

L É G K Ö R

51. évfolyam

2006. 1. szám



KÉPEK A 2006. ÉVI METEOROLÓGIAI VILÁGNAPRÓL

(cikk a 2. oldalon)



Dr. Persányi Miklós miniszter a média jelenlétében felavatta az OMSZ új nagyteljesítményű számítógépét



A kitüntetettek (balról-jobbra): Kapovits Albert és Nagy Sándor (Schenzl Guido-díj), Papp Andor, dr. Tőkei László, dr. Antal Emánuelné (Pro Meteorologia plakett), Országgh Sándor (Kenderes, OMSZ oklevél), dr. Dunkel Zoltán az OMSZ elnöke, Tóth Gyuláné (Tolcsva, OMSZ oklevél) és dr. Haszpra László (Pro Meteorologia plakett)

LÉGKÖR

Megjelenik negyedévenként

51. évfolyam
1. szám

Felelős szerkesztő:
Dr. Ambrózy Pál
a szerkesztőbizottság
elnöke

Szerkesztő bizottság:
Dr. Bartholy Judit
Bihari Zita
Bóna Márta
Dr. Gyuró György
Dr. Haszpra László
Dr. Hunkár Márta
Ihász István
Németh Péter
Dr. Putsai Mária
Tóth Róbert

ISSN 0133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Dunkel Zoltán
az OMSZ elnöke

Készült:
Az **FHM Kft.**
nyomdájában
800 példányban

Felelős vezető:
Modla Lászlóné

Évi előfizetési díja 1380 Ft

Megrendelhető
az OMSZ Pénzügyi Osztályán
Budapest, Pf.: 38. 1525

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI
SZOLGÁLAT ÉS A MAGYAR
METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

TARTALOM

A címlapon: Téli erdő
(Pétervári Tibor felvétele)

Sáhó Ágnes: Meteorológiai Világnap, 2006	2
Dunkel Zoltán: A Meteorológiai Világszervezet (WMO) Főtitkára Budapesten (2006. március 5-7.)	3
OLVASTUK: Új típusú Vaisala-nyomásmérők a Titán légkörében	5
Gyüre Balázs, Jánosi Imre, Szabó K. Gábor, Tél Tamás: Környezeti áramlások: Szemelvények a Kármán Laboratórium kísérleteiből	6
Dombai Ferenc: Adalékok a radarmeteorológia hazai történetéhez: automatizált radarmegfigyelések Magyarországon	13
Kocsis Tímea, Anda Angéla: Keszthely léghőmérséklete a XX. században	21
KISLEXIKON	25
Schlanger Vera: A 2005. év időjárása	26
OLVASTUK: „Twister”, „Holnapután” és társai – az időjárási katasztrófafilmek szociológiája	30
Dr. Simon Antal (1932–2006)	31
Kassai Béla (1942–2006)	32
Metzger Béla (1933–2006)	33
OLVASTUK: Az ESA Miniszteri Tanácsának ülése Berlinben	33
Tóth Róbert: Környezetvédelmi Konferencia Szenegálban	34
Gyuró György: Elhunyt James Holton	38
Unger János: Együttműködési megállapodás az OMSZ és az SZTE között	39
OLVASTUK: Médiameteorológus – az egyik leghálátlanabb feladat az USA-ban 2005-ben	39
OLVASTUK:	
A szivárvány Schrödinger-egyenlete	40
Darwin meteorológiai megfigyelései	40
A hó és a tél művészetének olimpiája	40
A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI	41
Ács Ferenc: Michael Hantel átvette az Magyar Meteorológiai Társaság tiszteletbeli tagsági oklevelét	42
Schlanger Vera: 2005/2006 telének időjárása	43

METEOROLÓGIAI VILÁGNAP, 2006

Az idei Meteorológiai Világnap március 23-i ünnepsége meglehetősen rendhagyónak bizonyult. Az ilyenkor szokásos ünnepi beszédek megtartásán és a miniszteri, valamint elnöki díjak átadásán kívül ugyanis egy szuperszámítógép átadására is sor került és ehhez kapcsolódóan több szakmai beszámoló is elhangzott.

A Világnap témája „*A természeti katasztrófák megelőzése és hatásainak csökkentése*” címet viselte, melyet sajnálatos módon tett hazánkban is aktuálissá napjaink árvízveszélye. Ezt kiemelte *dr. Persányi Miklós* környezetvédelmi és vízügyi miniszter is, aki részt vett az ünnepségen. A miniszter *dr. Dunkel Zoltán* elnök megnyitó szavai után köszöntötte a megjelenteket. Elmondta, hogy több szakma együttműködésére van szükség a jelenségek megfelelő értékeléséhez, az intézkedések kidolgozásához és végrehajtásához. Fontosnak tartotta megemlíteni azt a figyelmeztető rendszert, melyet a vízügyi tárca az OMSZ-szal együttműködve léptetett életbe a rendkívüli vízkárok enyhítésére.

Ehhez kapcsolódott egy – a Szolgálat életében – igen jelentős esemény: egy új, nagyteljesítményű, SGI Altix típusú számítógép felavatása. Magyarország jelenleg leggyorsabb számítógépe a rövidtávú időjárás-előrejelzések pontosítását teszi lehetővé. A nagyszámítógépet a miniszter a nemzeti színű szalag átvágásával a gépteremben adta át. Követő-kamera segítségével a díszteremben ülő közönség is részesülhetett az ünnepélyes pillanatokból, miközben *Tölgyesi László*, a Távközlési és Informatikai Főosztály vezetője bemutatta az új berendezés paramétereit, valamint, hogy hol a helye a meteorológia szolgálatában jelenleg használatos számítástechnikai eszközök között, milyen teljesítményre képes, s ezt a képességét hogyan tudjuk kamatoztatni.

Ez után a bemutatás után *dr. Horányi András* a Numerikus Előrejelző Osztály vezetője a számok és képletek világába varázsolta a hallgatóközönséget a numerikus előrejelzés alapjainak, számítástechnikai alkalmazásának bemutatásával.

Az idei világnapon két Schenzl Guidó Díjat és 4 Pro Meteorologia Emlékplakettet adott át *dr. Persányi Miklós* miniszter.

Schenzl Guidó Díjat kapott

Kapovits Albert, nyugállományú igazgató, a magyar meteorológiai hálózat technikai fejlesztéséért, ezen belül a radarhálózat létrehozásáért. Nagy szerepet játszott továbbá a veszély-előrejelző rendszerek távérzékelési eszközeinek hazai meghonosításában.

Nagy Sándor, nyugállományú ezredes, a Magyar Honvédség katonai meteorológiai szolgálatának megszervezéséért, elismertetéséért, bővítéséért. A szakember utánpótlásban és -képzésben is jelentős szervező munkát végzett, a szolgálat működésének új alapokra helyezése mellett.

Pro Meteorologia Emlékplakettet kapott

Dr. Antal Emánuelné, aki ma is az IDŐJÁRÁS c. nemzetközi folyóirat igényes és szakszerű szerkesztési munkáit végzi. Korábban a Központi Légkörfizikai Intézet szerteágazó hazai és nemzetközi vonatkozású programjainak magas színvonalú szervezését és lebonyolítását köszönhatték neki.

Dr. Haszpra László, a magyarországi felszíni és magas mérőtornyos szén-dioxid mérések beindításáért és nemzetközi színvonalú működtetéséért. Munkatársunk jelentős és gazdag kutatási, oktatói, publikációs tevékenységet végez.

Papp Andor, aki a katonai meteorológia oktatásában aktív közreműködő volt, többek között ő indította be a honvéd meteorológiai tanfolyamokat, s szerelte fel korszerű radarrendszerrel a katonai repülőtereket.

Dr. Tőkei László, aki mind a mai napig sokat tesz a meteorológia tudományának kertész körökben való népszerűsítéséért, hosszú évek óta eredményesen oktat agrometeorológiát és több színvonalas agrometeorológiai tárgyú jegyzet összeállítása kötődik a nevéhez.

Az OMSZ Tudományos Tanácsa a 2006. évi Nívódíját **Dr. Horváth Lászlónak**, az Agricultural and Forest Meteorology múlt évi 130. számában megjelent, *Asztalos Máriával*, *Führer Ernővel*, *Mészáros Róberttel* és *Weidinger Tamással* közösen publikált cikkéért; valamint **Dr. Horányi Andrásnak**, az Időjárás 109. évfolyamának 4. számában, *Steluca Vasiliuval* közösen publikált cikkéért ítélte és adta át az OMSZ elnöke ezen ünnepélyes kezek között.

Mint minden évben, idén is megemlékeztünk legrégebben szolgáló társadalmi észlelőinkről.

Dr. Dunkel Zoltán oklevelet és szerény pénzjutalmat adott át **Tóth Gyulánénak** – Tolcsváról és **Ország Sándornak** – Kenderesről.

Marosi Mária rádi és **Pétervári Józsefné** nagylóci észlelőink jutalmukat utólag fogják megkapni, munkatársunk személyesen fogja elvinni nekik, ők ugyanis idős koruk, fizikai állapotuk miatt nem mertek vállalkozni a hosszú útra.

Az ünnepély igazi csattanójának számított **dr. Horváth Ákos** siófoki munkatársunk színvonalas, mindenki számára érthető és élvezhető, figyelemfelkeltő képanyagban bővelkedő előadása, mely szintén a katasztrófa helyzetekkel, s azok előrejelezhetőségével, beválási árnyaival foglalkozott.

A Világnap természetesen a szokásos állófogadással zárult, ahol a díszes asztalokról válogatva beszélgethettek egymással az ünnepeltek és az ünneplők, házigazdák és vendégek.

Sáhbó Ágnes

A METEOROLÓGIAI VILÁGSZERVEZET (WMO) FŐTITKÁRA BUDAPESTEN

(2006. március 5-7.)

Egy havas vasárnap estén, március 5-én megérkezett Budapestre *Michel Jarraud* a WMO ötödik, 2003-ban megválasztott főtitkára. Egyedül érkezett, kis csomaggal. A főtitkár a Gellért hotelben szállt meg. Látogatása nem kötődött semmi rendkívüli eseményhez, egyszerű „főnöki” vizit volt, amire az OMSZ elnökének meghívására került sor. Egy ilyen magas szintű látogatás egyszerre ünnep is és megmérettetés. A szervezet, a szakma ilyenkor igyekszik legjobb színében mutatkozni. A Világszervezetnek 187 tagja van, s tudatában vagyunk annak, hogy a főtitkárnak nem ez az első, s nem is az utolsó látogatása nemzeti meteorológiai intézetnél. Arra a kérdésre, hogy tetszettünk-e vagy se, pontos választ nyilván sose fogunk kapni. Ha közvetlenül tesszük fel a kérdést, a Főtitkár, tapasztalt és rutinos diplomataként, valószínűleg olyan udvarias választ ad, amivel nem sérti meg a házigazdát, de az igazi benyomásáról valószínűleg nem kapunk képet. Ezért ezt a kérdést fel se tettük: a látogatás értékelése nélkül csak a tények ismertetésére szorítkozunk.

Március 6-án, hétfőn, először az OMSZ elnöki irodájában köszöntötte a főtitkárt a Szolgálat elnöke, elnökhelyettesei és az NSO vezetője. A rövid, kötetlen beszélgetés során kiderült, hogy *Michel Jarraud* gyakorló szinoptikusként kezdte pályafutását majd az ECMWF-nél dolgozott. Ez már a negyedik látogatása Budapesten. A bevezető beszélgetés és kávézás után (ahol vendégünk azt is bevallotta, hogy bármikor kapható egy kávéra) került sor a Szolgálat „hivatalos” bemutatkozására, tágabb körben, amin már az osztályvezetők is részt vettek. Az

intézeti tanácssteremben tartott bemutatót öt előadás hangzott el:

Dunkel Zoltán: A few words about the Hungarian Meteorological Service;

Bozó László: Observation System, GAW and related activities;

Buránszkiné Sallai Márta: Weather Forecasting at the Hungarian Meteorological Service;

Horányi András: Numerical Weather Prediction related activities at Hungarian Meteorological Service;

Mika János – Dobi Ildikó: Climate Analysis and Services.

Az előadásokat követően a második emeleti szinoptikus munkateremben *Bonta Imre* ismertette a magyar előrejelzési gyakorlatot. A főtitkárt, mint volt előrejelzőt, különösen a verifikálás érdekelte. A bemutató után, körbejárva a teremben sorra kezett rázott a szolgálatos kollégákkal. A Főtitkár érdeklődéssel tekintette meg múzeumunk néhány darabját, a lépcsőfordulóban elhelyezett emléktáblákat, s az igazgatók képeit.

Az OMSZ-bemutató után került sor a Magyar Meteorológiai Társaság és az OMSZ közös rendezvényére, amelynek keretében a Főtitkár tartott előadást „Meteorology as Model for Cooperation” címmel. Az előadás előtt és után lehetőség volt arra, hogy volt elnökeink, az egyetemek és a magán-meteorológia képviselői, s bárki más érdeklődő is néhány szót váltson vendégünkkel.

A rövid munkaebéd után sűrűsödtek az események. Először a Magyar Tudományos Akadémia főtitkára, *Meskó Attila* fogadta vendégünket, *Czelnai Rudolf* akadémikus, volt WMO főtitkárhelyettes, nyugalmazott OMSZ elnök társaságában. Az akadémia főtitkára örömmel beszélt a földtudományok közös dolgairól, a szükséges veszélyjelző rendszerek kiépítésének fontosságáról. Az MTA épületéből a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium épületébe vitük *Jarraud* urat, ahol *Persányi Miklós* miniszter fogadta őt *Faragó Tibor* EU és Nemzetközi Ügyekért fe-



A képen balról jobbra: Bozó László, Persányi Miklós, Michel Jarraud, Dunkel Zoltán



Városnézés közben

lelős főcsoportfőnökkel. A hivatalos, de kötetlen beszélgetés keretében a meteorológia és az éghajlatváltozás kérdéseiről, valamint a nemzeti meteorológiai szolgálatoknak és a WMO-nak ebben betöltött szerepéről esett szó. A fogadás után a miniszterrel közös sajtótájékoztatóra került sor, ahol több kérdés hangzott el a közelgő Meteorológiai Világnap témájáról, valamint a veszélyjelző rendszerekkel és az éghajlatváltozással kapcsolatban. A sajtótájékoztató részének tekinthetjük, hogy Gyuró György kollégánk, az MMT főtitkára, még egy külön interjút készített a Természet Világa számára. Ez után Kis-Kovács Gábor gyalogos séta keretében megmutatta a budai Várat látogatóknak. Talán rá is fért egy kis lazítás az esti hivatalos vacsora előtt, amelyre az MTA éttermében került sor.

A program másnap az ELTE Meteorológiai Tanszékén folytatódott. A látogatás itt is a főtitkár köszöntésével kezdődött. Ezután a Meteorológiai Tanszék munkatársai mutatkoztak be, amit egy rövid kötetlen beszélgetés követett. Ennek során szó esett a tanszéken folyó kutatásokról és a meteorológusképzés aktuális helyzetéről, a magyarországi felsőoktatás átszervezéséről. A program az egyetem egy impozáns termében folytatódott, ahol a tanszéki kollektíva, az OMSZ

elnöke és két munkatársa mellett mintegy 70 meteorológus szakos hallgató is megjelent. Először Bartholy Judit, a Meteorológiai Tanszék vezetője tartott előadást az ELTE Meteorológiai Tanszék kutatási és oktatási tevékenységéről (*Teaching and Research activity of the Department of Meteorology*), majd Michel Jarraud *Kihívások és lehetőségek a meteorológiai oktatásban* (*Challenges and Opportunities of Education in Meteorology*) című előadását hallhattuk. A főtitkár előadásában hangsúlyozta az interdiszciplináris együttműködés és a nyelvismeret fontosságát, rámutatva a meteorológia nemzetközi szerepére az oktatás terén is. Az előadás után a diákok kérdéseire is válaszolt. Az egyetemen tett látogatás emlékére Tasnádi Péter, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának oktatási dékánhelyettese, egyben a Meteorológiai Tanszék munkatársa a *Természettudományi Kar Emlékérmét* adta át a WMO főtitkárának. Ezután a tanszék szinoptikus meteorológiai laborjában, szűkebb körben, a tanszék munkatársai, valamint felsőéves hallgatói mutatták be a laborban folyó előrejelzési munkát és készítették rövid távú előrejelzést. A program záró pontjaként néhányan felkísérték a főtitkárt az egyetem épületének tetején lévő teraszra, ahol megte-

kintette a Földrajz- és Földtudományi Intézet műholdvevő berendezését, valamint a budapesti panorámát.

Az egyetemről a Magyar Honvédség Meteorológiai Szolgálatához (MH METSZ) kísértük át a vendéget, akit Mikita János mk. altábornagy a Honvédelmi Minisztérium Honvéd Vezérkar vezérkari főnök helyettese, dr. Gáspár Tibor mk. vezérőrnagy a Magyar Honvédség Összhaderőnemi Logisztikai és Támogató Parancsnokság parancsnoka, illetve Horváth Csaba alezredes az MH Meteorológiai Szolgálat szolgálatfőnöke fogadott.

A látogatás első programjaként az MH METSZ szervezésében kibővített állománygyűlésre került sor a katonameteorológusok képviselőinek részvételével. A főtitkár az állománygyűlés keretében megismerkedett az MH METSZ, illetve a magyar katonai meteorológia történetével, szervezeti felépítésével. Rövid tájékoztatót kapott a szolgálat legfontosabb feladatairól, eszközeiről, jövőbeni terveiről. Majd néhány szóval köszöntötte a jelenlévőket, kiemelte a szakterület nélkülözhetetlen szerepét az élet- és vagyónvédelemben, a természeti katasztrófákra való felkészülésben, azok előrejelzésében és következményeinek felszámolásában. Hangsúlyozta a katonai és a polgári meteorológia nemzeti és nemzetközi együttműködésének jelentőségét.

Nagy érdeklődéssel ismerkedett meg a mobil harctéri meteorológiai állomással (a TACMET-tel), majd rövid látogatást tett a MH METSZ meteorológiai múzeumában. Ezt követően az Előrejelző Osztályon (Katonai Előrejelző Központban) az osztály operatív munkájáról, feladatairól, a készített előrejelzési és egyéb produktumokról, a munkatársak által végzett szoftverfejlesztésekről kapott rövid tájékoztatót. Végezetül megtekintette a NATO Automatizált Meteorológiai Információs Rendszer munkaállomását.

A látogatás zárásaként a főtitkár úr vendéglátóival, valamint az OMSZ

A Világszervezet főtitkárai a szervezet megalakulása óta:

- Dr. Gustav Swoboda (Csehszlovákia, Svájc) 1951-1955
 Dr. David Arthur Davies (Egyesült Királyság) 1955-1979
 Dr. Aksel Christofer Wiin Nielsen (Dánia) 1980-1983
 Prof. Godwin Olu Patrick Obasi (Nigéria) 1984-2003
 Mr. Michel Jarraud (Franciaország) 2004-

Főtitkári látogatások Magyarországon:

D.A.Davies:

1961. november 12-17. (MTA és OMI meghívásra)
 1970. április 7-8. (OMSZ, MMT meghívás, centenáriumi ünnepség és Nemzetközi Meteorológiai Szimpózium.)
 1975. november 9-12. (MTA 150 éves, MMT 50 éves, Meteorológiai Tudományos Napok.)
 1976. október 7-12. (RA-VI. rendkívüli ülés, Doctos honoris causa avatás ELTE-n)
 1977. szeptember 5-8. (Baranyai Jégeső-elhárítási Rendszer bemutatása.)

G.O.P.Obasi:

1986. július 8-12. (Kormány meghívására, WMO Hidrológiai Bizottsága 25 éves jubileuma)
 1996. március 10-12. (Csiszár Iván WMO Ifjúsági díj átadása)
 1999. jún. 24-29. (Tudomány világkonferenciája)

M.Jarraud:

2006. március 5-7. (OMSZ meghívás)

elnökével és képviselőjével közösen munkaabéden vett részt, ahol a legfontosabb, legidősebb szakmai kérdések is megvitatásra kerültek.

A főtitkári vizit a VITUKI –ban tett látogatással ért véget. A Meteorológiai Világszervezet nemcsak a meteorológusok szervezete, hanem

részben a hidrológusoké is, elsősorban azért is, mivel számban hidrometeorológiai szolgálat működik. A WMO nemzeti kapcsolattartásában a „második hely” a Hidrológiai Tanácsadóé. Ebben a minőségében fogadta a főtitkárt *Bakonyi Péter* a VITUKI ügyvezető igazgatójának helyettese, s egy szűk körű szakmai tájékoztató keretében „Introducing VITUKI Environmental Protection and Water Management Research Institute” című előadásban foglalta össze intézete tevékenységét. *Bálint Gábor Bartha Péterrel* és *Varga Györggyel* közösen készített előadásában (The National Hydrological Forecasting Service and other operational hydrological activities at VITUKI) részletesen ismertette a magyar vízjelzés rendszerét. Végül *Domokos Miklós* „The Hungarian National Committee for the International Hydrological Programme of UNESCO and the Operational Hydrological Programme (Hydrology and Water Resources Programme) of WMO” című előadásában számolt be többek között a Duna menti országok vízügyi együttműködéséről.

Dunkel Zoltán

OLVASTUK...

Új típusú Vaisala-nyomásmérők a Titán légkörében

Naprendszerünk égitestei közül csillagászok szerint nem egy másik bolygó, hanem a gyűrűről ismert Szaturnusz egyik holdja, a Titán hasonlít leginkább Földünkre. Ezért is kíséri megkülönböztetett figyelem az amerikai, olasz és európai űrkutatási szervezetek által megkezdett programot, amelynek keretében 1997. október 15-én űrhajó indult a Szaturnusz irányába. Az olasz csillagászlól, Cassiniról elnevezett űrhajó 2004. július 1-jén lépett a Szaturnusz gravitációs terébe, majd december 25-én útnak indította a Titán felfedezőjéről, a holland Christian

Huygensről elnevezett leszállóegységét a földarcú szaturnuszhold irányába. A műhold 20 nap alatt érte el a Titán légkörét, majd közel 2 és fél óra alatt ereszkedett le a felszínre. A műhold légkörkutató egységét a Finn Meteorológiai Intézet szakemberei fejlesztették ki. A HASI (Huygens Atmosphere Structure Instrument) nevű eszköz mérte a hőmérsékletet, a légnyomást, az elektromos vezetőképességet, a turbulenciát, és kutatott villámok után is. A nyomásmérő eszköz 8 db barocap-típusú, Vaisalagyártmányú nyomásmérőből áll. A légritka térben elhelyezett apró szilíciumszemcsék elektromos kapacitásának változását a külső nyomásváltozás arányában kimutató eszközzel

kapcsolatos kísérletek az 1980-as évek elején kezdődtek a Vaisala laboratóriumaiban. A sikeres kísérletek után éppen 20 évvel ezelőtt kezdődött meg a barocap fantázinevű nyomásmérők gyártása. Az új mérési elv szakít a hagyományos aneroid-technikával, tulajdonságai pedig sokkal kedvezőbbek: nagyobb a mérési pontosság, kiváló a hőmérséklettűrő képesség, és kisebb a hiszterézis, ezért hosszú távon is rendkívül stabil az eszköz működése. Minden remény megvan rá, hogy a Huygens-expedíció 2008. júniusára tervezett befejezéséig a mérések zavartalanok lesznek.

Vaisala News, 169/2005

Gyuró György

KÖRNYEZETI ÁRAMLÁSOK SZEMELVÉNYEK A KÁRMÁN LABORATÓRIUM KÍSÉRLETEIBŐL*

1. rész: Szabadszíni hullámjelenségek és áramló közegek rétegzettségével kapcsolatos jelenségek

Érdekes és látványos bemutatót szervezett 2004. decemberében az MTA Meteorológiai Tudományos Bizottság Légekördinamikai Munkabizottsága. Először a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Kármán Tódor Szélcsatorna Laboratóriumának munkáját ismerhették meg a meghívottak, majd az ELTE Környezeti Áramlások Kármán Laboratóriumát mutatták be a laboratórium munkatársai. A külföldi példák, elsősorban a Cambridge-i Egyetem Geofizikai Folyadékdinamikai Laboratóriumának mintájára létrehozott, oktatással és kutatással egyaránt foglalkozó tudományos műhelyben több olyan demonstrációs kísérlet is megtekinthető, amely valamilyen ismert légköri jelenség analógiáját szolgáltatja. Az elsősorban fizikusokból álló, de meteorológus doktoranduszt is foglalkoztató Kármán Labor munkatársai az elmúlt hónapokban elkészítették Szerkesztőségünk számára a kísérletek leírását, amelyet most Olvasóinkkal is szeretnénk megismertetni. (A szerk.)

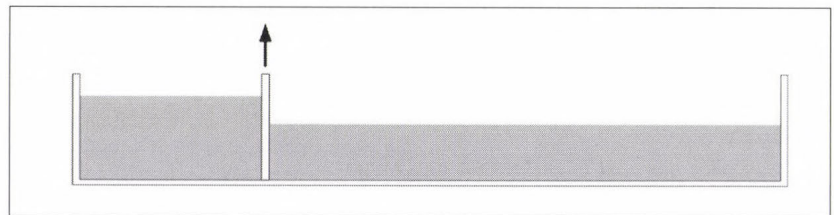
Szabadszíni hullámjelenségek

Szoliton,unami

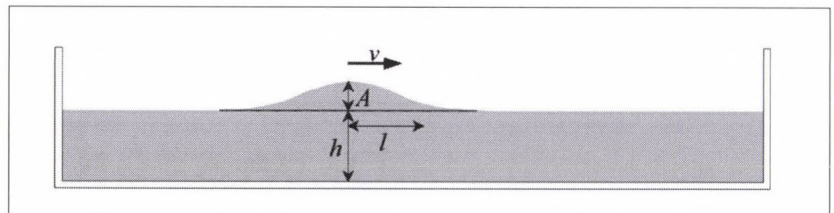
A szoliton sekély vízben előforduló, nagy amplitúdójú, diszperzív, nemlineáris hullám. Egyetlen hullámhegyből álló, rendkívül nagy stabilitású, változatlan formában, sokáig megmaradó alakzat. Laboratóriumi körülmények között is egyszerűen megvalósítható.

A kísérlet egy átlátszó anyagból készült, hosszú kádban végezhető

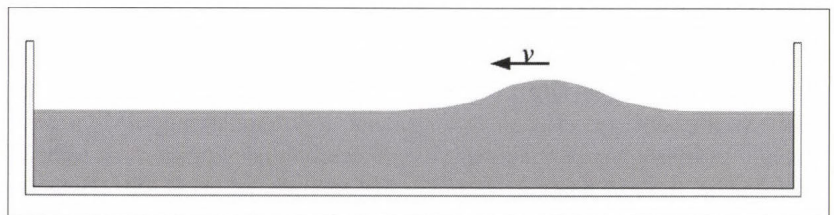
el, amelynek szélességét és magasságát néhány deciméternek, hosszúságát néhány méternek célszerű választani. A kád egyik végében egy eltávolítható lap segítségével néhány deciméter hosszúságú rekeszt hozunk létre. A kádat „lépcsősen” töltjük fel, úgy, hogy a rekeszben lévő víz határozottan magasabban álljon, mint a hosszú részbe töltött víz (1. ábra).



1. ábra: „Lépcsősen” feltöltött kád



2. ábra: A válaszfal eltávolításával elindítunk egy szoliton



3. ábra: A szoliton (többszöri) ütközés után is megtartja alakját, és változatlan sebességgel halad tovább

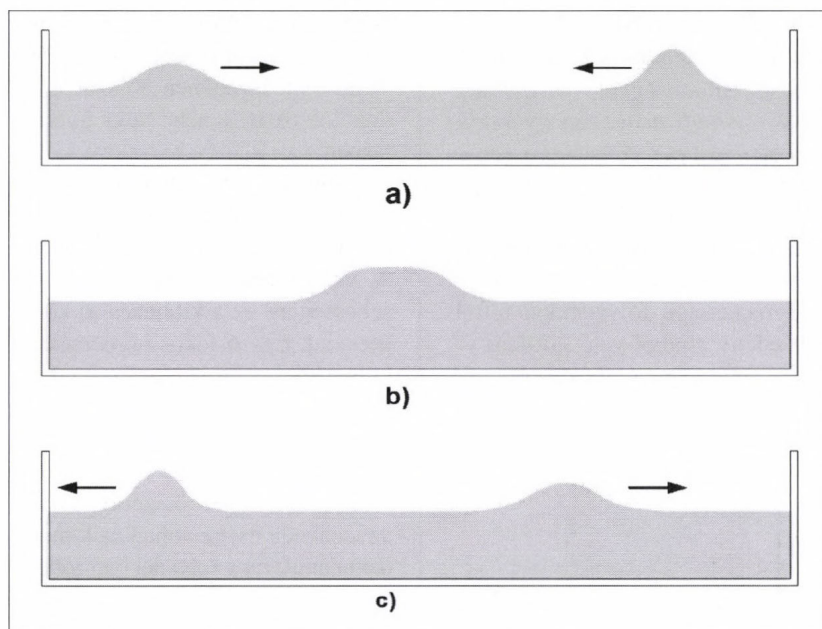
Amikor a feltöltéssel járó zavaró mozgások lecsillapodnak, kihúzzuk a válaszfalat, és ezzel egy mozgó vízkitüremkedést indítunk el: egy szoliton hozunk létre (2. ábra). A válaszfal kihúzásakor nemcsak szoliton keletkezik, hanem más, kis amplitúdó-

jú víz hullámok is. A szoliton nemcsak nagy méretű, hanem sokáig is él, alakját megtartva, egyenletes sebességgel mozog, jól ellenállva a súrlódásnak is. Így ha eleget várunk, a kisebb felszíni hullámok zavaró hatása elenyészik, és a kádban csak a szoliton marad fenn. Hosszú élettartamát, alakjának stabilitását, valamint egyenletes sebességét mi sem mutatja jobban, mint az a tény, hogy

többszöri oda-vissza vonulása során a kád két végének rendszeresen neki-ütközve és onnan visszapattanva is gyakorlatilag változatlanul halad tovább újtán (3. ábra).

Ha nem egy, hanem egymást követően két szolitonot keltünk, akkor

*A Környezetfizikai laboratóriumi gyakorlatok (szerkesztette Kiss Ádám), ELTE Eötvös Kiadó, 2005 című tankönyv képanyaga alapján.



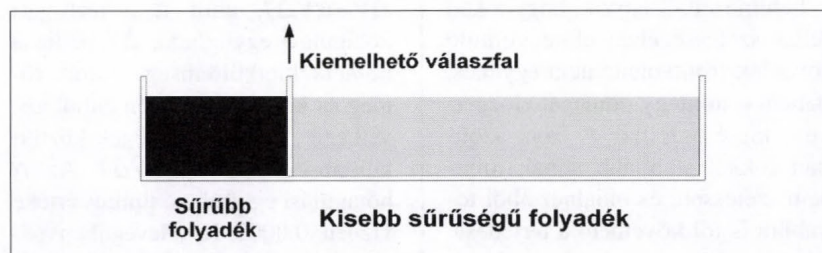
4. ábra: a) Két szoliton éppen találkozni készül, de még túlságosan távol vannak egymástól ahhoz, hogy érezzék egymás közelségét. b) Miközben áthaladnak egymáson, együttes alakjuk szemmel láthatóan megváltozik. (Ebből arra következtethetünk, hogy az egybeolvadt alakzat a két szoliton nemlineáris szuperpozíciója.) c) A szétválás után ismét az eredeti (találkozás előtti) alakjukban jelennek meg, változatlan sebességgel

megfigyelhetjük, hogyan hatnak egymásra. A két szoliton indíthatjuk közel egyidejűleg a kád két végéből (azaz egymás felé), vagy a kádnak ugyanabból a végéből, némi időkülönbséggel. Ez utóbbi esetben is (a kádfallal való ütközéseknek köszönhetően) hamar előáll egy olyan helyzet, amikor egymás felé tartanak, találkoznak (eközben furcsán összeolvadnak), majd elválnak, és tovább folytatják útjukat *eredeti* alakjukban, változatlan sebességgel, mintha mi sem történt volna. Mindezt vázlatosan szemlélteti a 4. ábra.

Levonhatjuk hát a következtetést, hogy a szoliton nemcsak az idő és a sűrűdés romboló hatásával szemben tanúsít nagy ellenállást, hanem egy (vagy több) másik szolitonral való ütközéssel szemben is. (Ez utóbbi, „részcsekszerű” tulajdonsága miatt kapta az elnevezésében szereplő „-on” végződést.)

Egy vagy néhány ilyen erős, stabil óriáshullám a természetben hatalmas pusztítást képes véghezvinni. Példa erre az óceáni földrengéseket vagy az azoknál jóval ritkábban be-

következő óceáni meteor-beecsapódásokat kísérő hullám, a japán nevén közismert *cunami*, amelynek sebessége több száz km/h is lehet, a partközeli vizekben megnöve magassága elérheti a több métert, és hatalmas pusztítást okozhat. A 2004. december 26-i Csendes-óceáni földrengés által keltett *cunami* a nyílt óceánon alig 1 m magas (de több száz km széles) vízszint-emelkedést jelentett. Sebessége az elmélet szerint közelítőleg egyenlő a nehézségi



5. ábra: Átlátszó kísérleti kád kiemelhető válaszfalal, bal rekeszébe sűrűbb folyadékot töltünk

gyorsulás és a vízmélység szorzatának négyzetgyökével. Ez a mintegy 4 km mély tengerben több mint 700 km/óra. A 2004-es *cunami* a fenti számítással megegyezően valóban 2

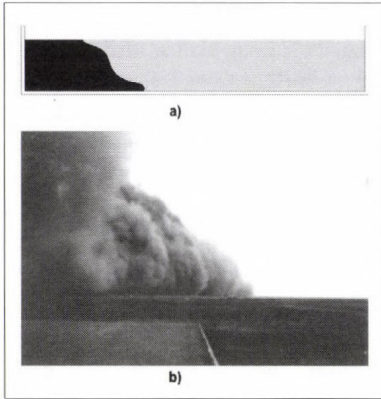
óra alatt ért el Szumátrától Sri Lankáig, és fél nap alatt az afrikai partokig. A hullámfront szélessége a vízmélység köbének négyzetgyökével egyenesen, az amplitúdó négyzetgyökével fordítottan arányos. Az így számítható 250 km-es érték szintén összhangban van a megfigyelésekkel. Az ilyen hatalmas *cunami* szerencsére nagyon ritkák. Kisebb *cunami*kat azonban gyakran megfigyelnek: ezeket apróbb földrengések, földcsuszamlások vagy a sarki gleccserekről a tengerbe szakadó jégtáblák keltik.

Áramló közegek rétegzettségével kapcsolatos jelenségek

Áramlási front mozgása

A második kísérletben két, különböző sűrűségű közeg egymásra rétegződését vizsgáljuk. Ennek lényege, hogy egy sűrűbb közeg addig áramlik egy kevésbé sűrű alá (vagy a hígabb réteg a sűrűbb fölé), amíg az egyensúly be nem áll. Célunknak megfelel az előző kísérlethez használt, vagy ahhoz hasonló, hosszú, kis rekeszel ellátott kád. A rekeszt most ugyanaddig a magasságig töltjük fel mint a kád hosszú részét, de a kis rekeszbe alkalmasan színezett (pl. sötétkék) folyadék kerül, amely egyúttal sűrűbb (például hidegebb vagy sós víz) a másik részbe töltött „tisztá” víznél (5. ábra).

A válaszfalat eltávolítva azt látjuk, hogy a két közeg nem szívesen keveredik egymással, hanem a festett víz meglehetősen jól definiált határt tartva „bekúszik” a festetlen



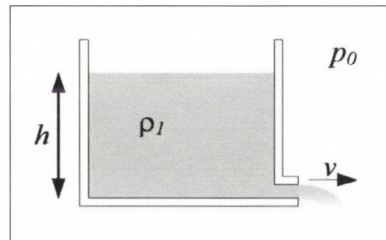
6. ábra: a) Az induló front alakja, közvetlenül a válaszfal eltávolítása után. b) Légtörési hidegfront alakja

alá, és fordítva. E front kezdeti alakját szemlélteti a 6. ábra.

A kezdeti pillanatok után a sötét nyúlvány egyre távolabbra kúszik a fenéken. A két különböző sűrűségű közeg mozgását a gravitáció irányítja: súlypontjuk a kezdeti egymással azonos magasságban lévő nem-egyensúlyi helyzetükből az egymás alatti stabil egyensúly felé törekednek. Az ilyen áramlatokat *gravitációs áramlatoknak* nevezük, és a természetben számos példa található rájuk: ilyen a lavina vagy a lávafolyam (ezek esetében maga a levegő képviseli a ritkább közeget), a légtörési hideg- vagy melegfrontok betörése. A jelenséget nem forgatott közegben vizsgáljuk, ezért frontjaink a légtörési frontok kis léptékű viselkedését modellezzik, ahol a Coriolis-erő hatása elhanyagolható.

Felülnézetből látszik, hogy a kád teljes szélességében előrenyomuló folyadék frontvonala nem egyenes, hanem – mintegy önmagát előzgetve – kissé oszcillál. A front azonban sokkal stabilabb annál, mintsem szétessen, és oldalnézetből továbbra is jól követhető a terjedése. Elemi módszerekkel megmérve a sebességét, újabb érdekes dologról szerzünk tudomást: a front jó közelítéssel egyenletes ütemben halad végig a kádon.

Elméletileg a front haladási sebessége $v \approx (2g'h)^{1/2}$, ahol h az elhaladó front mögött kialakuló sűrűbb alsó réteg magassága, g' pedig a két folyadék közötti csekély sűrűségkülönbséggel $(\rho_1 - \rho_2)$ arányos *redukált nehézségi gyorsulás* ($g' = g(\rho_1 - \rho_2)/\rho_1$). A haladási sebességet megadó egyenlet alakja ismerős a Torricelli-féle kiömlési törvényből: * hasonlóan függ a redukált nehézségi gyorsulástól, mint ahogy a h magasságú folyadékkal feltöltött edény aljából való kifolyás (7. ábra) sebessége a teljes g -től.



7. ábra: Edény alján lévő szűk nyíláson kiömlő folyadék

A redukált nehézségi gyorsulás egy nagyobb (ρ_1) sűrűségű alsó és egy kisebb (ρ_2) sűrűségű közeg határfelületén kialakuló mozgásoknál játszik fontos szerepet. Mivel a két közeg sűrűsége általában csak kevéssé tér el egymástól, ezért a nevezőben fellépő ρ_1 helyett a két réteg ρ_0 átlagos sűrűségét is használhatjuk.

