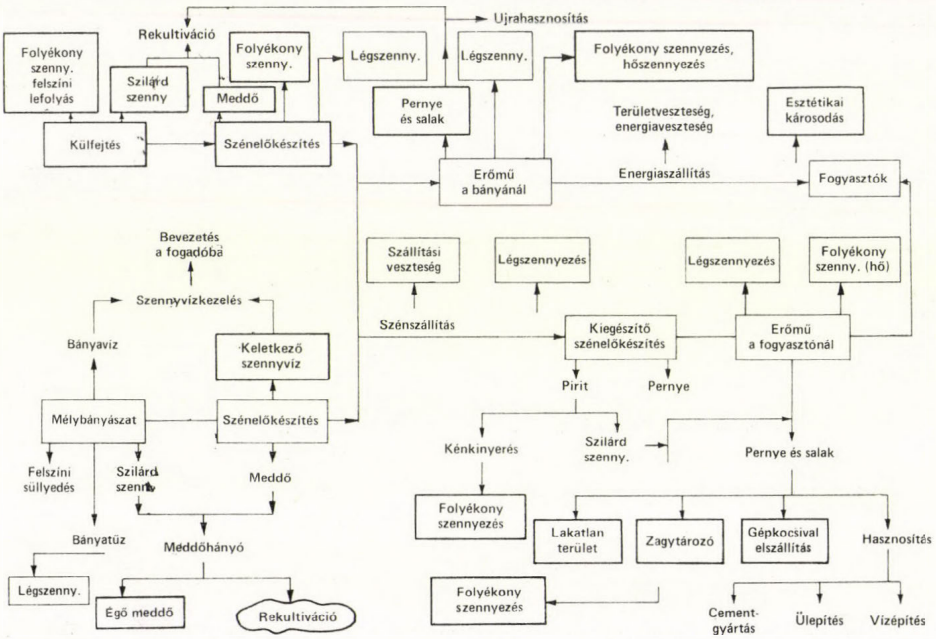
	Földtani nyersanyagkutatás	Kitermelés	Előkészítés, dúsítás	Atalakítás feldolgozás	Energia-átalakítás	Termék szállítás elosztás	Felhasználás
Szén	Szénkutatás: A kutatási rendszer / vagyon	Hazai széntermelés	Szénelőkészítés, osztályozás, dúsítás	Brikettálás, kokszgyártás	Kondenzációs villamosenergia-termelés	Széntermékek elosztása	Energiahordozók: villamos energia, hő, szerves vegyipari alapanyagok felhasználása
		Szénimport					
Urán	Uránkutatás: Kut. rendsz. / vagyon	Hazai urántermelés	Uránérc dúsítás		Kapcsolt villamosenergia- és hőtermelés	Villamosenergia-elosztás	
		Fűtőelem import					
Egyéb		Vízenergia hasznosítás			Távhő-termelés	Hőelosztás	
		Villamos energia import					
Szénhidrogén	Szénhidrogén kut.: Kőolaj / Földgáz; Kut. rendsz.; vagyon	Kőolaj kitermelés	Kőolaj előkészítés	Kőolaj-feldolgozás		Kőolajtermékek elosztása	Népgazdasági szektorok
		Földgáz kitermelés	Földgáz előkészítés	Földgáz-feldolgozás		Földgáztermékek elosztása	
		Kőolaj import					
		Földgáz import					
Környezeti hatások	Területveszteség	területveszteség meddőelhelyezés folyékony szenny. vízemelés metánveszély hőszennyezés porszennyezés	területveszteség meddőelhelyezés folyékony szenny. porszennyezés	területveszteség szilárd szennyezés folyékony szenny. légszennyezés	területveszteség szilárd szennyezés folyékony szenny. légszennyezés porszennyezés hőszennyezés	területveszteség folyékony szenny. légszennyezés légszennyezés hőszennyezés	szilárd folyékony hulladék gáznemű

5. ábra: Energiahordozók vertikumainak környezeti hatásai

527
257

Az energetikai rendszer főbb csomópontjai részben a globálisan értelmezett hatékonyság, részben a környezeti hatások szempontjából energiahordozó típusonként foglalhatók össze.

A szénbányászat *(6. ábra)* esetében a mélyművelés és a külművelés külön tárgyalandó. A külfejtéses technológia esetében a területvesztés ellensúlyozá-



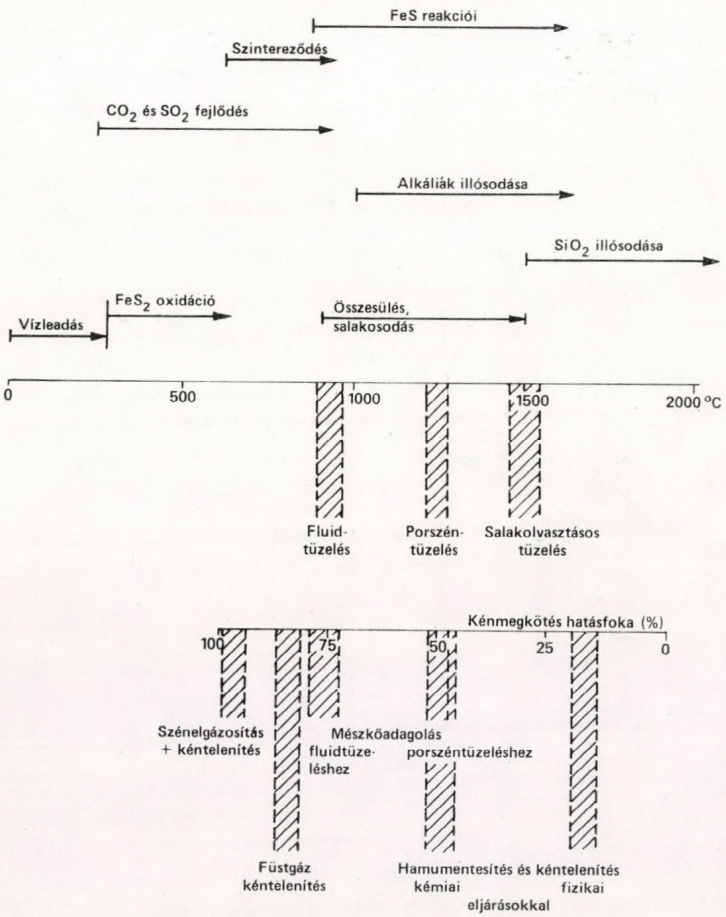
6. ábra: A szénbázisú energiatermelés vertikumában keletkező hulladékanyagok és elhelyezésük lehetőségei

sában nagy jelentőségű a termőföldek visszaadása. Ebben a vonatkozásban Magyarországon világszínvonalú technológiát jelent a rekultiváció. Ugyancsak a kitermelés során jelentkezik a felszíni vízgazdálkodás esetleges sérelme, illetőleg ennek a kivédése.

A kén-emisszió megoldása a szén hasznosításának alapvető feltétele. Számos konkrét tapasztalat igazolja, hogy sok esetben a szén minőségi paraméterei között a kéntartalom fontosabb paraméter, mint maga a fűtőérték. Sokak számára ismert, hogy a toronyi lignit Ausztria felé történő értékesítésének elsősorban nem az alacsony fűtőérték, hanem a magas kéntartalom volt az objektív akadálya.

A szénhasznosítást transzportfolyamatként és rendszerszemléletben vizsgálva megállapítható, hogy a szénbányászat egzisztenciális kérdése a megfelelő tüzeléstechnikai feltételek kifejlesztésében való részvétel. A fluid tüzeléstechnika, melynek megvalósulása a magyar szénbányászat jövője szempontjából ugyanolyan súlyú műszaki fejlesztési eredmény, mint a komplex gépesítésű, frontfejtések megjelenése, vagy bármelyik innovációs ciklus, magában a kitermelési folyamatban a szénbányászok és az energetikusok közös erőfeszítéseit. igényli. Miközben az egymásra utaltságot hangsúlyozom, szeretném azt is

nyomatékosan kiemelni, hogy ebben a vonatkozásban csak akkor lehet sikere most már az egész magyar iparnak, a szénbányászattól az energiaiparon át egészen az energetikai gépgyártásig, tehát a gépiparig,



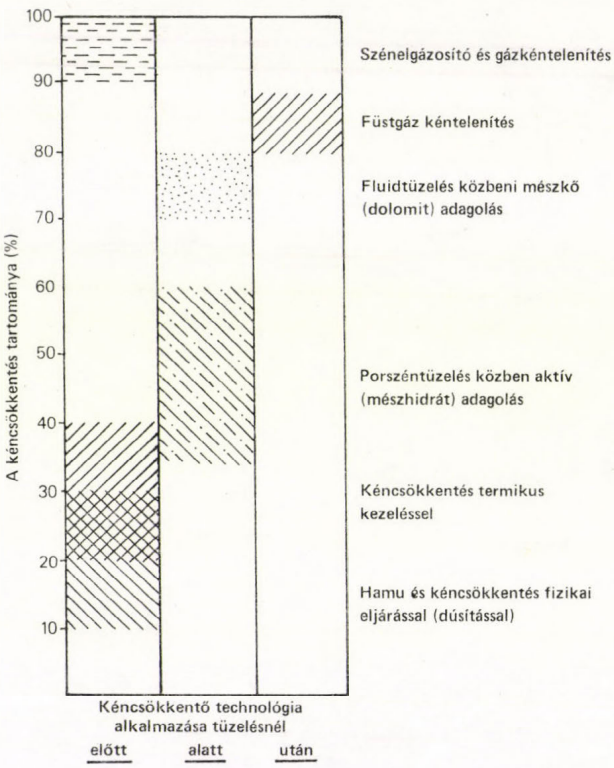
7. ábra: A szénhamu alkotóinak átalakulása és a különféle kéntelenítési eljárások hatásfoka

ha offenzív innovációs politikát folytatva, a jogosan felmerülő kételyeket nem gátakká, hanem megoldandó problémákká alakítja.

A fluid tüzelési technológia *(7. ábra)* közismert előnye abból származik, hogy a hazai szenek egy részének a hamuja, salakja olvadékony, így a fluid tüzeléssel járó alacsonyabb tűztér-hőmérséklet ebből a szempontból is kedvező megoldást ad. A kénkibocsátás csökkentésére általában a tüzelés előtt (a szénelőkészítés folyamatában), a tüzelés alatt és a tüzelés után a füstgázok tisztításával, kéntelenítésével keresik a megoldást *(8. ábra)*, A megelőző fázis csak limitált hatásfokot tud megvalósítani, így az áttörő megoldást a fluid tüzelés hozhatja meg, hiszen az a tapasztalat, hogy a füstgázkéntelenítés olyan beruházási költségekkel jár, amelyet költséghatár-szemléletben visszavezetve a tüzelő-

anyag-költségre, magának az energiahordozónak a kitermelését teszi gazdaságtalanná.

A kénemisszióval azonos súlyú problémát jelent a pernye-kibocsátás *(9. ábra)*, így a pernyeleválasztás megfelelő hatásfokkal történő megoldása szin-

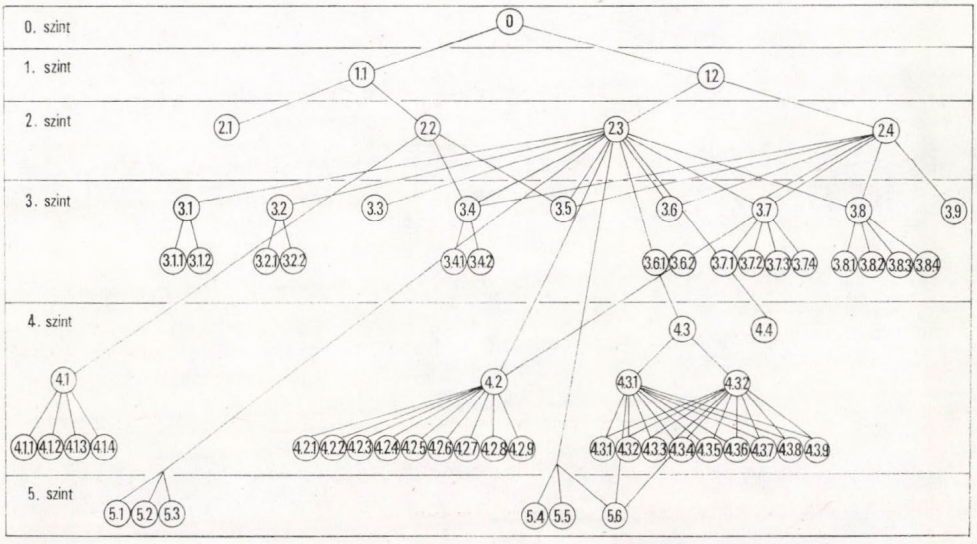


8. ábra: A kénemisszió csökkentésére javasolt módszerek és azok hatékonysága

tén alapvető fontosságú. A környezeti terhek csökkentését jelentős mértékben befolyásolhatja és a tágabb értelemben vett gazdaságosságot is növelheti a pernyehasznosítás. A pernye hasznosításában jelentősége van a pernye kémiai tulajdonságainak (bázikus, vagy savanyú jellegének), továbbá a tüzelési hőmérsékletnek, hiszen a tűztérben a későbbi feldolgozás szempontjából lényeges belső anyagszerkezeti struktúra is kialakul. Olyan ágazatközi kapcsolatot, mely tömegszerűen fel tudja venni a pernyét, a cementipar képvisel, amelynek teljesítménye a KGST országok között, de világviszonylatban is kiemelkedő. A pernye további felhasználási lehetőségét jelenti az útépítés, ami az energiatakarékosság szempontjából is nagy jelentőségű, hiszen a klinkerégetés energiaráfordításai bizonyos mértékben csökkenthetők.

A szénvertikumot lezárva szeretném hangsúlyozni, hogy mint általában mindenütt, itt is aktív környezetvédelmi szemléletet célszerű követni, tehát a globális problémák indokolt vagy az indokoltnál nagyobb mértékű hangsúlyozása helyett (pl. a savas eső, ill. a pernye-elhelyezés) offenzív műszaki fej-

lesztési politikával kell azt elérni, hogy a ma már világszerte megtalálható, korszerű műszaki elemeknek a kitermelési, az előkészítési és az átalakítási fázisba történő beépítésével olyan energiatermelő vertikum alakuljon ki, amely egyidejűleg hatékony és környezetbarát.



0. szint: SZÉN

1. szint: SZILÁRD ÉGÉSTERMÉK

1.1 Bázikus pernye
1.2 Savanyú pernye

2. szint: PERNYE

2.1 Bázikus hányópernye
2.2 Bázikus száraz pernye (E-filter, v. ciklon)
2.3 Savanyú száraz pernye (E-filter v. ciklon)
2.4 Savanyú hányópernye

3. szint: FELHASZNÁLÁSI CSOPORTOK

3.1 Cementgyártás
3.1.1 Nyersliszt komponensként
3.1.2 Hidraulikus adagolókként
3.2 Aszfaltfilter
3.2.1 Hengerelt aszfalt
3.2.2 Öntött aszfalt
3.3 Kohászati öntőporok
3.4 Talajjavítás
3.4.1 Szemszerkezet javítás
3.4.2 P_H-szabályozás
3.5 Utpálya sikosságmentesítés
3.6 Habarcs
3.6.1 Falazóhabarcs
3.6.2 Vakolóhabarcs
3.7 Betonadalék
3.7.1 Transzportbeton
3.7.2 Betonalapok
3.7.3 Kitöltő beton
3.7.4 Aljzatbeton
3.8 Földmű, töltés
3.8.1 Utépítési töltés
3.8.2 Vasútépítési töltés
3.8.3 Vízügy töltés
3.8.4 Híd- és felüljáró rámpák
3.9 Szennyvíztisztítás

4. szint: KÖTŐANYAGOK

4.1 Önálló kötőanyag
4.1.1 Stabilizált útalapok
4.1.2 Utszélesítés
4.1.3 Utpálya megerősítés
4.1.4 Járdaépítés
4.2 Aktivált kötőanyag
4.2.1 Stabilizált útalapok
4.2.2 Utszélesítés
4.2.3 Utpálya megerősítés
4.2.4 Járdaépítés
4.2.5 Betonalapok
4.2.6 Kitöltőbeton
4.2.7 Aljzatbeton
4.2.8 Falazóhabarcs
4.2.9 Vakolóhabarcs
4.3. Pernye-mész keverék előállítás
4.3.1 Erőművi kötőanyaggyártás
4.3.2 Keverőtelepen történő előállítás.
4.3.1 Stabilizált útalapok
4.3.2 Utszélesítés
4.3.3 Utpálya megerősítés
4.3.4 Járdaépítés
4.3.5 Betonalapok
4.3.6 Kitöltő beton
4.3.7 Aljzatbeton
4.3.8 Falazóhabarcs
4.3.9 Vakolóhabarcs

5. szint: ÉPITÉSI SZERKEZETI ANYAGOK

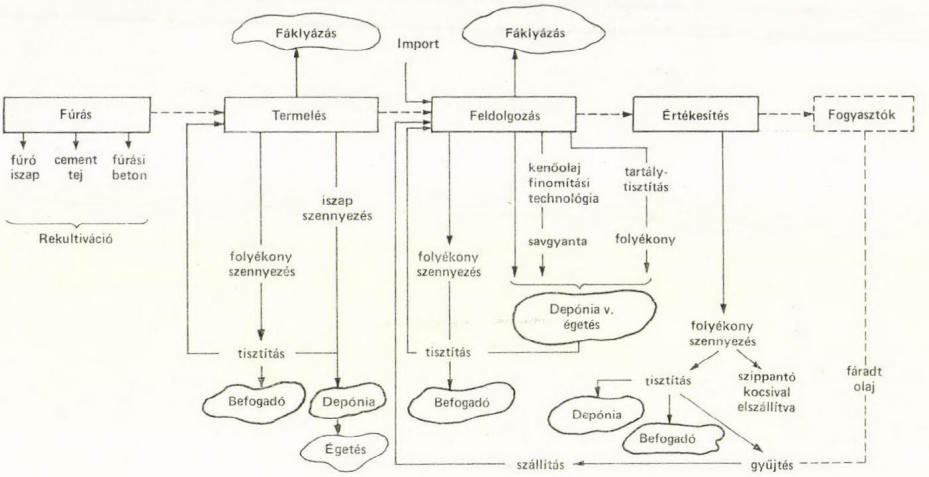
5.1 Könnyűbetonadalékok
5.2 Gipsz válaszfalelem
5.3 Pernyetégla
5.4 Gázszilikát falazóblokk
5.5 Üregkitöltő mélyépítési gázszilikát
5.6 Pernye-mész kötésű építőelem

9. ábra: A pernyehasznosítás modellje

A kőolajfeldolgozó rendszer *(10. ábra)* egyes fázisaiban a környezetvédelem kiemelten kezelendő, de egyidejűleg itt valamennyi technológiai fázisra adott a megoldás. A hazai sajátosságok szempontjából meg kell említeni, hogy a vízháztartás megváltoztatásával járó vízbesajtolásos kitermelésnél, illetőleg a felhagyott szénhidrogéntermelő kutak geotermikus energiatermelés céljára

való igénybevételénél számolni kell a mikro- és a szélesebb értelemben vett makro-környezet sérelmével, illetőleg ennek a megoldásával.

Itt említem meg, hogy a geotermikus energia hasznosítása nálunk elsősorban környezetvédelmi problémákba ütközik, hiszen az elfolyó vizek agresszív volta olyan kémiai kezelést igényel, amely az egész rendszer gazdaságosságát befolyásolhatja.



10. ábra: A kőolajiparban keletkező hulladékok és elhelyezésük lehetőségei

A következő energiahordozó az urán, amely a szén mellett talán a másik legizgalmasabb környezetvédelmi kérdéscsoportot foglalja magában. A szén és az urán, illetőleg a szén- és az atomenergetika körül alakultak ki az ún. lágy és kemény stratégiák. A lágy stratégiák egészen odáig jutottak el, hogy a gazdaságnövekedésnek abszolút korlátot szabva, illetve bizonyos területeken visszafejlesztve próbálják kiküszöbölni az energetika rendszeréből ezeket a megfelelő műszaki fejlesztés nélkül, a környezet szempontjából nagyon agresszív technológiákat. Mint ahogyan a szén esetében is, a műszaki fejlesztés oldaláról adva van a megoldás. Az uránhasznosítás vertikumának egyes fázisait környezetvédelmi szempontok szerint röviden jellemezve megállapítható, hogy már a kitermelési fázisban, a bányász védelme érdekében kell gondoskodni a fokozott levegőtisztaság-kontrollról, illetve ezt megelőzően a megfelelő szellőztetésről, a bányából kikerülő vizek radioaktív szennyezettségének kontrolljáról, az uránérc dúsítása során a megfelelő meddőhányó struktúrák kialakításáról, és a meddőhányóról elfolyó vizek kontrolljáról, illetve tisztaságáról.

Az urán további tisztítása, a fűtőelem-gyártás a nemzetközi munkamegosztás ismert rendszerének megfelelően a Szovjetunióban történik. Nálunk tehát az urán hasznosításával összefüggő következő környezetvédelmi kérdéscsoportot az atomerőmű képviseli. Az atomerőművek vizsgálata során külön kell választani az üzembiztonsági és a környezetvédelmi problémákat. A két kérdéscsoport az energiatermelés jellegéből következően nagymértékben összefügg egymással, jelen előadás témájának megfelelően azonban most a második problémakör fontosabb elemeit vesszük sorra.

Az atomerőmű környezetre gyakorolt hatása a nagy mennyiségben keletkező sugárzó anyagokkal kapcsolatos, amelyek a környezet kis mértékű sugárszennyezését okozhatják. A radioaktív anyagok egy részének felezési ideje nagyon rövid, így ezek aktivitása a technológiai körökben, vagy a segédberendezések ben való tartózkodás alatt nagymértékben csökken. A nagyobb felezési idejű sugárzó anyag további sorsáról viszont külön kell gondoskodni, s erre két lehetőség kínálkozik.

– az erősen felhigítva történő kibocsátás és
– a koncentrált formában való tárolás.

A felhigított állapotban történő kibocsátás során az aktív anyag koncentrációja olyan kicsi, hogy sem a lakosság egészségét, sem pedig a környezetet nem veszélyezteti. A koncentrált formában történő tárolás során a sugárzó anyag olyan többszörös védőburokba kerül, amely a mechanikai, a kémiai és a hőhatás ellen maximális védelmet nyújt.

A környezetvédelemhez tartozik az a mechanikai rendszer is, ami úgy szakaszolja az energiatermelő folyamatot, hogy bármilyen műszaki meghibásodás esetén sokkal hamarabb történik egy hermetikus térelzárás, mint a környezet bárminemű sérelme. Az erőművekben keletkezett radioaktív hulladékok elhelyezése mellett, külön gondoskodnak olyan sugárvédelmi ellenőrző rendszer működéséről, amely folyamatosan kontrollálja a környezet sugárzási viszonyait, biztosítva ezzel egy veszélyes természeti erő nemkívánatos hatásai ellen való maximális védelmet.

Mint a tudományos-technikai forradalom egyik legfiatalabb, fejlett műszaki rendszerének az atomerőműnek a legmagasabb a mérési kultúrája. Szinte valamennyi elemében az átlagosnál lényegesen magasabb szinvonalú a mérés, a mérések folyamatos kiértékelése, és ezek visszacsatolásával a folyamatszabályozás, a megfelelő ellenőrzésekkel együtt. Így tehát az uránérc hasznosítása – minden más felfogással ellentétben – környezetbarát módon tudja szolgálni az emberiség egyre növekvő energiaigényének a kielégítését, tehát semmiképpen sem indokolt a tiltás, a lágy stratégiai szemlélet oldaláról való megközelítés.

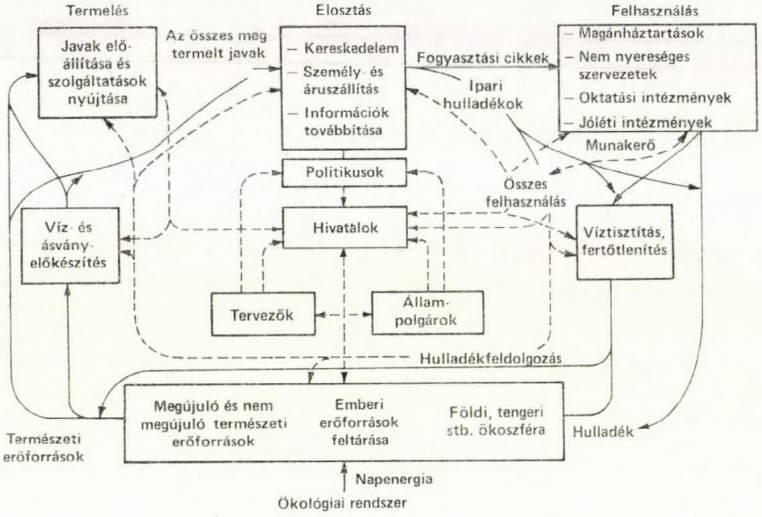
Ez annál is inkább igaz, mert ma már nemcsak az energiapolitika kezeli kombinatív módon az egyes energiahordozó forrásokat, hanem létrejöttek olyan műszaki megoldások, amelyek az egyes energiahordozókat műszaki értelemben kombinálják. Nemcsak az *output* oldalon történik kombináció, amikor a jobb hatásfok érdekében kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés folyik, tehát azzal válik a villamosenergia-termelés még gazdaságosabbá, hogy alapvető kommunális igényeket elégít ki a távhőszolgáltatással, hanem megjelennek olyan megoldások is, amikor az atomenergia bázisán lehetségessé válik a szén komplex hasznosítása.

Mindez tehát azt jelenti, hogy a kombinatív energiapolitikai stratégia követelésével nemcsak forrásoldalon lehet gondoskodni az energiahordozók komplex hasznosításáról úgy, hogy az energetika egész rendszere optimumot adjon, hanem ezt a szemléletet ki lehet terjeszteni a környezeti hatásokra is, és úgy lehet bekorlátozni az egyes műszaki rendszerek emissziójának határértékét, hogy az emissziós tényértékek a megengedett határon belül maradjanak *(11. ábra)*.

A környezetvédelemnek tehát minden esetben megvan a megfelelő biztonságot adó műszaki megoldása. Tény azonban, hogy ez növekvő ráfordításigénnyel jár, ezért a környezetvédelmi igények kielégítésével együtt, konzisz-

tens módon, az egész rendszer gazdaságossági hatékonyságának a növeléséről is gondoskodni kell.

A másik nagy környezetvédelmi kérdéscsoport a gazdaság alapanyagellátásához, anyagkultúrájához kapcsolódik. Mint minden gazdaság, a magyar



11. ábra: Környezeti rendszer funkcionális alapmodellje

népgazdaság is két nagy blokkra: a kitermelő-, alapanyagblokkra, és a feldolgozóipari blokkra bontható. A két blokkal kapcsolatban elsősorban hangsúlyozni kell azt, hogy (szemben sok szemlélettel) nem indokolt ezeknek a fejlődés szempontjából való ütköztetése. Mivel nem létezik feldolgozóipar megfelelő alapanyagkultúra nélkül és megfordítva, nem lehet megfelelő kitermelő alapanyaggyártó technológiákat kialakítani megfelelő feldolgozóipari háttér nélkül, a két blokk fejlesztésének konzisztens rendszerben kell történnie.

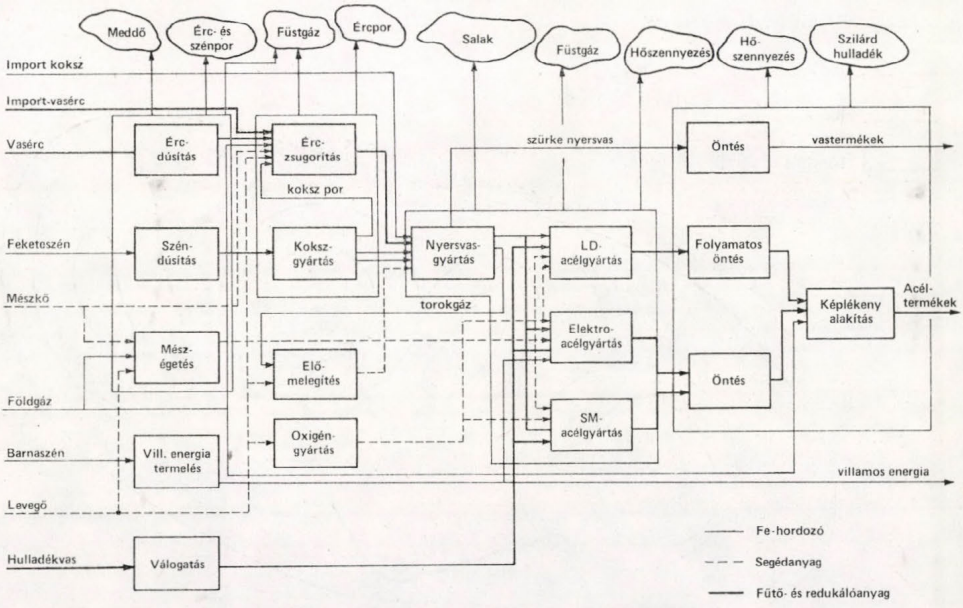
Ma sokféle forradalomról beszélünk. Beszélünk általában a tudományos-technikai forradalomról, beszélünk jó értelemben vett kultúrforradalomról, és beszélünk anyagforradalomról. Az „anyagforradalom" szóhoz talán azért jutottunk el, mert minden gazdaságban felismerték, hogy a megfelelő anyagkultúra, a megfelelő szerkezeti-anyag színvonal az egész gazdaság fejlődésének kulcskérdése.

Esetünkben ezzel kapcsolatban elsősorban a ferrum-hordozókkal kapcsolatos technológiai láncokra *(12. ábra)* kell gondolni, ahol az acélgyártás, a képlékeny alakítás technológiájának fejlesztésével egyidejűleg kell gondoskodni a megfelelő feldolgozási technológiai fázisok kiépítéséről. Gondoskodni kell továbbá a porterhelés csökkentéséről, a különböző gázok emissziós határértékeinek a szabályozásáról. A szilárd fázis környezet-károsításának csökkentésére a recirkuláció igényével itt is megjelenik a hányók ismételt feldolgozása.

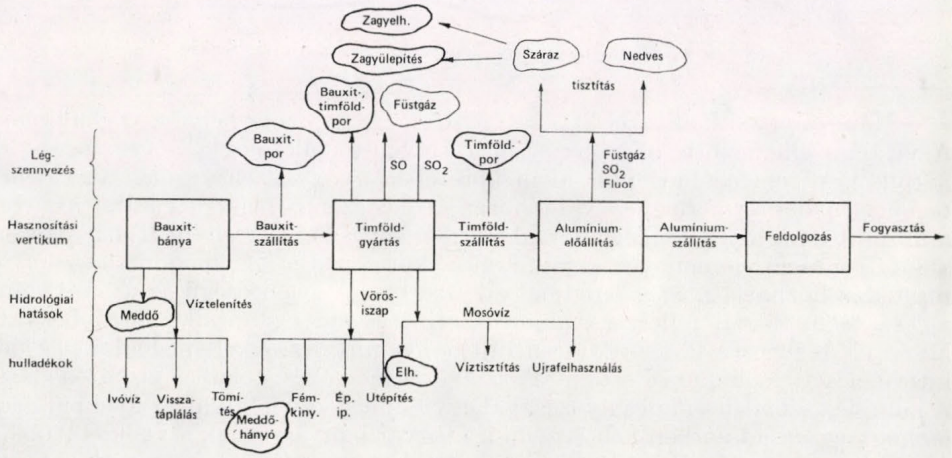
Meg kell említeni, hogy a vertikum környezetvédelmi szempontokat is szem előtt tartó konzisztens fejlesztése — az ember, technika és természet rendszerében — szélesebben is értelmezhető, mivel az, hogy milyen gépek, berendezések, milyen technológia állhatnak rendelkezésre többek között egy széntüze-

lésű kazánhoz, vagy egy atomerőmű bizonyos technikai részegységéhez, az itt is többek között a ferrum hasznosítási folyamatával alapvetően eldől.

Nemzeti vagyonunknak számít az alumínium, aminek komplex hasznosítása *(13. ábra)* megoldhat olyan globális környezetvédelmi problémát, mint



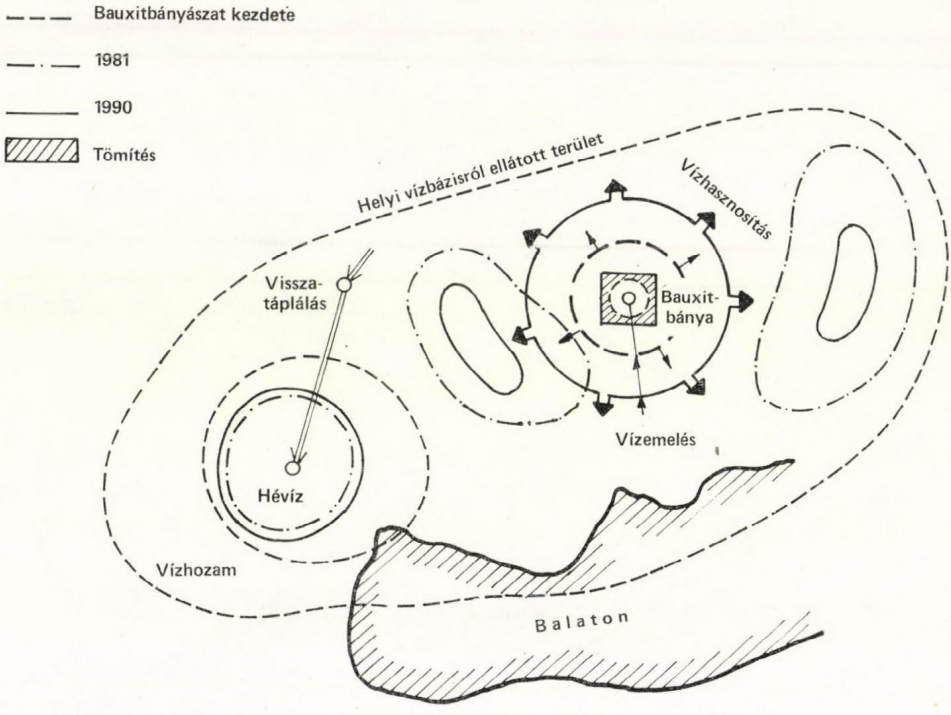
12. ábra: Vasvertikum környezeti hatásai



13. ábra: Alumínium-vertikum környezeti hatásai

a vörösiszap elhelyezése. Ezért a bauxitok komplex hasznosítása, a ferrumtartalom kinyerése és hasznosítása az elkövetkezendő időszak nagyon fontos iparfejlesztési feladata.

A hazai bauxitbányászatnak természetes kísérő jelensége a regionális jellegű vízveszély *(14. ábra)*. Közismertek az ezzel kapcsolatban felmerült problémák is, amelyek elsősorban a nyirádi térségben, mind a hőforrásokkal, mind az egész Dunántúli Közép-hegység vízháztartásával összefüggnek.

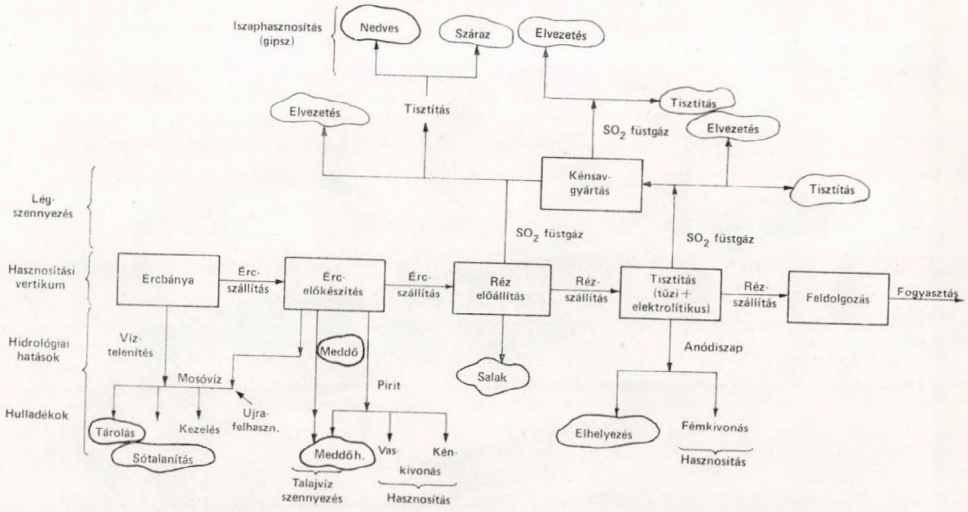


14. ábra: Bauxitbányászás hatása a felszín alatti vízekre

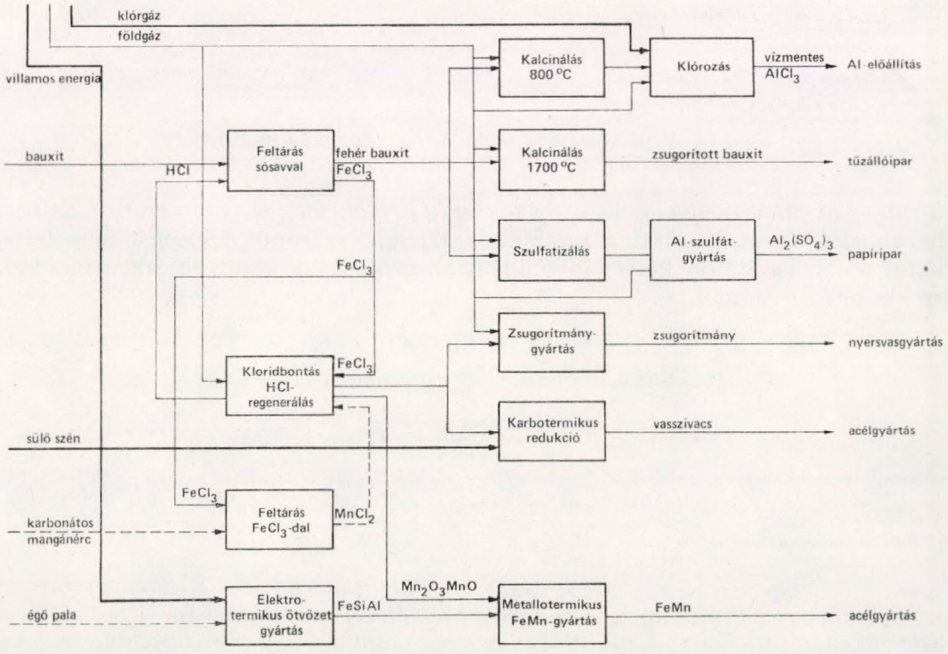
Hangsúlyozni kell ezzel kapcsolatban, hogy itt sincs helye a végleteknek. A vitában elhangzott, hogy ha sérül a Hévizi-tó, illetőleg a hévizi forrás, el fogjuk veszíteni az idegenforgalom keretében gyógykezelésre idelátogató betegeket. A devizamérleghez való hozzájárulás szempontjából viszont az alumíniumipart semmiféle idegenforgalom nem képes helyettesíteni. Tehát itt sem a konfrontáció, hanem az alumíniumot környezetbarát módon hasznosító megoldás hozhatja meg az eredményt. Ezért nagy jelentőségű az a bányaművelési, technológiai fejlesztés, amely szerint gyors, instantán jellegű beavatkozással, térben és időben koncentrált bányaműveléssel kell megoldani az érc kitermelését, csökkentve ezáltal a vízelvétel mértékét, tehát a vízkárosodást. A komplex szemlélet hangsúlyozásával egyidejűleg kell felhívni a figyelmet arra is, hogy egy rendszerben kell kezelni a magyar bányászatnak a vízháztartásba való beavatkozását. Feltétlenül indokolt tehát az egész bányászattal érintett hidrodinamikai rendszernek egy olyan modellbe való összefoglalása, amely a hatás-ellenhatás függvényszerű összefüggéseit egyrészt feltárja, másrészt a bányaművelési technológia oldaláról kezelhetővé teszi.

A következő hasznosítható nemzeti kincs a recski polimetallikus ércelőfordulás *(15. ábra)*, amelynek komplex hasznosítása (például a pirithasznosítás,

a kohógáz hasznosítása) részben csökkenti a környezetterhelést, részben pedig növeli a polimetallikus előfordulás kiaknázásának gazdasági hatékonyságát. Esetenként a komplex hasznosítás (*16.* ábra) ad megoldást pl. savas kezeléssel a bauxitok és a karbonátok mangánércek vastalanítására, illetőleg a karboná-

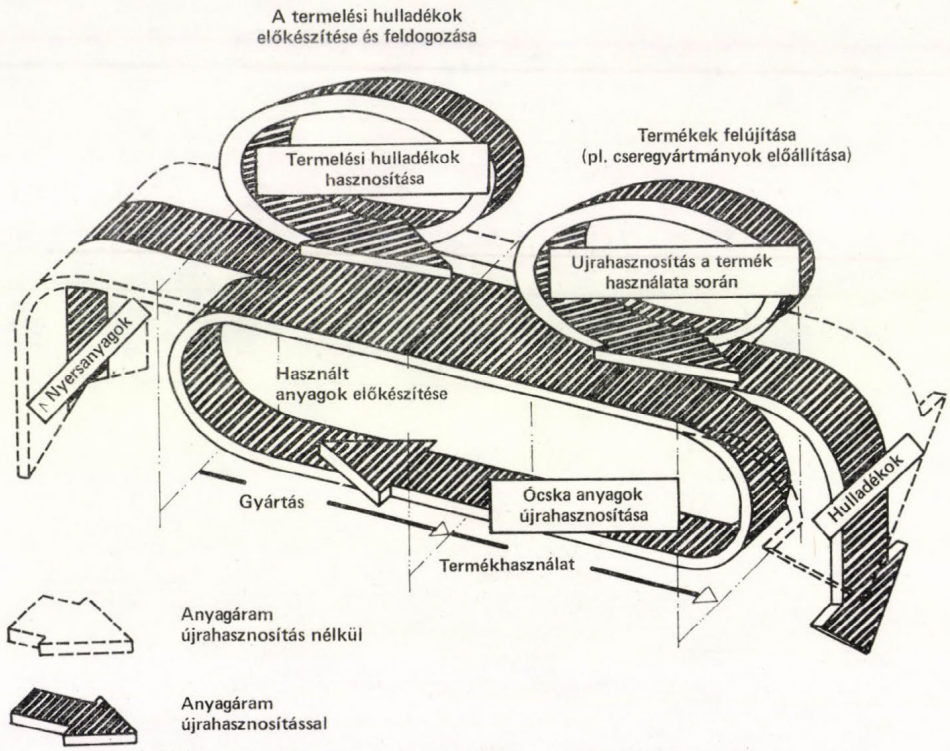


15. ábra: Rézvertikum környezeti hatásai



16. ábra: Bauxit, karbonátos mangánérc és égőpala komplex feldolgozási rendszere

tos mangánérc komplex hasznosítása egy rendszerben oldható meg. Az anyagkultúra blokkját lezárva szeretném ismét felhívni a figyelmet az újrahasznosításra *(17. ábra)*, amely környezetbarát megoldást ad és ezzel együtt növeli a hatékonyságot. Tájékoztatásul meg szeretném mutatni, hol tartunk ma az



17. ábra: Az újrahasznosítás szerepe az anyagkörfolyamatban

újrahasznosítással, százalékos mértékben *(I. táblázat)*. A tábla szerint az újrahasznosítás szinte korlátlan tartalékokat jelent számunkra. Ezért nem feltétlenül a forrásoldalon kell a megoldást keresni, amikor növekszik a gazdaság szerkezeti anyagigénye.

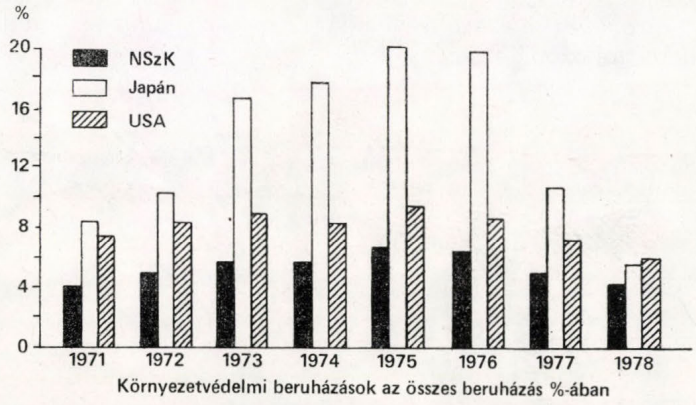
I. TÁBLÁZAT

Színes fémek hazai újrahasznosítása (1980)

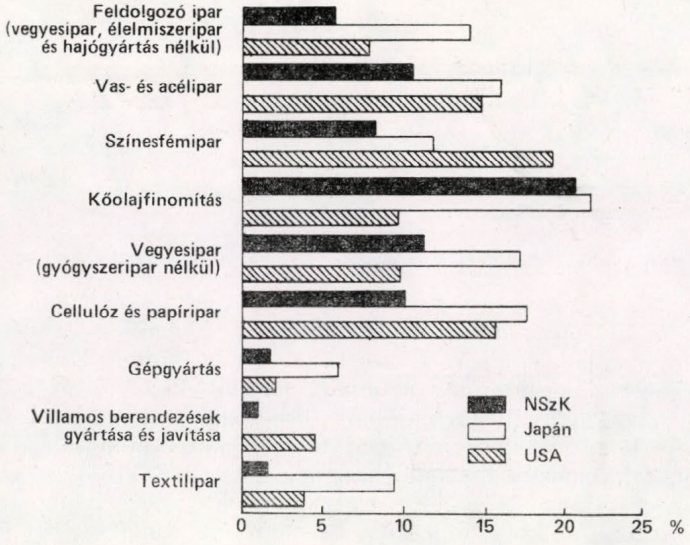
Fém	Réz	Alumínium	Ólom	Cink	Kábel (Cu, Al)	Ón
Begyűjtött mennyiség, kt	17	25	11	4	7	.
Felhasználás aránya, %	30	13	26	13	17	.

A környezetvédelmi beruházások *(18. ábra)* ma már az ipari beruházások szerves részét képezik. A beruházások arányának megállapításában két rendező elv érvényesül: egyrészt az egyes területek lakottsága, másrészt egy adott or-

ság technikai fejlettsége. A környezetvédelmi beruházás (pl. az összes beruházás százalékában) Japánban a legmagasabb, ezt követi az Egyesült Államok és az NSZK. Elsősorban a magasabb technológiai fázisok gépi berendezésénél lehet érzékelni, hogy a két olajárrobbanás után kibontakozott egy technológiai



Környezetvédelmi beruházások az összes beruházás %-ában

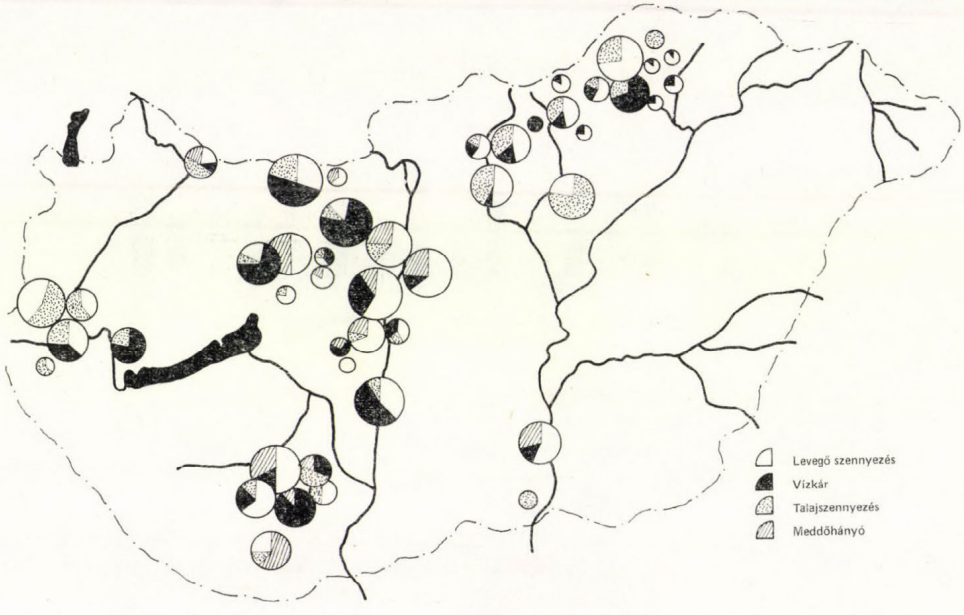


18. ábra: Egyes iparágak környezetvédelmi beruházásai az összes beruházás százalékában, 1971 – 1978

árrobbanás is. Ez utóbbi lényege, hogy az olajhelyettesítést célzó korábbi megoldásokkal szemben, a mikroelektronika, a folyamatszabályozás széleskörű alkalmazásával részben csökkentik a fajlagos energia- és nyersanyagfelhasználást, részben ugyanazon műszaki rendszerben oldják meg a megfelelő környezetvédelmi kérdéseket is.

Zárógondolatként szeretném megemlíteni, hogy igen fontos az ásványi eredetű nyersanyagok komplex hasznosítása, fontos, hogy nálunk is kialakul-

jon az anyagkultúrának az a sávja amely a feldolgozóiparban olyan fontos fejlesztések lehetőségét teremti meg, mint amit biztosított a germánium, gallium, szilicium az elektronikához, a mikroelektronikához; kialakuljanak a különleges saválló, korrózióálló minőségi acélok, az emelt szilárdságú acélok, amelyek a feldolgozóipar megfelelő műszaki kultúráját alakítják ki. Ezen folyamatok közös jellemzője, hogy végső soron visszacsatolódnak a technika —ember—természet hármas relációjára, hiszen minden vonatkozásban az emberi tudás fokozódását igénylik.



19. ábra: A környezeti hatások geográfiai elhelyezkedése

A nyersanyagok hasznosítása tehát a környezetvédelemmel együtt jelentős mértékben befolyásolja az ország térszerkezetét *(19. ábra)*. Ezzel a pozitív jellegű térszerkezettel egyidejűleg azonban térben elosztva levegő-, talaj-, vízszennyezés, meddőhányók formájában terhelődik a környezet is, olyan koncentrációban, hogy az ellene való tudatos védekezés nemcsak kötelessége a nyersanyagokat hasznosító iparnak, hanem a hasznosítás feltétele is. A feltételek pedig azért teljesíthetők, mert az ezzel összefüggő egész ipari tevékenységben megjelent az a műszaki fejlesztési tevékenység, amely az ott felmerülő kérdéseket sikeresen oldja meg. Így tehát minden okunk megvan, hogy Magyarországon az ásványi eredetű nyersanyagok hasznosításának környezetvédelmi kérdéseivel kapcsolatban azt az aktív környezetvédelmi stratégiát kövessük, amely az egész hasznosítási folyamat során a megfelelő műszaki megoldásokkal a folyamatot környezetbarát módon illeszti az adott régióba és ezzel egyidejűleg természetesen megfelelő hatékonysággal a gazdaság növekedésébe.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5—6. szám. 1984.szeptember – december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 5—6. Sept – Dec. 1984. Budapest

A hasadóanyag-bázisú erőművek környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei

VAJDA GYÖRGY, *Villamosenergiaipari Kutató Intézet, H—1051 Budapest, Zrínyi u. 1.*

Environmental effects of nuclear power plants and possibilities for their reduction. The paper briefly describes the types of potential hazards endangering normal operating condition of NPPs (Nuclear Power Plants) and causing accidents. Protection systems and methods are reviewed, with particular attention to the NPP of Paks. The procedure of radioactive-waste management is also dealt with.