Gyakori eset, hogy a sűrűségkülönbséget kizárólag az adott közeg változó hőmérséklete hozza létre, a két réteg anyagi minősége egyébként azonos. A hőtágulás ismert törvénye szerint, a térfogatváltozás $\Delta V = \alpha V \Delta T$, ahol α a térfogati hőtágulási együttható, ΔT pedig a hőmérsékletkülönbség. Adott tömeg és kis eltérés esetén ebből következik, hogy a sűrűségek közötti különbség $\rho_1 - \rho_2 = \rho_0 \alpha V \Delta T$. Az α hőtágulási együttható tipikus értéke vízben $0,0002 \text{ K}^{-1}$, levegőben pedig $0,003 \text{ K}^{-1}$. Ez azt jelenti, hogy 10 fokos hőmérsékletkülönbség vízben csupán 2 ezreléknyi, ill. levegőben 3 százaléknyi sűrűségváltozást jelent. A fentieknek megfelelően a redukált nehézségi gyorsulás $g' = \alpha \Delta T g$, ahol ΔT a melegebb és a hidegebb közeg közötti pozitív

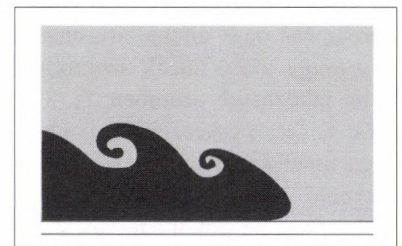
hőmérsékletkülönbség. 10°C -nyi hőmérsékletkülönbség vízben 500-szoros, ill. levegőben 30-szoros redukciót okoz a nehézségi gyorsulásban.

A hőmérsékletkülönbség következtében kialakuló front sebessége az előbbieken alapján $v = (2\alpha \Delta T g h)^{1/2}$. A valóságban megfigyelt frontok sebességére ez a kifejezés jó közelítést ad. Egy 6 fokos hőmérsékletkülönbséggel járó hidegfront esetén pl. a sűrűségkülönbség mindössze 2 %-os, a közel 1 km-es magasság miatt $v = 20 \text{ m/s}$.

A fenti elméleti összefüggés arra az idealizált esetre vonatkozik maradéktalanul, ha a folyadékban fellépő belső súrlódástól és a kád falaival való súrlódástól egyaránt eltekintünk, továbbá feltételezzük, hogy a két közeg nem keveredik. A valóságban ezek a feltételek nem teljesülnek teljes mértékben, így a mérések során kapott eredmények némileg eltérhetnek az elméleti számításoktól.

A mozgó front határán sokszor, a 8. ábrán látható, jellegzetes fodrozódás figyelhető meg oldalnézetből. Ez a *Kelvin–Helmholtz-instabilitás** következtében kialakuló áramlás, amely két különböző sűrűségű, egymáshoz képest mozgásban lévő réteg határán lép fel, és a relatív sebességtől függő mértékben meggyűri a határfelületet. (Erre a 9. ábrán mutatunk egy szép természeti példát). Minél nagyobb a rétegek egymáshoz viszonyított sebessége, annál nagyobb az instabilitás jellegzetes hullámhossza, és fordítva.

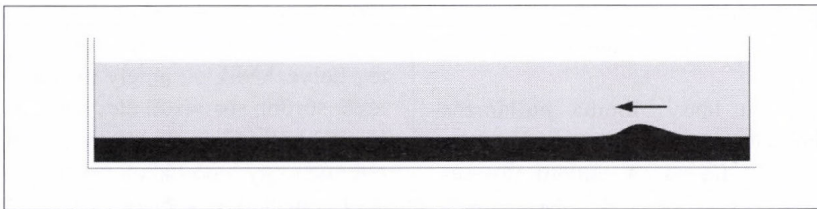
A kísérlet során azt tapasztaljuk, hogy a színek sokáig jól különvál-



8. ábra: A haladó front felső határán a Kelvin–Helmholtz-instabilitás következtében jellegzetes fodrozódás jelenik meg



9. ábra: A felhő alatt és fölött elhelyezkedő levegőréteg egymáshoz viszonyított mozgásának következtében a határfelületen megjelenik a Kelvin–Helmholtz-instabilitásra utaló fodrozódás. (Mátraalja, 2005. augusztus 6., Nagy Zoltán felvétele)



10. ábra: A kád falával való ütközés után egy belső szoliton indul el visszafelé

nak. Keveredés szinte kizárólag a két réteg határán lévő keskeny sávban történik, méghozzá a Kelvin–Helmholtz-instabilitás örvényeinek hatására. Ez a tapasztalat arra utal, hogy a környezeti áramlásokban a keveredés elsősorban hidrodinamikai okokra vezethető vissza, a molekuláris diffúzió (és hasonlóképpen a hődiffúzió is) nagyon lassú folyamatok, és csak nagy időskálán játszanak lényeges szerepet.

Miután a sűrűbb réteg a kád teljes hosszán végigterült, és a túlsó végének ütközve visszaverődött, egy újfajta alakzat jelenik meg: határozott alakú púp indul meg visszafelé a két közeg határán (10. ábra). A szóban forgó alakzat nem más, mint egy *belső szoliton*. A szabad felszíni és a belső szoliton között lényegi különbség nincs, de az utóbbi sebessége a redukált nehézségi gyorsulás miatt sokkal kisebb.

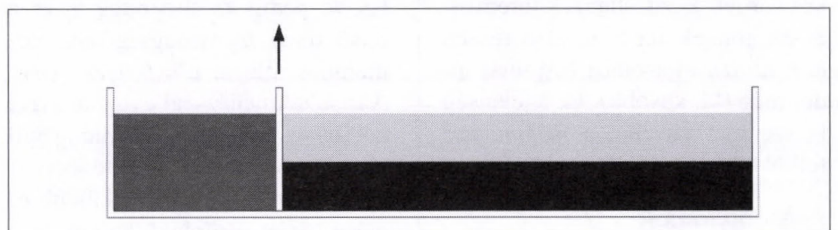
Közbülső front beáramlása

Két egymáson elhelyezkedő réteg határán *közbülső* frontot állíthatunk

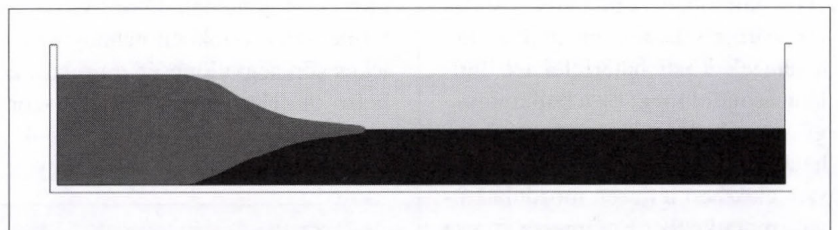
elő. A kád végében válaszfalal leválasztjuk a rekeszbe eső rétegzett vizet, majd jól összekeverjük. Eredményképpen a rekeszben a két réteghez képest köztes sűrűségű folyadékot kapunk (11. ábra). Ezt egyúttal valamilyen új színűre meg is festhetjük a jelenség jó megfigyelhetősége érdekében.

Ezután a szokásos lépés következik: eltávolítjuk a válaszfalat, és figyeljük, mi történik. A köztes sűrűségű folyadék „bekúszik” a nála sűrűbb, ill. ritkább közé (12. ábra). A kísérlet során nem nehéz felismerni a hasonlóságot a légrétegek közé bekúszó felhők alakjával.

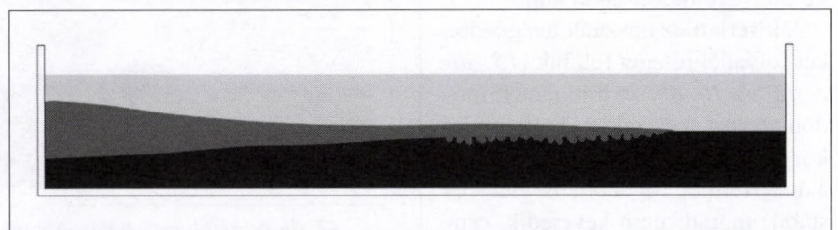
Vannak olyan gyenge frontok, amelyek nem vonulnak végig a kísérleti kádon, hanem útközben lefékeződnek. Jelen kísérletünk éppen egy ilyen folyamatra szolgál példaként. A színes közbülső réteg fokozatosan beékelődik az eredeti két réteg közé, de közben lelassul, egyre vékonyodik, míg végül teljesen lefékeződik. Az eleje ekkorra már



11. ábra: Közbülső front indítása: a bal rekeszben lévő víz a másik két réteghez képest köztes sűrűségű



12. ábra: A köztes sűrűségű folyadék bekúszik a sűrűbb és a ritkább réteg közé



13. ábra: Az elvékonyodott és megállapodott közbülső réteg alján megjelenő ujjasodás



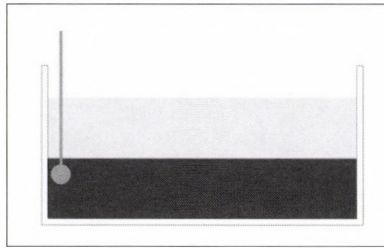
14. ábra: Mammatusz felhők

olyannyira vékonyra nyúlik, hogy feüllnézetből szinte nem is látszik, legfeljebb egy leheletnyi színárnyalat utal a jelenlétére. Oldalnézetből egy hajszálvékony, éles csíkot látunk, mely néhány perc után érdekes formát kezd ölteni: kitüremkedések jönnek létre az alsó részén (13. ábra), ujjasodási folyamat indul meg (ld. később). Ez a jelenség is szerepet játszhat a mammatusz felhők* kialakulásában (14. ábra).

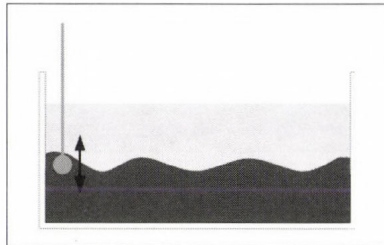
Belső hullámok két közeg határán: a „holt víz”-effektus

Ha a korábban bemutatott kísérletek bármelyikében megbolygatjuk a rétegek közti határfelületet, hullámozgás indul meg. Ez a hullámozgás azonban csak a szóban forgó határfelületen figyelhető meg, a felszín eközben teljesen mozdulatlanul mutatkozik. Érdekes e furcsa jelenségnek, a *belső hullámoknak* külön figyelmet szentelnünk.

A kísérlethez használt üvegvadba két folyadékra töltünk (15. ábra). Ha a 16. ábrán feltüntetett módon zavart keltünk a határfelület közelében, hullámozgás indul, de a határfelület továbbra is éles (és stabil) marad: nem keveredik, csupán hullámozgás.



15. ábra: Két rétegben feltöltött kád



16. ábra: A henger fel-le mozgásával belső hullámok keletkeznek, eközben a felszín mozdulatlan marad

Ez a lassú, lomha hullámozgás hosszú ideig tart, a súrlódás nem nagyon fékezi. A hullám fázissebességét a $c=(g'h')^{1/2}$ összefüggés adja meg, ahol g' a korábban megismert redukált nehézségi gyorsulás, h' pedig az alsó réteg h_1 és a felső réteg h_2 vastagságának harmonikus átlaga: $h'=(h_1h_2)/(h_1+h_2)$. A redukált nehézségi gyorsulás (g') korábban megadott definíciójából látszik, hogy értéke egyenesen arányos a két réteg sűrűségkülönbségével, ezért sűrűségkülönbség hiányában $g'=0$, és így $c=0$, vagyis rétegzettség hiányában belső hullámok sem jöhetnek létre. Mivel a természetes vizekben néhány ezrelékes sűrűségkülönbség a tipikus, a belső hullámok mintegy 30-szor lassabbak a külső, felszíni társaiknál. Fontos hangsúlyozni, hogy a

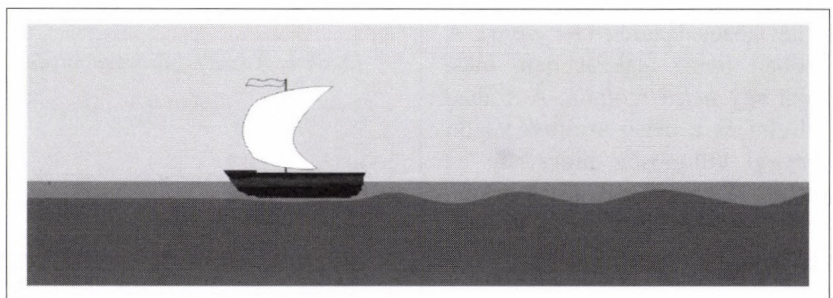
belső hullámozgást kísérő felszíni mozgás általában elhanyagolható amplitúdójú.

A természetben gyakran találunk belső hullámok jelenlétére utaló példákat. Az óceánban és az atmoszférában is aktív mozgások mehetnek végbe a látszólagos nyugalom ellenére. Előfordul, hogy egy tengeren haladó hajó hirtelen lelassul, mintha megfeneklett volna, annak ellenére, hogy alatta a víz nagyon mély, az időjárás tiszta, a tenger felszíne pedig nyugodt. Angolul „dead water” („holt víz”) hatásnak nevezik ezt a jelenséget.

A 17. ábra segít a jelenség megértésében: a tenger felszínén, pl. folyótorkolatok közelében egy sekély, viszonylag kis sűrűségű vízréteg helyezkedik el, amely az alatta lévő, sűrűbb sós víztől éles határfelülettel különül el. Ha ebben a felső rétegben egy hajó halad, akkor teljesítményének egy bizonyos részét arra fordítja, hogy az említett határfelületen belső hullámokat keltsen. Ezt a teljesítményvesztést észlelik fékező hatásként a hajón utazók.

Az ilyen hullámok valóban nemigen látszanak a víz felszínén, valami azonban mégis utal rájuk: rövid kapilláris hullámok jelenléte jelzi egy-egy belső hullámhegy helyét. Mindez, ha közelről nem is, de a magasból, például repülőgépről nyomon követhető.

Az atmoszférában is fellépnek aktív mozgások az eltérő sűrűségű légrétegek között. Az ezek által keltett belső hullámozgásra utal a 18. ábrán látható csíkos felhőmintázat, ilyeneket repülőgépről különösen



17. ábra: „Holt víz” hatás. A hajó belső hullámokat kelt a határfelületen, ezáltal lefékeződik

jól megfigyelhetünk. A belső hullámzás következtében az eredetileg vízszintes légréteg egyes részei magasabbra kerülnek, ahol az alacsonyabb hőmérséklet hatására a vízpára kicsapódik. A felülnézetből látható csíkok tulajdonképpen a hullámhegyek tetejének felelnek

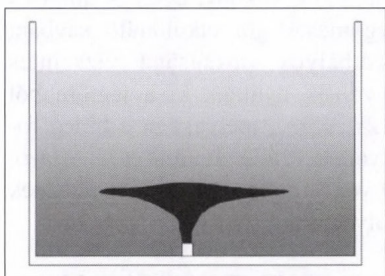


18. ábra: Belső hullámok jelenlétére utal a csíkos felhőmintá

meg. Ez a légköri példa azt mutatja, hogy belső hullámok nem csak éles réteghatáron, hanem folytonosan változó sűrűségű közegben is létrejöhetnek.

Szennyezések lokális terjedése: turbulens fáklya, kéményfüst

Ha nincs jelen semmiféle zavaró légmozgás, rétegzett közegben a füst előbb egyenesen felfelé száll, majd egy bizonyos magasságot elérve szétterül, mintha láthatatlan mennyezet állná útját. Hasonló jelenség figyelhető meg vulkánok kitörésekor is. Homogén levegőben a kéményfüst tetszőlegesen magasra felszállhatna, az imént említett alakzat ott nem jöhetne létre. Ismét



19. ábra: Kéményfüst-jelenség: folytonosan rétegzett sós vízben felfelé áramló kisebb sűrűségű folyadék gomba formájú képződményben terül szét

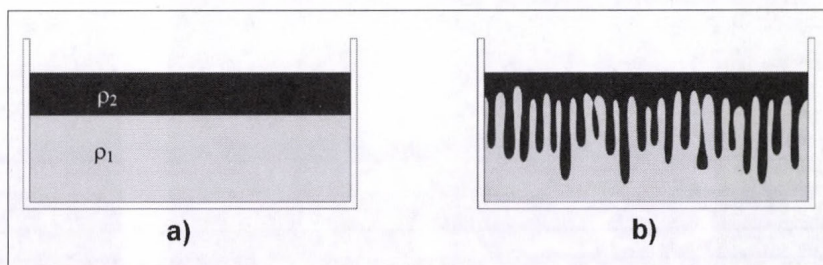
kulcsfontosságú szerepet játszik tehát a levegő rétegzettsége.

Folyamatosan csökkenő sűrűségű levegőben a felfelé szálló füstnek mindenképpen meg kell állnia ott, ahol a sajátjával azonos sűrűségű levegőt talál. De mivel a füst turbulens feláramlása közben összekeveredik a környező sűrűbb levegővel, ezért sűrűsége fokozatosan nő, és így lényegesen kisebb magasságban éri el a gravitációs egyensúlyi állapotot.

A jelenséget a laboratóriumban az alábbi módon tanulmányozhatjuk. Egy folytonosan rétegzett, lefelé egyenletesen növekvő sűrűségű, sós vízzel feltöltött tartályból egy kevés vizet szívunk ki, mégpedig a felszín közeléből. A kivett vizet enyhén megfestjük, hogy a jelenség szemmel követhető legyen, majd egy hajlított végű üvegcsőben

tat, azaz erősítik egymás hatását. Előfordulhat azonban az is, hogy egymással ellentétes irányúak. A természetben valóban létezik ilyen elrendeződés: a napsugárzás melegíti a tenger felszínét, ezáltal csökken a felszíni réteg sűrűsége. Ugyanakkor a párolgás miatt a sókoncentráció növekszik a felszíni réteg sűrűségével együtt. Mi történik ekkor?

Ezt vizsgáljuk követező kísérletünkben, melynek során alkalmas módon színezett, meleg, sós vizet töltünk hideg, tiszta víz fölé (20. a ábra). Ekkor a hőmérséklet okozta sűrűséggradiens lefelé, a sókoncentráció okozta sűrűséggradiens felfelé irányul; az előbbi segíti, az utóbbi gátolja a rétegződés stabilitását. Ha tehát a hőmérséklet hatása az erősebb, az elren-



20. ábra: a) Festett, meleg, sós vizet rétegeztünk hideg, tiszta víz fölé, az elrendeződés kezdetben stabil; b) A felső réteg lehűlése következtében az elrendeződés instabillá válik, sós „ujjak” keletkeznek

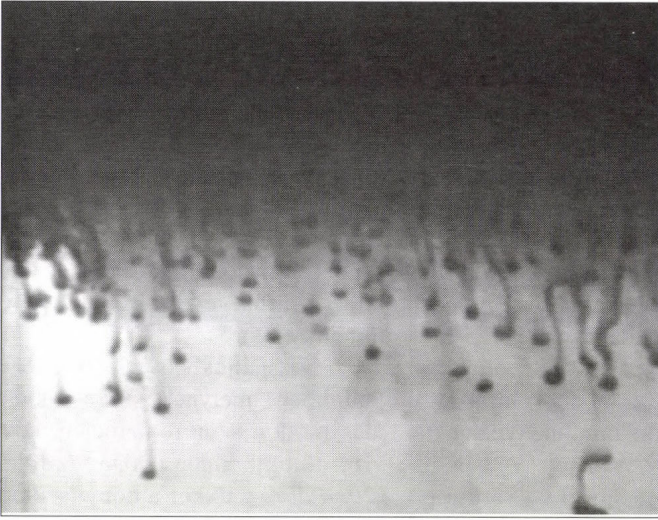
végződő, csappal ellátott alkalmas eszközzel a színes vizet visszaengedjük a kádba, mélyebbre, mint ahonnan kivettük. A színes víz föláramlik, kissé „túlló” a végső megállapodási szinten, majd oda nyomban visszaesik, és szétterül (19. ábra). Nem jut el azonban abba a magasságba, ahonnan származik: esetenként annak körülbelül a negyedéig ér csak el, és ebben a színezőanyag elhanyagolhatóan kicsi szerepet játszik.

Ujjasodás

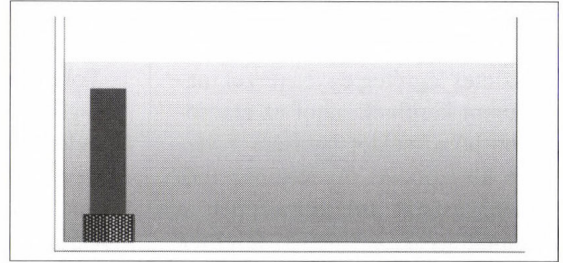
Sűrűséggradienst a tengerben a sókoncentráció és hőmérséklet mélység szerinti változása okoz. Általában a koncentráció- és hőmérsékletgradiens egy irányba mu-

deződés stabil, legalábbis kezdetben.

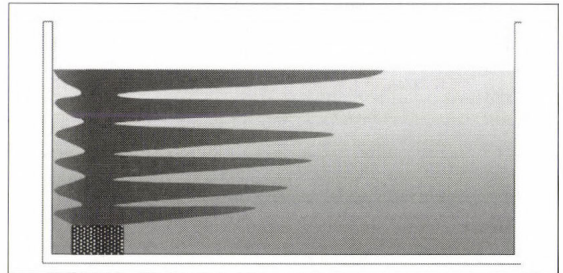
A felső réteg azonban hűlni kezd, miközben sótartalmát jól megőrzi, így sűrűsége hamar meghaladja az alatta lévő réteget, vagyis a sűrűbb réteg lesz a hígabb tetején. Ez azt eredményezi, hogy a két réteg határán megjelenő kis kitérések elkezdnek növekedni, azaz instabilitás lép fel. A kísérleti edényben jól látszik az instabilitás további fejlődése: a felső rétegből vékony, néhány milliméter vastagságú sós „ujjak” indulnak meg lefelé, közöttük pedig a tiszta víz törekszik felfelé (20. b, ill. 21. ábra). Vízszintes szerkezetük is érdekes: felülnézetből rácsszerű mintázatot látunk (22. ábra).



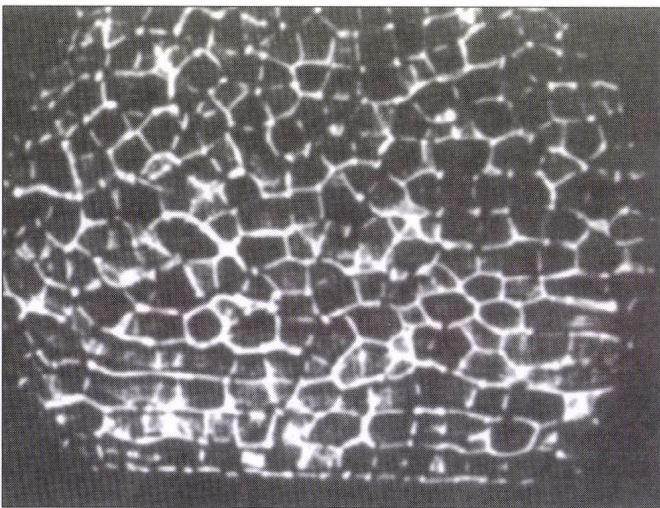
21. ábra: Laboratóriumi felvétel a sós „ujjakról”



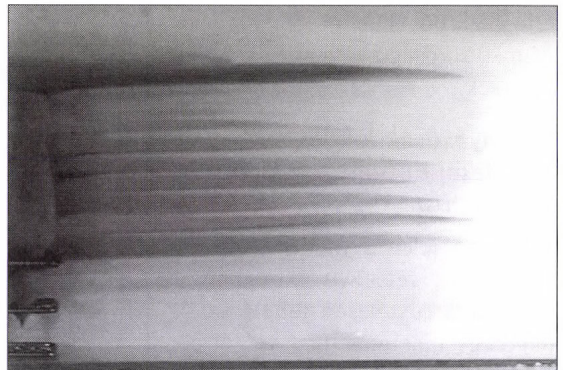
23. ábra: Festett jégtömböt állítunk folytonosan rétegzett sós vízbe. Így egyszerre van jelen sókoncentráció- ill. hőmérsékletgradiens



24. ábra: A jégtömb olvadásával járó áramlások vízszintes „nyelveket” formálnak



22. ábra: A sós ujjak felülnézetből rácsszerű mintázatot alkotnak (Tritton, 1988)



25. ábra: Laboratóriumi felvétel a folytonosan rétegzett sós vízbe állított színes jégtömb olvadása révén létrejött „nyúlványokról”

Jégtömb olvadása folytonos rétegzettségű közegben

Ennek a természeti jelenségnek a bemutatásához egy nagyobbacska, festett vízből fagyasztott jégtömbre van szükség. Célszerű egy nehezeket a tömb egyik végébe befagyasztani. A színes jégtáblát folytonosan rétegzett sós vízzel töltött kádba állítjuk (23. ábra). Ilyen módon ismét kétféle gradiens együttes hatása érvényesül a folyadékban, de most egymásra merőleges irányban: a sókoncentráció változásából származó, függőleges irányú sűrűséggradiens, ill. a jég és víz közötti hő-

mérsékletkülönbség okozta vízszintes irányú hőmérsékletgradiens.

A jégtömb olvadni kezd, és mellette felfelé áramlás jön létre, mivel az olvadó jég anyaga a sós rétegek-nél könnyebb (noha hidegebb) tiszta víz. A „kéményfüst” kísérlethez hasonlóan ugyanis a turbulens feláramlás erős környezeti keveredéssel jár együtt, így a kezdetben édes olvadó víz hamarosan jelentős só-tartalomra tesz szert. Emiatt a folyadék néhány centiméteres emelkedés után gravitációs egyensúlyi helyzetbe kerül, a további emelkedés leáll, csak oldalirányú áramlás marad fenn. A kísérlet azt mutatja,

hogy ez a vízszintes áramlás nem a kád teljes mélységét kitöltő egyetlen vízkörzéként valósul meg, hanem sok vékony, egymás alatti és egymástól jól elkülönülő sávban: szabályos vastagságú vízszintes nyelvek nyúlnak ki a jégtömbből (24. ábra), melyekben a hideg folyadék kifelé áramlik (25. ábra). Ilyen áramlás jön létre jéghegyek olvadásakor is.

**Gyüre Balázs, Jánosi Imre,
Szabó K. Gábor és Tél Tamás
ELTE Fizikai Intézet,
Környezeti Áramlások Kármán
Laboratórium**

ADALÉKOK A RADARMETEOROLÓGIA HAZAI TÖRTÉNETÉHEZ: AUTOMATIZÁLT RADARMEGFIGYELÉSEK MAGYARORSZÁGON

A LÉGKÖR 49. évf. 3. száma közölte Kapovits Albert visszaemlékezését „A radarmeteorológia meghonosítása Magyarországon” címmel az OMSZ időjárásradarhálózatának kiépítéséről 1960-tól 1990-ig. Dombai Ferenc alábbi írása a hazai radarok automatizálásának eseményeit mutatja be az 1980-as évektől 1999-ig, név szerint is megemlékezve a nagy vállalkozást segítő műszakiakról, programfejlesztőkről és szakmai vezetőkről. (A szerk.)

Bevezetés

Az OMSZ kiadásában 1995-ben jelent meg a „Fejezetek a Magyar meteorológia történetéből” című kiadvány, amelynek „Radarmeteorológia” fejezetét Kapovits Albert közreműködésével készítettem. Ebben a kezdetektől 1993-ig igyekeztünk kaulozni az olvasót a hazai radarmeteorológia történetében. Amikor olvastam Kapovits Albertnek a LÉGKÖR 2004. 3. számában megjelent „Radarmeteorológia meghonosítása Magyarországon” című életrajzszerű visszaemlékezését, úgy gondoltam, érdemes azt kiegészíteni és folytatni azért, hogy a LÉGKÖR olvasói más nézőpontból is kaphassanak képet a hazai radarmeteorológia izgalmas történetéről. Az automatizálás oldaláról szeretném láttatni a történéseket, mivel annak megvalósítása tette felnőtté a hazai radarmeteorológiát: hiszen az operatív megfigyelések mai gyakorlata, a radarmérések adatainak előrejelzési rendszereinkben való integráltsága, a közelmúltbeli és jelenlegi kutatási témái teljes mértékben megfelelnek a mai nemzetközi gyakorlatnak és szakmai színvonalnak. Írásomban az 1999-ig terjedő időszakot kívánom áttekinteni, mert az OMSZ munkatársaként addig volt közvetlen kapcsolatom a rendszeres radarméré-

sekkel, ahhoz kapcsolódó fejlesztésekkel. Később sem szakadtam el teljesen a radarmeteorológiától, de az azt követő történésekről hitelesen Nagy József fog majd beszámolni egy későbbi LÉGKÖR cikkben.

A hazai radarmeteorológia történetének fontos eseménye volt az 1995. november 25-én tartott, szakmai bemutatóval kibővített sajtótájékoztató, amelyen a KTM (később KVM, most KVVM) minisztere, Baja Ferenc bejelentette az OMSZ automatizált időjárásradarhálózatának üzembe helyezését. Az odáig vezető út sokszor rögös volt és nem nélkülözött emberi konfliktusokat sem. A magyar radarmeteorológia azonban sikerrel túlélte a 1991-92-es évek mélypontját is, amikor bezárásra került a ferihegyi repülőtéren működő radarállomás és majdnem megszűnt az OMSZ időjárásradarhálózata is.

Én 1977 őszén kerültem az OMSZ-hoz és 1999-ig, a KVM-be történő áthelyezésemig, 22 éven át aktív részese voltam a hazai radarmeteorológia fejlesztésének. Dolgoztam a BWR-X12 radaron, jártam szolgálatba a ferihegyi MRL-5 radarhoz, jelen voltam a farkasfai és a napkori obszervatórium alapozási munkáinál és sajnos jelen lehettem az utóbbi lebontásánál is! Pályafutásomat tudományos segédmunkatársként kezdtem az 1977-ben megalakított Radarmeteorológiai Csoportban (Dombai Ferenc, Völker József, Simon Zsuzsanna, Földes József), aktívan közreműködtem a manuális mérési módszerek kidolgozásában és az automatizálási rendszerek kifejlesztésében. Radarmeteorológiai ismereteimet GARP-FGGE expedíciós úton (LÉGKÖR 1979/1), Szovjetunióbeli tanulmány utakon (VGI Nalcsik/GGO Leningrád), nemzetközi konferenciákon, tudományos

együttműködési programokban (COST), valamint önképzés és szakirodalom útján szereztem. Az első tapasztalataimból leszűrtem, hogy a radarmeteorológia megfelelő szintű műveléséhez alapos fizikai és mérnöki ismeretek is szükségesek, ezért a meteorológus végzettségem mellé 1985-ben villamosmérnöki oklevelet is szereztem a Budapesti Műszaki Egyetemen.

Személyekről

Kapovits Albert idézett cikkében említettekén kívül sokan mások is fontos szerepet játszottak a hazai radarmeteorológia felnőtté válásában. Helyhiány miatt az én névsorom sem teljes, elsősorban a számítógépes feldolgozások és az automatizálás területén dolgozóakra próbáltam visszatekinteni.

Elsőként említem Boncz Józsefet (KEI), Pásztory Róbertet (VITUKI): az ő számítógépes programjaik tették lehetővé, hogy a telexes radar adatok számítógépen, operatív módon megjeleníthetők legyenek az OMSZ-nál, ill. a vízügyi ágazatban, továbbá Kecskeméty Lászlót, Sipos Győzőt és Simon Zsuzsannát, akik az akkori KEI Távérzékelési Főosztályán üzemeltetett képfeldolgozó TPA 1148 / Pericolor rendszeren ügyködtek, előbb a telexes, majd 1986-tól a kísérleti digitális radaradatokkal. Meg kell említenem Szalma Jánost, a KEI egykori Repülésmeteorológiai Osztályának vezetőjét, aki a repülésmeteorológiai igényekből indulva ugyan sikertelenül, de mindig állhatatosan küzdött a radarmegfigyelések korszerűsítéséért, például a Napkor-i kísérleti rendszer Budapestre kerüléséért. A 80-as évek végén közösen javaslatot tettünk egy budapesti *nowcasting centrum* kialakítására, aminek mag-

ját a Távérzékelési Főosztály és a Repülésmeteorológiai Osztály képezte volna. Nem sokkal később megszüntették a Távérzékelési Főosztályt, de persze ez csak időbeli korreláció.

Az úttörők között szerepelnek a jégeső-elhárító rendszereknél (BRJE, BácsRJE) dolgozó *Keskeny András, Markó Tamás és Sövény András*, akik egy HP1000 típusú számítógépre alapozott rendszer fejlesztését kezdték meg 1986-ban. Ez abamaradt ugyan a jégeső-elhárítás felszámolásával, de a külső fejlesztők személyén keresztül átvezetett a 1991-ben elkészült automatizálási rendszerünkhöz. Ki kell emelnem *Bálint Zoltán és Illés Lajos* nevét, a FETIVIZIG munkatársait, akik felismerték, hogy hidrológiai alkalmazásokhoz elengedhetetlen a radarmérések számítógépesítése és 1984/85-ben, majd 1989-ban is kiegészítő anyagi forrásokat teremtettek a Napkor-i automatizálási projektjeink számára. Ott dolgozott *Matavovszky György* is, aki a digitális radaradatok hidrológiai felhasználására szolgáló FETIRA programot dolgozta ki 1991-ben. Meghatározó szerepet játszott az OMSZ-nál dolgozó *Nagy József*, aki a jégeső-elhárítás megszűnése után visszakerülvén a radarhálózatunkhoz, fáradhatatlanul dolgozott a WRP32C automatizálási rendszer bevezetésében; közreműködésével vált teljessé a digitális radarhálózatunk. Meg kell említenem *Völker József* nevét is, aki eleinte idegenkedett ugyan, de később pótolhatatlan szerepet játszott az automatizálás bevezetésében és az MRL-5 radarok megbízható üzemeltetésében.

Külföldi kollégáinkról is meg kell emlékezni: *Peter Havranek* és *Jan Kracmar* (CzHMU- Prága), akik bízva az általunk 1991-ben kifejlesztett, WRP32C fantázia-nevű rendszerben, kezdeményezték a Cseh Hidrometeorológiai Szolgálatnál (1992) és a Cseh Hadsereg-nél történő bevezetését (1993-

1994), létrehozva az automatizált időjárás radarhálózatukat. E bekezdésben megemlítem *Massimo Falci* (SMA, Firenze) urat is, akinek szervezésében egy továbbfejlesztett és rádiós adatátvitellel kiegészített WRP-Quatro Argentínában is telepítésre került (1998, Mendoza). Feledhetetlen élmény volt a zivatargócok követése rendszerünk képernyőin az Andok hegyvonulatával a háttérben. A telepítés munkálataiban részt vett *Horváth Zoltán és Tóth Ferenc*, a Napkori Radar Observatórium egykori munkatársai is.

Szólni kell *Duma Viktorról* is, az akkori Autópálya Igazgatóság főmérnökéről, aki előrejelzőink nehezítését is vállalva a 90-es évek közepén kijárta, hogy a digitális radar adatok közvetlenül eljussanak a Közúti Igazgatóságokhoz. Meg kell említenem *Orbán Józsefet* is, aki egy 1995 augusztus 25-i repülőeseményt követően, amikor egy New Yorkba tartó Malév járat repülőgépe zivatar kifutó szele miatt felszálláskor nekiütődött a pálya betonjának és megsérült, felülvizsgálta az LRI álláspontját az időjárás radarmérésekkel kapcsolatban. Ezt követően az automatizált mérések adatai a repülésmeteorológusok és irányítók asztalára kerülhettek Ferihegyen. Nem feledkezhetem meg *Nagy Sándorról* és *Ináncsi Lászlóról*, a HM Meteorológiai Szolgálat korábbi vezetőjéről és helyetteséről, akik több éves állhatatos szervező munkájukkal mozdították elő a katonai repülőtereken elhelyezett MRL-5 radarok automatizálását. Ez sajnos csak a nyugdíjazásukat követő években valósult meg. (Kecskemét, Pápa, Taszár – 2003). Kiemelten kell megemlítenem *Horváth Ákos* nevét, aki a hazai nowcasting rendszerek első számú fejlesztőjeként megalapozója volt a radaradatok operatív, integrált alkalmazási gyakorlatának, a radaradatok HAWK rendszerbe történő integrálása megvalósításával.

Szándékosan a végére hagytam *Mersich Iván* volt elnök urat, aki időben felismerte, hogy az automatizáláson kívül más útja nem lehet a hazai radarmegfigyeléseknek, támogatta az automatizált mérések fennmaradását Napkoron (1992), az automatizált mérések megindítását Szentgotthárdon (1993), valamint a digitális radaradatok külső-belső szolgáltató rendszerének kiépítését. Segítségével igen fontos mérföldkőhöz értünk 1993-végén, amikor elnöki utasításra *megszűnt a telexes radar adatszolgáltatás*. Bár ő kezdeményezte a ferihegyi radarmérések leállítását 1991 végén, később mégis támogatta a budapesti radar automatizált módon történő újraindítását 1995-ben. Öt év alatt a mélypontból a csúcsra érkeztünk, felállt az országos fedettséget biztosító automatizált időjárás radarhálózatunk!

Legvégül bemutatnám annak a kis csapatnak tagjait, akik nélkül mindez nem valósulhatott volna meg. Ők *Bezzegh Péter, Suhai György*, és e sorok írója, akik előbb a WRP32C majd a WRP QUATRO fantázia nevű rendszert kifejlesztették, ami lehetővé tette, hogy a hazai radarmeteorológia az 1990-es évtized fordulójáig ne szenvedjen végzetes tengelytörést és előbb rendszeressé, később nélkülözhetetlené is váljanak a digitális időjárás radarmérések!

Röviden az MRL-5 radarról

A hazai radarmeteorológia felnötte válásához elválaszthatatlanul hozzátartozik a Szovjetunióban 1977-től gyártásba került MRL-5 időjárás radar. Csúcsidőszakban 9 db működött Magyarországon ebből a típusból, 3 db az OMSZ hálózatában (Budapest, Napkor, Szentgotthárd), 3 db a jégeső elhárításban (Dusnok 2 db, Hármashegy) és 3 db katonai repülőtereken (Kecskemét, Pápa, Taszár). A hazai radarmeteorológia kezdetét jelentő, a már említett NDK gyártmányú BWR X12 radar

egy vízszintes, elliptikus 1,5 x 4,5 m-es antennával felszerelt, átalakított, hajó-fedélzeti radar volt. Kis meteorológiai potenciál (érzékenység és teljesítmény), lineáris karakterisztikájú vevő és csapadékban erősen gyengülő 3 cm-es hullámhossz jellemezte. Vezérlő és indikátor pultja a repülésmeteorológiai eligazítóknál volt, ami közvetlen használatot tett lehetővé a pilóták eligazítása során.

Ma az ICI Interaktív Meteorológia RT által készített mini radarokat leszámítva [amelyeket Gyulán illetve Veszprémben üzemeltetnek], minden hazai, operatív megfigyeléseket végző meteorológiai radar, beleértve a katonai repülőterek radarjait is, képes a csapadékfolyamatokhoz illeszkedő térbeli és időbeli felbontással 3 dimenziós digitális képek sorozataiként, kalibrált módon reflektivitási tényezőt*, $\log Z$ mezőket szolgáltatni. (A $\log Z$ a radarmeteorológiában a radartól függetlenített, a kondenzálódott víztömegre utaló mennyiség.)

Az MRL-5 radarok koruk legjobb meteorológiai radarjai közé tartoztak. A típus kifejlesztése a jégeső-elhárítási radarmegfigyelések érdekében történt, ami valószínűleg a legnagyobb követelményeket támasztja egy hagyományos meteorológiai radarral szemben. Főtervezője M. T. Absajev volt, aki a Szovjetunió akkori 3 radarmeteorológiai kutató centruma egyikét, a Nalsziki VGI Légkörfizikai laboratóriumát vezette, fő profiljuk a jégeső kutatás volt. Az MRL-5 két hullámhosszon működött (3,26 és 10,6 cm), kettős adó-vevő-antennával és megjelenítő rendszerrel volt szerelve. Nagy méretű antennája (4,5 m), adóteljesítménye (200 és 700 kW), vevőérzékenysége (136 dBW) nagy meteorológiai potenciált biztosított számára. A 3 cm-es hullámhosszon tű-éles 0,5 fok (!) nyálabbal rendelkezett, de képes volt jó felbontással, (1,5 fok), egyidejűleg a csapadékban nem gyengülő 10 cm-es sávban is méréseket végezni. El kell azonban mondanunk, hogy ma már a radarmegfigyelésekben – az OMSZ radarhálózatában is – általában az 5 cm-es hullámhosszú radarokat alkalmazzák, ami fizikai-mérnöki-gazdasági kompromisszum eredménye. Ugyanis a csapadékban való erős gyengülés 3 cm-en jelentősen torzíja a méréseket, hiszen már egy átlagos zivatargóc is leárnyékolja a mögötte lévő, viszont a 10 cm-es hullámhossz téli időszakban kevésbé hatékony, továbbá a megfelelően szűk antennanyaláb elérése nagyméretű és ezáltal költséges antenna

rendszer igényel. Az USA 10 cm-en működő operatív radarjai, a NEXRAD radarok 9 m-es antennával dolgoznak! Az 5 cm-es hullámhossz alkalmazása az 1980-as években terjedt el világszerte.

Az OMSZ radarhálózatát megalapozó együttműködés során 1977-ben történt a beszerzendő radar típusának kiválasztása, amiben gazdaság-politikai kényszerek is jelen voltak, hiszen csak dollárért lehetett volna más típusú, 5 cm-en működő radart beszerezni. Mivel dolláros beszerzésre akkor csak az LRI-nek volt lehetősége, ezért valamely egységes típus érdekében meg kellett győzni az LRI-t az MRL-5 használhatóságáról.

Meg kell megemlítenünk az MRL-5 egy akkori igen komoly hiányosságát is. A típus eredetileg nem rendelkezett kihelyezhető indikátor egységgel, emiatt a ferihegyi repülésmeteorológiai szolgálat az MRL-5 telepítése után elvesztette a radar adatokhoz való közvetlen hozzáférhetőségét, hiszen a radart egy több km távolságra lévő dombra telepítették és telexen, URH-n kezdődött meg az adatszolgáltatás. Később TV kamerás mikrohullámú kapcsolatot építettek ki, ami az indikátor ernyőről filctollal papírra átrajzolt kontúrok képi átvitelét biztosította a légirányítók felé, de a helyzetet ez sem javította. Ezt a problémát a KEI vezetése nem kezelte kellő súllyal és véleményem szerint ez vezetett az LRI érdektelenné válásához és a ferihegyi radarállomás megszüntetéséhez 1991-végén. Szóba került az 1986-ban üzembe helyezett kísérleti automatizálási rendszer át-helyezése is Napkorról Ferihegyre, de ez nem valósult meg.

Kezdeti törekvések

Aki nagyvonalakban tájékozott volt a radarmeteorológia területén és megtapasztalhatta, hogy milyen gazdag információkhoz juthat a radar indikátor ernyője előtt ülve, az gyorsan beláthatta, hogy a lehetőségeknek még egy kis töredékét sem lehet kihasználni a hagyományos manuális, rajzos és telexes mérési eljárásokkal. Ezt én is gyorsan beláttam. Az 1970-es és 1980-as évek fordulóján mindenhol napirnden volt a radarjelek digitalizálása, a mérések automatizálása, de az akkori számítástechnika csak nehézsúlyú és költséges számítógépes rendszerekkel volt képes biztosítani

a szükséges adatfeldolgozási procedúrákat és ezért kevés helyen volt működőképes rendszer. Ilyen rendszer nem volt elérhető az MRL-5 kiválasztásának időszakában a „keleti blokk” piacán. Szerencsére ebben az időszakban kezdődött meg a technológiai robbanás a számítástechnikában, előbb a 8 bites, később a 16 bites általános célú mikroprocesszorok megjelenésével, ami a Z80, a Commodore 64, majd az IBM XT/AT számítógépek megjelenéséhez vezetett a 80-as évek elejére.

Az első lépéseket az automatizálás felé a radarhálózatra vonatkozó együttműködési szerződés keretei között tettük meg egy rendszertervvel 1980-ban, amit az akkori SZKI – Számítástechnikai Koordinációs Intézet – munkatársaival (Szabó József, Hegedűs Csaba, Kelemen Dezső) közösen készítettünk. Ebben áttekintettük a szükséges adatfeldolgozási folyamatokat és egy akkor népszerű kisszámítógépes rendszerre, az R20-ra alapozva terveztük azokat megvalósítani. Akkoriban a kisszámítógép kifejezés egy több rack szekrényes, több mázsás számítógép konfigurációt jelentett! Sajnos a rendszer költségigénye egy-egy radar beszerzési költségével volt összemérhető. (Az OMSZ radar hálózat állományként mintegy 30 millió Ft-ba került 1980-ban – mai áron 755 millió Ft –, amiből 18 millió Ft volt maga az MRL-5 radar. Egy kezdő tudományos dolgozó havi bére kb. 3000 Ft-volt 1980-ban).

Ebben az időszakban az SZKI csapata az OMFB megbízásából egy TPA 1140 kisszámítógépre (az akkori DEC cég VAX gépcsaládjának egy hazai realizációja volt, KFKI gyártmány) tervezett képfeldolgozó rendszer kifejlesztésén dolgozott az OMSZ számára. (Az OMFB támogatásával két helyen alakítottak volna ki távérzékelési központot. Az egyiket a FÖMI-ben – az erőforrás kutató műholdak (Landsat, SPOT, stb.) adatainak feldolgozására –, ez ma is működik, a másikat az OMSZ-ban a meteorológiai műholdak, meteorológiai képfeldolgozások számára. Ez utóbbi az évtized forduló során megszünt). Mivel az SZKI rendszere TV videójele feldolgozásra is alkalmas volt, ezért

kísérleteket végeztünk a radarernyőn látható célok digitális TV kamerás képi bevitelére. Gyorsan beláttuk azonban, hogy ez a radar és a videojelek eltérő szinkron rendszerei, valamint az információ dinamikáját torzító, hosszú utánvilágítású, fluoreszcens radar képernyők miatt nem járható út.

Az első lépés: Commodore 64 + display processzor

A 80-as évekre a 8 bites processzorok terjedésével egyre több helyen építettek a digitális képfeldolgozásra is alkalmas asztali rendszereket. Magyarországon is többen foglalkoztak ilyen fejlesztésekkel, a BME, a SZTAKI, a Híradástechnika Szövetkezet, stb. A Híradástechnika Szövetkezet akkori slágere a HT680X moduláris, asztali számítógép család volt, amely szintén rendelkezett képfeldolgozásra alkalmas modulokkal. Erre alapozva egy radarjel digitalizáló rendszer elképzelést mutattam be az OMSZ Műszaki Fejlesztési Tanácsában 1983-ban, amivel a ferihegyi MRL-5 radart szerettük volna digitalizálni, megszerezve az LRI és a MALÉV támogatását is. Sajnos ez nem sikerült. Ugyanebben az időben egy kis csapat, az Amerikai úti Agysebészeti Klinikán Nagy Pál Tibor orvos-mérnök vezetésével és BME-n dolgozó villamosmérnökökkel orvosi diagnosztikai célú digitális képfeldolgozó rendszert fejlesztettek ki, amely képes volt speciális

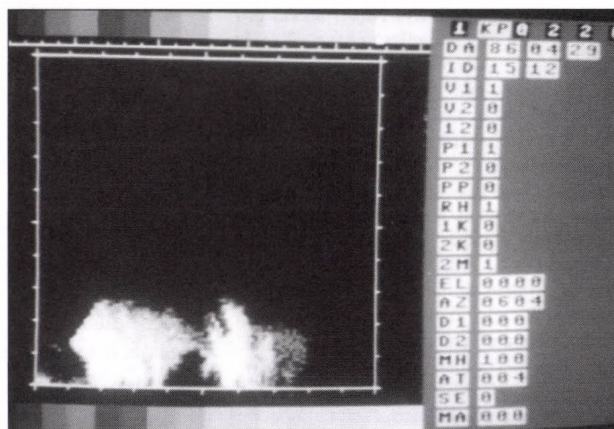
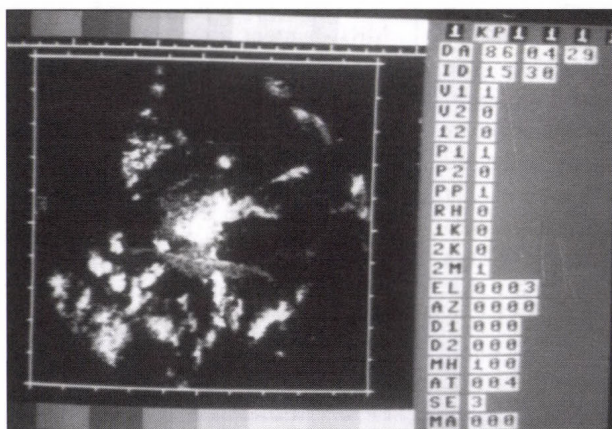
videojel fogadására is. Velük többször is átbeszéltem a radarjel feldolgozás követelményeit. Ezekbe a beszélgetésekbe később *Pintér Ferenc* is bekapcsolódott, aki a KLFI-ben a Meteosat műhold analóg WEFAX adásainak képi megjelenítésével foglalkozott, szintén egy HT 680X alapú rendszeren.

A körvonalazott rendszertervet 1985/86-ban a Napkori obszervatórium beruházási maradványának és a FETIVIZIG anyagi támogatásának felhasználásával sikerült megvalósítanunk. A fejlesztési munkák az RT Labor GMK vállalkozásában valósultak meg. A BME mérnökei által kifejlesztett Intel 8080 alapú display processzort extra hardver fejlesztéssel kiegészítettük az antenna pozíció adatainak és a videojelenek a radar saját szinkron rendszerében történő fogadására. Megvalósítottuk a fluktuáció szűrést, a koordináta transzformációkat, a képi megjelenítést és a radar minimálisan szükséges távvezérlését. A rendszert a HT 680X helyett az akkor népszerűvé vált Commodore 64 mikroszámítógéppel vezéreltük. Az első digitális képek 1986. április 29-én készültek Napkoron, néhány nappal a csernobili katasztrófa után.

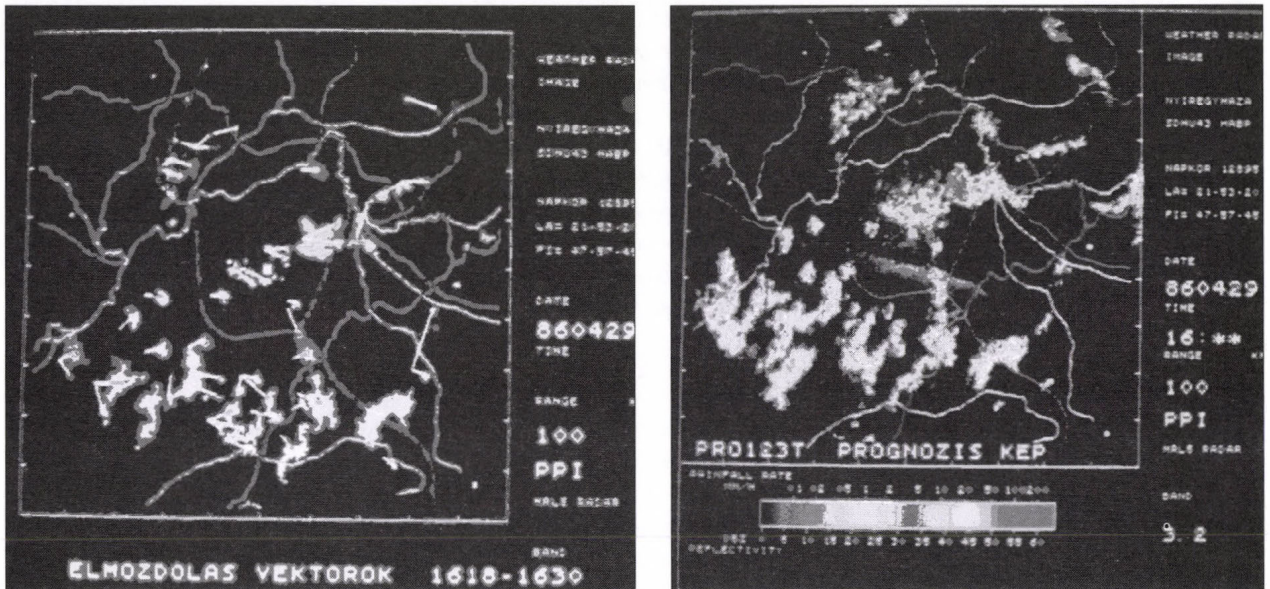
Ez a rendszer volt az első, ami Magyarországon digitális radarképeket szolgáltatott! Amikor 1985-ben a fejlesztésünkről beszámoltam

egy angliai konferencián, amit annak apropóján rendeztek, hogy működésbe állt az első felügyelet nélküli automatizált radarjuk, kiderült, hogy a megoldásunk úttörő jellegű, hiszen mindenhol az akkor hagyományosnak tekinthető DEC/VAX gépcsaldra, illetve annak klónjaira, pl SZM4, TPA1140, stb. alapozva folytattak fejlesztéseket. A később jövők lehetőségét kihasználva a mi rendszerünk nagyságrendekkel kisebb költségek mellett meg tudta valósítani a minimálisan szükséges adatfeldolgozási eljárásokat. A rendszer képes volt RHI, PPI és egy előre meghatározott magasságú rétegben CAPPI kép készítésére és a készített képek lemezre történő eltárolására.

A rendszerünk által készített adatokat sikerült a KEI képfeldolgozó rendszerébe is átvinnünk floppy lemezek felhasználásával. Ez lehetővé tette a további demonstrációkat, valamint a komolyan veendő radar-meteorológiai kutatások megindítását. A gyűjtött adatokat felhasználva *Kecskeméty Lászlóval és Szentimrey Tamással* közösen kidolgoztuk az első nowcasting célú radargóc áthelyeződési számítási eljárásokat (statistikai eljárás, lineáris transzformációk keresése, clusterek, gócek identifikációja, pár keresések, stb.). A rendszerünket és eredményeinket hazai képfeldolgozási konferencián, valamint a szocialista országok kö-



Az első digitális radarképek, melyek 1986. április 29-én Napkoron készültek, a Csernobili katasztrófa után néhány nappal. Balról egy 100km-es mérés határú PPI kép zivatarvonalakkal és egy szélrohamvonalal (!). Jobbról az ugyanakkor, 60.4 azimut irányban készített RHI metszet látható.



A zivatargócok mozgásának követésére kifejlesztett számítógépes programok eredményei 1986/87-ből. A képek megjelenítése TPA1148-PERICOLOR képfeldolgozó rendszeren történt. Baloldali képen a gócok az elmozdulás vektoraikkal, jobb oldali képen statisztikai módszerekkel meghatározott lineáris transzformációk alapján előre jelzett radar kép látható.

rében rendezett radarautomatizálási konferencián is bemutattuk. (Varsó, 1985, Budapest - SZTAKI, 1987).

A továbbfejlesztést, operatív használatra való alkalmasságát a C-64 számítógép IBM PC/AT gépre való cseréje, illetve a rendszer Ferihegyre való áthelyezése útján terveztük 1987-ben. Sikerült pénzügyi forrásokat is előteremnünk a fejlesztéshez és megszereztük az LRI támogatását is, de általában nem ismert okokból javaslatunkat a KEI vezetése elutasította, a pénzt elvonta és a rendszert a Szentgotthárd-Farkasfa obszervatóriumba telepítette. Az áttelepítés gyengítette vízügyi kapcsolatainkat, hiszen a FETIVIZIG már nem volt érdekelt a további fejlesztésben, de megszüntette az LRI érdekltségét is: hiszen remélték, hogy rajzolt térképek helyett valós idejű színes digitális radarképeket kapnak majd a légiforgalom irányítói.

Második lépés – WRP32C

1987-ben megszűnt a KEI Távérzékelési Főosztálya, én 1988-ban az OMSZ Számítóközpontjába kerültem. Ezt követően szabadabban foglalkozhattam radarmeteorológiai

ai kérdésekkel. Támaszkodva a FETIVIZIG vezetésére, akik már ízelítőt kaptak a digitális radar mérésekből és belátták, hogy nincs más útja a radar hidrológiai alkalmazásának, mint az automatizálás, *Illés Lajossal* egy projekt javaslatot készítettünk az OMFB „Távérzékelés alkalmazásai” című témájában, amelyet az OMFB el is fogadott. A projekthez szükséges megvalósíthatósági tanulmányt készítettem. A konkrét fejlesztési cél az volt, hogy rendszerünk modulus kapcsolatán keresztül folyamatosan tudjon digitális radar csapadék adatokat szolgáltatni a FETIVIZIG számára. Természetesen az általános radarmérések támogatása is a feladatok között szerepelt. A hidrológiai alkalmazási cél, vagyis a radarral történő csapadékmérés nagyon gondosan megvalósított eljárásokat igényel, hiszen minden 1 dB mérési hiba kb. 10-15 % hibát jelent a származtatott csapadékinzentiás értékekben. Ennek érdekében egy új üzemmódot is bevezettünk a szokásos PPI/RHI üzemmódok mellett, az un HY-SCAN üzemmódot, ami 4 db különböző magassági szögű PPI radar kép index-maszkos kombinációját jelentette a földgörbület

és talajcéllok hatásának kompenzálása érdekében.

Terveink szerint a fővállalkozói feladatokat az ELEN Kft, a jégesős automatizálási kísérletben is közreműködő cég látta volna el és az SZKI Matematikai Laboratóriuma készítette volna a programokat. Ez az együttműködés menet közben felbomlott és 1990-től új fejlesztőkkel, *Bezzegh Péter, Dombai Ferenc, Suhai György*, láttunk a feladat megoldásának. Egyedi fejlesztésű eszközökből nem akartunk építkezni, elkerülendő a későbbi kiszolgáltatottságot és az egyedi hardver kivitelezés buktatóit. A 80-as évek végén megjelentek az első 32 bites, 33 MHz-es processzorokkal szerelt IBM PC-k és elérhetőkké váltak PC-be helyezhető digitális képfeldolgozást segítő célprocesszorok, digitalizáló kártyák. Ezek felhasználásával, alacsony költségek mellett sikerült egy olyan architektúrát kialakítani, ami csak a rendszer radarhoz kapcsolódó felületén (galvanikus elválasztások, szint illesztések, távvezérlés input-output felületei) igényelt egyedi hardware fejlesztést, minden más eleme nagysorozatban gyártott eszközökből állt, és elérhető volt min-

den referencia leírás, dokumentáció, program fejlesztési környezet.

A rendszerünkben, ami a WRP32C fantázia nevet kapta, a radar videojel nagysebességű digitalizálását egy DT2851 típusú digitalizáló kártya biztosította. E kártya önálló buszrendszeren keresztül átadta a radar burst-okat, impulzusonként 512 db 8 bites adatot, egy ATT gyártmányú DSP32C jelű nagyteljesítményű (25 MFLOPS), saját memória térrel rendelkező lebegőpontos processzornak, ami elvégzett minden olyan feldolgozást, ami a kalibrált reflektivitási tényező dBZ értékekből álló descartes rendszerű képek előállításához szükséges. Ezek a radar vevő átviteli karakterisztika linearizálása és kalibrációja, radiális és tangenciális csúszó átlagképzés (fluktuáció szűrés), távolsági korrekció, elnyelődési korrekció, polár-descartes konverzió, radar műszaki paraméterek érvényesítése, stb. Mindkét eszköz az IBM AT buszrendszerében volt használható, C és assembler nyelven programozható volt. A IBM AT megoldotta a további feladatokat, radarvezérlés, megjelenítések, adattárolás, kommunikáció, másodlagos feldolgozások, csapadékszámítás, órás és napi összegek stb. Ez az architektúra, komoly tartalmak mellett biztosította minden feldolgozási folyamat real-time megvalósítását.

A rendszer fejlesztési munkáit, a működtető programok megírását hárman végeztük, *Dombai Ferenc* [a rendszer tervezése, architektúra kialakítása, DSP programok készítése], *Bezzegh Péter* [radar vezérlése, digitalizálás vezérlése, interruptok kezelése] és *Suhai György* [rendszer integráció, kezelő felületek, másodlagos feldolgozások, megjelenítések, stb.]. A próbaüzem 1991 tavaszán Napkoron zajlott le

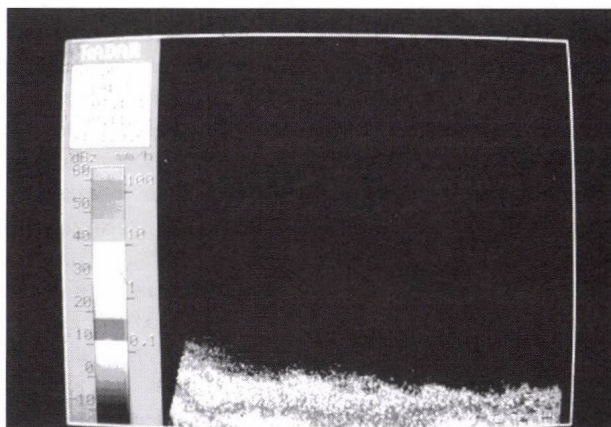
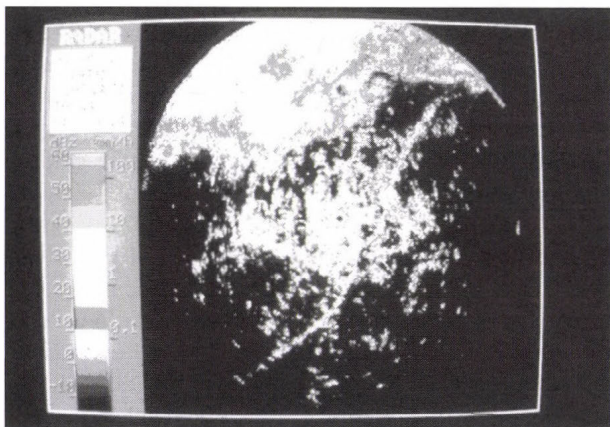
és azt követően a FETIVIZIG már rendszeresen hozzájutott az 5 perces digitális mérések alapján számított radaros csapadék adatokhoz. A FETIVIZIG-nél *Matavovszki György* kidolgozott egy programot, FETIRA elnevezéssel a beérkező digitális radar adatok operatív hidrológiai alkalmazására.

Rendszerünket, valamint a vele szerzett tapasztalatainkat radar-meteorológiai konferenciákon is bemutattuk, Ljubljana (1991), Hannover (1992). Szakmai sikerként könyveltük el, hogy a mi rendszerünk volt a legkompaktabb, teljes egészében lebegőpontos számításokkal dolgozó automatizálási rendszer. Ez eredményezte azt, hogy felkértek minket a Cseh Hidrometeorológiai Szolgálat, valamint Cseh Hadsereg MRL-5 radarjainak automatizálására. E munkák során nagyon jó partnert találtunk *Jan Kracmar* úr személyében, aki ötleteivel és kiegészítő programok fejlesztésével segítette elő az MRL-5 radar adatainak műholdas adatokkal való integrálását, kérésére fejlesztettük ki rendszerünkben a 16 magassági szöveget tartalmazó 3 dimenziós méréseket.

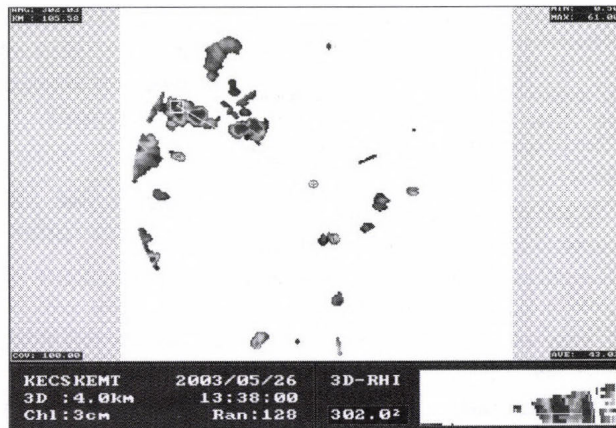
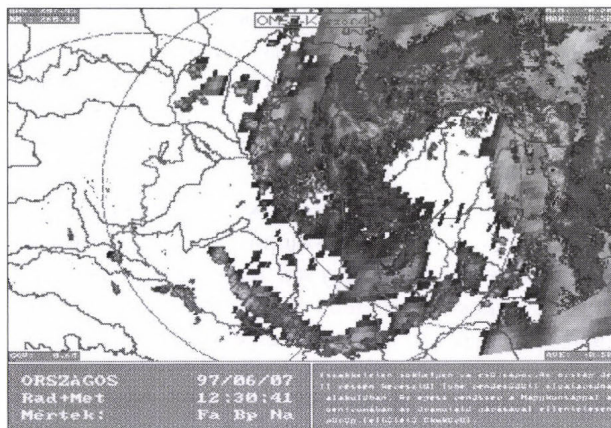
Hogyan tovább ?

A kilencvenes évektől kezdődően a költségvetési megszorítások mi-

att felszámolásra került a jégeső-elhárítás, a meteorológiai számítóközpont, napirendre került a KEI és/vagy a KLFÍ felszámolása is. Tízéves működés után 1992-től a meteorológiai radar megfigyelések repülőterei tekintélyének erőzítése következtében leállították a ferihegyi MRL-5 radart. Ezzel egy időben a jégesős radarok is leállításra kerültek egy kivételével. *Mersich Iván*, az OMSZ újonnan kinevezett elnöke felismerte, hogy a Szolgálat jövője csak erőteljes racionalizálással és teljes technológiai megújulással alapozható meg. Pályázat útján 1991-ben az OMSZ elnökének közvetlen munkatársa lettem és feladatomban az OMSZ műszaki és informatikai fejlesztéseinek koordinálása volt. Egy megbeszélésen az elnök felvetette az időjárás-radarhálózat teljes felszámolását. Mivel már működött a napkori automatizálási rendszerünk, kértem, hogy döntés előtt nézze meg. Ez idő tájt Napkoron kettős megfigyeléseket végeztek. Működtették a WRP32C-t a FETIVIZIG számára, de a számítógép képernyőjéről elkészítették a telexes radar táviratokat is az OMSZ KEI számára. Az elnöki döntés úgy szólt, ha megoldható a képek átvitele a KEI számára is, akkor a radarhálózat maradhat, de át kell térni Szentgottárd Farkasfán is az automatizált mérésekre.



Az első digitális radarképek, amelyeket az OMSZ digitális radarhálózatát megalapozó WRP32C rendszerrel próbaüzeme során készítettünk. Balra, 1991. 05. 27. 19:35 egy 32 km-es PPI, amelyen ugyanolyan finom bontással láthatók a célok, mint a radar indikátor ernyőjén, csak már log Z-ben megadott értékű képpontokkal. Jobbra ugyanekkor készült réteges felhőzet vertikális metszete látható.



Rendszerünk továbbfejlesztésével 1996-tól lehetséges volt a radar/műhold/hőmérsékleti mezők együttes megjelenítése (1997. 06. 07. 12:30 kor készült baloldali képen). Ugyanekkor készült el az MRL-5 mindkét sávján egy időben 3 dimenziós méréseket lehetővé tévő változat is, WRP – QUATRO, amelynek kijelzőjén tetszőleges magasságú CAPPi réteg és tetszőleges irányú vertikális metszet egyidejű megjelenítése is lehetséges volt. Ezzel a változattal működnek ma a katonai repülőtereken elhelyezett MRL-5 radarok 2003 óta – jobb oldali kép Kecskeméten készült 2003. 05. 26. 13:38 .

Telex helyett radar munkaállomás

A legtöbb erőfeszítést a radaradatok szolgáltatási rendszerének kialakítására kellett fordítani, ennek érdekében fejlesztettük tovább rendszerünket. Az adatátvitel technikai problémáinak leküzdésével megmaradt a napkori radar, automatizáltuk a farkasfai radart és a digitális radarképek eljutottak a KEI-be, a Siófoki Viharjelző Observatóriumba, majd később a vízügyi és közúti igazgatóságokra is.

A WRP32C köré kiépített szolgáltatási rendszer három elemből állt. A radarhoz kapcsolt alrendszerből, ami képes volt különböző, előre paraméterezett mérések sorozatából álló mérési programok automatikus végrehajtására, ezen programokat központilag is meg lehetett határozni. Ehhez kapcsolódott egy kommunikációs gép, ami kapcsolt telefon vonalakon képes volt egyidejűleg több felhasználót is kiszolgálni előre meghatározható időpontokban és adattípusokkal, továbbá az adatmegjelenítő munkaállomás, ami tudta fogadni és megjeleníteni a kapcsolt vonalakon érkező, vagy belső hálózatokon elérhető digitális radar adatokat. A külső felhasználók igényeihez igazodóan a radar munkaállomások

később képesek voltak a radar adatok mellett a hőmérsékleti mező (közúti igények) és a műholdas adatok (előrejelzői igények) közös megjelenítésére is, természetesen azonos térképi vetületek használatával. Az OMSZ történetében ebben a rendszerben nyílt lehetőség először ilyen közös megjelenítésekre operatív célokból. Ilyen munkaállomások kerültek a közúti igazgatóságokra, a vízügyi igazgatóságokra és később a ferihegyi repülésmeteorológiai szolgálathoz és a légiirányítókhöz is. A szolgáltatási rendszer kialakításában Nagy József-ről külön meg kell emlékezni, hiszen fáradhatatlansága és sokszor konoksága nélkül ilyen rövid idő alatt az nem válhatott volna valóra. 1993. november 29-én kelt levelében Práger Tamás, az OMSZ Megfigyelési Főosztályának akkori vezetője elrendelte az elavult telex radaradat-továbbítás megszüntetését!

A hálózat centrumából hiányzó radart a ferihegyi maradék alkatrészek és a Dusnokon leszerelt MRL-5 radar felhasználásával sikerült pótolni. A Gilice téri rádiószondázó épület újjáépítése után a megerősített hangár rész tetején helyeztük el a mobil MRL-5 radart. A budapesti radarállomás újraindítása 1995-ben történt. Ezt követően került sor a

bevezetőben már említett miniszteri sajtótájékoztatóra.

Időközben tovább fejlesztettük az automatizálási rendszerünket is. Képesse vált mindkét hullámsávon egyidejűleg is méréseket végezni, kutatási szempontokat is figyelembe véve javítottuk a felbontást és 512 helyett 2048-as mintaszámmal dolgoztunk impulzusonként, ez lehetővé tette a 256x256-os képek mellett 512x512-es képek készítését is. A fejlesztések végül a WRP Quatro fantázia névre hallgató rendszerünket eredményezték, amely képessé vált mindkét sávon, egy időben 3 dimenziós mérésekre! Ilyen rendszer került telepítésre Budapesten, valamint 1998-ban Argentínában és ilyen rendszerrel szerelték fel a Magyar Honvédségnél rendszeresített MRL-5 radarokat is 2003-ban.

A 128 illetve 256 km mérés határon a földgömbülethez illeszkedő 16 db 0,5 és 1 km-es rétegekből álló 3D-s nagy tömegű radarinformáció kezelése a szokásos funkciók mellett, megjelenítés háttérrel, mérőablakkal, nagyításokkal, animációval, mozaikkal stb. új megjelenítési módot is igényelt. Ez az általunk bevezetett "Integrált 3D megjelenítés". Ezen a méréseket követően egy tetszőlegesen választható magasságú réteg CAPPi képét látjuk, egyidejűleg a PPI-n mozgatható markerrel kiválasztott irányú RHI képpel. A CAPPi-n irányvonal jelzi az RHI irányszögét, az RHI-n szintvonal jelzi a CAPPi réteg magasságát. Mindkét referencia vonal kurzorral szabadon mozgatható. A kurzor végpontjának távolságát is változtat-

hatjuk, amivel egy változtatható méretű mérő ablakot mozgatunk. A mérőablakkal max log Z, átlag log Z, fedettség %, irány-távolság-magasság koordinátákat határozhatunk meg. A rétegekben mozogva eljuthatunk a felszíni csapadékmezőhöz és a felhőtető magasság mezőhöz is.

A radarok hazai automatizálása lehetővé tette a radarokra vonatkozó nemzetközi kutatási és operatív együttműködési programokhoz való kapcsolódást. Csatlakoztunk az 1991-ben indult CERAD, Közép-európai operatív digitális radaradat cseréhez, az indulástól kezdődően aktívan részt tudtunk venni az EU COST 75 programjában, ennek keretében a két hullámsávú mérések-

ről kutatási jelentést kellett készítenünk. A munkánkat az EC által támogatott kutatási szerződés keretében végeztük.

Végkifejlet: MRL-5 helyett Doppler radar

Az operatív digitális radarmérések 1996. január 1-től napi gyakorlattá és nélkülözhetetlenné is váltak Szolgálatunknál. Ma már a nagyközönség számára is elérhetők a digitális radar képek az OMSZ internetes honlapján keresztül. Ezek a képek már egy teljesen megújult radar hálózatból származnak, hiszen

először Budapesten, 2000-ben sikerült az MRL-5 radart lecserélni egy korszerű, 5 cm-es hullámhosszon működő, Doppler és polarizációs méréseket is lehetővé tévő radarra. Ezt követte 2003-ban a Napkori radar lecserélése és az obszervatórium felszámolása, majd legutóbb a Pogányvári radar üzembe helyezése, aminek következtében 2004 végén megszűntek a farkasfai radarmérések. Ezek az évek ugyancsak bővelkedtek izgalmas eseményekben, amelyekről – amint már említettem – leghitelesebben Nagy József tud majd beszámolni.

Dombai Ferenc

FELHÍVÁS

a Magyar Meteorológiai Társaság, a Nyugat-Magyarországi Egyetem Termőhelyismerettani Intézeti Tanszéke, az Erdészet Tudományos Intézet, az Országos Erdészeti Egyesület, az OMSZ

2006. október 25-26-27-én

megrendezi a

A Magyar Meteorológiai Társaság XXXI. Vándorgyűlését

és az

V. ERDŐ ÉS KLÍMA Konferenciát.

A rendezvény helyszíne:

Mátrafüred

A konferencia ajánlott témakörei:

1. A klimatikus viszonyok alakulásának legújabb tapasztalatai hazánkban
2. A klimatikus változások hatásai faállományainkra
3. A mezoklimakutatás fejlesztési lehetőségei és eredményeinek hasznosítása az erdőgazdálkodásban
4. Kölcsönhatások az erdő és az atmoszféra között

A részvételi szándékot kérjük az alábbi címeken jelezni:

Pusztainé H. Magdolna
Magyar Meteorológiai Társaság
1027 Bp., Fő u 68.
Tel: 201-7525 Fax: 202-1216
e-mail: mmt@mtesz.hu

vagy

Dr Vig Péter
Nyugat-Magyarországi Egyetem
Termőhelyismerettani Tanszék
9400 Sopron. Ady E. u. 5.
Tel.: 06/99/518 173
mobil.: 06/30/35 25 502
e-mail: pvig@emk.nyeme.hu

KESZTHELY LÉGHŐMÉRSÉKLETE A XX. SZÁZADBAN

Bevezetés

Hazánkban a klímaváltozás kockázatainak megítélésénél lényeges, hogy a Kárpát-medence az óceáni, a kontinentális és a mediterrán éghajlati régiók határán helyezkedik el. E határzónában az éghajlati övek kisebb eltolódása is oda vezethet, hogy országunk átcsúszik a három hatás valamelyikének uralma alá (Mika 2002).

A globális klímaváltozás, mint komplex rendszer egyik eleme, a léghőmérséklet emelkedése hazánkban is kimutatható az elmúlt század mérései alapján. A jövőre vonatkozóan – Bartholy és Schlanger 2004-ben publikált modelleredményei alapján – 2050-re +0,8 – +2,8°C-os, 2100-ra +1,3 – +5,2°C-os hőmérsékletváltozás várható. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség 2004-ben kiadott 2. jelentése Európában 2100-ra 2,0–6,3°C hőmérsékletemelkedést prognosztizált.

Korábbi publikációnkban (Kocsis-Anda 2005) a csapadék hosszú idősoros elemzését végeztük Keszthely állomásra, melyből az elmúlt évtizedek csökkenő, de nem szignifikáns évi csapadékösszeg változását állapítottuk meg. Jelen publikáció ennek szerves folytatásaként a hőmérséklet hosszú idősorában bekövetkező esetleges változásokat kívánja feltárni azzal a céllal, hogy az elmúlt évtizedek léghőmérsékletében bekövetkező történések, és a globális klímaváltozás közti kapcsolatot áttekinthesse. Az eredmények alapján két helyben élő érintett alkalmazói körnek, a mezőgazdasági termeszőknek és a turizmusból élőknek kívánunk némi támpontot nyújtani a globális felmelegedésre való felkészülésben. A hőmérséklet alakulásában bekövetkező változások ismerete különösen a mezőgazdasággal foglalkozókat érdekelheti, mivel az meghatározza többek között a termesztendő növények körét, a tenyészidőszak hosszát és az életfolyamatok befolyásolásán keresztül magát a termést is.

Anyag és módszer

Vizsgálatainkban az Országos Meteorológiai Szolgálat Keszthelyre vonatkozó, 100 éves (1901-2000) havi és az azokból képzett évszakos és évi homogenizált középhőmérsékleti adatait használtuk, melyet e célból a Szolgálat rendelkezésünkre bocsátott. A feldolgozásban az idősorok elemzésénél kiterjedten alkalmazott *lineáris trendszámítást*, valamint az adatsor *középtértekeinek* meghatározását végeztük. A legegyszerűbb éghajlati – statisztikai jellemzők közül a *számítási átlagot* (M), az

adatsor *terjedelmét* (R), az *átlagos abszolút eltérést* (d) és a *szórást* (σ) alkalmaztuk. Ezek mellett az adatok sorba rendezése után meghatároztuk az alsó, a felső kvartilist, a mediánt, valamint az adatsor maximumát és minimumát.