⁂

A hasadó anyagbázisú erőművek környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei. A cikk röviden összefoglalja az atomerőművek potenciális veszélyének jellegét az atomerőmű normál üzemi állapotára, valamint az üzemzavarokra. Ismerteti a védekezés technikáját és módszereit különös tekintettel a Paksi Atomerőműre. Bemutatja a radioaktív hulladékok elhelyezésének módját.

⁂

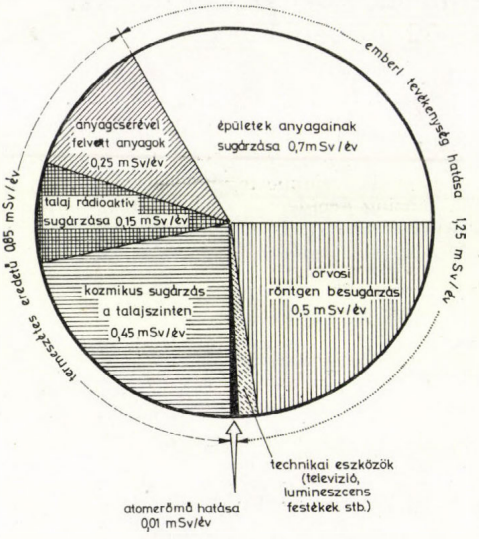
A tömegtájékoztatás és a környezetvédelmi mozgalmak sok kételyt hintettek el az atomerőművek ártalmaival és veszélyeivel kapcsolatban. Az ennek talaján kinőtt – sokféle érdekből manipulált – politikai áramlatok néhány fejlett tőkésországban komolyan visszavetették az atomerőművek építését, sőt Ausztriában egy megépített erőmű üzembe helyezését is megakadályozták. A Paksi Atomerőmű létesítése kapcsán – ha nem is széleskörűen, de nálunk is merültek fel aggályok, így indokolt körültekintően megvilágítani hogy veszélyes-e ez a technika. Az önkéntelen asszociáció az atomfegyverekkel – melyek minden tisztességes emberben irtózatot váltanak ki – erősíti az ellenérzést, nem véve figyelembe, hogy az erőművekben nukleáris robbanás nem jöhet létre.

A veszély jellege

Kétségtelen, hogy az atomenergia erőművi hasznosítása veszélyes technológia – de ahogy a szakma egyik úttörője megfogalmazta, még mindig sokkal veszélytelenebb, mint az energiafejlesztés más módszerei. E technika veszélyességét a radioaktív anyagok nukleáris sugárzásai jelentik, melyek megzavarhatják a sejtek normális működését, elroncsolhatják vagy kóros növekedésre késztethetik a testszöveteket. A káros hatások mértéke függ a sugárzás jellegétől, intenzitásától, energiájától, a kölcsönhatás módjától és az érintett testszövet típusától.

A sugárzások veszélyességére az orvosi röntgentechnika kapcsán idejekorán felfigyeltek, az ártalmak megítélésével és a védekezés módszereivel több mint fél évszázada foglalkoznak nemzetközi szervezetek is. Ezen ismeretek

figyelembevételével az atomerőművek tervezésénél és létesítésénél eleve olyan biztonságra törekedtek, amire a technika történetében még nem volt példa. Ennek sikerét tanúsítja, hogy a világon jelenleg üzemben lévő mintegy 300 nagy atomerőművi blokk több mint 3000 reaktorévnyi üzemideje alatt egyetlen nukleáris eredetű halálos baleset vagy súlyos sugársérülés sem fordult elő. Ilyen kiemelkedően jó baleseti statisztikával egyetlen más ipari technológia sem dicsekedhet. Természetesen ebben nem foglaltatnak benne az olyan szokványos ipari balesetek (esések, égések, anyagmozgatási sérülések), melyek bár-



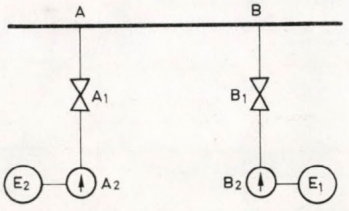
1. ábra: Évi átlagos dózisok az atomerőmű közvetlen környezetében

milyen más típusú erőműben vagy üzemben is előfordulnak, de megjegyzendő, hogy ezek aránya is kicsi az atomerőművekben az automatizálás és távkezelés magas fokának, valamint a kiemelkedő technikai színvonalnak köszönhetően. Természetesen fordultak elő nukleáris eredetű halálos balesetek is, de ezek katonai létesítményekben, reprocesszáló üzemekben, fizikai laboratóriumokban következtek be és nem erőműben.

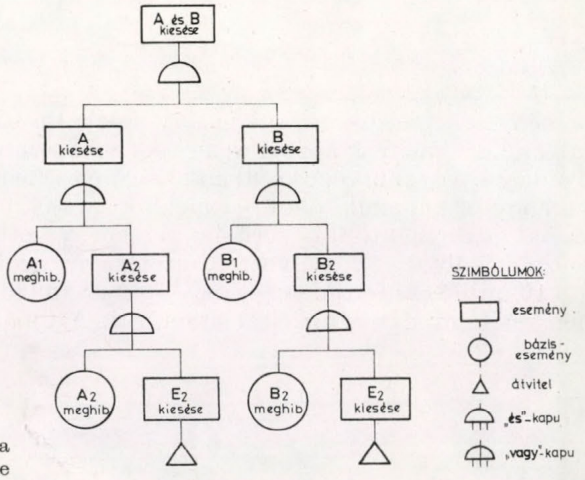
Potenciális veszély abból származik, ha sugárzó anyagok kerülnek a környezetbe. Az erőmű technológiai rendszerében sokféle berendezés feladata, hogy a mozgékonnyá vált radioaktív részecskéket kiszűrje, összegyűjtse és a környezetre veszélytelen módon tárolja. A kiszűrést azonban csak bizonyos mértékig érdemes megvalósítani, és a fennmaradó hányad olyan mértékben felhígítva bocsátható ki, hogy a környezet természetes eredetű sugárzási szintjét számottevően ne növelje. Ez a kibocsátás szigorúan ellenőrzött módon és a hatóságok által megengedett mértéken belül történik. Az *1. ábra* mutatja, hogy egy atomerőmű közvetlen környezetében milyen átlagos sugárzási dózisok érik az ott tartózkodókat. Érzékelhető, hogy a mindig és mindenütt érvényesülő háttérsugárzás, valamint a nem atomerőművi emberi tevékenységek miatt fellépő hatások mellett az erőmű szerepe elhanyagolható. Természetesen az erőműtől távolodva ez a dózis is rohamosan csökken. Megjegyzendő, hogy a háttérsugárzás mértéke területenként változó, és ott sem tapasztaltak a lakosság egészségi állapotában szignifikáns különbséget, ahol a háttérsugárzás az átlagosnál nagyságrenddel nagyobb. Miután ma már több száz erőmű iga-

zolja, hogy még a közvetlen közelében élők sugárterhelését sem növeli 1%-nál, sőt gyakran 1‰-nél nagyobb mértékben sem, kezd elfogadottá válni az a felfogás, hogy az atomerőmű normál üzeme veszélytelen. Ezért a viták áttevődtek az üzemzavarok területére.

Nagy mennyiségű sugárzó anyag kiszabadulását a reaktormag olvadása idézheti elő, ha annak hűtése nem kielégítő. Tökéletesen nem zárható ki az olyan üzemzavar lehetősége, amikor több berendezés egyidejű meghibásodása miatt kerülnek ki radioaktív anyagok a környezetbe és emiatt veszélyes sugár-



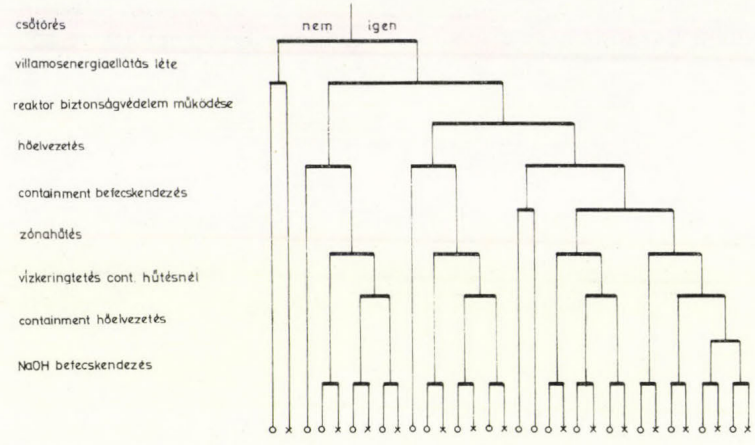
Üzemzavari zónahűtő rendszer kapcsolási sémája (részlet)



2. ábra: Zónahűtő rendszer hibafája üzemzavar esetére

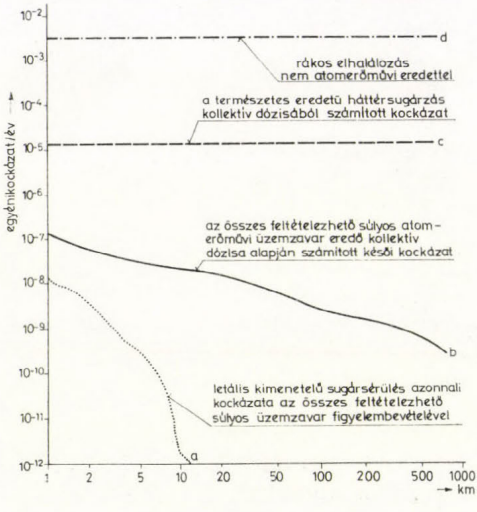
zási szint alakul ki. Szerencsére ilyen nagyon súlyos üzemzavarra nincsenek tapasztalatok, ezért a kockázatot a folyamatokat szimuláló valószínűségszámítási módszerekkel határozzák meg. E kockázatbecsléseknél a részfolyamatok tekintetében természetesen messzemenően támaszkodnak a kutatásból és az üzemi gyakorlatból nyerhető tárgyi ismeretekre. A módszereket eredetileg a haditechnika számára fejlesztették ki, majd fokozatosan más területekre is átültették, az űrkutatás, a légiforgalom és az utóbbi időben a veszélyes ipari technológiák területére is. Hibafák segítségével határozzák meg a kedvezőtlen események valószínűségét az egyes berendezésekre vagy alrendszerekre *(2. ábra)*. Ezek logikai kapcsolatokkal követik, hogy a komponensek meghibásodásának vagy hiányának valószínűsége hogyan befolyásolja a hibafa csúcsán szereplő esemény — pl. a védelmi működés elmaradásának valószínűségét. E számítások nemcsak a műszaki meghibásodásokat veszik figyelembe,

hanem a lehetséges üzemi állapotokat, sőt az emberi tévedés lehetőségét is. A hibafák szolgáltatják az eseményfák egyes elemeinek valószínűségét. Az eseményfa csúcsán egy, a biztonságot érintő kezdeti esemény – pl. csőtörés – szerepel *(3. ábra)*. Az üzemzavar továbbfejlődésének kimenetét befolyásoló beavatkozásokat, védelmi működéseket, további meghibásodásokat követi az



3. ábra: Eseményfa kis csőtörésre

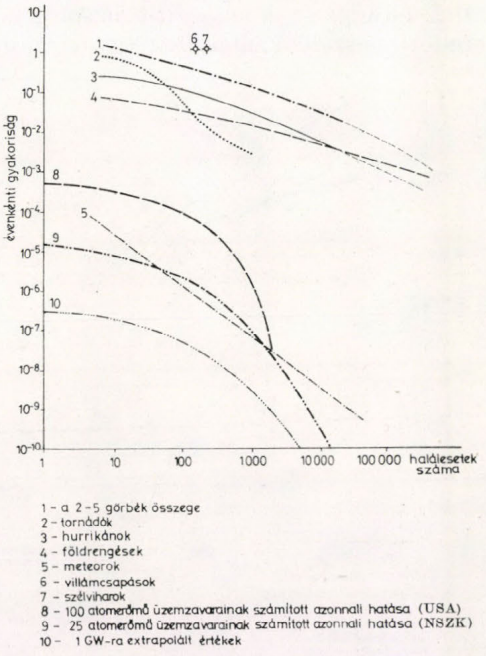
eseményfa a végső kimenetelig. Így meghatározható, hogy a kezdeti esemény milyen körülmények között és mekkora valószínűséggel vezethet például zónaolvadásra. További rendkívül munkaigényes elemzésekkel az is számszerűsíthető, hogy a különféle okokból mekkora valószínűséggel, milyen időbeli lefolyással mennyi aktivitás kerülhet ki a környezetbe. A számítások szerint a környezetet súlyosan veszélyeztető üzemzavar geológiai korszakok alatt egyszer (1 – 10 millió év) fordulhat elő egy atomerőműnél, ezt kell egybevetni a létesítmény néhány évtizedes élettartamával. A topológiai, meteorológiai és egyéb



4. ábra: Az atomerőmű 1 GW teljesítményére vetített egyéni kockázat az erőműtől mért távolság függvényében azonnali és késői elhalálozásra

paraméterek számításba vételével modellezhetők a transzportfolyamatok a légkörben, az élővizekben és a táplálékláncban, meghatározhatók az embereket érő dózisok, valamint az egészségügyi következmények.

A kockázatbecslések az egészségkárosodásra kétféle, azonnali és késői hatást különböztetnek meg. Az azonnali hatást a nagy sugárdózisok okozzák,



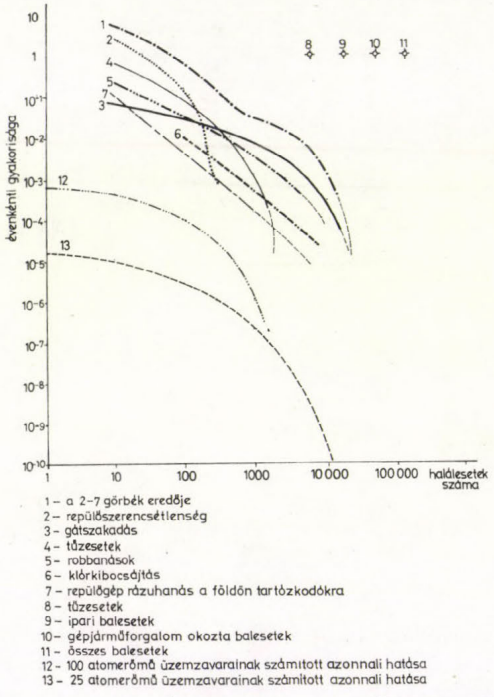
1 – a 2–5 görbék összege
2 – tornádók
3 – hurrikánok
4 – földrengések
5 – meteorok
6 – villámcsapások
7 – szélviharok
8 – 100 atomerőmű üzemzavarainak számított azonnali hatása (USA)
9 – 25 atomerőmű üzemzavarainak számított azonnali hatása (NSZK)
10 – 1 GW-ra extrapolált értékek

5. ábra: Természeti jelenségek okozta kockázatok

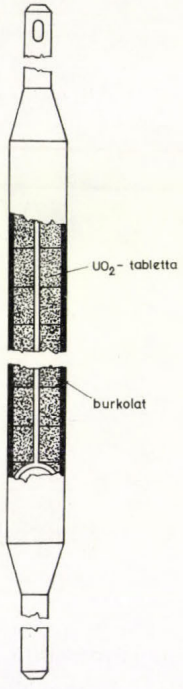
ezek néhány száz mSv felett sugársérülést okoznak, és néhány Sv felett nő a halálos kimenetel valószínűsége. A tapasztalatok szerint a kis dózisoknak nincs akut következménye. A késői hatásoknál a karcinogén és genetikus következményeket veszik számításba. Vitatott, hogy egészen kis dózisoknál jogos-e ilyen következmények feltételezése, ami például a háttérsugárzás nagy különbségeinél sem tapasztalható. A mértékadó szervezetek azonban azt a nézetet fogadták el, hogy amíg ennek ellenkezője nem bizonyítható, addig bármilyen kis többletdózist is kedvezőtlen kihatásúnak kell feltételezni. Ennek alapján a lakosság egyes egyedeire számított többletdózisok összegével – amit kollektív dózisnak neveznek – arányosnak tételezik fel a károsodások valószínűségét. Ez rendkívül szigorú feltételezés, hiszen bármilyen kicsik is a dózisok, egy nagyszámú populáció, például egy ország lakosságának a figyelembevételénél összegük már nem kicsi. A kollektív dózis számításánál további szigorítás, hogy azt több évtizedre kiterjesztve kell figyelembe venni, tekintettel a sugárzó anyagok élettartamára.

Az ismertetett módszerrel az atomenergetika néhány vezető országában meghatározták az országos programokra a halálos kimenetű károsodás kockázatát. A számítások eredményét példázza a *4. ábra*, melynek függőleges tengelyén logaritmikus léptékben az egyéni kockázat, vízszintes tengelyén pedig az erőműtől mért távolság szerepel. A legfelső egyenes a rosszindulatú daga-

natok eredő mortalitása, az alatta lévő a háttérsugárzásból számítható kollektív dózis kockázata, – valószínűtlen azonban ennek tényleges veszélye, hiszen majdnem bizonyos, hogy a háttérsugárzáshoz az emberiség akklimatizálódott. A következő görbe az atomerőművi üzemzavar késői hatását, míg a legalsó az azonnali hatását szemlélteti. Érzékelhető például, hogy a sok nagyságrendes különbség miatt az atomerőmű nem okoz szignifikáns különbséget a rákos megbetegedés egyéni kockázatában. Az *5.* és *6. ábra* az atomerőművek által előidézett kockázatot hasonlítja össze egyrészt különféle természetes eredetű veszélyek, másrészt egyéb emberi tevékenységek veszélyességével. Fi-



6. ábra: Emberi tevékenység okozta kockázat



7. ábra: Fűtőelem

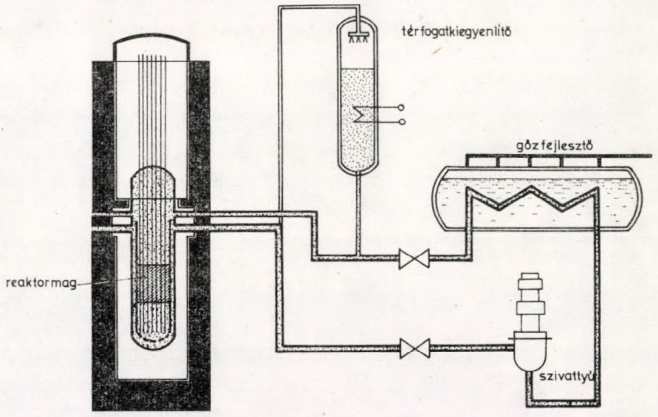
gyelembe véve a logaritmikus léptéket nyilvánvaló, hogy a nukleáris technika a legkevésbé veszélyes technikák közé tartozik.

Rá kell mutatni, hogy az említett kockázatbecsléseket rendkívül nagy óvatosság és mindig a legkedvezőtlenebb körülmények figyelembevétele jellemzi. A felgyülemlő tapasztalatok azt támasztják alá, hogy következtetéseik túlzottan pesszimisztikusak. Így például mind a laboratóriumi, mind a félüzemi kísérletek arra utalnak, hogy még a containment sérülés esetén sem kerül ki a feltételezett mennyiségben radioaktív anyag a környezetbe, mert azok különféle fizikai és kémiai hatások (kémiai reakciók, agglomeráció, adszorbció, oldódás stb.) következtében a transzportfolyamat során a technológiai rendszeren belül maradnak. Így például a legveszélyesebbnek tartott jódból 2–3 nagyságrenddel kevesebb kerülhet ki a környezetbe a számított értéknél. Terjedő gyakorlat az egyes erőművek egyedi kockázatának becslése is, gyakran csak a magolvadásig végezve el a számításokat, mivel a biztonságot ennek valószínűsége is karakterisztikusan jellemzi. Ezt céloztuk meg a

Paksi Atomerőműre is az OKKFT keretében folyó kutatással, mert egyrészt eddig a folyamatok technikailag jól uralhatók, másrészt egy ilyen vizsgálat az üzemvitelhez is sok segítséget nyújthat.

A védekezés módja

Vázlatosan érintem, hogyan védekezünk a környezet szennyeződése ellen. Ez a szempont már a telephely megválasztásánál is alapvető, de a tervezés, a kivitelezés és az üzemeltetés teljes folyamatában elsőrendű követelmény. A

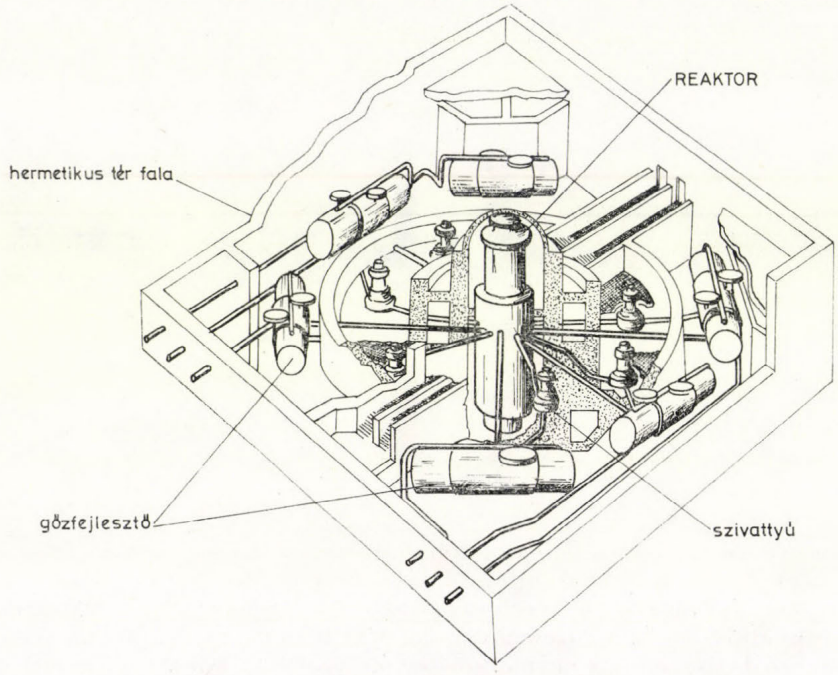


8. ábra: Primerkör

beruházásoknak mintegy a fele a biztonságot szolgálja, és e biztonsági filozófia sikerét a gyakorlat teljeskörűen alátámasztja. Tulajdonképp a hírhedt *Three Mile Island*-i üzemzavar is igazolta a biztonsági rendszer megbízhatóságát, hiszen e rendkívül súlyos üzemzavar következtében sem kapott senki károsodást okozó dózist, sem az üzemeltető személyzetből, sem a környezetben élő lakosságból.

Működési elvükben és térbeli elhelyezésükben redundánsan kialakított védelmek és automatikák gondoskodnak a veszélyes állapotok kialakulásának elkerüléséről. Ezek már csírájában megfogják a kedvezőtlen eseményeket, szükség esetén automatikusan leállítják a láncreakciót, és biztosítják a reaktorban fejlődő maradék hő elvezetését. Ha valamilyen okból a reaktor elveszti hűtőközegét, akkor különböző szükség-hűtőrendszerek veszik át e funkciót. A számítások szerint ezek a rendszerek a magolvadás valószínűségét $10^{-4}-10^{-5}$ l/évre csökkentik. Ha a megolvadás mégis bekövetkezne, egymást körülölelő fizikai védőgátak sorozata akadályozza meg, hogy az aktivitás a környezetbe kerüljön. Az első ilyen gát tulajdonképp a hasadó anyag oxidkerámiai szerkezete. Ez a struktúra fizikai és kémiai hatásoknak ellenáll, és abból csak az aktív inventár kis hányadát kitevő gáznemű, illó és oldódó komponensek léphetnek ki. Ezek továbbterjedését a fűtőelem *(7. ábra)* magas hőmérsékletnek, nagy nyomásnak, kémiai reakcióknak és a nukleáris sugárzásoknak nagyon ellenálló cirkónium ötvözetből készített burkolata akadályozza meg. A tapasztalatok szerint ezeknek csak nagyon kis hányada sérül meg, és az említett Three Mile Iskand-i reaktornál megejtett első szemrevételezések is ezt támasztják alá. A sérült fűtőelemekből az aktív anyagok a hűtővízbe — vagy

ha forrás is bekövetkezett -- a környező gőztérbe kerülhetnek. E közegeket a primerkör *(8. ábra)* lokalizálja, melynek elemeit (reaktortartály, csővezetékek, szivattyú, gőzfejlesztő) rozsdamentes kivitelben rendkívül nagy mechanikai szilárdsággal és hermetikusan alakítják ki. A primerkör tervezése, gyártása, szerelése szélsőségesen szigorú műszaki követelmények és sokoldalú ellenőrzés mellett történik. Ha mindezek ellenére valamilyen sérülés következtében az aktív anyagokat tartalmazó hűtőközeg abból kikerül, a containment

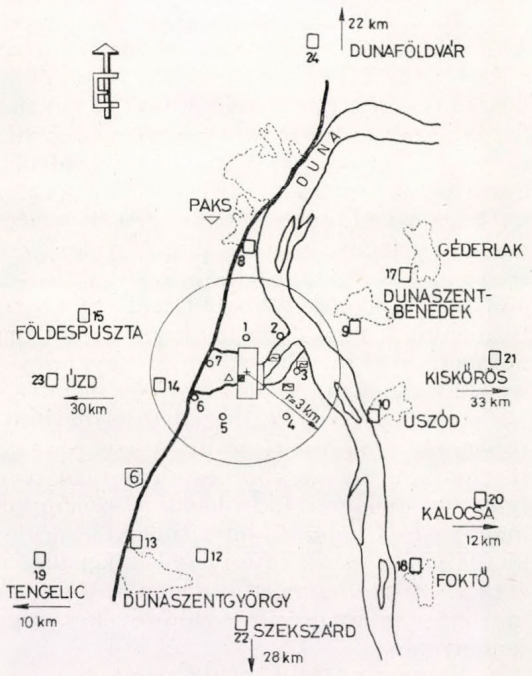


9. ábra: Hermetikus helyiségrendszer

akadályozza meg a továbbterjedést. Pakson ezt a funkciót egy, a primerkört körülölelő hermetikus helyiségrendszer *(9. ábra)* tölti be, mely kívül-belül rozsdamentes acélburkolattal ellátott, 1,5 m vastag sugárzáselnyelő vasbeton réteg. Ehhez csatlakozik a lokalizációs torony, melynek az a funkciója, hogy ha nagy mennyiségű gőz kerül ki a rendszerből, azt összegyűjtse, és az ott elhelyezett kondenzátorok segítségével cseppfolyósítsa. A Villamosenergiaipari Kutató Intézet feladata volt annak kimérése, hogy e 48 000 m^3-nyi rendszer mennyire hermetikus, és mérései szerint a tervezettnél jóval kedvezőbbek a viszonyok. Ahhoz, hogy a reaktormagból kiszabaduló aktív anyagok a környezetbe kerüljenek, egyidejűleg valamennyi védőgátnak súlyosan meg kell sérülnie, aminek rendkívül kicsi a valószínűsége. De még akkor sincs kétségbeesésre ok, ha e rendkívül kis valószínűségű esemény bekövetkezik, mert az emisszióval járó üzemzavarok nem pillanatszerűen következnek be, teljes kifejlődésük sok órát, esetleg 1 – 2 napot vesz igénybe, így van idő preventív intézkedések megtételére. Ilyen lehetőségek a közvetlen környezet kiürítése, az emberek épületen belüli tartózkodása addig a néhány óráig, amíg a kikerült aktivitás nem hígul eléggé fel a környezetben, jódtabletták bevétele az inhalált jód

felhalmozódásának megakadályozására a pajzsmirigyben, az érintett területen a táplálék fokozott ellenőrzése stb.

A sugárzási viszonyok ellenőrzésére Paks körzetében kiterjedt mérőhálózat *(10. ábra)* létesült. Ez egyrészt folyamatosan méri az aktivítás szintjét, másrészt évente sok ezer minta vizsgálatával ellenőrzi a talaj, az élővilág, a tápláléklánc aktivítását. Az ilyen környezetellenőrzés az atomerőművek körül általános gyakorlat, a tapasztalatok szerint az atomerőművek hatása a háttér-



10. ábra: A mintavevő és a mérőállomások a Paksi Atomerőmű környezetében

sugárzás ingadozásainak mértékén belül van. Ennek ismerete sem haszontalan, mert a mérések így megnyugtatnak bennünket a létesítmény veszélytelenségéről. Nagyon impresszívek voltak az első Novovoronyezs-i blokk környezetében végzett mérések, melyek az erőmű üzembe helyezését követően évekig a sugárzási szint folyamatos csökkenését mutatták. Az erőmű hatásánál ugyanis sokkal nagyobb volt a légkör szennyezettségének a csökkenése a légköri atomrobbantások akkoriban elfogadott betiltása után.

A hulladékok sorsa

Sok vita tárgya az atomerőművi hulladékok kérdése is. Az atomerőműben keletkező sugárzó anyagok 99%-a a kiégett fűtőelemekben van. Ezeket biztonságos és ellenőrzött körülmények között egy ideig az erőmű területén

kialakított tárolókban pihentetik, mialatt az aktivitás és a hőfejlődés mértéke több nagyságrenddel csökken. Ezt követően az államközi megegyezés értelmében mi a kiégett fűtőelemeket visszaszállítjuk a Szovjetunióba, így ezek végleges elhelyezése nem hazai feladat. Megjegyzem, hogy véleményem szerint e kiégett fűtőelemek sorsának nem a végleges eltemetés a jó megoldása, hanem a hosszú élettartamú alkotók visszavezetése a szaporító reaktorok segítségével az energiatermelésbe, és így a probléma redukálható a rövidebb élettartamú hasadási termékek tárolásának könnyebben megoldható feladatára.

Hazai feladat viszont a kis- és közepes aktivitású hulladékok elhelyezése. A hűtőközegből, valamint a szellőztető rendszerből kivont radioaktív anyagok, a karbantartás során kiszerelt felaktiválódott alkatrészek, tömítések, az erősen beszennyeződött munkaeszközök és tisztításra nem érdemes munkaruhák tartoznak ezek közé. E hulladékokat megszilárdított formában kell a környezetre veszélytelen módon tárolni. A folyékony hulladékoknál mi a cementbe ágyazási technológiát választottuk. A figyelembe veendő sugárzó anyagok aktivitása legfeljebb néhány száz év alatt veszélytelen mértékre csökken, ezt az időt a legnagyobb — mintegy 30 év körüli — félérték idővel jellemzett stroncium és cézium izotópok jelölik ki. E tárolási technikában Magyarországon tulajdonképp több évtizedes gyakorlatunk van, hiszen mintegy 300 intézményünk régóta használ izotópokat orvosi anyagvizsgálati és egyéb technológiai célokra. Ennek során ugyanúgy képződnek aktív hulladékok és elhasznált sugárforrások, melyek temetését problémamentesen megoldottuk, elsősorban a Püspökszilágyiban több mint egy évtized- működő izotóp temetőben. A felmérések szerint Magyarországon sok helyen biztonságosan elhelyezhetők a kis- és közepes aktivitású atomerőművi hulladékok. Ezeken a helyeken a geológiai, hidrológiai és szeizmikus körülmények olyanok, hogy a csomagolás és a műszaki létesítmények sérülése esetén is a talaj struktúrája megakadályozza az aktív anyagok kikerülését a környezetbe, mielőtt azok sugárzása veszélytelen mértékre nem csökken. A végleges telephely kijelölése folyamatban van, az erre irányuló tevékenységet az MTA alkalmi bizottsága is véleményezte.

Nyugodtan állíthatjuk tehát, hogy az atomerőművek megjelenése a magyar energetikában nem ad nyugtalanságra okot, ez a technika nem veszélyezteti a lakosság egészségét, sőt bizonyos vonatkozásokban a környezeti ártalmak csökkentését eredményezi.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5—6. szám. 1984. szeptember—december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

A szénbázisú erőművek környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei

ZETTNER TAMÁS, *Magyar Villamos Művek Tröszt, H—1011 Budapest, Vám u. 5—6.*

Environmental effects of coal-fired power plants and possibilities for their reduction. In the future development of the power industry an important role will be given to the utilization of the fossil fuels. During the conventional technologies of firing a lot of materials harmful to the environment are produced as dust, SO_x, NO_x and others. Some operational problems are also caused by these materials. The SO_3 content in the flue gases can increase the dew point according to the excess air ratio so a higher rate of corrosion would be experienced. Consequently the detailed investigations on the polluting materials and to elaborate the technologies of cleaning and utilization are required. As a good example we can refer to the field of the dust pollution in Hungary where the work of up-to-date cleaning systems are carried out together with the emission control using a triboelectric device developed for this purpose and the qualification of the collected materials regarding to their possible utilization (measurents for dispersity, morphology, puzzolan-activity and radioactivity) and the introduction of the new methods of utilization, e.g. selection of cenospheres. The water management and water quality control are considered as important factors in the environmental problems of the power stations. Taken into consideration the real needs for water in the different power station technologies it is required to be careful about the decreasing of the waste water quality by development of the water make-up methods and utilization of the water saving technologies. Besides of the individual methods for environment protection there is a final aim to utilize the energy conversion technologies promoting the use economically justified of the fossil fuels and minimalizing the pollution of environment. The state of development regarding these technologies (e.g. gasification of coal, decomposition of water, synthesis of organic matter, processes for decomposition of fuels, CO firing gas turbine) are available together with the advantages and problems of the new firing methods (e.g. fluidbed combustion) in the form of experimental data around the world. In the present trends the combined processes are judged to be likely.

✳

A szénbázisú erőművek környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei. Az energiaipar fejlődésében továbbra is kiemelkedő szerep jut a fosszíliák felhasználásának. A klasszikus tüzelési technológiák esetében nagy mennyiségben keletkeznek környezetszennyező anyagok: por, SO_x, NO_x és egyebek. E szennyezők keletkezése gyakran üzemeltetési problémákat is okoz. A füstgáz SO_3-tartalma pl. a légfelesleg függvényében jelentősen megemelheti a savharmatpontot, és ezáltal növeli a korróziót. Előbbiek miatt nélkülözhetetlenné válik a szennyezőanyagok komplex vizsgálati, leválasztási és hasznosítási technológiáinak kidolgozása. Jó példa erre Magyarországon a porszennyezés területe, ahol a korszerű leválasztó rendszerek üzemeltetésével párhuzamosan folyik az emisszió-ellenőrzés az erre a célra kifejlesztett triboelektromos műszerrel, a leválasztott anyag felhasználás szempontjából történő minősítése (diszperzitás-, morfológiai, puzzolán-aktivitás- és radioaktivitás-vizsgálatok), és a hasznosítás mind újabb módszereinek — pl. a cenoszfer-kinyerésnek — a bevezetése. Az erőművi környezetvédelem jelentős tényezője a vízgazdálkodás és -minőségvédelem. A különböző erőművi technológiák objektív vízigényeit figyelembevéve nagy gondot kell fordítani a hulladékvíz-mennyiség csökkentésére a vízkezelési módszerek tökéletesítésével és víztakarékos technológiák alkalmazásával. Az egyedi környezetvédelmi módszerek mellett végső soron a fosszíliák gazdaságos felhasználását elősegítő, a környezetet

minimális mértékben szennyező energiaátalakító technikák alkalmazása a cél. Ilyen technikák (szénelgázosítás, vízbontás, szervesanyag-szintézis, tüzelőanyag-bontási eljárások, CO-tüzelésű gázturbina) kidolgozásáról, újszerű tüzelési módszerek (pl. a fluidágyas tüzelés) előnyeiről és problémáiról világszerte sok kísérleti adat áll rendelkezésre. A jelenlegi irányzatok a kombinált eljárások elterjedését valószínűsítik.

⁂

A Magyar Villamos Művek Tröszt (a továbbiakban MVMT) a hazai szénbányászat legnagyobb fogyasztója. A szénbányászat az MVMT erőművek számára 1983-ban 17,95 millió tonna szenet szállított, ami a hazai széntermelés 70%-a. Hazai energiaforrásainkat figyelembe véve terveink, széntüzelésű- és atom-erőmű építését irányozzák elő. Tehát a szénnek a környezetet nem szennyező és jó hatásfokkal történő eltüzelését szolgáló technológiák, az ezekhez szükséges berendezések megvalósítása, továbbá a meglévő, működő széntüzelésű erőművek dinamikus szintentartása, korszerűsítése adottságaink figyelembevételével az útja annak, hogy az egyre szigorodó energiagazdálkodási és környezetvédelmi követelményeket kielégítsük. Atomerőműveknél a felsoroltakhoz követelményként járul még a maximális nukleáris biztonság. A következőkben a szénerőművek környezetet szennyező forrásait és az ezek megszüntetésének lehetőségeit vizsgálom.

Erőművekből kibocsátott szennyezők

Az erőművek kéményei szilárd és gáznemű szennyező anyagokat bocsátanak ki a légkörbe (emisszió), amelyek szétterjedés után környezetszennyezést okoznak a föld felszínén (immisszió).

Az immisszió csökkentésére két lehetőség van:

– emisszió csökkentés,
– a szétterjedési viszonyok javítása, kéménymagasság növelése.

A kettő között minőségi különbség van, mert az emisszió csökkentése ténylegesen csökkenti a kéményből kikerülő szennyező anyagok mennyiségét, így az immissziót (aktív védelem), míg a kéménymagasság növelése azonos emisszió mellett a szennyező anyagok szétterjedése révén csökkenti az immissziót (passzív védelem). Közös vonásuk, hogy alkalmazásuk többlet beruházási költséget kíván.

A szilárdanyag emisszió porleválasztók alkalmazásával csökkenthető. A korszerű berendezéseknél mindig alkalmaznak porleválasztót, amely a környezetet a durvább poroktól megóvja, így a kibocsájtott por csak a 30 μ-nál kisebb átmérőjű szemcséket tartalmazza. Ezek szabadesése elhanyagolható és az ilyen ipari aeroszolok úgy viselkednek, mint a gázok, szétterjedésük azokkal azonos törvényszerűségek szerint történik.

A szennyező gázok közül az SO_2 emisszió csökkentésére – kéntelenítésre – több eljárás ismeretes, míg a többinél a füstgázból való kivonásuk technikai feltételei nincsenek meg. A terjedőben levő fluid-réteges tüzelésnél mészkő vagy dolomit adagolásával a kénemisszió lényegesen csökkenthető és – az alacsonyabb ágyhőmérséklet miatt – az NO_2 képződés is kisebb mértékű mint a hagyományos tüzelőberendezéseknél.

Emissziót befolyásoló tényezők széntüzelésnél. A tüzelőberendezések kéményein emittált szilárd és gázalakú szennyező anyagok mennyiségét alapvetően az alábbiak befolyásolják:

– a felhasznált szén mennyisége és minősége,
– a széntüzelő berendezés rendszere, az eltüzelés módja.

Szilárdanyag emissziót a füstgázokkal távozó korom és szállópernye okoz. A széntüzelésnek nem sajátja a koromképződés, de teljesen kizárni nem lehet. A füstgázok szállópernye tartalmát a szén minősége (hamutartalma), valamint a tüzelés rendszere határozzák meg. A tüzelés rendszerétől függően a füstgázok szállópernye tartalma, durva közelítéssel a szén hamutartalmának százalékában:

szénportüzelés: 75 – 80%; rostélytüzelés 10 – 20%.

A szilárd égéstermékek fennmaradó hányada salak alakjában távozik a tűztér alján, illetve az egész hamumennyiség egy kisebb hányada (5 – 12%), mint pernye, a kazánhuzamok fordulókamráinál válik ki.

Az erőművi széntüzelésű kazánberendezések után mindig alkalmaznak pernyeleválasztókat. Nálunk döntően ciklont, multiciklont, elektrofiltert építenek és az utóbbi időben textilszűrőkkel kísérleteznek. Ezek nemcsak működési elv tekintetében térnek el egymástól, hanem leválasztási hatásfokban, beruházási és üzemeltetési költségben is.

A távozó füstgáz összetételét egyrészről az eltüzelt szén minősége (kémiai összetétele), másrészről az eltüzelés módja határozza meg. A füstgáz szokásos összetétele a következő:

Összetevők	H_2O	CO_2	CO	O_2	SO_2	SO_3	NO_x	NO_2 + egyéb
Térfogat, %	2 – 20	9 – 16	0 – 0,1	0,5 – 8,9	0 – 0,4	0 – 0,04	0 – 0,01	79 – 84

A füstgáz alkotó gázkomponensek közül az érdeklődés középpontjában, mint szennyező gáz, a kén-oxidok és a nitrogén-oxidok állnak.

Kén-oxidok. Szenet légfelesleggel elégetve annak kéntartalmából (szabad-, pirit, szerves-kén stb.) elsősorban kén-dioxid keletkezik és távozik a füstgázzal a szabadba. Keletkezik ezen kívül kén-trioxid is, nagyobb részben a primer SO_2-ből, kisebb részben a szulfátkén termikus bomlásából. *H. Stratman* adatai szerint az SO_2 emissziót szonban nemcsak a szén minősége, hanem a tüzelés módja is befolyásolja. Így pl. feketekőszenek salakolvasztó tüzelésénél a kéntartalom közel 100%-a, míg barnakőszenek porszéntüzelésénél 56 – 80%-a került a füstgázba. Ennek magyarázata egyrészt az, hogy a szilárd tüzelőanyagok kéntartalma eredetileg különböző kötési formákban van jelen és ezeknek csak egy része vezet SO_2 ill. SO_3 képződéshez, másrészt a képződött kén-oxidok jelentős része lekötődhet a képződött salakban, illetve szállópernyében.

Különböző hamusajátságú (savas, bázikus) és kéntartalmú szeneket felhasználó hőerőművekben vizsgálatokat végeztettünk (Gagarin-, Ajkai-, Oroszlányi-, Pécsi Hőerőmű) a kén-dioxid emisszió meghatározására. A vizsgálatok során a következő lényegesebb megállapítás tehető:

– A kén-dioxid emisszió nagyobb, mint amennyi a tüzelőanyag ún. éghető kéntartalmából következne. Ez arra enged következtetni, hogy a tüzelés során nemcsak az éghető kéntartalomnak megfelelő kénmennyiség távozik el a szilárd fázisból, hanem más formában, vegyületben kötött mennyiség jelentős része is átkerül gázfázisba.

– Az emisszió és a légfelesleg közötti kapcsolatra általánosítható megállapítást nem lehet tenni, bár a Gagarin és Ajkai Hőerőmű esetében úgy tűnt, hogy a növekvő légfelesleggel növekszik a kén lekötése a hamualkotókban.

– A kénlekötési folyamatot lényegesen befolyásolja a felhasznált tüzelőanyag hamujának vegyi összetétele. Biztos, hogy a kén megkötésére képes CaO és MgO (az egyéb alkotók lényegtelen hatását elhanyagolva) részaránya a hamuban fontos szerepet játszik. Ösztönösen felmerül a kérdés, hogy vajon az elméleti kénlekötési tulajdonságokat figyelembe véve adott szén hamuja hányszorosát képes lekötni ugyanazon szén összes kéntartalmának.

A füstgázokban lévő kén-oxidok (SO_2 és SO_3) arányának kialakulásában több tényező játszik szerepet közvetve vagy közvetlenül. A folyamatok még nem kellően tisztázottak. A kéntrioxid szerepe elsősorban a tüzelőberendezések korrózió ja szempontjából jelentős. Mennyiségének ismerete azonban a kénmérleg felállításánál is szükséges.

Nitrogén-oxidok. A nitrogén és oxigén többféle oxidot képezhet egymással. A nitrogén-monoxid képződhet a két elem egyesüléséből, de képződhet más nitrogén vegyületek redukciójából is. A nitrogén egyes oxidációs formái könnyen és gyorsan alakulhatnak át egymásba. Így a nitrogén-monoxid (NO) és nitrogén-oxid (NO_2) nitrogén-trioxiddá (NO_3) alakul. Ez azonban már nem gáz, hanem folyadék, amely vízzel salétromsavat (HNO_3) képez.

A „londoni szmog" keletkezésénél a kén-dioxid és a korom játszották a fő szerepet. A „los-angelesi szmog" képződését a nitrogén-oxidok, ózon és különféle szerves oxidációs vegyületek segítették elő.

A különféle nitrogén-oxigén vegyületek keletkezése, valamint bomlás nagymértékben függ a hőmérséklettől. A széntüzelő berendezésekben főleg NO és kisebb részben NO_2 képződik. Ez utóbbi a mérgezőbb. Viszont az NO az atmoszférában napsugárzás hatására NO_2-vé oxidálódhat. A nitrogén-oxidok képződése nemcsak a hőmérséklettel, hanem a szén nitrogén tartalmával is növekvő tendenciát mutat.

A tűztéri hőmérséklet csökkentésére a levegő késleltetett hozzávezetését alkalmazzák, kétfokozatú tüzelést, amelynél a nitrogéntartalom és az illó távozása a szénből oxigén-szegény atmoszférában történik. A tűztér hőmérséklet csökkentésének határt szab az éghető veszteségek növekedése, illetve a tüzelési hatásfok romlása. Ez a hatás szénportüzeléseknél magasabb hőmérsékletszinten jelenik meg, mint fluid-réteges tüzelésnél.

Az NO_x emisszió csökkentésére is alakultak ki füstgázkezelő eljárások (katalitikus és abszorpciós). Fejlesztésük az egész világon nagy érdeklődés mellett folyik.

A felsorolt, környezetet károsító füstgázkomponenseken túlmenően léteznek még egyebek is, pl. a gáznemű fluorvegyületek (fuorhidrogén, szilíciumtetrafluorid), de ezeknél még csak az emittált mennyiség meghatározására irányuló méréstechnika fejlesztése folyik.

Lehetőségek a hőerőművek kén-dioxid kibocsátásának csökkentésére. Az MVMT erőművekben az utóbbi években üzembe helyezett jó hatásfokú (99,2–99,6%) elektrofilterek alkalmazásával a porszennyezés jelentősen csökkent. A kén-dioxid kibocsátás a tüzelőanyag vagy a füstgáz kéntartalmának csökkentésével befolyásolható. A fűtőolaj, mint tüzelőanyag esetében az előbbi módszer a gazdaságosabb megoldás, a széntüzelésnél azonban csak az utóbbi jöhet számításba.

A füstgázokat kéntelenítő berendezések ma még jelentősen növelik a hő-

erőművek beruházási költségeit. Így például az USA környezetvédelmi előírása 1979-től előírja a szén-erőműveknél a kéntelenítő létesítését, ez 15–25 %-kal növelte a beruházási költségeket, amely 45–65 $/kW értékkel fajlagos beruházási költségtöbbletet okozott (1978-as árszinten számítva). Érdemes megjegyezni, hogy 1978-ban a szénerőművek beruházása USA-ban kéntelenítő berendezésekkel 450 $/kW, míg az atomerőműveké 260 $/kW volt.

A fluidágyas tüzelés, amely mészkőadalék és hosszú tartózkodási idő révén valószínűleg nagyobb kéntöltődést valósít meg a hamuban, a szükséges teljesítménynagyságban ma még nem áll rendelkezésre. A fluidágyas tüzelés jelentőségére külön szeretném a figyelmet felhívni.

A vizsgált MVMT erőművekben (Pécs, Gagarin, Oroszlány, Ajka stb.) az eltüzelt szén fajlagos kéntartalma 1,43 g/1000 kJ-tól (Gagarin) 3,94 g/1000 kJ-ig (Oroszlány) változott. Az egyes erőműveknél eltüzelt szén 1000 kJ-ra vonatkoztatott kéntartalmát és a hamutartalmának alsó-felső határát az *I. táblázatban* foglaltuk össze. Az éghető kén eredetének megállapításához néhány mintából teljes kénmegoszlási vizsgálat készült.

I. TÁBLÁZAT

Az eltüzelt szén fűtőértéke, 1000 kJ-ra vonatkoztatott kén- és hamutartalmának alsó és felső határa, erőművenként

Erőmű	Fűtőérték kJ/kg	Fajlagos S-tartalom g/1000 kJ	Hamutart. %
Pécs	9638–11 865	2,09–2,49	49,1–58,7
Gagarin	5627– 7 515	1,07–1,98	20,1–31,2
Oroszlány	9186–11 053	3,51–4,13	41,0–44,2
Ajka	11 292–12 121	0,93–1,57	27,1–29,1

Az összes kéntartalomnak mintegy 60–70%-a éghető kén. Az éghető kén az organikus kén elégetéséből és részben a pirit és szulfid kénből származik. A mérési eredményekből megállapítható, hogy a kénlekötés szempontjából az ajkai szenek a legkedvezőbbek. Viszonylag kedvező a helyzet az inotai, oroszlányi szenek esetében is, szemben pl. a pécsi szenekre jellemző minimális kénlekötéssel. Az emittált SO_2 mennyisége döntő mértékben a fajlagos összes kéntartalomtól és a hamu összetételétől függ. Eddigi tapasztalataink szerint porszéntüzelés esetén bázikus salakképző szeneknél a tüzelőanyaggal bevitt éghető kén 73%-a volt mérhető füstgázban SO_2 formában, míg savas salakképző szeneknél 97%. Gáztüzelés esetén az SO_2 koncentrációja e kimutathatósági határ alatt van.

Az MVMT erőművekben eltüzelt olaj (pakura, gudron) fűtőértékre vonatkoztatott fajlagos kéntartalma 0,67–0,96 g S_b/1000 kJ között változik. A kéntartalomnak kb. 2–3%-a távozik SO_3, míg a többi SO_2 formában. A pakurában, gudronban található aránylag nagyobb mennyiségű kénvegyület (2,8–3,7% S) és vanádiumtartalom (150–350 mg V_2O_5/kg tüzelőanyag) különösen csúcsüzemben és részterhelésen a kazánok fémcsöveinek füstgázoldali korrózióját és a fűtőfelületek elhamusodását idézik elő, ami csökkenti élettartamukat, a hatásfokukat. Mindezen körülmények figyelembevételével úgy látszik, hogy a vanádium és kén okozta korrózió és lerakódás elleni védelemre vonatkozó feladat összekapcsolható az erős korom emisszió elleni védelemmel szerves fém olajadalék családok (Bycosin, Amergy 5200, 5400 stb.) adagolá-

sával. A kénkibocsátás veszélyessége a levegőfelesleg visszaszorításával és a tűztéri hőmérséklet csökkentésével kedvezően befolyásolható.

Távlatilag feltétlenül megoldást kell keresni a környezet kénszennyezésének csökkentésére, szénerőműveknél. Nemcsak a korrózió megelőzéséhez, azaz az SO_3 tartalom semlegesítéséhez szükséges mennyiségben kellene ammóniát adagolni a füstgázba, hanem olyan arányban, hogy az SO_2 emisszió is csökkenjen. A kéménymagasság növelésével az emittált kénmennyiség nem változik, a füstgáz-mosás pedig felszíni vízszennyezéssé változtatja a levegőszennyezést. A mészkő adagolás valóságos kénmegkötést eredményez a szükséges mészkő mennyiség biztosítása és az adagolásból származó salak, illetve pernyetöbblet elhelyezése gyakorlatilag jól megoldható.