Az adatsor homogenizálását az OMSZ munkatársa, Szentimrey Tamás végezte MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization) eljárással, mely a matematika, a számítástechnika és az éghajlati adattörténeti információkat együttesen hívta segítségül (Szalai – Szentimrey 2001). A módszer leírása az idézett publikációban található.

Eredmények

A keszthelyi homogenizált évi középhőmérsékletek elemzése

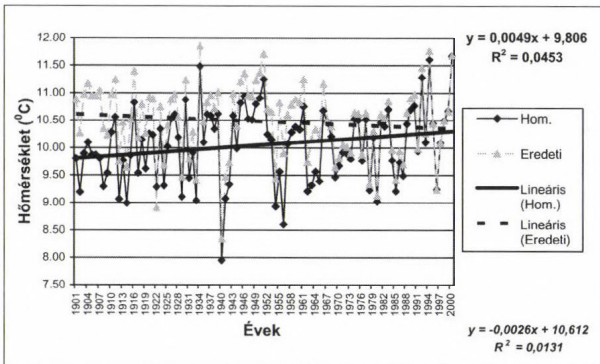
Az éghajlati szempontból homogén, így helytálló következtetések levonására alkalmas adatsor leíró statisztikai paramétereit az 1. táblázat összegzi.

1. táblázat: A keszthelyi homogén évi középhőmérsékleti adatsor fontosabb leíró statisztikai jellemzői

Átlag	10,06°C
Szórás	0,67°C
Maximum (év)	11,68°C
Minimum (év)	7,95°C
Terjedelem	3,73°C
Átlagos abszolút eltérés	0,54°C

A léghőmérséklet évi átlaga jól közelíti Magyarországon sokévi középhőmérsékletének 10°C-os értékét. A legmagasabb és a legalacsonyabb évi középhőmérsékletek, valamint a szórás meglehetősen kiegyenlített hőmérsékletalakulást mutat. Az idősor adatainak alakulása szerint a hőmérséklet 5%-os szignifikancia szinten emelkedést jelez (0,49°C/100 év). A lineáris trendvizsgálat a homogenizált adatsornál igazolja a keszthelyi hőmérsékleti adatok alakulásában fellelhető melegedés hipotézisét, melyet az eredeti mért adatok nem tükröztek vissza (1. ábra).

Szalai és Szentimrey (2001) az ország nyugati felén a hőmérséklet becslés trendjét 0,72-0,85°C/100 év közöttinek, a keleti országrészben ennél mindenütt alacsonyabbnak, mindössze 0,49-0,60°C/100 év közöttinek találta. A két szélsőséges mérőhely Mosonmagyaróvár és Nyíregyháza volt. Bár Keszthely a Közép-Dunántúlon



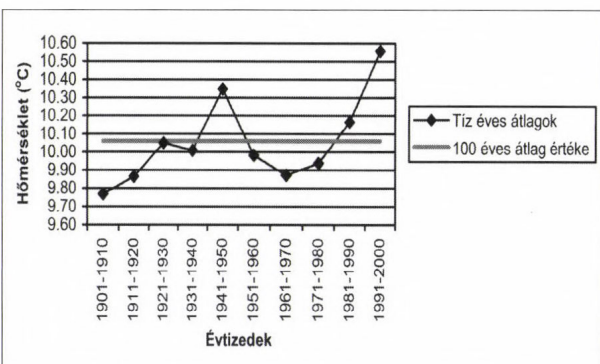
1. ábra: A homogenizált és eredeti évi középhőmérsékletok változásának trendje

található, a hőmérséklet emelkedése mégsem olyan nagy mértékű, mint az a többi, közeli területen fekvő, hosszú idősoros meteorológiai mérésekkel rendelkező város esetében.

A hőmérsékleti adatokból képzett tízéves átlagok kapcsolatát a száz éves, teljes periódus átlagával vetettük össze (2. ábra). Az 1941-1950-es évtized átlaga meghaladja a százéves átlagot, ami egybevág azzal a tapasztalattal, hogy a XX. század közepén a hőmérséklet emelkedése egy csúcsot ért el, miután hűlő szakasz következett. A század végére újabb melegedés következett be, ami Keszthely esetében is a vizsgált időszak utolsó két évtizedének átlagában figyelhető meg. A tízéves átlagok közül az utolsó különösen magas értéket képvisel, míg az első volt a legalacsonyabb.

Korábbi megfigyelések a globális átlagolt hőmérsékleti sorokban 1880 és 1940 között melegedési periódust körvonalaztak, amelyet egy hűlési periódus követett. Ez utóbbi időszak időtartamát illetően eltérőek a vélemények. Általában a hűlési periódus végét többnyire 1960 és 1970 közé teszik. Ezek a megállapítások döntően a globális hőmérsékletre, vagy a hemiszférikus átlagokra vonatkoznak, s a regionális skálán igen eltérő képet mutatnak (Iványi 1998).

A Keszthelyre meghatározott tízéves átlagok változása közel esik a fent bemutatott hőmérséklet alakulás tendenciájához. Az 1941-1950-es csúcs után hűlő peri-



2. ábra: A homogenizált évi középhőmérsékletekből képzett tíz éves átlagok viszonya a 100 év átlagához

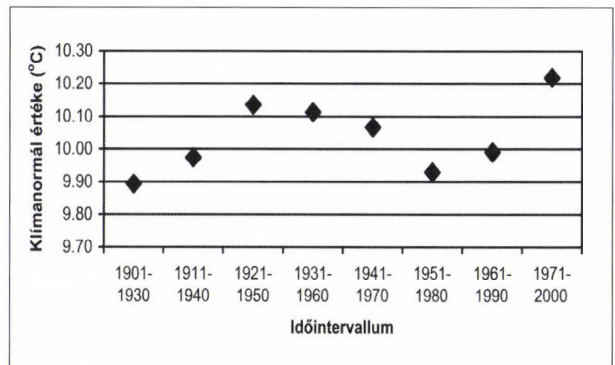
ódus következett, ami az 1971-1980-as évtizedtől kezdve melegedő szakaszba fordult. Az utolsó évtizedben a tízéves átlag elérte az eddigi tetőpontot.

Az adatok eloszlását jól jellemezhetjük a kvartilisekkel. A negyedelő értékek szerint 75%-os valószínűséggel a keszthelyi évi középhőmérséklet magasabb lesz, mint 9,54°C, 50%-os valószínűséggel magasabb lesz, mint 10,10°C, és 25%-os valószínűséggel meghaladja 10,53°C-ot (2. táblázat).

2. táblázat: A keszthelyi évi középhőmérsékleti adatsor (1901-2000) negyedelő értékei

Kvartilisek	Értéke (°C)	Valószínűség
Q1	10,53	25%
Q2 (medián)	10,10	50%
Q3	9,54	75%

A Meteorológiai Világszervezet által ajánlott módon, tízévenként számítva előállítottuk az adatsor alapján képzett harminc éves éghajlati normálértékeket (3. ábra). Az ábrán kirajzolódó tendencia megerősíti a XX. századot jellemző hőmérsékleti változásokat, miszerint a globális átlagolt hőmérsékleti sorokban 1880 és 1940 között melegedési periódus körvonalazódott, amelyet egy hűlési periódus követett. A hűlési periódus végét többnyire 1960 és 1970 közé teszik (Iványi 1998).

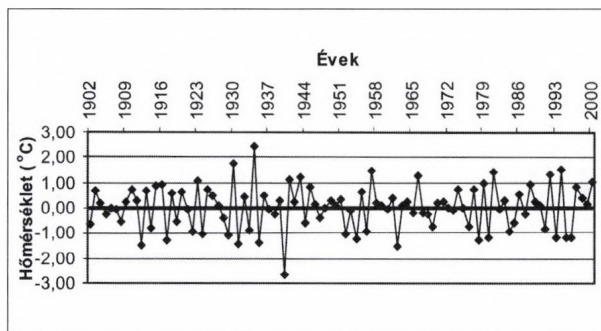


3. ábra: A homogenizált évi középhőmérsékletek alapján képzett, tíz évvel csúsztatott klímanormálok értékei

A hőmérséklet éves változékonysága

Varga-Haszonits (2003) szerint az éghajlatingadozásnak két interpretációja lehetséges: az egyik az adott érték és a sokévi átlag közötti különbség, a másik az egymásra következő értékek közötti különbség.

Az átlagtól vett legnagyobb eltéréseket az adatsor szélső értékeit képviselő évek, negatív irányban az 1940-es (-2,11°C), pozitív irányba a 2000-es év (1,62°C) képviselték. Az egymást követő évek közötti hőmérsékletkülönbség a változékonyságra utal. A 4. áb-



4. ábra: Az egymást követő évek középhőmérsékleteinek különbségei (a vastag vonal jelenti a nulla értéket, amikor az egymást követő évek között nincs különbség)

rán láthatjuk, hogy Keszthely esetében a legnagyobb pozitív különbség 1934-ben adódott (2,44°C), negatív irányban pedig 1940-ben (-2,67°C) figyelhető meg az egymást követő évek közötti legnagyobb eltérés. Keszthely esetében a változékonyabb időszak nem a XX. század második felére, végére tehető, hanem annál korábbi időszakra esik. A változékonyosság nem mutat szignifikáns, tendenciózus változást sem emelkedő, sem csökkenő irányban.

A hőmérséklet évszakos változásai

A mezőgazdasági termelés szempontjából a légköri tényezők közül a hőmérséklet és a csapadék az a két elem, amely egyrészt a legfontosabb szerepet tölti be a termesztett növények produktivitásában, másrészt ezekre vonatkozóan rendelkezünk kellő tartamú műszeres megfigyelési sorozatokkal. A hazai növénytermesztés szempontjából a kimutatható hőmérsékleti változások elsődleges fontosságúak (Szász, 1994). A hőmérséklet esetleges évszakos változásai nagy hatással lehetnek természetes és termesztett növényeink életfolyamataira, fejlődésére, produktivására, ezért a hőmérséklet évszakos átlagértékeinek elemzése nem hiányozhat vizsgálataink közül.

3. táblázat Az évszakos homogenizált középhőmérsékletek változása Keszthelyen 1901-2000 között (*-5%-os szignifikancia szinten szignifikáns)

Évszak	Meredekség	R ²
Tavasza (III.-IV.-V. hó)	0,004	0,0112
Nyár (VI.-VII.-VIII. hó)	0,0061	0,0395 *
Ősz (IX.-X.-XI. hó)	0,0032	0,0066
Tél (XII.-I.-II. hó)	0,0012	0,0009

Az egyes évszakoknál lineáris trendet illesztettünk a 100 éves adatsor alapján képzett évszakos bontású adatokra annak érdekében, hogy az egyes évszakok hőmérsékleti viszonyaiban esetlegesen felfedezhető változások irányát meghatározzuk (3. táblázat).

Az R² alapján a nyár esetében figyelhető meg 5%-os szinten szignifikáns felmelegedés. A változás mértéke – meghaladja az évi átlaghőmérsékletben tapasztaltat (+0,49°C/100 év) – +0,61°C/100 év. A nyári hőmérsékletemelkedés még a csapadékellátottság változatlansága mellett is növeli az aszályhajlamot. Azonban Mika (2002) prognózisa szerint a félgömbi átlaghőmérséklet kisebb emelkedésével párhuzamosan a nyári félévben fokként 50-110 mm csapadékcsökkenés várható, ami az aszályok előfordulásának valószínűségét még inkább növeli.

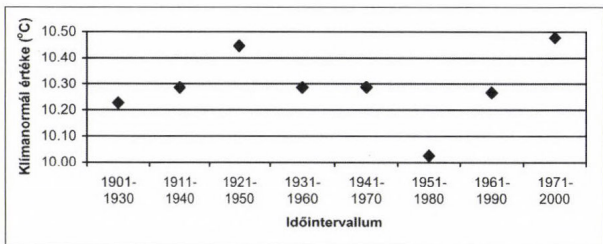
A 4. táblázat az egyes évszakok legfontosabb leíró statisztikai jellemzőit mutatja be.

4. táblázat: Az egyes évszakok 100 éves homogenizált hőmérsékleti adatsorának legfontosabb leíró statisztikai jellemzői

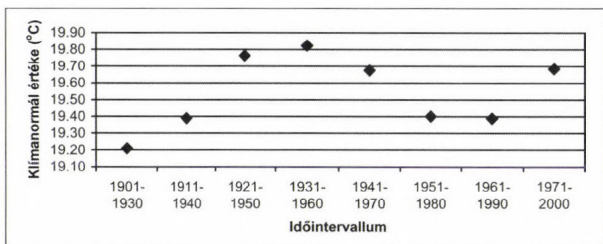
	Tavasza	Nyár	Ősz	Tél
	[°C]			
Átlag	10,31	19,56	10,44	1,58
Szórás	1,10	0,89	1,13	1,19
Maximális érték	13,17	21,73	12,87	4,63
Minimális érték	7,97	17,63	7,10	-2,27
Terjedelem	5,20	4,10	5,77	6,90
Átlagos abszolút eltérés	0,89	0,72	0,91	0,92

Az egymást követő évek évszakos középhőmérsékleteinek változékonyasága minden évszak esetében enyhén, s nem szignifikánsan növekvő tendenciájú. Ez a változás a tavasz esetében a legmagasabb, ami 0,15°C-ot tesz ki. A többi évszaknál a változás tendenciája még ennél is alacsonyabb. A jövőre vonatkozóan a múlt adatai alapján azt állapíthatjuk meg, hogy nem kell számítanunk az egymás után bekövetkező szélsőséges középhőmérsékletű évszakok nagyobb mértékű előfordulására.

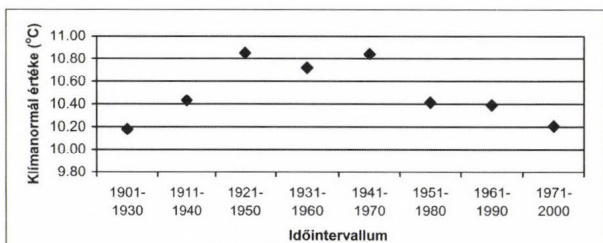
Az egyes évszakok esetében végbemenő változásokat tízévenként meghatározott harminc éves átlagértékekkel kívántuk bemutatni (5. a., b., c., d. ábrák). A tavasz és a nyár esetében az éves középhőmérsékletekből képzett klímanormálok tendenciájához hasonló „S” alakú görbe rajzolódik ki, míg az ősz és a tél esetében az éghajlati normálértékek tendenciája ettől eltérő. A változásokat az ábrák jól szemléltetik.



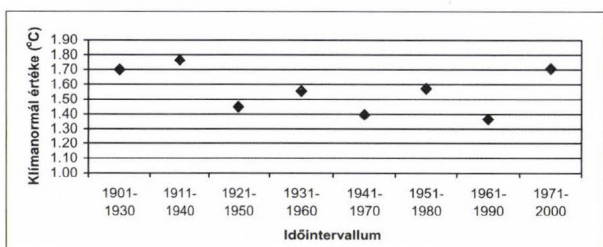
5. a ábra: A tavaszi középhőmérsékletekből képzett klímanormálok



5. b ábra: A nyári középhőmérsékletekből képzett klímanormálok



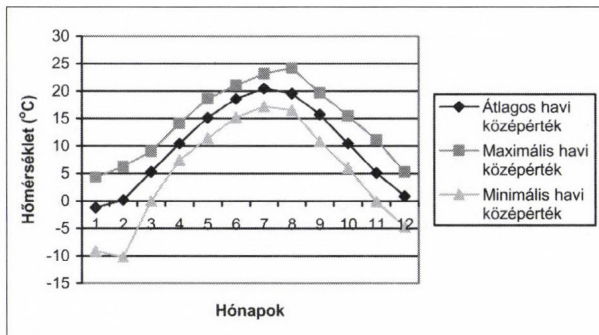
5. c ábra: Az őszi középhőmérsékletekből képzett klímanormálok



5. d ábra: A téli középhőmérsékletekből képzett klímanormálok

A havi homogenizált középhőmérsékletek alakulása Keszthelyen

A 6. ábrán a havi középhőmérsékletek eloszlása látható, ahol az átlag mellett a legalacsonyabb és legmagasabb havi középhőmérsékleteket is feltüntettük, így a változékonyság jól szemléltethető. A téli hónapokban (január, február, december) a legnagyobb a havi középhőmérsékletek változékonysága, itt mozog a legszélesebb határok között a havi középérték. Ezekben a hónapokban az átlagos havi középhőmérséklethez képest negatív irányban nagyobb eltérés mutatkozik a havi adatok szélső értékei esetében, mint pozitív irány-



6. ábra: Keszthely átlagos, maximális és minimális havi középhőmérsékleti értékei 1901-2000 között

ban. Márciustól kezdve a középértékek ingadozása lecsökken és az év további részében közel azonos szinten marad.

A korábbiakhoz hasonlóan a hőmérséklet havi középértékeinek 100 éves adatsorában tapasztalható eltérések megjelenítését lineáris trenddel szemléltetjük (5. táblázat).

5. táblázat A havi középhőmérsékletek változásának tendenciái Keszthelyen 100 év adatai alapján

Hónapok	A trend egyenes meredeksége	R ²
Január	0,0073	0,006
Február	0,0167	0,0257
Március	-0,0007	0,0001
Április	0,0084	0,0226
Május	0,0044	0,0068
Június	0,0057	0,0162
Július	0,0045	0,0103
Augusztus	0,0079	0,0317
Szeptember	0,0068	0,0165
Október	0,0018	0,0012
November	0,0009	0,0002
December	-0,0045	0,0039

A március és december hónapok kivételével a havi középhőmérsékletek emelkedő tendenciát mutatnak, de mivel R² egyik hónap esetében sem éri el az 5%-os szignifikancia szinthez tartozó küszöbértéket, nem állíthatjuk bizonyosan, hogy bármelyik hónapban a hőmérséklet emelkedne.

Megállapítások

Keszthelyen a XX. században a homogenizált évi középhőmérsékletek szignifikánsan melegező tendenciát mutatnak, mely valószínűsíthető, hogy városunk esetében a globális klímaváltozás várhatóan hőmér-

sékletemelkedést eredményezhet. Az egyes évszakok közül a nyárnál figyelhető meg szignifikáns hőmérsékletnövekedés. Ez a csapadék esetleges csökkenésével együtt igen kedvezőtlen hatást gyakorolhat természetünk növényeink vízgazdálkodására, az öntözés nélküli mezőgazdasági területekre. Ha a prognosztizált csapadékcsökkenés és melegedés valóban bekövetkezik, a környék növénytermesztéssel foglalkozó szakembereinek újra kell gondolni termesztés-technológiájukat. Öntözés nélküli termesztésnél a korábbiaknál jobban figyelembe kell venni azokat a talajművelési és egyéb eljárásokat, melyek a téli-tavaszi csapadék megőrzését szolgálják. Értékesebb és vízigényesebb növénykultúráknál várhatóan az öntözés elkerülhetetlenné válik.

A balatoni turizmus szempontjából pozitív hatással bírhatnak a nyári magas hőmérsékletek és a csapadékszegényebb nyári időszak. Ennek ellenére nem szabad megfeledkeznünk az elmúlt években alacsony vízszintet okozó csapadékhiányról sem, ami a csapadék csökkenésével egyre nagyobb valószínűséggel megismétlődhet a jövőben is.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti az Országos Meteorológiai Szolgálatot a homogenizált adatok rendelkezésünk bocsátásáért, vala-

mint *Dr. Szentimrey Tamást* a homogenizált adatok létrehozásáért és az adatokkal kapcsolatos segítségéért.

Kocsis Tímea – Anda Angéla
Veszprémi Egyetem Georgikon
Mezőgazdaságtudományi Kar
Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék,
Keszthely

Szakirodalmi források

- Bartholy J. – Schlanger V. /2004/: Az éghajlat regionális modellezése In: Természet Világa 135. évf., II. különszám, pp. 40-44.
- Impacts of Europe's changing climate (Summary), EEA Report No. 2./2004, Luxembourg
- Iványi Zs. /1998/: Szárazföldi felszíni hőmérsékleti trendek In: Az éghajlatváltozás és következményei, Meteorológiai Tudományos Napok '97, Budapest, pp. 79-87.
- Kocsis T. – Anda A. /2005/: Az évi csapadék-mennyiség változásának tendenciái Keszthelyen, 130 év mérése alapján. Léggör 2005. 2. szám, Budapest, pp. 16-20.
- Mika J. /2002/: A globális klímaváltozásról In: Fizikai Szemle 2002/9: 258-268.
- Szalai S. – Szentimrey T. /2001/: Melegedett-e Magyarország éghajlata a XX. században? In: Berényi Dénes Jubileumi Ünnepe Előadásai, Debrecen, pp. 203-214.
- Varga-Haszonits Z. /2003/: Az éghajlatváltozás mezőgazdasági hatásának elemzése, éghajlati scenáriók. AGRO-21 Füzetek 2003/31., pp. 9-28.

KISLEXIKON

[Cikkeinkben csillag jelzi azokat a kifejezéseket, amelyek a kislexikonban szerepelnek]

radar reflektivitás (dBZ)

Dombai F.: Adalékok a radarmeteorológiára...

Teljes nevén radar reflektivitási tényező. Jele: Z. Az időjárási radar hullámhosszánál kisebb méretű céltárgyokról (csapadékrészecskékről) történő energiavisszaverődés hatékonysága. Értéke a cseppek átmérőjének hatodik hatványától függ. Mértékegysége mm^6/m^3 . Gyakran használják a hangtanból ismert logaritmus skálán kifejezett értékét az egységnyi ($1 \text{ mm}^6/\text{m}^3$) hatékonysághoz viszonyítva. Ennek a paraméternek decibell-Z, azaz dBZ a mértékegysége. A mérési tapasztalatok szerint a reflektivitási tényező értéke összefügg a csapadéktevékenység intenzitásával. Néhány tipikus érték (a mérési bizonytalanságot is figyelembe véve a mérés középértékével megadva):

reflektivitási tényező (dBZ)	10	20	30	40	50	60
csapadékinzultás (mm/óra)	<0,1	0,2	2	10	45	200

Torricelli-féle kiömlési törvény

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

Egy tartály kiömlőnyílásánál a folyadéksugár sebessége egyenes arányos a nyílás fölötti folyadékoszlop magassá-

gának négyzetgyökével, arányossági tényező a gravitációs gyorsulás kétszeresének négyzetgyöke, vagyis: $v = (2gh)^{1/2}$. Ezt Evangelista Torricelli ismerte fel először 1646-ban.

Kelvin–Helmholtz-instabilitás

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

Ha különböző sűrűségű – összenyomhatatlan– folyadékok vagy gázok áramlanak egymás fölött, egymástól eltérő sebességgel, akkor a választófelület annál inkább hullámzik, minél nagyobb az áramlási sebességek különbsége.

mammatusz felhő

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

Felhőhöz kapcsolódó járulékos képződmény a felhő alján jelentkező kerekded kidudorodás formájában. Leggyakrabban zivatarfelhőhöz (cumulonimbus) kapcsolódik, de megfigyelték már jégtűfelhő (cirrus), báránnyfelhő (cirrocumulus), magas gomolyfelhő (altocumulus), magas rétegfelhő (altostratus) és gomolyos rétegfelhő (stratocumulus) esetén is. Az elnevezés a latin mamma (emlő) szóból ered.

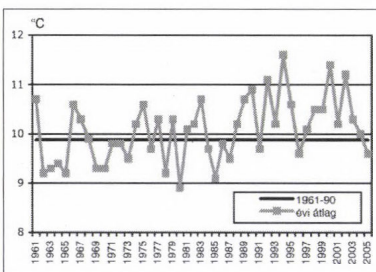
Összeállította: Gyuró György

A 2005. ÉV IDŐJÁRÁSA

A 2005. év országos átlagban valamivel hidegebb, és 20%-kal csapadékosabb volt mint a sokévi átlag – a csapadék havi értékei azonban rendkívüli változékonyságot mutatnak.

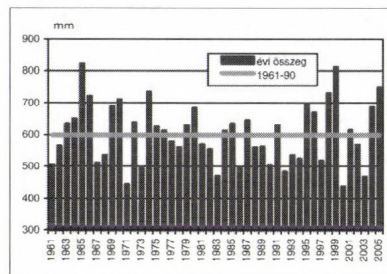
Az év folyamán minden évszak szolgált időjárási szélsőségekkel. Január első fele az átlagnál 6-8 fokkal melegebb, február ellenben jóval hidegebb volt. Április 18-án és május 4-én komoly felhőszelek okoztak hirtelen kialakuló árvizet a Mátrában majd Zemplénben (*Légkör 50. évf. 2. szám, pp 6-10.*), május 18-án intenzív jégesővel kísért heves zivatarok vonultak végig az országon, jelentős kárt hátrahagyva (*Légkör 50. évf. 3. szám, pp 12-17.*). Május végén az ország több pontján megdőlt az évszázados melegrekordok, alig két héttel később viszont már olyan rendkívüli volt a hideg, hogy aki tehetett, visszakapcsolta a fűtést. A nyár szélsőségesen csapadékos volt, augusztusban az ország nagy részén olyan sok eső esett, amire Magyarországon ebben a hónapban a meteorológiai mérések kezdete óta nem volt példa. Az ősz ezzel szemben jóval szárazabb volt az átlagnál: októberben országos átlagban a sokévi mennyiségnek csupán 20%-a, de novemberben is csupán a fele hullott le.

2005-ben az országos évi középhőmérséklet 9,7 °C volt, ami 0,2°C-kal elmaradt az 1961-90-es 30 éves átlagtól (*1. ábra*).



1. ábra. Az országos évi középhőmérsékletek és a sokévi (1961-90) átlag

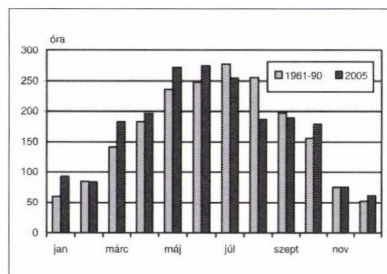
Az elmúlt évben országos átlagban 748 mm csapadék hullott, ami mintegy 20%-kal haladja meg a sokévi átlagot (*2. ábra*).



2. ábra. Az átlagos évi csapadékoszegek és a sokévi (1961-90) átlag

NAPFÉNYTARTAM

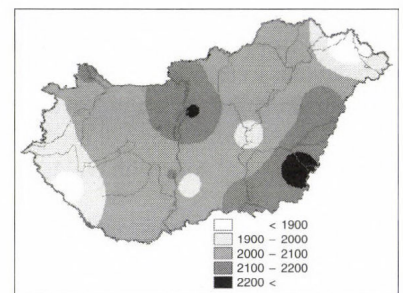
2005-ben az átlag 104%-ában, 2051 órán át sütött a nap hazánkban. A napsütéses órák számának havi értékeit mutatja be a *3. ábra*. Február, július, augusztus és szeptember kivételével átlag feletti mennyiségű napsütésben volt részünk az év során. A sokévi menet maximuma júliusban van, 2005-ben azonban június volt a legnaposabb hónap. A sokévi átlagértéktől a szélsőségesen csapadékos augusztus napfénymennyisége maradt el legnagyobb mértékben.



3. ábra. A napsütéses órák havi összegei 2005-ben és 1961-90 között

Hazánk területén a napfénytartam éves összege átlagosan 1750 és 2050 óra között alakul. A napsütéses órák éves összege 2005-ben 1820 és 2260 óra között váltakozott az ország területén, az átlagosan 2051 óra 4%-kal haladja meg az

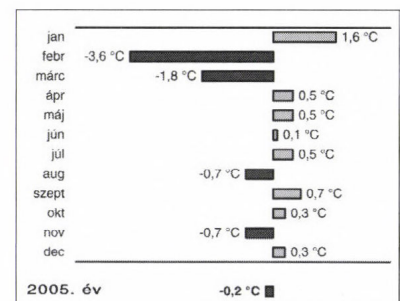
1961-90-es átlagértéket. Általában a Dél-Alföldön és Baranyában éri el a maximumát a napfénytartam, míg minimuma az Alpokalján és az ország északkeleti részén van. A napsütéses órák számának 2005. évi eloszlását mutatja a *4. ábra*. A legnaposabb területek a Tiszántúl délkeleti felében voltak, míg a legalacsonyabb értékeket az északkeleti határ mentén mérték.



4. ábra. A napsütéses órák száma 2005-ben

HŐMÉRSÉKLET

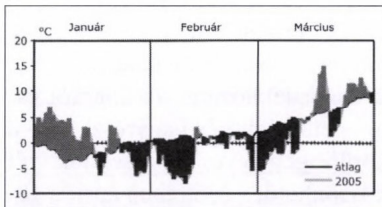
Az egyes hónapok területileg átlagolt anomáliái az *5. ábrán* láthatók. Január az átlagnál enyhébb volt 2005-ben. Középhőmérséklete a normálnál több mint másfél fokkal magasabb, országos átlagban $-0,5^{\circ}\text{C}$ volt. A hónap közepéig az átlagnál jóval enyhébb volt az idő: január legmelegebb napján, 5-én országsszerte 8-14 fokkal csúcshőmérsékleteket mértek. 23-a után azonban egyértelműen beköszöntött a tél.



5. ábra. Az országos havi középhőmérsékletek eltérése a sokévi átlagtól a 2005. évben

Február a megszokottnál lényegesen hidegebb volt 2005-ben, a hónap középhőmérséklete összességében $3,6^{\circ}\text{C}$ -kal elmaradt a normálértéktől. Február első felében dermesztő volt a hideg, de a hónap második felében is csak 3 nap középhőmérséklete haladta meg a sokévi átlagot. A minimumhőmérséklet a hónap során szinte mindig napon 0 fok alá süllyedt: országsszerte 24-28 nap volt fagyos.

Március középhőmérséklete is több mint másfél fokkal alacsonyabb volt a megszokottnál, országos átlagban $3,2^{\circ}\text{C}$ -nak adódott. A hónap első harmadában a napi középhőmérsékletek $5-7^{\circ}\text{C}$ -kal elmaradtak az átlagtól, március közepén azonban jóval átlag feletti volt a meleg: a hónap legmelegebb napján, 18-án a legnagyobb nappali felmelegedés országsszerte elérte a $18-23^{\circ}\text{C}$ -ot.

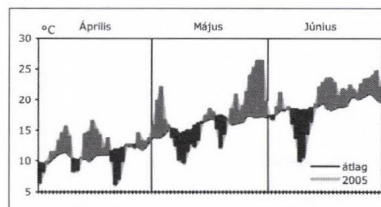


Április időjárását a változékonyság, a jelentős hőmérsékletingások jellemezték. Az átlagnál hidegebb időszakok ellenére – a megszokottnál melegebb periódusok miatt – a hónap középhőmérséklete országos átlagban a szokásosnál fél fokkal magasabbnak, $10,9^{\circ}\text{C}$ -nak adódott.

Május is melegebb volt a sokévi átlagnál, középhőmérséklete országos átlagban $15,9^{\circ}\text{C}$ -nak adódott. A hó eleji meleg időszak után komoly károkat okozó, viharos széllel köszöntött be a hideg, de a hónap utolsó dekádjában megint az átlagnál lényegesen melegebb volt az idő. Május 29-én és 30-án az ország több pontján megdőlt az évszázados melegrekordok: 30-án Körörszakálon $34,4^{\circ}\text{C}$ -os maximumhőmérsékletet mértek.

Június a május végi meleg után átlag feletti hőmérséklettel köszön-

tött be, amit hamarosan igen erős lehülés követett. Június 9-én a maximum hőmérsékletben százéves negatív rekord dőlt meg: Pécssett a napi maximum- és minimumhőmérséklet is 7 fok volt, de az ilyenkor szokásos 25 fok helyett országsszerte is csupán 6-14 fokot mutatnak a hőmérők. A hónap második felében átlag felett alakultak a napi középhőmérsékletek, így június átlaghőmérséklete összességében átlag körül alakult.

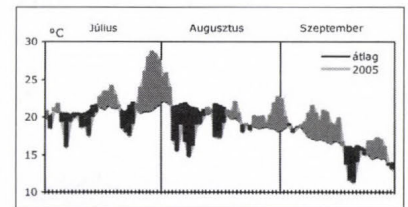


Július középhőmérséklete országosan és összességében magasabb volt az átlagnál, a hónap végi nagy melegenek köszönhetően: július utolsó hetében igazi kánikulában volt részünk. Százéves melegrekordok ugyan nem dőlték meg, de az ország egész területén másodfokú hőszegélynek megfelelő készültség volt érvényben. Júliusban az országban 18-25 nap volt nyári, valamint 4-8 nap volt hőségnap.

Augusztus hőmérséklete szeszélyesen alakult, az átlagnál melegebb és hidegebb időszakok váltogatták egymást. A hónap elején évszázados hidegrekord is megdőlt, augusztus 9-én, a Nógrád megyei Zabarón $4,6^{\circ}\text{C}$ -ot mértek. Augusztus középhőmérséklete az ország nagy részén $0,5-1,3$ fokkal elmaradt a sokévi átlagértéktől, az ország nyugati csücskében valamint keleti harmadában azonban $0,1-0,5$ fokkal melegebb volt a normálnál.

Szeptemberben egy rövid, egy hetes időszakot kivéve a napi középhőmérsékletek az egész hónap során átlag felett alakultak. Az ország legnagyobb részében ezért a hónap középhőmérséklete $0,9-1,3^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb volt a normálnál, az átlagtól vett pozitív eltérés csak a magashegységekben illetve a

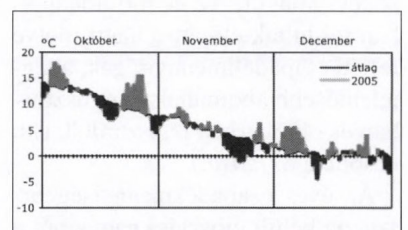
délnyugati országrészben volt ennel kisebb.



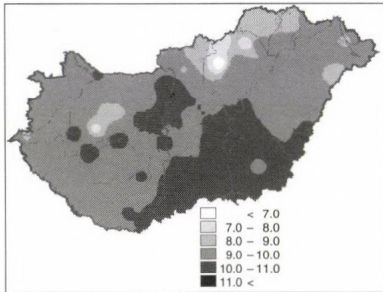
Október középhőmérséklete országos átlagban közel fél fokkal meghaladta a sokévi átlagot, ami a hónap eleji és végi egy-egy hetes, a megszokottnál $4-6^{\circ}\text{C}$ -kal melegebb periódusoknak volt köszönhető. Az ország déli-délkeleti vidékein a hónap folyamán még előfordult 1-2 nyári, az évnek ezt a szakát inkább jellemző fagyos napot azonban nagyobb számban regisztráltak: országosan 1-6 napon csökkent nulla fok alá az éjszakai minimumhőmérséklet.

November $0,7^{\circ}\text{C}$ -kal hidegebb volt a szokásosnál, a hónap középhőmérséklete országos átlagban $3,5^{\circ}\text{C}$ -nak adódott. Novemberben az ország keleti felében 17-24, a nyugati országrészben 8-15 nap volt fagyos. Téli nap országsszerte 1-2 napon fordult elő, a hegyvidéki területeket kivéve, ahol 8-11 nap volt téli.

December első harmadában a napi középhőmérsékletek országsszerte 4-5 fokkal meghaladták a sokévi átlagot – javarészt ennek tudható be, hogy a hónap középhőmérséklete az ország legtöbb régiójában $0,1-1$ fokkal melegebb volt mint a szokásos. A hónap során mindössze 5-6 napon nem süllyedt fagypontra a hőmérséklet az ország területén. Téli nap az északi országrészben 5-10, a középső és déli vidékeken 0-3 alkalommal fordult elő, zord napot pedig országos átlagban egyszer regisztráltak.



2005-ben az országos évi középhőmérséklet 9,7 °C volt, ami 0,2°C-kal elmaradt az 1961-90-es 30 éves átlagtól. Az országon belül 5,5°C és 11,3°C között alakultak az évi középhőmérséklet értékek (6. ábra).



6. ábra. 2005. évi középhőmérséklet (°C)

A hőmérsékleti küszöbnapok száma tavaly nagyjából a sokévi átlagnak megfelelően alakult: a meleg küszöbnapok száma némileg elmaradt a normálértékektől, a hideg küszöbnapok száma pedig valamivel meghaladta azokat.

2005-ben országos átlagban 29 nap volt téli, 1 nappal több mint a szokásos, és 14 nap zord, ami 3 nappal több, mint a megszokott. Nulla fok alatti hőmérséklet 116 napon fordult elő – a 30 éves átlagérték 97 nap.

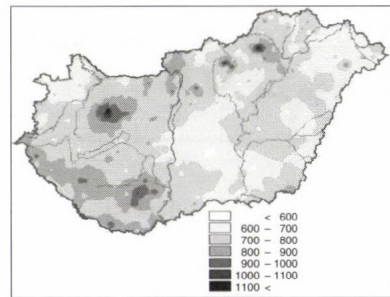
2005-ben nyári nap 69 volt átlagosan, ami a szokásosnak megfelelő érték. A hőségnapok száma 13 volt, ami mindössze 3 nappal marad el az átlagos 16-tól. Tavaly átlag 1 forró napunk volt, ami megfelel az 1961-1990-es időszak átlagának.

CSAPADÉK

Az elmúlt évben országos átlagban 748 mm csapadék hullott, ami mintegy 20%-kal haladja meg a sokévi átlagot. Az év 6-6 hónapjában fordultak elő átlag alatti illetve feletti csapadékmennyiségek, a legjelentősebb anomáliákat augusztusban és októberben regisztrálták (ld. később a 8. ábrán).

Az éves csapadékmennyiség országon belüli eloszlása nagyjából a

sokévi átlagnak megfelelően alakult: az ország relatíve legcsapadékszegényebb vidékei az alföldi területek és az észak-nyugati országrész voltak, amelyek az év során az átlagnak megfelelő csapadékmennyiségben részesültek. A legcsapadékosabb országrészek a dél-dunántúli valamint a hegyvidéki területek voltak. Az év során a legkevesebb csapadék (565 mm) Tass térségében hullott, a legnagyobb csapadékösszeget pedig (1171 mm) Miskolc-Lillafüreden regisztrálták (7. ábra).



7. ábra. A 2005. évi csapadékösszeg (mm)

Januárban országos átlagban a szokásos csapadékmennyiségnek csak kevesebb, mint fele hullott le. A csapadék területi eloszlása azonban változatos volt: az ország északi régióiban az átlag 60-70%-ának megfelelő volt a csapadékhozam, míg a délkeleti vidékeken helyenként a normál 10%-át sem érte el a havi csapadékösszeg. Január 16 napján hullott hó az ország területén, a hegyvidéki területek kivételével centiméterekben mérhető hótakaró azonban csak a 25-ével kezdődő nagy, 3 napig tartó országos havazást követően maradt meg.

Februárban, országos átlagban a normálnál közel 28%-kal, 10 mm-rel több csapadék hullott. A hónap jellemző csapadéka a hó volt (amely a hideg miatt a hónap egészében megmaradt), eső, havas eső csak elvétve, 3-4 napon fordult elő február folyamán. Ónos esőt 3 napon regisztráltak, az ország észak-nyugati vidékein.

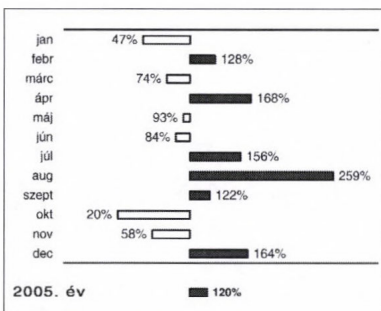
Március csapadékhozama országos átlagban közel 30%-kal elma-

radt a szokásostól, a hónap első felében a havazás, 17-étől kezdve pedig inkább az esőzés volt jellemző. A csapadékos napok számának eloszlásában kelet-nyugati irány dominált, a csapadékszegényebb keleti régiókban 5-10, míg a nyugati országrészben 9-13 napon hullott csapadék. A csapadékhozam országon belüli megoszlásában ezzel szemben határozott észak-déli mintázat volt jellemző, az ország délnyugati vidékein az északkeleti területek havi csapadékösszegének közel tízszerese hullott le március folyamán.

Áprilisban, országos átlagban a szokásos több mint másfélszeresének megfelelő mennyiségű csapadék hullott, a csapadékhozam országon belüli eloszlása azonban nem volt egyenletes. Míg a nyugati régiókban átlag körül alakult az áprilisi csapadékösszeg, addig a keleti, északkeleti országrészben egyes területeken a sokévi átlag háromszorosát is meghaladta a havi csapadékhozam. Az átlagtól való jelentős eltérés nagyrészt a 20-a körüli igen heves esőzéseknek volt köszönhető: a Mátrában április 18-án egy lokális zivatar következtében a megáradt Kövecses- és Csörgő-patakok elárasztották Mátrakeresztes községet, hidakat, utakat és lakóházakat sodortak el, gépkocsi méretű sziklák görgöttek a völgyekben. A Pásztó-Mátrakeresztes fölötti mátrai települések közül Mátraszentlászlón 111 mm, Mátraalmás-Szuhán pedig 63 mm csapadékot mértek 24 óra alatt – a térségben az áprilisi havi átlagos csapadékösszeg 40-45 mm körül alakul.

Május elején újabb hirtelen árhullám okozott komoly károkat, ezúttal Zemplénben, a 4-i intenzív esőzés két halálos áldozatot követelt. A hónap csapadékhozama országos átlagban mégis közel 10%-kal kisebb volt a megszokottnál, de még ez az átlag alatti csapadékmennyiség is jórészt a hónap közepi, 17-18-i zivartartevékenységből

származó országos csapadékhullásnak volt köszönhető. A május jellemző csapadék az eső volt, amely leggyakrabban zivatarartevékenység következményeképpen illetve záporokból hullott. Az országban egy napon regisztráltak jégesőt.



8. ábra. Havi csapadékösszegek 2005-ben az 1961-1990-es normál százalékában

Júniusban országos átlagban közel 20%-kal kevesebb csapadék hullott mint az ilyenkor szokásos, a csapadékhozam területi eloszlása azonban nem volt egyenletes. Az átlagosnál több eső esett az Alföldön, ahogy az ország északkeleti valamint délnyugati csücskében a júniusban szokásos csapadékösszegeknek csak 50-60%-a hullott le. Jégeső júniusban szórványosan, 1-2 napon fordult elő.

Július az átlagnál csapadékosabb volt, országos átlagban az évnek ebben a szakában szokásos csapadékmennyiség másfélszerese hullott le a hónap során. A csapadék országos belüli eloszlása azonban nem volt egyenletes, míg a középső illetve déli régiókban az átlagos csapadékmennyiség több mint két – két és félszerese hullott le, addig például a keleti határszelen helyenként az átlagot sem érte el a havi csapadékösszeg. A csapadék jelentős része a hónap első felében érkezett, 9-e és 12-e között lokális zivatarokból az átlagos havi csapadékmennyiség kétháromszorosa hullott az ország több pontján is.

Augusztus, júliushoz hasonlóan a szokásosnál jóval csapadékosabb

volt 2005-ben. A hónap során háromszor fordult elő komoly károkat okozó csapadékhullás, augusztus elején (3-4-én), közepén (14-17-e között), és végén (21-22-én). Az özvízszerű esőzések következtében több száz lakóépület rongálódott meg, de komoly károkat okozott a csapadékos időjárás miatt kritikussá vált belvízhelyzet is (25 ezer hektár terület került víz alá), valamint hogy több folyó megáradt, sokhelyütt harmadfokú árvízveszélyt kellett elrendelni. Az ország délkeleti régiójában a szokásos havi csapadékmennyiség 4 – 4,5-szeresének megfelelő eső hullott le augusztus folyamán, de az ország más területein is a normál 2-3-szorosa volt a havi csapadékösszeg.

Szeptember országos átlagban a megszokottnál közel 30%-kal csapadékosabb volt, a csapadékhozam országos belüli eloszlása azonban nem volt egyenletes. Míg a nyugati országrészben a szokásos mennyiségnek csak mintegy 80%-a hullott le, addig az ország középső és déli vidékein a havi csapadékösszeg a sokévi átlag másfél-kétszeresének felelt meg. Az országban 10 napon fordult elő csapadékhullás, jellemzően záporokból, szeptember 20 napja volt teljesen csapadékmentes.

Október jóval szárazabb volt az átlagnál, az ország keleti felében a szokásos csapadékhozam 20-40%-a, míg a nyugati országrészben mindössze 4-8%-a hullott. A havi csapadékmennyiség a viszonylag csapadékosabb keleti területeken 6-8 napon, a nyugati vidékeken 2-4 nap alatt hullott. A hónap jellemző csapadéka az eső volt, de 16-án, az Északi-középhegységben hózáport is regisztráltak.

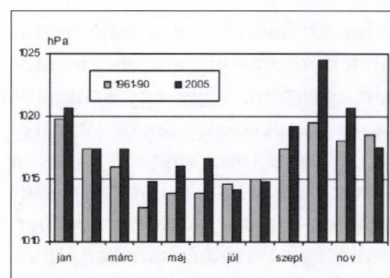
November csapadékhozama elmaradt a sokévi átlagértéktől, országos átlagban a szokásos mennyiség 60%-a hullott le a hónap során. Legtöbb csapadékban (60-70 mm) a nyugati országrész részeült, legszárazabbak pedig az északi és délkeleti vidékek voltak, ahol

a havi csapadékösszeg csak a normál 30-50%-át tette ki. A csapadékhozam hónapon belüli eloszlása sem volt egyenletes, míg november első fele kifejezetten száraz, második fele az átlagosnál csapadékosabb volt. A hónap csapadékosabb, második felében az esővel szemben már a hó dominált: országos átlagban 4-9 napon regisztráltak havazást.

Decemberben a csapadék országos átlaga 75 mm volt, ez a mennyiség több mint 160 %-a az ilyenkor megszokottnak. A területi eloszlásban ugyanakkor nagy különbségek voltak az egyes régiók között: az ország északi részében közel két és félszerese, a déli régiókban viszont csupán 130%-a volt a csapadékhozam a normálnak. Bár néhány napon eső is esett (2-3 napon ónos esőt is regisztráltak), a december jellemző csapadéka a hó volt: a hónap szinte minden napján előfordult havazás vagy hószállingózás. A havi csapadékmennyiség több mint egyharmada a két ünnep között hullott le, országos havazás formájában.

LÉGNYOMÁS

A légnyomás átlagos értéke a nagytérségű időjárási képződmények gyakoriságát jellemzi. A tengerszinti légnyomás átlagos- és 2005. évi menetét mutatja be a 9. ábra oszlopdigrammja.



9. ábra. A tengerszinti légnyomás havi átlagai Budapest-Pestszentlőrincen

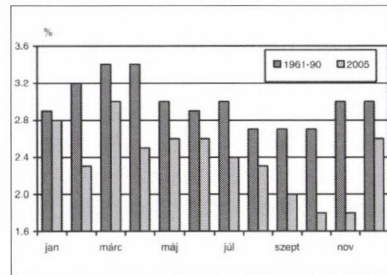
Az átlagos évi menetben kettős hullám látható. A főmaximum januárban van, a másodmaximum októberben. Ezeket a hónapokat jellem-

zi az anticiklonok gyakori előfordulása. A minimumok áprilisban, illetve novemberben jelentkeznek, amikor nagyobb a ciklonyakoriság. A 2005. évi átlagokat reprezentáló oszlopok azt mutatják, hogy a főmaximum októberben volt, a másodmaximum pedig januárban. 2005-ben 3 minimum fordult elő a légnyomás havi átlagában, időrendi sorrendben áprilisban, júliusban majd pedig decemberben.

SZÉL

Az átlagos szélesebbesség alapján hazánkat mérsékelten szeles területnek minősíthetjük. A szélesebbesség évi átlagai 2-4 m/s között változnak. Jellegetes a szélesebbesség évi járása (10. ábra), legszelesebb időszakunk a tavasz első fele (március, április hónapok), míg a legkisebb szélesebbeségek általában ősz elején tapasztalhatók.

A 10. ábra alapján elmondhatjuk, hogy a szokásosnál sokkal kevésbé volt szeles a 2005. év időjárása Bu-



10. ábra. A szélesebbesség havi átlagai Budapest-Pestszentlőrincen

dapest-Pestszentlőrincen, és az évi menet sem a sokévi átlagnak megfelelően alakult. A tavaszi maximum márciusra tolódott, de értéke így is elmaradt a sokévi átlagtól, a nyári másodmaximum május-júniusban következett be. Az ősz végén általában tapasztalható nagyobb szélesebbeségek 2005-ben ősszel nem, csak decemberben jelentkeztek.

Összeállította: **Schlanger Vera**

Az Országos Meteorológiai Szolgálat mérései szerint a 2005-es év szélsőségei, a mérés helye és ideje:

- A legmagasabb mért hőmérséklet: 36,9 °C, Körösszakál július 31.
- A legalacsonyabb mért hőmérséklet: -26,5 °C, Pitvaros, február 9.
- A legnagyobb évi csapadékösszeg: 1171 mm, Miskolc/Lillafüred
- A legkisebb évi csapadékösszeg: 565 mm, Tass
- A legnagyobb 24 órás csapadékösszeg: 164 mm, Mezőhék, augusztus 4.
- A legvastagabb hótakaró: 94 cm, Kékestető, február 24.
- A legnagyobb évi napfényösszeg: 2256 óra, Békéscsaba
- A legkisebb évi napfényösszeg: 1823 óra, Kisvárd

OLVASTUK...

„Twister”, „Holnapután” és társai – az időjárás katasztrófafilmek szociológiája

Filmesztéták szerint a katasztrófafilmek dramaturgiája meglehetősen egyszerű: vagy egy szimpatikus párkapcsolatot sodor veszélybe a természet, vagy a Jó és a Rossz harcát látjuk, ahol a Jó szerepében a tudós, a Rossz képében pedig egy tornádó, hurrikán, földrengés, árvíz, vulkánkitörés, esetleg tengeri vihar tűnik fel. Rebecca Morss meteorológus, az amerikai Országos Légkörkutató Központ (NCAR) Társadalmi és Környezeti Tanulmányok Intézetének munkatársa úgy véli, az utóbbi időben

megszaporodott azoknak a katasztrófátörténeteknek a száma, amelyekben az időjárás a főszereplő. Dr. Morss felidézi, hogy korábban is készültek már ilyen jellegű alkotások, például Steinbeck klasszikusa, az *Érik a gyümölcs*, amikor porviharokkal kísért aszály nehezíti az emberek életét. Az utóbbi évek regényeiben és filmjeiben viszont két új motívum bukkant fel: a politikusok szerepe és az ökoterrorizmusnak is nevezett környezetszennyezés. A hirtelen beköszöntő eljegesedéssel fenyegető *Holnapután* (*The Day after Tomorrow*) című film még felfogható a politikusoknak szánt nyílt üzenetként, a legújabb időjárás sci-fi, a *State of Fear* (szabad fordításban: Megfélemlítve) már meglehetősen ellent-

mondásos alkotás az amerikai meteorológus-társadalomkutató szerint. A *Kóma* című film rendezőjeként, továbbá a *Vészhelyzet* című tévésorozat és a romantikus tornádó-történet, a *Twister* forgatókönyvírójaként megismert szerző, a kultúrantropológus és orvos végzettségű amerikai Michael Crichton könyve erősen félrevezető lehet az éghajlatváltozással kapcsolatos kérdések megítélésében, és ez nem mellékes akkor, amikor a nagyközönség egyre egyértelműbben csak a tévében és a filmekben látottak alapján alakítja ki véleményét egy-egy tudományos problémáról.

Bulletin of the American Meteorological Society, 2005. május

Gyuró György

DR. SIMON ANTAL 1932–2006

2006. február 7-én, életének 74. évében váratlanul elhunyt dr. Simon Antal aranydiplomás meteorológus, ny. főtanácsos, a KMI Műszaki-, majd az OMSZ Szakigazgatási Főosztály egykori vezetője, a Magyar Meteorológiai Társaság titkára, főtitkára, majd haláláig társelnöke. Hamvait a Farkasréti Mindenszentek plébánia urnatemetőjében helyezték örök nyugalomra; egykori munkatársai nevében dr. Dunkel Zoltán búcsúzott Tőle:

Tisztelt Gyászoló! Kedves Kollégák!

Az élet és a halál kiszámíthatatlanságán gondolkodva gyűltünk most össze, hogy megadjuk a végtisztséget váratlanul eltávozott kollégánknak. „*Ha tudná a házigazda, melyik őrváltáskor jön a tolvaj, ébren volna, és nem engedné betörni a házába. Legyetek tehát készen ti is, mert amelyik órában nem gondoljátok, eljön az Emberfia.*” (Mt 24, 43-44)

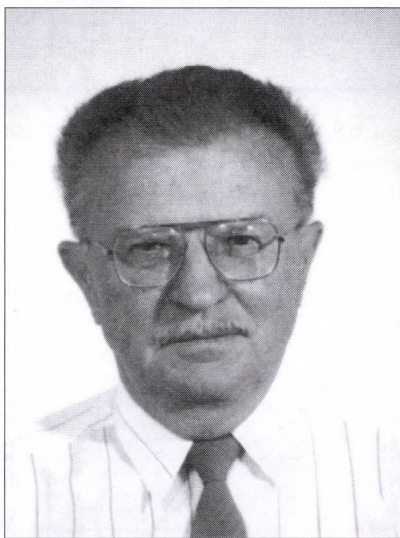
Kedves Tóni, haláloed mindannyiunkat váratlanul ért. Ha számot kell adnom magamról, elmondhatom, hogy nemcsak váratlanul, hanem készületlenül. Régóta készülök ugyanis arra, hogy átadjam Neked, a Meteorológiai Múzeumnak, azt az emlékérmét, amit a Szolgálat kapott a Honvédség meteorológiai szolgálatától abból az alkalomból, hogy aláírtunk egy együttműködési szerződést. Biztos vagyok benne, hogy ezt a tárgyat is olyan szeretettel és megbecsüléssel helyezted volna el a Múzeumban, ahogy a többi tárgyat is. Ez most már az utódokra maradt, miként az is, hogy eleink munkájának eredményét megőrizzük és továbbvigyük, tisztelettel emlékezzünk az elődökre, ahogy példamutató módon Te is tetted. Most már Te is azok közé tartozol, akinek emlékét, akárcsak, mint a Meteorológiai Muzeális Szakgyűjtemény kezelőjét és fejlesztőjét illő, hogy megőrizzük.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat megrendült szívvel vesz most búcsút nyugalmazott főtanácsosától, a Szolgálat volt műszaki- majd szakigazgatási-főosztályvezetőjétől, a Magyar Meteorológiai Társaság volt titkárától, főtitkárától, majd társelnökétől, dr. Simon Antaltól, mindannyiunk Tónijától.

Simon Antal a középiskola elvégzése után az Eötvös Loránd Tudományegyetem meteorológus szakán szerzett diplomát, 1955-ben. Meteorológus érdeklődése mindig a szakma nehezebben feltárható részei, a légkörfizika speciálisabb területei felé vonzották. Talán azért, mert tudta, hogy „*az Úr mindent megtehet égen földön, tengeren és minden mélységben. Felhőket hoz fel a föld széléről, vilámlamokat készít az esőhöz, tárházaikból szeleket hoz elő.*” (Zsolt 135, 5-7). Szakdolgozata a naptevékenységnek az ionoszféra felső rétegeire gyakorolt hatásáról szólt, míg

doktori értekezésében az elektromos tér budapesti változásaival foglalkozott.

1956 január elsején állt munkába, az akkori Országos Meteorológiai Intézetben. Ez a munkába állás ötven éves elkötelezettséget jelentett, amelyet csak a halál szüntetett meg. A pest-szentlőrinci obszervatóriumban ionoszfémamérésekkel, lélegelektromos kutatásokkal és légköri rádióaktivitással foglalkozott. Évekkel később újból kamatoztatta az itt szerzett tudást, amikor a csernobili baleset meteorológiai körülményeiről írt tanulmányt, s a Nukleárisbaleset Elhárítási Kormánybizottság Operatív Törzsében képviselte a Szolgálatot. 1972-ben Ferihegyre került, osztályvezetői beosztásban, az ottani meteorológiai állomás és hírközpont irányítójaként. 1974-től a Levegőkémiai Laboratóriumot vezette a Központi Légkörfizikai Intézetben, majd az OMSZ-ban



akkor induló jégeső elhárítás elnöki koordinátora, később a Központi Meteorológiai Intézet Műszaki főosztályvezetője lett. A hetvenes, nyolcvanas években honvédségi összekötő volt, s működése eredményeként a két intézmény, a Szolgálat és a katonai meteorológia között páratlanul szoros volt a kapcsolat. 1983-tól nyugdíjba vonulásáig az OMSZ Szakigazgatási Főosztályt vezette, s mint ilyen, az intézmény általános irányításhoz szükséges számos szakmai és jogi anyag elkészítésében vett részt, s többek között egyik előkészítője volt a Szolgálat működéséről szóló miniszteri rendeletnek, amely 13 éven át képezte intézményünk működésének alapját.

Tevékenységet számos díjjal, kitüntetéssel honorálta a szakma és a felügyeletet gyakorló miniszter. Megkapta a Steiner Lajos emlékérmét, a Haza Szolgálatáért Érdemrend ezüst és arany fokozatát, a Honvédelemért kitüntetett cím I. osztályát és a *Pro Meteorologia* miniszteri kitüntetést. Nyugdíjba vonulása nem jelentett igazi visszavonulást, ugyanolyan aktívan vett részt a meteorológus közéletben, mint nyugdíjazás előtt. Fáradhatatlanul gondozta a Meteorológiai Múzeumot, kutatta a régi meteorológusok írásait. Rendezte, és kiadásra készítette elő Réthly Antal hagyatékát, teljessé tette s megőrizte az utókornak az időjárás eseményekről szóló páratlan gyűjteményt. Elké-

szította a magyarországi meteorológusok életrajzi lexikonát. *Dési Frigyesről* szóló monográfiája nemcsak meteorológia-történeti dokumentum. Az utóbbi évek Meteorológiai Társasági rendezvényeinek kedves és érdekes eseménye volt, amikor régmúlt idők meteorológus cselekedeteiről tartott előadást.

Kedves Tóni, innét kezdve ki fog nekünk érdekes történeteket mesélni régi meteorológusokról? Talán megbocsátsd nekem, ha befejezésül az Utolsó Mohikánból idézem Nagy Kígyó szavait Uncas temetéséről: „Miért sírnak testvéreim? Egy harcos becsülettel befejezte az életét.”

Kedves Tóni, Isten Veled!

Dunkel Zoltán

Simon Antal széleskörű szakirodalmi tevékenységet is folytatott: nevéhez összesen 290 tanulmány, könyv, könyvrészlet, kisebb-nagyobb közlemény fűződik. A LÉGKÖR hasábjain összesen 75 írása jelent meg, a legutolsók éppen a 2005. 4. számban. A „Történelmi Arcképcsarnok” című sorozatba szánt további 7 írását napokkal halála előtt adta át a főszerkesztőnek; ezeket majd a LÉGKÖR 2006-os és 2007-es számaiban közöljük *posztumusz* megjelöléssel. Emlékét kegyelettel megőrizzük!

A Szerkesztőbizottság

* * *

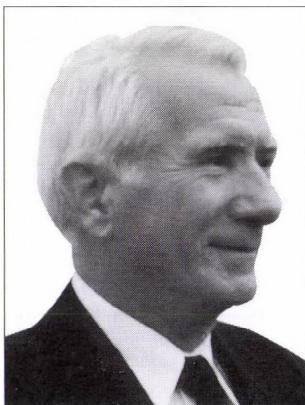
KASSAI BÉLA (1942–2006)

Megdöbbenéssel vettük tudomásul, hogy **Kassai Béla** eltávozott körünkől. Tudtunk a betegségről, tudtuk, hogy az elválás hamarosan be fog következni, de mindaddig, amíg ez be nem következett, bízunk a csodában, bízunk abban, hogy Béla szolgálat iránti hűsége és élni akarása még a halált is, képes legyőzni.

Kevés olyan munkatársa volt a szolgálatnak, aki a szó szoros értelmében egész életét velünk élte le. Negyvenöt éven át volt kollégánk, barátunk, s csak a halál volt képes elvágni ezt a köteléket. Amíg bírta, szinte az utolsó pillanatig, bejárta, nyugdíjasként is tette a dolgát. Első és utolsó munkahelye az Országos Meteorológiai Szolgálat volt.

Pályafutását Debrecenben kezdte, az érettségi után, észlelőként. Egész életre szóló nagy elkötelezettsége, örök szerelme a repülés hozta közén. Ahogy mondta, „minden foglalkozást, ami a repüléssel kapcsolatban van, nagyon szeretek”. Ha valaki, akkor ő igazán tudta mi zajlik le, mi mehet végbe a légkörben. Bár a Meteorológiai Szolgálathoz mindvégig hű volt, nem lett meteorológus. Műszaki elkötelezettsége, érdeklődése a mérnöki pálya, a mérnöki diploma felé vonzotta. A munka mellett, túl a katonaságon, levelezőként szerzett villamosmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetemen. A végzettség birtokában is hű maradt az intézethez.

1969-ben került fel Budapestre. Előbb a Légkörfizikai Intézet Agrometeorológiai majd, Műszerszerkesztő Osztályán dolgozott, de hamarosan megtalálta igazi helyét: 1970-től lett a KMI számítóközpontjának üzemeltetés-vezetője. A legendás EMG 830 mellett töltött évek segítették elmélyíteni az egyetemen szerzett ismereteit, s adtak lehetőséget számára, hogy a számítástechnikának az egyetemen akkor még nem oktatott rendszerszerzői és programozói oldalával is megismerkedhessen.



1974-ben átkerült a Központi Előrejelző Intézetbe azzal a feladattal, hogy a középsebességű adatátvitelt beindítsa és megszervezze a budapesti távközlési központ automatizálását. 1976-ban kinevezték az Adatátviteli Osztály vezetőjévé. Innen kezdve, 30 éven át

osztályvezetőként, főosztályvezetőként irányította, szervezte, vezette, fejlesztette távközlési rendszerünket. Képviselte a Szolgálatot a Meteorológiai Világszervezet és a Nemzetközi Polgári Légiközlekedési Szervezet megfelelő fórumain. A nemzetközi meteorológiai együttműködés alapja a jól működő adatsere és távközlés. Ez a munka egy pillanatra se állhat meg. Kassai Béla egész pályafutása ennek tudatában telt el. Vagy mindig maga is ott volt a gáton vagy gondoskodott róla, hogy e tekintetben ne legyen, ne lehessen fennakadás, s ebben az intenzíven és eredményesen végzett sportrepülés sem akadályozta.

A Távközlési és Informatikai Főosztály vezetőjeként ment nyugdíjba 2005-ben, de ez a visszavonulás nem jelentett elválást se a Szolgálattól, se a munkától.

Most megrendült szívvel gyűltünk össze, hogy végső búcsút vegyünk tőle.

Kedves Béla ígérjük, hogy a távközlést igyekszünk legalább úgy rendben tartani, ahogy Te tetted, s a telefonkönyv is mindig naprakész lesz.

S most a Zsoltáros szavaival elköszönünk Tőled: „Ha felszállnék az égig, ott vagy, Ha az alvilágban tanyáznék, ott is jelen vagy, Ha felölném a hajnal szárnyait és a legtávolabb partokon szállnék le, ott is a Te jobbod tartana.” (Zsolt 139, 8-10)

Nyugodj békében Isten Veled!

Dunkel Zoltán

METZGER BÉLA (1933–2006)

Mély megrendüléssel állunk volt kollégánk, Metzger Béla Bátyám ravatalánál. Engedjék meg, hogy az Országos Meteorológiai Szolgálat vezetése, az országunkban lévő meteorológiai főállomások dolgozói a mintegy 600 fős társadalmi észlelőhálózat munkatársai és a magam nevében őszinte együttérzésünket kifejezve néhány gondolatban visszaemlékezzek Béla Bátyám aktív életútjára. Metzger Béla 1951-től 1956-ig a Magyar Repülő Szövetségnél vitorlázórepülő, ahol eléri a „C” vizsgát. Ez nagyban segíti pályafutásának további alakulását, mivel repülni csak megfelelő időjárási helyzetben lehet és nem mindegy a felhőalap és felhőfajta sem. Tehát Béla már itt ismerkedik az észlelői szakma rejtelmeivel. 1953-ban behívják tényleges katonai szolgálatra, ahol 1954-ben időjelző tiszthelyettesi tanfolyamra kerül és 1956-ban történt leszereléséig a Repülésirányítási Központban teljesít szolgálatot. 1957 tavaszán jelentkezik először az Országos Meteorológiai Intézetnél, de helyhiány miatt akkor nem veszik fel, ezért továbbszolgálatot vállal a honvédségnél. 1961-ben leszerel, és akkor felvételt nyer az OMI-nál. Először a Hírközpontban dolgozik, majd 1969-től a KMI Hálózati Osztályára kerül. Itt átveszi az újoncoknak járó távoli BAZ. és Szabolcs-Szatmár megyei területeken lévő meteorológiai állomások irányítását, szervezését, ellenőrzését. Elvégzi a Met. III. tanfolyamot és az akkor kötelező Met. IV. tanfolyamon a speciális tantárgyból történő vizsgáztatást

az ő kezébe adják. Nagy gyakorlatra és sok tapasztalatra tett szert, ismereteit megosztotta kollégáival. Az évenként megrendezett állomásvezetői értekezleteken építő kritikáival mindig segítette a hazai észlelőgárda szakmai tudásának további fejlődését. Aktív résztvevője volt a kódbizottságnak. 1974 novemberében munkája mellett megbízzák a KMI személyzeti ügyeinek intézésével. 1971 nyarán, amikor először átléptem az Intézet kapuját Béla volt az első, aki ismertette velem a szakma alapjait. Négy éves lőrinci észlelői munka után bekerültem a hálózati osztályra és Béla távoli területeit vettem át. És aztán jöttek a további tanítómesterek: Csomor Misi, Weingartner Feri, Nagy Árpai, Gáspár Pali, Horváth Emil, Prediger Jóska, Mezősi Méria, Szentimrey Márta, akik között én akkor a szemtelenül fiatal, jól éreztem magam. Bélával sokszor helyettesítettük a KMI klíma állomásának észlelőjét, amikor is a napi három észlelést felváltva végeztük. Béla elvesztésével az akkori hálózati osztályt ma már csak négyen képviseljük: Méria, Márta, Pali és jómagam.

Kedves Béla Bátyám! Fájó szívvel búcsúzom Tőled, de hálával tartozom a sorsnak, hogy közel 20 éven keresztül Veled dolgozhattam és még utána is nyugdíjas éveidben, találkozhattunk. Most jövök rá talán, de már késő, hogy többet kellett volna. Nyugodjál békében!

Tamáskovits Károly

OLVASTUK...

Az ESA Miniszteri Tanácsának ülése Berlinben

Az eseményről a HVG 2005. december 17-i számában *ÜRUTASELLÁTÓ* címmel közölt részletes, elsősorban gazdasági nézőpontú elemzést, ebből idézünk egy részletet:

„A kért 200 millió €-nál 53 millióval többet kapott – egyelőre két évre – az úgynevezett globális környezeti és biztonsági megfigyelő rendszer (GMES), amely a Földet figyelő műholdak és földfelszíni berendezések adatait összesíti. A hálózatot, amelynek űrbeli infrastruktúrája a becslések szerint 2006-2013 között 2,3 milliárd €-ba kerül majd, az EU-tól amúgy teljesen független ESA az unióval közösen működteti. Az

eddig befektetett 230 millió €-ból 130 milliót az ügynökség állt, 100 milliót pedig Brüsszel, s a közösség további hozzájárulásáról csak az új EU-költségvetés elfogadás után derülnek ki részletek. Az ESA – még a hónap elején nyilvánosságra hozott – közleménye szerint mindenesetre attól kell tartani, hogy az EU-n belüli politikai és költségvetési viták miatt lassulhat az európai űrpolitika megvalósítása, amelynek szabályozására tavaly május óta keretmegállapodás van érvényben. A GMES segíthet a klímaváltozás és különböző természeti katasztrófák okainak felderítésében s megkönnyíthet olyan döntéseket, mint például az uniós halászsai kvóták megállapítása.”

www.hvg.hu

Úrkaleidoszkóp, XX. évf. 1. szám

H. Bóna Márta

KÖRNYEZETVÉDELMI KONFERENCIA SZENEGÁLBAN

A magaslégtéri ózonréteget károsító anyagok szabályozására hozott nemzetközi összefogás eredményezte a Montreali Jegyzőkönyv aláírását 1987-ben. Májig 189 ország ratifikálta, őket hívjuk részes feleknek. A részesek évente tartanak tanácskozást, ahol értékelik az eddigi intézkedések hatását, s ha szükséges, újabb bevezetését kezdeményezik. A soron következő konferencia helyszínét a felek jelentkezése alapján (2006-ban India, 2007-ben Kanada) maguk a részesek választják ki.

A legutóbbi, 17. konferenciára Szenegál fővárosában, Dakarban került sor 2005 decemberében. A környezetvédelmi és vízügyi miniszter kijelölése alapján, a külügyminiszter megbízó levelével vettem részt a magyar kormány képviselőjében a rendezvényen, amit *L. Thierno*, szenegáli környezet- és természetvédelmi miniszter és *Marco González*, az Ózontitkárság végrehajtó titkára nyitott meg a Bécsi Egyezmény 20. évfordulóján.

A konferencián az egyik sarkalatos kérdés volt a Sokoldalú Pénzügyi Alap (amibe a fejlett országok befizetnek, hogy a fejlődő országok ózonkárosító anyag felhasználásának csökkentését támogassák) 2006-2008 évekre szóló feltöltése. A tartós viták végén 470 millió USD-ben állapodtak meg a felek.

A Montreali Jegyzőkönyv egyike azoknak a nemzetközi környezetvédelmi jogi eszközöknek, amelyek működik és már kézzel fogható eredményei vannak. Ezt igazolja az alábbi táblázat, mutatva az ózonkárosító anyagok termelésének alakulását 1000 tonnában megadva.

szabályozott vegyület	1986	1989	1991	1997	2004
CFC-k	1075	1049	666	261	92
halonok	33	31	25	9	0,3
CTC		481	143	4	12
metil-kloroform		707	620	19	3
HCFC-k		264	271	548	573
metil-bromid			67	61	25

Egyedül a HCFC-k termelése mutat emelkedést. Ezeknek az anyagoknak az ózontöntő képessége azonban csak tizede-százada a fölötté lévő sorokban található vegyületekének. Végső kiváltási dátumuk 2040.

2005 szeptemberében tartották Bécsben az ózonkutatók 6. ülését, amiről Dakarban beszámolót hallot-

tunk. A mérések mutatják, hogy az utóbbi 5 évben a sztratoszférikus ózonkoncentráció lassan csökken, szemben a korábbi két évtized gyorsabb ütemével. Az ózontörlés lassul a közepes szélességeken is, a sarkvidékek fölött azonban nem egyértelmű a helyzet. További kiterjedt megfigyelő és kutató tevékenységre van szükség a légköri folyamatok jobb megértése céljából.

Az ózonkárosító anyagok nemzetközi illegális kereskedelme az utóbbi években jelentős problémává vált. A fejlett országokban a legtöbb alkalmazási területről már kiváltották felhasználásukat, a fejlődő országokban azonban csak 8-10 évvel később kell ugyanazokat az intézkedéseket meghozni. Egy konkrét példa: míg hazánkban 1996 óta tilos a gyári új CFC-k használata a hűtőtechnikában, addig szomszédjaink közül Románia, Szerbia-Montenegró és Horvátország a mai nap is legálisan használhatja. Az ilyen helyzetek lehetőséget teremtenek a csempészsésre, ami ellen a Montreali Jegyzőkönyv is megpróbálja felvenni a küzdelmet. Olyan javaslat született, hogy készüljön tanulmány az ózonkárosító anyagok kereskedelmének nyomon követésére a gyártól a végfelhasználóig. A vámszervek kiképzése is fontos része a programnak, mert nekik kell hatékonyan fellépni a határellenőrzéseknél, a leggyakoribb módszer ugyanis az, hogy a csempészek egyszerűen átcímkezik a gázszállító palackokat, s így nehéz megfogni őket.

A szakmai rész rövid ismertetése után beszámolok az utazás személyes tapasztalatairól, s hogy milyennek láttam ezt a távoli országot.

Szenegál Afrika legnyugatibb országa, Francia Nyugat-Afrika központja. Az ország nevét fő folyójáról, a Szenegálról kapta, amely az esős évszakban hajózható. A név a volof szunu gal összetételből származik, jelentése: a mi fatörzsből vájt kenünk. Szenegál területe 196 190 km², aminek 2,1%-a víz. Teljesen körülöleli Gambiát, amely csak az Atlanti-óceán felé nyitott. Szenegálnak 2004-ben 10,6 millió lakosa volt, így a népsűrűsége 54 fő/km². 1973-ban még csak 4,1 millióan lakták. A természetes népszaporulat magas, 2,6%. Egy családra átlagban 6,2 gyerek jut. A születéskor várható élettartam 57 év mindössze. A lakosság összetétele: 44% volof, 24% fulbe, tukulör és 15% szerer mellett több más szudáni nép él kisebb arányban, s 1%-ra tehető az európaiak (zömmel franciák) és libanoniak aránya. A városi lakosság aránya 48%. Legnépesebb városuk a főváros, 2,6 millió fővel.



Szenegál térképe

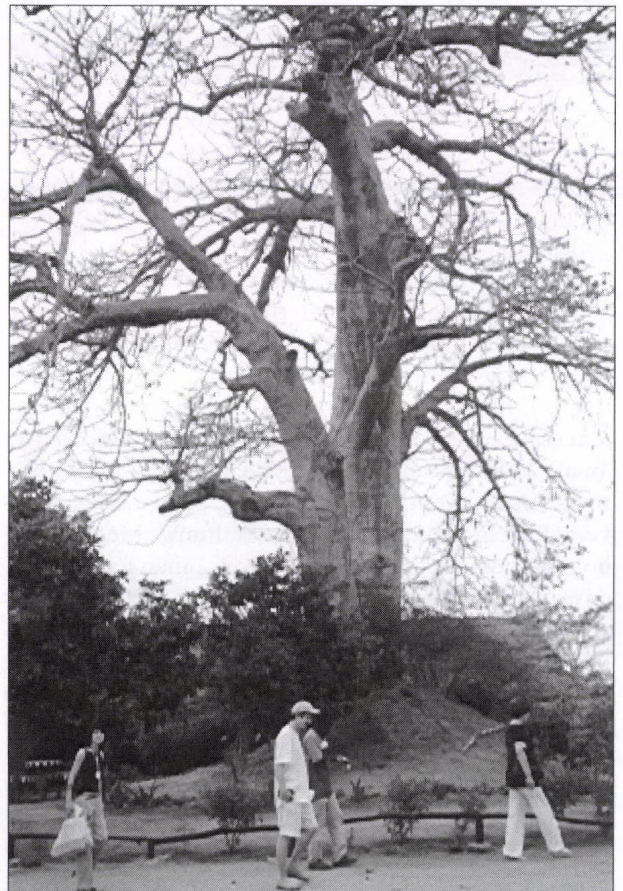
Az ország felszínének nagy részét a kréta és eocén üledékeken kialakult, 50-150 m magas, helyenként réteglépcsőkkel tagolt és homokdűnékkel fedett Szenegambiai-síkság foglalja el. Dél-keleten a Futa-Dzsalon hegység prekambriumi kvarcitjai bukkannak felszínre, terjedelmes földtörténeti ókori homokkő-fennsíktól övezve; itt a térszín 400-500 méterig emelkedik. Az óceán partján harmad- és negyedidőszak vulkáni működés emlékét őrzi a Zöld-fok, amelyet turzás kapcsolt a szárazföldhöz.

Éghajlata trópusi szavanna. Az esős évszak délen áprilistól októberig, északon júliustól októberig tart. A csapadék mennyisége délről (1200-1500 mm) észak felé (300-500 mm) csökken. Az évi középhőmérséklet 25-28 °C (januárban 22-24 °C, júliusban 28-34 °C). A parti sáv éghajlata a hideg Kanári-áramlás hatására hűvösebb. A száraz évszak jellemző szele az észak-keleti harmattán. December közepén jártam Szenegálban, a hajnali hőmérséklet 21-22 °C, a déli 26-29 °C volt. Csapadék nem esett, s az egyáltalán nem látszott, hogy nemrég ért véget a csapadékos évszak. Minden porban úszott, a folyómedrek alján itt-ott csillogott csak kis bűzlő tócsa.

A természetes növénytakaró a csapadéktól függően észak-dél irányban változik. A déli országrész tengerpartját mangrovemocsarak kísérik, beljebb trópusi esőerdők, észak-kelet felé haladva szavannaerdők következnek, majd a magasfüvű szavanna. Északon száraz, rövidfüvű és bozotos szavanna található. A szavanna területe fokozatosan csökken a mezőgazdasági művelés, főként a földmogyoró-termesztés miatt, amiben a 7. helyen állnak a világon. Állatvilágára jellemző a fő-

emlősök nagy száma. Félmajmok (törpe fülesmaki), valódi majmok (cerkóf, pávián, huszármajom), s az emberszabásúak közül a csimpánz nyugati alfaja él itt. Növényevők (antilop, zsiráf), rágcsálók (nyugati fésűs-ujjú patkány, repülő mókus) és ragadozók (homoki macska, gepárd, szervál, oroszlán) is előfordulnak. Egy teknős faluba (Village des Tortues de Noflaye) volt alkalom eljutni, ahol a teknőstojástól a kifejelett, 150 éves példányokig megtekinthetők ezek a hüllők. 2001-ben nyílt meg ez a rezervátum, ahol Afrika legnagyobb testű teknőseit őrzik természetes környezetükben. Több mint 350 példány él itt, a 40 grammos újszülöttől a 100 kg-osig. Időnként leguánok látogatnak be közéjük, látogatásunkkor is épp egy közepes példányt kellett elzavarnia a gondozónak. Ezek a ragadozó gyíkok a fiatal teknősök között próbálnak zsákmányt szerezni. A legnagyobb méretű teknőst Clintonnak nevezték, párját Mónikának.