A fűtőfelületek (tápvízelőmelegítő, levegő-előmelegítő) jelentős hányada a harmatpont, ill. savharmatpont alatti, vagy körüli hőmérsékleten van. Ez a kazánok füstgázoldali fémcsöveinek erőteljes korrózióját, és a fűtőfelületeken lerakódását idézi elő, ami csökkenti élettartamukat, hatásfokukat és jelentős anyagi kárt okoz. A fütőfelületek két tisztítás közti időszakban a füstgáz hő-

II. TÁBLÁZAT

Erőművi pernye- és salaklerakodó tereken alkalmazott környezetvédelmi módszerek összehasonlítása

A módszer neve	Környezetvédelmi szempontból alkalmas	Alkalmazhatósága	Kivitelezési költségek 1983. évi ár	Alkalmazási javaslat
Humuszolás (lignitfelhordás)	Teljes rekultivációra	Csak vízszintes felületen	55 – 60 Ft/m², ha a humuszt nem vásárolják	Mezőgazdasági termelő hasznosítás esetén
Szennyvíziszap elterítés	Teljes rekultivációra	Csak vízszintes felületen	Kivitelezési költség még nem ismeretes	Mezőgazdasági termelő hasznosítás esetén
Gyeptéglázás	Biológiai védelem	Rézsűn és vízszintes felületen	70 Ft/m²	Gyors eredményt adó biológiai védelemre, csak kis felületekre, hiánypótlásra
Hydrosa Verdyol eljárás	Biológiai védelem	Rézsűn és vízszintes felületen	16 – 20 Ft/m²	Teljes biológiai védelemre
Solacrol-eljárás	Biológiai védelem	Rézsűn és vízszintes felületen	23 – 26 Ft/m²	Rézsűvédelemre
Derózion	Biológiai védelem	Rézsún és vízszintes felületen	54 Ft/m², szállítási költségek nélkül	Árkok, hiánypótlások, kis felületek füvesítésére
FÜTEX	Biológiai	Rézsűn és vízszintes felületen	33 – 40 Ft/m²	Árkok, hiánypótlások, kis felületek füvesítésére

mérséklete jelentősen megnő, kb. 20 °C füstgázhőmérséklet növekedés már 1% kazán hatásfokromlást eredményez.

Az MVMT azt a nézetet képviseli, hogy az alacsony hőmérsékleten bekövetkező korrózió (kénsavkorrózió) elsősorban technikai eszközökkel (tüzelésvezetés, égő, égőtér kialakítás stb.) oldható meg. A savharmatpont-növekedés elleni egyik leghatásosabb védekezés a légfelesleg tényező csökkentése, amivel ugyanakkora savharmatpont csökkenés érhető el, mint adalékanyagok alkalmazásával. Irodalmi adatok szerint pl. 1,1 légfeleslegtényező esetén a savharmatpont 2% kéntartalomnál 131 °C, 1%-nál 143 °C és 4%-nál 152 °C. Ugyanezen értékek 1,05 légfeleleslegtényező esetén 108 °C, 122 °C és 132 °C.

Az olajadalékok alkalmazása a pakurába – goudronba – keverve egyik lehetséges módja a füstgázoldali kazánkorrózió és a levegőszennyezés csökkentésének. Ahol alkalmazása következtében lehetőség van a tüzelési légfeleslegtényező és a tüzelési veszteségek számottevő csökkentésére, valamint a hőátadást is rontó lerakódás (kormosodás) megakadályozására, az adalékanyagok gazdaságossága nem vitatható.

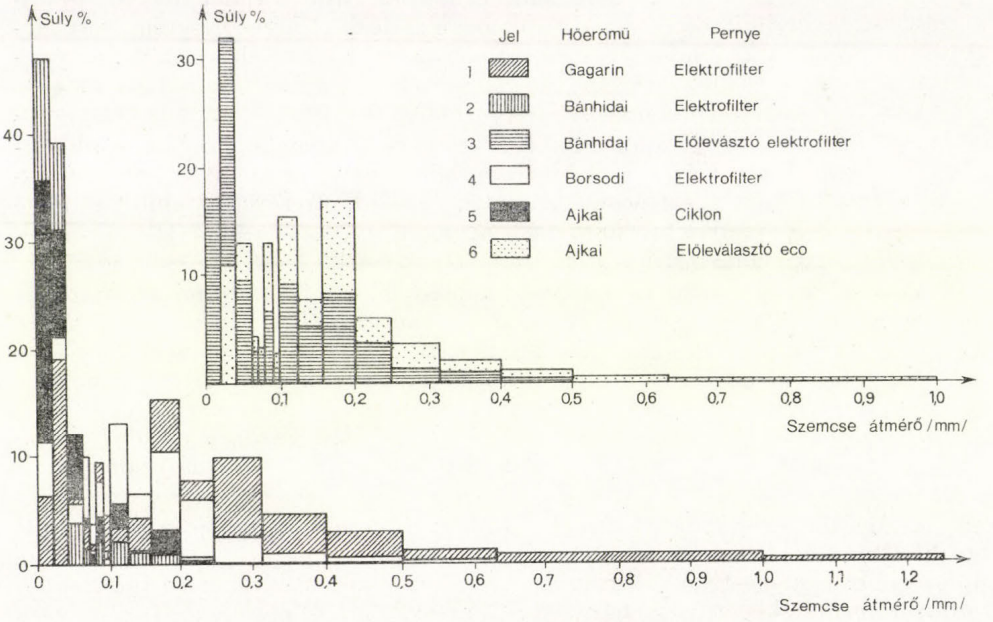
A szenek elégetése során az erőmű kéményeken kiáramló mikroszkópikus méretű szilárd szemcsék a meteorológiai viszonyoktól és a kéménymagasságtól függően igen nagy távolságra szétszóródhatnak. A szűrőberendezésekben és a tűztérben visszamaradó pernye ill. salak az erőművek környezetében halmozódik fel. Kézenfekvő, hogy a keletkező pernyét, salakot máshol (építőipar, útépítés stb.) alapanyagként hasznosítsák. Ez a szén gazdaságosabb felhasználását elősegítő lépés, amely a melléktermékek erőművi tárolási gondjait is enyhíti.

Az MVMT erőművekben évente kb. 6 millió tonna salak és pernye keletkezik. Ebből jelenleg mindössze 0,6 millió tonnát hasznosítanak. A pernye döntő többségét mesterséges, földből, pernyeföldkeverékből épített, gátakkal határolt területeken (pernyehányókon) helyezik el. A pernyehányók porzása erőteljesen szennyezi a környezetet, így valamilyen módon történő lefedésükről gondoskodni kell. Az eddig általánosan elterjedt porzásgátlás a vízzel való öntözés volt. Ez azonban csak a vízszintes felületeken alkalmazható. a kialakított gátak porzásvédelmére más megoldás szükséges. A befejezett hányókon azonban már a rendszeres öntözésre sincs lehetőség, így a vízszintes felületek biológiai védelmét, majd teljes rekultivációját meg kell oldani.

Az MVMT erőműveiben a II. táblázatban bemutatott biológiai védelmi módszereket alkalmazzák. A fajlagos költségeket az 1983. évi árszinttel számítottuk.

Folyamatos füstgáz pernyetartalom-emisszió-mérés a széntüzelésű kazánok füstcsatornáiban. Az egyre szigorúbb környezetvédelmi előírások betartása miatt rendkívül fontos, hogy az erőművek kazánjaiból kibocsájtott pernye mennyiségét – emisszió – folyamatosan mérjék, regisztrálják, a normán felüli értékeket pedig jelezzék. Több MVMT erőműben erre a célra kifejlesztett tribometrikus mérőrendszert alkalmaznak. A rendszerek évek óta jó eredménnyel, kifogástalanul üzemelnek. A tribometrikus rendszerrel a kazánok után a pernyeleválasztás hatásfokát állandóan ellenőrizni tudják, a zavaró jelenségeket pedig azonnal észlelik. Az állandó ellenőrzéssel és regisztrálással, valamint hiba esetén az azonnali beavatkozással elérték, hogy az erőművekből a pernyekibocsájtás lényegesen csökkent. A tribometer műszer a tribometrikus jelenség alapján működik. A füstcsatornában megfelelő helyen elhelyezett mérőhálón a füstgázban lévő szilárd szemcsék ütköznek. Az ütközés során

mért triboelektromos áram és a mérőhálónak ütköző anyagmennyiség között 0—50 g/Nm³ pernyetartalom között lineáris összefüggés van. A nyert triboelektromos áramot felerősítik, és a központi műszerszobában elhelyezett analóg kijelző műszeren megjelenítik. A műszer a portartalomnak megfelelően van kalibrálva. A kijelző műszerhez regisztráló egység és határérték-kijelző is



1. ábra: A különböző pernyék diszperzitása néhány hazai erőműnél

csatlakozik. Az üzemeltetés során végzett ellenőrző porkoncentráció-mérések azt mutatták, hogy a műszer által jelzett értékek megegyeznek az ellenőrző mérések eredményeivel.

Erőművi pernyék hasznosításával kapcsolatos vizsgálatok. A hőerőművi pernyének, mint minden diszpergált anyagnak legjellegzetesebb tulajdonsága a szemcseösszetétele, amely az eredeti elegyásvány tulajdonságain túl, elsősorban a szemcsék keletkezési módjától függ.

A pernyének, mint adalékanyagnak az építőiparban történő hasznosításával, a cement szilárdságára, kötésidejére és egyéb építéstechnikai tulajdonságaira gyakorolt hatásaival a szakirodalom kiterjedten foglalkozik. Eszerint a beton szilárdsági optimumát a legkisebb hézagtartalom, azaz a cement, homok, kavics keverékének olyan szemszerkezete adja, amely mellett a beton a legtömörebb. A szemcseösszetétel ismerete alapján a legkedvezőbb, s egyben a leggazdaságosabb szemszerkezet kialakítására adódik lehetőség, mivel nemcsak a folyamatosan vegyes szemszerkezetű anyagokkal lehet jó betont elérni, hanem hiányos szemszerkezetű anyagokkal is. Az erőművi pernyék diszperzítás vizsgálatát a szóbajöhető 1,25 és 0,02 mm szemcseméretartományban végeztettük el. A szemcseanalízis vizsgálatokat légsugaras szita alkalmazásával és Andreasen-féle ülepítési módszerrel végezték. A frakciók megoszlását a szemcseátmérő és súly % diagramban ábrázoltuk *(1. ábra)*. A vizsgálatok

szerint a 0,04 mm szemcseméret frakció alatti értékektől eltekintve az 1, 4 és 6-os számú minták homogén szemszerkezetet, a 2, 3, 5 számú pernyék pedig inhomogenitást mutatnak. A 2, 3, 5 számú pernyeminták túlnyomóan finom, 0,04 mm alatt szemcsefrakciót tartalmaznak. A legdurvább diszperzitást a Gagarin salakpernye mutatja, ami feltehetőleg a visontai xilites lignit roszszabb kiőrlésével függ össze.

Az erőművi pernyék morfológiai és diszperzitás vizsgálatára a Leitz mikroszkópos eljárásnak egy továbbfejlesztett formáját és a fénymikroszkópos (projekciós) és elektronmikroszkópos vizsgálatot alkalmaztuk. A pernyeminták ásványos (morfológiai) összetételének értékelése alapján azt találtuk, hogy a 20 μm alatti szemcsefrakciók a kazánok tűzterében olvadt, üveges héjat kapnak. Ennélfogva az egyes szemcsék általában gömbszimmetrikusak, tömör gömb vagy üreges héjszerkezetűek, jól kiégettek. Az 50 μm feletti pernyeszemcsék között ugyanakkor már csak néhány megolvadt szemcse van és több a kompakt szenes anyag. A színgazdagság a hamukomponensek sokféle oxidjainak jelenlétét igazolja. A pernyés cementben a tiszta cementhez viszonyítva több a gélfázis, de kevesebb a kalcium-hidroxid és valamivel több a karbonátfázis.

A pernye puzzolán-aktivitásának növelése érdekében elsősorban az üveges burok elroncsolására van szükség. Az energiaigényes őrlés helyett a szemcsék koptatására dolgoznak ki jelenleg technológiát. Eszerint a körfolyamat rendszerű cementmalmokba a pernyét a már részben megőrölt klinkerhez adagolják és utána csak rövid ideig kell együtt őrölni. Az új Beremendi Cementgyár őrlőüzemét már ennek figyelembevételével tervezték és építették meg. A 10% pernyetartalmú cementtermékük tulajdonságai a 350-es tiszta portlandcementével gyakorlatilag azonosak. A pernyét a Pécsi Hőerőmű szolgáltatja. A pernyehányad növelése érdekében tovább folynak a kutatások a pernyés cementek előállításához szükséges optimális klinkerösszetétel meghatározására és az őrlési technológia további finomítására.

Erőművekben keletkezett pernye hasznosításának újabb lehetőségei. A VI. ötéves terv energiagazdálkodási programtervezete több vonatkozásban is utal az erőművi pernyének, mint másodlagos nyersanyagnak népgazdasági szintű energiamegtakarítási vonzataira. Erőművi pernyéket nagyobb mennyiségben felhasználók: a Borsodi Erőmű mellett létesített gázbetongyár (1982-ben 189 000 t), a Gagarin Erőműből a Bélapátfalvi Cementgyárba szállított pernye, amely 1982-ben 89 000 t volt, a Beremendi Cementgyár 1982-ben 90 000 tonnát szállított el a Pécsi Hőerőműtől. A KPM és az ÉVM energiagazdálkodási programja alapján kb. 400–500 ezer tonna pernyefelhasználási növekmény prognosztizálható.

Gázbetongyár építését kezdték meg Visontán, a Gagarin Hőerőmű szomszédságában a Könnyű Beton és Szigetelőanyagipari Vállalat (KŐSZIG) beruházásaként. A gyár az elektrosztatikus pernyeleválasztó pernyéjének középső és finom frakcióját dolgozza fel, évente kb. 350 e tonnát. Az Európában használatos legkorszerűbb technológiát egy NSZK-beli cég szállítja. A gázbetongyár a Gagarin Hőerőmű pernyehulladék elhelyezési gondjait enyhíti. A gázbeton alapanyaga erőművi pernye, kötőanyaga pedig őrölt égetett mész és gipszkő. A 2 milliárd Ft-os költséggel épülő Visontai gyár a program szerint 1985-ben készül el. Ez lesz Magyarországon a második ilyen pernyehasznosításra épült üzem. Teljesítménye kétszerese lesz az elsőként létrehozott kazincbarcikai gyárénak, amely a Borsodi Hőerőmű pernyéjét dolgozza fel, s évente 560 ezer tonna gázbeton kibocsátására készül.

Az Ajkai Erőmű rekonstrukciója kapcsán a különböző útépítési technológiákhoz önmagában kötőképes, de nem térfogatállandó ajkai pernye duzzadásmentesítésének megoldásával kb. évi 100 ezer tonna, 200—250-es cementtel egyenértékű ajkai pernye hasznosul.

A Tiszai Erőmű körzetében lehetőség van 600—800 ezer tonna pernye vízügyi gátakba történő beépítésére.

A pernye mennyiségi felhasználása mellett egyre fontosabb a pernye különféle speciális frakcióinak hasznosítása, mivel ezek a frakciók értékes anyagokat képesek helyettesíteni és számos esetben nyugati importanyagokat tudnak kiváltani.

Az egyik legértékesebb pernyefrakció az ún. cenoszfer. A Pécsi Hőerőműnél a pernye finom frakciója (90 μm alatti szemcseméret) kinyerésének megoldása a legfontosabb feladat. Elkészült a létesítendő finom pernye kinyerő berendezés technológiai terve. A legfinomabb szemcseméretű pernyét az utolsó, harmadik filterfokozat tároló hombárjaiból hasznosítjuk: Ez a hasznosítási szint megköveteli a pernye-minősítés, a pernye, a salak ellenőrzésének és a minősítési vizsgálati módszereknek a kidolgozását ill. ezzel kapcsolatban az erőművek, — mint eladók — jogi kötelezettség vállalási mértékének meghatározásához szükséges műszaki paraméterek rögzítését.

Puzzolán-aktivitási mérések. Az MVMT következő három erőművébe került telepítésre AKTIMET típusú puzzolán-aktivítás mérő műszer: Tatabányai HV., Pécsi HV., és Gagarin HV. Az említett erőművek vegyészeti osztályai a pernyeaktivitás értértékeket a szemcseátmérő függvényében adják meg. Az adatok az Energiagazdálkodási Intézet (EGI)-ben számítógépen kerülnek feldolgozásra. Ezzel az erőművi pernyéknek egy folyamatos és rendszeres minősítése történik meg.

Széntüzelésű erőművekből származó szállópernye természetes radioaktivitásának vizsgálata. A földkéregben átlagban tonnánként 4 g urán van. Ugyanakkor egyes anyagokban, mint pl. némelyik magyar szénben (Mecsek, Ajka, Padrag) az átlagos koncentrációt 10—20-szorosan meghaladó mértékben is előfordul urán. A pernyében — a 400 °C-on szublimáló 210 Po kivételével — tovább koncentrálódik a szén természetes radioaktivitása. Így mindenekelőtt széleskörűen vizsgálni kell a pernyék természetes radioaktivitását, továbbá azt, hogy egy adott pernyéből készített építőanyag mennyi radioaktív anyagot tartalmaz, és az ilyen építőanyagból készített építmény a felhasználó ember számára mekkora sugárterhelést jelent.

A vizsgálatok során alkalmazott módszer a pernyék gamma-sugárzásának a mérésén alapszik, és az eddigi tapasztalatok alapján alkalmasnak mutatkozott arra, hogy a különböző helyről származó pernyéket radioaktivitásuk mértéke szerint relatív mérőszámokkal jellemezze. (Minősítse.) E vizsgálatok szerint az ajkai, pécsi pernyeminták bizonyultak a legaktívabbaknak. A pernyék gamma aktivitása a természetes anyagokban előforduló urán és tórium radioaktív bomlási sorának tagjaitól, valamint a káliumból ered. A kálium 40-es tömegszámú izotópja elsődlegesen béta-bomló, az urán és tórium bomlási sorában viszont nagyszámú alfa-sugárzó izotóp is keletkezik. A nagy áthatoló képességű gamma-sugárzás jelenléte a pernyék felhasználása során elsősorban külső sugárterhelést jelent. A lakosság sugárterhelésének jelentős része belső sugárterhelésből származik, amelyet az épületek falából a lakótérbe kijutó radon bomlástermékeinek nagy ionizáló képességű alfa-sugárzása okoz.

Már a vizsgálatok első időszakában kiderült, hogy egyes dunántúli szénbányákból származó szenek pernyéjének ^{226}Ra koncentrációja többszörösen felülmúlja az általában használt építőanyagokét. A nagyobb radiumtartalmú pernyék építőipari felhasználása tehát a radon-koncentráció jelentősebb megnövekedését idézheti elő, ezért ennek rendszeres ellenőrzése szükségesnek látszik. A pernyék gamma- és alfa-aktivitása nem feltétlenül van egyértelmű korrelációban. A szén elégetése folyamán ugyanis a radioaktív bomlási egyensúly megváltozhat, és a pernyében, salakban egyes radioizotópok szelektíve feldúsulhatnak. Ugyanakkor döntően változhat a radon-kibocsátó képesség is a szemcsék méretétől és egyéb fizikai-kémiai tulajdonságaitól függően. A három magyarországi erőműből (Ajka, Pécs, Visonta) származó pernye-, salak- és hamumintákra kapott vizsgálati eredmények alapján az alábbi főbb megállapítások tehetők:

- A pernyék, salakok általában tízszer aktívabbak, mint a szenek. A pernyében, salakban – a 400 fokon szublimáló polónium 210-es tömegszámú izotópja kivételével – tovább koncentrálódik a szén természetes radioaktivitása.
- A radon (^{222}Rn) emissziójára figyelmet kell fordítani, mert a környezeti rizikófaktor megítélésében domináns elem.
- A pernyékben a radioaktivitás a kisebb méretű szemcsékben koncentrálódik.
- Nem találtunk szoros korrelációt a pernye-, salak- és hamuminták valódi és effektív rádiumtartalma között.
- A minták specifikus alfa-aktivitásának (vagy gammasugárzásának méréséből) meghatározható a valódi rádiumtartalom. Ez azonban egymagában nem elegendő az építőipari hasznosítás célját szolgáló radiológiai minősítéshez.
- A gamma-mérési eljárás mellett az alfa-részecskéket regisztráló szilárdtest nyomdetektorokat alkalmazva, a pernye radioaktivitásának minősítése tartalmában, módszerében és megbízhatóságában is korszerűsíthetőnek látszik. Erre jól alkalmazhatók az *Atomkiban* rendelkezésre álló műanyag nyomdetektorok. Ezek fényre, béta- és gammasugárzásra érzéketlenek, s így velük a környezeti alfa radioaktivitás gyakorlatilag zavarmentesen észlelhető.
- A hasznosításra szánt erőművi pernye, salak radiológiai minősítéséhez egy komplett vizsgálati eljárást dolgoztunk ki. Ennek során a különböző lelőhelyekről származó reprezentatív minták statisztikus összehasonlító vizsgálata révén olyan gyakorlati összefüggéseket nyerhetünk, amelyek ismeretében a pernyék, salakok informatív radiológiai minősítése a ténylegesen fellépő radonkoncentráció ellenőrzése alapján elvégezhető.

Vízgazdálkodás

Az erőművi technológia fontos része a vízgazdálkodás és a technológiai folyamatokhoz szükséges minőségű víz biztosítása. A környezetvédelmi követelmények fokozódása következtében mind a létesítmények, illetve berendezéseik tervezésénél, mind azok üzemeltetésénél a vízkezelés fejlesztésének fő irányát a víztakarékos és hulladékszegény technológiák kidolgozása jelenti a következő időszakban. A vonatkozó vízminőségvédelmi rendeletek alapján Magyarországon minden beruházás esetében egyedi mérlegelést kell végezni. Egyes esetekben a szennyező anyagok mennyiségét, paramétereit és hőmér-

sékletét korlátozzák, más esetekben a kibocsátás helyére és időpontjára írnak elő korlátokat. Az ipari frissvíz mennyiségnek körülbelül 65%-át a hőerőművek igénylik. Ez az arány várható a következő években is. A kondenzációs villamosenergia termelés folyamatában használt víz mennyiségének mintegy 97–85%-át teszi ki a hűtővíz és csak kb. 3–15%-át a kazán pótvíz, illetőleg a salak- és pernyeszállítás célját szolgáló víz.

Hőerőműveknél és atomerőműveknél jelenleg a kondenzációs hő elvezetésére alapvetően háromféle hűtési rendszert alkalmaznak:

- frissvíz hűtést (illetve tó hűtést),
- nedves hűtőtornyos hűtést,
- léghűtést.

Egy korszerűbb kondenzációs hőerőmű frissvíz, hűtővíz igénye általában 120 m^3/MWh termelt elektromos energia (MW_eh). Fűtőerőműnél ez az érték 80 m^3/termelt MWh, hűtőtornyos üzemnél pedig 1,5–3 m^3/termelt MW_eh.

A levegőhűtésű (légkondenzációs) erőműveknél a hűtővíz igény a rendszer egyszeri feltöltésén kívül a továbbiakban gyakorlatilag nulla. Atomerőművek, a korszerű hőerőművekhez képest mintegy 1,7-szeresen nagyobb mennyiségű friss hűtővízzel, kb. 200 m^3/MW_eh-val üzemelnek, ezért a vízgazdálkodás, vízkémia kérdéseit a hűtés módja szerint szétválasztva kell vizsgálni. Atomerőművek vízminőségi-, vízgazdálkodási normái részben szigorúbbak, részben – az atomerőművi konstrukcióból adódóan – a hőerőművek normáitól eltérnek. A gazdaságilag legkedvezőbb frissvíz hűtés a közelmúltig általában megvalósítható volt. Az erőművek beépített teljesítményének rohamos növekedésével azonban a frissvíz hűtés lehetősége egyre korlátozottabb. A hűtővíz növekvő mennyiségének biztosításával kapcsolatos nehézségek hozták létre a levegőhűtésű kondenzációs berendezéseket, amely az erőmű telepítéseket nagy mértékben függetleníti a víznyerő helyektől.

A hidraulikus pernyeszállító víz mennyisége jelentősen változik attól függően, hogy a pernyeszállítás nyitott, vagy zárt, recirkulációs rendszerben történik, és attól függően is, hogy milyen a pernye kémiai és szemcseösszetétele. A tipikus érték itt 40–150 m^3/nap/MW. A zárt, recirkulációs , hidraulikus pernyerendszernél (pl. Hidromix) a szállítóvíznek mintegy 0–20%-át, míg a nyitott rendszereknél 80–100%-át bocsátják ki a környezetbe.

Hőerőművekből felszíni vizekbe történő megengedhető kibocsátások (hazai előírások), a területtől függően:

- a megengedhető legnagyobb sótartalom 1000–2000 mg/l,
- pH intervallum 5–10,
- fémszennyezés „0"
- a víz Ca, Mg és K-tartalmával szemben egyensúlyt tartó Na mennyisége egyenérték %-ban alatta maradjon a 45%-nak (szikesedés elkerülése érdekében),
- a víz hőmérséklete maximum 30 °C lehet,
- radioaktivitás maximum 0,05 mSv/év lehet.

A fentiekben vázolt követelmények teljesítése nem gazdaságossági kérdés, hanem környezetvédelmi követelmény.

Atomerőműből megengedhető kibocsátások:

- alfa-sugárzó radioaktív szennyezés a Dunába nem kerülhet,
- egy naptári év alatt a Dunába vezetett vizek szárazmaradékából összes béta meghatározással mérhető radioaktivitás összes mennyisége a 3,7

GBq, illetve 0,2 GBq/nap értéket nem haladhatja meg. A radioaktivitásnak legfeljebb 1%-a származhat 90-es tömegszámú stroncium izotóptól.
- a radioaktivitás kibocsátási koncentrációja maximum 100 Bq/l lehet. (MVMT „házi előírása szerint" maximum 30 Bq/l lehet),
- legfeljebb 0,5 órán keresztül – üzemzavar esetén – maximum 1000 Bq/l radioaktív kibocsátási koncentráció engedhető meg,
- egy naptári év alatt maximum 7,5 TBq tricium-radioaktivitás bocsátható a Dunába.

Erőművi hulladékvizek csökkentésének lehetőségei:

- a teljesáramú kondenzvíz-kezelés, a vegyszeradagolás nélküli, alacsony sótartalmú, semleges üzemmód,
- atomerőművek primerkörében a sótalan primerköri víz semlegessége, az illó lugosítók radiolízisre és aktiválódásra való hajlamából adódóan,
- hűtési rendszerek hulladékhőjének hasznosítása mezőgazdasági célokra,
- az erőművi hulladékhő hasznosítása pótvíz előkészítésben (pl. az erőműbe visszatérő ipari kondenzátumok felhasználása a mészreaktorokban melegítésre, vagy a leeresztett kazánlúgnak hőszolgáltató távfűtési forróvíz rendszerekben pótvízként való alkalmazása),
- frissvíz hűtésű erőművek hulladékhőjének hasznosítása halgazdaságban (pl. Dunamenti Hőerőmű).

A villamosenergiaipar területéről az ioncserés víztisztítás, a lereesztett kazánlúg és a kazánok vegyszeres kémiai tisztítása során a technológiától függően savas vagy lugos vegyszerek és egyéb hulladékok nagy mennyiségben kerülnek a befogadó környezetbe. Feladatunk itt a vegyszeres kezelések következtében keletkező hulladékok csökkentése vegyszertakarékos regenerálási technológiával (ellenáram, a feleslegben alkalmazott elfolyó vegyszerek ismételt felhasználása stb.) A szennyvízkezelő berendezés korszerűsítése erőművekben elválaszthatatlanul összekapcsolódik a pótvízkezeléssel, a kazánok belső vízkezelésével. A kondenzátum és a páraveszteségek csökkentésének hatékony módja: a víz elszennyeződésének megakadályozása a technológiai ciklusban és a tisztított víz újra felhasználása.

Víztakarékos technológiák alkalmazása. Az erőművekből az élővizekbe vezetett nagy mennyiségű hűtővíz tekintélyes hőterhelést jelent, bizonyos határon túl pedig hőszennyeződést okozhat. Hazánkban három folyóvízre telepített frissvízhűtésű erőmű üzemel, a Dunamenti Hőerőmű, a Tiszai Erőmű, a Paksi Atomerőmű.

A legjelentősebb hőterhelés és a legnagyobb hőszennyezés veszélye a Duna legmagasabb nyári vízhőmérsékleténél és az őszi legkisebb vízhozamú állapotánál van. (A Duna vízhozama 600 m^3/s-tól 8000 m^3/s-ig változik.) Követelmény, hogy a hűtővíz elkeveredése után a Duna vízhőmérséklete nem emelkedhet 28 °C fölé. (A hőlépcső nem haladhatja meg a 3–4 °C-t.) Ilyen mértékű hőszennyeződés mellett a Duna-víz kémiai paramétereiben még nincsenek a hőterhelés hatásával indokolható szignifikáns változások. A Duna bakteriológiai viszonyai sem romlanak. A legfontosabb változás a víz oxigén-tartalmában mutatkozik. A vízhőmérséklet emelkedésével az összes toxikus anyag toxicitása erőteljesen növekszik.

A Duna biológiai viszonyai következtében a Paksi Atomerőmű vízellátórendszerében és a hűtési rendszerében a kagylók és mohaállatok olyan nagy tömegben szaporodtak el, hogy szükséges a vízellátó és hűtési rendszerek teljes

kémiai tisztítása, és az elsődlegesen leülepedett iszap, mohaállatok és a felületeken rögzült kagylók eltávolítása.

Szenek gazdaságos felhasználását és a környezetet minimális mértékben szennyező energia átalakító rendszerek. A környezetszennyezés csökkentésére világszerte új energiaátalakító rendszerek kifejlesztésén dolgoznak, figyelembe véve az energiaigények további növekedését. Az International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) felmérést végzett az 1 főre becsült energiafogyasztásra. Megállapította pl., hogy 2030-ban a primer energiaigény a jelenlegi igényekhez képest megháromszorozódik. A becsült energiaigény százalékos megoszlását a következő táblázat mutatja:

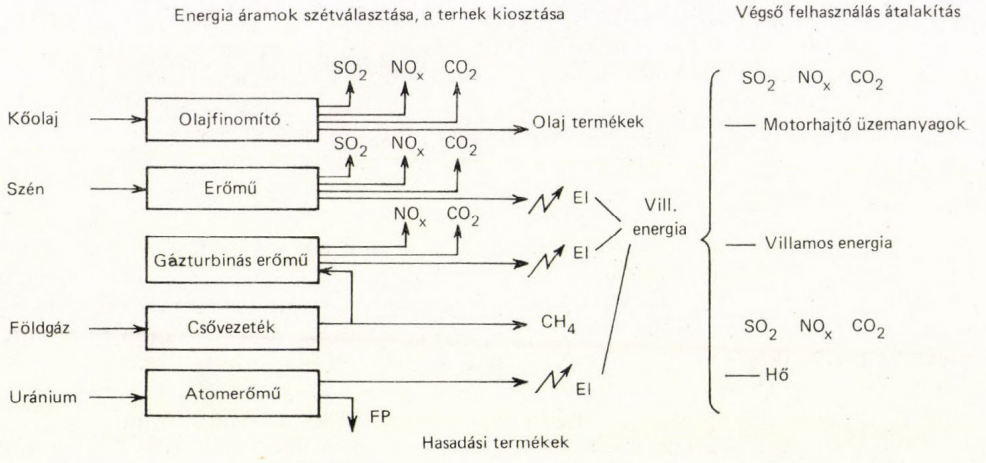
Energiafajta	Olaj	Gáz	Szén*	Hasadó anyag	Egyéb**
Igény, %	20	25	20	25	10

* – tartalmaz olyan szilárd tüzelőanyagot is, mint pl. kátrány-homok és olaj-pala

** – tartalmazza a napenergiát és egyéb megújuló energiaforrásokat.

A fosszilis tüzelőanyagok felhasználása tehát változatlan környezetvédelmi problémát okoz az emitált szennyezők miatt. A problémát a CO_2, továbbá az SO_2 és az NO_x kibocsátás jelenti a környezetet szennyező hulladékvíz kibocsátás mellett.

Világszerte az emisszió ellenőrzése a környezetvédelem fókuszában van. Az IIASA vizsgálata megállapítja, hogy 10 – 20 év áll még rendelkezésre a környezetszennyezést okozók hatásainak kikutatására, mert ezután a környezetkárosítás olyan mértékű lesz, hogy hatásos beavatkozások szükségesek. A vizsgálat azt is megállapítja, hogy kb. 50 év múlva a jelenlegi szennyezők kibocsátását figyelembe véve, az éghajlati viszonyok a földünkön a CO_2-szint emelkedése miatt potenciálisan változni fognak. Tehát létfontosságú a környezet-



2. ábra: A jelenlegi energiarendszer

szennyezést megakadályozó új technológiák kialakítása, amelyek a CO_2-emisszió csökkentése mellett az SO_2- és NO_x-emissziót is hatékonyan redukálják.

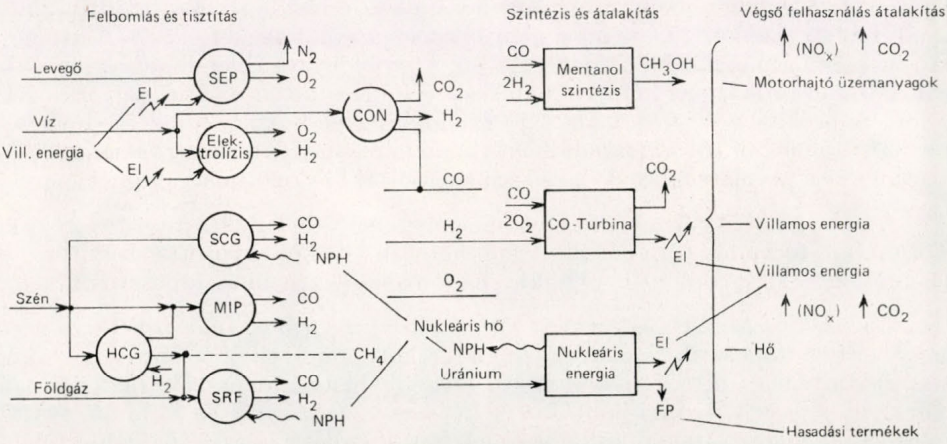
A mai ipari energiafelhasználásunkat az jellemzi, hogy a földgáz kivételével minden más primer energiahordozót (kőolaj, szén, uránium) át kell alakítani, azért, hogy szállítani, elosztani és végső soron felhasználni lehessen. A földgáz csővezetéken szállítható és közvetlenül a fogyasztó felhasználhatja, illetve gázturbinákban eltüzelve villamosenergiává alakítható át.

A környezetszennyező anyagok kikerülésének megakadályozásával világszerte nagy erőkoncentrációval foglalkoznak. Az eljárások alapvető jellemzője a fosszilis energiahordozók komponensekre bontása *(2. ábra)* és tisztítása, mielőtt eltüzelésükre sor kerülne. Ez a rendszer a Novel Horizontally Integrated Energy System (NHIES), amelyet Kernforschungsanlage Jülich (KFA) dolgozott ki; ennek sémáját a *3. ábra* tartalmazza.

A primer energia-hordozók, mint például a szén, az olaj, többszörös energia átalakulási folyamaton keresztül kerülnek a fogyasztóhoz és közben a környezetet SO_2-, NO_x-, CO_2-kibocsátás terheli. A cél az, hogy olyan folyamatokat alkalmazzanak, mely folyamatok végeredményeként a környezetszennyezés minimális legyen.

A séma szerint például, a szenek különböző technikai eljárásokkal előbb CO-ra és H_2-re bonthatók. Ezek szintézissel methanollá (CH_3OH) alakíthatók át, de villamosenergia fejlesztésre is felhasználhatók! Tehát az eljárás lényege, hogy a tiszta közbenső termékek (CO, H_2, O_2) szintézisen és konverzión keresztül jó hatásfokkal a környezetet nem szennyező energiaelőállításra legyenek alkalmasak. A levegő esetén pl. a nitrogénnek oxigéntől történő elválasztásával indul a folyamat, hogy a mai nyitott égési folyamatokkal együttjáró NO_x-emissziót – amely kb. 2/3-a az össz-NO_x-kibocsátásnak – elkerüljük. Ez az eljárás ma ismert, azonban a gyakorlati alkalmazás szélesebb körű elterjedésének feltétele a nagyobb hatásfok és a megvalósítás alacsonyabb költsége.

A víz hidrolízise ismert, azonban a vízbontáshoz jelentős a villamosenergia igény, amely a mai technikai szinten még alacsony hatásfokú és rendkívül magas beruházási költségeket támaszt. A KFA-Jülich kutatásai szerint a ma-



3. ábra: Újszerű, horizontálisan egybekapcsolt energiarendszer

gas hőmérsékletű hőkörfolyamat fenntartása például nukleáris energia felhasználásával a megoldás.

Számos technológia ismert ma már a szén és egyéb tüzelőanyagok bontására. Jó példa arra a szén elgázosítása (Steam Coal Gazification, SCG), amely magas hőmérsékletű körfolyamatot igényel. Essenben a Bergbau Forschungs GmbH 1976 óta kísérleti berendezést üzemeltet (kb. 2 MW teljesítmény). Általánosságban a Molten Iron Process (MIP) használható a szilárd tüzelőanyagok bontására. A magas hőmérsékletű hőkörfolyamat (kb. 1400 °C) a szénkristályokat roncsolja és $H_2 - CO$ gázkeverék keletkezik. A salakban a tűztéri termékek (kén, egyéb szennyezők stb.) könnyen eltávolíthatók. Előnye a rendszernek, a gáz alacsony kéntartalma, amely középértékben 5 ppm. Előnye az MIP eljárásnak továbbá, hogy a CO keletkezése során a szilárd tüzelőanyag részleges oxidációja hőt termel. Jelenleg az MIP rendszerből két kísérleti állomás üzemel; az egyik atmoszférikus nyomással (Klöckner, Duisburg) a másik berendezés 30 bar nyomással (Humbold Dt-Deutz, Köln). Az oxigén mellett a hidrogént is fel lehet használni szilárd tüzelőanyagok bontására. A Rheinische Braunkohlenwerke AG, Köln fejleszti a hidrogén szén gázosítót (HCG.) Ez a rendszer része a nukleáris hő ilyen célra történő felhasználására kialakított rendszernek. A kísérleti állomás 320 kg/h száraz lignit bontására alkalmas és 1976 – 1982 között végzett kísérletek eredményeként 10 t/h száraz lignit bontására alkalmas berendezés épül, amely ez évben várhatóan üzembe kerül.

Egyéb eljárások is ismeretesek, ilyen pl. a Texaco Process, amely kőszenet alakít át methanollá.

Figyelemre méltó folyamat a földgáz bontását elősegítő Steam Reforming (SRF). Ez különösen azon földgázok esetében érdekes, melyek relativan sok hidrogént tartalmaznak. Ez a folyamat is magas hőmérsékletű hőkörfolyamattal kapcsolható, amely a CO_2 kibocsátást a jelenleg alkalmazott technológiákhoz képest 1/3 – 1/4-re csökkenti. A KFA Jülich létrehozott egy 10 MW teljesítményű kísérleti rendszert, mely 1981 óta üzemel és bizonyítja a Steam Reforming rendszer alkalmasságát nyersgázok bontására. A szén elgázosítás és a földgázbontás igen magas, 900 °C, vagy nagyobb hőmérsékleteket igényel. Ilyen magas hőmérséklet ún. magas hőmérsékletű reaktorokkal (Heigh Temperature Reactor, HTR) biztosítható, amely hűtőközegként héliumot használ. Az elmúlt 5 évben a hélium hűtésű, keramikus anyagból készült aktív zóna, amelyben az üzemanyag elemek 6 cm átmérőjű gömbök, hatékonyan üzemelt 950 °C és annál magasabb hőmérsékleten. A probléma az ilyen magas hőmérsékletű héliumra alkalmas hőcserélő építése. Kifejlesztették az Inconel 716 ötvözetet. A próbák 25 000 óra alatt jó eredményeket hoztak és az eredmények alapján 75 000 órára extrapolálhatták ezen ötvözet alkalmazhatóságát. Az eredmények alapján 50 MW hőteljesítményű HTR reaktort építenek.

A rendszer a közbenső szakaszban megjelenő CO-gáz hasznosítását villamosenergia-termelés céljából előtérbe helyezi. A Massachusetts Institute of Technology (MII) dolgozik CO-gázt hasznosító gázturbina fejlesztésén.

Új tüzeléstechnikai módszerek a szén hatékonyabb felhasználására. Világszerte nagy erővel fejlesztik azokat a rendszereket, amelyek a széntüzelés során kén-dioxidban és nitrogén-oxidokban szegény füstgáz-emissziót biztosítanak. Két ilyen fejlesztési vonal bontakozik ki: a szénelgázosítás és a fluidágyas tüzelés. A szénelgázosítással különböző gázfajták széles skálája előállítható. Külföldön a kutatások középpontjában a mesterséges földgáz-gyártás (SMG) áll,

azonban ezen gáztípus ipari méretekben történő alkalmazása gazdaságilag a szénhidrogénekkel ma még nem versenyképes. Másik vonal a levegős elgázosítással létrehozott fűtőgáz-gyártás, az ammónia, methanol és más vegyi termékek alapanyagát szolgáltató szintézisgáz-gyártás. A fűtőgáz-gyártás összekapcsolható a villamosenergia-termeléssel úgy, hogy thermodinamikailag jó hatásfokú gáz-gőz körfolyamat alakítható ki. A szénelgázosítás mellett a fluidágyas (örvényágyas, örvényréteges stb.) tüzeléstől várható a villamosenergiaipar területén a nagyobb fejlődés. A fluidágyas tüzelés előnye, hogy megoldja a kén-dioxid-emisszió csökkentését, és emellett lehetővé teszi igen gyenge minőségű szenek és éghető hulladékok stabil tüzelését. A tüzelési móddal a nagy meddőtartalmú hulladék szenek, palaféleségek, flotációs és nehéz-szuszpenziós széndúsítási eljárások hulladékainak eltüzelése is lehetséges. Ha a fluidágyat zónákra (cellákra) bontják, igen rugalmas üzemvitelt tesz lehetővé. A hagyományos széntüzelésű kazánokhoz képest előnye az alacsony kiégési hőmérséklet, a nagy hőátadási tényező, a kopások és lerakódások lényegesen kisebb veszélye, valamint, hogy az SO_2-emisszió csökkenthető és a tüzelés hatásfoka is megfelelő. Hátránya viszont a tüzelési maradványokban viszonylag magas éghető okozta veszteség, a viszonylag kis keresztmetszeti ($MW_{termikus}/m^2$) teljesítménye, továbbá a jelentős mészkő-tömeg előteremtése, szállítása. Meg kell említeni, hogy az erőművi fluidizációs technika hazánkban a Szikla—Rozinek-féle tüzelési mód alkalmazásával már a 30-as évek közepén megvalósult. Ez a technika abban tér el a fluidágyas eljárástól, hogy a lebegő állapotban létrejövő elgázosítás az elgázosító kamrában léghiányos égés mellett történik és a salak megolvadt állapotban hagyja el a tűzteret,

Kifejlesztették az ún. cirkulációs fluidágyas tüzelés különféle változatait is, amelyeknél az éghető okozta veszteség a szénpor tüzeléssel legalább azonos mértékre, a mészkő szükséglet is jelentősen, felére, kétharmadára csökkenthető.

Világszerte foglalkoznak a fluidágyas tüzelőberendezések erőművi célra történő felhasználásával, így Angliában, az USA-ban, az NSZK-ban ilyen tüzelőberendezések vannak üzemben. Rivesvilleben Foster—Wheeler gyártmányú fluidágyas tüzelőberendezés elvileg 30 MW-os turbógenerátor gőzigényét biztosítja. Az NSZK-ban, Flingernben egy városi fűtőerőműben 30 MW hőteljesítményű fluidágyas egység üzemel. SZU-ban 1978-ban 10 t/h teljesítményű gőzkazánokhoz építettek fluidágyas tüzelést, kísérleti célra. A Babcock—Wilcox már több ezer órás kísérleti eredmények birtokában fejleszti rendszerét. Nálunk a Központi Bányászati Fejlesztési Intézet, a Villamosenergiaipari Kutató Intézet és a Tatabányai Szénbányák végez kísérleteket, illetve vizsgálja a fluidágyas tüzelés hazai alkalmazásának lehetőségét.

Az MVMT kísérleti célra a Győri Erőműbe tervezi 10—30 t/h teljesítményű fluidágyas kazán beépítését, amennyiben az ehhez szükséges feltételek biztosítása megtörténik. A KGST Villamosenergia Állandó Bizottság Hőerőművek Szekciója 1982-ben összefoglaló anyagot készített a KGST országokban végzett tevékenységekről és további célkitűzésekről. A fluidágyas technikával kombinált erőmű, a gőz-gáz cirkulációs körfolyamatok az érdeklődés középpontjába kerültek. Az USA, az NSZK, Anglia közös együttműködéssel 80 MW hőteljesítményű gőz-gáz körfolyamatba kapcsolt fluidágyas technikát valósít meg, amely 28 MW villamos teljesítményt szolgáltat. A tűztér túlnyomása 10 bar, az ágyfelület 4 m^2. Az angol Babcock—Wilcox és a svéd Stal—Laval cég is tervez demonstrációs célra 65 MW teljesítményű, gázturbinával kombinált nyomás alatti fluidágyas rendszert.

A hazai kísérleti munka egy érdekes eredménye a Villamosenergiaipari

Kutató Intézeben kidolgozott kombinált fluidizációs eljárás, amely olyan áramlástechnikai kialakítású, hogy a tűztéren belül biztosít mérsékelt porcirkulációt és ezzel az éghető tartalmú por- és a nem teljesen reagált mészkő tartózkodási idejét a tűztéri hőmérsékleten jelentősen meghosszabbítja. Ezek hatására csökkenthető a CaO/S arány és a mészkő igény, javul a tüzelési hatásfok, kiegyenlítetté válik a hőmérséklet és növelhető a keresztmetszet egységére vonatkozó hőteljesítmény. (3757/82 alapszámú VEIKI szolgálati szabadalmi bejelentés.)

A kombinált ciklusú erőmű tervek között figyelemreméltó a Saarbergwerke AG terve (Völkingen Erőmű), ahol gáz- és gőzturbinához kapcsolt szénpor- és fluidágyas tüzelést építenek. A szénpor tüzelésű kazánhoz kapcsolnak fluidágyat, amelybe csőkötegek merülnek, és melegítik fel a gázturbinába áramló levegőt 700 °C-ra. A gázturbinából távozó 440 °C-os levegővel a fluidizációt tartják fent. A két előkapcsolt fluidágyas berendezés hőteljesítménye 200 MW, melynek 50%-át a gázturbina körfolyamata igényli. A kőszén fűtőértéke 10 000 kJ/kg, hamutartalma 55%, a nedvességtartalma 18%, a kéntartalma 1,2–1,3%. A fluidágyas kénmentesítés hatásfoka 50%. A gőzkazánból távozó füstgázokat a kéntől tovább tisztítják. A hűtőtornyokba elhelyezett kénmosóval tisztított gázok a hűtőtorony levegőjével távoznak. Az erőmű tervezett teljesítménye 221 MW, és ebből 31 MW a forrólevegős gázturbina teljesítménye.

A fejlődés a nyomás alatti fluidágyas kazánok építésének irányába halad, amely nagyobb kéntelenítést, a kapcsolt körfolyamat alkalmazásával jó hatásfokot, kisebb NO_x-képződést és végülis kisebb, környezetet terhelő szennyezést biztosít.

A szenek erőművi célokra történő felhasználásának egyik vizsgált területe, amikoris a szénből fűtőgázt termelnek. A fűtőgáz-termelésben különböző eljárások ismertek, mint pl. a Winkler-, a Koppers–Totzek-, a Lurgi-rendszerű eljárás. A Winkler-technológia esetén a termelt gáz nyomása 2,5 bar, a Koppers–Totzek-eljárás atmoszférikus nyomású gázt, a Lurgi-eljárás 25 bar nyomású fűtőgázt szolgáltat.

A gáz-gőz körfolyamat erőművi alkalmazása esetén a nyomás alatti gázgyártás és nyomás alatti gáztüzelés összekapcsolása szükséges. A gázturbinából távozó füstgáz hőjét, tápvizelőmelegítés céljára használják. Olyan kapcsolást is terveznek, amikoris a kazánból kikerülő gázokat, a gázturbina levegőkompresszorának hajtására használják fel. Ezeknél a kapcsolásoknál a tüzelőanyag a nyomás alatti elgázosítással (Lurgi-rendszer) nyert fűtőgáz. Az elgázosító közeg a kombinált ciklus gázturbinája által meghajtott, kétfokozatú kompresszorból szolgáltatott levegő. A fűtőgáz kénhidrogén-tartalmát kénmentesítővel redukálják, az ebből kikerülő hulladék gázokból pedig a kén cseppfolyós formában választják el. Melléktermékként fűtőolaj jellegű kátrány nyerhető. Ilyen kapcsolású elgázosító rendszer telepítését vizsgálta a Központi Bányászati Fejlesztési Intézet.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 88. évf. 5—6. szám. 1984. szeptember—december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

A szénelőkészítés és szénnemesítés emisszió-csökkentő hatása*

TAKÁCS PÁL—BELLA LÁSZLÓNÉ, *Központi Bányászati Fejlesztési Intézet, H—1525 Budapest, Pf. 83.*

The emission lowering effect of coal preparation and processing. After outlining the effect of coal preparation and briquetting on dust pollution and fly ash emission, the study deals in detail with the effect on sulphur emission in the case of the following technologies: *gravity separation (flotation), drying (dehydratation), hydro-thermal heat treatment, coking of brown coal, and briquette coke production, coal gasification.* In the course of reviewing the technologies listed above, the study deals with the effect (negative effect in some cases) of the methods outlined, on power plant emission, and besides it deals with the problems of soot emission and the possibility of its lowering .

⁂

A szénelőkészítés és szénnemesítés emisszió-csökkentő hatása. A tanulmány a szénelőkészítés és brikettezés porszennyezésre, valamint pernyeemisszióra gyakorolt hatásának áttekintése után részletesebben a kénemisszióra gyakorolt hatást taglalja az alábbi technológiák esetében: *gravitációs dúsítás* (flottálás), *szárítás* (ahidrálás), *hidrotermális hőkezelés, barnaszénkokszosítás és brikettkokszgyártás, szénelgázosítás.* A felsorolt technológiák taglalása során a tanulmány kitér a vázolt módszereknek az erőművi emisszióra gyakorolt (egyes esetekben negatív) hatására, valamint foglalkozik a koromemisszió problematikájával és csökkentési lehetőségével is.

⁂

A széntüzelésből származó szénpor-, pernye-, kén- és koromemisszió környezetszennyező hatása fizikai (szénelőkészítési) ill. termikus (szénnemesítési) eljárásokkal is csökkenthető. Az egyes eljárások alkalmazhatósága természetesen a felhasznált szén minőségétől, a szénfelhasználás módjától és a környezetvédelmi előírások szigorúságától is függ. Utalunk itt arra, hogy pl. a háztartási és ipari széntüzeléssel járó porszennyezést már a szénelőkészítés legegyszerűbb módja a durva —, illetve dara-szenek szemnagyság szerinti megfelelő osztályozása is érdemben csökkenti. Hasonló eredménnyel jár a háztartási brikett gyártása is.

A háztartási és ipari tüzelés salak és pernyeszennyezésének csökkentésében eredményes út a szenek meddő-tartalmának dúsítással — sűrűség alapján való szeparálással — történő leválasztása.

Hazai vonatkozásban a széntüzelés legkárosabb környezeti hatása a kénemisszió. Ennek jelentőségét *Takács* et al. (1983) tanulmánya alapján néhány számadattal kívánjuk érzékeltetni.

* Az előadásban ismertetésre kerülő kutatások „Az energiagazdálkodás középtávú kutatási-fejlesztési feladatai" című program keretében az IpM és az OMFB, valamint az érdekelt bányavállalatok közös támogatásával folytak.

A hazai szénbányászat 1982. évi értékesített szén termelése a kokszszén-koncentrátum termelés nélkül 25,6 millió tonnát, kereken 280 PJ hőmennyiséget képviselt. A széntermékek összes kéntartalma átlagosan 2,5% volt, mely értéknek a laboratóriumi vizsgálatok szerint kétharmada (1,6%) tekinthető az eltüzelés során a hamu által nem megköthető, eltávozó (ún. éghető) kénnek. Ez azt jelenti, hogy a hazai kereskedelmi széntermékek eltüzelése jelenleg kb. 800 ezer tonna emittált SO_2-t eredményez. Ez az emitált SO_2-mennyiség az ezredfordulóig a különböző változatokban (360 – 500 PJ/év) tervezett termelésnövekedés mellett, az emissziócsökkentést célzó intézkedések elmaradása esetén 1100 – 1500 kt/év értékre növekedhet. Sajnálatos módon hazánkban nincs jelentős szénvagyont képviselő kis kéntartalmú szénelőfordulás. A jobb összehasonlíthatóság kedvéért a kéntartalom mérőszámának a százalékos értéke helyett a fűtőértékre vetített fajlagos értékét vizsgálva, a jelenleg értékesített széntermékek átlagos fajlagos összeskén értéke $(gS_t/Q)_i^-$ 2,2 g/MJ.

I. TÁBLÁZAT

A műveleti szénvagyon megoszlása fajlagos összeskén szerint (Működő és épülő bányák.) *Me.: PJ*

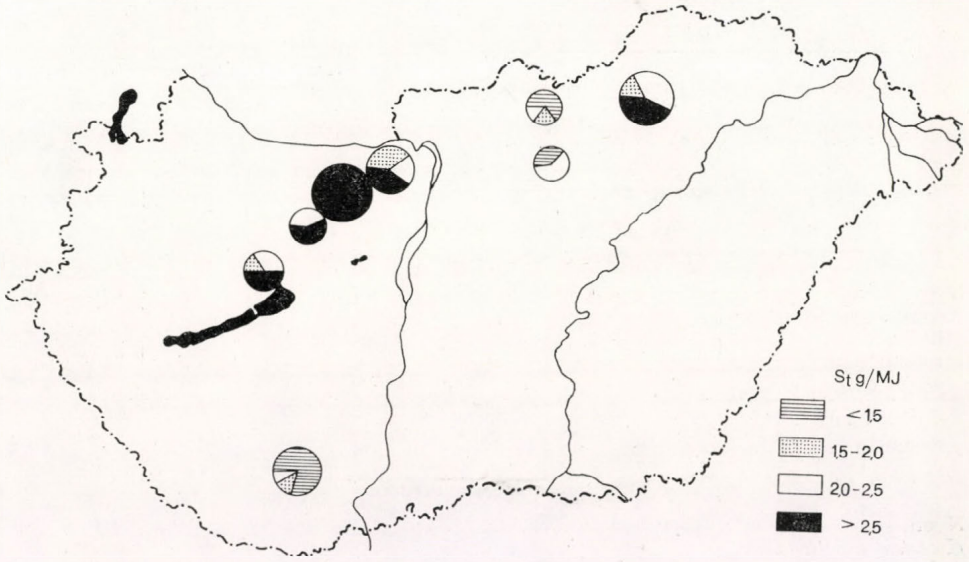
Szánbánya vállalat	Fajlagos összeskén-tartalmú kategóriák g/MJ				
	Átlagosnál kisebb		Átlagos	Átlagosnál nagyobb	Összes
	1,5	1,5 – 2,0	2,0 – 2,5	2,5	
Mecseki	1515	288	63	–	1 866
Nógrádi	623	207	213	5 –	1 043
Mátraaljai	372	–	710	–	1 082
Borsodi	–	312	775	914	2 001
Veszprémi	–	222	419	699	1 340
Dorogi	–	703	388	722	1 813
Oroszlányi	–	–	484	702	1 186
Tatabánya	–	–	–	2724	2 724
Összesen	2510	1732	3052	5761	13 055
Százalékos megoszlás	19,2	13,3	23,4	44,1	100,0

A 13055 PJ-t képviselő műveleti vagyonnak csak mintegy 19%-át képviseli az 1,5 g/MJ fajlagos összeskénnél kisebb kénértékű és 13 %-át az 1,5 – 2,0 g/MJ fajlagos összeskén értékű minőség. Ezzel szemben a szénvagyon 44%-ának összeskén értéke az átlagosnál nagyobb *(I. táblázat)*.

Az átlagosnál kisebb fajlagos összeskén értékű szén jelentős hányadát a mecseki feketeszén teszi ki, utána a nógrádi szénvagyon következik. Kénszennyezés szempontjából az oroszlányi és a tatabányai szenek a legkedvezőtlenebbek *(1. ábra)*.

A pernyeszennyezés csökkentésénél már említett, meddő eltávolítást célzó széndúsítási, mosási eljárások elvileg alkalmasak a kénemisszió csökkentésére is, különösen ha a kéntartalom jelentős része pirit formában fordul elő, s ha a pirit nem annyira syngenetikus-, hanem inkább epigenetikus-eredetű s a meddőkőzethez kapcsolódó. Sajnos e tekintetben sem kedvezők szénelőfordulásaink. Csupán a mecseki feketeszenek és a mátraaljai lágybarnaszenek eseté-

ben éri el vagy haladja meg a piritkén tartalom az összeskén-tartalom 50%-át. A dorogi és oroszlányi szenek esetében a piritkén az összeskén 40—35%-a, míg az összes többi szénféleségeink esetében az összeskénnek csak kb. 25—15%-a van piritkén formában jelen, s a kéntartalom 60—80%-a szerves anyaghoz kötött ún. szerveskén. További kedvezőtlen körülmény, hogy a szénképződés genetikai jellemzőire visszavezethetően, széntelepeinkben található pirit syngenetikus eredetű, a szerves anyaggal finom diszperzitásban összenőtt, s így csak az aprítási fok jelentős növelésével tárható fel. E kedvezőtlen körül-



1. ábra: Műveleti szénvagyon (PJ) megoszlás fajlagos összeskén érték szerint

mények ellenére a hamucsökkentést, meddőtlenítést célzó nehézszuszpenziós dúsítási eljárások a kénemisszió terén is bizonyos javulást eredményeznek *(Bella,* 1983).

A jelenleg már megvalósult vagy tervezett barnaszéndúsító műveknél a meddőleválasztás eredményeként a *II. táblázat*ban összefoglalt adatok szerint a dúsított termékek fajlagos összeskén értéke 0,13—0,59 g/MJ-lal csökken. Ez, az értékesített termékmennyiségeket figyelembe véve, az SO_2 emisszió 160 kt-val (18%) történő csökkentését jelenti már önmagában is.

A dúsítás kéncsökkentő hatása legszembetűnőbb a visontai lignitnél, de még inkább a mecseki szeneknél, mely utóbbi esetben az aránylag magas pirittartalmon kívül a Pécsújhegyi Dúsítóműben a rekonstrukció után alkalmazni szándékozott nagyobb mérvű törés és iszapszén-feldolgozás (flotálás) is hozzájárul *(III. táblázat).*

A széndúsítás kéncsökkentő hatásának bővebb diszkussziója érdekében a II. és III. táblázatban közölt kénértékeket a kalórikus kihozatalok függvényében oszlopdiagramban is ábrázoltuk *(2. ábra).* A diagramban feltüntetjük a dúsítás során eltávolított meddő kalórikus hányadát, valamint fajlagos összeskén értékét is. Az ábra alapján jól érzékelhető, hogy a fizikai dúsítási

technológiák valójában nem kénteleníthetnek, hanem különböző kéntartalmú frakciókat állítanak elő. A kereskedelmi termékek kéntartalma ezért nagymértékben függ attól is, hogy a kénben dúsult, de még érdemi éghető anyagot tartalmazó nehezebb frakciókat mily mértékben kívánják még erőművi célra hasznosítani. Amennyiben ezek eltávolításával nem, vagy csak részben élnek, úgy az erőművi célokat szolgáló energetikai szén kéntartalma a nyers szénnél akár magasabb is lehet. Ez eset áll fenn a Mecseki Dúsítóműnél, valamint a berentei Dúsítóműnél is.

II. TÁBLÁZAT

Az épülő és tervezett lignit- és barnaszéndúsítóművek alapanyag- és termékvizsgálati adatai

Megnevezés	Termelés		Szénvizsgálati adatok						
			Nedvesség W_t^r %	Hamu A^r %	Fűtőérték, Q_i^r MJ/kg	Összes kén, S_t^r %	Égető kén, S_c^r %	Fajlagos kén S_t^r/Q_i^r	S_c^r/Q_i^r
	kt/év	PJ/év						g/MJ	g/MJ
Felsőgallai barnaszénmosó									
Nyers szén	2680	39,1	16,7	28,8	14,6	3,9	3,0	2,67	2,05
Kereskedelmi termékek									
durva*	410	8,2	15,0	14,0	20,0	4,3	3,4	2,15	1,72
rostált dara	600	12,0	16,4	13,0	20,0	4,2	3,4	2,10	1,69
apró**	890	15,8	17,0	19,5	17,7	4,2	3,4	2,37	1,92
Termékek súlyozott átlaga								2,29	1,80
Berentei barnaszénmosó									
Nyers szén	4380	50,1	28,1	24,6	11,4	2,8	2,0	2,46	1,75
Kereskedelmi termékek									
durva*	1920	27,5	28,3	11,6	14,3	2,9	2,1	2,03	1,5
rostált dara	480	6,5	27,8	10,3	13,5	2,6	2,0	1,93	1,45
energetikai+	1600	15,0	28,0	32,7	9,5	2,9	1,9	3,05	2,0
Termékek súlyozott átlaga								2,33	1,70
Kányási barnaszénmosó									
Nyers szén	750	8,6	22,5	33,2	11,4	2,8	2,4	2,46	2,10
Kereskedelmi termékek									
durva*	248	3,7	21,2	19,0	15,0	2,7	1,95	1,80	1,30
rostált dara	60	0,9	23,0	17,0	14,9	2,5	1,94	1,68	1,3
apró	246	3,3	24,0	25,0	13,2	2,9	1,72	2,20	1,3
Termékek súlyozott átlaga								1,95	1,3
Visontai lignitmosó									
Nyers lignit	8800	54,7	47,6	22,6	6,2	1,4	0,6	2,26	0,88
Erőművi dúsított	6290	48,7	49,0	15,1	7,8	1,3	0,5	1,67	0,64
ua. szárítva++			14,0	25,5	14,7	2,2	0,8	1,50	0,55

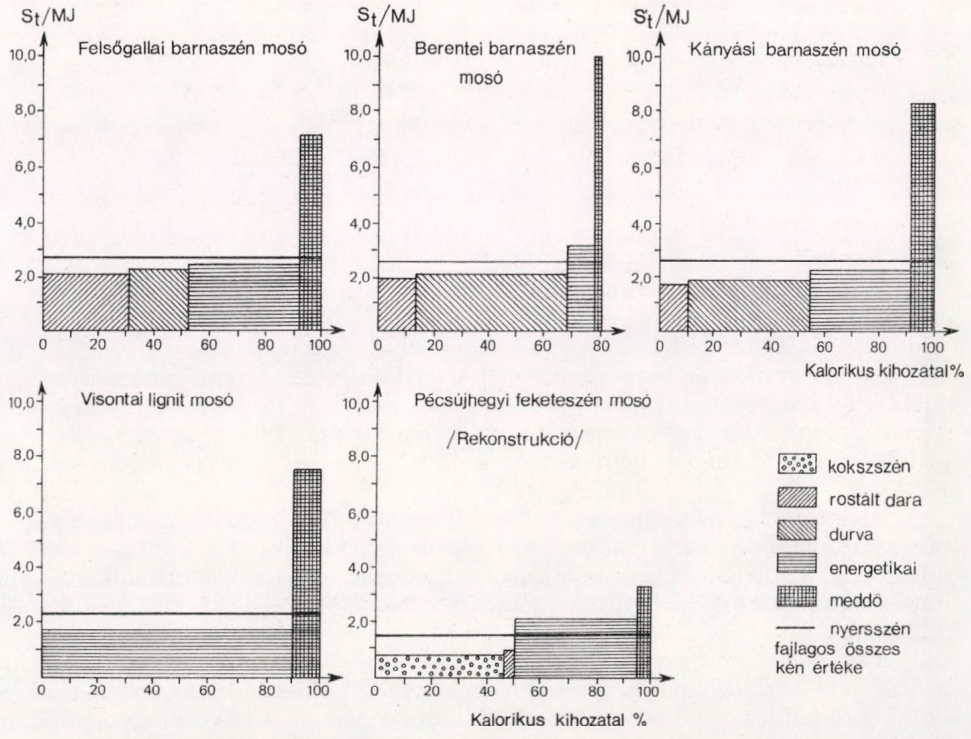
* A 20 mm feletti szemnagyságú frakciók (dió, kocka, darabos) összevont adatai.
** Iszapszénnel együtt.
\+ Középtermék és aprószén együttesen.
++ Kötőanyag nélküli brikettezéshez szükséges optimális nedvességtartalomra számítva.

III. TÁBLÁZAT

A rekonstruált Pécsújhegyi Dúsítómű alapanyag- és termékvizsgálati adatai

Megnevezés		Nyers szén	Minőségi		Energetikai		Kokszszén koncentrátum
			durva	apró	tört	iszap	
Termelés	kt/év	3500	100	200	1940	360	900
	PJ/év	54,2	2,50	3,20	18,82	3,67	26,01
Szénvizsgálati adatok							
Nedvesség	W_t^r %	9,1	4,0	25,0	5,8	25,0	6,7
Hamu	A^r %	42,6	22,9	22,5	60,9	41,6	10,1
Fűtőérték	Q_i^r MJ/kg	15,4	25,0	16,0	9,7	10,2	28,9
Összeskén	S_t^r %	2,30	2,25	2,20	2,40	1,50	2,35
Fajlagos összeskén	S_t^r/Q_i^r g/MJ	1,50	0,905	1,38	2,47	1,47	0,81

A gravitációs dúsítás fentiekben vázolt kéncsökkentő hatása szorosan összefügg a kiindulási szenek több-kevesebb pirittartalmával, mely pirit nagyobb sűrűségénél fogva inkább a meddő termékekben koncentrálódik. Ez a hatás a feltárási fok növelésével, azaz nagyobb mérvű aprítással elvileg javítható. E tendencia kihasználásának azonban a háztartási szénféleségek eseté-



2. ábra: Épülő és tervezett szénmosók várható termékeinek fajlagos összeskén megoszlása a kalorikus kihozatal függvényében

ben a megkívánt szemnagyság, az energetikai szeneknél pedig a finomszemcsés anyagokra (őrleményekre) hazai szeneink esetében is alkalmas technológiák hiánya akadályozza.

A finomszemcsés anyagok feldolgozására leginkább elterjedt flotálás esetében a magyar feketeszeneknél eddigi tapasztalataink szerint a pirit a szénanyaggal együtt dúsul, és a kokszszén-koncentrátumok esetében eddig elért 0,2%-os kéntartalomcsökkenés nem tekinthető olyan eredménynek, mely a piritflotálás megvalósítását az erőművi szenek esetében indokolná.

Más javasolt módszerek, így az iszapérlelés, valamint a ferrokarbonil reduktív elbontásán és az ezt követő mágneses szeparáláson alapuló ún.

IV. TÁBLÁZAT

A várpalotai lignit-ahidrálás alapanyagai és termékei vizsgálati adatai

Megnevezés			Lignit				
			Nyers	Előszárított *	Ahidrált		Összes
					durva	apró	
Termelés		kt/év	317	231	31	166	197
		PJ/év	3,34	3,14	0,51	2,71	3,26
Szénvizsgálati adatok							
Nedvesség	W_t^r	%	40,8	18,6	20,4	18,3	18,6
Hamu	A^r	%	10,4	14,5	9,8	17,8	16,6
Fűtőérték	Q_i^r	MJ/kg	10,5	15,4	17,9	16,3	16,6
Összeskén	S_t^r	%	2,46	3,38	3,6	2,97	3,07
Fajlagoskén	S_t^r/Q_i^r	g/MJ	2,34	2,19	2,02	1,82	1,85

* Számított (elméleti) érték

MAGNEX-eljárás eredményességének megítéléséhez még nincs elég tapasztalatunk *(Bella—Szalai*, 1983).

A főként szerves kötésű ként tartalmazó eocén barnaszeneink esetében a fizikai eljárások helyett a — külföldön élénk kutatások tárgyát képező — vegyi kéncsökkentő eljárások jöhetnének elvileg számításba.

Sajnos a magyar barnaszeneknek a külföldön általában felhasznált energetikai fekete szenektől eltérő jellege miatt az OKKFT keretében eddig vizsgált vegyi módszerek (bakteriális lugzás, oxidativ piriteltávolítás, nátronlugos piritbontás, klorolízis) nem vezettek érdemi eredményre *(Takács—Bella*, 1983).

Mielőtt a szoros értelemben vett szénnemesítő technológiákat ismertetnénk, rámutatunk arra, hogy a nedvesség elpárologtatása révén a szén fűtőértéke növekszik, a szárítás is javítja a szárított termék fajlagos kén értékét. E javító hatás nagy nedvességű lignitek esetében már számottevő (II. táblázat, legalsó adatsor).

A szárítás egy speciális, sok szempontból is kedvező formája az ahidrálás. E módszert hazánkban ismeretesen Várpalotán alkalmazzák. Az ahidrálás kéncsökkentő hatása az alkalmazott magasabb hőmérséklet következtében fellépő kismérvű kénhidrogén-lehasadás miatt a szokványos szárításnál valamivel kedvezőbb *(IV. táblázat)*.

Az ahidrálás során a lignit nedvességtartalma nem elpárolog, hanem a hőkezelés hatására bekövetkező strukturális változások során a lignit mintegy kiizzadja. Hasonló hatás érhető el, ha a lignitet vagy barnaszenet vizes közegben nyomás alatt hevítik (hidrotermális hőkezelés). A vizes közegű autoklávozás a gőzölésnél technikailag egyszerűbb módot nyújt a hőkezelés hőfokának 300 °C-ra emelésére, mely hőmérsékleten a szén organikus kéntartalmának már jelentős része lehasad, sőt a piritkéntartalom is csökken. A hőkezelés hatására növekszik a termék fűtőértéke is. (*Bognár* et al. 1983.)

A jelenleg még laboratóriumi szinten vizsgált módszerrel elérhető kéncsökkentő és szénnemesítő hatást az *V. táblázat*ban mutatjuk be.

V. TÁBLÁZAT

Hidrotemális hőkezelés alapszeneinek és termékmintáinak nedves állapotra vonatkozó jellemzői

Megnevezés			Visontai lignit			Tatabányai barnaszén	
			Nyers	Hőkezelt 260 °C	Hőkezelt 300 °C	Nyers	Hőkezelt 300 °C
Nedvesség	W^r	%	46,0	16,0	12,0	16,0	8,0
Hamu	A^r	%	20,6	34,2	36,1	7,0	7,8
Égésmeleg	Q_s^r	MJ/kg	8,61	14,20	15,20	22,86	27,12
Fűtőérték	Q_i^r	MJ/kg	7,08	13,21	14,29	21,59	25,93
Összeskén	S_t	%	0,76	0,90	0,64	4,91	4,51
Fajlagos összeskén	S_t^r/Q_i^r	g/MJ	1,07	0,68	0,45	2,27	1,74
Súlykihozatal		%	100	52	47	100	76
Kalorikus kihozat *							
Égésmelegre		%	100	86	83	100	90
Fűtőértékre		%	100	96	94	100	91

* A hőkezelés hőigénye nélkül.

Áttérve most már a tipikus szénnemesítő eljárásokra, elsőként a barnaszén-kokszosítást kell megemlíteni. A HBL francia cég merlebachi kísérleti telepén végzett forgókemencés félüzemi kísérletek szerint a 900 °C-os hőkezelés a nagy (szerves) kéntartalmú nagyegyházi szénnél igen hatásosnak mutatkozott (*Wolf – Bognár*, 1983, *VI. táblázat*). A barnaszén-kokszolásnak azonban a szilárd tüzelőanyagra vonatkozó kalorikus kihozatala csak kb. 52 – 54% és így gondoskodni kell a kalorikus melléktermékek (jelen esetben gyenge fűtőértékű gáz) hasznosításáról.

A HBL rendszerű kokszosításnál a gáz hasznosítására egy, a kemencével egybeépített hőértékesítő kazán szolgál, tehát az illó termékek kéntartalma a füstgázba kerül. Figyelembe véve az eredeti szén kéntartalmát és a termékek hőértékét, ez lényegében azt jelenti, hogy a 2,1 gS_t/MJ fajlagos kénértékű szénből kb. fele-fele arányban:

1,1 – 1,2 gS_t/MJ fajlagos értékű nemesített szilárd energiahordozót, és

3,3 – 3,4 gS_t/MJ fajlagos értékű energetikai terméket nyerhetünk.

A barnaszén-kokszosítás tehát a dúsításhoz hasonlóan tulajdonképpen nem kéntelenít, hanem a kiindulási szenet (bár a dúsításnál sokkal hatásosabban) kénszegény és kéndús termékre bontja meg. Valójában önmagában nem kéntelenít a szeneinknél még számításba vehető másik szénnemesítő el-

járás, az elgázosítás sem, mivel itt gyakorlatilag a szén kéntartalmának 80—90%-a a nemesített termékbe, a gázba jut. Ennek dacára az elgázosítás a kénemisszió szempontjából is igen kedvező, mivel a gázba jutó kén az SO_2-nél könnyebben eltávolítható H_2S formájában van és a kivont kénhidrogén kén vagy kénsav formájában jól értékesíthető.

Ma már gyakorlatban alkalmazott, illetve alkalmazni tervezett minden elgázosítási technológiához hozzátartozik a gyakorlatilag teljes kéntelenítést biztosítható kénhidrogén abszorbció és a kénhidrogén-feldolgozó üzem.

VI. TÁBLÁZAT

Tatabányai barnaszénből forgókemencében előállított porkoksz és annak felhasználásával készült kötőanyagos brikett, ill. brikettkoksz vizsgálati és kihozatali adatai

Megnevezés			Barnaszén	Porkoksz	Nyers brikett*	Brikettkoksz
a) *Szénvizsgálati adatok*						
Nedvesség	W^r	%	16,5	3,8	7,9	3,4
Hamu	A^r	%	6,8	13,5	12,0	14,2
Illó	V^r	%	38,3	4,6	13,4	5,5
Fűtőérték	Q_i^r	MJ/kg	22,3	27,1	27,2	26,0
Összeskén	S_t^r	%	4,6	3,0	2,7	2,9
Éghető kén	S_t^r	%	3,2	2,0	2,2	2,0
Fajlagos összeskén	S_t^r/Q_i	g/MJ	2,1	1,1	1,0	1,1
Fajlagos éghető kén	S_t^r/Q_i	g/MJ	1,5	0,7	0,8	0,8
b) *Brikettszilárdsági vizsgálatok*						
Pontnyomás	N		—	—	1000	1000
Dobszilárdság	%		—	—	85,2	84,6
c) *Súlykihozatal*	%		100	48	100	70**

* Brikettelegy összetétele: HBL-koksz 70%, Flotált koncentrátum 20%, Bitumen 10%.

** Darabos termék, ezen kívül még 10% porkoksz is képződik, mely a nyers brikettek készítéséhez felhasználható.

Tekintetbe véve, hogy külföldi intézményeknél és szakcégeknél folytatott vizsgálatok szerint a korszerű szénelgázosító eljárásokra a legfontosabb energetikai szénféleségeink — beleértve a dúsított ligniteket és a feketeszén-dúsítási középtermékeket is — egyaránt alkalmasak, úgy véljük, hogy a szénelgázosítás a kénemisszió-csökkentés szempontjából is komoly érdeklődésre tarthat számot.

Itt jegyezzük meg, hogy a barnaszén kokszosítás is vezethető úgy, hogy a kalorikus melléktermékként a ként H_2S formájában tartalmazó kedvező fűtőértékű gáz is képződjék, ezért figyelmet érdemelnek azok a kutatások, melyeket az OKKFT keretében a kokszosítás egyik újszerű kiviteli formájának, a gyorspirolízisnek hazai adaptálására folynak *(György* et al. 1983).

Nem beszéltünk még, a széntüzelés esetében problémát jelentő szennyező források közül a koromemisszió kérdéséről.

A hazai szenekkel kapcsolatos tapasztalataink szerint ez a veszélyforrás

az ipari tüzelésnél gyakorlatilag nem jelentkezik, azonban a nyerssźén, de különösen a kötőanyagos brikettel történő háztartási tüzelés koromemissziója teljesen nem eliminálható. Így érthető, hogy a levegőtisztaság-védelmi szempontból szigorúan védett területeken a nyerssźén és brikett-tüzelés háztartási berendezésekben nem megengedett.

Minden minőségi követelményt kielégítő füstmentes és kedvező kénemisszziójú háztartási tüzelőanyag gyártható azonban a barnaszén-kokszporból készült brikettekből akkor, ha azokat 800 °C-on mégegyszer hőkezelik. Ilyen brikettkoksz-gyártási technológiát külföldön a francia HBNPC cég, valamint a román ICEM Kutatóintézet fejlesztett ki és kedvező eredménnyel biztatnak a KBFI autoterm brikettkokszolási eljárásnak az OKKFT keretében folyó fejlesztési munkái (*Takács–Horváth*, 1977).

A brikettkoksz-gyártásnál a termék darabtartásának biztosítására a kokszporhoz 10–20% sülőszenet is szükséges adagolni. (A már hivatkozott VI. táblázat az így nyerhető brikettkoksz, valamint az előállításhoz felhasznált nyersbrikett vizsgálati adatait is közli.)

HBNPC cégtől legújabban beszerzett információk szerint 70% HBL koksz, 15% kokszszén és 15% szurok keverékéből az Anthracine eljárással is nyerhető a háztartási koksszal egyenértékű füstmentes tüzelőanyag. Az Anthracine eljárás 400 °C hőmérsékleten lejátszódó oxidatív hőkezelést alkalmaz és mind a beruházási költségek, mind a szilárdtermék-kihozatal szempontjából a brikettkoksz-gyártásnál kedvezőbbnek látszik.

Itt jegyezzük meg, hogy hasonló terméket a dorogi szén Schlattner-rendszerű lepárlásához kapcsolódva a *Széki* professzor által kidolgozott berendezésben a Salgótarjáni Kőszénbánya Rt. már a II. világháború előtt gyártott és sajtolt koksz néven eredményesen forgalmazott (*Erdély–Előd*, 1937).

Befejezésül foglalkozunk még azzal, hogy az előzőkben ismertetett dúsító és nemesítő technológiák milyen formában, és mértékben illeszthetők a hazai szénvagyon hasznosításával kapcsolatos elképzelésekhez.

A felsorolt technológiák közül a széndúsítás ma már polgárjogot nyert és minőségjavító hatása a feketeszenek esetében érdemi, barnaszeneink esetében korlátozott mértékben jelenleg is, illetve a közeljövőben már jelentkezik. A ciklondúsításnak az észak-magyarországi szenekre történő kiterjesztésével, valamint az iszapszenek feldolgozására is alkalmas módszerek bevezetésével, esetleg kifejlesztésével ez a hatás várhatóan még fokozható, azonban az emissziócsökkenés elsősorban az ipari-háztartási szektorban jelentkezik. E szektorok minőségi tüzelőanyaggal való ellátását célozza a Tatabányai Cementgyárnak porkoksz-gyártásra javasolt átállítása és ahhoz kapcsolódó füstmentes háztartási tüzelőanyag-gyártás is.

A Dúsító Program az erőművi kénemissziót jelenlegi formájában érdemben nem csökkenti, mivel erőművi célra éppen a kénben dúsabb energetikai szorték kerülnek felhasználásra. Más lenne a helyzet, ha az aknaszén meddőtlenítésére erőműoldali megfontolásokból kerülne sor, ugyanis ez esetben a dúsított, esetleg dúsított és szárított lignit eltüzelése esetén a lignit-erőművek kénemissziója 25–30%-kal lenne csökkenthető.

Hatékonyabb és már a füstgáz-kéntelenítés alternatíváját jelentő megoldást a szénelgázosításhoz, esetleg a gyorspirolízishez kapcsolódó erőművi hasznosítás jelenthet.

Mindkét lehetőséget az OKKFT keretében tanulmányozzák, illetve kísérleti szinten vizsgálják.

Kedves kötelességüknek érzik végül a szerzők, hogy egyrészt a kutatásokat finanszírozó főhatóságoknak (IpM, OMFB) és vállalatoknak (Mecseki Szénbányák, Borsodi Szénbányák, Veszprémi Szénbányák, Nógrádi Szénbányák, Mátraaljai Szénbányák MINNOVA) másrészt munkatársaiknak, elsősorban *Wolf György* tud. osztályvezetőnek, *Takácsi-Nagy András* tud. csoportvezetőnek és *Gimpl Elvira* tud. főmunkatársnak köszönetüket fejezzék ki.

IRODALOM

Takács P. – Bella Lászlóné – Kenyeres J. ,1983: Átlagosnál érdemben kisebb kéntartalmú szénelőfordulások kijelölése. A KBFI-ben készült kutatási jelentés, Budapest.

Bella Lászlóné, 1983: A hazai széntermelés minőségi jellemzői különböző termelési alternatívák esetében. In: *Takács – Bella – Kenyeres*, 1983. 2. melléklet.

Bella Lászlóné – Szala Z. ,1983: Fizikai eljárások alkalmazásának lehetősége a hazai barnaszénféleségek kéntartalmának csökkentésére. A KBFI-ben készült kutatási részjelentés, Budapest.

Takács P. – Bella Lászlóné, 1983: Lignitek és barnaszenek kéntartalmának csökkentésére vizsgált módszerek tapasztalatainak összefoglalása. A KBFI-ben készült kutatási jelentés, Budapest.

Bognár T. – Rákász I. – Takács P., 1983: Hydrothermale Wärmebehandlung ungarischer Kohlenarten International Symposium On Coal Processing. Katowice, 1983. X. 24 – 28, Reports, p. 337 – 353.

Wolf Gy. – Bognár T., 1983: Félüzemi kísérletekben nyert porkoksz felhasználás-technológiai vizsgálata. A KBFI-ben készült kutatási jelentés, Budapest.

György I. – Pallós Lászlóné – Takács P., 1983: A gyorspirolízis kéncsökkentő hatásának vizsgálata. A KBFI-ben készült kutatási részjelentés, Budapest.

Takács P. – Horváth A., 1977: Füstszegény háztartási tüzelőanyag előállítása feketeszén, barnaszén és félkoksz elegyéből. *BKL Bányászat* 110. évf. 1. Ksz. *BKI Közleményei* XXI. évf. 1. sz. p. K69 – K74.

Erdélyi S. – Előd J., 1937: A Dorogi Brikettkokszmű. *Szénkisérleti Közlemények* 3. évf., p. 143.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5—6. szám. 1984. szeptember—december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol .88. No. 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

A környezeti hatások gazdasági és innovációs kapcsolatai a különböző tüzelőanyag-bázisú erőművekben

FALLER GUSZTÁV, *Ipari Minisztérium, H—1024 Budapest, Mártírok útja 85.*
TÓTH MIKLÓS, *Bányászati Egyesülés, H—1051 Budapest, Arany J. u. 10.*

The economical and innovative relations of environmental effects of power plants with different fuel-basis. Having looked over the system of environmental effects of the mining which produces primary mineral raw materials, the authors scrutinize that how the environmental reciprocal effects of electric power generation predominate in development of world market perspective of energy resources and what complex influence these factors have on innovation of power stations of various fuel basis. They demonstrate the role of mutual effects of electric power production in selection of fuel basis as well as three phases of innovation, from which the first phase has made environment protective hydrocarbon power plants generally used, the second one has made the establishment of safety conditions of nuclear power stations possible, and the third phase enables the coal power stations to be adaptable to environment.

⁎

A környezeti hatások gazdasági és innovációs kapcsolatai a különböző tüzelőanyagbázisú erőművekben. A primer ásványi nyersanyagot termelő bányászat környezeti hatásai rendszerének áttekintését követően a szerzők azt vizsgálják, hogy miképpen érvényesülnek a villamosenergia-termelés környezeti kölcsönhatásai az energiahordozók világpiaci értékének alakulásában és milyen komplex hatása van e tényezőknek a különböző bázisú erőművek innovációjára. Bemutatják a villamosenergia-termelés kölcsönhatásainak szerepét az energiahordozó-bázis megválasztásában, valamint azt a három innovációs szakaszt, amelyek közül az első a környezetkímélő szénhidrogén erőművek elterjedését, a második az atomerőművek biztonsági feltételeinek megteremtését tette, a harmadik pedig a szénerőművek fokozott környezeti alkalmazkodását teszi lehetővé.

⁎

A gazdasági következmények napjainkban is sokféle módon nyilvánulnak meg azokban az érdekellentétekben, vagy érdekazonosságokban, amelyek akár az ásványi nyersanyaghasznosítási vertikum egy-egy fázisát alkotó gazdasági egységek, akár e gazdasági egységek és környezetük között keletkeznek. Ez utóbbi csoportba sorolható kapcsolatokat a bányászatra szűkítetten vizsgálva, a makrokörnyezeti hatásokat — egyebek mellett — korábban elsősorban aszerint csoportosítottuk, hogy milyen sebességű és intenzitású a környezetmódosító hatásuk. Eszerint beszéltünk

a) viszonylag lassú és nem intenzív hatásokról: ide az emissziós jellegű szennyezéseket soroltuk;

b) viszonylag gyors és intenzív hatásokról: ezeket összefoglalóan tervszerű környezetátalakítási tevékenységeknek neveztük;

c) hirtelen, váratlanul bekövetkező, nagy intenzitású eseményekről: ezek a katasztrófális hatásokkal járók.

E csoportosítás akkor világosan hozzárendelhető volt az érdekviszony-típusokhoz. A kisösszegű bírságok például nem tették érdekeltté a szennyezőket

e cselekvésük megváltoztatásában, vagyis az *a* típusú esetekben határozott érdekellentét volt a bányászat és környezete között. A *b* típushoz azokat az eseteket soroltuk, melyekben a mindig is tervszerű beavatkozásokkal okozott károkat a károkozás előtti szintnél fejlettebben hoztuk helyre: például külfejtésre igénybevett termőföldeket az eredetinél nagyobb terméshozamúvá rekultiváltuk, avagy a falusi kutakból elvont vizet vezetékes vízellátással pótoltuk. Akkor az ilyen esetekben a beruházások finanszírozásának aktuális rendje folytán a bányászat könnyen megtehette ezt, tehát végül is nem merült fel érdekellentét. (Csak a teljesség kedvéért említjük meg, hogy a *c* csoportba sorolt esetek – például a bányászat biztonságát és a környező gyógyvizek védelmét egyaránt szolgáló eljárások alkalmazása – akkor is közös érdek volt és ma is az.)

Az utóbbi években a gazdasági szabályozás változásainak hatására már korántsem lehet egymáshoz rendelni az „emisszió = érdekellentét" és a „tervszerű környezetátalakítás = érdekazonosság" tevékenységeket, illetve fogalmakat. (A katasztrófaszerű *c* csoportot illetően természetesen nem változott a helyzet.) Ebből a gondolatmenetből több – egymással is összefüggő – következtetést vonhatunk le, így például a következőket:

– A különböző természeti erőforrások egymásra és másra, illetve ezen belül az ásványi nyersanyagtermelés környezetre gyakorolt kárhatásának kvantitatív ismerete nélkül történő döntéshozatal lehet helyes, a gazdasági szabályozás ösztönözhet jó irányba, de csak véletlenül biztosíthatja a népgazdasági (az érintett gazdasági egységeken felülálló) optimumot.

– A népgazdasági optimum az erőforrás-értékelésre irányuló vizsgálatok elve és gyakorlati tapasztalatai szerint nem választható el az ásványi nyersanyagok és az energiahordozók világpiaci értékének alakulásától, általában e világpiaci értékítéletet befolyásoló tényezők és távlatra gyakorolt hatásuknak reális számbavételétől.

A vertikum egy-egy fázisát alkotó, elkülönülő gazdasági egységek közötti érdekviszonyok ugyancsak igen sokfélék lehetnek. Gondoljunk például az elsődleges átalakítás fázisát illetően arra, hogy a korábban alkalmazott technológia szerinti hazai ferromangángyártást környezetvédelmi és egészségügyi okokból kellett megszüntetni; ezáltal a hazai mangánércbányászat népgazdaságilag nemkívánatos visszafejlődésnek indult, továbbá, hogy milyen elkülönült érdekviszonyok fékezték egy modern – környezetvédelmi szempontból is kifogástalan – ferromangángyártás kialakítását, jól érzékeltetve már a technikai újítás idekapcsoló szerepét is.

Tanulmányunk – a fémhordozó ásványi nyersanyagokra vonatkozóan említett példa analógiájára – egy másik ásványi nyersanyagcsoportra, nevezetesen az energiahordozókra vonatkozóan vizsgálja az elsődleges átalakítás környezeti hatásait és a világpiaci árak környezetvédelmi kapcsolatait, illetőleg azt, hogy miképpen érvényesülnek a villamosenergia-termelés környezeti kölcsönhatásai az energiahordozók világpiaci értékének alakulásában, hogy milyen komplex hatása van e tényezőknek a különböző bázisú erőművek – ezzel összefüggésben fűtőanyagbázisuk – innovációjára. Minthogy a jövő tervezése szempontjából a várható világpiaci áraknak meghatározó szerepe van, ezért vizsgálatainkban kiemelt szerepet kapott az energiahordozók áralakulása múltbeli okainak a távlatot érintő következtetések levonására is alkalmas olyan elemzése, amely a környezeti hatásokat a rendszervizsgálatok kiemelt alkotójaként kezeli.

Az ásványi eredetű energiahordozók in situ meg nem újítható jellegéből fakad, hogy (világpiaci) árszintjüket a szükségletek kielégítéséhez nem nélkülözhető legkedvezőtlenebb természeti adottságú források költsége, a még tömegesnek tekinthető marginális költségek szintje határozza meg. Az egymás helyettesítésére alkalmas különböző energiahordozók így értelmezett világpiaci árának, illetve ármozgási centrumának azonos használati értékre vonatkoztatottan, vagyis elvileg olyan szinten kellene kialakulnia, amely a belőlük előállítható végtermék – például villamosenergia – marginális költsége tekintetében biztosít azonosságot. (Ezen ár és az optimálisan korszerű technológiához tartozó költség közötti különbség alkotja az egyes lelőhelyek különbözeti járadékát.) Az *1. ábra* felső részén bemutatjuk a villamosenergia-termelés bázisául szolgáló feketeszén, erőművi szénhidrogén (fűtőolaj és földgáz), valamint a hasadóanyag hőegységre vonatkoztatott világpiaci árának megközelítő alakulását az elmúlt 30 év során, mégpedig – az inflációs hatásokat kiszűrendő – a jelenlegi értékű dollárban $/GJ egységben. Az ábra alsó részén vastag vonal mutatja be a különféle energiahordozókból előállított villamosenergia kilowattóránkénti költségét C/kWh-ban. A vékony vonalak az erőművi átalakítás költségeinek alakulását jelzik; ennek mintegy 80–85%-át teszi ki az erőmű beruházási költsége, amelyet 12%-os kamat terhel.

Az 1970 előtti helyzet

Az ábrán feltüntetett villamosenergia-költségek alakulását vizsgálva azonnal szembetűnik, hogy a fűtőolaj- és a földgázbázisú villamosenergia-termelés költsége az 1960-as években csak fele volt a szénbázisú villamosenergia költségének.

A 80–85%-ban a kamatos amortizációból álló erőművi átalakítási költségek segítségével visszafelé számolva könnyen megállapítható, hogy a szénhidrogénbázisú villamosenergia költsége akkor lett volna azonos a szénbázisúval, ha az erőművi fűtőolaj és földgáz világpiaci ára az 1950-es években kb. kétszer, az 1960-as években kb. háromszor nagyobb lett volna a ténylegesnél. Nyilvánvaló tehát, hogy a jelzett időszakban a fűtőolaj és a földgáz világpiaci árát nem a szükségletek kielégítéséhez nem nélkülözhető legkedvezőtlenebb források (például a nyugat-európai szenek) költsége határozta meg, azok ára az általános szabálytól eltérő módon – méghozzá nagyon eltérő módon – alakult.

Az alapvető kérdés tehát az, hogy mi volt ennek a rendhagyó esetnek az oka? Ismeretes, hogy a második világháború alatt és azt követően nagymértékben felfokozott szénhidrogén-kutatás világszerte óriási szénhidrogénvagyonokat derített fel. A szénhidrogénvagyonnak – szemben például a szénnel – az a közismert jellegzetessége, hogy a földtani megismerés tulajdonképpen már feltárást jelent, vagyis szinte azonnali termelésbeállítást tesz lehetővé. Ennek következtében az 1950–1960-as években igen nagy mértékben megnövekedett a szénhidrogén termelés lehetősége, vagyis a szénhidrogénkínálat.

A szükségleteket jóval meghaladó szénhidrogéntermelési lehetőséget természetesen csak akkor lehetett értékesíteni, ha ezt a kínálatot nemcsak az energiaszükségletek növekményi részének fedezésére használták fel, hanem meglévő szénfogyasztók egy részének kiváltására is. Ennek azonban olyan mérsékelt fűtőolaj- és földgázár volt a gazdasági feltétele, hogy az újként létesítendő

energetikai szénhidrogén-felhasználásoknál (például az új szénhidrogén-erőművekben) előállítható energia növekményköltsége ne haladja meg a meglévő más bázisú felhasználóknál (például a meglévő szénerőművekben) előállítható, a felhasználás tőketerheit nem tartalmazó energiatermelés költségét, vagyis hogy a szénhidrogénbázisú energiatermelés a szénbázisú energiatermelés még le nem törlesztett tőketerheit el is tudja viselni.

Ennek a feltételnek — figyelembe véve a szén akkori világpiaci árát, valamint a szenek és a szénhidrogének használati értékarányát az erőművekben — legfeljebb 15 $/t-ás (jelenlegi értékű dollárban kifejezve 30—40 $/t-ás) fűtőolaj és földgáz ár felelhetett meg, szemben azzal a 25—35 $/t-ás (jelenlegi értékű dollárban 100—120 $/t-ás) árral, amelyet a szükséges legkedvezőtlenebb források (általában a nyugat-európai szénbányák) termelési költségének kellett volna indukálnia.

Az erőművi fűtőolaj és földgáz, sőt a nyersolaj és ennek nemesebb frakciói abnormálisan alacsony árának realizálására egyébként az adott lehetőséget, hogy a közel-keleti szénhidrogénforrások tényleges kiaknázási költsége még ennek az alacsony árnak is csak töredéke volt, sőt még a nyugat-szibériai szénhidrogénlelőhelyek akkori kiaknázási költsége is alatta volt ennek az alacsony világpiaci árnak. (Az ennél nagyobb költségű texasi szénhidrogénlelőhelyeket ezidőtájt részben le is állították és közel-keleti kőolajimporttal pótolták.)

A fűtőolajnak és földgáznak a jelzett okokból eredően igen alacsony világpiaci ára természetesen csökkentette a szén- és a hasadóanyag iránti keresletet. Ezért került sor a szén világpiaci árát addig meghatározó legkedvezőtlenebb adottságú nyugat-európai szénbányák bezárására, vagyis a marginális költségek csökkentésére is. Ily módon az 1950—1960-as években számottevően mérséklődött a szén és a hasadóanyag világpiaci ára is ahhoz az árhoz képest, ami a fűtőolaj és a földgáz túlkínálatának hiányában kialakult volna.

A környezeti hatás tekintetében a szénhez képest alapvetően kedvezőbb szénhidrogének 1950—1970 közötti energetikai térhódításának közvetlen kiváltója tehát nem a törekvés a káros környezeti hatások elkerülésére, hanem a keresletet jóval meghaladó kínálat, illetve a szénhidrogén-fogyasztók „minden áron" megkeresése, illetve biztosítása volt. A szén- és a hasadóanyagbázisú erőművek, vélt vagy valós káros környezeti hatásának a szénhidrogénbázisú erőművek révén lehetséges elkerülése csak növelte az egyébként is igen olcsó erőművi fűtőolaj- és földgázkeresletet.

Az erőművek környezeti kárhatásának csökkentését biztosító ezen első innovációnak az az alapvető jelentősége, hogy a biztonságos és környezetkímélő szénhidrogének energetikai hasznosítása, illetve a szénhidrogénbázisú villamosenergia-termelés széleskörű megvalósítása meghatározta azt a követelményrendszert, amelynek megvalósítása elől a jövőben a hasadóanyag és a szén tekintetében sem lehet kitérni.

Az 1970 és 1983 közötti helyzet

A rendkívül alacsony szénhidrogénárak következtében 1970-et követően már olyan mértékben megnövekedett a szénhidrogének, valamint ezen belül a fűtőolaj és a földgáz iránti kereslet, hogy ezzel a kedvező adottságú szénhidrogénforrások igénybevétele már végképp nem tudott lépést tartani. Ezért mind fokozottabb mértékben vált szükségessé olyan kedvezőtlen adottságú szénhidrogénforrások (például az alaszkai és a kelet-szibériai lelőhelyek)

igénybevétele is, amelyeknek költsége már nemcsak az alacsony világpiaci szénhidrogénárakat, hanem az energetikai szén és hasadóanyag előző évtizedbeli marginális költségével azonos használati értékre vonatkoztatva meghatározott erőművi szénhidrogénárat is meghaladta. 1980-ban a fűtőolaj- és földgázbázisú villamosenergia-termelés költsége már mintegy 70%-kal nagyobb volt a hasadóanyag- és a hazai szénbázison előállíthatónál.

A szénhidrogénekkel ki nem elégíthető energiaigényeknek a szénre irányulása 1970, de főként 1975 után többek között azért volt intenzív, mert a hasadóanyagbázisú villamosenergia-termelés — a vele szemben megnyilvánuló jogos *biztonsági aggodalom* következtében — annak ellenére sem tudott a szénbázisú villamosenergia-termelés teljes sikerű versenytársa lenni, hogy a hasadóanyagbázisú villamosenergia-termelés költsége az 1960-as években kb. 20%-kal alacsonyabb volt, mint a szénbázisúé.

Itt kell kitérnünk a villamosenergia-termelés fejlesztésével kapcsolatban a környezeti hatásból származó második innovációs következményre. Az atomerőművekkel szembeni ellenérzés csökkentése, illetve a hangulati versenyképesség fokozása érdekében ugyanis az atomenergia-ipar az 1970-es évek elején olyan biztonsági fejlesztést hajtott végre az erőművekben, amelyek anélkül oldották fel a jogos biztonsági aggodalmat, hogy ezáltal a szénnel szembeni gazdasági versenyképesség megszűnt volna. A biztonság fokozásával kapcsolatos feladatokat ugyanis úgy oldották meg, hogy költségterhük csak az addig meglévő gazdasági előnyt emésztette fel, vagyis a biztonsági fejlesztés végrehajtása után a szén- és a hasadóanyagbázisú villamosenergia-termelés költsége — az 1970 előtti szénárakon — gyakorlatilag azonossá vált. Minthogy azonban a hasadóanyagbázisú erőművek környezeti hatásával, illetve biztonságával szembeni félelem — bár jogossága most már nem állt fenn — csak részben szünt meg, ezért a fűtőolajjal és a földgázzal ki nem elégíthető energiaigény fedezésének feladata ebben az időszakban döntő mértékben a szénbányászatra hárult.

Fel kell azonban hívni a figyelmet arra, hogy a szükségletek kielégítéséhez 1975 és 1980 között nem nélkülözhető legkedvezőtlenebb szénhidrogén- és szénforrások marginális költségei a valóságban nem voltak olyan magasak, mint amilyen szintre a szénhidrogének és a szenek ára ezen időszakban emelkedett. Úgy becsülhető, hogy az 1970 és 1980 között bekövetkezett áremelkedéseknek legfeljebb felét lehet a nem nélkülözhető legkedvezőtlenebb források költségével megmagyarázni, az árnövekedések másik fele a monopóliumok és az érintett gazdasági hatalmak politikai machinációjának, illetve a kínálatot meghaladó kereslet pszichológiai túlhatásának volt a következménye. Ezt segítette az is, hogy a szenek és a szénhidrogének ára egymást gerjesztette azáltal, hogy a meglévő erőművek az amortizációs költségüknek megfelelő mértékben magasabb tüzelőanyagárakat is el tudtak viselni.

Erre utal egyébként az energiahordozók világpiaci árában a takarékosság további növekedésének, illetve a kereslet csökkenésének hatására 1980 után bekövetkezett mérséklődés, vagyis az a körülmény, hogy az erőművi feketeszén, valamint a fűtőolaj jelenlegi világpiaci ára már csak 45, illetve 70%-kal nagyobb az 1970 előttieknél, szemben azzal az 1980. évi helyzettel, amikor ezek az arányok elérték, illetve meghaladták a kétszerest. Amíg 1980-ban a szén-, illetve a fűtőolajbázisú villamosenergia költsége még 40, illetve 70%-kal haladta meg a hasadóanyagbázisút, addig jelenleg már csak 20, illetve 40 %-kal nagyobb annál. (Lásd *1. ábra* alsó részét.)

A távlatra vonatkozó prognózisok

A világpiaci árakat – a más célú felhasználási lehetőség jelentős hatásain kívül – természetesen motiválhatják a villamosenergia-termelés technológiájában esetleg bekövetkező változások is. Ez legkevésbé várható a szénhidrogének esetén. Az atomerőművekben a plutónium-visszatáplálás és a szaporító reaktorok alkalmazása a művelésbe vont uránércek természeti adottságainak várható romlását minden bizonnyal ellensúlyozni fogják, különös tekintettel arra, hogy a hasadóanyagbázisú villamosenergia-termelés költségén belül a tüzelőanyagköltség nem számottevő. Gazdasági hatásában azonban jelentős változás várható a szénerőművek terén, ahol a környezetvédelmi igények olyan kéntelenítési technológiák alkalmazását fogják kikényszeríteni, amelyek az erőművek (vagy a szénbányák) beruházási költségét esetleg 20%-kal is megnövelhetik. Ez lesz egyébként a környezeti hatásokból eredően a villamos erőműveket érintő harmadik innovációs következmény.