Az első portugál és egyéb európai települések a 16. században létesültek Szenegál területén. A franciák 1659-ben alapították Saint-Louis városát, amely a rabszolgakereskedelem egyik központja lett. Szenegált 1904-ben Francia Nyugat-Afrikához csatolták, amelynek igazgatási centrumává vált. Szenegál 1958. november 25-től a Francia Közösség autonóm köztársasága,



Baobabfa a teknős falu bejáratánál

majd 1959. április 4-én csatlakozott a szomszédos Francia Szudánhoz, megalakítva a Mali Államszövetséget, amely 1960. június 20-án elnyerte teljes függetlenségét. Két hónappal később, augusztus 22-én Szenegál kivált, és kikiáltották a független Szenegáli Köztársaságot. A kölcsönös egymásra utaltság miatt Szenegál és Gambia 1982-ben megalakította a Szenegambiai Államszövetséget. Ennek keretében a két ország megőrizte teljes szuverenitását és önálló képviselét a nemzetközi szervezetekben, viszont közösen intézték a védelmi, külügyi, közlekedési és távközlési ügyeket. Az Államszövetség 1989-ben feloszlott. A 2001 januárjában szentesített új alkotmány engedélyezte az ellenzéki pártok működését, és a férfiakéval egyenlő jogokat biztosított a nők számára is.



Az isteni természet mecsetje Dakarban

Szenegál államformája parlamentáris köztársaság. Nemzeti ünnepük április 4-e, az 1960-ban kivívott függetlenség napja.

A vallást tekintve 94% szunnita muzulmán (a középkor elején fokozatosan tértek a muzulmán hitre az arab kereskedők hatására), 5% római katolikus található, s mára csak 1% követi a törzsi vallást. Ezt jól tükrözi, hogy országszerte sok dzsámít és minaretet lehet látni. Dakarban láttam egy katolikus katedrális, amely előtt beszélgetésbe elegyedtem egy fekete bőrű apácával. Nem franciául, az ország hivatalos nyelvében, hanem németül kommunikáltunk. Megtudtam, hogy Regensburgban töltött éveket, innen a német tudása. Ismerte Mindszenty bíboros történetét is. Szenegálban többek között leprások gyógyításával foglalkozik.

Az ország gazdaságát tekintve fejletlen agrárször, amelynek gazdasági gondjait a demográfiai robbanás és a súlyos belpolitikai feszültségek (Casamance autonómiatörekvései) tetézik. 2002-ben 1500 USD volt az egy főre jutó GDP. A munkanélküliség viszont rendkívül magas, 48%, az írástudatlanság pedig 60%. Értékes ásványkincse a foszfát, a titán-, a vasérc és a kőolaj. A szerény ipar a fővárosban összpontosul (kőolaj-finomí-

tó, növényolajgyár, halfeldolgozó, műtrágyagyár). A száraz szavanna éghajlat, illetve a hideg Kanári-tengeráramlás kedvező feltételeket teremt a mezőgazdaság számára (földimogyoró, köles, rizs, cirok, cukornád, olajpálma, kukorica, manióka, gyapot). A lakosság egy része nomád állattenyésztésből (szarvasmarha, juh, kecske), illetve halászatból él.

A belső fejlettség különbségeit példázza Dakar, amely a francia gyarmatosítás egykori központjaként és közlekedés-földrajzi helyzete révén az országhatáron túlnyúló kulturális és kereskedelmi-pénzügyi funkciókat tömörít. Nagy nemzetközi kikötő, Nyugat-Afrika első szabadkereskedelmi övezete, az Afrikát Dél-Amerikával összekötő optikai szálak kábel végpontja. A főváros lakossága rendkívül gyorsan szaporodik, ma már meghaladja a 2,5 milliót. Ezt nem tudják követni lakásépítéssel és munkahelyekkel, ezért sok a hajléktalan. Hajléktalannak lenni azért nem akkora kihívás, mint hazánkban, hiszen itt a leghidegebb hónap átlaghőmérséklete sem megy 20 °C alá.

Szenegál környezeti állapota – legalább is a fővárosban és környékén – elég siralmas. Mára jelentős mértékben elszennyezték a levegőt, a vizeket, a talajt. A településeken mindenütt szemét látható. Ipari üzemet – egy olaj-finomítón és egy cementgyáron kívül – nem láttam, tehát a levegő szennyezésének legfőbb forrása a közúti közlekedés. A gépjárműpark hazai szemmel nézve hihetetlen műszaki és esztétikai állapotban van. Napokig nem láttam olyan autót, aminek a karosszériája teljesen ép. A tömegközlekedésben a tömeg dominál. Lestrapált kisbuszok viszik az embereket, már akinek van ideje kivárni, hogy a kívánt irányba felvegye valamelyik. Az ajtajuk menet közben nyitva, a kapaszkodón és a hátsó létrán is csüngenek a mobilitásra vágyók. A járművek okádják a füstöt. Műszaki állapotuknál már csak az utak minősége rosszabb. A budapesti kátyúsűrűség sem vetekszik az ittenivel. A gyérebb forgalmú utakon gyakran az útpadkán hajtanak, mert az simább haladást tesz lehetővé. Gyakran találkozni a fővárosban még lovas kocsiival. Lovaik kisebb termétek a nálunk szokásosnál és nem ritkán kiállnak a bordáik, jelezvén, hogy aznap szűkében voltak a zabnak. A



Teherautó átlagos külalakkal

kocsik kétkerekűek és magas, nem túl nagy platóval rendelkeznek. A hajtónak nincs rendes, rögzített bak, hanem a platón állnak vagy ülnek menet közben. A fővárosban rengeteg kecske tengődik, nehéz megérteni, vajon min élnek, mert csak száraz gaz látszik itt-ott. Vidéken zebu és szamár is előfordul a kecskéken kívül. Az utcák képére jellemző, hogy az épületek mentén sátor és kalyiba sorok húzódnak, ahol mindenfélét kínálnak megvételre. Ezekben dolgoznak a mesteremberek is. Legszebbnek a bútorkészítők termékei tűntek, az ágyakat, szekrényeket szintén kirakják az út szélére. Az autószerelők műhelyeinek környékét a roncsokról, eldobált alkatrészekről és az olajjal átitatott földről lehetett megismerni. A forgalmas utakon, ha a közlekedés lelassul vagy megáll, azonnal árusok hada rohanja meg az autósokat. Kínálatukban visszapillantó tükör, banán, mogyoró, dísz tárgyak, ékszerek



Teherhordó nők Szenegálban

mind megtalálhatók. Jelentős a városban a gyalogos közlekedés is, a terhek háton vagy a fejen történő cipélése.

A szállodák és a benzinkutak kivételével mindenütt lehetséges alkudni. A fából faragott dísz tárgyak esetén az eredeti ár ötödét is el lehetett érni. A kikötő közelében lévő Kermel fedett piac csarnok döbbenetes élmény volt. A bejárat előtti kis lefolyóban egy elhullott állat tetemét lepték a legyek, ez már sok jót nem ígért. Belépve az egyébként nemrég, Gustave Eiffel eredeti tervei alapján felújított csarnokba, a hűtés nélkül tárolt halak, rákok és egyéb tengeri állatok orrfacsaró bűze csapott meg. Csak minimális időt lehet kibírni odabent. A zsúfolt szabadtéri piacokon minden kapható.

Érdekes látnivaló Szenegálban a Rózsaszín tó (Lac Rose), amely 45 km-re fekszik Dakartól. A Párizs-Dakar rali befutóját itt szokták rendezni. Nincs messze az óceántól, finom szemcsés homokdűnék övezik. Nap-szaktól függően a magas sótartalma (350 g/liter) miatt



A Rózsaszín tó (Le Lac Rose)

a tó vize rózsaszínes árnyalatot kap. Ezt nekem nem sikerült kifogni, szürkénél látszott a víz. A tó aljáról kézi erővel termelik ki a sót a partra, amit szárítás után zsákokba raknak és elszállítanak. Taxival mentünk a tóhoz. A fuvardíjra előre kell megalkudni. A taxik többnyire sokat próbált francia gyártmányok, de láttam Mercedest is, a hátulján D ország-jelzéssel. A mi Renault-nkon nem csak a szélvédőn lehetett kilátni, hanem a karosszéria különböző helyein is. A hátsó ajtókon belül már hiányzott bármiféle fogantyú, ezért nyitni és csukni csak kívülről tudtuk. Nyomorúságos falvakon át jutottunk a tóhoz. Néhány fényképet tudtunk készíteni a sóhalmok között, amikor az ott dolgozók előbb eladni próbálták különböző dísz tárgyakat, majd egyre agresszívbabban pénzt követeltek a fotózásért. Ekkor jobbnak láttuk visszaülni a szellős taxinkba s odébbállni.

Dakar partjaihoz közel fekszik Gorée szigete (Ile de Gorée), amelyet a 15. század elején Denis Dias portugál felfedező talált meg először. Fontos szerepet játszott a rabszolgakereskedelemben. Évszázadokig Gorée volt „a soha vissza nem térés kapuja” rabszolgák ezrei számára. A sziget felkerült a UNESCO világörökség listájára. Kellő elszántság és a kíváncsiság magas foka kell ahhoz, hogy az ember ellátogasson Afrika eme vidékére. Kötelező a sárgaláz, tífusz, hepatitisz A és B, valamint az agyhártyagyulladás elleni védőoltás, s ajánlott a malária elleni védekezés. Jönnek azért turisták, akik búvárokodhatnak, úszhatnak, hullámokon lovagolhatnak, vadászhatnak kikapcsolódásként.

A szenegáliak kedvelik a sportot. Emlékezhetünk, a 2002-es labdarúgó VB-n váratlanul jól szerepelt csapatuk, akikre nagyon büszkék. A dakari utcákon, tereken sokfelé látni gyerekeket mezítláb, papucsban, némelyeket cipőben, amint kergetik a labdát.

ELHUNYT JAMES HOLTON

Egy héttel azután, hogy szokásos napi futóedzése közben szívinfarktust és agyvérzést kapott, 65 éves korában, 2004. március 3-án, elhunyt James Reed Holton professzor, a sztratoszféra meteorológiájának neves kutatója, a világszerte ismert és használt, több kiadást megért elméleti meteorológiai tankönyv, az „*An Introduction to Dynamic Meteorology*” szerzője.

James Holton tudócsaládban született. Apja, idősebb James Holton az USA Mezőgazdasági Minisztériumának szakértője, a Washington-állambeli területi agrárlaboratórium igazgatója, neves búzanemesítő, a növénybetegségek kutatója volt. Fiát a keleti partra, Bostonba, a Harvard Egyetemre küldte tanulni, aki 1960-ban fizika szakon szerzett bakkalaureus (B. Sc.) fokozatot. Innen egyenes út vezetett a híres tudományegyetem, a Massachusetts Institute of Technology (M. I. T.) természettudományi karára, ahol a légkörtudományi szakirány vezető professzora, Jule Charney lett tanulmányainak irányítója, azaz titora.

A zseniális diák teljesítményére mi sem jellemzőbb annál, minthogy alig négyéves tanulmányi idő után az egyetemi diploma (M. Sc.) kihagyásával – a tutor javaslatára – egyenesen az egyetemi doktori (Ph. D.) fokozatot kapta meg az alig 25 éves tudósjelölt. A kor egyik neves légkörmodellezője, Bert Bolin mellett Stockholmban eltöltött egyéves tanulmányút után szülőföldjére tért vissza, és két évre a Washington Egyetem (University of Washington, Seattle) posztdoktori ösztöndíjasa lett, majd 38 éven át volt a légkörfizika professzora ugyanott. A sűrűlódásos légköri határreteg és az éjszakai alacsony szintű sugáráram (jet) vizsgálata után érdeklődése a trópusi sztratoszféra cirkulációja felé fordult. Az 1968-ban megjelentetett publikációiban – Richard Lindzennel együtt – ő ismerte fel először a kvázi-kétéves oszcillációt, és ő adta meg először a jelenség magyarázatának elméleti alapjait. Az oktatói tevékenysége nyomán 1972-ben megszületett „*An Introduction to Dynamic Meteorology (Bevezetés a dinamikus meteorológiába)*” című tankönyve egyértelmű nemzetközi sikert aratott. Igaz, hogy a dinamikus meteorológia területén 2-3 évente jelennek meg új egyetemi segédkönyvek, a Holton-féle „Din. met.” egyes kiadásai generációk sorozata és egyetemek tucatjainak diákjai számára lett az elméleti meteorológia klasszikusa. Szintén alapvetésnek számít a sztratoszféra és a mezoszféra dinamikájáról – társszerzőkkel – 1975-ben megjelentetett szakkönyve és az ugyanezen témában 1987-ben kiadott áttekintő monográfiája. Az



ő kezdeményezésére indult el a sztratoszféra változásainak nemzetközi kutatása, ami a WMO, az ICSU és az UNESCO által bejegyzett Éghajlatkutatási Világprogram (World Climate Research Programme, WCRP) „A sztratoszféra folyamatai és azok klimatikus szerepe” (Stratospheric Processes And their Role in Climate, SPARC) nevű, 1992-ben bejegyzett együttműködésében intézményesült. Rendkívül termékeny életművének következő – utolsó – szakaszában a trópusi tropopauza és a troposzféra-sztratoszféra kölcsönhatások tanulmányozásának lehetőségét tervezte az Aura műholdas program keretében. Tudományos kutatói, egyetemi oktatói és tankönyvírói munkája mellett tudmányszervezői tevékenysége is kiemelkedő. Közel három évtizeden át volt szerkesztője a meteorológia és a geofizika alapvető szakkönyvsorozatának számító „*International Geophysics Series*”-nek. Szervezésében jelent meg többek között a sorozat városklímával, a villámlás fizikájával, mikro-

meteorológiával, az ionoszférával, felhőfizikával, biogeokémiával, a légköri aeroszollal, mezometeorológiával és a légköri sugárzástannal foglalkozó kötetek, amelyek megjelenésük óta egytől egyig referenciái az adott szakterületeknek. Szerkesztői és szervezői tevékenységének csúcspontja lett a 2003-ban megjelentetett, közel 3000 oldalas „*Encyclopedia of the Atmospheric Sciences (Légkörtudományi enciklopédia)*”, ami több tucat szócikk-szerző munkájának összehangolásával ad áttekintést a meteorológia aktuális kérdéseiről, kutatási eredményeiről. James Holton életműve a váratlanul bekövetkezett végzet ellenére is teljesnek tekinthető. Éppen halála előtt jelent meg dinamikus meteorológiai tankönyvének átdolgozott, feladatokkal és CD-melléklettel kiegészített negyedik kiadása. A sokak által csak Jim Holtonként emlegetett örökmozgó professzorról már életében legendák keringtek. Nyári szabadsága alatt több száz kilométert barangolt be gyalogosan, vagy járt be kerékpáron. Senki nem gondolta volna, hogy éppen kedvenc testmozgása közben ér véget a kivételes pályafutás. Temeztésének napján nemcsak felesége, két fia és munkatársai álltak a ravatalnál, hanem tisztelői az angliai Readingben is összegyűltek egy rövid megemlékezésre. Az Amerikai Meteorológiai Társaság (AMS) 86. közgyűlésén, 2006. január 29. és február 2. között önálló szekció, a „*Jim Holton Symposium*” tisztelgett a kivételes életmű előtt.

Gyuró György

Együttműködési megállapodás az OMSZ és az SZTE között

2006. március 2-án Dr. Dunkel Zoltán és Dr. Bozó László, az Országos Meteorológiai Szolgálat elnöke és el-



Az aláírás pillanatai, balról jobbra Dr. Dunkel Zoltán, Dr. Bozó László Dr. Keveiné Bárány Ilona

nökhelyettese látogatást tett a Szegedi Tudományegyetem Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszékén. A látogatás célja egyrészt a helyi körülményekről való tájékozódás, másrészt a két intézmény közötti új együttműködési megállapodás aláírása volt.

A látogatókat, munkatársai kíséretében, Dr. Keveiné Bárány Ilona egyetemi tanár, a tanszék vezetője fogadta.

A megállapodás szerint az együttműködés kiterjed többek között a kiadványok cseréjére, a szegedi graduális és posztgraduális hallgatók meteorológiai és klimatológiai témájú munkáihoz szükséges adatok biztosítására, az OMSZ szakembereinek témavezetőként való bevonására, az egyetem területén lévő automata állomás üzemeltetésére, valamint a vidéki városok sorában egyedülálló szegedi városi-külterület állomáspár jellemző adatsorainak összehasonlító elemzésére irányuló közös kutatási projektek létrehozására.

Unger János

OLVASTUK...

Médiameteorológus – az egyik leghálátlanabb feladat az USA-ban 2005-ben

Az egyik amerikai tudományos ismeretterjesztő internetes magazin, a Popular Science évente megszavaztatja olvasóit, melyik volt a leghálátlanabb foglalkozás a természettudományok területén. A lista élén idén könnygáz gyártásával foglalkozó üzem kísérleti alanyait, az USA-ban évente keletkező másfél milliárd tonna istállótrágya baktériumfertőzöttségét vizsgáló biokémikusokat, és kansasi biológianárokat találunk, akik számára a szövetségi állam közoktatási tanácsa – 6:4 arányú szavazás után – azt írta elő, hogy a törzsfejlődés helyett az intelligens tervezés elméletét tanítsák. Azoknak a mikrobiológusoknak a helyzete sem irigylésre méltó, akik a világ legbüdösebb mocsarában keresnek új baktériumtörzseket közel 50 fokos melegben a tűző napon, de azok az atomtudósok is kényelmetlenül érezhették magukat, akiknek az archívumból az FBI vizsgálatai szerint eltűnt számos olyan mágnesszalag, ami fontos – és titkos – kutatási eredményeket tartalmazott.

Az olvasók szavazatai alapján ebben az évben a meteorológus is bekerült a „nehéz sorsú tudósok” csapatába. Míg más években a nyár általában azzal

telt, hogy a verőfényes időjárás előrejelzése kifejezetten népszerű dolog volt, a különösen aktív hurrikánévadban az amerikai médiameteorológusok szereplését minden alkalommal beárnyékolta a trópusi viharokról szóló előrejelzés. Ez a hálátlan feladat a 17. helyre hozta be a meteorológusokat a „Világ legrosszabb munkái” című listán.

Az összeállítás kapcsán Lee Greci, a New York Times meteorológusa, a Pennsylvaniai Állami Egyetem oktatója arról merengett az Amerikai Meteorológiai Társaság folyóiratában, vajon a médiameteorológia valódi tudomány, vagy csak egyszerű dobálózás az adatokkal. Fejtegetésének végén megállapítja, hogy a számítógépes világhálón bárki találhat akár 10 napra szóló előrejelzést is egy-egy kiválasztott településre, és ezek az egy-egy számadattal vagy néhány rövid szóval megadott prognózisok az egyértelműség benyomását keltik a nagyközönségben – tévesen. A meteorológusnak az lehet a legfontosabb feladata, hogy meggyőzze a felhasználókat az előrejelzések bizonytalanságáról, azaz éreztesse a kategorikus és a valószínűségi előrejelzés közötti lényeges különbséget.

<http://www.popsci.com>

Bulletin of the American Meteorological Society, 2005. november

Gyuró György

OLVASTUK...

A szivárvány Schrödinger-egyenlete

Sokan foglalkoztak az elmúlt évszázadokban a szivárvány keletkezésének tudományos elméletével, a teljes magyarázat azonban csak az atomfizika korában születhetett meg. Már Arisztotelész is arról értekezett Kr. e. 338-ban *Meteorologica* című művében, hogy a szivárvány a napkorong visszatükröződése a felhőkön. Aphrodisiasi Alexander római filozófus, Arisztotelész munkáinak ismert interpretátora és kritikusa írta le először a Kr. u. II. században, hogy a szivárvány fő- és mellékága között az égbolt sötétebb (Alexander-féle sötét sáv). Roger Bacon angol filozófus-természettudós 1268-ban megmérte a főív görbületének 42°-os és a mellékív görbületének 50°-os szögét. Amikor Freibergi Theodoric domonkos-rendi szerzetes az 1300-as évek elején felvetette, hogy a fény nem a teljes felhőn, hanem csak egyetlen vízcseppben verődik vissza, megnyílt az út a geometriai optika fejlődése előtt. Éppen a szivárvánnyal kapcsolatos munkái során ismerte fel René Descartes 1637-ben azt a fénytörési törvényt,

amit azóta Snellius–Descartes-törvényként ismerünk. A fény hullámtermészetének kimutatása egészen új alapokra helyezte az optika tudományát. Az elektromágneses hullámok Maxwell-egyenletei, valamint az atomi részecskék viselkedését leíró Schrödinger-egyenlet segítségével sokkal pontosabb, minden részletkérdést megnyugtatóan tisztázó magyarázatot lehet adni ennek a látványos légköri jelenségnek a keletkezésére és tulajdonságaira. A témakör igen alapos és didaktikus leírását adta meg háromrészes cikksorozatában Cserti József fizikus, az ELTE Fizikai Intézet tanára a *Fizikai Szemle* hasábjain. A cikk első részét a számítógépes világhálón is lehet olvasni. *Fizikai Szemle* 2005/9, 10 és 12. www.kfki.hu/fszemle/fsz0509/cserti0509.html

Darwin meteorológiai megfigyelései

Darwin nevének hallatán minden klimatológus és meteorológus azonnal az El Niño – Déli Oszcilláció (ENSO) jelenségre emlékszik, hiszen a változékonyság az ausztráliai Darwin nevű város és Tahiti légnyomásának különbségével számszerűsíthető a legegyszerűbben. Kevesen tudják, hogy nevezetes utazása során Darwin meteorológiai megfigyeléseket is végzett. Randall Cerveny, az Arizonai Állami Egyetem geográfusa tüzetesen áttanulmányozta az evolúciós elmélet úttörőjének publikációit, és számos időjárás leírással, elemzéssel találkozott. Darwin több alkalommal is leírta villámlás kialakulását és értekezett annak tulajdonságairól. A Zöld-foki-szigeteken gyűjtött vöröses színű finom porról megállapította, hogy a közeli Afrikából sodorhatta el a szél. A Dél-Amerikában megfigyelt időjárás adatok alapján pedig elsőként latolgatta az egyes területeken megfigyelhető szárazság és a

máshol beköszöntött kiadós esőzések közötti összefüggés, vagyis egy esetleges távkapcsolat lehetőségét. Mivel ez a távkapcsolat mai ismereteink szerint maga az ENSO, ezért különösen indokolt, hogy Darwin nevét mindannyiszor megemlítsük, ahányszor csak erről a jelenségről beszélünk.

Bulletin of the American Meteorological Society, 2005. szeptember

A hó és a tél művészetének olimpiája

Passion lives here (szabad fordításban: Ahol a szenvedély lakozik) – ezzel a mottóval rendezték meg Torinóban a XX. Téli Olimpiai Játékokat. A vendéglátók a versenyekkel párhuzamosan „kulturális olimpiát” is szerveztek Itáliát címmel. A vezérmotívum mi is lehetett volna más, mint az időjárás, a tél és a hó. A művészeti olimpia keretében összesen 26 kiállítóteremben rendeztek be tárlatot olyan témákban, mint pl. az inuitok (eszkimók) – a jég és hó népe, az alpinizmus és az Alpok meghódításának története és dokumentumai, téli motívumok festményeken, szobrokon és művészi fotókon, továbbá nagy olasz mesterek híres alkotásai. Külön érdekesség volt a hóból és jégből formált alkotások gyűjteménye, valamint a fagypontra alatti festészet, azaz a jégre készített festmények bemutatása fényjáték kíséretében. A kiállítások mellett 7 színházi bemutatóra, közel két tucat hangversenyre és 20 olasz rendező filmjeinek retrospektív vetítésére is el látogathattak a kulturális olimpiások. Torinóról eddig a Torinói Olasz Autógyár (Fabbrica Italiana di Automobili Torino), azaz a FIAT, erről pedig a bibliai idézet „Fiat lux! (Legyen világosság!)” juthatott eszünkbe. Az Itáliát most új fénybe helyezte a várost és a téli olimpiák történetét is. <http://www.torino2006.org>

Gyuró György

Éghajlati kiadvány

A közelmúltban az OMSZ gondozásában megjelent a Szalai Sándor-Bihari Zita-Lakatos Mónika-Szentimrey Tamás: „Magyarország éghajlatának néhány jellemzője 1901-től napjainkig” című kiadvány. A kiadvány (angol verzióban is) egészében megtekinthető az OMSZ honlapján (www.met.hu, ÉGHAJLAT/ Magyarországi éghajlat/ Néhány éghajlati jellemző 1901-től), korlátozott számban nyomtatott formában is igényelhető Szalai Sándornál (szalai.s@met.hu).

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

Rovatvezető: Maller Aranka

Rendezvényeink 2006. január 1.-március 31. között

Választmányi ülés:

Március 30.

Napirend:

1. Javaslattevő és bíráló bizottságok jelentése
2. Az Erdő-klíma konferencia és a 2006-os Vándor-gyűlés szervezése
3. A 2006. évi tisztújító közgyűlés előkészítése
 - A jelölő bizottság beszámolója
 - Időpont kijelölése
 - A közgyűlés programjának megbeszélése
4. I. félévi rendezvények
5. Folyó ügyek
6. Tagfelvétel

Felvett tagok: Bognár Ilona Zelma, Boldizsár Anett, Haszpra Tímea Nóra, Homonnai Viktória, Jánosi Imre Miklós, Kereszturi Csaba, Kertész Szilvia, Kiss Márton, Kocsis Tímea, Nagyné Kovács Eleonóra, Szabó Dorottya, Takács Péter, Takács Zita, Tóth Tamás, Tüskés Boglárka, Varga Balázs

Előadó ülések, rendezvények:

Január 23.

A Springer Verlag Könyvkiadó által gondozott *Landolt-Börnstein* könyvsorozat legújabb *Observed Global Climate* című könyvének bemutatása két előadás keretében:

1. Prof. Michael Hantel (Bécsi Tudományegyetem):
What is the budget of the climate?
2. Dr. Franz Rubel (Bécsi Állatorvosi Egyetem):
How to use budget climate data in practice?

Az ülésen került átadásra Hantel professzor úrnak a tiszteleti tagságot igazoló oklevél. Az ülésről bővebben ebben a számban olvashatunk.

Február 2.

Major György:

A Nap és a földi éghajlat. A földi éghajlat és a mezőgazdasági kultúrák megjelenése.

Február 9.

2005 – meteorológiai szélsőségek és vízjárás érdekesége a Kárpát-medencében

Bálint Gábor: *Folyóink vízjárása 2005-ben*
Schlanger Vera, Mika János, Kalmár Elena, Bella Szabolcs, Németh Ákos, Bartholy Judit: *A 2005. év időjárása a XX. század hazai tendenciáinak tükrében*

Varga György: *A Balaton vízkészletének utánpótlódása*

Horváth Ákos: *Esettanulmányok néhány intenzív csapadékeseményről*

Konecsny Károly, Kovács Péter, Csík András: *Kis vízfolyások heves árhullámai Magyarországon és székelyföldi katasztrófák, 2005*

Az előadások és a hozzászólások után az Országos Meteorológiai Szolgálat helyszíni bemutatóra hívta meg az érdeklődőket, ahol Buránszkiné Sallai Márta és Bonta Imre: *Újdonságok az időjáráselőrejelzés gyakorlatában* címmel tartottak előadást.

(A Magyar Hidrológiai Társaság és a Magyar Meteorológiai Társaság közös rendezvénye)

Február 23.

Makra László:

Meteorológiai paraméterek és légtömegtípusok kapcsolata a pollen-szennyezettséggel Szegeden.

Március 6.

Michel J.P. Jarraud (WMO főtitkár):

Meteorology as a Model of Cooperation

Március 23.

Meteorológiai Világnap az Országos Meteorológiai Szolgálattal közös rendezvény.

Témája 2006-ban **„A természeti katasztrófák megelőzése és hatásainak csökkentése”**

- Megnyitó: Dunkel Zoltán dr. az OMSZ elnöke
- Ünnepi üdvözlő: Dr. Persányi Miklós, környezetvédelmi és vízügyi miniszter
- Schenzl Guidó Díj, Pro Meteorológia Emlékplakettek, miniszteri elismerések átadása
- Az OMSZ új nagyteljesítményű szuperszámítógépének átadása
- Tölgyesi László: *Az OMSZ új szuperszámítógépe*
- Horányi András: *Szuperszámítógépek alkalmazása a meteorológiában*
- Horváth Ákos: *Időjárási veszélyek, időjárási veszélyjelzés*
- Kiváló társadalmi észlelők köszöntése: Dunkel Zoltán dr.
- Állófogadás

(A Világnapról bővebb információt olvashatnak ebben a számban.)

Michael Hantel átvette az Magyar Meteorológiai Társaság tiszteletbeli tagsági oklevelét

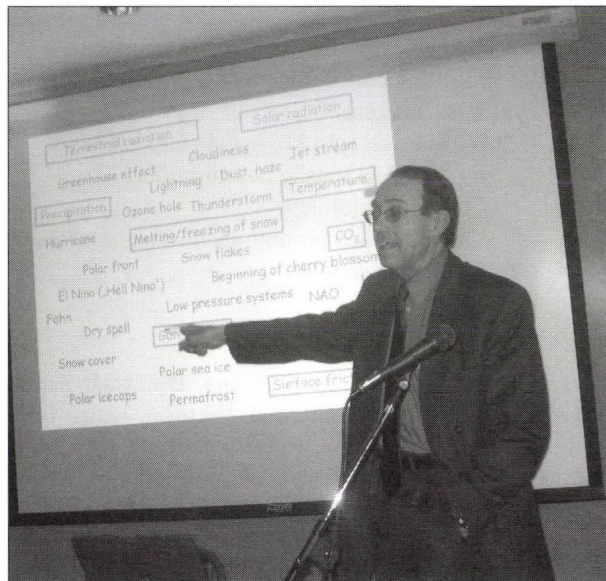
Michael Hantel professzor 2000-től a Magyar Meteorológiai Társaság (MMT) tiszteletbeli tagja. E tiszteletbeli tagság a Bécsi Tudományegyetemen működő Geofizikai és Meteorológiai Intézet Elméleti Meteorológiai Osztálya és a budapesti ELTE Meteorológiai Tanszék közötti – több mint egy évtizedes – szoros és aktív együttműködés jelképe.

Az együttműködés kezdete Dr. Rákóczi Ferenc nevéhez fűződik. Vezetésével 1992-ben a Tanszék meglátogatta a Bécsi Tudományegyetemet, és ott bemutatkozó előadás sorozatot tartott. Ugyanebben az évben Gyuró György kollégámmal együtt ösztöndíjasokként közreműködünk Hantel munkacsoportjában. A további együttműködésünket magyar részről e sorok írója teljesítette ki. A munkánkat sok-sok publikáció és az Erasmus ösztöndíjasok (Mika Ágnes, Rázsi András, Schlangner Vera, Molnár László, Márffy János, Pattantyús-Abrahám Margit, Osváth Szabolcs és Drüszler Áron) további lajstroma fémjelezi. Azok az ösztöndíjasok, akik a Wageningeni Tudományegyetemen voltak, szintén Hantel tanár úrnak köszönhetik e lehetőséget, ugyanis a wageningeni munkakapcsolat létrejöttében az ő közreműködése is döntő fontosságú volt.

Az oklevél ünnepélyes keretek között történő átvételére 2006. január 23-án az ELTE Kari Tanácstermében került sor. (A több éves késés oka az volt, hogy a kitüntetett a cím odaítélése óta nem járt hazánkban.) Michael Hantel ajándékkal viszonozta az MMT elismerését: Az „Observed Global Climate” című könyvet adta át dr. Ambrózy Pálnak, az MMT elnökének. Hantel kívánsága és megfogalmazása szerint e –különbön igen drága – könyvet az ELTE Meteorológiai Tanszéke használhatja, de a könyv az MMT tulajdona. Ennek fényében az MMT elnöke nekem azonnal át is adta a könyvet. Ezen ünnepélyes pillanatok után következett a könyv bemutatása, ami két előadás keretében történt meg. Az elsőt (What is the budget of the climate?) Michael Hantel, a könyv szerkesztője, míg a másodikat (How to use budget climate data in practice?) Dr. Franz Rubel, a könyv egyik társszerzője ismertette. Az előadásokkal kapcsolatos kérdések megvitatása után a rendezvényt az MMT elnöke bezárta.

Legvégül megemlíteném talán az is, hogy e hosszú együttműködéshez számtalan anekdota-szerű élmény kapcsolódik. Ezek közül – mellőzve a szakmai jellegű élményeket – mindössze egyet említenék. Ez szorosan kapcsolódik a Hantel – tipikusan német – mentalitásához. Szokása volt mondania: Vertraut ist gut, Kontrolle ist besser (a bizalom jó, az ellenőrzés még jobb). Nos, e szemléletet érvényesítette a kyoto-i pályaudvaron is. Várván a vonatot – kis csapatunk, Hantel, Rubel és én –

cseleltünk a pályaudvaron. Egy bizonyos idő után a Hantel nagyon lefoglalta magát az órájával. Többször is felkínáltam a segítségemet, de nem akarta elfogadni. Mikor megjött a vonat, helyet foglaltunk, majd tovább csevegtünk. Egyszer csak beszélgetésünk közben



Hantel professzor előadás közben

Hantel felpattant, és bevezetés nélkül számolni kezdett: nyolc, hét, hat, öt ... és akkor villant be: előzőleg azzal volt elfoglalva, hogy az óráját másodperc pontossággal ráillessze az állomás órájára. És a csoda megtörtént. A japán gyorsvonat elindult a nullára. Hihetetlennek tűnt az egész, de nemcsak nekem, hanem Hantelnek is. Magas ember léteire szinte a mennyezetig ugrott és kiáltotta: ungläublich, ungläublich (hihetetlen, hihetetlen). De a csoda megtörtént. A Shinkansen a nullára elindult... a német megvertnek érezte magát, de csak egy pillanatra. A következő pillanatban már vette elő a menetrendfüzetet és kikereste a következő állomásra való érkezés idejét. Nos, hogy ne húzzam az időt, e mérés már sikeresebb volt, legalábbis Hantel szempontjából. A Shinkansen már nem teljesített olyan fényesen, ugyanis 20 másodpercet késett.

Így van ez, amikor egy precíz német ellenőrzi a japánt. Nos, maradván az együttműködésünknel, Hantel nem hazudtolta meg önmagát itt sem. A munkámat mindig és minden vonatkozásában részletesen ellenőrizte. Ezért nagyon hálás vagyok Neked, Michael, és tanítványoknak érzem magam. E kalandozásokat a tudományban – még egyszer – nagyon, nagyon szépen köszönöm.

Ács Ferenc
ELTE Meteorológiai Tanszék

2005/2006 TELÉNEK IDŐJÁRÁSA

December első harmadában a napi középhőmérsékletek országsszerte 4-5 fokkal meghaladták a sokévi átlagot. Javáreszt ennek tudható be, hogy a hónap középhőmérséklete az ország legtöbb régiójában 0,1-1 fokkal melegebb volt mint a szokásos, csak az Északi-középhegység egyes területein maradt a normálérték alatt. A kezdeti enyhe időt jelentős lehűlés követte, majd az aktív ciklontevékenység következtében december második felének időjárása változékonyságban alakult, az átlagnál 2-4 fokkal hidegebb illetve melegebb időszakok váltogatták egymást. A hónap legalacsonyabb hőmérsékletét december utolsó éjszakáján mérték: míg az Alföldön csupán -3 - -4 fokig süllyedt a levegő hőmérséklete, a Dunántúl egyes területein a -18 fokot is meghaladta az éjszakai lehűlés mértéke.

A hónap során mindössze 5-6 nap nem volt fagyos. Téli nap az északi országgrészben 5-10, a középső és déli vidékeken 0-3 alkalommal fordult elő, zord napot pedig országos átlagban egyszer regisztráltak.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 13,7 °C Körösszakál (Hajdú-Bihar megye) december 6.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: -18,7 °C Iklódbördőce (Zala megye) december 31.

Decemberben a csapadék országos átlaga 75 mm volt, ez a mennyiség több mint 160 %-a az ilyenkor megszokottnak. A területi eloszlásban ugyanakkor nagy különbségek voltak az egyes régiók között: az ország északi részében közel két és félszerese, a déli régiókban viszont csupán 130%-a volt a csapadékhozam a normálnak. Bár néhány napon eső is esett (2-3 napon ónos esőt is regisztráltak), a december jellemző csapadéka a hó volt: a hónap szinte minden napján előfordult havazás vagy hószállingózás. December 24-én az ország keleti felében, 25-én északon, 26-án a déli és a nyugati országhatárok mentén hullott pár centi hó. A havi csapadékmennyiség több mint egyharmada a két ünnep között hullott le, országos havazás formájában – az év utolsó napján szinte mindenütt 20-30 centi hó borította az országot.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 159 mm Tardos (Komárom-Esztergom megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 42 mm Kiskunhalas (Bács-Kiskun megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 37 mm Bakonyszűcs (Veszprém megye) december 6.

A 2006. év a szokottnál enyhébb idővel vette kezdetét, **január** közepéig valamivel átlag felett alakultak a napi középhőmérsékletek. Jelentősebb lehűlés csak a hónap harmadik harmadában következett be, akkor viszont egy észak-északkelet felől beáramló igen hideg légtömeg hatására két nap alatt 11 fokot zuhant a napi középhőmérséklet. Ennek a hó végi határozott negatív anomáliának köszönhetően január középhőmérséklete országos átlagban a normálnál 1,2 fokkal hidegebbnek, $-3,2$ °C-nak adódott. Januárnak szinte mindegyik napja fagyos volt. Téli nap 10-20, zord nap pedig 5-10 alkalommal fordult elő a hónap folyamán.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 10,1 °C Békéscsaba (Békés megye) január 2.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: -25,1 °C Milota (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye) január 24.

Január csapadékhozama átlag körül alakult, a csapadékhullás területi eloszlása azonban nem volt egyenletes. Míg a nyugati, északnyugati országgrész a normál közel kétszeresének megfelelő csapadékmennyiségben részesült, az ország keleti felében a sokévi átlagnak csupán 60-80 %-a hullott. A hónap során esőzésre és ónos esőre is volt példa, de a január jellemző csapadéka a hó volt. A hónap eleji, átlagot jóval meghaladó mennyiségű eső és havazás miatt összesen közel 400 kilométeren volt árvízvédelmi készültség az országban, és több mint 70 ezer hektáron alakult ki súlyos belvízhelyzet. A hónap második felében az átlagnál kevesebb csapadék hullott, de az erős, helyenként viharos szél miatt többfelé voltak hóviharak, hófúvások, amelyek következtében sok út járhatatlanná és több falu megközelíthetetlené vált.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 70 mm Bársonyos (Komárom-Esztergom megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 9 mm Hidasnémeti (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 35 mm Bársonyos január 1.