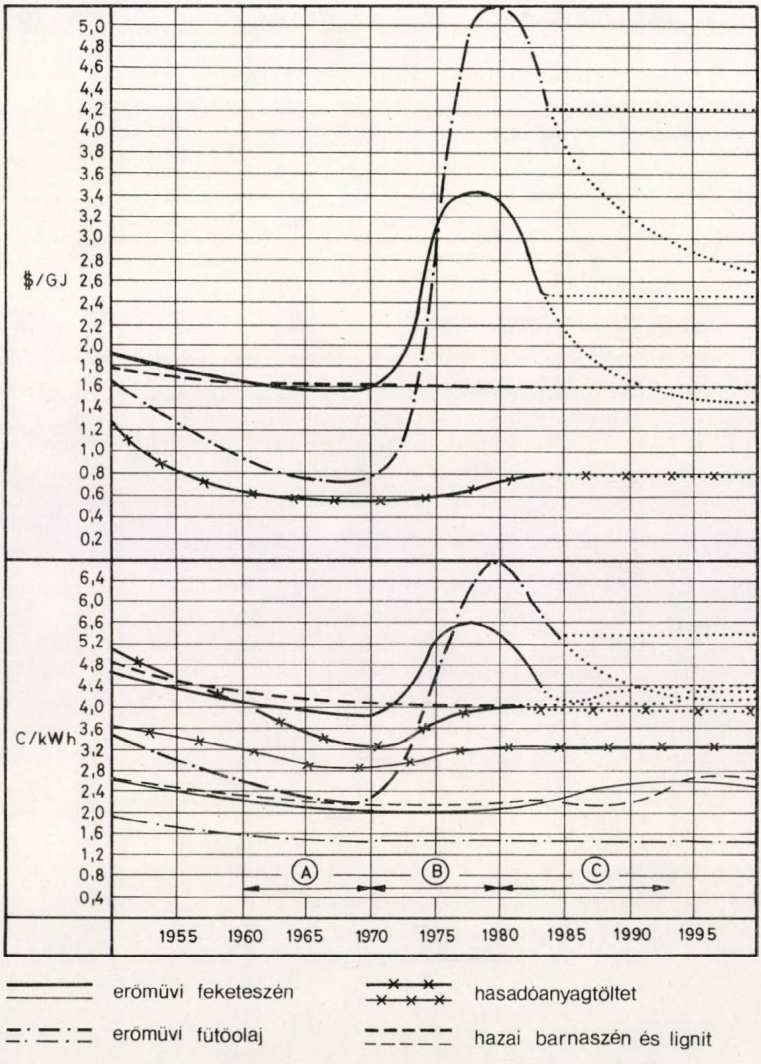
Ha az egyes energiahordozók jelenlegi világpiaci ára, valamint a hasadó anyagbázisú villamosenergia-termelés költsége alapján megengedhető világpiaci árak mellett az erőművi költségekben várhatólag bekövetkező ezen változások hatását is számításba vesszük, akkor az alapvető energiahordozók világpiaci árának és a bázisukon termelhető villamosenergia-költség várható alakulását – a lehetséges szélső értékkel jellemzetten – az *1. ábrán* pontozott vonallal érzékeltetjük. Eszerint – a mintegy 0,8 $/GJ-s, vagyis 1600 $/kg-os hasadóanyag-töltetár mellett – az erőművi feketeszén távlati világpiaci ára az 1,5–2,4 $/GJ, vagyis a 35–60 $/t, az erőművi fűtőolaj és földgázé pedig 2,7–4,2 $/GJ, vagyis 110–170 $/t határok között valószínűsíthető, természetesen ugyancsak jelenlegi értékű dollárban mérve.

Ami pedig a különböző bázisú erőművek hazai gazdaságosságának összevetését, illetve ezredfordulói prognózisát illeti, a következőket fogalmazhatjuk meg: A hazai széntermelés ugyancsak 1983-as dollárban kifejezett, – a világpiaci árat meghatározó legkedvezőtlenebb szénlelőhelyekével lényegében megegyezőnek becsült – átlagos termelési költségének és az annak bázisán előállítható villamosenergia költségének tényleges és a távlatban várható megközelítő alakulása alapján ismét csak arra a következtetésre juthatunk, hogy a szén- és hasadóanyagbázisú villamosenergia-termelés gyakorlatilag azonos költsége az elkövetkező évtizedekre annak a kombinatív energiapolitikának a helyességét igazolja, amely még akkor is ezen két energiahordozóra támaszkodik, ha közben a környezetvédelmi követelmények a szénerőművek költségét nálunk is megnövelik és mindaddig kizárja a szénhidrogénbázisú erőművek telepítését, amíg az erőművi fűtőolaj és a földgáz világipaci ára 100 $/tonna alá nem csökken.

A történelmi tényekből megállapítható, hogy az egyes energiahordozók, illetve a bázisukon előállítható villamosenergia költsége egy ideig csökken, majd pedig stagnál, vagy növekszik attól függően, hogy a szükségletek kielégítéséhez igénybevett lelőhelyek természeti adottságainak romlását, vagy a növekvő környezeti követelmények innovációs igényeit a termelés, illetve átalakítás-technika fejlődése milyen mértékben tudja legyőzni vagy ellensúlyozni.

A történelmi tények arra is rávilágítanak, hogy az egymást felváltó energiahordozók, illetve a bázisukon előállítható villamosenergia költsége még akkor is csökkenő – vagy legalábbis nem növekvő – tendenciájú, ha az esetenként abnormális hatású kereslet-kínálati ingadozások ezt a tendenciát elfedik, vagy megtörik. Ha például az 1950–60-as évek szénhidrogén-túlkínálata nem ered-

ményez rendkívül alacsony szénhidrogénárakat, ezek pedig nem váltják ki a szénhidrogén-korszakot alaposan lerövidítő túlkeresletet, akkor az 1970—1980-as években nyilvánvalóan nincs kiugróan magas szénhidrogénár sem. Normális körülmények között tehát a szénhidrogének árbefolyásoló szerepe, illetve hatása elsősorban azon kutatások gyakorlati alkalmazásának meggyorsításában (nem pedig lelassításában) nyilvánult volna meg, amelyek eredményeként a korszerű hasadóanyagbázisú (és a kedvező adottságú szénbázisú) villamosenergia-termelés kiválthatta volna kedvezőtlen adottságú szénlelőhelyek igénybevételét.



1. ábra: Az alapvető energiahordozók világpiaci árának és a hazai szén átlagköltségének, valamint az ezek bázisain előállítható villamosenergia költségének alakulása 1983-as értékű dollárban, 12 százalékos tőkekamat-terheléssel számítva

Mindezek alapján a távlati jövőre a következőket jelezhetjük előre: A szaporító reaktoros, majd a fúziós villamosenergia-termelés fokozatos elterjedése a szénhidrogéneket lényegében a vegyiparnak az alapanyagok és a motorhajtó anyagok iránti igényének kielégítésére fogja leszűkíteni (az olcsó villamosenergia bázisán megvalósítható villamos járművek elterjedése még ezt az igényt is csökkentheti), a széntermelést pedig — a speciális igényeket kielégíteni hivatott bányák mellett — a kedvező adottságú, általában a külfejtéssel művelhető szénelőfordulásokra fogja koncentrálni.

Minthogy azonban a feldolgozóipari termékek esetében — amelyeknél természeti adottságok nem gátolják a művelésfejlesztés eredményeinek teljes érvényesülését — a termelési ráfordítások általában nagyobb mértékben csökkenhetnek, mint az igénybevett források természeti adottságainak romlásával terhelt energiahordozók esetén, ezért a cserearányok továbbra is az energiahordozók irányába fognak romlani. Ebből következik, hogy az energiahordozók importja, csak a kedvező adottságú energiahordozó lelőhelyeket nélkülöző azon országok számára lesz a jövőben célszerű, amelyek a feldolgozóipari termékek előállítási költségét a világátlagú mérséklődésnél nagyobb mértékben lesznek képesek csökkenteni.

Összefoglalás

A villamosenergia-termelés környezeti kölcsönhatásainak szerepét az energiahordozóbázis megválasztása, illetve az erőművek technológiai innovációja terén a következőkben foglalhatjuk össze:

Az *1. ábrán* feltüntetett *A* időszakban, vagyis főként az 1960-as években létesültek a világon nagy számban a fűtőolajerőművek. Környezetkímélő szerepüknek viszonylag kisebb volt a jelentősége, az alapvető ok az olajerőműveknek a szénerőművekhez képest jóval kisebb beruházásigénye, főleg pedig az igen alacsony kőolajár volt. E szakasz jelentősége a környezetvédelem szempontjából főként abban nyilvánult meg, hogy fokozott igényeket lehetett támasztani a környezetkímélő villamosenergia-termelés megteremtése iránt.

Az ábrán jelzett *B* időszakban, vagyis főleg az 1970-es években indult meg a hasadóanyagbázisú erőműveknek környezetbiztonsági okból történő innovációja. Erre az atomerőművekkel szemben világszerte tapasztalt félelmi elzárkózás adott indítékot, gazdasági háttere pedig a szénhidrogének és a szén időközben megnövekedett világpiaci ára volt.

Az ábrán ugyancsak feltüntetett *C* időszakban, vagyis előreláthatóan az 1985—1990-es években kerül sor a szénerőművek környezetvédelmi innovációjára. Ennek indítékául a világszerte megnövekedett környezetvédelmi igények szolgálnak, a realizálást pedig az biztosítja, hogy a kedvezőbb adottságú és korszerűbb technológiájú szénbázisok és a hasadóanyagbázisú erőművek képesek lesznek pótolni azokat a szénbázisokat, illetve szénerőműveket, amelyek ezeket a korszerűsítési költségeket esetleg nem lesznek képesek elviselni.

Így válnak az erőművek (és más felhasználók) környezetvédelmi kölcsönhatásai az energiahordozók világpiaci értékét és az erőművek technológiai fejlesztését egyaránt jelentősen befolyásoló tényezőkké.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 88. évf. 5—6. szám. 1984. szeptember—december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 5. 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

A bányászat és környezetvédelem kapcsolata[1]

SIMON KÁLMÁN, *Központi Bányászati Fejlesztési Intézet, H—1525 Budapest, Pf. 83.*

Relationship between mining and environmental protection. The environmental characteristics of the Hungarian mining and the related tasks are briefly summarized. It is stated that in the future we have to devote more attention to the reduction of environmental injuries. The participation of different environmental institutions in the planning of mining investments is proposed.

⁂

A bányászat és környezetvédelem kapcsolata. A szerző röviden összefoglalja a hazai bányászat környezetvédelmi sajátosságait és az ezzel kapcsolatos feladatokat. Megállapítja, hogy a környezetvédelmi ártalmak leküzdésére a jövőben nagyobb figyelmet kell szentelnünk. Javasolja, hogy a bányászati beruházások előkészítésében a környezetvédelem egyes részterületeit jól ismerő szakintézmények is vegyenek részt.

⁂

A bányászati tudományok távlati kutatási főirányainak tervezésénél a ma már jól becsülhető evidenciákra alapozunk, de természetesen mindig figyelembe vesszük a népgazdasági- és világmodellekből adódó rendszerösszefüggéseket is. A bányászati tudományok kutatási prognózisának kidolgozásánál a következő három szempontot, illetve jelenséget tartjuk egyaránt meghatározó jelentőségűnek:

1. Gyorsuló technológiai verseny tapasztalható, amely máris félreismerhetetlen kihatással van az ásványi nyersanyagkészletek gazdaságos kiaknázhatóságára.

2. A bányászat környezetvédelmi korlátai egyre erősebben, sokrétűbben és jogosabban jelentkeznek és az ezek kitolására irányuló törekvések visszacsatolást jelentenek a technológiai versenyhez.

3. A bányászat nagy volumenű és hosszú megtérülési idejű beruházásai miatt különösen érzékeny a világpolitikai helyzet alakulására, illetve fordítva, a bányászati termékek világpolitikát befolyásoló tényezőkké válhatnak.

Tudományos „szint-áttörések" természetszerűleg főként az 1. pontban említett technológiai versennyel kapcsolatban várhatók, amely a 2. és 3. pontban említett jelenségektől elválaszthatatlan.

A hazai bányászat technikai színvonalának nemzetközi összehasonlításban meghatározott helyzetéről és a fejlesztés távlati irányairól a KBFI szakemberei a közelmúltban összefoglaló tanulmányt készítettek, melyben a környezetvédelmi kérdések kiemelt szerepet kaptak. Ezen tanulmány megállapításait is figyelembevéve kívánom a hazai bányászat környezetvédelmének sajá-

(1)Hozzászólásként hangzott el.

tosságait jelen korreferátumban összegezni. A bányászat és a környezet kapcsolatát két fő transzportfolyamat jellemzi:

Az egyik a bányászati *üregnyitással és felhagyással járó állapotváltozások* összessége a kőzetkörnyezetben, hol a „kőzet" megnevezése ez esetben a szilárd és a fluidumi (folyadék és gáz) fázist egyaránt tartalmazza. Ha ezeket a relációs folyamatokat a bányászati tevékenység, a bányában tartózkodó ember helyzetéből szemléljük, úgy ezek az ún. bányászati elemi veszélyek (pl. kőzetomlás, vízbetörés, gázkifúvás, és ezek összetettebb jelenségei, a vizes kőzetbetörés, gázos kőzetkitörés stb.). Ugyanezeket az első csoportba tartozó transzportfolyamatokat a bányászati tevékenység természeti környezetéből szemlélve, a bányászat környezetkárosító hatásainak egyik nagy csoportját találjuk. A legjellemzőbbek a következők:

a) Kőzetmozgás eredetű bányakárok
- mélyműveltek felett és közvetlen környezetében,
- külfejtési munkagödrök szomszédságában.

b) Vízmozgással kapcsolatos bányakárok, amelyekre viszont az jellemző, hogy a bányászat távoli környezetére is kiterjednek, ilyenek:
- vízelvonásos bányakárok,
- a vízszint visszaemelkedéséből, a bányászat felhagyásából eredő károk.

c) Víz-, kőzetmozgás-jelenségek körébe tartozó legismertebb bányakárok
- kőzetmozgások (felszíni süllyedések) bányászati vízszintsüllyesztések következtében.

d) Gázmozgás-jelenségekkel kapcsolatosan elvileg ugyanezek fordulhatnak elő, de ezek nem gyakori és nem jelentős környezetkárosító hatások.

A transzportjelenségek másik fő csoportja *a föld kérgéből leválasztott, kiszállított anyagok mozgása, tárolása*. Ezt a bányászat felől a kitermelés, a feldolgozás, a hulladékkezelés folyamataiként szemléljük, míg a természeti környezet számára ugyanezek a folyamatok a bányászat emissziós környezetkárosító hatásait jelentik. Ezek közül a kitermeléshez kapcsolódók pl.

- a külfejtések porszennyezése,
- meddőhányók, amelyek anyaguktól függően a termőtalajt, a vizeket, a levegőt egyaránt szennyezhetik, a tájat csúfíthatják,
- a felszíni vízfolyásokba kibocsátott szennyezett bányavizek.

A nyersanyag-feldolgozás körében, mint bányász, csak azokat a feldolgozási folyamatokat említem, amelyek a bányászat tevékenységi köréhez tartoznak. Ezek közül a legfontosabbak az ásványelőkészítő-művek szennyvizei, a porszennyeződés és meddőhányók iszaptavai.

Az említett két transzport jelenségcsoport szükségszerűen kapcsolódik is egymáshoz. E komplex jelenségek között említhetők, pl.

- a felhagyott vízzel telt bányák nem mindig káros hatásai a felszín alatti vizekre,
- a vízelvonás és bányavíz-kibocsátás kölcsönhatásai, amelyre példát a tatabányai medence Általér völgyéből még említeni fogok.

Ezek a jelenségek, mint környezetszennyező hatások a bányászat természeti adottságaitól, az emberi környezettől, a bányászott nyersanyag tulajdonságaitól, a kitermelés és feldolgozás technológiájától függően országonként, bányavidékenként más-más jelenségek, és más súllyal jelentkeznek. E tekintetben is éppen úgy, mint másban, a hazai bányászatnak vannak sok más országgal közös és sajátos gondjai.

Az ország gazdasági fejlettségi szintjéből, lakosságsűrűségéből következően a fejlett és közepesen fejlett ipari országokkal közös gond a lakott területek aláfejtése, meddőhányók visszatájosítása. Az évi bányameddő-termelésünk, azaz az a meddő, amelyet a bányagödrön kívül helyezünk el, 5,5 millió tonna, és ebből csak 170 ezer tonnát hasznosítanak. A „külső" meddőhányók száma 47, összterülete 6—8 ezer hektár.

A hazai bányászat által okozott légszennyezés viszonylag csekély mértékű, hasonlóan pl. az USA-hoz, ahol a teljes légszennyezés csupán 1,4%-a származik a bányászati tevékenységből. A legjelentősebb légszennyezést a szénbányák meddőhányói okozzák, különösen az égő meddőhányókból származik több ezer tonna/év kén emisszió. A bányászat által okozott porszennyezés eléri a 7 ezer tonnát évente, ha a pontszerű kibocsátásokat tekintjük.

Ugyanakkor a világ átlagához képest *specifikus természeti adottságunk a hazai bányászat vízveszélyessége* és ezzel összefüggésében a bányászat hatása az ország felszín alatti vízeire. Ugyanezekből a természeti adottságokból azonban az is következik, hogy a kibocsátott bányavizek 60%-a ivóvíz minőségű, amelynek csak 27%-át hasznosítják. A nem ivóvíz minőségű bányavizek többsége is jobb minőségű, mint a befogadó felszíni vízfolyás, ugyanakkor a kibocsátott bányavíz gyakran növeli a felszíni vízfolyás hasznosítható kisvízhozamát is. Ezek a környezeti hatások gyakran nagyon összetett formában jelentkeznek és nem minden esetben károsak. Szeretnék két példát említeni.

A bányák víz elleni védelmét célzó *vízszintsüllyesztési* tevékenység hatásai a felszíni vizeket is tápláló forrásokra, valamint a bányavízkibocsátások helyének vándorlása a bányászati tevékenység vándorlásával, egészen sajátos felszíni vízgazdálkodási gondokat is okoz. Például Komárom megyében az Általér völgyében, ahol a patakot tápláló természetes források a bányászat hatására már elapadtak, és egy-két évtizedig nem is áll vissza az eredeti állapot. Az elapadt forrásokat azonban pótolta a vízhasználatok számára a kibocsátott bányavíz. A nagymennyiségű bányavizet kibocsátó bányászat azonban megszűnik az Általér völgyében, nevezetesen a tatabányai medencében. A jövőben a bányavizeket a Velencei tó vízgyűjtőjébe bocsátják. Ez vízgazdálkodási problémát jelent, amelyre természetesen van műszaki megoldás, pl. a bányavíz átvezetése az Általér völgyébe.

A másik példát a bányatóként *felhagyott kavicsbányák* sorából emeljük ki. Ezekre a környezetvédők és a vízgazdálkodás szakemberei úgy tekintenek, mint nyitott sebekre a földalatti víztárolók testén, ahol a szennyezés azokba bejuthat, ugyanakkor ezek a tavak a vízdúsítás, a vízkészlet-gazdálkodás objektumai is. Intézetünk egy Szentendre környéki konkrét helyzetet vizsgálva, pl. arra a következtetésre jutott, hogy a talajvíztárolót, amelyre a vízmű kútjait telepítették, ott a Duna szennyezte és a bányatavak vize javította. Ezek az ellentétek is hozzátartoznak a hazai bányászat vízzel kapcsolatos környezeti hatásainak teljes képéhez.

Mindezek az ellentétek szemléltetik, hogy a környezetvédelem tevékenységét magasabb rendűen szervezett tevékenységként, *környezetgazdálkodásként kell értelmezni* és gyakorolni. Környezetgazdálkodási feladataink a „világ bányászatának átlagához" hasonló és attól eltérő adottságainkból következően részben azonosak, részben eltérőek. Mint a kutatás-fejlesztés-tervezés területén dolgozó bányász, a környezetgazdálkodás feladataiból elsősorban a fejlesztés feladatait emelném ki. A fejlesztés hatékony adaptáció lehet ott, ahol feladataink más országokéhoz hasonlók. Ezek a területek:

— a légszennyezés (kéntelenítés, égő meddőhányók stb.),

– emissziós vízszennyezés (elsősorban az előkészítő műveknél),
– aláfejtés.

Természetesen ezen a területen is vannak olyan magyar fejlesztési eredmények (mint pl. a Haldex technológia, egyes vízkezelési eljárások stb.), ahol a megszerzett előnyt tartani érdemes, két ismert okból. Az adaptáláshoz is olyan színvonal kell, amelyet legalább jelentős, új részeredményeknek kell reprezentálnia, másrészt ahhoz, hogy fejlesztési eredményt vásárolhassunk, kell ilyenből eladható termékünknek is lenni. Két olyan feladatkör van, ahol hazai adottságaink a hatékony adaptáción túl leginkább intenzív saját fejlesztésre is kényszerítenek bennünket.

Az egyik feladatkör az ország különösen értékes mezőgazdasági termőterületének védelme, az ásványi nyersanyagok kitermelésével egyidőben. A fejlesztés iránya közismert:

– a meddőhányók csökkentése a nyersanyag komplexebb hasznosításával (pl. Haldex technológia és annak továbbfejlesztése),
– a meddőhányók mezőgazdasági újrahasznosításának meggyorsítása (ahol ugyancsak az elért jelentős eredmények továbbfejlesztése a feladat),
– az építőanyag-bányászat (pl. kavicsbányászat) felhagyott bányagödreinek beillesztése a fejlettebb környezetgazdálkodás rendszerébe, figyelemmel a vízgazdálkodás, a mezőgazdaság és a hulladékelhelyezés komplex, de esetenként egymással ellentétes céljaira, érdekeire.

A másik feladatcsoport a szilárd nyersanyagbányászat a vízgazdálkodás és a termálvíz sokoldalú hasznosításának fejlett környezetgazdálkodását kell céloznia. A környezetgazdálkodás megvalósítása nagy, országrésznyire kiterjedő területeken a felszín alatti vízmozgásfolyamatok és azok kölcsönhatásainak megbízható szabályozását igényli. A szabályozáshoz a folyamatokat ismerni, előrejelezni és hatékonyan befolyásolni kell. Ami a feladatok megismerését, modellezését jelenti, ez eddig is eredményesen megvalósított adaptációs feladat volt. A szükséges ismeretanyagot a föld- és bányászati tudományok, pl. a rezervoármechanika, a hidrogeológia tartalmazza, a szénhidrogénbányászatban a vízgazdálkodás területén a bányászat megtalálta a fejlett alkalmazási példákat is, és innen merítette ismereteit, modelljeit és azokat saját feladataira adaptálta. Jelentős alkalmazott földtudományi kutatási feladat azonban annak a geológiai környezetnek a megismerése, ahol a transzportfolyamatok lejátszódnak, nem kevésbé a transzportfolyamat egyszerűsített modelljének a valósághoz kielégítően illeszkedő paraméterek meghatározása. Ez a megbízható előrejelzés kulcskérdése.

Nagymértékben egyetértek mindazokkal, akik a környezetvédelmi előrejelzéseink megjavításához jelenleg nem elsősorban a meglévő modell, hanem az abba betáplálandó paraméterek pontosítását szorgalmazzák. A megismert folyamat szabályozásának célszerű megoldása nem kevésbé fontos fejlesztő feladat. A műszaki megoldások megtalálása és kifejlesztése a bányászat elméletének és gyakorlatának közös terméke volt. Így volt ez az eocén bányák kombinált vízvédelme esetében és így alakult ki legutóbb a Hévízi-tó védelmének hatásosnak és gazdaságosnak ígérkező megoldása is. Jóleső érzés, hogy ebben a közös munkában a Központi Bányászati Fejlesztési Intézetnek is része lehetett.

Végül, de nem utolsósorban szeretnék olyan fejlesztési területeket említeni, ahol a bányászat ismeretei, adottságai a környezetvédelmi feladatok megoldásához segítséget adhatnak. Az egyik ilyen terület a hulladékelhelyezés

felhagyott és működő bányákban, ahol intézetünknek vannak javaslatai és kezdeti eredményei. A másik terület a bányászati vízkizárási anyagok és technológiák alkalmazása a hulladékok felszíni munkagödrökben való izolált tárolásához.

Az elmondottakból is látható, hogy bányászatunk környezetvédelmi feladatai mindenképpen országos feladatok is, illetve abba szervesen illeszkednek. Tekintettel arra, hogy a bányászathoz hasonlóan más ipari objektumokkal kapcsolatos környezetvédelmi kérdések is komplex szemléletet és megítélést igényelnek, ezért megfontolandónak tartom, hogy a környezetvédelem egyes részterületeit (víz, levegő, talaj, növényzet, ásványvagyon, táj stb.) jól ismerő szakintézmények *a beruházást előkészítő folyamathoz* társulás vagy más együttműködési formában közösen vizsgálják és véleményezzék az okbjektumok környezetvédelmi kérdéseit, a célszerű megvalósíthatóság szempontjából.

Végezetül utalni szeretnék rá, hogy a jövőben feltétlenül számolnunk kell azzal, hogy nyersanyagbázisunk növekvő igénybevétele folyamán fokozottabb mértékben kell leküzdenünk a környezeti ártalmakat. Ez a növekvő tendencia szükségképpen kényszerít bennünket arra, hogy műszaki, gazdasági, jogi vonatkozásban megfogalmazódjanak, megnyilvánuljanak a fejlesztő munkával, egyetértéssel született elvek, amelyek a gyakorlati életben már korszerű funkcionálásra képesek.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5—6. szám. 1984. szeptember—december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

Az építőanyag-bányászat környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei

PATVAROS JÓZSEF, *Nehézipari Műszaki Egyetem Bányaműveléstani Tanszék, H—3515 Miskolc, Egyetemváros Pf. 15.*

Environmental effects of building material mining and possibilities for their removal. The environmental problems related to the mining of different row materials for building are discussed. The possible ways for reconciling technical efficiency with environmental needs are presented. It is concluded that the problem can be solved by means of system analysis.

⁎

Az építőanyag-bányászat környezeti hatásai és az elhárítás lehetőségei. A szerző elemzi az építőipari nyersanyagok kitermelésének környezetvédelmi kérdéseit. Bemutatja a technikai hatékonyság és a környezetvédelmi követelmények összehangolásának lehetőségeit. Leszögezi, hogy a kérdést rendszerszemléletűen kell megoldanunk.

⁎

1. *Szálbanálló építőipari nyersanyagok kitermelésének környezetvédelmi kérdései*

A szálbanálló építőipari nyersanyagok kinyerésének tekintélyes hányada a ciklikus-folyamatos (fúró-robbantó) technológiájú kitermelés eredménye. Ezen bányászati technológiai rendszerrel kapcsolatos alapvető követelmények a következők:

- a termő, illetve erdőgazdaságok területei minél kisebb mértékű és idejű igénybevétele;
- az ásványveszteség és a hígulás minimalizálása;
- a minél szabályozottabb mértékű felaprítás az egyéb környezeti kihatások (zaj, illetve vibráció, a szeizmikus károsodás, a kőzetkivetés és a léglökési károsodások, porszennyeződés stb.).

A felemlített műszaki hatékonysági és a környezetvédelmi követelmények komplex összehangolása leginkább a hosszú fúrólyukas robbantások alkalmazásával lehetséges s ezen belül a következő megoldásokkal:

- a kőzettulajdonságokhoz legjobban illeszkedő tolóhatású robbanóanyagok alkalmazásával;
- a fúrólyukakon belül osztott töltetkonstrukciók kialakításával;
- a fúrólyukakon belül a talpi és a felső indítások kombinált alkalmazásával;
- megfelelő késleltetési fokozatok kialakításával a fúrólyukak között az egyes sorokon belül, illetve az egyes sorok között az egyenletes felaprítást biztosító hullámhatás hatóidejének az elnyújtásával, a másodlagosan felaprítandó kőzetdarabok hányadának minél alacsonyabb szintre történő leszállítása érdekében;

– a tömegrobbantások számának csökkentésével és a kapcsolódó munkafolyamatok (rakodás, szállítás, elő-, illetve utóaprítás) minél egyenletesebb és minél jobb időbeli kihasználtságú összehangolásával;
– az egy tűzben elrobbantható maximális töltetmennyiség meghatározásánál a műszaki hatékonyság és a gazdaságosság alapkövetelményei mellett legfontosabb a megfelelő biztonsági előírások betartása a zaj, a vibráció a repesz, a szeizmikus, a por- és a léglökési hatások csökkentése érdekében. A környezetvédelmi követelmények kielégítésében természetesen az utólagos védekezési intézkedéseknek is megvan a maguk jelentősége, de azok leghatékonyabban a megfelelő környezetkímélő technológiák kialakításával és alkalmazásával érhetők el.

A szálbanálló kőzetes építőipari nyersanyag termelésben a bányászati termelési folyamatok térben és időben minél egyenletesebbé tételében új irányt jelent a nagy vándor törőberendezések alkalmazása, amelyek a fúró-robbantó technológiával kitermelt nyersanyaghalmazhoz szorosan csatlakozva azonnal az elő-, illetve a közép-aprítást és az anyag továbbmozgatását is megoldják. Léteznek azonban a vándor törőberendezéseknek olyan változatai is, amelyek már a szálbanálló, nagy szilárdságú kőzetek folyamatos gépi jövesztését is meg tudják oldani, ekkor elmaradnak a fúró-robbantó technológia összes környezetkárosító kihatásai.

A szálbanálló kőzeteket termelő építőipari külfejtéseknél a bányaművelés munkafolyamatát a fejtésfelhagyást is a környezetvédelmi követelmények messzemenő figyelembevételével, a veszélyes rézsűk felszámolásával, a táj rekreálásával és rekultiválásával kell végrehajtani.

2. *A laza szerkezetű építőipari nyersanyaglelőhelyek kitermelésének környezetvédelmi kérdései*

Jelenleg az építőipari nyersanyaglelőhelyek kitermelésében a legnagyobb gondot a laza szerkezetű (homok, kavics) előfordulások kitermelése jelenti, mert

– a rendelkezésre álló, főleg mechanikus kotráson alapuló berendezésekkel kicsi az elérhető művelési határmélység s ezért nagy az ásványveszteség, olykor 50–70%;
– a kis művelési határmélyég az egyenletes termelés követelményét megtartva a bányaművelés gyorsított ütemű horizontális terjeszkedését és egyre újabb termőterületek elvonását eredményezi;
– a laza szerkezetű építőipari nyersanyaglelőhelyek zöme a talajvízszint alatt helyezkedik el, s így a bányaművelés elhaladása után tófelületek maradnak vissza, amelyeknek a hasznosítása csak kisebb mértékben van megoldva. A problémát csak fokozza, hogy az építőipari nyersanyagelőfordulások kitermelése során igénybevett területek nyolcszor akkorák, mint a szénbányászati külfejtéseknél. További gond, hogy addig, amíg a szénkülfejtéseket a bányatörvény és a bányahatóság szigorúan kötelezi a bányaművelés által felhagyott területek rekreálására és rekultiválására, addig ez a tevékenység laza szerkezetű (homok, kavics) építőipari nyersanyagok kitermelésénél a viszonylag enyhébb szabályozások miatt alig érvényesül a gyakorlatban.

Az említett nehézségek felszámolásában a hidromechanizációs technológia szélesebb körű bevezetése segíthet. Ennek segítségével egyrészt a bányászati

(jövesztés, rakodás, szállítás), másrészt az előkészítési (osztályozási, dúsítási) munkafolyamatok a víznek, mint egységes munkaközegnek a segítségével kapcsolhatók össze körfolyamatos rendszerben.

A hidromechanizációs technológia szélesebb körű elterjesztése a termőterületek igénybevételének csökkentése, illetve kímélése, valamint az építőipari nyersanyagvagyon minél hatékonyabb kiaknázása érdekében a következő megoldásokat teszi lehetővé:

- a hagyományos mechanikus technológiával kimerültnek nyílvánított bányák újbóli művelésbe vonását és a veszteségként visszamaradt ásványvagyonok (homok, kavics) teljes vastagságban történő kitermelését;
- a működő és az újonnan telepítendő bányák határmélységének lényeges kitolását, a bányaművelés horizontális terjeszkedési sebességének csökkentését, s ezáltal kevesebb, de nagyobb kapacitású üzemek kialakítását.

Az építőanyag-termelésben a bányászat és a további feldolgozás környezetvédelmi feladatait rendszerszemléletűen kell megvizsgálni és összehangolni, mert mindkét részrendszer kölcsönösen befolyásolja egymást. A fejletlen, rossz anyagminőséget eredményező bányászat ugyanis a feldolgozási lánc további kapcsolódó elemeinek a hatékonyságát is lerontja, a fejlett feldolgozási módszerek és eljárások viszont a gyengébb minőségű lelőhelyek, illetve lelőhelyrészek gazdaságos és környezetkímélő kitermelését is lehetővé teszik.

A komplex hidromechanizáció alkalmazásával olyan bányászati technológiai rendszerek kialakítására nyílik lehetőség, amelyek az ásványlelőhelyek ésszerű kitermelésén túl a termőterületek maximális védelmét is megoldhatják, az ásványveszteségek minimalizálásával és a bányaművelés által felhagyott területek tervszerű rekultiválásával, a termőterületek minél nagyobb értékű helyreállításával.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5—6. szám. 1984. szeptember—október
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

Az alumíniumfeldolgozás különböző fázisaiban keletkező környezeti hatások és azok elhárítási lehetőségei

GEBHARDT JÁNOS, *Magyar Alumíniumipari Tröszt, H—1133 Budapest, Pozsonyi út 56.*

Environmental impacts originating from the various processing stages of the aluminium industry and their possible reduction. The Hungarian aluminium industry is the only industrial branch in the country which is entirely based on the processing of indigenous raw material. The Hungarian Aluminium Corporation unites the whole line of production from bauxite mining to semi-products manufacture and has substantial capacities in finished products processing. Plant units of the Hungarian Aluminium Corporation are operating in more than 50 locations and thereby immediatly effecting the environment. In respect to the total output of air polluting material with a quantity of about 2.5—3.0 thousand tons per year the aluminium industry is in a better position than the chemical-, the energy- or the steel industries. Considering the environmental impact of the various plants of the Hungarian Aluminium Corporation, it turns out that those stages processing more refined materials and being able to-reuse process wastes on site are in a much more favourable position than bauxite mines, alumina plants and smelters, which handle large quantities of material. For the latter branches considerable amounts have been investesd by the Hungarian Aluminium Corporation to protect the environment, and even more has to be spent in the future.

⁂

Az alumíniumfeldolgozás különböző fázisaiban keletkező környezeti hatások és azok elhárítási lehetőségei. A magyar alumíniumipar hazánk egyetlen olyan iparága, amely kizárólag hazai nyersanyagot dolgoz fel. A Magyar Alumíniumipari Tröszt átfogja az iparágat a bauxit bányászatától az alumínium-félgyártmánygyártásig, ezen túl a készárutermelésben is jelentős kapacitással rendelkezik. A MAT objektumai az országnak több mint 50 településén fejtenek ki közvetlen hatást a környezetre. A MAT össz-légszennyezőanyag kibocsátás tekintetében — a maga 2,5—3,0 kt/év mennyiségével kedvezőbb helyzetben van, mint a nehézvegyipar, a villamosipar és a vaskohászat. A MAT vállalatainak a környezetre gyakorolt hatását vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a vertikumnak a nagyobb kikészítettségű anyagokkal dolgozó szakágazatai — ahol a feldolgozásra kerülő anyagok tömege kisebb, s a keletkező hulladékok helyben feldolgozhatók — sokkal kedvezőbb helyzetben vannak, mint a nagy tömegekkel dolgozó bauxitbányászat, timföldgyártás és alumíniumkohászat. Ez utóbbi szakágazatokban eddig is nagy összegeket fordított a MAT a környezetvédelemre, de további áldozatokat kell vállalni még a jövőben is.

⁂

A magyar alumíniumipar — mint olvasóink előtt is ismeretes — hazánk egyetlen olyan iparága, amely kizárólag hazai nyersanyagot dolgoz fel. A Magyar Alumíniumipari Tröszt (a továbbiakban MAT) átfogja az iparágat a bauxit bányászatától az alumínium-félgyártmánygyártásig, ezen túl a készárutermelésben is jelentős a kapacitása. Bányatelephelyeinkkel együtt a MAT környezetszennyező létesítményei az országnak több mint 50 településén, illetve telepén találhatók, a fővárostól az eddig még nem lakott, leendő bányatelepig.

A MAT az össz-légszennyezőanyag kibocsátás tekintetében — a maga

2,5—3 kt/év mennyiségével — kedvezőbb helyzetben van, mint a Villamosipari Művek Tröszt az erőművei miatt, illetve a vaskohászat, a cementipar és a vegyipar egyes ágazatai, mert ezek egyenkénti légszennyező kibocsátása 300—500 kt/év mennyiségekkel jellemezhető. Kétségtelen azonban, hogy alumíniumkohóink közül különösen Inota a fluór kibocsátása miatt eléggé ismert, és az Ajkai Erőmű miatt a közelmúltban az Ajkai Timföldgyár és Alumíniumkohót is elmarasztalták.

Mint ismeretes, a MAT a különböző szakágazataiban a felszabadulás óta jelentős kapacitásnövelő fejlesztéseket hajtott végre. Ennek eredményeként azonban a környezetvédelmi kívánalmak betartása ezeken a területeken — a bővítés időszakában megkövetelt szinten — kielégítő. A legutolsó nagy fejlesztés során végrehajtott környezetvédelmi beruházások pedig jó helyzetet teremtettek a félgyártmánygyártás szakágazatunkban is. Az évente kifizetett bírság összege csökkenést mutat. Az 1982-ben kifizetett 1,1 MFt bírság a termelési értékünknek csak 0,005%-a.

A MAT egészét érintő közléseim után ismertetem a vertikum szakágazatait, hogy tevékenységük és telephelyeik, valamint környezetvédelmi hatásaik, kapcsolataik, majd elhárításmódjuk értelmezhető legyen.

Bauxitbányászat

Az Európában kibányászott bauxit 30,0%-át adó magyar bauxitbányászat a bauxit településétől függően mélyműveléses, vagy külfejtéses jövesztéssel dolgozik. A bányászat mindkét módozatával, de különösen a külfejtésekkel károsítjuk a talajt, az alapkőzetet, de a vizeket és az élővilágot is. Bauxitbányászatunk kezdetén (1920 körül) a külfejtéses jövesztés volt a jellemző termelési mód, annyira, hogy az 1945-ig kibányászott mintegy 8 Mt bauxitnak csak 8%-a származott mélyművelésből. A felszabadulást követő nagy alumíniumipari fejlődést megalapozó bauxittermelés egyre nagyobb arányú mélyművelést igényelt. Jól mutatják ezt az alábbi adatok, amelyek a mélyművelésből származó bauxittermelést a kibányászott összes bauxit %-ában fejezik ki:

Év	1950	1960	1970	1980
%	67	67	84	82

Az időközben megjelent törvények, rendeletek azonban egyre nagyobb követelményeket támasztanak a föld védelmére, kötelezően írták elő a földterületek rekultiválását, újrahasznosítását, amelynek két fő fázisát különböztethetjük meg:

— a tájrendezés, vagy technikai rekultiváció keretén belül a bányászati tevékenység következtében károsult területek térszíni elrendezését, süllyedékek, bányagödrök betemetését, a földben maradt műtárgyak eltávolítását, s a talajréteg helyreállítását kell elvégezni.,
— az újrahasznosítás, vagy biológiai rekultiváció során a károsult területnek az erdő-, vagy mezőgazdasági területként leendő hasznosításához szükséges munkálatokat: melioráció, erdőtelepítés, gyepesítés stb. kell megvalósítani.

A bányatörvény végrehajtására kiadott 9/1961. sz. Korm. rendelet szerint a tájrendezés a bányavállalat, a biológiai rekultiváció az új tulajdonos feladata.

A *mélyműveléses bányaüzemek* nagyobb súlyúak a terület igénybevételében és a termelésben is, de kisebb gondot okoznak a föld védelme, valamint a finanszírozás forrása szempontjából. A mélyművelésnél a terület igénybevétele két célt szolgál:

- üzemi épületek, bánya-objektumok, bányaudvar, szállító útvonalak és meddőhányók területei,
- süllyedéssel, felszakadással veszélyeztetett területek, amelyeken felszíni objektumok nincsenek.

Az első esetben hosszú idő után és nagy költséggel lehet a bányászat előtti állapotot visszaállítani, ezért nagy gonddal kell kiválasztani a 10—20 éves létesítmények helyét, lehetőleg kevéssé értékes földterületen. A süllyedés miatt viszont elsősorban a termőhelyi adottságok változnak, nevezetesen:

- lefolyástalan területek alakulhatnak ki,
- vízfolyások módosulhatnak,
- a talavízrendszer megsérülhet,
- mikroklíma változhat,
- talaj és erdő károsodhat.

A földmozgás miatt veszélyeztetett körzetek nagyobbak, de ezek helyreállítása könnyebb és kisebb időtartamra kell bányászati célra igénybe venni.

A *külfejtések* aránya a közelmúltban ismét növekszik, az 1980. évi 18%-ról 1983-ra már 34%-ra emelkedett az Iharkút közelében feltárt és a termelésbe egyre erőteljesebben bevont készletek következtében.

A külfejtéssel művelt bányák erőteljes beavatkozást jelentenek a környezetükben. A külfejtés miatt megbomlik a táj eredeti ökoszisztémája, melyet a környezeti tényezők és az élővilág bonyolult egysége határoz meg. Éppen ezért a helyreállítás a mélyműveléseknél szokásosnál fokozottabb gondoskodást, körültekintést és anyagi eszközöket igényel. A külfejtések tájrendezésekor részben a bányagödör, vagy tó, részben a meddőhányó felszámolásáról van szó. Helyreállítás eredeti állapotba természetesen nem lehetséges, mert a kitermelt bauxit hiányzik, de egymás utáni kitermelések esetében — ha közeliek az előfordulások —, a letakarítandó talaj a felhagyott gödörbe szállítható. További jó megoldás egyes szép külfejtésnek természetvédelmi területté nyilvánítása, amint a Nyirád térségi Darvastó VI. sz. bauxitlencsét 1971-ben védetté nyilvánították.

A részben még üzemben lévő, részben már felhagyott külfejtéses bányáink rekultivációjára pontos terv készült, amelynek összege — mintegy 14 telephelyet érintően — meghaladja a 275 MFt-ot. A jelenleg megkutatott, külfejtésre alkalmas bauxitlelőhelyek a jövőben

Iharkút—Németbánya	1987-től
Csabpuszta—Nyírád	1991-től
Fenyőfő	1992-től

még további, mintegy 2 km² rekultiválandó területet jelentenek.

A bányászati tevékenységnek a földfelszínt károsító hatásán túl a vizekre gyakorolt hatása nagyon jelentős. A bauxitbányászatnak leglényegesebb a hatása a felszín alatti vizekre, ebből is elsősorban a karsztvízrendszerekre, másodrendűen a réteg- és talajvízrendszerekre. Kisebb jelentőségűek a bányavizek elvezetésével és a víz minőségének megóvásával kapcsolatos kötelezettségeink. A leművelésre kerülő bauxitrétegek felszín alatti mélysége már 1950-

ben elérte a Dunántúli-középhegység főkarsztvízrendszerének eredeti szintjét. Meg kellett kezdődnie a bauxitbányászat biztonságát és gazdaságos működését szavatoló vízvédelem kiépítésének, azaz a bányászati tevékenységet megelőző vízszintsüllyesztésnek.

A vízveszélyes mélységből, az eredeti vízszint alól termelt bauxit aránya azóta fokozatosan növekedett az alábbiak szerint:

Év	1950	1960	1970	1980
%	42	39	71	82

A bányászat – amint nyilván ismeretes – minden vízvédelmi tevékenységet csak bányahatósági és vízügyi hatósági engedéllyel folytathat. Ennek megfelelően a bauxitbányászat kezdettől fogva eleget is tett vízkárelhárítási, illetve vízpótlási kötelezettségének, továbbá kezdeményezte a kiemelt, – ívóvíz minőségű – karsztvíznek a lakossági és ipari felhasználását, amely jelenleg a kiemelt víz mennyiségének mintegy 15–20 százaléka.

A Dunántúli-középhegység az ország legnagyobb karsztos vízgyűjtője, amely a délnyugati országhatártól délnyugat–északkelet csapásirányban Hatvan–Gyöngyös térségéig terjed, s mintegy 10 000 km² területű. Több különböző földtani korú karbonátos kőzetekben lévő karsztvízemelet található ezen a területen az alsó-karbontól a felső-pliocénig. A különböző kőzetekben lévő vízrendszerek közül legjelentősebb a középhegység egészére kiterjedő – hidraulikailag egységes – ún. főkarsztvízrendszer.

A mesterséges beavatkozások előtti természetes állapotában a rendszerbe bejutó vízmennyiség egyensúlyban volt a hegységperemeken – források, karsztlápok alakjában – eltávozó vízzel. Ezt az egyensúlyt a század elején már megbontotta a tatabányai, majd az ajkai szénbányáknál megindult bányavédő vízkiemelés. Ez a vízkiemelés 1950 körül már elérte az 550–600 m³/perc értéket. A bauxitbányászat részesedése ebből 1982-ben 65% körüli volt.

A vízszintsüllyedés által keletkezett károk közül legfontosabb a vízhasználatokban (források, kutak) keletkezett kár, amelyet a bányászatnak pótolnia kell. Ebbe a csoportba tartoznak azok a langyos- és melegvízű gyógyforrások (budai források, hévízi-tóforrás), amelyek nagyobb mértékű károsodása rendkívül súlyos helyzetet teremtene, ezért a káros vízszint-csökkenés megelőzése *feltétele* a bányászatnak. Kiterjedt kutatások, vizsgálatok eredményeként a budai források védelme érdekében a Vízügyi Hatóság 200 m³/percben maximálta a középhegység északkeleti szárnyán lévő bányák: Tatabánya, Nagyegyháza, Csordakút, Mány együttes vízemelését. A középhegység délnyugati részén a Hévízi-tóforrás közelében 350 m³/perc a maximálisan kiemelhető vízmennyiség. Vannak olyan károk, melyeket elsősorban tájvédelmi és idegenforgalmi szempontból kell elhárítani. Ilyen pl. a Tapolca-tavasbarlang és Malom-tó, amelynek legalább részleges helyreállítása városképi szempontból kívánatos.

A felsorolt környezeti károkat tehát mindenképpen meg kell előzni, illetve a kár bekövetkezése esetén a vizet pótolni kell. Ezek a módok három csoportba sorolhatók:

- bányászati megoldások, amelyekkel kevesebb víz kiemelésével is megteremthetők a bányabiztonság feltételei, ezt a célt el lehet érni kőzettömítéssel, időben- és térben korlátozott helyi víztelenítéssel;
- közvetlenül környezetvédelmi jellegű megoldások, ilyenek lehetnek a vízvisszaforgatásos rendszer, a hozam- és hőmérséklet-csökkenést elhárító védelmi intézkedések;

– vízgazdálkodási intézkedésekkel, a tóból kifolyó, a kutakból elvett vízmennyiség szabályozása, de ide tartozik a gyógyvízekkel való gazdálkodás bevezetése is. Itt kell említést tennem a kiemelt víz minél nagyobb hányadának a hasznosításáról, mert ezzel a direkt vízkiemelő kutak teljesítménye csökkenthető.

Előzetes, távlati terveink szerint a kiemelendő víz az alábbiak szerint fog csökkenni:

Év	1985	1990	1995	2000
m^3min^{-1}	390	350	180	170

A timföldgyártás

A magyar–szovjet timföld-alumínium egyezmény teljesítése érdekében felfejlesztett timföldgyártásunk a világon általánosan alkalmazott, körfolyamati lúgos termelési móddal, az ún. Bayer-eljárással dolgozik. Ennek a gyártásmódnak az a lényege, hogy magas hőmérsékleten (245 °C) és nagy nyomáson (35 bar) marónátronoldattal kioldják a finomra őrölt bauxitból az Al_2O_3-at. Ezt követően az oldatból kikristályosítják a kioldott Al_2O_3-at, majd leszűrik és forgódobos kemencében 1100 °C körüli hőmérsékleten izzítják kohósításra alkalmas timfölddé.

A kioldási maradék, az ún. vörösiszap, több lépcsős ellenáramú mosás után szivattyús szállítással tározó tavakba kerül. A vörösiszap 1–80 μ nagyságú, szilárd, hidratált szemcsék halmaza, s emiatt a kiszáradt vörösiszap laza szerkezetű és porlékony. A gyártáshoz felhasznált nagy tömegű folyadéknak bizonyos hányada hulladékba kerül, amelyet semlegesítés után engednek ki a gyártelepről. Az izzítás folyamán – a porleválasztó rendszer meghibásodásakor – aprószemcsés timföld kerülhet a légtérbe.

A gyártásmód rövid leírásában ismertetem a timföldgyártás során fellépő környezetszennyeződés lehetőségeit: 1. a szennyezett elfolyó vizet, 2. a légszennyező porkibocsátást és 3. a nagy tömegű vörösiszap keletkezését.

1. Az üzemeltetés során előforduló zavarok esetén bizonyos gyárrészlegben lúg, illetve lúgtartalmú zagy nagyobb mennyiségben kerülhet a padozatra. Ha a kiömlött anyag a meglévő hulladékszállító rendszer teljesítményét meghaladja, s nem adható vissza a körfolyamatba, akkor a csatornarendszeren át közvetlenül élővízbe, patakba, folyóba kerül. Az ide került lúg – tömegétől függően – kárt tesz az élővíz növény- és állatvilágában. Hasonló kárt okoz a talajba beleszivárgó, s onnan a talajvízzel ugyancsak a folyóba kerülő lúg is.

Mindhárom timföldgyárunkban kidolgozták azokat a megoldásokat, amelyek megvalósításával megszüntethetők, legrosszabb esetben is nagyon ritka előfordulásig csökkenthetők as üzemzavarból eredő folyóvíz lúgosítások. A védelmi célrendszerek kiépítése mintegy 20 MFt költséget igényel.

2. Légszennyezést okozó porok és gázok pontszerű kibocsátókon 850 t, diffúz szennyezőkön át további 430 t jut a légtérbe évente. Az Országos Környezet- és Természetvédelmi Hivatal irányelvei szerint felmért timföldgyártási porok és gázok:

– bauxitpor-képződés a fogadásnál és tárolásnál,
– bauxitpor-képződés a törésnél és osztályozásnál,
– timföldpor, NO_x, SO_2, CO tartalmú füstgáz távozása a timföld izzításánál,

– timföldpor keletkezése a tárolásnál és szállításnál,
– mészpor képződése a mész betárolásakor és felhasználásakor,
– vörösiszappor képződése száradt tároló felületén.

A szennyező pontok közül a hidrát izzításánál keletkező szennyezés jelentős, melyet számszerűen is bemutatok az 1982. év adataival.

Vállalat	Kibocsátás, t/év	Bírság, EFt:
Ajka	182	28
Almásfüzítő	543	362
Magyaróvár	105	289

Terveink szerint mindhárom timföldgyárunkban mind a pontszerű, mind a diffúz források által okozott szennyezések csökkentésére intézkedéseket foganatosítunk, amelyek főleg az elektromos porleválasztók munkájának javítására vonatkoznak. Az igényelt összeg 60 MFt.

3. A timföldgyárak legnagyobb gondja a vörösiszap elhelyezése. A keletkezett iszap mennyisége 1,2 – 1,3 t száraz iszap timföld tonnánként. Az eddigiek során mintegy 30 – 32 Mt-ra növekedett a hazánkban tárolt vörösiszap s évente további 1 Mt-val emelkedik e készlet.

A vörösiszap feldolgozására már sok kísérlet történt, azonban általánosan bevált módszer ezideig nem ismeretes. Vannak, illetve voltak kezdeményezések építőipari, útépítési, vasipari felhasználásra, de ipari méretű alkalmazásról nincs tudomásunk. Hazánkban is kidolgoztak egy kombinált eljárást a vörösiszap komplex hasznosítására, de a nagy beruházási költség, valamint a vitatható gazdaságosság miatt nem került bevezetésre. Emiatt szerte a világon hányón helyezik el a vörösiszapot, hazánkban is ez az elhelyezés módja. Tárolásának 2 fő hátránya van: *a)* Sok területet von el a mezőgazdaságtól, s a megszáradt iszaptó erősen porzik. *b)* A tárolóból elszivárgó folyadék szennyezi a környezet talaj- és élővizeit.

a) Az igényelt terület nagyságára jellemző, hogy Ajkán az eddig elfoglalt terület 95 ha és most épül egy 47 ha-s tározó. Almásfüzítőn 93,4 ha telt meg, s jelenleg töltés alatt van egy 65 ha-s tározó. Mosonmagyaróváron összesen 66 ha területet foglal el a vörösiszap. A már betelt tározók ismételt használatba vételét nem sikerült még megoldani, csak a porzás meggátlására szorítkozhat a rekultiváció. Korábban említettem, hogy a vörösiszap laza szerkezetű, ha megszárad. Ennek az a velejárója, hogy a több méter vastagságú réteg nem teherbíró, hanem az ingoványhoz hasonlóan alig terhelhető. Emiatt hazai kezdeményezéseink, jónak ítélhető kísérleteink során a száraz iszaptó felületére vékony termőtalajt terítettek, amelyből a vetett fűmag elfogadhatóan kikelt és megélt.

Ajkán facsemeték és cserjék telepítésével kísérleteznek. 1981 óta 19 000 db facsemetét, 5000 fagyalbokrot és 2000 db vadrózsát telepítettek. Ezek a növényfajták viszonylag jól bírják a rendkívüli körülményeket. Kísérletek folytak az ún. Verdyol-hydrosa eljárással, melynek lényege, hogy speciális gépi berendezéssel növényi magvakkal együtt felületkötő – humuszképző – és a növények fejlődésének megindulásához szükséges tápanyagokat vizes szuszpenzióban hordják fel a vörösiszap felületére. A kipróbált módszerektől joggal várhatjuk, hogy a régi tározók porzását meg lehet velük akadályozni. A rekultiváció várható költségkihatása 70 MFt.

b) A tározóból elszivárgó folyadék oldott szennyezői: NaOH, Na_2CO_3, Na_2SO_4 stb., ha nem szigetelt a tározó alja, a talajvízbe kerülnek, s onnan az élővizekbe jutnak. A szennyeződés nyomon követésére ún. megfigyelő kutakat létesítettek, s a vett mintákat elemezték, s azt kapták eredményül, hogy a talajvíz szennyezettsége Ajkán nagymérvű, Magyaróváron közepes, Almásfüzitőn elfogadható.

A régóta betelt iszaptavak környékén csökken a talajvíz szennyezettsége, de mégis számottevő, ezért indokolt a tározók aljának a szigetelése, vagy természetes vízzáró réteg fölé telepíteni a tározót. Ez utóbbi megoldást alkalmazzuk Almásfüzitőn, ahol a szerencsés geológiai adottság kihasználásával, egy völgyzárógát létesítésével — viszonylag kis költséggel — 25—30 évre megoldható a keletkezendő vörösiszap elhelyezése.

A közelmúltban a Giulini-cég nyugatnémetországi gyárában kifejlesztették a nagy teherbírású száraz-iszaptárolást, amelynek lényege, hogy 45—50% nedvességtartalmú, szűrt iszapot nagy mechanikai hatásnak tesznek ki erős keverőben; az így folyékonnyá vált iszap ismét szivattyúzható, de egymásra halmozódás esetén az egyes iszapszemcsék úgy rögződnek egymáshoz, hogy 30—32 m magas tározó is kialakítható. A tározón néhány napi száradás után földgépek közlekedhetnek. Külön érdekessége ennek a tárolásmódnak, hogy a folyadék-beszivárgás lehetetlen, s a környezet vizeit nem szennyezi. A Magyaróvári Timföldgyárban a közeljövőben bevezetjük ezt a tárolási módot.

Az Ajkai Timföldgyár vörösiszapjának elhelyezése továbbra is nagy gond, a legjobb megoldás kiválasztására most folynak kísérletek. Megjegyzem, hogy a vörösiszapnak — mint nagy mennyiségű hulladéknak — legcélszerűbb elhelyezése a nyersanyagkénti feldolgozása lenne, de ezideig ezt a hasznosításra vonatkozó számítások gazdaságtalannak mutatták. A környezetvédelem szigorúbbá válása esetén lehetséges lehet feldolgozása, ha a környezetvédelemre kötelezően kifizetendő összegeket is figyelembe veszik.

Alumíniumkohászat

A timföldgyártásnál arról szóltunk, hogy nagy fejlesztéseket valósítottunk meg a magyar—szovjet timföld-alumínium egyezmény teljesítése érdekében. Az alumíniumkohászatnál — talán éppen az egyezmény következtében — elmaradtak a korszerűsítő, kapacitásnövelő beruházások.

Hazai alumíniumkohóinkban a 35—40 évvel ezelőtt korszerűnek minősített kádtípusok konzerválódtak. Bár az utóbbi 20 évben kisebb rekonstrukciókkal a termelés intenzívebbé tételét sikerült megvalósítanunk. Bizonyos mértékig korszerűsítettük a kádszerkezeteket, de lényegbevágó változást nem tehettünk. Javítottuk a kádkiszolgálást nagyértékű gépesítéssel, korszerűsítettük az energiaellátást, az egyenáramszolgáltatást, de a gázelszívás és a gáztisztítás korszerűsége elmarad a kívánalmaktól.

A világon termelt fémalumíniumnak mintegy 60%-át — az 1960 óta elterjedt — nagykapacitású, ún. blokkanódos elektrolizáló kádakban, 40%-át pedig oldal- vagy felsőtüskés Soederberg, vagy önsülő-anódos kádakban állítják elő. A blokkanódos kádak gázainak tisztítása megoldott feladat, ezért *a kohók légszennyezése minimális* és a csarnokokban is tiszta a levegő. Ezeknek a kádaknak szerkezeti előnyük, hogy könnyen és jól burkolhatók, s a középtöréses típusuk — amely egyre terjed — gyakorlatilag állandóan zárt, s ennek következtében a kohógázok csak a szellőzőrendszer felé távozhatnak. Az elszívott gázok az össz-gázmennyiségnek 95—99%-át teszik ki, s általában száraz

gáztisztítási eljárással könnyen tisztíthatók, mert nincs bennük kátrányszármazék.

A Soederberg, önsülő-anódos kádaknál az anód kiégése magában a kádban folyik le, s az égés során keletkező kátránygőzök (PAH: policiklikus aromás szénhidrogének) az elektrolízis gázok alkotóivá válnak, s alacsony harmatpontjuk következtében a gázelszívó rendszerben és a tisztító berendezésekben lerakódnak, ezzel nagyon megnehezítik a gáztisztítást. Nemzetközi összehasonlításban hazai kohóink az azonos kádtípusokkal való összehasonlítást jól állják. 1970-ben japán szakértők jó technológiai és apparatív módosítással szép eredményt értek el, de ehhez speciális anódmassza szükséges, emiatt licencvásárlással sem lehetne átvenni a megoldást, mert a napjainkban importált anódmassza változó minősége erre alkalmatlan.

A környezeti ártalmak szempontjából az alumíniumkohászati gázok szennyező anyagai közül a CO, a CO_2, a por és PAH jelentősen hígítottan kerülnek a környezetbe, és tisztítás nélkül sem fejtenek ki jelentős károsító hatást. Kiemelt figyelmet érdemel azonban a fluor, melynek hatása a legerősebb.

Különböző típusú kádak közül legkisebb fluorszennyezést a blokkanódos kádak okozzák. Jól megközelíti ezt az értéket az oldaltüskés kád, de messze elmaradnak a felsőtüskés (Inotai-típus) kohókádak értékei. A kohók légszennyező hatása mellett meg kell említeni a talajszennyezést, amely a kádfelújítások során keletkező és kidobott katód-bontási hulladék karbid-nitrid tartalmának bomlása után juthat a talajvízbe. A fluor, SO_2 és CO emisszió értékeit az alábbi adatok szemléltetik:

Kohó	Fluorid		SO_2		CO	
	Megeng.	Tényl.	Megeng.	Tényl.	Megeng.	Tényl.
Ajka*	52,7	15,3	152,0	4,6	670,0	35,0
Inota	1,2	8,6	3,3	5,2	140,0	73,0
Tatabánya	1,2	13,5	3,3	13,2	68,3	55,0

* Ajkán a nagy értéket a 105 m magas kémény miatt írták elő.

Az ismert sok – száraz és nedves – gáztisztító eljárás közül azt a módot ismertetem pár szóval, amelynek hazai alkalmazása lehetséges. A nedves eljárások közül a Zsiár-i Alumíniumkombinátban kifejlesztett ún. Korozet mosó, mely azon az elven működik, hogy az összegyűjtött gázokat – fenolgyanta és őrölt azbesztes elektrografit keverékéből égetett töltettel telt reaktorokban ellenáramban vízzel tisztítják. A fluorra vonatkoztatott tisztítási hatásfok 94–95% körüli. A berendezés egyszerű, beruházási költsége kicsi, a kapott oldatok fluor-tartalma regenerálható. A száraz gáztisz títási eljárásokat általában a blokkanódos, a nedves módokat pedig az önsülő-anódos kádaknál használják.

Hazai alumíniumkohászatunk szükséges korszerűsítésére több változat lehetséges, melyek bármelyike kielégítő környezetvédelmi viszonyokat teremt; s a beruházási költség meghaladja az 1,5 milliárd Ft-ot. A kielégítő gáztisztítás célját szolgáló beruházások további 160 MFt-ot igényelnek.

Fentiek eredményeként a várható fluor emisszió 2–3 kg/t-ra, az egyéb szennyezők: CO_2, SO_2, por és PAH értékek az előírt normák alá kerülnek.

Félgyártmánygyártás

A félgyártmánygyártás alapvetően a MAT két vállalatánál folyik. A két vállalat profilja, nagysága és környezetére gyakorolt hatásában eltér egymástól, ezért célszerűbb külön ismertetni őket.

A *Székesfehérvári Könnyűfémmű* öntött, sajtolt, hengerelt, kovácsolt és felületkezelt termékeket állít elő alumíniumból, illetve ötvözeteiből. 1960 óta folyamatos termelésbővítés és választéknövelés folyik a vállalatnál, s a beruházások folyamán komoly erőfeszítés történt a környezetszennyezés mértékének csökkentésére. E tekintetben jellemző, hogy a kemencepark legnagyobb része gáztüzelésű. 1983-ban végzett ismételt ellenőrző mérések tanúsága szerint a CO és az NO_x is jóval a megengedett érték alatt volt. Az élővizek irányába elfolyó napi mintegy 3000 m^3 hűtővíz szennyezőanyag tartalma az engedélyezettnek egytizede, a nagy beruházás során kivitelezett víztisztító rendszerek hatására.

A jelenleg is jó eredmények további javítására a vállalat tervet dolgozott ki, melynek néhány fontos pontja:

- Bővíteni kell az öntödei klórgázmosó berendezés kapacitását (8 MFt).
- Növelni kell a hengerléskor keletkező olajgőzök szűrésének hatékonyságát.
- Fokozni kell az emulzió-bontó kapacitását (30–35 MFt).
- Önálló szennyvízkezelővel kell ellátni a központi pácolóüzemet is (15 MFt).

A *Kőbányai Könnyűfémmű* lakóházak és gyárak gyűrűjében dolgozik. A gyár beépítettségére jellemző, hogy parányi zöld területe az udvaron lévő fedett tűzi-víztároló tetején van. A gyár fő tevékenysége a fóliagyártás, amelynek két fő folyamata van:

- a hengerlés, a Székesfehérvárról érkező fólia előtermékből hengerlik szükséges méretűre a fóliát. Az alkalmazott keverőfolyadék légszennyező hatása nem éri el a megengedett értéket;
- a nemesítés során a fólia felületét lakkal, vagy festékkel vonják be. Az alkalmazott oldószerek jellegzetes alkohol-aroma szagúak, de töménységük az előírt érték alatt marad. Egyébként a tűzveszélyességi szempont is ezt követeli meg.

A gyárból kikerülő szennyvíz minőségének meg kell felelnie az előírásoknak, mert a fővárosi csatornarendszerbe juttatják. A nem semlegesíthető olajos vizet hordókba gyűjtik és kijelölt helyen lévő szikkasztóban semmisítik meg. A fólia színezésekor használt anyagokból számottevő mennyiségű veszélyes hulladék keletkezik, ilyenek: aceton, etilacetát, metil-etileton, etilglikol, etilalkohol, lakkmaradék stb., továbbá olajiszap, fúróolaj-emulzió stb. Ezeket az évi mennyiségben mintegy 150 t-t kitévő hulladékot összegyűjtik, s kijelölt helyre szállítják.

Készárugyártás

Készárugyártás a MAT két vállalatánál folyik, a Balassagyarmati Fémipari Vállalatnál és a Hódmezővásárhelyi Alumíniumszerkezetek Gyárában. Ezeknek a vállalatoknak a tevékenysége nem tartozik a környezetet szennyező kategóriába. Az alkalmazott technológiai eljárások, az üzemi tevékenység, viszonylag könnyű technikai megoldásokkal és nem túl költséges munkával megteremthető az előírásokban meghatározott mérőszámok betartása. Ennek

megfelelően készárugyártó vállalataink eleget tesznek a környezetvédelmi kívánalmaknak és tervezett fejlesztéseik még további javítást céloznak.

A MAT vállalataink környezetkárosító hatásait vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a vertikum nagyobb kikészítettségű anyagokkal dolgozó szakágazatai, ahol a kezelendő tömegek kisebbek, s a keletkező hulladékok helyben feldolgozhatók, sokkal kedvezőbb helyzetük miatt maradéktalanul megfelelnek az előírásoknak. Nehezebb a helyzet a nagy tömegekkel dolgozó szakágazatokban: a bányászatban, a timföldgyártásban és az alumíniumkohászatban. Ezekben a szakágazatokban eddig is nagy összegeket fordítottunk a környezet védelmét szolgáló indézkedésekre, de további áldozatokat kell még vállalnunk a jövőben is, amelyek közül a legfontosabbakat legyen szabad röviden felsorolnom:

- A bányaberuházások előkészítése során figyelemmel kell lenni arra, hogy csak a legszükségesebb területek kerüljenek kisajátításra, és már a bányaépítés és termelés alatt gondot kell fordítani a majdani rekultiváció előkészítésére.
- A kevésbé vízveszélyes területek megkutatását előnyben kell részesítenl és nagyobb jelentőséget kell tulajdonítani a kitermelt karsztvíz minéi nagyobb mértékű hasznosításának.
- Fontos feladatnak kell tekinteni a vízkészlettakarékos bányavíz-védelmi módszerek gazdaságos alkalmazhatóságát eredményező kutatásokat.
- A régi iszapterek rekultivációját folytatni kell, el kell érni az összes elhagyott iszaptér lefedését.
- Az új vörösiszapterek létesítésekor a száraztárolás alkalmazását vizsgálni kell.
- A vörösiszap hasznosítására vonatkozó kutatásokat erőforrásaink függvényében folytatni kell.
- A kalcinálás- és timföldszállításban el kell érni, hogy a porzási veszteségek, diffúz és pontszerű szennyező források együttesen a 0,5%-ot ne haladják meg.
- A kohóknál meg kell oldani az összegyűjtött gázok fluor-hasznosítással összekötött tisztítását, úgy, hogy az összegyűjtött gázok fluortar-talma felsőtüskés szériáknál 80—82%-os, oldaltüskés szériáknál 92—95%-os hatásfokkal kinyerhető legyen.
- Kohóinknál meg kell oldani a kádbontási termékek és a szénsalakhab fluor-tartalmának hasznosítását.
- Új kapacitás, épület, műtárgy, illetve létesítmény építése, bővítése, a technológia változtatása, korszerűsítése, továbbá rekonstrukciója során már a műszaki tervekben érvényesíteni kell a levegő tisztaságvédelmét, a környezetvédelmi előírásokat.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5—6. szám. 1984. szeptember—december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

Vaskohászati salakok és a természeti környezet kapcsolata

SZIKLAVÁRI JÁNOS, *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság, H—1052 Budapest, Martinelli tér 8.*

Relation between siderurgical slags and natural environment. It is stated that in a major part of countries the mass of siderurgical slags is about the half of the quantity of steel produced. This makes the need for utilization of siderurgical slags obvious. The environmental problems related to slag management are discussed.

⁂

Vaskohászati salakok és a természeti környezet kapcsolata. Szerző megállapítja, hogy a legtöbb országban a vaskohászati salak tömege a termelt acél mennyiségének felével egyenlő. Ez nyilvánvalóvá teszi a vaskohászati salak felhasználásának szükségességét. A tanulmány elemzi a salakkezeléssel kapcsolatos környezetvédelmi kérdéseket.

⁂

A vaskohászati salakoknak általában 60%-a a nagyolvasztóművekben keletkező *nyersvassalak*, 40%-a az acélművekben keletkező *acélsalak*. A *nyersvassalak:* vas-oxidban és mangán-oxidban szegény kalciumszilikát. Az *acélsalak:* ugyancsak kalciumszilikát, de kalcium-oxidban gazdagabb, emellett vas-oxid- és mangán-oxid-tartalma együttesen 20—25%. Mindkét salak tartalmaz kisebb-nagyobb arányban magnézium-oxidot, alumínium-oxidot és még számos más fémoxidot is.

A kétfajta salak együttes tömege a legtöbb országban hozzávetőleg annyi, mint a termelt acél fele. A tekintélyes tömegű salakanyag indokolja, hogy a vaskohászat kiemelt figyelmet fordítson hasznosítására. E tekintetben a nemzetközi gyakorlat ma még nagyon különböző. Sok üzemet hatalmas salakhányók öveznek — pl. hazánkban is —, mert a salakot vagy annak egy részét kiöntik: szennyezik és csúfítják vele a környezetet. A technikailag fejlett országokban a természet kímélése és a termelés gazdaságosságának javítása érdekében a salakot hasznosítják: salakfeldolgozó üzemegységeket tartanak fenn.

Noha ez idő szerint a hasznosított salak nagy hányadát világszerte még útépítés és cementgyártás céljára adják, a jövő perspektivikus felhasználási területe a talajjavítás. A salak ugyanis — megfelelő előkészítés után — a talajba szántva, mint salaktrágya a természeti környezet javára szolgál. Külföldi tapasztalatok sora igazolja, hogy a vaskohászati salak — főleg az acélsalak — a savanyú talajok kedvezőbb javító anyaga, mint a hagyományos talajmeszező mészkőörlemény, lápi mész vagy cukorgyári mésziszap, mert hatékonyabban növeli a talajok pH-értékét. Emellett a salak tápanyaghordozó trágyának is tekinthető, mert hisz a kalciumtápanyag mellett több-kevesebb más tápanyagot is tartalmaz: magnéziumot, foszfort, ként, nitrogént és a növényzet

számára mikroelemnek számító vasat, mangánt, esetenként rezet, molibdént, cinket, bórt, krómot stb.

A salak magnézium-oxid-tartalma külön figyelmet érdemel, mert a termés hozama és minősége érdekében a talaj magnézium-háztartásának egyensúlyát folyamatosan fenn kell tartani. Az acélsalak ehhez elegendő magnéziumot juttat a talajba, ezért pl. a csehszlovák mezőgazdasági gyakorlat az acélsalakot kalcium-magnézium trágyának minősíti, és a szabvány így is nevezi. A hagyományos mésztrágya és a salaktrágya hatásának összehasonlításáról a nemzetközi szakirodalom számos példát tartalmaz. Számunkra főleg a szovjet tapasztalatok érdekesek, mert salakjaink közel azonos tulajdonságúak. Szovjet kutatók megállapították, hogy acélsalak (martinsalak) hatásaként

- a talaj gyarapodik a növények életképességét fokozó mikroorganizmusokban,
- a termés minősége javul (pl. növekszik a gabona és a széna fehérje-, cukor- és vitamintartalma),
- a növények ellenállóbbak a betegségekkel szemben.

Nyizsnyij-Tagil környékén 500 ha-nál nagyobb területen végeztek összehasonlító vizsgálatot savanyú talajok mészköves és martinsalakos javításának hatékonyságáról. Ha az alaptrágyához hektáronként 2 t martinsalakot adtak, akkor a terméshozam kukoricából 37%-kal, tavaszi búzából 5%-kal, zabos bükkönyből 33%-kal, árpából 14%-kal volt nagyobb, mint az alaptrágya + 2 t mészkőőrlemény kiszórásakor. Hektáronként 2 t elektrosalak a széna terméshozamát 2 év alatt nagyobbra növelte, mint a hagyományos istállótrágya. Salak + istállótrágya keverékkel a terméshozam további 25%-kal növekedett. Salaktrágyával kezelt talajon a növények hamarabb virágoznak és a termés 1,5 – 2 héttel hamarább érik be, mint hagyományos mésztrágyával kezelt talajon. Ez főleg a mostohább éghajlati körülmények között nagy előny.

A salaktrágyagyártás természetesen megfelelő műszaki felkészültséget igényel, mert a salaktrágya szemnagyságával szemben – éppúgy, mint a műtrágyákéval szemben – szigorú követelmények vannak: *egyrészt* a tápanyagok hasznosulásának hatékonysága oldaláról, *másrészt* a talajraszórás technikai megoldása oldaláról. A *hasznosulás* az őrlés finomságától függ. Tapasztalat szerint az 1 mm-es és ennél nagyobb szemcsékben lévő hatóanyagok feltáródása éveket vehet igénybe. Ilyen okokból pl. a csehszlovák salaktrágyaszabvány 1 mm-nél nagyobb szemcsét nem enged meg. A szovjet szabvány előírása, hogy a salaktrágya 90%-a 0,5 mm-nél kisebb szemnagyságú legyen. E követelmények miatt a salakot lisztté kell őrölni.

A *lisztszerű állapot* a hatékonyság érdekében fontos, de raktározás és kiszórás tekintetében – porzás miatt – *nem kívánatos*, ezért újabban a salaklisztet granulálják (pelletezik). A granulátum a liszthez képest kb. fél évvel később táródik fel, amit a kiszóráskor számításba vesznek. Az acélsalaknak salaktrágyacélra adott hányada azokban az országokban a legnagyobb, amelyekben foszfordús Thomas-salakok keletkeznek: Franciaországban és Luxemburgban 100%, Belgiumban 90%. Nem Thomas-salakkal dolgozó országokban az arány ma még lényegesen kisebb: Ausztriában és az NSZK-ban 24%, Csehszlovákiában 14%, a Szovjetunióban 6%, hazánkban ez idő szerint 0%.

Kérdés tehát: Mi a helyzet hazánkban a salaktrágya terén mezőgazdasági és vaskohászati oldalon? Hazánk mezőgazdasági területének egyharmada – több mint 2 millió hektár – pH < 6,6 kémhatású *„savanyú"*, sőt ennek egy része ph < 5,6 kémhatású *„erősen savanyú"* talaj. Ezt mind javítani kellene hektá-

ronként 2...5 t CaO hatóanyagú meszezéssel, mert a savanyú talajt túlkötöttség, tömődöttség, morzsalékonyság hiánya, levegőtlenség, rossz vízgazdálkodás, a műtrágyák hatásának nem kielégítő érvényesülése jellemzi. Mindez a termelékenységet csökkenti.

A meszező talajjavítás költséges művelet, amit a talaj folyamatos savanyúsodása miatt 10—15 évenként meg kell ismételni. Sajnos, hazánkban a javítás nem tart lépést a savanyúsodással. Az 1960-as években még évenként 70—75 ezer hektár savanyú talajt javítottunk, de 1968 óta — anyagi okokból — évenként már csak a felét: 30—35 ezer hektárt, pedig ennek sokszorosára lenne szükség, mert a savas esők és savanyító műtrágyák gyorsuló tendenciával növelik a talaj savanyúságát. *Stefanovits* akadémikus szerint 3—5 éves periódusban a talaj kémhatása 1 pH-val csökken! A meszező talajjavítás ütemét fokozni kellene, s ha e célra — valamint savanyító műtrágyák kísérőtrágyája céljára — vaskohászati salakok is eredményesen és gazdaságosan felhasználhatók, akkor mielőbb cselekedni kellene.

Folytak már itthon is kísérletek nyersvassalak és acélsalak mezőgazdasági hasznosítására, de rendszeres felhasználásról nem beszélhetünk. Pedig *egyrészről* megfelelő minőségű mészkő és lápi mész „...Fogyóban van, kitermelésük egyre költségesebb és mind nagyobb környezeti veszéllyel jár." állapítja meg az Agrártudományi Egyetem Talajtani tanszékének 1980. évi jelentése az „SM-salak mezőgazdasági alkalmazásának vizsgálata" tárgyú kutatás kapcsán; *másrészről* a salakokkal ez ideig végzett hazai kísérletek — összességükben — pozitív eredményeket adtak. A termés alakulását *pH = 4,6 kémhatású* szabadföldi összehasonlító lucernatáblákon vizsgálták: kezelés nélküli kontrollparcellákon, mészkővel kezelt parcellákon és martinsalakkal kezelt parcellákon. A kutatási jelentés megállapítja: „Gyakorlati tapasztalatok szerint *ilyen savanyú talajon* lucerna sikeresen már nem termeszthető. E tényt igazolja, hogy a kezeletlen kontrollparcellákon a lucerna termésátlaga egyre csökkent, és a tenyészidőszak végére ki is pusztult a telepítés. Ugyanakkor a martinsalakkal kezelt parcellák terméseredményei egyre javultak és az utolsó kaszálás alkalmával meghaladták a meszezett parcellák terméseredményeit."

Eredményekkel biztatnak a hazai salakliszt-granuláló kísérletek és más, a salaktulajdonságokat kedvezően módosító kutatások is. A külföldi tapasztalatok és a hazai vizsgálatok egyaránt arra ösztönöznek, hogy vaskohászati salakjaink minél nagyobb hányadát salaktrágyaként értékesítsük. Ezzel szemben mi a mai helyzet? A magyar vaskohászatban — az acéltermelésre fajlagosítva — lényegesen több salak keletkezik, mint más országokban, ennélfogva a salak racionális felhasználásában vaskohászatunk nagyon is érdekelt. A többlet salak főleg a nyersvassalakból keletkezik, mert hazai nagyolvasztókban kohósított vasércben nagyon sok a meddő.

A nyersvassalak 80—85%-át üzemeink eladják: cementgyártás, útépítés, betonadalék és más célra, kivéve a talajjavítást. A Lenin Kohászati Művek tervezi, hogy üzemen kívül helyezett cementgyári őrlőberendezés felhasználásával létesít egy salakmalmot, amely évenként 40 ezer tonna salaktrágyalisztet termelne. Ez a kapacitás ugyan nem nagy — hiszen egyrészről a Diósgyőrben keletkező nyersvassalak ennek több mint tízszerese, másrészről a mezőgazdaság felvevőképessége a diósgyőri körzetben évi 150—200 ezer tonna is lehetne —, e kezdő lépést mégis nagyra kell értékelni, s a megvalósítást segíteni kell.

Az acélsalakok észszerű hasznosítása terén ma még elmaradott országnak számítunk. Nagyobb acélcipók, acélmedvék és tapadványok kiszedése után

a salak túlnyomó hányadát hányóra szállítják. Ózdon 10 millió tonna, Dunaújvárosban 5 millió tonna acélsalak fekszik – más anyagokkal keverten – a hányókon, közel 3 millió tonna ferrumtartalommal. E hányókon elfekvő és a folyamatosan keletkező acélsalak fémtartalmának kinyerésére alkalmas gépsorok telepítése most van folyamatban. A dunaújvárosi beruházás 900 millió Ft-ba, az ózdi 2,1 milliárd Ft-ba kerül. A két gyárban évenként összesen 3 millió tonna hányóanyagot fognak feldolgozni, amelyből a fémes és oxidos alakban kinyerhető fém értéke évenként közel 1,4 milliárd Ft. A fémkiválasztás után visszamaradó darabos salakot útépítés és feltöltés céljára szánják, az apróbb szemcséjű anyagot hányóra viszik. *Salakőrlő technológiát* – sajnos – *nem valósítanak meg*, noha a vasmentes aprószemcséjű frakcióból évenként néhány százezer tonna salaklisztet lehetne őrölni. Az Ózdi Kohászati Üzemek hajlandó lenne építeni salakmalmot, sőt granulálót is, ha a mezőgazdaság ezt igényelné. Célszerű lenne, ha a kohászat és a mezőgazdaság mielőbb megállapodna, hogy a vasmentes finomszemcsés salak ne hányóhegyet növeljen, hanem a környezet javára szolgáljon.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5—6. szám. 1984. szeptember—december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának hatása a légkör összetételére, savasodására és hőszennyeződésére

MÉSZÁROS ERNŐ, MAJOR GYÖRGY és HORVÁTH LÁSZLÓ,
OMSZ, Központi Légkörfizikai Intézet, 1675 Budapest, Pf. 39.

Effects of the use of fossil fuels on the composition, acidification and heat pollution of the atmosphere. In the first part of the paper the quantity of fossil fuels and their annual use are compared to the atmospheric burden of oxygen and carbon dioxide. The strength of anthropogenic nitrogen fixation is also estimated. It is found that the effect of fossil fuel use on atmospheric oxygen level can be neglected. On the other hand mankind influences considerably the atmospheric carbon dioxide level which can cause significant climatic variations. The rate of anthropogenic nitrogen fixation is very slow as compared to the total mass of nitrogen in the atmosphere. This means that man is not modifying its level. The aim of the second part is to discuss the modification of atmospheric sulfur dioxide and nitrogen oxide burden and consequently the acidity of deposition owing to fossil fuel use. The degree of this modification is illustrated by European and Hungarian data. Finally, in the third part energy deliberated owing to fossil fuel use is compared to the incoming solar energy. This comparison shows that in indrustrial areas the anthropogenic energy release can not be neglected.

⁎

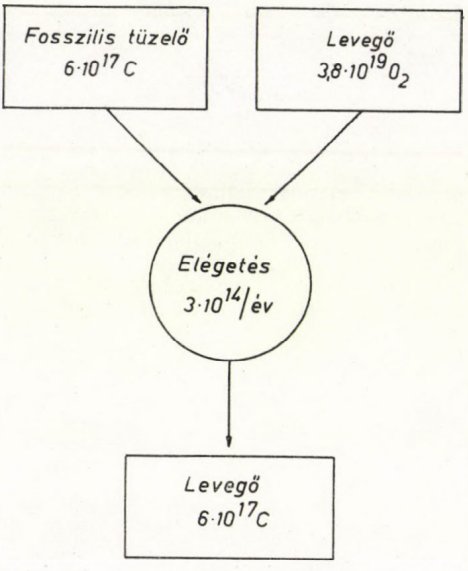
A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának hatása a légkör összetételére, savasodására és hőszennyeződésére. Az előadás első részében összehasonlítjuk a fosszilis tüzelőanyagok mennyiségét és éves felhasználását a légköri oxigén és szén-dioxid mennyiségével, illetve megbecsüljük az antropogén nitrogén megkötés esetleges légköri hatásait. A kapott eredmények szerint a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása a légkör oxigén szintjére elhanyagolható hatást gyakorol. Ezzel szemben jelentősen módosítja a levegő szén-dioxid tartalmát, amely lényeges éghajlati következményekkel járhat. Az antropogén nitrogén megkötés sebessége igen lassú a levegő nitrogén koncentrációjához képest. Ez azt jelenti, hogy belátható időn belül az emberi tevékenység a légköri nitrogén mennyiségét nem fogja alapvetően befolyásolni. A második rész célja annak megtárgyalása, hogy a fosszilis tüzelőanyag felhasználás hogyan módosítja a légköri kén- és nitrogén-oxidok koncentrációját és ezen keresztül a levegő és a csapadékvíz savasságát. A módosítás mértékét európai és hazai mérési adatokkal illusztráljuk. Végül az előadás harmadik részében összehasonlítjuk a tüzelés miatt felszabaduló energia nagyságát a Napból érkező sugárzási energiával. Az összehasonlítás eredményei mutatják, hogy földi léptékben a napenergia jóval meghaladja a tüzelőanyagokból származó energiát. Ipari területeken és városokban azonban a két energia sokkal közelebb áll egymáshoz.

⁎

1. *Bevezetés*

Adott terület éghajlata alapvetően hat az ott élő emberek életére és tevékenységére. Az energiafelhasználás, az ipar, és a mezőgazdasági termelés, valamint a közlekedés intenzitásának növekedésével viszont az ember is egyre nagyobb hatást gyakorol a légkör állapotára. Így, egyrészt a különböző szennyezőanyagok kibocsátásával megváltoztatjuk a levegő és a csapadékvíz kémiai összetételét, másrészt az energiatermelés következtében a levegőbe kerülő hővel módosítjuk a terület fölötti légtér hőmérlegét.

Az antropogén-hatások különböző tér- és időléptékűek lehetnek. Közülük a legveszélyesebbek az egész légkörben hosszabb ideig fennálló globális hatások. Ilyen lehet például a fő összetevők (oxigén, nitrogén) koncentrációjának megváltozása, de ide sorolható a viszonylag hosszú tartózkodási idejű *nyomgázok* légköri mennyiségének módosulása is. (A légkörben a gázmolekulák meghatározott ideig tartózkodnak. Ha ez a tartózkodási idő hosszabb, mint kb. 1 év, akkor a szennyezőanyag az egész légkörben elkeveredik. Az 1%-nál kisebb térfogati koncentrációjú nyomgázok közül 1 évnél hosszabb tartózko-



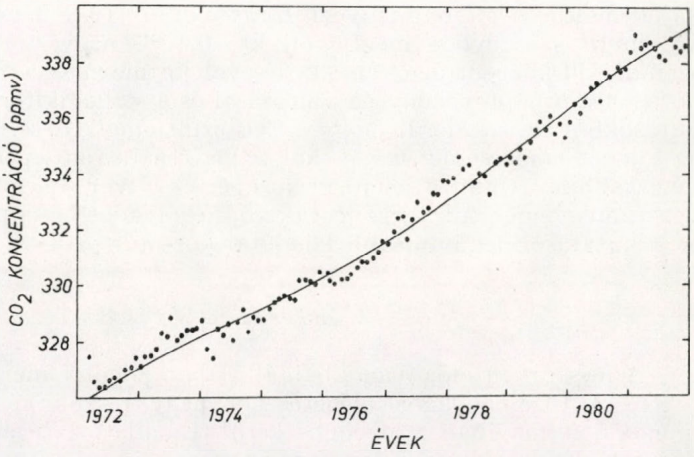
1. ábra: A fosszilis tüzelőanyag szénben kifejezett tömege és a légköri oxigén mennyisége *Walker* (1977) szerint. Az „elégetés" a jelenlegi évi felhasználásra vonatkozik, míg a légköri szén a teljes tüzelőanyag-mennyiség felhasználásával keletkező szén-dioxidot adja meg

dási idejű pl. a szén-dioxid, metán és dinitrogén-oxid.) A napos, illetve hetes tartózkodási idejű szennyezőanyagok (pl. kén- és nitrogén-oxidok) regionális (20–500 km) vagy kontinentális léptékben okoznak károkat. Jó példa erre a légköri aeroszolképződés és környezeti savasodás. Ebben a tanulmányban a regionális, illetve az ennél nagyobb skálájú légszennyeződéssel foglalkozunk és nem térünk ki a városok és ipartelepek jól ismert problémáira. Lokális léptékben is megvizsgáljuk viszont a kevésbé ismert hőszennyeződés mértékét és ennek esetleges következményeit. Célkitűzésünknek megfelelően csak a fosszilis tüzelőanyag-felhasználással kapcsolatos környezeti kérdéseket tárgyaljuk.

2. *A légkör globális összetételének megváltozása*

A légkör jelenlegi összetétele az élet szempontjából alapvető fontosságú. A vízen kívül a légköri szén-dioxid és oxigén a növények és állatok anyagcseréjének alapanyaga. Ezen kívül a bioszféra számára a légköri nitrogén megkötése is alapvető fontosságú. Másrészt a levegőben lévő gázok az éghajlat alakításában is fontos szerepet játszanak, mivel szabályozzák a nyomást és a légköri sugárzásátvitelt, s ezen keresztül a hőmérséklet eloszlását és a szélrendszerek kialakulását. A továbbiakban a nitrogén, az oxigén és a szén-dioxid légköri szintjére gyakorolt hatásokat vizsgáljuk meg.

Mint ismeretes, a levegőt elsősorban nitrogén gáz alkotja. Teljes légköri mennyisége $2{,}8 . 10^{20}$ mollal egyenlő. Kiszámítható, hogy az energiatermelés miatt évente $1{,}3 . 10^{12}$ mol nitrogén kötődik meg a levegőből. Ez a mennyiség az ún. ipari megkötéssel (l. műtrágyagyártás) azonos nagyságú. Így a teljes antropogén nitrogén megkötés a légköri nitrogént kb. 10^8 év alatt fogyasztaná el, ha közben az elhasznált N_2 mennyiséget nem pótolná valamilyen természetes önszabályozó folyamat. Ebből következik, hogy a légköri N_2 koncentrációját a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása belátható időn belül nem változtatja meg.



2. ábra: A havi szén-dioxid koncentráció időszakos változása Ausztrália fölött a 3,5 – 5,5 km-es légrétegben *(Pearman és Beardsmore*, 1984)

A következő kérdés a légköri oxigénszint esetleges antropogén megváltozása. Nyilvánvaló, hogy a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével módosítjuk a levegőben lévő oxigén koncentrációját. A kérdés a fosszilis tüzelőanyagok és a légköri oxigén tömegének összehasonlításával válaszolható meg. A fosszilis tüzelőanyagok szénben kifejezett teljes becsült mennyisége $6 . 10^{17}$ molra tehető (lásd: *1. ábra*), míg a levegőben lévő oxigén tömege $3{,}8 . 10^{19}$ mol. Égetéskor évente $3 . 10^{14}$ mol szenet, illetve oxigént használunk fel. Bár abszolút értékben ez igen nagy mennyiség, a levegő oxigénkészletéhez képest elhanyagolható, főleg ha figyelembe vesszük, hogy léteznek olyan folyamatok, amelyek ellensúlyozzák az O_2 koncentráció esetleges változásait (ilyen a szerves anyagok üledékes kőzetekbe kerülése, lásd: *Walker*, 1977). Sőt, mint az 1. ábráról látható, ha az összes fosszilis tüzelőanyagot elégetnénk (és nem lennének önszabályozó folyamatok), az oxigénszint akkor is csak kevesebb, mint 2%-kal csökkenne. A jelenlegi felhasználás ütemét figyelembe véve, ehhez 2000 évre lenne szükség. Mindez azt jelenti, hogy a légköri oxigénkoncentráció antropogén változásaival előreláthatólag nem kell számolnunk.

A szén-dioxid légköri mennyisége jóval kisebb, mint az oxigéné, mindössze $6 . 10^{16}$ mol. Így, ha tüzelőanyagkészleteinket (lásd: 1. ábra) elhasználjuk, a légköri szén-dioxid koncentráció tízszeresére nő, ha nem tekintjük a bioszféra által elhasznált, illetve az óceánok által elnyelt CO_2-t. Tekintve, hogy ez a mennyiség a kibocsátott szén-dioxid tömegének felére tehető, valószínű, hogy az említett esetben a levegő szén-dioxid tartalma a jelenlegi érték ötszörösére növekedne.

A szén-dioxid légköri koncentrációjának növekedése máris jól kimutat-

ható. A jelenlegi CO_2 szint kb. 15%-kal magasabb, mint a múlt század végén megfigyelt koncentráció. A *2. ábránk* Ausztrália fölött tiszta levegőben (3,5–5,5 km-es magasságban) az utóbbi tíz évben mért havi közepes szén-dioxid-koncentrációk időbeli változását mutatja be (*Pearman* és *Beardsmore*, 1984). Mint látható, a koncentráció emelkedése folytonos. Energiafelhasználási előrejelzéseket figyelembe véve megbecsülhető, hogy a légköri szén-dioxidszint kb. 2050-re az ipari forradalom előtti érték kétszeresére emelkedik.

A szén-dioxid-koncentráció változása azért lényeges, mivel a CO_2 molekulák a Napból jövő rövidhullámú sugarakat átengedik, míg a Föld felszínéről kibocsátott hosszúhullámú sugárzást elnyelik. Ez az ún. üvegházhatás az éghajlat melegedését eredményezi. *Hansen* et al. (1981) modell-számításai szerint az elmúlt száz évben megfigyelt kb. 0,4 °C nagyságú átlagos melegedés a szén-dioxid-koncentráció emelkedésével jól megmagyarázható (a kisebb ingadozásokat a naptevékenység változásai és a vulkánkitörések okozták). A számításokból az is kiderül, hogy a CO_2 szint emelkedése miatt a század végére az átlagos hőmérséklet 0,5 °C-kal, a jövő század közepére kb. 2,0–3,0 °C-kal magasabb lesz, mint a jelenlegi középérték. Ilyen jellegű éghajlatváltozás következményeinek (pl. sarki jégtakaró megolvadása, csapadékeloszlás) felmérése a kutatások legfontosabb feladatai közé tartozik.

3. *A környezet savasodása*

A fosszilis tüzelőanyagokban általában jelentős mennyiségű a kén és nitrogén. A tüzelőanyagok elégetésekor nagy részük kén-dioxid és nitrogén-monoxid formájában a levegőbe kerül. Emellett az égéskor keletkező magas hőmérsékleten a levegő nitrogénje az oxigénnel egyesülve ugyancsak nitrogén-monoxidot hoz létre. Az ily módon kibocsátott gázok egy része a felszínen adés abszorbeálódik (ún. száraz ülepedés) és az ott lévő vízzel savakat alkot. Másik része a levegőben vagy a csapadékvízben alakul át kénsavvá, illetve salétromsavvá. A keletkezett savak a csapadékvízzel hullanak ki a levegőből, mivel a felhőelemek, valamint a hópelyhek és esőcseppek kimossák a levegőből a savas gázokat és aeroszol részecskéket (nedves ülepedés).

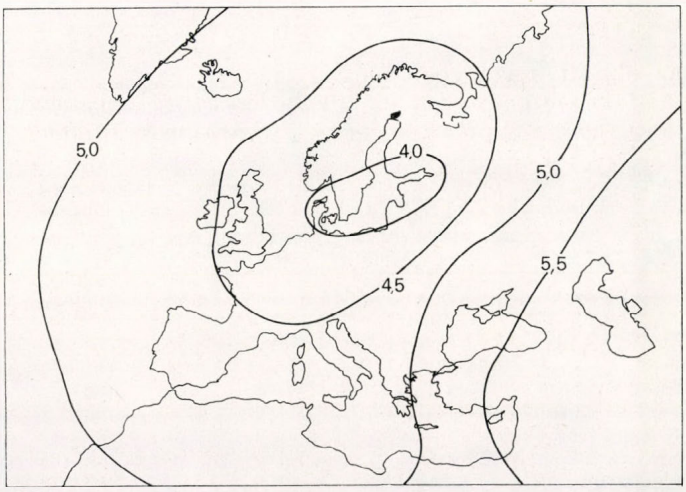
Ebből következik, hogy minél több fosszilis tüzelőanyagot égetünk el, a légköri száraz és nedves ülepedés („savas esők") annál savanyúbbá válik, komoly károkat okozva egyes szárazföldi és vízi ökoszisztémákban.

A száraz ülepedés nagysága speciális fluxus mérésekkel becsülhető meg, míg a nedves ülepedés a csapadékvíz kémiai összetételéből és mennyiségéből számítható ki. A nedves ülepedés savasságának megítélésekor figyelembe kell vennünk azt a tényt, hogy a csapadékvíz neutrális pontja nem pH = 7-nél, hanem pH = 5,7-nél van a levegőből elnyelt szén-dioxid hatása miatt. Ez a gáz ugyanis a vízben szénsav keletkezése közben oldódik. Általában akkor tekintjük a csapadékot savasnak, ha a pH-ja kisebb, mint 5,7. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy a CO_2-n kívül lehetnek a levegőben egyéb természetes (pl. biológiai) eredetű savképző vegyületek is.

Mindezek előrebocsátása után nézzük meg a *3. ábrát*, amely a csapadékvíz pH-jának eloszlását mutatja Európában 1979-es adatok alapján (*Georgii*, 1982). Az ábrából világosan látható, hogy a csapadék egész Európa területén erősen savas. A káros hatások mértékét adott területen a hidroszféra és pedoszféra pH-érzékenysége határozza meg. Az ábrából az is kitűnik, hogy Magyarországon a hidrogénion koncentráció kb. 1 nagyságrenddel nagyobb, mint az említett neutrális érték (részletesebben lásd: *Mészáros*, 1984). Csapadékké-

miai vizsgálatok kimutatták, hogy a savasság kétharmadát kénsav, egyharmadát salétromsav okozza. Mint látható, a legsavasabb területek a legnagyobb emisszió helyén (Anglia, NSZK, NDK, Lengyelország), illetve a széliránynak megfelelően attól keletre helyezkednek el.

A 3. ábra értékeléséhez természetesen ismernünk kellene a csapadék savasságának változásait a múlt század vége óta. Ilyen adatok – sajnos – nincsenek. Általában a múltban a csapadékvíz kémiai összetételét is igen kevesen tanulmányozták. Ezek közé tartozik a magyar *Kazay*, aki 1902-ben



3. ábra: A csapadékvíz pH-jának területi eloszlása Európában 1979-es adatok alapján *(Georgii,* 1982)

Ógyallán kb. hétszer alacsonyabb nitrát koncentrációkat mért, mint a jelenelgi értékek (lásd: *Horváth*, 1983). Ez arra utal, hogy a század elején a savasság is jóval kisebb lehetett. Tekintve, hogy a légkör és a csapadékvíz további savanyodása várható, ennek a problémának a jövőben nagy figyelmet kell szentelnünk.

4. *A hőszennyeződés éghajlati hatásai*

Az emberi tevékenység következtében a légkörbe kerülő gázokat és részecskéket „légszennyeződésnek", a kibocsátott hőt „hőszennyeződésnek" nevezzük. A hőszennyeződés lényegében a termelt összes energiával egyenlő, mivel a termodinamika második fő tétele szerint előbb-utóbb minden energia hővé alakul. Az energia gyakorlatilag fosszilis tüzelőanyagokból (szén, gáz és olaj) származik, tekintve, hogy az atomenergia és vízienergia jelenleg nem játszik lényeges szerepet.

A hőszennyeződés mértékét az ember által termelt energia és a beérkező napsugárzás energiájának összehasonlítása útján jellemezhetjük. Ezt az *I. táblázat*ban megadott adatok segítségével végezhetjük el. A táblázat tartalmazza a hőszennyeződés területi sűrűségét, amely közvetlenül a napenergia erősségével vethető össze. Az utolsó oszlop az antropogén hatást a napenergia százalékában adja meg. Mint látható, a Föld egész felszínére vonatkoztatott energiatermelés még 2000-ben is csak a napenergia 0,02 – 0,04%-a lesz. Egy-egy erősen iparosodott területen a jelenlegi százalékérték kb. 1 nagyságrenddel

magasabb. Így Nyugat-Európában 0,4%-kal, Magyarországon 0,25%-kal egyenlő. Ennek ellenére nyilvánvaló, hogy regionális és kontinentális léptékben a hőszennyeződés a légköri folyamatok szabályozásában nem játszhat számottevő szerepet. Ezzel szemben a nagyvárosok légköri energiamérlegét az antropogén hatások máris érezhetően módosítják, hiszen Budapesten a hőszennyeződés több, mint 7%-a a beérkező napsugárzási energiának. Ez azt jelenti, hogy lokális léptékben a hőszennyeződés az éghajlat szempontjából közel sem elhanyagolható tényező. Egyebek mellett a hőszennyeződés az oka a nagyvárosok közismert speciális éghajlatának, az ún. városklímának.

I. TÁBLÁZAT

A hőszennyeződés és a napsugárzás intenzitásának összehasonlítása különböző léptékben. Az antropogén hatás a hőszennyeződés és napsugárzási energia hányadosát jelenti. Az adatok Valette *és* Focquet *(1982), illetve* Major *et al. (1980) munkáiból, valamint a* Statisztikai Évkönyvből *(1983) származnak*

Hely	Átlagolási időszak	Hőszennyeződés/év MJ	Hőszennyeződés sűrűsége W/m²	Napsugárzás W/m²	Antropogén hatás %
Az egész Föld felszíne	1980.	$2{,}8 \cdot 10^{14}$	0,017	137	0,01
	1985.	$3{,}1 - 3{,}9 \cdot 10^{14}$	0,02	137	0,02
	2000,	$4{,}1 - 8{,}5 \cdot 10^{14}$	0,02 – 0,05	137	0,02 – 0,04
	2030.	$5{,}2 - 8{,}3 \cdot 10^{14}$	0,03 – 0,05	137	0,02 – 0,04
Észak-Amerika	1980 – 1982.	$8{,}5 \cdot 10^{13}$	0,13	152	0,08
Nyugat-Európa	1980 – 1982.	$5 \cdot 10^{13}$	0,53	130	0,4
Kelet-Európa + Szovjetunió	1980 – 1982.	$5{,}6 \cdot 10^{13}$	0,075	135	0,06
Magyarország	1981.	10^{12}	0,34	140	0,25
Budapest és agglomerátuma (43 helység)	1980.	$3{,}4 \cdot 10^{11}$	4	138	2,9
Budapest	1980.	$1{,}6 \cdot 10^{11}$	10,2	138	7,4

IRODALOM

Georgii, H. W., 1982: *Review of the chemical composition of precipitation as measured by the WMO BAPMoN.* WMO, Geneva.

Hansen, J., Johnson, D., Lacis, A., Lebedeff, S., Lee, P., Rind, D. and *Russel, G.*, 1981: Climate impact of increasing carbon dioxide. *Science 213*, 957 – 966.

Horváth, L., 1983: Trend of the nitrate and ammonium content of precipitation water in Hungary for the last 80 years. *Tellus 35B*, 304 – 308.

Major, Gy., Miskolci, F., Putsay, M., Rimóczy-Paál, A., Takács, O. and *Tárkányi, Zs.*, 1980: *World maps of relative global radiation.* Annex. WMO Technical Note 172, Geneva.

Mészáros, E., 1984: Savas esők Magyarországon. *Magyar Tudomány 91*, 529 – 536.

Pearman, G. I. and *Beardsmore, D. J.*, 1984: Atmospheric carbon dioxide measurements in the Australian region: ten years of aircraft data. *Tellus 36B*, 1 – 24.

Statisztikai Évkönyv, 1983: Statisztikai Kiadó, Budapest.

Valette, L. and *Focquet, J. P.*, 1982: *Europe and renewable energy sources in the year 2000.* Agence Européenne d'Information, Bruxelles.