Február az átlagnál hidegebb volt 2006-ban – középhőmérséklete országos átlagban $-1,2$ °C-nak adódott, ami több mint másfél fokkal elmarad a sokévi átlagértéktől. Egy egyhetes időszakot kivéve átlag alatt alakultak a napi középhőmérsékletek, azon a 16-val kezdődő pár napon azonban kellemes, tavaszi, az átlagnál olykor 6-7 fokkal melegebb volt az idő, a délnyugati országgrészben egészen 16-18 fokos maximumhőmérsékletekkel. Februárban 20-25 nap volt fagyos és 2-8 nap volt zord.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 18,6 °C Sellye (Baranya megye) február 20.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: -21,8°C Nyírlugos (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye) február 7.

Február országos átlagban a szokásosnál 20%-kal csapadékosabb volt 2006-ban, a csapadékhozam területek közti eloszlásában azonban nagyok voltak a különbségek. Míg a nyugati országgrészben az átlagnak csupán 60-80%-a, addig az ország keleti régióiban a szokásos mennyiség 2-3-szorosa hullott. Február mindegyik napján előfordult csapadékhullás az ország területén: a hónap közepi-végi enyhébb időszakot kivéve február jellemző csapadéka a hó volt, de ónos esőt is többször regisztráltak. A hónap egészében komoly károkat okozott a belvíz, február végére több mint százötvenezer hektár mezőgazdasági terület került víz alá.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 93 mm Nyírbátor (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

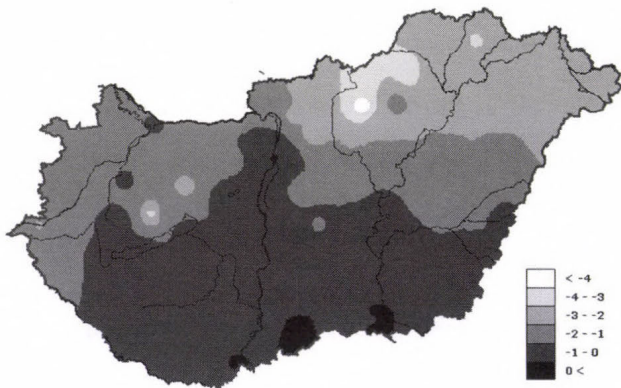
A hónap legkisebb csapadékösszege: 9 mm Szombathely (Vas megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 27 mm Tyukod (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye) február 21.

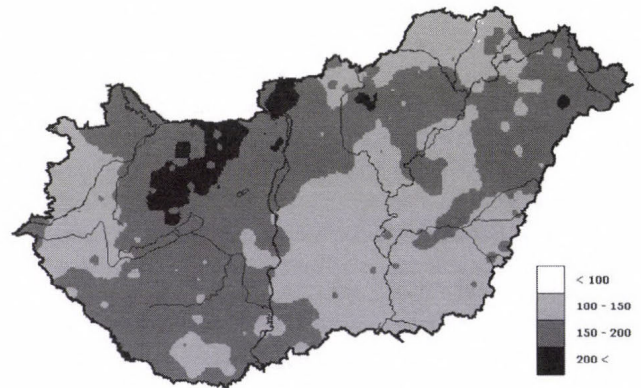
Schlanger Vera

2005/2006. tél

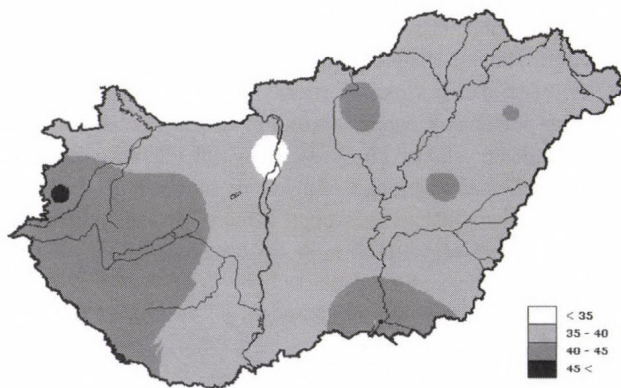
Állomások	Napsütés (óra)		Hőmérséklet (°C)						Csapadék (mm)			Szél
	évsz.össz	eltérés	évsz.közép	eltérés	absz.max.	napja	absz.min	napja	évsz.össz	az átlag%-ában	1mm->napok sz.	viharos napok
Szombathely	212	9	-1,4	-0,9	12,8	2006.02.20	-17,5	2006.01.24	101	118	12	7
Nagykanizsa	176	-27	-1,0	-1,0	16,2	2006.02.20	-16,9	2006.01.25	156	122	19	3
Győr	220	28	-0,9	-1,1	15,4	2006.02.20	-16,5	2006.01.23	177	172	24	4
Siófok	208	9	-0,5	-0,6	16,3	2006.02.20	-13,2	2006.01.23	156	135	18	8
Pécs	190	-28	-0,4	-0,6	15,4	2006.02.20	-13,7	2006.01.24	129	111	24	3
Budapest	230	43	-0,7	-0,7	14,5	2006.02.20	-15,0	2006.01.25	152	148	25	3
Miskolc	260	113	-2,2	-0,6	9,4	2006.02.21	-17,4	2006.01.23	148	163	24	6
Kékestető	278	19	-4,5	-0,8	5,9	2006.02.01	-20,4	2006.01.23	225	140	23	21
Szolnok	183	-13	-0,5	-0,1	14,0	2006.02.20	-14,9	2006.01.23	122	125	28	–
Szeged	203	4	-0,2	-0,1	14,8	2006.02.20	-14,1	2006.02.07	114	123	27	5
Nyíregyháza	–	–	-2,5	-1,2	12,8	2006.02.20	-19,8	2006.01.26	126	138	31	11
Debrecen	197	16	-1,5	-0,6	13,1	2006.02.20	-17,5	2006.01.23	136	122	24	7
Békéscsaba	210	15	-0,7	-0,2	14,4	2006.02.20	-15,5	2006.01.25	144	123	33	1



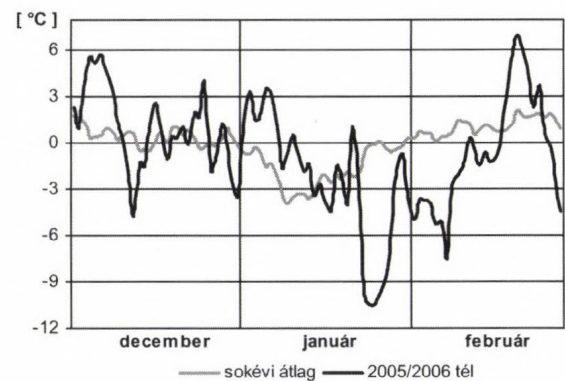
1. ábra: A tél középhőmérséklete °C-ban



2. ábra: A tél csapadékösszege mm-ben



3. ábra: A tél globálisugárzás összege MJ/cm²-ben



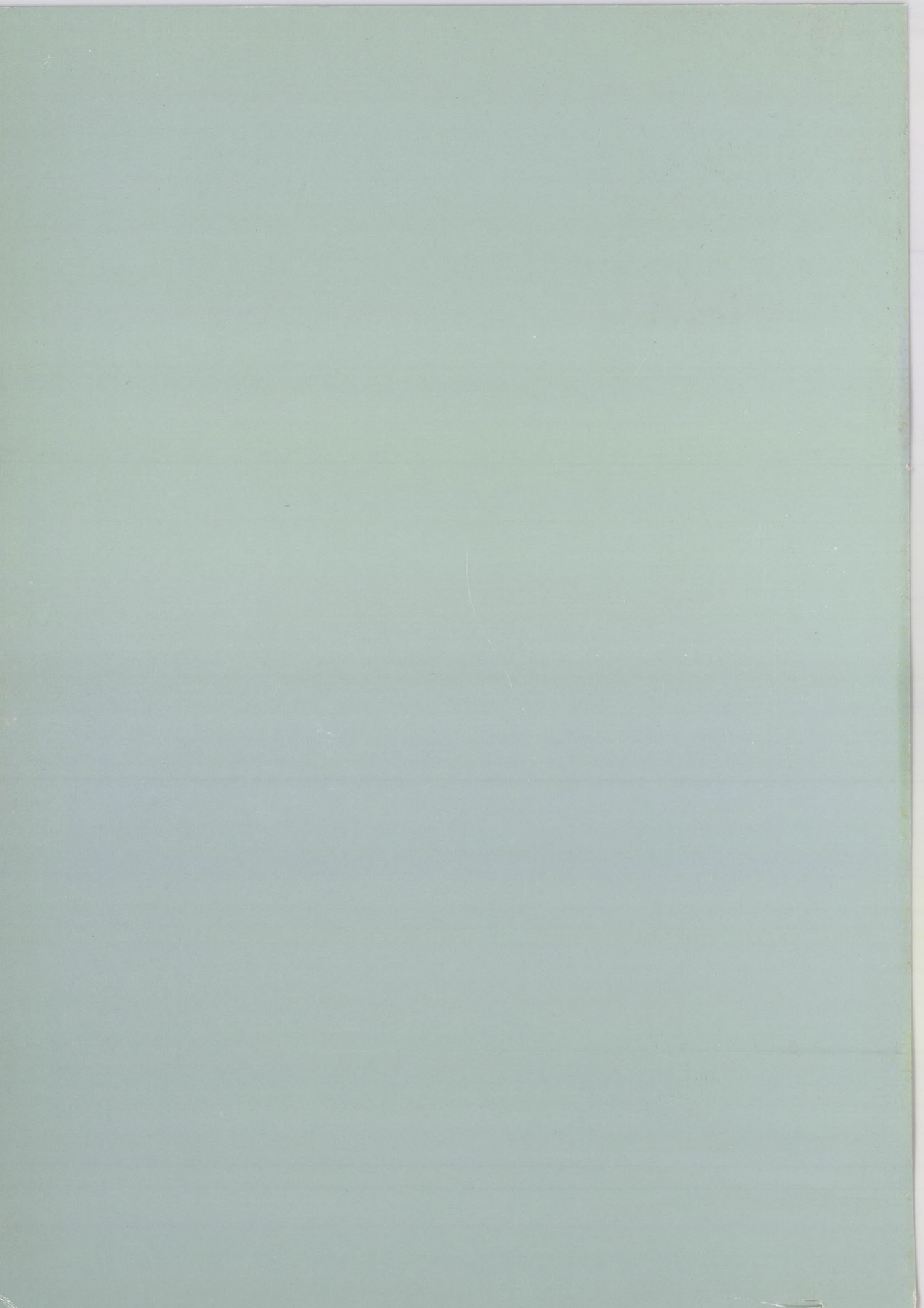
4. ábra: A tél napi középhőmérsékleteinek eltérése az átlagtól °C-ban

HELLMANN, Gustav

(Löwen /Porosz-Szilézia/, 1854. július 3. – Berlin, 1938. február 21.)



Boroszlóban, Berlinben és Göttingenben matematikát és fizikát tanult, majd 1875-ben külföldi tanulmányútra ment és 1878-ban visszatérve *Wildnél* a szentpétervári meteorológiai intézetben dolgozott. 1879-ben tagja lett a berlini Statisztikai Hivatalnak, melynek egyik osztályából az önálló Meteorológiai Intézet kifejlődött. Ennek igazgatója 1885-ben *W. von Bezold* lett, aki az intézetet átszervezte és alatta 1886-tól Hellmann mint osztályvezető működött. Bezold halála után 1907-ben Hellmann lett az utódja, mind az igazgatói székben, mind az egyetemen a meteorológiai tanszéken. 1922-ben vonult nyugalomba. Mint tudós, nagy tekintélynek örvendett, tagja volt a Porosz Tudományos Akadémiának, a német Meteorológiai Társaságnak elnöke (1907-1923), majd annak díszelnöke, egy ideig pedig a Földrajzi Társaságnak is elnöke volt. Aktív korában érdeklődése a műszerek szerkesztése iránt is kiterjedt, bizonyítja a *Hellmann-féle regisztráló esőmérő* és egyebek között a naueni rádiótorony szélmérővel való felszerelése. Irodalmi munkássága nagyon tekintélyes. A berlini Akadémia értesítőjében (*Sitzungsberichte*) és a *Meteorologische Zeitschriften*ben számtalan meteorológiai értekezése jelent meg; az utóbbi folyóiratnak (1892-1906) *Hann*-nal együtt szerkesztője is volt. Működésének súlypontja az éghajlatra esik, amelybe az exakt megfigyeléseket és módszereket vezette be. Számos régi megfigyelést újból kiadott (*Neudruck*). 70-ik születésnapja alkalmából (1924) a porosz közoktatásügyi miniszter megalapította a *Hellmann-érmet*, amellyel azóta a berlini Meteorológiai Intézet sokévi odaadó munkatársait jutalmazták. A budapesti Meteorológiai Intézetet és az ógyallai Obszervatóriumot 1911-ben tisztelte meg látogatásával.

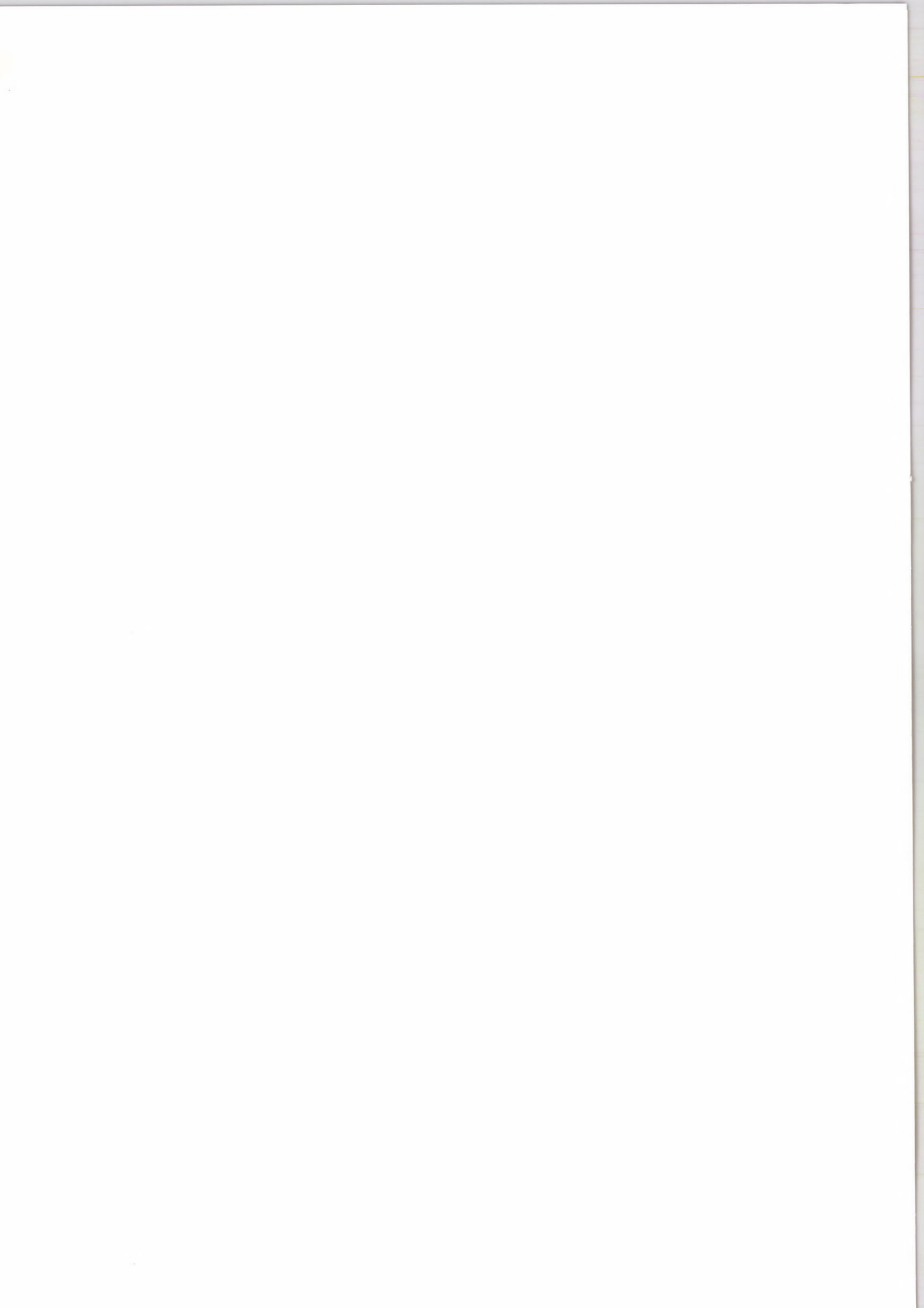


L É G K Ö R

51. évfolyam

2006. 2. szám





LÉGKÖR

51. évfolyam
2. szám

Felelős szerkesztő:
Dr. Ambrózy Pál
a szerkesztőbizottság
elnöke

Szerkesztő bizottság:
Dr. Bartholy Judit
Bihari Zita
Bóna Márta
Dr. Gyuró György
Dr. Haszpra László
Dr. Hunkár Márta
Ihász István
Németh Péter
Dr. Putsay Mária
Szudár Béla
Tóth Róbert

ISSN 0133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Dunkel Zoltán
az OMSZ elnöke

Készült:
Az **FHM Kft.**
nyomdájában
800 példányban

Felelős vezető:
Modla Lászlóné

Évi előfizetési díja 1380 Ft

Megrendelhető
az OMSZ Pénzügyi Osztályán
Budapest, Pf.: 38. 1525

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI
SZOLGÁLAT ÉS A MAGYAR
METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

TARTALOM

A címlapon: „Aranygömbök”. Különleges felhőpamacsok (floccus) hajnali megvilágításban.
A felvételt Kiss Márton készítette Sopronban 2006. május 29-én 03 UTC-kor.

Homokné Újváry Katalin: Tavaszi ár a Dunán és a Tiszán	2
KISLEXIKON	5
Gyüre Balázs, Jánosi Imre, Szabó K. Gábor és Tél Tamás: Környezeti áramlások és szemelvények a Kármán Laboratórium kísérleteiből: Kísérletek forgatott folyadékkal	6
Dunkel Zoltán: Dr. Starosolszky Ödön (1931–2006)	10
Vincze Csilla, Lagzi István és Mészáros Róbert: Húsz éve történt a csernobili katasztrófa: baleseti kibocsátás modellezése	11
Makra László, Béczi Rita, Sümeghy Zoltán, Mika János, Motika Gábor és Szentpéteri Mária: Időjárási típusok légszennyezettség centrikus objektív osztályozása Szegedre	15
Kalmár Györgyné: Néhány szó a tavaszról	26
Mersich Iván: A szélenergia hasznosításának környezeti hatása	28
KISLEXIKON	33
A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI	34
OLVASTUK: Gyorsul a grönlendi jég olvadása	38
Schlanger Vera: 2006 tavaszának időjárása	39

TAVASZI ÁR A DUNÁN ÉS A TISZÁN

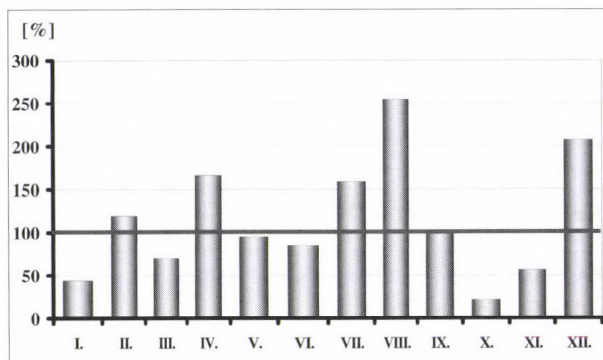
Volt már rá példa folyóink „árvízi történelmében” arra, hogy a Duna és a Tisza egyszerre áradt. 80%-ot elérő illetve meghaladó mederteltséggel definiált árhullámot a Dunán és a Tiszán egyidejűleg 1940, 1952, 1958, 1962, 1970, 1971, 1975-ben is megfigyeltek (Bodolainé, 1983).

2006 tavaszán is mindkét folyó áradt, a vízszint emelkedés rekord vízállásokat eredményezett (pl. Budapesten április 4-én 860 cm-rel tetőzött a Duna, amely új LNV-t/legnagyobb víz/ jelent, de Csongrádnál sem volt még ilyen magas a Tisza, mint április 22-én, amikor 1034 cm-t mutatott a vízmérce).

Az árhullámok létrejöttében rendkívüli meteorológiai feltételek ezúttal nem mutathatók ki, több, az árhullámok kialakulásához kedvező feltétel együttes fennállása azonban folyóink jelentős és hosszan elhúzódó áradásához vezetett.

2005-2006 telének és tavaszának csapadékviszonyai

Közel egy éve a híradások vissza-visszatérő témája a víz: gyakran tudósítottak a médiák felhőszakadásról, áradásról, belvízről.

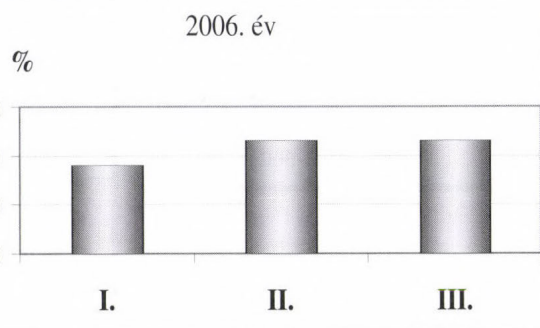
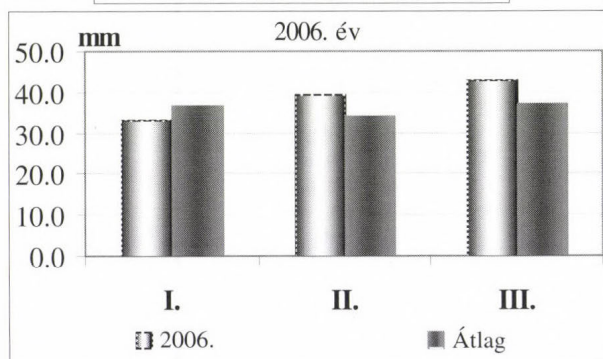
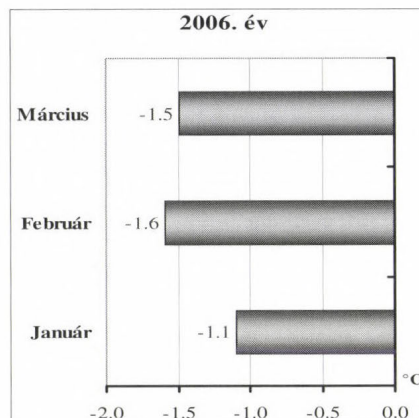


1. ábra: 2005. év havi csapadékösszegei a sokévi átlag %-ában

2005 áprilisában felhőszakadás zúdult Mátrakeresztesre, májusban újabb felhőszakadás okozott komoly gondot Mádton. 2005 nyara is szolgált rendkívüli eseményekkel; a mérések kezdete óta országunkban még nem esett annyi eső augusztusban, mint 2005-ben. ősszel már kevesebb, de a tél első hónapjában, decemberben ismét több csapadék hullott az átlagosnál (az 1. ábra 2005 havi csapadékaikról tájékoztat). Januárban valamivel kevesebb, februárban és márciusban újra több csapadék volt, mint a sokévi átlag. (2006 első három hónapjának hőmérsékleti- és csapadékviszonyait a 2. ábrán láthatjuk)

Röviden a téli hónapok időjárásáról:

December 1. és 9. között egy nyugat-európai ciklon előoldalán térségünket több hullámban nedves levegő érte



2. ábra: Középhőmérséklet és csapadékösszeg alakulása 2006 első három hónapjában

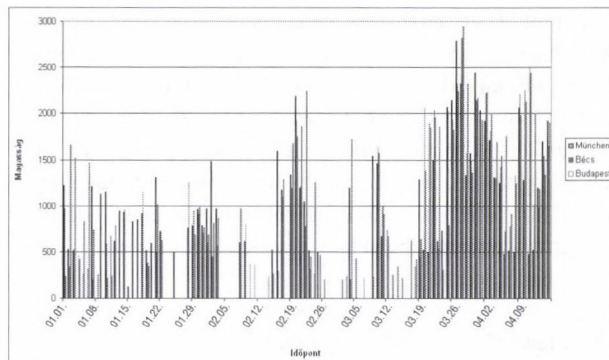
el, többfelé esett az eső. December 5-én és 6-án ebben az alacsony nyomású mezőben egy mediterrán ciklon is átvonult délnyugatról északkelet felé. A csapadékperiódus végén, elsősorban a magasabban fekvő területeken már havazott. December 10. és 26. között csak néhány csapadékos nap volt, érintőleges hidegfront átvonulás fordult elő, illetve anticiklon peremén – a magasban történt melegedés hatására – havazott. December utolsó napjaiban ismét mozgalmassabbá és csapadékosabbá vált időjárásunk. Mediterrán ciklon hatására sokfelé hullott eső, hó egyaránt. A decemberi csapadék a környező hegyekben jelentősebb hófelhalmozódást eredményezett. A tartós december végi

esők Magyarország keleti részén, elsősorban az Alföld lefolyástalan területein pedig nagy területen belvizet okoztak.

Január elején is folytatódott a mediterrán ciklon-aktivitás; január elsején és másodikán sokfelé hullott jelentős mennyiségű csapadék. Az átmeneti melegedés hatására többnyire eső esett. Ezután januárban – a január 18. és 22. közötti időszakot kivéve, amikor északnyugatról érkező frontok hatására átmenetileg változékonyabbá vált az idő – döntően anticiklon határozta meg az időjárást. Végül is januárban valamivel kevesebb csapadék esett az átlagosnál, de a hónap elején az Alpokban intenzív hófelhalmozódás történt, és a Kárpátokban is vastagodott a hó a december végi, januári csapadék hatására. Az Alföldön a belvíz nem szűnt meg, a víz a hónap második felének erős éjszakai lehülése miatt megfagyott és a talaj is 15-20 cm mélységig átfagyott.

Februárban Magyarországon már több csapadék hullott a szokásosnál, a vízgyűjtők térségében is változékony, többször csapadékos volt az idő. Február 6-ig döntően anticiklonális hatások érvényesültek, de 7-től 12-ig már ciklon alakította az időjárást. A Dánia feletti ciklon melegfrontja mentén kezdetben többfelé havazott, majd a ciklon hidegfrontján kialakuló peremhullám vonult át a Kárpát-medence felett, eső, ónos eső, havazás egyaránt előfordult. Pár anticiklonális nap után a hónap második felében ismét ciklonok hatása érvényesült. A Nyugat-Európa felett elhelyezkedő több középpontú ciklon hatására kialakult nyugati, délnyugati áramlással több hullámban érkezett a nedves, enyhébb levegő. A hókészlet a melegedés hatására csökkent. A február 16-tól 22-ig tartó ciklontevékenység lezáró tagja egy délnyugatról keletre mozgó peremciklon volt, amely főként a Tisza alsó szakaszán okozott területi átlagban is jelentős esőt. A hónap utolsó napjaiban pedig a Földközi-tenger középső medencéje feletti ciklon melegfrontja okozott esőt, helyenként havazást. A belvizes terület nagysága februárban a fagyos, beszívárgásra képtelen talajon tovább nőtt.

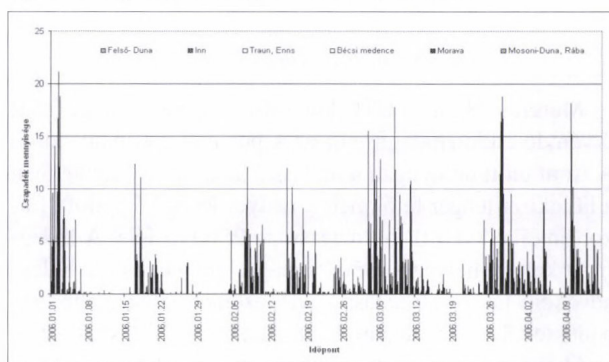
Januárban 3, februárban 5 olyan nap fordult elő, amikor az Alpok és a Kárpátok térségében elérte vagy meghaladta a lehulló csapadék mennyisége területi átlagban a 10 mm-t, márciusban már több, 12 nagycsapadékos nap volt. Március elején és a hónap utolsó harmadában hullott több csapadék, amelynek mennyisége összességében ismét az átlag felett alakult. Március 1. és 13. között nyugatról keletre vonuló ciklonokhoz köthetjük a csapadékot, egy-egy napon önálló örvény is kialakult; így pl. március 4-én és 5-én a Tisza felső szakaszán kialakuló mezoléptékű örvény területei átlagban 37, illetve 22 mm körüli csapadékot eredményezett a Felső-Tiszán. Március 8. és 11. között pedig a Duna felső szakasza feletti kis örvényben hullott több, területi átlagban 10-20 mm csapadék. Március 13. és 23. közötti átmeneti csapadék szünet után a hónap utolsó harmadában több alaklommal a nyugatról keletre vonuló frontokhoz köthető csapadékot már intenzívebb melegedés kísérte, a 0 fok magassága 1500, időnként 2500 m fölé emelkedett (3. ábra).



3. ábra: 0 fok magasságának alkulása 2006. január 1. és április 15. között

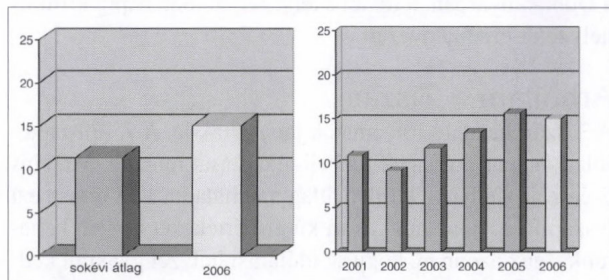
Árhullám a Dunán

A 4. ábrán a Duna felső szakaszának területi csapadékatlagait láthatjuk január 1. és április 15. között. Ahogy már utaltunk rá január első napjai, március eleje, illetve utolsó harmada volt csapadékosabb. Az ábra azt is jól mutatja, hogy rendkívüli csapadékmennyiségek nem figyelhetők meg ezen időszak alatt. A 2002-es augusztusi dunai árhullámot meghatározó ciklon csapadék hatékonysága pl. jóval nagyobb volt, akkor egy-egy nap területi átlaga elérte a 40-60 mm-t. 2006 első közel száz napján nem fordultak elő ilyen mennyiségek, de gyakori volt a csapadék.



4. ábra: Területi csapadékatlagok a Duna felső szakaszán 2006. január 1. és április 15. között

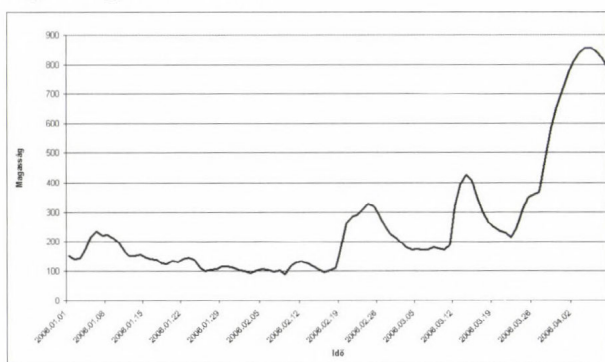
A hófelhalmozódás viszont intenzívebb volt az átlagosnál a gyakori fagypont alatti hőmérséklet következtében (5. ábra; forrás: vituki.hu). Január első felében, valamint február közepén a hóban tárolt vízkészlet értéke meghaladta



5. ábra: A hóban tárolt vízkészlet értéke 2006-ban és a sokéves átlag, valamint az elmúlt évek hóban tárolt vízkészlet értékei. Duna-Nagymaros

az elmúlt 20 év maximális értékét is (Bartha-Gauzer, 2006). A legintenzívebb volt a hófelhalmozódás 2005 végén és 2006. február 10. környékén. A 0 fok alakulása alapján elmondhatjuk, február közepén és március 20. után figyelhető meg erőteljesebb melegedés. A február közepi enyhülés csak pár napig tartott, március utolsó harmadában azonban tartósan 1500 m fölé, sőt időnként 2500 m fölé emelkedett a 0 fok, amely a magasabban fekvő területek hókészletét is jelentősen csökkentette.

A február közepi melegedés és csapadék, valamint március elejének csapadékosága már emelte a Duna vízszintjét (6. ábra). Jelentős és gyors vízszintemelkedést azonban a március végi csapadék (márc. 28-29.) és az intenzív melegedés együttese okozta.



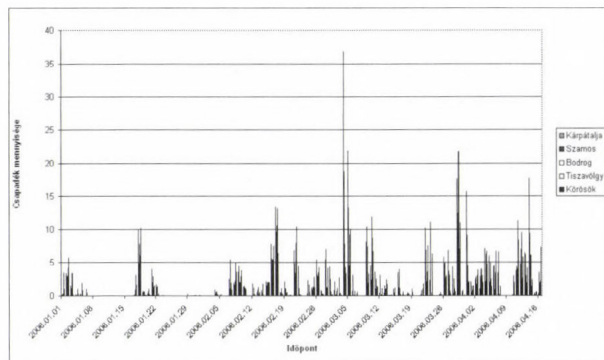
6. ábra: A Duna vízállásának alakulása Budapesten 2006. január 1. és április 8. között

Március 28-án 00 UTC-kor a Brit-szigetek térsége felett örvénylő ciklon hidegfrontja az Alpok előterében húzódott. A front előtt délnyugati áramlással az alacsony szintekben a Földközi-tenger felől meleg, nedves levegő áramlott. Ekkor emelkedett a 0 fok magassága 2500 m fölé. A hidegfront keletre helyeződésével a magasban meginduló hidegadvекció labilizáló hatása következtében intenzívebb csapadéktevékenység alakult ki 28-án a Duna felső szakaszán.

Összegzésként megállapítható, hogy 2006 kora tavaszán a Duna térségében több, az árhullámok kialakulásához külön-külön is kedvező feltétel együttese állt fenn. Intenzív melegedés csapadékkal párosult, a hóolvadás és a csapadék együtt vezetett az áradáshoz. Ezek a folyamatok szinte az egész felső szakaszon egyszerre zajlottak, a Vág, a Garam, az Ipoly a Dunával szinte egyszerre áradt, amely a Dunakanyarban, a főváros térségében több napig kritikus helyzetet eredményezett.

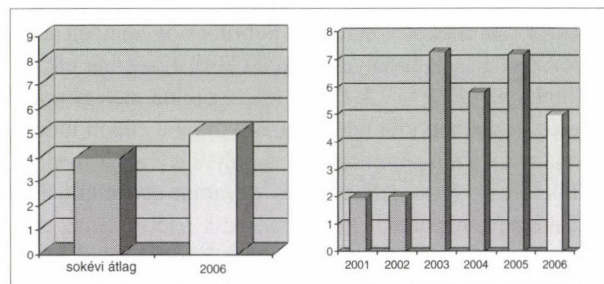
Árhullám a Tiszán

A Tiszán hasonló folyamatok játszódtak le. A 7. ábra a területi csapadékatlagok időbeli alakulását mutatja. Március 5-én Kárpátján a területi átlag meghaladta a 35 mm-t, ezt leszámítva azonban gyakori kiugró értékeket itt sem láthatunk. Igaz azonban, hogy az időjárási helyzet gyakran kedvezett a Bihar-hegységben az orografikus csapadéktöbblet kialakulásának, a Tisza magyarországi alsó szakaszán több csapadék hullott, ha nem is rendkívüli.



7. ábra: Területi csapadékatlagok a Tisza vízgyűjtőin 2006. január 1. és április 15. között

Az átlagnál több csapadék és többnyire hidegebb időjárás következtében a hófelhalmozódás itt is átlag feletti volt (8. ábra, forrás vituki.hu).



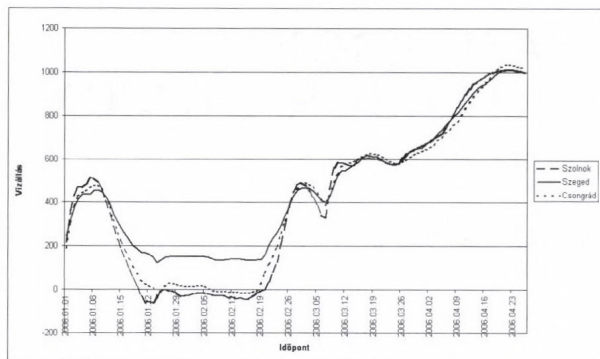
8. ábra: A hóban tárolt vízkészlet értéke 2006-ban és a sokéves átlag, valamint az elmúlt évek hóban tárolt vízkészlet értékei. Tisza-Szeged

A Tisza esetén két időjárási helyzetet kell röviden kiemelni; március 5-ét, amikor a legtöbb csapadék hullott, illetve március 29-ét, amely után a Tisza vízszintje hamarosan elérte a harmadfokú készültségi szintet. Március 5-én Európa középső területe feletti alacsony nyomású rendszerben önálló peremhullám vonult Észak-Olaszországtól északkelet felé, amely peremhullám a Felső-Tisza felett vált aktívvá. Hasonlóan március 29-én is egy a felső szakasz felett megerősödő örvényhez köthető a csapadék.

A Tisza esetében sem beszélhetünk rendkívüli időjárási feltételekről. Gyakori, az átlagnál valamivel több csapadék, és az átlagot meghaladó hófelhalmozódás után március utolsó harmadában a csapadékot erőteljes melegedés kísérte. A Tisza áradásával egyidejűleg a Körösök jelentős vízszint emelkedése tartósan kritikus helyzetet eredményezett a folyó mentén.

Összefoglalás

1998-ban a Felső-Tiszán a tartós csapadékhullás következtében alakult ki áradás. 2000-ben hóolvadás és egy-két nap kiemelkedő csapadéka vezetett a kritikus árhullámhoz a Tisza felső szakaszán, 2001-ben két nagycsapadékos nap volt a közvetlen kiváltó oka a gátszakadással is járó tiszai árhullámnak. 2002-ben a Dunán két mediterrán ciklon északra helyeződése során hullott kiemelkedő, jelentős csapadékmennyiségekben kereshettük az áradás okát.



9. ábra: Vízállások alakulása a Tiszán

A mostani árhullámhoz mind a Dunán, mind a Tiszán a március végén meginduló intenzív hóolvadást kísérő csapadék vezethetett, amelyhez a mellékfolyók egyidejű áradása is párosult. Jelen esetben tehát több, az árhullám kialakulásához külön-külön is kedvező tényező együttes fennállása, találkozása a meghatározó.