Walker, J. C. G., 1977: *Evolution of the atmosphere.* Macmillen Publ. Co., Inc., New York and London.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5—6. szám. 1984. szeptember—december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

Az ásványi nyersanyagtermelés hatása a felszíni és felszín alatti vizekre

KOVÁCS GYÖRGY, *Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóközpont, H—1453 Budapest, Pf. 27.*

Impacts of the exploitation of mineral resources on surface and groundwater. Although the prevention of harmful environmental changes due to human activities is an inevitable requirement, the hindering of technical development is an erroneous interpretation of environmental protection. Hence the utilization of natural resources requires the thorough analysis of the interactions between the natural and artificial environmental systems. One of the subsystems of this widely extending investigation deals with the inpact of mining activity on water resources. When summarizing and evaluating the studies made in this field five activities should be considered (i.e. deep mining, open air mining, exploitation of carbonhydrogens, gravel-dredging and the supplementary activities on the surface around mines) determining their quantitative and qualitative impacts on both surface and groundwater. When the mineral resources to be exploited lie below the water table a great amount of water has to be pumped to protect the mine against water intrusion. The regional hydrodynamic models of groundwater systems are the most powerful tools to predict the consequences of such pumping. Where some conflicts are foreseen the impacts can be decreased by limiting either the time or the quantity of pumping. Another important aspect, that the quality of the pumped water should be protected because it is the precondition of utilizing the water for supply. When the mineral resources are exploited in open air mines the recultivation of the area is indispensable. The lake developing in the closing pit can be utilized in this way as a recreation centre. The special interaction between the exploitation of carbonhydrogens and groundwater resources is caused by the fact that the extraction of the two media utilizes the energy potential of the same porous reservoir. Hence by lowering the energy content in the layers storing oil or gas the pressure of the neighbouring aquifers is also decreased and vice versa. The water quality may be also affected by the exploitation of carbonhydrogens either from the surface or in the aquifers (e.g. increase of gas-content of groundwaters). Dredging of gravel from river beds causes the continuous lowering of the water level. This process may distrube the operation of water supply plants utilizing bank-filtered water, bicause the lowering of the level decreases the yield of wells and the silt deposited in the dredging pits may deteriorate the quality of the water filtering through the bed. The plants executing the primary processing of mineral resources are located usually near the mines. Their water supply and the quality control of the effluents raises also problemes which can be solved together with the development of the infrasucture in the region. Summarizing the results of the analysis it can be stated that the prediction of the impacts of mining activity is an important precondition to determine the optimum way of the exploitation of natural resources. The most economic solution can be achieved in most cases by the combined utilization of the systems.

⁎

Az ásványi nyersanyag-termelés hatása a felszíni és felszín alatti vizekre. Jóllehet az emberi tevékenység által okozott környezeti változások megelőzése vitathatatlan követelmény, azonban a környezetvédelem téves értelmezése az, amikor érdekében a műszaki haladást kívánják akadályozni. Ezért a természeti kincsek hasznosítása a különböző környezeti elemek közötti egymásrahatás gondos elemzését teszi szükségessé, hogy így kialakíthassuk a természetes és műszaki környezet optimális egyensúlyát. Ennek a nagy terjedelmű vizsgálatnak egyik alrendszere a bányászatnak a vízkészletekre gyakorolt hatásával foglalkozik. Amikor összegezzük és értékeljük azokat a tanulmányokat, amelyek ezen

a szakterületen készültek, öt tevékenységet kell figyelembe vennünk (mélyművelés, felszíni bányászat, szénhidrogén termelés, kavics kotrás és a bányák környékén lévő kiegészítő tevékenység), hogy meghatározzuk azok mennyiségi és minőségi hatásait mind a felszíni, majd a felszín alatti vízre. Amikor a kitermelendő ásványi nyersanyag a víztükör alatt fekszik, nagy mennyiségű vizet kell szivattyúznunk annak érdekében, hogy megvédjük a bányateret a vízbetörések ellen. A felszín alatti vízrendszerek hidrodinamikai modelljei a leghatékonyabban felhasználható eszközök ahhoz, hogy az ilyen víztermelés várható hatásait előre jelezzük. Ahol konfliktushelyzet kialakulása várható, csökkenthetjük a hatásokat vagy a szivattyúzás hozamának, vagy idejének korlátozásával. Másik fontos szempont az, hogy a szivattyúzott víz minőségét védjük, mert ez a vízellátásban való felhasználás előfeltétele. Ahol az ásványkincset felszíni fejtéssel termeljük, a rekultiváció elengedhetetlen. A zárógödörben kialakuló tavat ezzel üdülési központtá fejleszthetjük. A szénhidrogének és a felszín alatti vízkészlet termelése során jelentkező különleges kölcsönhatás oka az a tény, hogy a két anyag felszínre hozása ugyanannak a porozus reservoirnak a potenciális energiáját hasznosítja. Így az olajat vagy gázt tároló réteg energia tartalmának csökkentése csökkenti a nyomást a szomszédos víztartó rétegekben is és viszont. A víz minőségét ugyancsak befolyásolhatja a szénhidrogének termelése vagy a felszín felől, vagy a víztartó rétegben (pl. a felszín alatti víz gáztartalmának növekedése). A folyómederből történő kavics-kotrás folyamatos vízfelszín-csökkenést okoz. Ez a folyamat megzavarhatja a partiszűrésű vizet hasznosító vízművek üzemét, mert a szintcsökkenés a kutak hozamának csökkenésével jár és a kotrási gödrökben leülepedő iszap a mederből beszivárgó víz minőségét is ronthatja. Az ásványi nyersanyagok elsődleges feldolgozását végző üzemeket rendszerint a bányák köré telepítik. Ezek vízellátása és elfolyó vizük tisztítása ugyancsak gondot okoz, amelyet célszerűen a régió infrastruktúrájának fejlesztésével együtt oldhatunk meg. Az elvégzett elemzés eredményeinek összefoglalásaként megállapíthatjuk, hogy a bányászat várható hatásainak előrejelzése előfeltétel a természeti kincsek optimális termelési módjának meghatározásához. A leggazdaságosabb megoldást a legtöbb esetben akkor érhetjük el, ha a rendszerek együttes hasznosítását biztosítjuk.

⁂

Nagy műszaki létesítmények környezeti hatásai

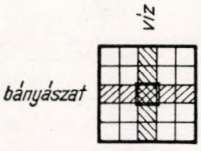
Az 1972-ben megrendezett stockholmi Köznyezetvédelmi Konferenciát követően fokozódott az érdeklődés az emberi tevékenység – különösen pedig a nagy műszaki létesítmények – környezet-módosító hatása iránt. Igényként merült fel, hogy már a tervezés során előrejelezzük a különböző beavatkozások várható hatásait, intézkedések szülessenek a káros változások kiküszöbölésére és a tervek tartalmazzák a módosuló környezet hatékony hasznosításához szükséges beruházási és üzemi feltételek megvalósítását is. Helytelen lenne azonban ennek az új szemléletnek az a szélsőséges értelmezése, – amellyel sajnos sokszor találkozunk mind hazánkban, mind határainkon túl –, hogy minden áron (a szükséges fejlesztések visszafogásával is) meg kell őriznünk a környezeti elemeknek, a levegőnek, a litoszférának, a víznek, a talajnak és az élővilágnak jelenlegi állapotát. Ésszerű törekvésnek azt tekinthetjük, ha a természeti és a művi környezet összhangjának, egyensúlyának megteremtésén fáradozunk, a természeti erőforrások felhasználása során olyan módszereket alkalmazunk, amelyek nem rombolják az igénybe vett természeti kincset vagy környezetét, és nem tesznek tönkre más, kapcsolódó erőforrás-rendszert sem.

A környezetvédelmi szemlélet érvényesülésének hatásaként számos értékes résztanulmány született, amelyek különböző emberi beavatkozás egy-egy környezeti elemre gyakorolt hatását elemezték. Ezek azonban legtöbbször mind területileg, mind tematikailag függetlenek voltak egymástól, mint egy mozaik különálló kövei, amelyekből egységes kép csak megfelelő rendezéssel, összecsiszolással alakítható ki. Korábban javaslatot tettünk olyan mátrix-jellegű rendező kialakítására, amelynek oszlopai a környezeti elemeket képviselik, sorai pedig a nagy műszaki létesítmények főbb csoportjait tüntetik fel *(1. ábra)*.

A mátrix minden keresztezési pontja egy tematikailag egységes kutatási területet jelöl, így összegyűjthetjük az ezzel kapcsolatos résztanulmányokat, és ezeket egymással ütköztetve értékelhetjük a témakör feltártságát, vázolhatjuk jelenlegi ismeretünk szintjét, kijelölhetjük a szükséges további kutatás irányát.

a vizsgált tevékenység	környezeti elemek				
	levegő	földkéreg	víz	talaj	élővilág
vízgazdálkodás					
közlekedés					
bányászat					
ipar					
urbanizáció					

1. ábra: A műszaki tevékenységi fajták és a környezeti elemek kapcsolatát szemléltető rendező



bányászat	víz			
	felszíni víz		felszín alatti víz	
	mennyiség	minőség	mennyiség	minőség
mélyművelés				
külfejtés				
szénhidrogén termelés				
kavics-bányászat				
felszíni kiegészítő tevékenység				

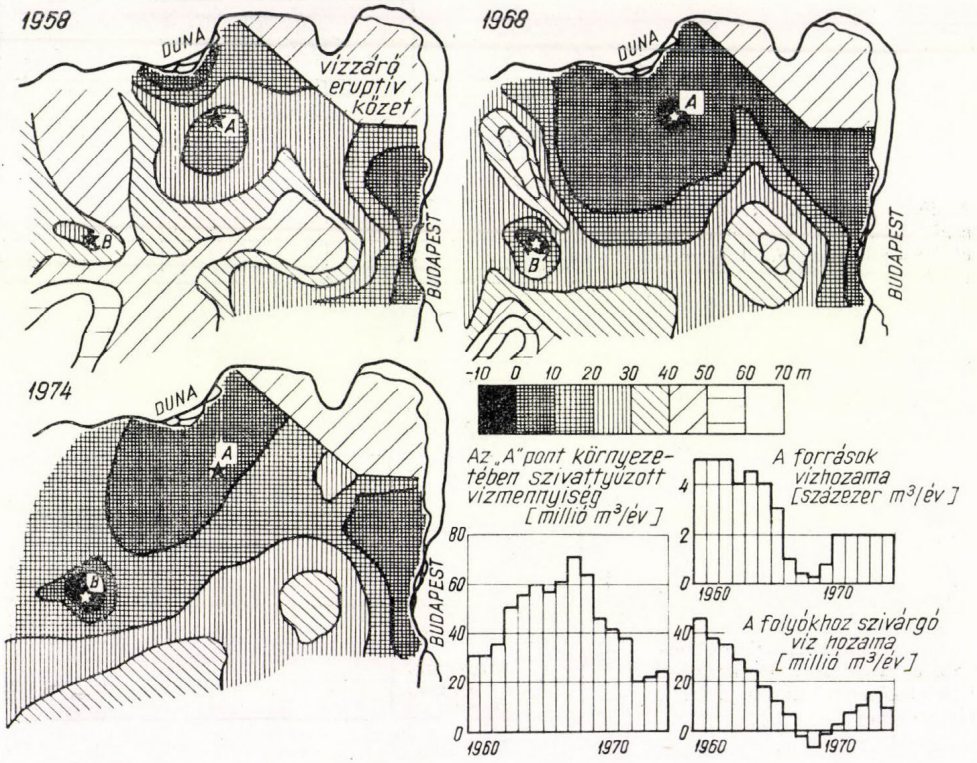
2. ábra: A mátrix részletes bontása a bányászati tevékenység és a vízkészletek kapcsolatának elemzéséhez

A vázolt rendező már több nemzetközi szervezetben alkalmazásra került és mostani előadásom alapjául is azt kívánom felhasználni. Természetesen amikor célunk nem a környezeti hatások teljeskörű áttekintése, hanem egy-egy csomópont részletesebb feltárása, mátrixunkat is tovább finomíthatjuk, alcsoportokra bontva annak mind oszlopait, mind sorait. Jelenlegi feladatunk az, hogy tanulmányozzuk a bányászatnak a vízkészletre gyakorolt hatását. Ésszerű felbontásnak fogadhatjuk el, hogy külön vizsgáljuk a felszíni és külön a felszín alatti hidrológiai folyamatok változását és mindkettőn belül keressük a mennyiségi, és a minőségi hatásokat egyaránt. A bányászati tevékenység további bontásakor – figyelembe véve, hogy célunk most a vízkészletekkel való kapcsolat elemzése – öt alcsoportot különíthetünk el: mélyművelés, külfejtés, szénhidrogén-termelés, kavics-bányászat és a bányászathoz kapcsolódó felszíni tevékenység: ércdúsítás, ércelőkészítés, meddőhányók *(2. ábra)*.

A következőkben arra törekszem, hogy – a rendező mátrix sorait követve – példákon mutassan be a bányászati tevékenység különböző fajtáinak kapcsolatát a vízkészletekkel, kiemelve nemcsak a káros következményeket, hanem azokat a hatásokat is, amelyek vagy már önmagukban is hasznosak, vagy megfelelő kiegészítő intézkedéssel hasznossá tehetők.

A mélyművelés vízkészletekre gyakorolt hatása

A mélyművelés legközismertebb és legerősebb hatása a bányák vízvédelme érdekében végzett szivattyúzás következtében létrejövő vízszintsüllyedés. Egy 1975-ben végzett vizsgálat *(3. ábra)* mutatta, hogyan növekedett Dorog térségében a depresszió 1967...1968-ig, majd ezt követően lassú visszatöltő-

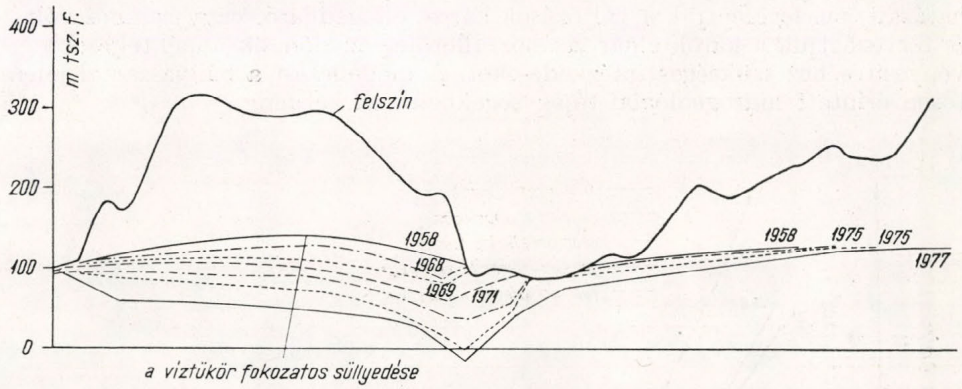


3. ábra: A dorogi bányák víztermelésének leszívó hatása és a hatások időbeli változása

dés volt észlelhető az emelt vízhozam csökkentésének hatására. Megfigyelhetjük az ábrán, hogy a leszívás következtében csökken a források hozama, és az a vízmennyiség is, amely a felszín alatti vízrendszerből a felszíni befogadók — jelen esetben a Duna — felé csapolódott. Ez utóbbi mennyiség a becslések szerint a legnagyobb leszívást követő három évben negatívvá vált, jelezve, hogy ebben az időszakban a felszíni vízrendszer a felszín alatti tározók táplálója volt. Ez a folyamat, ha hosszabb időre állandósul, jelentősen változtathatja a felszín alatti víz minőségét is, veszélyesen akkor, ha a felszíni víz erősen szennyezett.

Metszetben ábrázolva a leszívást — amint ezt a *4. ábra* az iszkaszentgyörgyi bányák példáján mutatja — még világosabban szemléltethető a szivattyúzásnak a felszíni vizek hozamát csökkentő, sokszor nem felismert, vagy elismert hatása. Először a nyugati karsztforrások (Csór, Inota, Várpalota) apadtak el, amelyek a felszíni vízrendszer jelentős táplálói voltak. Látható a metszetből, hogy természetes állapotban a móri árok törésrendszere a karszt-

víz megcsapolója volt, így a Galya és a Mór–Bodajki vízfolyás hozamához a felszín alatti tározó nagymértékben hozzájárult. A bányák víztelenítése egyre meredekebb depressziót hozott létre a völgytalp és a megcsapolási hely között. Ez csak úgy volt fenntartható, hogy a völgy felszíni víz által táplált kavicsrétegéből fokozatosan növekvő hozam adódott át a karsztba. Elérkezett



4. ábra: Hidrogeológiai metszet az iszkaszentgyörgyi bányák leszívó hatásának szemléltetésére

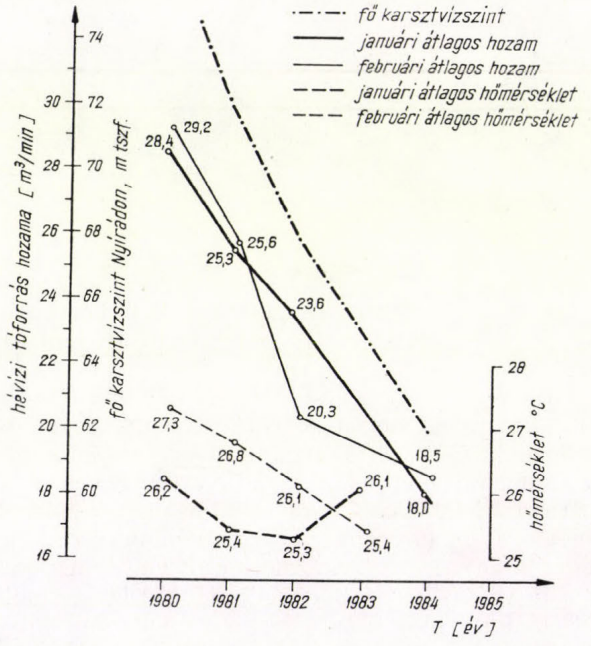
az az időpont is, amikor a táplálás — tehát a felszíni vízhozam csökkenése — már nem tudott tovább növekedni, a leszívási vonal a völgytalptól elszakadt és a depresszió átterjedt a Vértes tömbjére is.

Az iszkaszentgyörgyi példa alkalmas arra is, hogy bemutassuk a felszíni víz minőségének a mélyművelés következtében bekövetkező változását. Az 1950-es években, amikor a bányavizet közvetlenül a termelő vágatokból emelték, a víz lebegő anyag tartalma és biológiai szennyezettsége olyan mértékű volt, hogy a befogadó patakok vize további felhasználásra alkalmatlanná vált. A preventív vízvédelmi módszer bevezetését követően a termelt bányavíz-minőség nem rosszabb a természetes állapotnál, a víz kezeletlenül, vagy még észszerű költséget jelentő kezelés után ivóvízként felhasználható. Az így termelt vízmennyiség nem csak elhárítja a forrásoknak és kutaknak a vízszint-süllyedés miatti elapadásával járó károkat, hanem a régió ipari és kommunális vízellátásához többlet készletet is jelent, ami a bányászat járulékos eredményeként hasznosítható. Erre jó példa a nyirádi rendszer is, amelynek vizét ma már nemcsak a balatoni regionális vízellátó rendszerben hasznosítják, hanem egy részét Kaposvár ellátására adják át.

A nyirádi bányaműveleteket említve szólni kell arról, hogy a vízvédelem érdekében végzett szivattyúzás nemcsak mennyiségi változást okozhat, hanem minőségit is. A Hévízi-tó hozamának és hőfokának csökkenése jelzi a felszín alatti vízrendszerek keveredési arányának változásaként bekövetkezett hatást *(5. ábra)*. A példa arra is figyelmeztet, hogy értékes környezeti elemek védelme érdekében sok esetben mennyiségileg, vagy időben korlátoznunk kell a víztermelést, hogy káros és vissza nem fordítható változást ne okozzunk. Ehhez természetesen elsősorban az szükséges, hogy a várható hatásokat előrejelezhessük. Az időbeli korlát azért lényeges, mert ha a termelés idejét rövidíteni tudjuk, a depresszió területi kiterjedése csökkenthető. Ennek a gondolatnak egyik megvalósulási formája az instantán vízvédelem, amely a leszívást mindig a termelési hely környezetére koncentrálja.

Következtetések

– Az ország teljes területét lefedő hidrodinamikai modellrendszert kell létrehozni, ami megbízhatóan szimulálja az egymáshoz kapcsolódó hidrogeológiai tájegységekben létrejövő áramlási és tározódási folyamatokat. Csak ilyen modellekkel jelezhetjük előre kellő pontossággal a különböző beavatkozások hatásait, mérlegelhetjük a változások káros, elfogadható, vagy hasznos voltát és tervezhetjük a károk elhárításához, illetőleg az előnyök minél teljesebb érvényesítéséhez szükséges intézkedéseket. A modellezést a bányászattal jelentősen érintett hidrogeológiai tájegységekben kell kezdeni.

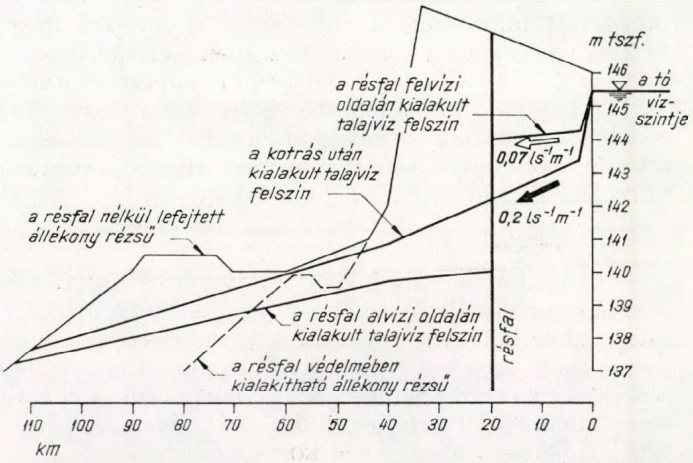


5. ábra: A Hévízi-tó hozamának és hőmérsékletének időbeli változása

– Törekedni kell a bányabeli vízkárok elhárítása érdekében szivattyúzott víz minőségének védelmére, garantált hozamának megóvására és meg kell oldani a felszínre hozott víz minél teljesebb hasznosítását. A bányavíz értékesítése a vízellátó rendszerek számára jelentős vízforrást szolgáltat, a bányászat számára pedig járulékos eredményt ad. Az elmondottak érdekében a víz összegyűjtését függetlenítenünk kell a termelő vágatoktól és törekedni kell közel állandó hozam szivattyúzására. Ahol az utóbbi feltétel nem oldható meg, felszíni tározó közbeiktatásával egyenlíthetjük ki az ingadozást.

– A várható káros hatás elkerülése érdekében szükségessé válhat a szivattyúzás mennyiségi vagy időbeli korlátozása. Mindenképpen szükséges, hogy a vízszint alatti bányaterek megnyitása után az ott lévő ásványkincset a lehető leggyorsabban termeljük ki, mert ez nemcsak a bánya fenntartási költségét (ezen belül a szivattyúzott víz mennyiségét, a szivattyúzás energia- és költségigényét) csökkenti, hanem a leszívás területi kiterjedését és így a káros hatások kialakulásának valószínűségét is.

Ahol a külszíni fejtéssel vízszint alatti ásványkincseket termelünk, a munkatér víztelenítése éppen úgy szükséges, mint mélyművelés esetében. A szivattyúzás hatásának értékelése is teljesen hasonlóan történik: előre kell jeleznünk a várható változásokat, törekednünk kell a termelt víz hasznosítására és óvnunk kell minőségét. Előrejelzett káros hatások elkerülése érdekében sor kerülhet a víztelenítés korlátozására is. Ebben az esetben is előnyös a szivattyúzási idő hosszának csökkentése. Figyelembe véve, hogy a külfejtés legnagyobb mértékben a felszín közeli víztartó rétegeket csapolja, külön gondot



6. ábra: A tatabányai XV/b akna külfejtési szakaszának védelmére létesített résfal vízjárást módosító hatása

kell fordítanunk a talajvíz-felszín változása miatt bekövetkező mezőgazdasági hatások becslésére és értékelésére.

A bányászat és a vízgazdálkodás kapcsolatában a külfejtések környezetében a mélyműveléshez viszonyítva többletként jelentkezik a vízrendezés igénye. Patakmedreket kell áthelyeznünk, hogy a művelni kívánt területet szabaddá tegyük és csökkentsük a munkatérbe jutó és onnan csak szivattyúzással eltávolítható víz mennyiségét. Övárkok és tározók létesítésével védenünk kell a külfejtést a vízfolyások véletlenjellegű árvízei által okozható károktól. A tervezés során nemcsak arra kell törekednünk, hogy előrejelezzük a megvalósításra kerülő rendszer vízjárást módosító hatását, hanem arra is, hogy a vízrendezés többcélú formáját alakítsuk ki. Gondos tervezéssel — és esetleg nem számottevő ráfordítási többlettel — ugyanis elérhetjük, hogy a külfejtés érdekében végzett vízrendezés egyben hozzájárul a régió vízgazdálkodási infrastruktúrájának javításához is (pl. az árvízvédelmet szolgáló tározók vize öntözésre felhasználható, az új medrek megfelelő vonalvezetésével egyébként szükséges lecsapolási feladatok is megoldhatók, a vízszint-süllyedés miatt elapadó kutak pótlásához szükséges vízellátó rendszer regionális hálózat alapja lehet, stb). Mindez jó példája annak, hogyan valósíthatjuk meg a szükségszerűen módosítandó környezeti adottságok máscélú hasznosítását is.

Az előzőkben a külfejtés vízvédelme érdekében szükséges létesítmények más célra is lehetséges és szükséges felhasználásáról szóltunk. A többcélúság igénye fordított kezdeményezésre is felmerülhet: egy környezeti elem védelme

érdekében végzett beavatkozás növelheti a külfejtés hatékonyságát. Erre példát a tatabányai XV/b aknához csatlakozó külfejtés mutat *(6. ábra)*. A szénmező nyugati irányban megközelíti a bánhidai erőmű hűtőtavát. A bánya-műszaki előírások a vízbetörés veszélyének csökkentése érdekében megszabják a védelmi pillér méretét, azt a távolságot tehát, ameddig a művelés a felszíni vízteret megközelítheti. A vizsgált esetben azonban a tó fokozott védelme volt szükséges, mert annak jelentős vízvesztesége az erőmű üzemét zavarhatta volna. A felszínközeli 17...20 m vastag homokos-kavics réteget ezért résfallal zárták le. Ennek hatására a bányatérben nyugatról beszivárgó vízhozam a harmadára csökkent és mintegy 30...35 m-es mező vált leművelhetővé, növelve így a külfejtés hatékonyságát.

A külfejtés legszembetűnőbb környezetmódosító hatása a kotrással és a mozgatott földtömeg elhelyezésével együttjáró felszínrombolás. Ennek vízrajzi következménye a zárógödörben keletkező tó, ami megfelelő kialakítás esetén új üdülési lehetőséget jelent, elhanyagoltan viszont nemcsak esztétikailag bántó kép, hanem veszélyes szennyezési forrás is, amely jelentősen ronthatja a csatlakozó rétegekben tárolt víz minőségét. Ezért szükséges, hogy a külfejtéssel bolygatott terület rekultivációja fontos és elválaszthatatlan záró művelete legyen mindig a bányászatnak.

Következtetések

– Amikor a külfejtéssel talajvíz-felszín alatti ásványkincset termelünk, a munkatér víztelenítése éppen úgy megbolygatja a vízháztartás egyensúlyát, mint a mélyművelés esetében. A várható hatások előrejelzése érdekében ilyenkor is szükségesek a regionális hidrodinamikai modellek, gondoskodnunk kell a szivattyúzott víz minőségének védelméről és a víz hasznosításáról, továbbá törekednünk kell a fejtés koncentrálásával, illetőleg gyorsításával a hatások területi továbbterjedésének korlátozására.

– A külszíni fejtés környezetében mindig szükséges a felszíni vízrendezés és néha módosítanunk kell a felszín alatti vízjárás jellegét is. A beavatkozások költség – eredmény hányadosának javítása érdekében feltétlenül indokolt többcélú vízrendezési létesítmények megvalósítása, amelyek a külfejtés igényének kielégítésén túl egyben szolgálják a régió vízgazdálkodási infrastruktúrájának javítását, vagy a környezeti elemek védelmén kívül növelik a külfejtés hatékonyságát is.

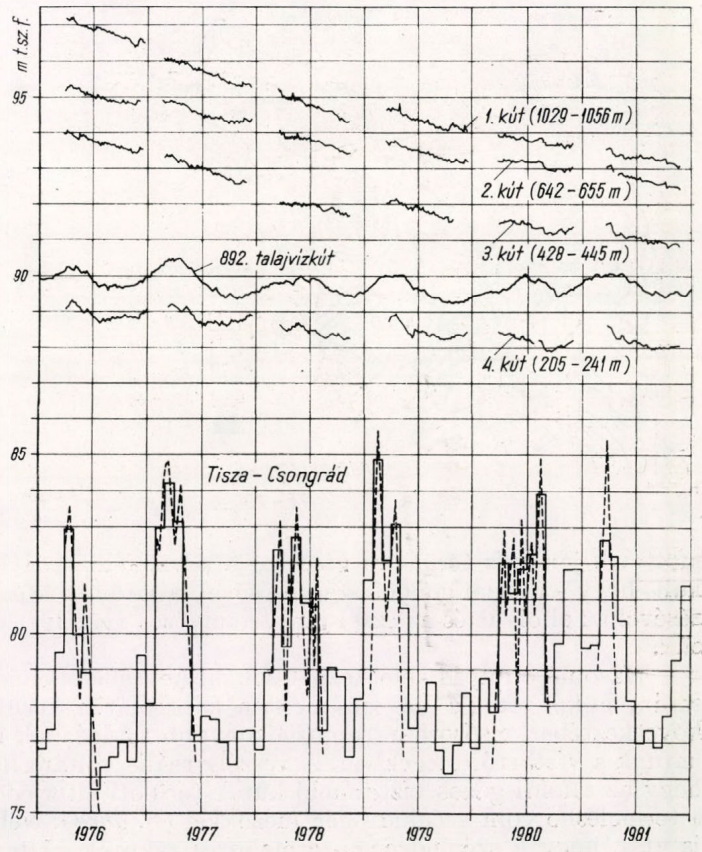
– A terület rekultivációja mindig szerves és elhagyhatatlan része legyen a bányászatnak. Megfelelő és nem túl költséges utómunkálatokkal a zárógödörben visszamaradó tónál új üdülőhely létesíthető. Ellenkező esetben a sérült felszín esztétikailag is tájromboló hatású és súlyos szennyezési góc lehet.

A szénhidrogéntermelés és a felszín alatti vízkészletek kapcsolata

A szénhidrogén-telepek energiaviszonyának feltárásával és a rétegek energiakészletének a termelés hatására bekövetkező időbeli változásával foglalkozó tudományágat az olajbányászatban rezervoire-mechanikának nevezik. Nem szabad azonban elfeledkeznünk arról a tényről, hogy ugyanazok a porózus formációk, amelyek a földgázt és az olajat tárolják, más szakaszukon vízzel telítettek. Összefüggő pórusrendszerükben egységes nyomás-mező alakul ki és ezért mind a szénhidrogének, mind a víz termelése a természetes geológiai folyamatok hatására felhamozódott energiakészletet fogyasztja. A rétegfolyadékok bármelyikének hasznosítása visszahat a másik készlet termelhetőségére, vizsgálatuk ezért csak együtt lehet ésszerű, a rezervoire-mechanika és

a hidrogeológia egymástól elválaszthatatlan iker ágai a folyadékok és gázok mechanikájával foglalkozó tudományterületnek.

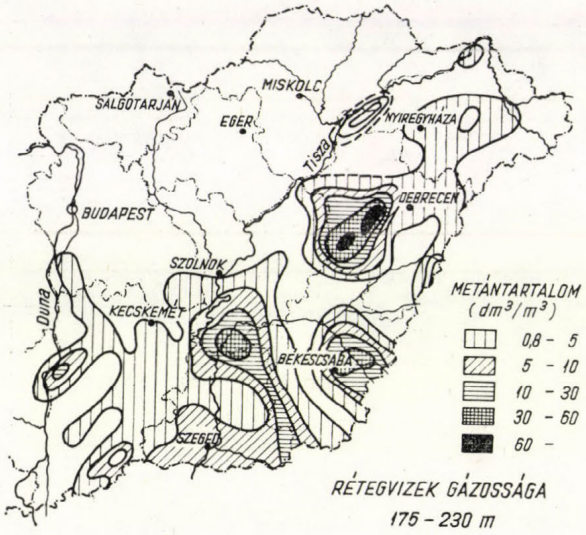
Az előző állítás igazolásaként a Magyar Állami Földtani Intézet csongrádi észlelőkút-csoportjának adatsorát mutatjuk be a *7. ábrán.* Látható, hogy a talajvízfelszín a szokásos évszakos ingadozást követi, jelezve a beszivárgásból eredő felhalmozódás és a párolgás okozta kiürülés szabályos változását. Év-



7. ábra A MÁFI csongrádi észlelőkút -csoportjának adatsora

szakos ingadozás figyelhető meg a legfelső rétegvíz (204...241 m) nyomásszintjében is, ami azonban jobban hasonlít a Tisza vízjátékára (pl. az 1977. évi márciusi és áprilisi kettős csúcs), mint a talajvíz-járásra, mutatva a folyó megcsapoló hatásának jelentőségét. Kismértékben süllyedő trend is felismerhető ennek a horizontnak nyomás-szintjében, ami a mélyebben fekvő és erősen csökkenő energiájú rétegekkel való kapcsolatra utal. Az alsó három észlelt szintben (428...445 m, 642...655 m és 1029...1056 m) a nyomásváltozás legjellemzőbb tulajdonsága az energiakészlet gyors csökkenése és lefelé fokozatosan gyengülő évszakos ingadozás. Az a tény, hogy a legnagyobb nyomáscsökkenés a legalsó horizontra jellemző és a 200 m körüli szintben a csökkenés alig mutatható ki, igazolja, hogy az energia-készlet jelentős fogyasztója nem a felszínközeli rétegeket csapoló vízellátás, hanem a mélyebben fekvő formációkból termelő dél-alföldi szénhidrogén-bányászat.

Az energia-készlet csökkenésében jelentkező mennyiségi hatáson kívül az olaj és a földgáz termelése a vízkészlet szennyező forrása is lehet. A felszínen kezelési hibából elfolyó, vagy a szállító-vezetékből elszökő olaj a felszíni vízbe juthat, vagy a talajvízhez szivároghat. Ez nemcsak a vízminőség rontása, hanem üzemi veszteség is, bár a szennyezés jelenti a nagyobb veszélyt, hiszen olyan kis mennyiség is, amely a termelés szempontjából egyáltalán nem szá-



8. ábra: Az alföldi gázos víztermelő kutak területi elterjedése

mottevő, jelentős területen gátolhatja a víz felhasználását. Feltétlenül indokolt, hogy az üzem gondos szervezésével, a vezetékek és szerelvények ellenőrzésével az elfolyás és az ezzel járó szennyezés veszélyét minimálisra csökkentsük.

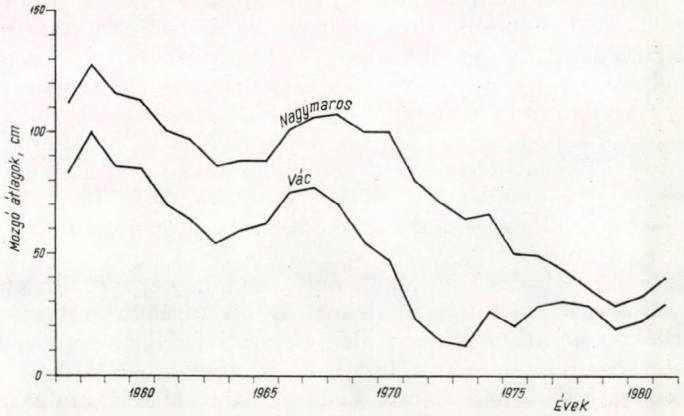
Hasonló elfolyás keletkezhet sokkal kevésbé ellenőrizhető módon a fúrás során, ha két réteg a csövezés mentén kapcsolatba kerül. Az ilyen átfejtődés következtében elsősorban a mozgékonyabb földgáznak megjelenésére számíthatunk a víztartó rétegekben. A veszély reális voltára figyelmeztet az a tény, hogy az alföldi gázos víztermelő kutak területi elterjedése jó egyezést mutat a termelésbe vont szénhidrogén mezőkkel *(8. ábra)*. Néhány megfigyelés arra is utal, hogy a szénhidrogén-termelés és a kutak gáztartalma időben együtt növekedett. Természetesen a fúrás és a kútkiképzés során arra kell törekednünk, hogy a különböző rétegfolyadékot tároló formációk rövidre zárását elkerüljük, azonban az átfejtődés lehetőségét teljesen így sem zárhatjuk ki. A vízellátásba bevont kutak gáztalanításával és folyamatos minőség-ellenőrzésével kell az esetleges baleseteknek elejét vennünk.

Következtetések

– A Pannon-medence szénhidrogén-tároló és víztartó formációi összefüggő, energetikailag egységes rendszert alkotnak. Az egyik rétegfolyadék hasznosítása hat a másik termelhetőségére, ezért a rezervoire-mechanikai és a hidrodinamikai modellek csak együtt kezelhetők. Az egymásra hatást nem csak a tervezést segítő modellezésben, hanem az üzemben is figyelembe kell ven-

nünk és a két természeti erőforrás hasznosítása során mindig számítanunk kell a kölcsönhatásokból származó konfliktushelyzetek kialakulására.

– Az olaj és a földgáz termelése során felszíni és felszín alatti vizeink könnyen szennyeződhetnek. A felszíni elfolyás vízminőséget rontó hatása ellen gondos üzemmel védekezhetünk. Nehezebben védhető ki a rétegek közötti át-



9.ábra: A kisvízi szintek süllyedő trendje a Duna nagymarosi és váci szelvényében

fejtődés hatása, aminek jelenlétére gázos víztermelő kútjaink területi elhelyezkedése és vizük gáztartalmának növekedése utal. Feltétlenül indokolt ezért a vízművekben a folyamatos vízminőség-ellenőrzés és ahol szükséges a víz gáztalanítása.

A folyami kavicskotrás következtében létrejövő mederváltozások

Az évente legnagyobb mennyiségben igényelt ásványi nyersanyag az építkezésekhez felhasznált, laza szemcsés üledék (kavics, homok, agyag). Ennek jelentős hányadát külszíni bányákban fejtik, és ezért termelésükhöz kapcsolódva azok a vízgazdálkodási feladatok jelentkeznek, amelyeket a külfejtéseket elemezve már felsoroltunk. Kivételként említhetjük a kavicsot, amelynek nagyobb részét a folyók medréből kotorják és kisebb arányban használnak fel bányakavicsot. Minthogy ez a termelési mód közvetlenül befolyásolja a folyók medrének alakulását és ezáltal vízszintváltozásokat okoz, a bányászat és a vízkészletek kapcsolatának vizsgálatakor külön kell elemeznünk környezeti hatásait.

Mindaddig, amíg az igényelt kavics mennyisége nem haladta meg lényegesen a folyókon érkező görgetett hordalék mennyiségét, nem volt szükség arra, hogy gazdálkodjunk a medrek kavicskincsével. Csupán arra kellett ügyelnünk, hogy lehetőleg a gázlós szakaszokra korlátozzák a kotrást és így a termelés egyben segítse a folyószabályozás feladatainak munkáját és a hajózóút fenntartását. Ezért már a század első felében is a Folyammérnöki Hivatalok felügyelték a kavicskotrást.

Az utóbbi évtizedekben olyan mértékben növekedett meg a kavics iránti igény, hogy kielégítése érdekében a kotrások mellett már a tárolt készletek felhasználására kényszerültek. Különösen kritikussá vált a helyzet a Dunán, nem csak azért, mert a budapesti agglomerációban és a Duna mentén Győr és Esztergom között húzódó ipari tengelyben használták fel a legtöbb kavicsot és ezért a kotrások is itt koncentrálódtak, hanem azért is, mert az osztrák és német vízlépcsők kiépülése után jelentősen csökkent a középső Duna-szakaszra

érkező görgetett hordalék. A túlkotrás hatását mutatja a *9. ábra*, amelyen a nagymarosi és a váci szelvényben észlelt évi legalacsonyabb vízszint ötéves mozgó átlagát ábrázoltuk. Világosan kirajzolódik a kotrások következtében előállt medermélyülés hatása, amely a hatvanas évek közepén gyorsult fel és tíz év során 60...70 cm süllyedést okozott.

Az évente dm-rendű vízszintsüllyedésnek az a hatása, hogy a szivattyúzott vizet mélyebbről emelve az ellátás több energiát igényel, elhanyagolható. Kritikussá a folyamat akkor válik, amikor egy rögzített küszöbű vízkivétel helyén a folyó alacsony vízállása már nem teszi lehetővé az üzemhez szükséges vízmennyiség kiemelését. Folyamatosan rontja a vízszintsüllyedés a parti szűrésű kutak termelését is, mert a kutak leszívásához viszonyítva a rendelkezésre álló energiakészlet csökkenése kisvizek idején már számottevő lehet.

Ugyancsak a parti szűrésű kutak rendszerében jelentkezhet a folyami kotrások vízminőség-módosító hatása. Amikor a cél építőipari nyersanyag termelése, a kotrások helyszínrajzi és mélységi vonalazásában háttérbe szorulnak a folyószabályozási érdekek, helyi zsákok képződnek, amelyek iszapcsapdaként összegyűjtik a finom üledéket. Az így kialakuló, nagyobb ellenállású rétegben a lelassuló áramlás és az elégtelen oxigénellátás miatt megkezdődhet az oldott szervesanyag anaerob bomlása, aminek első következménye a víz vas- és mangántartalmának növekedése. Közvetve is kialakulhatnak ilyen minőségrontó gócok, mert a kotrás miatt elfajuló meder vonalazásának biztosítása folyószabályozási művek építését teheti szükségessé és ezek holtterében is létrejön iszaplerakódás.

Következtetések

– A folyami kotrások a kritikus szakaszon már nem tudják az építőipar által igényelt kavics-mennyiséget előállítani. A túlkotrással járó medermélyülés veszélyeztetheti a rögzített küszöbű vízkivételek és a parti szűrésű kutak teljesítőképességét. Ennek elhárítása érdekében fokozni kell a már megkezdett öblözeti kotrások mértékét, hogy csökkenthető legyen a folyami kotrás mennyisége.

– A túlkotrással létrehozott helyi medermélyülésekben kialakuló iszaplerakódás ronthatja a parti szűrésű vízkészlet minőségét, növelve elsősorban ennek vas- és mangántartalmát. Ennek megelőzése érdekében feltétlenül szükséges a megzavart mederszakaszok rendezése, az egységes és megfelelően vonalazott meder kialakítása.

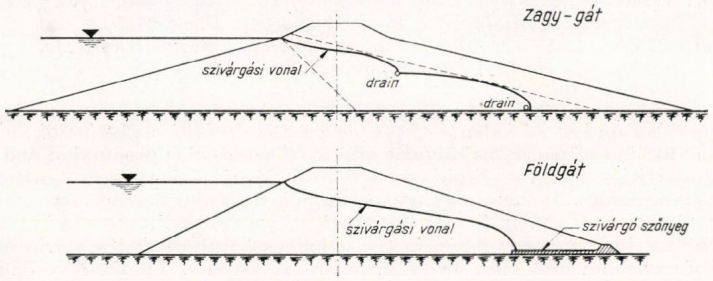
A bányászathoz kapcsolódó felszíni tevékenység vízgazdálkodási kérdései

A bányászat által termelt ásványi nyersanyagot a helyszínen osztályozni, dúsítani kell, sőt sokszor az elsődleges feldolgozást is itt célszerű végrehajtani, mert ezzel csökkenthető a szállítás költsége. A bánya környezetére jellemzők a meddőhányók, ércosztályozók és dúsítók. A kis kalóriájú szenek ésszerű értékesítése azt igényli, hogy a hasznosító erőművet is a bánya közelébe telepítsük, ezért közvetve ennek vízellátási gondjai, pernyéjük és salakjuk elhelyezése is a régiót jellemző felszíni tevékenységnek tekinthető.

Minthogy az ásványkincsek lelőhelyének közelében ritkán találunk nagy hozamú vízfolyást, a felsorolt létesítmények vízellátásának alapját a legtöbbször korlátozott helyi készletek szolgáltatják. A frissvíz-igény biztosítása így sokszor teszi szükségessé a hasznosítható víz mennyiségének tározással, átve-

zetéssel történő növelését. A gazdaságosság érdekében indokolt többcélú megoldások alkalmazása, amelyek az ipari igények kielégítésén kívül megoldják a kommunális vízellátást és vizet szolgáltatnak a mezőgazdaság számára is.

A többcélú hasznosítás egyik különleges formájának tekinthetjük azt a megoldást, amikor a készletszabályozást szolgáló tározó gátját a bánya meddőjéből, vagy az erőmű salakjából, pernyéjéből építjük meg. Ezeknek a hulladékoknak az elhelyezése ugyanis terhet jelent az üzem számára. Ezért nagy mennyiségű beépítésük egy-egy vízgazdálkodást szolgáló gát testébe még akkor is gazdaságos, ha az anyag rosszabb fizikai tulajdonsága miatt nagyobb gátszelvényt kell alkalmaznunk, amint ezt egy azonos biztonságot adó földgát és zagygát szelvényének összehasonlítása igazolja *(10. ábra)*.



10. ábra: Azonos biztonságú földgát és zagygát szelvényének összehasonlítása

Az ellátási gondok megoldásán kívül problémát jelent az a tény is, hogy a bányászathoz kapcsolódó felszíni tevékenység számottevő szennyezőforrása lehet vízkészleteinknek. A bányához kapcsolódó ipar által kibocsátott szennyezett víz tisztítása jelentős feladat, technológiája azonban ismert és alkalmazása különös megoldást nem kíván. Számolnunk kell azonban a hányókból származó szennyezések tovaterjedésével is. A beszivárgó és a talajvízhez lejutó víz, vagy a felszínen végig csörgedező csapadék sok oldott anyagot szállít és ez a nem pontszerű terhelés rontja mind a felszíni, mind a felszín alatti vízkészletek minőségét. A csurgalék összegyűjtésével és kezelésével, vagy megfelelő terelésével és hígításával kell a talajvíz és a befogadó további felhasználhatóságát megőriznünk.

Következtetések

– A bányászathoz kapcsolódó felszíni tevékenység szorosan kötődik az ásványi nyersanyagok feltárási helyéhez. Telepítésük során ezért a legtöbb esetben nem lehetünk tekintettel a vízkészletek területi elhelyezkedésére, így sokszor vízellátásuk csak tározók létesítésével, vagy vízátvezetéssel oldható meg. A vízgazdálkodási beruházások hatékonyságának növelése érdekében indokolt többcélú megoldások alkalmazása, amelynek a bánya és a hozzákapcsolódó ipar igényén túl szolgálnia kell a kommunális és a mezőgazdasági vízellátást is. Külön figyelmet érdemel annak lehetősége, hogy a tározók gátjaiba a hányók hulladékanyagából jelentős mennyiséget építhetünk be, aminek elhelyezése másképpen gondot okoz az üzemeknek.

– A bányához kapcsolódó üzemek ipari vizének biztosításán kívül a felszíni és a felszín alatti vizek minőségének védelmére fokozott erőfeszítést kell kifejtenünk a hányókból eredő nem pontszerű szennyezések elhárítása végett.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 5 – 6. szám. 1984. szeptember – december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 5—6. Sept—Dec. 1984. Budapest

Az ásványi nyersanyagtermelés és felhasználás földrajzi és társadalmi hatásai

BERNÁT TIVADAR, BORA GYULA, *Marx Károly Közgazdaságtudományi Egyetem, Gazdaságföldrajzi Tanszék, H—1093 Budapest, Dimitrov tér 8.*
és RÉTVÁRI LÁSZLÓ, *MTA Természeti Erőforrások Koordinációs Iroda, H—1051 Budapest, Arany János u. 10.*

Geographical and social impacts of production and utilisation of mineral raw materials. In the introduction of paper the adverse effects of world-wide production and utilization of mining activities on the environment are outlined by regions of raw material output and input (processing). At the same time attention is drawn to the tools for socially advantageous environmental equilibria elaborated scientifically and also tested in practice. The most important in theoretical basis, in the opinion of authors, is the clarification of the problems of environmental risks from multifarious aspects. Through establishing the concepts of environmental, economic and social risk and damage (loss of value) the final conclusion is reached, i.e. besides production costs the mining and processing of raw materials have an additional and important cost component. This component covers the expenses spent for the restoration of environmental damage of various kind, listed as 'social costs' in economic literature. In the scope of practical problems, authors study two fundamental issues. One is that of derelict land abandoned by mining (as a form of environmental damage) and the other is the problem of utilizing natural resources and endowments. The latter also reveals the conflict between bauxite mining (with active sinking of water table) and the world famous Hévíz medical resort (spa) in the Transdanubian karstic mountains. The present situation is engraved by the tension of aluminium industry and general social interest.

⁂

Az ásványi nyersanyagtermelés és felhasználás földrajzi és társadalmi hatásai. A tanulmány bevezetője tömören jellemzi a világot átfogó bányászati termelés és feldolgozás környezetkárosító hatását, mégpedig a nyersanyagkibocsátó, illetőleg az azokat befogadó és feldolgozó térségek szerint. Ugyanakkor felhívja a figyelmet arra, hogy az ember számára kedvező környezeti egyensúlyok kialakítására a tudomány ma már elméletileg a gyakorlatban is kipróbált eszközrendszert teremtett. Az elméleti alapok között a szerzők legfontosabbnak a környezeti kockázat kérdésének sokoldalú tisztázását tekintik. A környezeti, gazdasági, társadalmi kockázat és kár (értékvesztés) fogalmának tisztázásával jutnak el arra a végkövetkeztetésre, hogy a bányászati nyersanyagtermelésnek és -feldolgozásnak a termelési költségen túl létezik még egy igen fontos költségtartománya. Ez a költségtartománya különböző környezeti károk helyreállítása, amit a közgazdasági irodalom a „társadalmi költségek" közé sorol. A gyakorlati problémakörökből a szerzők két fundamentális kérdést fejtenek ki. Egyik a bányászat miatt a mezőgazdasági termelésből kivont földterület (mint a környezeti kár egyik formája), a másik pedig a természeti erőforrások és adottságok együttes hasznosításának problémája. Utóbbi a Dunántúli-középhegység karsztos térszínein aktív víztelenítéses technológiával folyó bauxitbányászat, ill. a világhírű hévízi gyógyüdülői potenciál közötti igen súlyos, napjainkban jelentkező – az alumíniumipar és az általános társadalmi érdekeltség között feszülő – konfliktus helyzetét is feltárja.

⁂

Az ember létfenntartása érdekében folytatott termelő tevékenységével az ősközösség felbomlásától kezdve napjainkig egyre látványosabban formálja, mind intenzívebben hasznosítja földrajzi környezetét. Korunkban a különböző

gazdasági tevékenységformák oly nagy mértékben gyorsultak fel, hogy hatásukra világjelenséggé vált a természeti feltételek romlása, az emberi környezet egyensúlyának megbomlása.

A világot átfogó anyag- és energiaáramlási rendszerben ma már mind méretét, mind a szállítási távolságokat tekintve *az ásványi nyersanyagtermelés és feldolgozás áll az első helyen.* Míg korábban, még egy évszázaddal ezelőtt is, jól elkülönültek a mező- és erdőgazdálkodás, a halászat, vadászat *természetes-hez közel álló* – hatalmas térségeket átfogó – *területhasznosítási típusai* a bányászati és ipari területhasznosítás szinte pontszerűen elhelyezkedő kis térségeitől, addig a mában már nehezen találhatók olyan térségek, amelyek mentesek volnának az ásványi nyersanyagtermeléstől, vagy nyersanyagok híján befogadásuktól.

Globálissá vált a bányászati termelés és feldolgozás, de a *kibocsátó és befogadó térségekre* gyakorolt környezetromboló, környezetkárosító hatások között aligha lehet egyik, vagy másik javára mennyiségi, ill. minőségi különbséget felfedezni. De még a bányászat vagy a nyersanyagfeldolgozás tereit tanulmányozó geográfus is gyakran csak nagy üggyel-bajjal képes eligazodni a természeti környezetre gyakorolt antropogén hatások és formák között, mert azok hasonlók lehetnek, vagy keverednek, Kétségtelen, hogy legszembeötlőbb a *kibocsátó bányászati térségekben* a környezet átalakulása. Külszíni szén, lignit, érc (pl. bauxit), építőipari alapanyagok, egyéb nem fémes ásványok kinyerése után a „bulldózer-denudáció" eredményeként hatalmas, gyakran vízzel feltöltődő mélyedések keletkeznek, s körülöttük felhalmozott meddőanyagokkal „holdbéli táj"-ra emlékeztető felszíni alakzatok képződnek. Mélyművelési bányászat esetén a millió tonnákban mérhető bányászati meddőanyagok felhalmozódása pozitív irányú antropogén formákat eredményez. A bányafelhagyás után viszont roskadásos, hullámos felszínek, jó ideig semmire sem használható parlagok jönnek létre. A felhalmozott meddőanyagok mesterséges képződményei miatt előfordul, hogy hegytetőn spontán mosási növénytársulás alakul ki, a mélyebb részek korábbi tavai, vizenyős területei viszont kiszáradnak, az erdők kipusztulnak.

Az ásványi nyersanyagokat *befogadó, feldolgozó térségekben* hasonló formákkal, de még több, emberre, állat- és növényvilágra káros környezetszennyező anyaggal találkozunk. *A szilárd halmazállapotú* égéstermékek, kiszáradó zagyok, ipari--építőipari hulladékok, roncsok, vegyipari – gyakran mérgező – melléktermékek; a *cseppfolyós* ásvány- és kőolajszármazékok, biológiailag le nem bomló ipari szennyvizek, különböző oldott mérgező anyagok és a *légkört* folyvást terhelő szén- és kén-dioxid, korom, pernye, por, mind-mind idegen, „megszokhatatlan" a természet számára. Ezek elhelyezése, ártalmatlanítása önmagában is rendkívül nagy gond, amit csak tetéz, hogy ezek a talajfelszínt, vizeket, levegőt folyvást szennyező, terhelő anyagok sűrűn lakott, többnyire városi térségben halmozódnak – a feldolgozás zaja, bűze a lakosságot sújtja – és ezzel tovább növelik a helyszűkével küszködő területgazdálkodás egyébként is akút problémáit, gondjait.

Nem mentesek azonban a környezetkárosodástól azok a térségek sem, amelyek a bányászati termelés és feldolgozás utáni kész termékeket fogadják be. A távolabbi termőföldeket is elérik a savas esők, s az odahordott műtrágya a legkülönbözőbb vegyszerek nem kellően körültekintő alkalmazásával a talaj elsavanyodik, ill. a talajvíz egyre mélyebben szennyeződik el.

A földrajzi környezet néhol katasztrofális degradációs folyamatait felismerve a tudomány és technika sok területen már ma is kínál elfogadható

alternatívákat arra, hogy a természet-társadalom kapcsolatrendszerében a környezeti krízis kihívása ellen megfelelő válaszokat adjon.

A visszafordíthatatlan és globális környezetkárosodás ellentétpárja az új — az ember számára kedvező — környezeti egyensúlyok megteremtése volna. Ezekhez a tudomány, ha még nem is teljes skálában, de elméletileg kidolgozott, sőt a gyakorlatban is kipróbált eszközrendszert teremtett. Eredményes technikai eszközök, technológiai eljárások állnak rendelkezésre a bányászati terek rekultivációjára, célszerű hasznosítására, a meddő- és hulladékanyagok újrahasznosítására, a mérgezők ártalmatlanítására, az alapanyagok feldolgozásakor keletkező folyékony és légnemű szennyező anyagok kiszűrésére. A környezeti ártalmakból kivezető utat azonban keresztezi a világ politikai megosztottsága, a környezetvédelemre fordítható pénzösszegek szűkössége, a ma még meglévő nagy gazdasági és technikai szintkülönbségek, a szinte áthidalhatatlan érdekellentétek. Századunk végén a 6 milliárdos emberiség közel 4/5 része a fejlődő országokban fog élni és az évente százmillióval szaporodók eltartásához belső tőke hiányában nem képesek ezek az országok lemondani a természeti erőforrások igénybevételének és hasznosításának extenzív formáiról. Kétségtelen, hogy ez korunk egyik legnagyobb, legsúlyosabb ellentmondása és kihívása.

Az ásványi nyersanyagtermelés és felhasználás kockázatának és hatásainak elméleti megközelítése

Az ásványi nyersanyagkitermelés és feldolgozás sokoldalú hatásai között vannak gazdasági hatások, mint a makroökonómiai szinten a társadalmi termék, ill. a nemzeti jövedelem növekedése, a külgazdasági egyensúly fenntartása vagy javítása, a gazdaság menetének, folyamatának biztosítása, ezeken túl a jövedelmek és a vásárlóerő növelése. A társadalmi hatások közül megemlíthető a foglalkoztatottság növelése, a foglalkozási szerkezet megváltozása, a szakmai struktúra korszerűsödése. Pozitív hatás mutatható ki a települések fejlődésében, az urbanizációs folyamat meggyorsulásában, az infrastruktúra általános fejlődésében is. Az előbbieken túl természetesen számos előnyük mutatkozik meg a technikai fejlődés terén is.

A fentieken túl azonban számos olyan hatás is jelentkezik, amelyek már kevésbé kedvezők vagy kimondottan negatívak társadalmi és gazdasági szinten egyaránt. A reális értékelés megköveteli mindkét oldal számbavételét és ezekből a szükséges következtetések levonását. A kétoldalú szemlélet fontosságát azért kell aláhúzni, mert az ásványi nyersanyagtermelés és feldolgozás társadalmi és gazdasági értékelésekor a gyakorlat hosszú időn keresztül csak a pozitív oldal kiemelésére koncentrált. Az egyoldalú szemlélet okai ma már ismeretesek, amelyekre itt nem szükséges rámutatni, többek között kapcsolatban van a környezetvédelem fontosságának lassú felismerésével, de kapcsolatban van azzal is, hogy a kockázatnak, különösen pedig a környezeti kockázatnak a figyelembevétele nem kapott kellő hangsúlyt.

Az ásványi nyersanyagtermelés és feldolgozás kockázatának és hatásainak a vizsgálatakor is az alapvető emberi motivációs tényezőből, az emberi szükségletek kielégítéséből kell kiindulni, amely az emberi tevékenység meghatározója volt a történelem során és az ma is. Az igények kielégítésének következménye a termelés fokozása, az ember és a természet közötti kapcsolatok kiszélesítése és elmélyítése lett, ami napjainkban már globális kereteket ölt. Az ásványi nyersanyagtermelés és feldolgozás az emberi cselekvés egy speciális és

jól meghatározható területe, amely mint minden emberi tevékenység, a kockázatot is magában hordozza. A kockázat pedig a tevékenység, cselekvés (események) potenciális következményeinek eloszlásában jut kifejezésre. A következmények objektíven lehetnek pozitívak (nyereség, veszteség), de lehet negatív is (veszély, veszteség, ártalom), azaz a gyakorlatban egyidejűleg mindkettővel számolni kell. Az előbbiekből tehát még következik az is, hogy a kockázatnak végeredményben valószínűségi aspektusa is van, annak ellenére, hogy a cselekményhez (eseményhez) pozitív vagy negatív előjelű következmény tartozhat, a kockázattal foglalkozó irodalom, illetve gyakorlat általában a negatívan értékelendő következményekre koncentrál.

A témakörrel kapcsolatban jelentkező kockázatoknak eredetük szerint több csoportja is van:

– a társadalmi kockázat hordozói – szoros értelemben véve – azok a tevékenységek és magatartások, folyamatok, amelyek a társadalmi viszonyokra, egyes emberek, csoportok kapcsolataira, helyzetére hatnak és – a kedvezőtlen kimenetel esetén – közvetlenül vagy közvetve vezetnek a kárhoz.

– a gazdasági kockázat általában visszavezethető a gazdasági folyamatokban figyelmen kívül hagyott, vagy időközben megváltozott belső vagy a gazdasági környezetben rejlő tényezőkre, amelyek pl. a kereslet, az árak, a nyereség, a versenyképesség stb. változását idézik elő;

– a kockázatnak van azonban egy speciális területe is, amely a szakirodalomban *környezeti kockázat* néven vált ismertté. A fogalom megközelítését kétségtelenül nehezíti, hogy az esemény oka, aminek következménye a kockázat, lehet emberi (társadalmi) eredetű, de következhet a természet spontán folyamataiból is, a kettőnek azonban van egy közös jellemzője, hogy a kockázatot a környezet (természet) valamilyen közege közvetíti. Az előbbiek alapján a környezeti kockázat a következőképpen fogalmazható meg: A környezeti kockázat spontán természeti jelenség vagy emberi cselekedet által kiváltott és a természeti vagy mesterséges környezeten, mint közvetítő közegen keresztül továbbított nem kívánatos ártalmak és következményeik valószínűségének mértéke.

A kockázat a spontán jelenségeken a valószínűségen és a következményeken túl feltételezi az embert (társadalmat) is, amely annak részbeni előidézője és a következmények szenvedője is. A környezet, mint közvetítő közeg a meghatározásban azt jelenti, hogy a kockázatot, ill. annak ártalmait a természeti környezet valamelyik közege (víz, levegő, talaj stb.) vagy a biológiai élelmiszer-lánc közvetíti az emberhez.

A környezeti kockázat okai, bár jól meghatározhatók, de rendkívül sokoldalúak, közülük egyesek az emberi tevékenységből származnak, mint a termelés egésze, vagy azon belül az új technológiák, termékek, vegyszerek bevezetéséből; mások, mint a talaj pusztulása és a természeti csapások, a természet folyamataiból következnek, az emberre, az emberi tevékenységre vagy a településekre hatnak.

A környezeti kockázattal kapcsolatban még rá kell mutatnunk két fontos jellemzőre. Az egyik az, hogy számtalan olyan tevékenység (döntés) van, amelynek következménye többféle előjelű is lehet, ami az ásványi anyagkitermelésre és feldolgozásra is vonatkozik. A tevékenység következményének gazdasági kockázata lehet pozitív eredményű, azaz a tevékenység gazdasági előnyökkel, nyereséggel jár, de ugyan ennek a környezeti kockázati következménye lehet negatív is (ami a dolgok természetéből kiindulva, közvetve negatív gazdasági

következményekhez is vezethet). A környezeti problémák okai között keresendő, hogy a döntéseknél, tevékenységeknél egyoldalúan csak a pozitív gazdasági következményeket veszik figyelembe. A másik jellemző, hogy az esemény gyakran nem annak a mozgatóját, hanem másokat, esetleg tömegeket érint negatívan, nem csak az esemény helyén, hanem attól távolabb is. Az előbbiek arra hívják fel a figyelmet, hogy a környezeti kockázat veszélyeinek különös társadalmi aspektusa mutatkozik meg, ami az egész probléma jelentőségét aláhúzza. A környezeti kockázat — más kockázati típusokhoz hasonlóan — mint már említettük valamilyen eseménnyel, cselekvéssel, döntéssel kapcsolatos és számolni kell következményeivel. Ezek lehetnek veszteségek, amelyek elsősorban az emberi egészség terén jelentkeznek mint betegségek, sérülések és legszélsőbb esetben a halál (az utóbbiak például a bányászati tevékenység során viszonylag nagyobb valószínűséggel következnek be). A következmény más része a különböző károkban mutatkozik meg, amelyekkel azért kell foglalkozni, mert a spontán természeti jelenségek, vagy az emberi cselekedetek által kiváltott vagy miattuk bekövetkezett ártalmak a közgazdasági gondolkodás alapján legjobban a kárral fejezhetők ki.

A károkat röviden összefoglalva megállapítható, hogy azok lehetnek *közvetlen* károk, amelyeket a levegő-, a vízszennyeződés és a környezetbe kerülő egyéb szennyezőanyagok (pl. szilárd hulladék) okoznak, rendszerint a kitermelés vagy a feldolgozás helyén vagy azok térségében, de jelentkezhet távolabb is (pl. a savas esők). A károk az anyagi termelés területén a termelő kapacitásokban infrastruktúrában, a természet által biztosított közgazdaságilag értékelhető termelési tényezőben mutathatók ki.

A károk másik csoportja *közvetetten* jelentkezik (pl. a bányászat miatt kiszivattyúzott víz következtében jelentkező vízszint-, vízhozamcsökkenés), eredetükre gyakran nehezen lehet következtetni.

A károk egy másik nagy csoportja esztétikai jellegű és kétségtelenül pénzben nehezen mérhető, mint egy természeti táj tönkretétele (kirívó példa a Duna-kanyarba beépített váci cementgyár), elsősorban a külszínfejtéses bányászat okoz ilyen károkat, de a feldolgozás is, ha olyan tájképi környezetbe építik be, amelynek természeti értéke pótolhatatlan (pl. a visontai erőmű). Jelentkezhet kár továbbá esetleg történelmi-archeológiai jelentőségű területek beépítésével, tönkretételével is.

A károk következő csoportja az igénybe vett földterülettel kapcsolatos, ami gyakorlatilag egy másik gazdasági ágazat munkatárgyának megszüntetését jelenti, azaz a földfelhasználás kedvezőtlen átalakulását. A földterület igénybevétele sokrétű: szükség van a földre, a bányák és más ásványi nyersanyagkitermelő helyek, vagy a feldolgozást végző ipar számára, szükség van földterületre a meddőhányók, salakhegyek, hulladékanyagok elhelyezéséhez, a létesítményeket kiszolgáló infrastrukturához (vasutak, utak, csatornák, víztárolók stb.), a lakótelepekhez vagy nagyobb, komplexebb létesítmények esetén esetleg egy új városhoz. Az ásványi nyersanyagtermelés és feldolgozás földigénye tehát egy multiplikációs folyamaton keresztül jelentkezik, ezért is roppant nehéz a veszteségeket pontosan pénzben kifejezni. A makrogazdasági nézőpontból természetesen a termőföld (vagy erdő) kiesése, mint veszteség szembeállítható azokkal az előnyökkel, amelyeket a bánya vagy a feldolgozás magával hoz. Ebben az esetben egy ún. haszonlehetőség (feláldozott haszon, ill. opportunity cost) költség egy speciális esetével állunk szembe.

A károk pontos mérését többek között megnehezíti, hogy azoknak csak egy része fejezhető ki közgazdaságilag (pl. termék-, anyagveszteség, elmaradt ha-

szon, értékcsökkenés, kompenzációs költségek) elfogadott értékmutatók segítségével, döntően pénzügyi eszközökkel (monetárisan), ilyenek a közvetlen károk nagy része. A károk nagy csoportja például már pénzügyi eszközökkel kevésbé, közvetetten vagy egyáltalában nem fejezhető ki. Ilyenek az esztétikai károk, az élet minőségének romlása, emberélet elvesztése stb., általában a társadalmi károk.

Az ásványi anyagkitermelés és feldolgozás miatt a természetben előidézett változások a társadalom és a gazdaság terén pozitív vagy negatív következményekkel járnak. A gazdasági és a gazdaságon kívüli (társadalmi) értékelés tárgyát *ezek a következmények, nem pedig az azokat kiváltó hatások képezik.* A racionális természeti hasznosítás meghatározásakor alapvető jelentőségű a negatív következmények mérése, amelynek *célja* a hatás és a következmények közötti ok-okozati kapcsolatok irányítása és tervezése, a következmények megszüntetésére, minimalizálására vagy kompenzálására irányuló rendszabályok kidolgozása.

Az értékelés egyik formája a gazdasági következmények megállapítása, másik a gazdaságon kívüli társadalmi hatások jelentőségének meghatározása.

A természetbe történő beavatkozások negatív jelenségeinek kedvezőtlen hatásait a természeti *környezet elsődleges károsodásának lehet nevezni.* Ennek megfelelően az elsődleges *környezeti kár* igen széles körben értelmezhető, átfogva mindazokat a jelenségeket, amelyek a természeti környezet állagában, egyensúlyi helyzetében helyrehozhatatlan változásokat okoznak, vagyis a természeti értékek csökkenését eredményezik, függetlenül attól, hogy a szóban forgó természeti érték közgazdasági értelemben értéknek minősül-e, vagy nem testesít meg gazdasági értéket.

Az *elsődleges környezeti kár* tehát mindenekelőtt a természet károsodását fejezi ki, függetlenül attól, hogy természetben végbement állagromlásnak közvetlenül van-e gazdasági következménye, vagy nincs gazdasági kihatása. Az elsődleges környezeti kár forgalomkörébe így egyaránt beletartozik egy folyó vízminőségének romlása, egy ökoszisztéma élővilágának jelentős pusztulása, de ide kell sorolni egy esztétikailag szép táj megváltoztatását, vagy a biológiai értelemben vett károsodásokat is.

Megjegyzendő azonban, hogy a környezeti kár semmiképpen sem értelmezhető olyan földrajzi determinista módon, amely a természetben előidézett minden változást kárként kezel. Így például egy természeti táj olyan jellegű megváltoztatása, amely a társadalom számára kedvező, esztétikailag is értékes és gazdaságilag is hasznos művi környezetet eredményez, nem tekinthető környezeti kárnak. Tekintve, hogy az elsődleges környezeti kár igen szélesen értelmezhető, így környezetgazdasági szempontból a *gazdasági kár* fogalmának lehatárolására kell törekedni. Közgazdasági nézőpontból azonban nem a szélesen értelmezett elsődlegesen jelentkező környezeti kár vizsgálata a feladat, hanem annak részeként értelmezett, másodlagosan megjelenő *gazdasági kár.* Általános megfogalmazásban a környezeti károk közül azokat tekintjük közgazdasági értelemben gazdasági kárnak, amelyek közvetlen, vagy közvetett úton gazdasági értelemben is értékcsökkenéseket, elmaradt hasznokat eredményeznek.

A gazdasági károk általános közgazdasági értelmezésénél, a kár fogalmának elsődleges megközelítésénél abból kell kiindulni, hogy *makrogazdasági értelemben csak az a plusz ráfordítás és értékveszteség tekinthető kárnak, amely a termelés adottrendszerén belül, továbbá a termelési rendszeren kívül plusz gazdasági ráfordításként vagy értékveszteségként jelentkezik.*

A gazdaságban az egyedi termelők, illetve a gazdálkodó egységek arra törekednek, hogy termelésüket hatékonnyá tegyék, megalapozzák helyüket a gazdaságban és olyan jövedelemre tegyenek szert, amely továbbfejlődésüket biztosítja. E tevékenységük közben használják a természeti erőforrásokat, és szennyezik a környezetüket, ezzel kárt okoznak a környezetben, kárt okoznak más termelőknek, a lakosságnak stb. Azt figyelmen kívül hagyták eddig, hogy a saját termelési költségeiken kívül – amelyeket pontosan mértek – a szennyezés következtében másoknak keletkezett kára, másoknak kellett pénzt fordítani a károk elhárítására.

A termelési költségek a valóságban tehát nagyobbak mint kizárólag a termelés során felmerült költségek. Ez a kiindulási alapja annak a fontos megállapításnak, *hogy a termelésnek az egyedi termelő költségein túl van még egy költség (ráfordítás) tartománya*, amelyet a társadalom kénytelen viselni (a környezeti károk helyreállítására, a levegőszennyezés miatt beteggé váltak gyógykezelési költségeire, szennyezett levegő miatt a korrozió által tönkretett berendezések pótlására, újrafásításra stb.).

Ezeknek a költségeknek a közgazdasági irodalom a *„társadalmi költség"* nevet adta. (Meg kell jegyezni, hogy a társadalmi költséget más hasonló területre is alkalmazzák.) Egy termék összes költsége (C_t) a valóságban tehát nem azonos az egyéni termelőnél – a mikroszinten – mutatkozó költségekkel (I_K), hanem a következő:

$$C_t = I_K + S$$

ahol: a S a társadalmi költség, amelyet a szennyezések, ill. a környezet tönkretétele miatt a társadalomnak kell fizetnie. (Az „S" a társadalmi költségek részeként itt a környezetszennyezésből eredő társadalmi költség.) Az S tehát tulajdonképpen a társadalomban a konkrét termelőn kívül, esetleg széles skálában jelentkező és feltételezhető kártételek, vagy a helyreállítási költségek összegéből áll.

Az előbbi elméleti fejtegetéssel arra szerettünk volna rámutatni, hogy az ásványi nyersanyagtermelés és feldolgozás földrajzi és társadalmi hatásainak tanulmányozása feltétlenül megköveteli a környezeti kockázat és a kár fogalmának és problémáinak bevonását. A továbbiakban az ásványi nyersanyagtermelés és feldolgozás által igénybevett termőföld értékelése és az erőforrás és adottságok együttes hatásának, környezeti problémáinak példáján kívánjuk bemutatni a problémakör gyakorlati oldalát.

A bányászat miatt a mezőgazdasági termelésből kivont földterület mint a környezeti kár egyik formája

Az alábbiakban az ásványi nyersanyagkitermelés és feldolgozás által okozott gazdasági károk közül a *földben, a mezőgazdasági termelés legfontosabb termelőeszközében okozott kárt tekinthetjük át.* Főként a külszíni, de a mélyművelésű bányászat is kénytelen a földkéreg külső, termékeny rétegét, a mezőgazdasági termelés térszínét igénybe venni.

A bányatelkeket nagyságrendileg bővíti az a terület, amelyet a bányászati meddőhányók nagy tömege foglal le. A sort az ásványi nyersanyagokat feldolgozó ipari üzemek által kihasított terület teszi teljessé. Miközben a bányászat az ásványi erőforrások kiaknázásával új értéket hoz létre, a bányaüzem területi

méreteitől függően szűkíti a másik ágazat, a mezőgazdaság erőforrásait, növeli a bányászati parlagok arányát. *A gazdasági értékelés céljából a bányászat által elért gazdasági eredményt szembe kell állítani azzal a veszteséggel, amely a megváltozott erőforrás hasznosítással* állt elő. A gazdasági kár magába foglalja a földtartalék csökkenésével keletkező direkt termelési veszteséget és a környezet eredeti állapotának visszaállítására, a rekultivációra fordított költségeket. A gazdasági értékelés képlete a következő:

$$Eg = Br - Fé + Kf$$

Eg = gazdasági értékelés
Br = a bányászat tisztajövedelme
Fé = a mezőgazdasági föld értéke
Kf = a rekultivációra fordított kiadások

A bányászati üzem telepítésekor – mivel az csaknem kivétel nélkül mező- és erdőgazdasági földterületet vesz igénybe – a döntéshozatal céljából meg kell vizsgálni a fenti képlet elemeinek egymáshoz való viszonyát. A helykijelölésnél, a technológia megválasztásánál, a természetvédelmi intézkedések meghozatalakor figyelembe kell venni a gazdasági értékelés összetevőinek szerepét. A bányászati jövedelem és az okozott kár összevetése lehetővé teszi a természeti (ásványi- és föld) erőforrásokkal való racionális gazdálkodást, az természeti (ásványi- és föld) erőforrásokkal való racionális gazádlkodást, az erőforrásokat hasznosító vállalatok között fennálló gazdasági kölcsönkapcsolatok mechanizmusának zavartalanságát. A kár meghatározásában igen nagy jelentősége van a földérték reális meghatározásának. A mezőgazdasági termelésből bányászat, vagy az ásványi nyersanyagokat feldolgozóipar céljára kisajátított földterületeket az érvényes jogszabálynak megfelelően a forgalmi érték alapján kellene értékelni. Ez azonban a gyakorlatban nem érvényesült, mivel hazánkban a földpiac nem funkcionál. A kisajátítási eljárás során a teleknek nem minősülő föld értékét a MÉM irányelvei szerint a minőség, fekvés, művelésre való alkalmasság, a művelés módja, továbbá művelési ága alapján kell megállapítani. A térítés összege tehát több tényező függvényében, de meglehetősen szubjektíve kerül meghatározásra. A földingatlan nyilvántartásban szereplő I – VIII. minőségi osztályhoz, aranykorona értékhez 5500 – 2800-as szorzószámok kapcsolódnak. Az így kiszámított földértékek az előbb említett tényezők (fekvés, művelés módja, stb.) alapján 50%-ban módosíthatók. Abban az esetben, ha kőolaj-, gáz- és villamosvezeték céljára vesznek igénybe művelt területet és a terület nem kerül kisajátításra – úgy a kár nagysága az igénybe vétel által okozott költségnövekmény 8 – 12-szeres szorzatának megfelelő összege.

Mind a kisajátítás, mind a tartós igénybevétel esetén fizetett kártérítés nem felel meg a reálértékeknek, nem tükrözi megfelelően a földnek, a mezőgazdaság legfontosabb termelési eszközének egy részéről történő lemondás nyomán keletkezett kárt. A beruházások költségtényezői közt a kisajátított földár elenyésző értékkel jelent meg, de ezt is az állami költségvetés viselte. Az olcsó föld hosszú időn keresztül veszélyes földpazarláshoz vezetett. Az ásványfeldolgozás a kisebb ellenállást követve a tereprendezést nem igénylő szanálás-mentes területek felé terjeszkedett, amelyek egyben a legjobb termőföldek voltak.

A mezőgazdaság számára értéktelen, az ipar számára minimális költséggel ipari területté alakítható területek többnyire parlagon maradtak, mert nem állítottuk szembe a mezőgazdasági termelésből kieső termelési értéket az ipar-

terület előkészítési költségeivel. 1970 és 1980 között minden szándékunk és jogi szabályozás ellenére tovább csökkent a termőterület mintegy 250 000 hektár ral, vagyis egy közepes nagyságú megye mezőgazdasági területnagyságával Míg az ásványvagyon értéke az összes számbavett reáleszköz érték 12%-át képviseli és aránya 10 év alatt lényegében nem változott, addig a termőföld reáleszköz értéke a földkivonás következtében az 1970. évi 24%-ról 19,5%-ra csökkent.

A termőterület állandó, bár mérséklődő csökkenése részben a társadalmi-gazdasági fejlődés következménye. A közlekedési hálózat fejlesztése, új települések, lakótelepek építése jelentős területfelhasználással jár. Az ásványi erőforrások hasznosításának növelése érdekében egy-egy kitermelési rendszer egyre nagyobb kapacitást, egyre nagyobb hatékonyságot, de sajnos egyre nagyobb területi igényt is feltételez. Ezért ezeknek a termelési rendszereknek a működési feltételeit – beleértve a területi igényüket – a korábbinál sokkal körültekintőbben, pontosabban kell megismernünk. A bányászat területfelhasználása és az ásványi termékeket feldolgozó ipartelepek létesítése az összes földkivonáson belül becslések szerint mintegy egyötöd részt képvisel. Ennek felét a művelés alól évente kivont terület 10%-át (3500 ha-t) bányaüzemek vették igénybe. A termőföld védelmére hozott intézkedések hatására ez a részesedés a nyolcvanas évek elejére 7%-ra csökkent. A bányatelkek területének nagyságarányú bővülését jelentették a TSZ-ek által létesített homok- és kavicsbányák, amely célokra nagyon sokszor a jó minőségű földterületeket használták fel és a bányafelhagyást követően a rekultivációról nem gondokodtak, és így használhatatlan parlagterületek jöttek létre (ilyen veszélyes helyzet alakult ki a főváros határa és Szentendre közötti sávban). Tehát a mezőgazdasági üzemek sem mindig jártak el példamutatóan.

A mezőgazdasági rendeltetésű földek hatékonyabb védelme érdekében az utóbbi évtizedekben több törvény és törvényerejű rendelet lépett életbe. A legutóbbi, 1978. évi jogszabály szerint a mezőgazdasági rendeltetésű és belterületen, mezőgazdasági nagyüzemi műveléssel hasznosított föld termelésből való kivonása, vagy időleges igénybevétele esetén a terület igénybevételéért járó ellenértéken felül térítést kell fizetni. A térítés összege a negyedik minőségi osztályba sorolt földek kivonása esetén a kataszteri tisztajövedelem négyezerszeres szorzata. Egy közepes minőségű, 20 aranykoronás szántó után a térítés összege a korábbi 40 – 50 ezer Ft-ról 100 ezer Ft-ra emelkedett. Ugyanebben az időszakban Nyugat-Európában a hasonló minőségű földek ára 6 – 8-szorosa volt az előbb említett összegnek.

A század elején megállapításra került aranykoronás földminősítési rendszer elavultságát és közgazdasági megalapozatlanságát úgy gondoljuk, hogy nem kell bizonyítani. Mindössze arra utalnánk, hogy a rendszer közgazdasági elemei lényegében változatlanok, jóllehet ezekben történt a legnagyobb változás. A különböző szorzószámok meghatározása megítélésünk szerint teljesen önkényes jellegű és végeredményben véletlenszerű. A mezőgazdasági termőföldnek, mint nemzeti kincsnek a védelme és optimális hasznosítása szempontjából kulcskérdés annak megalapozott ökonómiai (pénzbeni) értékelése. Ezzel kapcsolatban az új földértékelési rendszer bevezetésének előkészítéséről szóló MT határozat* az MTA-át bízta meg azzal, hogy 1985-ig dolgoztassa ki a földek ökonómiai értékelésének rendszerét úgy, hogy ez a párhuzamosan folyó ökológiai értékelési rendszerre ráépíthető legyen.

* 2012/1979. V. 28.

Az MTA vezetése egy szakértői bizottságot bízott meg azzal, hogy végezze el a témával összefüggő ismeretek és tapasztalatok összegezését és dolgozzon ki javaslatot a termőföld közgazdasági értékelésére, amely az aranykorona helyett a mai ökonómiai feltételeket jobban fejezze ki és a termeléspolitikához, a szabályozáshoz, földvédelemhez hatásosabb módszereket adjon.

Legtöbb közgazdász a földár meghatározására az egységnyi földterület valamely hozadékának, jövedelemmutatójának a tőkésítését javasolja. Ajövedelemkritériumokból kiindulók is kétféle megközelítést tartanak lehetségesnek:

– egyik részük a tisztajövedelemből,

– másik részük a bruttó jövedelemből indul ki.

Az értékelési kritériumok tekintetében e tanulmányban arra a következtetésre jutottunk, hogy a növénytermesztésből származó tisztajövedelmet célszerű a földárszámításnál alapul venni. Az ország összes mezőgazdasági nagyüzemének 1978–80. évi tisztajövedelme alapján végzett földárszámítások alapján egy ha mezőgazdasági terület átlagos értékeként 31 000 Ft-ot kaptunk, arra a következtetésre jutva, hogy a kapott földértékek relatíve jól fejezik ki az ország különböző tájegységeinek eltérő termőképességét, a különbözeti járadék területi differenciálódását.

A tisztajövedelem alapján való földárszámítás tapasztalatai azonban tükrözik e megközelítés korlátait is, amelyek jórésze a mezőgazdasági árak diszparitásából fakadnak és a földárak alulértékelését eredményezik. A mezőgazdasági földterületek egy részének – amelyeken az üzemek veszteséggel, vagy minimális eredménnyel gazdálkodnak – tehát a még művelés alatt álló legrosszabb minőségű földeknek nincs ára. A jövedelmi mutatók az adott árviszonyok között nem tükrözik a mezőgazdasági termelés növekedésének a társadalom gazdaságában tapasztalható dinamikáját, azaz a föld társadalmilag vett tényleges termékenységében rejlő jövőbeni potenciált. Ez arra a megfontolásra utal, hogy a földértékelésnél a jövedelem helyett, vagy mellett a főbb termékek terméshozamait helyezzük előtérbe, vagy pedig a közgazdászok másik csoportja által javasolt helyettesítési (kompenzációs) költséggel kapcsolatos koncepciót célszerű figyelembe venni. Ez utóbbi lényege, hogy a kompenzációt biztosító műtrágyamennyiség árát tőkésítve juthatunk olyan földárhoz, amelyet tartósan lekötve (bankba helyezve) kamataiból a földjét elvesztő gazdaság pótolni tudja a kieső terület termékveszteségét.

Miközben a bányászat fő törekvése a leművelésre érdemes szilárd, folyékony és gázhalmazállapotú ásványi nyersanyagok és energiahordozók kitermelésének bővítése, nem szabad szem elől tévesztenie – és a makroszemlélet ezt feltételezi – az erőforrások másik csoportjával, a földdel való hatékony gazdálkodást. Ez tulajdonképpen mindnyájunknak egzisztenciális érdeke. A magyar export termékeinek 17%-át energiahordozó import ellentételezésére kell fordítanunk. Ma tízszer annyi húst és négyszer annyi gabonát kell egységnyi szénhidrogénért adnunk, mint korábban. Tekintve, hogy a mezőgazdasági tér korlátozott, nem bővíthető az azzal való racionális gazdálkodás nemcsak gazdasági, hanem társadalmi érdek is.

Az erőforrás és adottságok együttes hasznosításának környezeti problémái

Hazánkban a természeti erőforrások hasznosításának extenzív módjai a „szűz terek" hiányában csaknem teljesen kizártak. A megkutatott és feltárt ásványi nyersanyagok kinyerése szinte mindig a mező- és erdőgazdasági föld-

hasznosítás rovására, a talaj- és mélységi vízkészletek, vagy épp az egyik ásványi nyersanyagnak a másik kárára történhet. A fentieknél nem kisebb gond, hogy a sűrűn lakott országterületet a település- és infrastrukturális hálózat, az ipar-, közmű- és mezőgazdasági telepek pénzben kifejezhető nemzeti vagyonrésze fedi le és ehhez jön még a pénzben nem mindig kifejezhető természetvédelmi objektumok, a jelen s jövő rekreációs értékeinek sokasága. Mindebből következően a környezeti kockázat felismerése, figyelembevétele a környezetet érintő minden döntésnél nélkülözhetetlen.

A természeti, ill. a *társadalmi-gazdasági környezet erőforrásainak és adottságainak együttes számbavételére és értékelésére nincsenek még általánosan használt és még kevésbé a gyakorlat próbáját is kiállt sémák.* Pedig épp a környezeti alrendszerek közötti kölcsönkapcsolatok és hatások figyelmen kívül hagyása vezetett eddig is súlyos környezeti krízisekhez; egy-egy ágazati és társadalmi érdekeltség közötti, nem ritkán kibékíthetetlennek, megoldhatatlannak tűnő konfliktusra. Ezek kivédésére ökológusok, közgazdászok a közelmúltban számos modellt dolgoztak ki, de a különböző blokk-, mátrix-, kartográfiai és egyéb modellek közmegelégedést kiváltó eredményre nem vezettek, mert pl. egy „előny-veszteség" modellben a látszólag nagyobbnak tűnő társadalmi érdek, vagy a könnyebben értelmezhető és elfogadható „kisebb rossz" kapott preferenciát.

Az ágazati érdekeltség és a társadalom egyéb, ezen belül az ember egészséges biológiai és társadalmi létéhez szükséges környezeti érdekeltsége közötti konfliktusok a legutóbbi évtizedekben váltak hazánkban igazán súlyossá. Legtöbbjük esetében a döntéseket megelőző és a kockázatot is figyelembevevő ún. környezeti hatásfelmérés elmaradt (részben felismerés vagy megfelelő módszerek hiányában) és csak később a nehezen megoldható problémák jelentkezése vagy felismerése után vált szükségessé a korrekciók megtétele (lásd. pl. Gabčikovo-Bős—Nagymaros Vízlépcsőrendszer környezeti hatásairól kialakult vitát). Pozitív előrelépés, hogy a helyzet tarthatatlanságára már a kormányzati szervek is felfigyeltek és a döntésekhez a tudománytól várják a megfelelő válaszokat.

Az ásványi nyersanyagtermelés és a földrajzi környezet közötti konfliktushelyzetnél maradva példaként a még folyamatban lévő „A bauxitbányászat fejlesztésének komplex környezeti hatásai"-val foglalkozó akadémiai vizsgálat néhány jellemző összefüggését emeljük ki.

A Dunántúli-középhegység makrorégióiban jelentkező környezeti problémák jellemzésére, azon belül főleg a „nyirádi bauxitbányászat kontra hévízi gyógyüdülői potenciál" közötti konfliktus, nehezen egyeztethető társadalmi érdekellentét érzékeltetésére csak a legfontosabb adatokat, összefüggéseket emeljük ki.

A 200 km hosszúságú, 20—50 km szélességű, ÉK—K—DNy—Ny csapásirányú Dunántúli-középhegység hazánk természeti erőforrásféleségekben leggazdagabb tájegysége. Szénmedencéiben rejlik az ország ipari barnaszén vagyonának több mint fele, itt található a bauxit, a mangán egésze, de a térség gazdag különböző építő- és burkolókövekben és egyéb ipari (öntődei és üveghomok), építőanyagipari, ásványi nyersanyagelőfordulásokban is. Különböző korú karbonátos kőzeteinek hasadékaiban, üregeiben tárolt karsztvíz összmennyiségét 50 milliárd m^3-re becsülik, amely egyelőre emberi fogyasztásra ma még jórészt tisztítás nélkül is alkalmas. 7000 km^2-es — árkos süllyedékekkel, medencékkel tarkított — felszínének több mint fele mezőgazdaságilag hasznosított, 22% az erdő, közel ennyi a hasznosításból kivont terület aránya (tele-

pülések, bányászati térszínek, ipar, infrastruktúra, parlag stb.). Alapvető probléma, hogy a két legfontosabb ásványi nyersanyag, vagyis a barnakőszén- és a bauxitvagyon jórészt a középhegységi karsztvízszint alatt helyezkedik el, ezért azok kinyerése élet- és vagyonbiztonsági okok miatt csak aktív vízvédelemmel lehetséges. Az aktív víztelenítéses bányászati tevékenység káros környezeti hatásai már eddig is jól ismertek, s az ezzel összefüggő gondok, problémák mind a többi erőforrás hasznosítása, mind pedig a lakosság vízzel való ellátása szempontjából egyre inkább növekszenek. A percenként 550—570 m^3-es bányászati vízkiemelés legszembeötlőbb hatása a karsztforrások (pl. a pápai Tapolca-, ill. a tatai Fényes-forrás), a patakmedrek elapadása, a karsztlápok kiszáradása, a vízművek kútjai hozamának csökkenése, vagy épp megszűnése. A legnagyobb karsztvízemelő nyirádi bauxitbánya (1983-ban 270 m^3/min.) miatt a Hévízi-tó vízhozama az utóbbi évtizedben az eredeti vízhozam 55%-ára esett vissza.

A karsztvízrendszer nyomáscsökkenése egyes feltevések szerint a felszín, a talaj vízháztartására is visszahat; a bányák térségében 120—130 ezer ha-ra becsülik az így károsodó mezőgazdaságilag művelt területek nagyságát.

Mind a külszíni, mind a mélyművelésű bányászkodás a természetes földfelszíni alakzatokban is nagy kárt tesz, pusztítva a természeti, táji értékeket és növelve ezzel a bányászati parlagok arányát. A korábbi külszíni bauxitbányák helyén elhagyott bányagödrök, a körülöttük felhalmozott meddőanyagok csúfítják a tájat, a mélyművelésű bányák fölött pedig a beomlás után egyenetlen felszínek maradnak vissza. Ezeknek a térszíneknek a folyamatos rekultivációja kellően még nincs megoldva. Az omlasztásos kőszén és bauxitfejtésnek azonban a mélyben is jelentkezik káros hatása. A roskadással felszakadt és fellazult fedőrétegen keresztül a felszínen szennyeződő csapadék és egyéb vizek gyorsan lejutnak a karsztvízrendszerbe. Ez a szennyeződés már ma is veszélyezteti a Dunántúli-középhegység potenciálisan igen fontos természeti erőforrását, a nagymennyiségű és tiszta karsztvizet, ami a térség vízellátásán túl más régiók (pl. a Balaton-üdülőkörzet) vízellátását is szolgálja.

A Nyirádon kitermelt bauxitot érceszállító autókon viszik az Ajkai Timföldgyárba. A mintegy 20 km-es útvonalon és a közbeeső településeken (Szőc, Halimba, Padragkút) az évente elszállított 800 ezer tonna bauxittól származó porból, égéstermékekből és zajból származó környezeti ártalom igen nagy, nem beszélve arról, hogy a szállításnak ez a formája gazdasági szempontból sem előnyös.

30 év alatt több ezer km^2-es területen átlagosan 40—50 m-rel csökkent a karsztvízszint (az utóbbi 5 évben 15—20 m-rel); a nyirádi bauxitbánya 3000 km^2-nyi karsztvízdepresszióiban viszont a 100 m-t is meghaladja a süllyedés. A fúrt aknakutakból történő nyirádi vízemelés páratlan intenzitását jellemző adat, hogy az aktív víztelenítés kezdetétől (1963) mintegy 2,45 milliárd m^3 víz került kiemelésre. 1983-ban a percenkénti vízemelés 270 m^3, ami azt jelenti, hogy 1 t kinyert bauxitra ebben az évben átlagosan 217 m^3 vízkiemelés jutott.

A Nyirád térségében folyamatosan mélyülő karsztvízdepresszió Hévízi-tóforrásra gyakorolt hozamcsökkentő hatása csak egy évtized eltelte után jelentkezett, a 35 km-es távolság és a közbeékelődő más kőzetfelépítésű Lesence-árok késleltető szerepe miatt. Rohamos vízhozamcsökkenés a világon párját ritkító Hévízi-tóforrásban 1978 és 1983 között következett be; a mért adatok szerint a bázisisdőszakra (1977. I—1978. III.) megállapított 500 l/sec. átlagos vízhozam 1983. II. felére 300 l/sec. átlagértékre esett, s az ez évi akadémiai

vizsgálat idején rendszeresen végzett (1984. I—II.) mérések már csak 288 l/sec. átlagértéket adtak. Az utóbbi évek erőteljes s a legutóbbi hónapokban folytatódó vízhozamcsökkenésben nyilván szerepet játszhatott az utóbbi öt év — és azon belül az 1983-as legszárazabb év — beszivárgás hiánya, de a nyirádi karsztvízszint-süllyesztés és a Hévízi-tóforrás hozamcsökkenése közötti korreláció a fentieket figyelembe véve is egyértelműnek látszik.

A vízhozamcsökkenéssel magyarázható a Hévízi-tó felszíni átlagos (30,0—30,9 °C) vízhőmérsékletének 2,2 °C-os csökkenése (30 éves mérési adatok alapján), aminek legsúlyosabb következménye, hogy a balneoterápiás szempontból meghatározott 28 °C-os vízhőmérsékletet el nem érő napok száma a korábbi idők 24—40 napjáról az utóbbi évekre 120—140-re növekedett, a tó vízcserélődési idejének meghosszabbodása miatt. Az akadémiai vizsgálatot végző munkabizottság egyes tagjai szerint — az eddigi tendenciákat extrapolálva — beavatkozás híján nincs kizárva az sem, hogy a Hévízi-tóforrás vízhozama néhány év múlva megszűnhet.

Az aktív víztelenítéses bauxitbányászat és a Hévízi-tó forráshozama és hőmérsékletcsökkenése közötti összefüggéseket érzékeltetve térhetünk ki a nagyon keményen ütköző alumíniumipari, ill. gyógyüdülési érdekellentétre. Közismert, ugyanis, hogy a nyirádi bauxitbányák adják a hazai timföldiparnak a legjobb minőségű bauxitot, s a jelenlegi termelésben, ill. a bauxitvagyonon belüli részesedésben is Nyirád szerepe kiemelkedő. Ennek kiesését a hazai viszonylatban egyébként fejlett, exportorientált alumíniumipar is csak nagy nehézségek, költségtöbblet árán tudná kiegyenlíteni. Ugyanakkor a páratlan értékű gyógyüdülői potenciálra az utóbbi években Hévízen igen jelentős beruházások valósultak meg: mind az V., mind pedig a VI. ötéves tervben az ország 130 körüli „termál-település"-ére fordított fejlesztési összegek közel negyede a hévízi gyógyüdülőhelyre jutott. Az Állami Gyógyfürdőkórház, a SZOT és a vállalati gyógyüdülők, a Hotel Thermal együttes beruházási költsége meghaladja az 1,7 milliárd Ft-ot; a szövetkezeti és magánüdülőkkel együtt a 3,2 milliárdot is, melynek bázisán 1983-ban a beutalt mintegy 1,3 millió és az alkalmi vendégek kb. 0,7 milliós táborával 2 millió körül volt Hévízen a vendégnapok száma. 1984-ben kezdi meg működését az osztrák tőkével épült Hotel Aqua gyógyszálló. A Belkereskedelmi Minisztérium adatai szerint Hévízen az éves idegenforgalmi bevétel 560 millió Ft (ebből 7,8 millió dollár a tőkés bevétel), s az Állami Gyógyfürdőkórház számításai szerint évi 1,5 milliárd Fr-ta tehető az a „nyereség", ami az emberi termelőerő, a munka- és mozgásképesség megőrzése, javítása útján megtérül.

Nem kisebb tehát az egészségügy, a belkereskedelem, ill. az általános társadalmi jólét érdekeltsége sem a „Nyirádi kontra Hévíz" környezeti érdekellentétben. És a jövő szempontjából a gyógyhelyi potenciál megőrzésére nemcsak és nem is elsősorban a megvalósított beruházásokból származó gazdasági eredmény megtartása, továbbnövelése miatt van szükség, hanem azért még inkább, mert idősödő demográfiai korszerkezetünkben országosan már ma is 10%-ra tehető a különböző fokú mozgásszervi betegségekben szenvedők aránya, s ez az arány épp a bányászok körében a legmagasabb.

A fentiekben vázolt kényszerhelyzetből kivezető út megválasztása nem lehet feladatunk. Itt és most csak annyit kívánunk nyomatékkal megemlíteni, hogy a természeti környezet erőforrásainak és adottságainak hasznosítása a jövőben csakis az azokhoz fűződő együttes társadalmi érdekeltség figyelembevételével folyhat.

Meg kell ugyanis őrizni a meglévő, pénzben kifejezhető és pénzben ki nem

fejezhető értékeket egyaránt. Ehhez új fejlesztési alapokra kell helyezni a bányászati termelés jövőjét. Be kell látnunk, hogy a továbbiakban az a gyakorlat nem követhető, melyben az egyébként igen fontos bányászati tevékenység bizonyos határon felül a többi erőforráshasznosítás sérelmére folyjék. Az egy és oszthatatlan természeti és társadalmi környezet értékeinek, potenciáljának megóvása valamennyiünk közös érdeke. Jól tudjuk, hogy az optimum keresésében még jó ideig a kisebbik rossz, a kisebb népgazdasági veszteség mellett kell dönteni. A fenti elv a tudomány és a gyakorlat eddigieknél szorosabb összefogását követeli meg, a környezetvédelem szakembereitől a veszélyhelyzetek idejében való jelzését, a várható hatás-következmény összefüggésének feltárását, az ásványi nyersanyagtermelés és a feldolgozástól pedig a környezetkímélő technológiák és technikák fokozott fejlesztését és bevezetését.

IRODALOM

IVANOV, M. V. és FRENEY, J. R. (szerk.): **The Global Biogeochemical Sulphur Cycle** *(A kén biogeokémiai körforgalma)*. Scope 19, John Wiley and Sons, Chichester, 1983. XXV + 470 14,5×23,0 cm oldal, számos ábra és táblázat.

A Föld különböző szférái között állandó anyagáramlás van s ennek hatására a szférákat alkotó kémiai elemek (vegyületek) folytonosan kicserélődnek. Ez a szűntelen anyagáramlás, melyet összefoglalóan biogeokémiai körforgalomnak nevezünk, teszi lehetővé az életet a Földön, tápanyagot szolgáltatva a különböző geoszférákban lévő ökoszisztémák számára. Az elemek körforgalma határozza meg a légkör jelenlegi állandó összetételét. A kén különlegesen jelentős komponens, mivel a troposzférában és a sztratoszférában az aeroszol részecskék számottevő része kénvegyület, pl. kénsav, ammónium szulfát. E részecskék fontos tényezői számos légköri folyamat, pl. légköri sugárzásátvitel, felhőképződés, látástávolság stb. szabályozásának. Emberi tevékenység okozta módosulásuk nagyban hozzájárul a környezet elsavasításához.

Nem meglepő tehát, hogy a kén kutatása szerves része a SCOPE biogeokémiai ciklusokkal foglalkozó programjának. E programhoz kapcsolódva a Szovjet Tudományos Akadémia 1979 nyarán, Puscsinoban nemzetközi munkaértekezletet szervezett, a globális kénciklus kutatása terén elért legkorszerűbb eredmények összegyűjtése és publikálása céljából. E konferencia anyagát tartalmazza a könyv, amelynek mind a hét fejezetét más-más szerző írta.

A hét fejezet és szerzőik a következők:

1. A kén globális biogeokémiai körforgalmának legfontosabb reakciói – *V. A. Grinenko* és *M. A. Ivanov* (Szovjetunió);
2. A kén körforgalma a litoszférában – A. A. Migdisov, A. B. Ronov, V. A. Grinenko és A. *Yu. Lein* (Szovjetunió);
3. A kén körforgalma a talajban – *J. R. Freney* és *C. H. Williams* (Ausztrália);
4. A kén légköri körforgalma – *A. G. Ryaboshapko* (Szovjetunió);
5. A kén körforgalma a kontinentális rezervoárokban – *M. V.* Ivanov, V. A. Grinenko és *A. P. Rabinovich* (Szovjetunió);
6. A kén körforgalma az óceánokban – *I. I. Volkov, A. G. Rozanov*, A. Yu. Lein, V. A. Grinenko és *A. A. Migdisov* (Szovjetunió);
7. A kén globális biogeokémiai körforgalmának legfontosabb fluxusai – M. V. Ivanov (Szovjetunió).

A kén körforgalma a természetben röviden a következőképpen foglalható össze. A ként, mely a litoszférában szulfid formájában van felhalmozódva, erózió és más mállási folyamatok szabadítják fel. Az ásványi szulfid egy részét (szulfáttá oxidálódva) a folyók közvetlenül a tengerbe juttatják. A másik rész a talaj számára szolgál kén-forrásul, ahol egyrészt a növények és más élő organizmusok felhasználják, másrészt szulfátként bizonyos ideig felhalmozódik. A talajban lévő kén egy része gáz halmazállapotban (mikroorganizmusok által kibocsátott illékony gáznemű kénvegyületek) és por formájában kerül a légkörbe. A tengervízben lévő kén túlnyomórészt a tengerfelszín mállása és búborékképződés következtében közvetlenül jut a levegőbe míg egy kisebb kénmennyiség redukált gázként szabadul fel. Az óceánok kéntartalmának jelentős része a kőzetképződés során beágyazódik az üledékbe. A litoszférikus kén egy részét a vulkánkitörések juttatják a levegőbe. A légkörben a különböző kénformák oxidálódnak és a nedves és száraz ülepedés hatására kikerülnek a légkörből. A kiülepedett kén ilymódon visszakerül a talajba, a litoszférába és az óceánokba. Ezt a természetes ciklust zavarhatja meg napjainkban az emberi tevékenység. Az ember ugyanis mobilizálja a litoszférában tárolt kén egy részét, elsősorban a kéntartalmú fosszilis fűtőanyagok elégetésével.

E sorok írója úgy véli, hogy jelen könyv valóban hasznos lehet az *Időjárás* olvasói számára. Először is mivel a légkörrel foglalkozó fejezet bizonyos szempontokból különbözik a korábbi munkáktól. Így például *Ryaboshapko* kimutatja, hogy a vulkáni tevékenység, az eolikus erózió és a tengeri só-kibocsátás jelentősebb kén-fluxust képvisel, mint azt korábban megbecsülték. Másrészről pedig, s ez rendkívül lényeges vonása e munkának, a könyv világosan demonstrálja környezetünk különböző közegeinek egységét és kölcsönhatását, valamint az antropogén hatások komplexitását. Így nyilvánvaló, hogy ha meg akarjuk ismerni a légkört, mindig szem előtt kell tartanunk, hogy a természet oszthatatlan, minden részletében szervesen összekapcsolódó egység.

Mészáros Ernő

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 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

84.2335 Athenaeum Nyomda, Budapest — Íves magasnyomás
Felelős vezető: Szlávik András vezérigazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329