Vissza-visszatérő kérdés egy-egy jelentős árhullám után, hogy a természet felülmúlhatja-e önmagát, azaz számolhatunk-e még nagyobb árhullámok kialakulásával. Már a korábbi hidrológiai vizsgálatok – az 1998-as felső-tiszai árhullám tanulmányozása (Gauzer-Bartha, 1999) – is felhív-

ta a figyelmet arra, hogy az árvíz okozó meteorológiai helyzetek az eddig előfordultaknál csupán kissé kedvezőtlenebb alakulása is rendkívüli következményekkel járhat. 2006. február végén is figyelmeztettek a hidrológusok arra (Gauzer-Bartha, 2006), hogy jelentős dunai és tiszai árhullám kialakulásának az esélye az átlagnál nagyobb. Az eddigieknél még nagyobb árhullámok létrejöttéhez több kedvező feltétel együttes fellépése az időjárás rendkívülivé válása nélkül is kedvező feltételeket teremthet.

Homokiné Újváry Katalin

Irodalom

Bodolainé Jakus Emma, 1983: Árhullámok szinoptikai feltételei a Duna és a Tisza vízgyűjtő területén OMSZ Hivatalos Kiadványai LVI. kötet

Dr. Gauzer Balázs - Bartha Péter, 1999: Az 1975. és 1998. évi felső-tiszai árhullámok összehasonlítása, árvízi szimulációs vizsgálatok Vízügyi Közlemények, LXXXI: Évf. 1999/3. Füzet, 354-387 old.

Dr. Gauzer Balázs – Bartha Péter, 2006: Tájékoztató a Dunán és a Tiszán 2006. tavaszán várható lefolyási viszonyokról www.vituki.h

KISLEXIKON

[Cikkeinkben csillag jelzi azokat a kifejezéseket, amelyek a kislexikonban szerepelnek]

β-hatás

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

Egy változó kerületi sebességgel forgó felületen (pl. gömbön vagy kúpon) a forgó rendszerekre jellemző ún. eltérítő erő (más néven Coriolis-erő) értékének változásából származó hatás. Értékét a forgás szögsebessége (O) és a forgó felület sugara (R) ismeretében egy adott ϕ szélességen a következő összefüggésből lehet kiszámolni: $\beta = (2 \Omega \cos \phi) / R$.

e-szereződés

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

A természetes logaritmus alapszámának (e) értékével jellemezhető növekedés.

fraktál alakzat

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

Olyan szabálytalan geometriai alakzat a síkban, amelynek egyes részei hasonló alakúak, mint a teljes idom. Nem fedik le egyenletesen a rendelkezésre álló síkdarabot, ezért kiterjedésüket az ún. fraktáldimenzióval szokás jellemezni, amelynek értéke 1 és 2 közé esik. Gyakran alkalmazzák pl. felhők vagy radarjelek kerületének meghatározására. A pozitív Ljapunov-exponenssel jellemezhető áramlási térben a lehetséges pályák összessége is fraktál alakzatú.

Ljapunov-exponens

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

Azt fejezi ki, hogy egy áramlási térben az egyes részecskék pályája hogyan viszonyul egymáshoz. Ha értéke nulla, a részecskék körpályán mozognak (konzervatív, más szóval semleges pályák). A negatív Ljapunov-exponenssel jellemezhető áramlási térben minden pálya egy ún. vonzási pont felé tart. Pozitív exponens esetén a pályák véletlenszerűnek tűnnek, de egy ún. vonzási tartományon (attraktoron) belül maradnak. Ez utóbbi a kaotikus, vagyis a determinisztikus, nemperiodikus mozgások jellemzője.

Rossby-hullám

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

Egy változó kerületi sebességgel forgó felületen (pl. gömbön vagy kúpon) kialakuló hullámzó mozgás. Kialakulásának oka a forgó rendszerekre jellemző ún. eltérítő erő (más néven Coriolis-erő) értékének változása a forgástengelytől távolodva (vö.: β-hatás). A nagytérségű légköri mozgásokat jellemző planetáris hullámok modellje laboratóriumi kísérletekben és légkörmodellekben. Első leírását Carl-Gustav Rossby (1898–1957) svéd meteorológus adta meg.

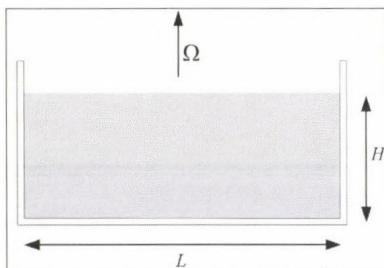
Folytatás a 33. oldalon.

KÖRNYEZETI ÁRAMLÁSOK SZEMELVÉNYEK A KÁRMÁN LABORATÓRIUM KÍSÉRLETEIBŐL *

2. rész: Kísérletek forgatott folyadékokkal

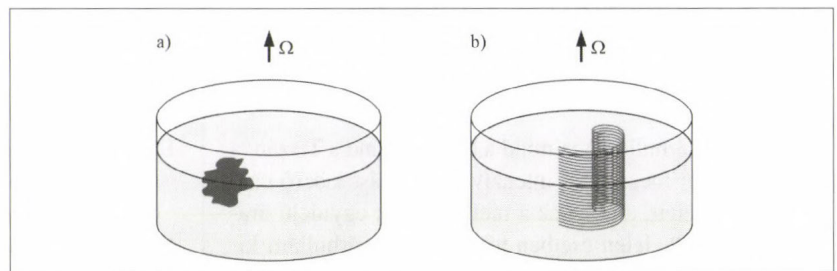
Az áramlások kétdimenziós jellege: a Taylor-oszlop

A következő kísérletekben L szélességű, függőleges tengelye körül Ω szabályozható szögsebességgel forgatott hengeres edényt használunk, amely H átlagos magasságú vizet tartalmaz (26. ábra).



26. ábra: Fogatott hengeres edény (tipikus adatok: $L=40$ cm, $\Omega=6-60$ 1/s, $H=5-20$ cm)

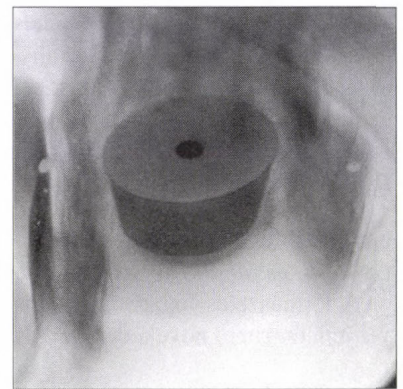
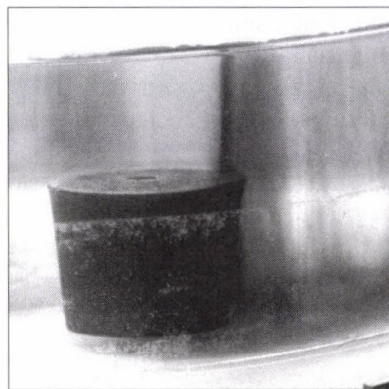
A forgatás (csakúgy, mint a rétegzettség) már önmagában is kétdimenzióssá igyekszik tenni az áramlást. Geosztrofikus egyensúlyban a Coriolis-erő és az azt kompenzáló nyomási gradiens erő a vízszintes síkban hatnak, nincs függőleges (a forgástengellyel párhuzamos) összetevőjük. Az egymás alatti vízszintes rétegek tehát azonosan, együtt mozognak. Az áramlásnak ezt a kétdimenziós szerkezetét a laboratóriumban is könnyen bemutathatjuk. Az egyik ilyen kísérletünk során színezéket juttatunk (pl. fecskendő segítségével) a forgatott folyadékba (27a ábra). A kezdetben formátlan festékfolt függőleges felületek mentén terjed szét, „festékfüggönyök” alakulnak ki (27b ábra). Az áramlás minden mélységi szinten egyformán viselkedik, a felülnézeti képen ezért jelenik meg egy éles mintázat (lásd



27. ábra: a) Fecskendő segítségével festéket juttatunk a forgatott folyadékba, kezdetben egy formátlan festékfolt látható az edényben; b) Rövid idő elteltével a folt függőleges felületek mentén oszlik el, „festékfüggönyök” keletkeznek



28. ábra: a) A forgatott, vízzel telt edény fekéén rögzített alacsony henger elé festéket fecskendezünk. b) A szétterjedő festék a 27. ábrának megfelelően függőleges felületek mentén oszlik szét a folyadék teljes mélységében (a felülnézeti képen ezért jelenik meg egy éles mintázat), de nem folyik rá a hengerre, hanem megkerüli a fölötte lévő vízoszlopot, a Taylor-oszlopot is



29. ábra: A Taylor-oszlop kialakulása a kísérletben: a) Oldalnézet, a festék még csak részben folyta körül az oszlopot, festékfüggönyök formájában. b) Fél-felülnézet, a körbefolyás már majdnem teljes

28. ábra). Ez a szerkezet figyelhető meg bizonyos, parttól távoli tengeráramlatok esetében is, amelyek helyenként több kilométeres mélységig azonosan mozognak.

Egy másik kísérletben egy, a

vízmélységnél lényegesen alacsonyabb henger alakú testet rögzítünk az edény fekéére, majd a rendszert, miután sokáig forgattuk, kissé lelassítjuk. Ekkor áramlás indul meg, amely megkerüli a hengert, de nem-

* A Környezetfizikai laboratóriumi gyakorlatok (szerkesztette Kiss Ádám), ELTE Eötvös Kiadó, 2005 című tankönyv képanyaga alapján.

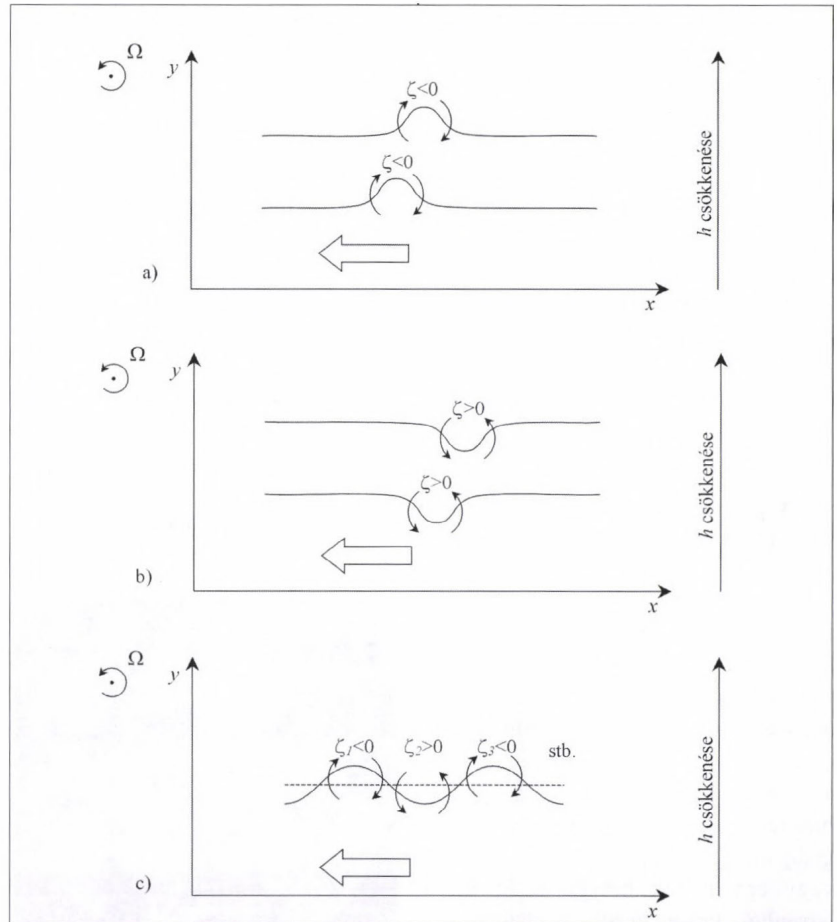
csak az edény alján, hanem a víz teljes mélységében, hiszen az áramlás minden szinten azonos. A henger feletti folyadékoszlop áll a hengerhez (és az edényhez) képest (28, 29 ábra). Ezt az ún. Taylor-oszlopot áramolja körbe a környező folyadék, ami festéssel jól láthatóvá tehető.

A Rossby-hullám

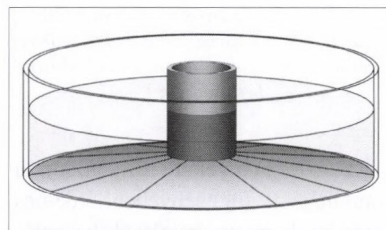
A geosztrofikus áramláshoz a kis pozitív Rossby-szám esetén hozzáadódó, gyengén időfüggő mozgást közelgeosztrofikusnak, kvázigeosztrofikusnak nevezünk. Ennek egyik legfontosabb fajtája, az ún. Rossby-hullám*, amely a forgatott közegek leglassúbb periodikus mozgása.

Ha a folyadék aljzatát képező domborzat enyhén lejt valamelyik irányban, és egy örvénymentes függőleges csíkot a sekélyedés irányában megörbítünk, akkor a magasság csökkenése miatt a potenciális örvényesség megmaradásának tétele értelmében az örvényességnek negatív értéket kell felvennie. Mélyebb rétegbe való vízszintes kitérés esetén pedig pozitív többletörvényességnek kell kialakulnia, vagyis az örvényesség változása mindig ugyanabba az irányba sodorja a folyadékvonalat, hullám alakul ki. Pozitív forgatási szögsebesség (északi félteke) esetén a haladás irányától jobbra esik a sekélyebb közeg, és fordítva. A létrejövő hullám a topografikus Rossby-hullám (30. ábra) amelyben a folyadékoszlopok nagyon lassan oszcillálnak, és a változó mélység miatt az oszlopok örvényessége is periodikusan változik. A vízfelszín behorpadása vagy kidudorodása (amely, ciklonális ill. anticiklonális áramlást kelt) elősegítheti a Rossby-hullám keletkezését, vagy befolyásolhatja a már meglévő hullámot.

A természetben jellemzően az óceánok enyhén lejtő partjai mentén alakulnak ki topografikus Rossby-hullámok. Nagyon lassúak, sebességük néhány km/h, periódusidejük néhány nap. Tipikus hullámhosszuk 100 km körüli.



30. ábra: a) A felső görbe vonallal jelölt folyadékrész bal oldalát a potenciális örvényesség megmaradása miatt kialakult negatív többletörvényesség y növekedésének irányában deformálja, jobb oldalát ezzel ellentétes irányban, ami által a görbület balra mozdul el (alsó görbe vonal). Mivel az örvényesség így továbbra is negatív marad, a görbület folyamatosan balra halad. b) Hasonló megfontolások alapján az ellenkező irányú görbület is folyamatosan balra halad. c) Minthogy mindkét irányú görbülés balra tolja önmagát, az egész hullámalakzat balra vonul.

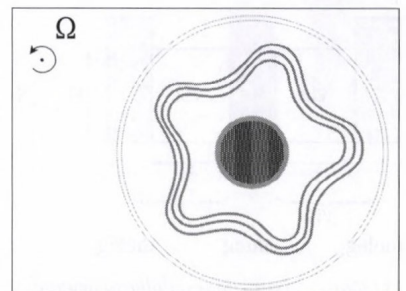


31. ábra: Enyhén kúpos aljú edény, mellyel a β -hatás laboratóriumban létrehozható

A Föld görbülete miatt (β -hatás*) is keletkeznek ilyen hullámok, ezek az ún. *planetáris Rossby-hullámok*, amelyek a légköri folyamatok és az időjárás meghatározó tényezői, és mindkét féltekén nyugati irányban haladnak. A topografikus Rossby-hullámok az azonos mélységi szintvonalak, a planetáris Rossby-hullámok pedig a szélességi körök mentén terjednek.

A laboratóriumban könnyen létrehozhatunk Rossby-hullámokat. A jelenség tanulmányozásához olyan kúpos aljú edényt használunk, amelyben a tengely felé haladva az edény aljzata emelkedik, azaz a folyadék vastagsága csökken (31. ábra).

A kísérletben kialakuló Rossby-hullám sémáját a 32. ábra szemlélteti.

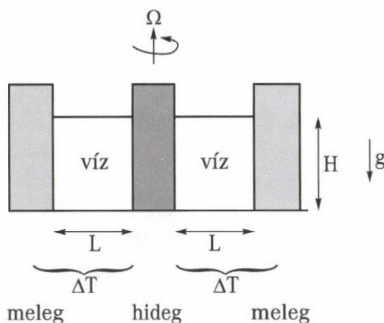


32. ábra: Laboratóriumban demonstrált Rossby-hullám felülnézetben

Pozitív forgatási irány esetén a hullám az együttforgó vonatkoztatási rendszerben megfigyelve negatív (az óramutató járásával megegyező) irányban a kerüli meg a forgástengelyt. Ennek megfelelően az északi féltéken a sekélyebb, vagy nagyobb Coriolis-paraméterű közeg a Rossby-hullám terjedési irányának jobb oldalára esik. A szélességi kör mentén önmagába záródó hullámalak hullámszámát a gerjesztés részletei szabják meg. A légkörben tipikusan 3–6 hullám alakul ki egy szélességi körön.

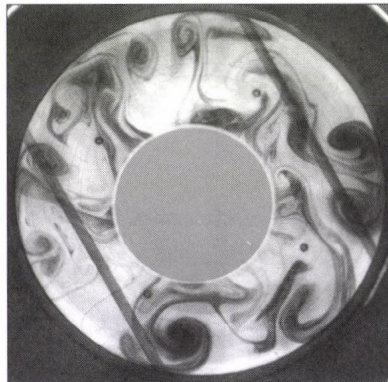
A baroklin instabilitás kísérleti kimutatása

Forgatott rendszerben, vízszintes irányú hőmérsékletkülönbségnek kitett folyadék vizsgálatához egy henger alakú edényt koaxiálisan három részre osztunk, melyeket jó hővezető falakkal választunk el. A belső kis hengert hidegen tartjuk, a külső hengergyűrűt pedig melegen. Ezek képviselik a Föld vagy egy másik bolygó sarki ill. egyenlítői tartományait. A közbenső gyűrűben elhelyezkedő folyadék mozgását rendszerint a mérsékelt övi légkör modelljének szokás tekinteni. Kísérleti paraméterként változtatható az Ω szögsebesség, a ΔT hőmérsékletkülönbség, a folyadék H mélysége és a közbenső hengergyűrű L szélessége (33. ábra), illetve, különféle folyadékokat használva az α hőtágulási együttható is. Ez a XX. század 50-es, 60-as éveiben oly híressé vált Fultz-féle forgómedencés kísérlet.



33. ábra: A baroklin instabilitás kimutatásának forgómedencés kísérleti elrendezése és jellemző paraméterei

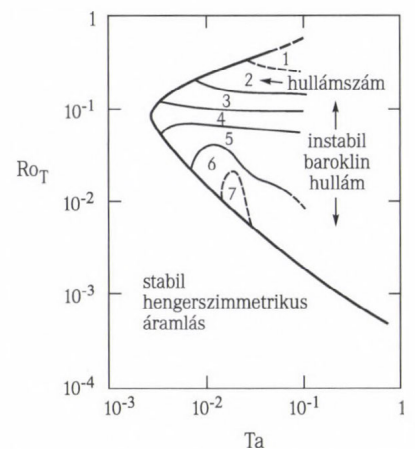
Az áramlást ismét a vízbe juttatott kis mennyiségű festékkel tesszük láthatóvá. A paraméterek változtatásával a hőmérsékletkülönbség hatására kialakuló, eredetileg forgásszimmetrikus termikus áramlás instabillá válik, ez a baroklin instabilitás. Az instabilitás hatására kialakuló baroklin hullámok a paraméterek széles tartományában egyre nagyobb amplitúdójúvá válnak, és jobbra ill. balra forgó örvényekre esnek szét (34. ábra). A kísérlet tehát egyrészt a baroklin instabilitás megvalósítását célozza elhanyagolható β -hatás esetén (hiszen az aljzat most vízszintes), másrészt pedig a globális légkörzés általános tulajdonságainak felderítését is szolgálja.



34. ábra: A baroklin instabilitás következtében kialakuló tipikus áramlási kép a forgómedencés kísérletben ($L=10$ cm, $\Omega=10$ rpm). A megfestett tartomány kezdetben egy körgyűrű, s az hasad fel ciklonális és anticiklonális örvényekre az instabilitás hatására. (A két párhuzamos csík az edény alatt lévő szerkezeti elem, az áramlást nem befolyásolja.)

Az eredményeket dimenziótlan kombinációk függvényében érdemes megadni, hogy az áramlások hasonlósági törvényei szerint rögtön leolvasható legyen jelentőségük a környezeti jelenségek szempontjából is. A termikus áramlás erősségét a $Ro_T = g\alpha \cdot \Delta T \cdot H / 2\Omega^2 L^2$ dimenziótlan szám, az ún. termikus Rossby-szám fejezi ki. A másik fontos dimenziótlan paraméter a forgatás erősségét mérő $Ta = \Omega^2 L$ Taylor-szám. A Ro_T és Ta paraméter tipikus értéke 10 cm-es L szélességgel és H mélységgel, 10°C hőmérsékletkülönbséggel és percnkénti 3 fordulattal $\Omega=0,3$ 1/s) számolva 0,5, ill. 10^{-3} .

A kísérletek eredményeit a $Ta-Ro_T$ paramétersíkon a 35. ábra foglalja össze. A vastag vonal a stabil forgásszimmetrikus termikus áramlás tartományát választja el a hullámszerű viselkedéstől, ahol a termikus áramlás már instabil. Ez a vonal tehát a baroklin instabilitás határgörbéje. A baroklin hullámok tartományában feltüntetjük a hengergyűrűben megjelenő hullámok számát is. A megfigyelt baroklin hullámok nem kis amplitúdójú lineáris rezgések, hanem nagy amplitúdójú nemlineáris mozgások. Az instabilitás következtében időben eleinte növekvő amplitúdónak a tartály véges geometriai méretei szabnak határt. A hullámhossz is az L vastagsággal azonos nagyságrendű. Sokszor felismerhető egy meanderező központi jet is. Erősebb forgatásoknál a végállapot mindig az, hogy nagy ciklonális és anticiklonális örvények szakadnak le (34. ábra), melyek ugyan változó alakúak, de számuk időben változatlan (35. ábra).



35. ábra: A forgóhengeres kísérlet eredménye a Taylor-szám és a termikus Rossby-szám által definiált paramétereitén (Phillips, 1963).

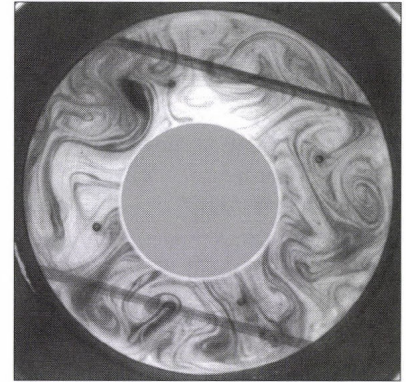
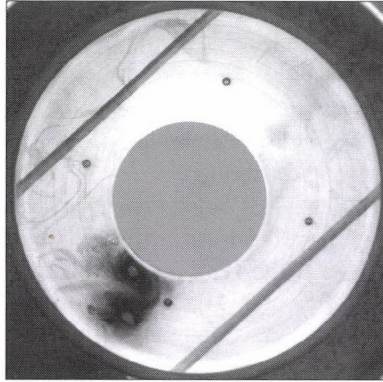
Adott hőmérsékletkülönbség mellett a forgatási sebesség növelése a 35. ábrán egy -1 meredekségű egyenesen lefelé történő elmozdulásnak felel meg. Az egyenes annál feljebb fut, minél nagyobb ΔT . Azt látjuk, hogy a létrejövő instabilitás során leggyorsabban növekvő hullámok hossza (azaz a megfigyelt hullámhossz)

csökken Ω növelésével. A nagy külső hőmérsékletkülönbség hatására kialakuló baroklin hullámok hatékony hőcserét hoznak létre, s a folyadék belsejében megnövelik a lokális sűrűségkülönbséget az alsó és felső rétegek között. A hullámhossz olyan nagygyá válhat, hogy már egyetlen hullám sem fér rá a gyűrűre, s ezzel megszűnik az instabilitás. Ez történik a vastag görbe felső ága mentén.

A globális légkörzés szempontjából a kísérletben a kis Taylor-számoknál tapasztalt viselkedés a Földön megfelel a stabil szubtrópusi zonális áramlásoknak, hiszen itt a Coriolis-paraméter kicsi. Ugyanez a tartomány jellemzi a lassan forgó bolygók (pl. a Vénusz) egész légkörét, ahol a baroklin instabilitás nem játszik szerepet. A mérsékelt égövi tipikus hőmérsékletkülönbségek a Földön jóval nagyobbak, mint a szubtrópusiak. Mivel az átlagos Coriolis-paraméter is hasonlóan változik, ezért a termikus Rossby-szám azonos nagyságrendű e két égövben, a Taylor-szám viszont nem. A szubtrópusiból a mérsékelt égövi zónába való átlépés a kísérletben tehát egy állandó Ro_T -hez tartozó vonal menti jobbra haladásnak felel meg. Az eredmény jól mutatja, hogy a baroklin instabilitás és a nagy amplitúdójú baroklin hullámok megjelenése földi viszonyok között a közepes szélességeken elkerülhetetlen. Az instabillá váló baroklin hullámokból kialakuló nagy örvények a légkörben a ciklonoknak, az óceánokban pedig az áramlatokról leszakadó örvényeknek, gyűrűknek felelnek meg.

Szennyezések nagyskálájú terjedése

A baroklin instabilitást demonstráló kísérlet kapcsán betekintést nyerhetünk egy egészen más jellegű jelenségbe is, a szennyezések nagy távolságkálákon történő terjedésébe. Ehhez először vegyük észre, hogy a nyomjelzőként használt festék maga is tekinthető szennyező anyagnak. A 34. ábra rajzolata világosan mutatja,



36. ábra: Festék szétterjedése a forgómedencés kísérletben. a) Kezdeti lokalizált festékeloszlás, nem sokkal a befecskendezés után. b) Néhányszor tíz fordulat után a festék finom szálas mintázatot mentén helyezkedik el az edény teljes terjedelmében

hogy a festék vékony szálak mentén terjed szét, s az egymás alatti folyadékrétegekben azonos módon. Ennek oka az, hogy nagy skálán a Coriolis-erő dominál, s az minden rétegben azonos módon hat. Az áramlás, mint ahogy a Taylor-oszlopok esetében is láttuk, kétdimenziós.

A szennyezés-terjedés részleteinek megismerése érdekében jutassunk fecskendővel festéket egy kis tartományba. Ez eleinte ugyan gombolyag alakot vesz fel, de néhány másodperc után kacsok alakulnak ki, melyek időben egyre hosszabb és vékonyabb szálakba fejlődnek (36. ábra). A szálak hossza időben exponenciálisan nő. Az exponenciális megnyúlás a kaotikus időfejlődés jele: valóban, a szennyezések terjedési dinamikája nagy skálán, ahol a diffúzió hatása elhanyagolható, kaotikus folyamat. Légköri és óceáni megfigyelésekből ismert, hogy a növekedést jellemző (*e*-szereződési*) időtartam a légkörben néhány nap, az óceánban néhány hét. Ezen karakterisztikus idő reciprok a káosz mérőszámaként használt Ljapunov-exponens (Götz, 2001). Az egyedi szennyező részecskék kaotikus mozgásának következménye, hogy összességük szálas rajzolatú fraktál alakzatot* alkot (36. b ábra) (Tél, Gruiz, 2006).

A Ljapunov-exponens* légkörre vonatkozó néhány napos értéke azt jelenti, hogy egy kezdetben 1 km sugarú szennyezés 1 hónap alatt folyja körbe a Földet, a közepes szélességeken. A megfigyelésekkel összhang-

ban azonban a szennyező anyag nem egy körgyűrű mentén, hanem szálas, fraktál alakzat mentén helyezkedik el. Kísérletünk a légköri szennyezések terjedése szempontjából is hű modellje a mérsékeltövi viselkedésnek, hiszen a kezdeti festékfolt mintegy 30 fordulat után öleli körbe az edényt.

A cikkünk első részében (2006. 1. szám) a szennyezések lokális terjedését bemutató „turbulens fáklya, kéményfüst” témájú kísérlettel összevetve azt mondhatjuk, hogy a szennyezések terjedésében a mintegy 1 km-es távolságokig a turbulencia és az általa felerősített diffúzió fontos szerepet játszik. A 100-1000 km-es skálán azonban ez a hatás már elhanyagolhatóvá válik, s ott a sodródás kaotikus és fraktál jellege határozza meg szennyezés-eloszlást. A Kármán Laboratóriumban a szennyezések terjedésének mindkét arculata jól tanulmányozható.

Irodalom

- Czelnai R., 1999: A világóceán. Vince Kiadó, Budapest
 Czelnai R., Götz G., Iványi Zs., 1982: A mozgó légkör és óceán. OMSZ, Budapest
 Götz G., 2001: Káosz és prognosztika, OMSZ, Budapest
 Gyüre, B. and I. M. Jánosi, 2003: Stratified flow over asymmetric and double bell-shaped obstacles. Dynamics of Atmospheres and Oceans, 37, 155-170 pp.

Jánosi I., Tél T., Szabó G., Horváth V., 2001: A környezeti áramlások fizikája, *Fizikai Szemle* 2001/1, 6-8. old.

Jánosi I., 2005: A cunami (Mi a títka?). *Természet Világa*, 136, 2005/4, 180. old.

Jánosi I., 2006: A cunami (Mindentudás az iskolában). *Fizikai Szemle*, 2006/1.

Phillips, N. A. 1963: Geostrophic Motion, *Rev. Geophys.* 1, 123-176 pp.

Rákóczi F., 1998: Életterünk a légkör. *Mundus Kiadó*, Budapest

Simpson, J. E., 1997: Gravity currents in the environment and the laboratory. *Cambridge University Press*, Cambridge

Tél T., 2003: Környezeti áramlások (jegyzet-kézirat). *ELTE Elméleti Fizikai Tanszék*

Tél T., Gruiz M., 2006: *Coastal Dynamics*, *Cambridge University Press*, Cambridge

Tritton, D. J., 1988: *Physical fluid dynamics*. *Oxford University Press*, Oxford

**Gyüre Balázs, Jánosi Imre,
Szabó K. Gábor és Tél Tamás**
**ELTE Fizikai Intézet,
Környezeti Áramlások Kármán
Laboratórium**

Dr. Starosolszky Ödön

(1931–2006)

Nem szokványos, hogy lapunkban más szaktudományok művelőjének haláláról emlékezünk meg. Jelen esetben mégis bizonyára helyénvalónak találják olvasóink, hogy a kiváló hidrológus szakember, *Dr. Starosolszky Ödön* emlékét ezúton is megőrizzük, hiszen sokan ismerték őt, elsősorban a hidrometeorológiával kapcsolatos hivatali és tudományos tevékenységén keresztül. Sokszor megfordult az OMSZ-ban a mindenkor OMSZ elnök tárgyalópartnereként, elsősorban a nemzetközi szakmai ügyek megtárgyalására, vagy a két szakterületet érintő aktuális kérdések megvitatására.

Starosolszky Ödön 1931. december 26-án, Veszprémben született. Mérnöki oklevelét 1954-ben szerezte meg a Budapesti Műszaki Egyetemen. Első munkahelye a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, ahol 1954-től 1971-ig számos beosztást betöltött, intézeti mérnöktől a főosztályvezetőig. 1971-től 1976-ig az Országos Vízügyi Hivatalban dolgozott előbb főosztályvezető-helyettesként, majd főosztályvezetőként és a kutatással, tervezéssel és szakoktatással, majd vízkészlet-gazdálkodással és környezetvédelemmel kapcsolatos feladatokat irányította. 1976-ban helyezték vissza a Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóközpontba, ahol 1989. július 31-ig a Hidraulikai Intézetet vezette. Ezután másfél évig főigazgató helyet-

tes volt, majd 1991. április 1-vel bízták meg a főigazgatói tisztség betöltésével. A VITUKI részvénytársasággá alakítása óta a vezérigazgatói munkakört látta el és az Rt. Igazgatóságának tagja volt nyugdíjazásáig, 1998. november 30-ig.

Munkássága a vízgazdálkodás több tudományterületét érinti, sok más mellett az éghajlatváltozás vízgazdálkodási vonatkozásait. Kandidátusi értekezését 1966-ban, doktori téziseit 1995-ben védte meg. Szakmai tevékenysége eredményeként mintegy 220 munkája jelent meg, belőlük mintegy 90 külföldön.

1960 óta vett részt a nemzetközi műszaki-tudományos szervezetek munkájában. 1968-ban ösztöndíjjal Norvégiában folytatott tanulmányokat. A Nemzetközi Hidraulikai Kutatási Szövetség (IAHR) Jégszakosztálya elnöke, tanácsának tagja, majd alelnöke volt. Az ENSZ szakosított szerve, a WMO Hidrológiai Bizottságának 1972 óta vezetőségi tagja és 1984-től 1993-ig elnöke volt. ENSZ szakértőként Sri Lankában, Nigériában, Egyiptomban és négyszer Indiában dolgozott nemzetközi projektek keretében. A Fejlődő Országok Akadémiájának előadója, a Tudósok Világszövetségének tagja volt. Az éghajlatváltozás vízügyi hatásaival foglalkozó OTKA téma vezetőjeként elért eredményeiről 1995-ben átfogó kiadványt jelentetett meg. Tagja volt az

Éghajlatváltozás Kormányközi Pannel (IPCC) második munkacsoportjának, és vezető szerzője a hidrológiai fejezetnek (megjelent 1995-ben). Részt vett az Európai Unió PECO projektje révén az éghajlatváltozásnak az európai vízgazdálkodásra gyakorolt hatása téma kidolgozásában és az átfogó kiadvány (1997) elkészítésében.

Egyetemi oktató munkát 1962 óta folytatott. 1988 óta címzetes egyetemi tanár a BME-n és a GATE-n. Az UNESCO égisze alatt 1966 óta rendezett angol nyelvű nemzetközi hidrológiai továbbképző tanfolyamon a hidraulikát és a hidrometriát kezdettől fogva napjainkig tanította.

Tagja volt az MTA Vízgazdálkodás-tudományi, a Meteorológiai, valamint a Hidrológiai Bizottságának. 1990-1997 között az MTA Vízgazdálkodás-tudományi Bizottsága elnökeként működött. 1996 őszén a Magyar Hidrológiai Társaság elnökévé választották, ahol két sikeres ciklust töltött el. Választmányi tagja volt hosszú időn keresztül a Magyar Meteorológiai Társaságnak is, 1998-ban életművéért a Steiner Lajos emlékérem kitüntetettjévé vált.

2006 június 3-án hosszas betegség után ragadta el a halál. Emlékét megőrizzük.

Dunkel Zoltán

Húsz éve történt a csernobili katasztrófa: baleseti kibocsátás modellezése

1. BEVEZETÉS

Húsz évvel ezelőtt, 1986. április 26-án hajnalban az ukrajnai Csernobil atomerőművének negyedik blokkjában bekövetkezett az eddigi legnagyobb és legsúlyosabb reaktorbaleset. Aznap éjszaka a mérnökök egy kísérletet hajtottak végre, amely során számos biztonsági rendszabályt szegtek meg. Az operátorok hibás beavatkozásai következtében a reaktor teljesítménye ugrásszerűen elérte kapacitásának százszorosát. Az urán fűtőelemek széteestek, a hasadóanyag kiszabadult a tokozatokból, és kapcsolatba került a hűtővízzel. Hatalmas gőzrobbanás (kémiai robbanás) következett be, amely szétvetette a reaktor nyomás alatt álló tartályát, a reaktorcsarnok falait. Égő grafit- és hasadóanyag-darabok, valamint radioaktív por került a légkör felsőbb rétegeibe is. A reaktorban lévő radioaktív izotópok mennyiségének fele a szabadba került. A keletkezett tűz több napon keresztül égett, ezalatt $4 \cdot 10^{18}$ Bq aktivitás* szabadult ki a légkörbe, ami 400-szorosa volt a hírosimai atombomba által a légkörbe juttatott aktivitásnak. A radioaktív anyagot a szélmező Skandinávia felé sodorta, amely száraz és nedves ülepedés révén kikerült a légkörből és így kölcsönhatásba került az élő és élettelen környezettel. A baleset éppen a görögkeleti Húsvétra esett, a szakértők és a stratégiai döntéshozók nagy része otthonától távol volt, s a beavatkozás emiatt is késett. Az akkori politikai és döntéshozói elit több napig próbálta elhallgatni a bekövetkezett tragédiát, de az Európa több részén mért ugrásszerű radioaktivitás növekedés és a meteorológiai helyzet ismerete már nem tette lehetővé az eset eltitkolását.

A csernobili katasztrófa súlyos egészségügyi, gazdasági és társadalmi következményei jelentősen ösztönözték a baleseti kibocsátási modellek fejlődését. Az akkori számítógépek teljesítménye és kapacitása már lehetővé tette, hogy hatékonyan és gyorsan modellezzék a baleseti kibocsátás során a légkörbe kerülő toxikus anyagot terjedését és átalakulásait. Számos ilyen modellt dolgoztak ki világszerte. Ezek a modellek igen változatos típusúak és felbontásúak, így például 2001-ben egy tanulmányban (Galmarini et al., 2001) 22 ilyen modellt soroltak fel.

A légköri szennyezőanyag terjedés matematikai leírására kétféle szemléletmód létezik, melyek a vonatkoztatási rendszer megválasztásában különböznek.

A Lagrange-típusú modell megadja, hogy a légáramlásokkal együtt mozgó, térben homogén összetételűnek feltételezett elemi légrések termodinamikai állapota és helyzete hogyan változik az időben. Előnye az egyszerűbb matematikai leírás módja. A rendszer időbeli változását egy közönséges differenciálegyenlet-rendszer megoldása szolgáltatja megfelelő kezdeti feltételekkel. Azonban egy fut-

tatás során csupán egyetlen légcella útját lehet leírni, ezért a légcellák sztochasztikus szétválásából származó effektusok (a légszennyező csóva térbeli szerkezete) figyelembe vételéhez több szimuláció szükséges.

Az Euler-típusú modellel a termodinamikai állapot-határozók és a mozgási sebességek értékeinek lokális – a tér (x, y, z) pontjában bekövetkező – időbeli változását vizsgáljuk. A rendszert leíró egyenletek – a konzervatív mennyiségek mérlegegyenletei – egy parciális differenciálegyenlet-rendszert alkotnak, amely az anyagfajták térbeli és időbeli változását írja le.

2. BALESETI KIBOCSÁTÁS MODELLEZÉSE

Radioaktív baleseti kibocsátás modellezésénél egyetlen pontforrásból kiinduló, hosszútávú terjedési folyamatot kell vizsgálni. A modellel pontosan előre kell jelezni a szennyeződés várható útját, a terjedés sebességét és a kiülepedett anyag mennyiségét. A szimulációval szemben támasztott legfontosabb követelmény, hogy *nagy pontosságú*, valamint a *valós időnél jóval gyorsabb legyen* annak érdekében, hogy a számítások alapján megalapozott katasztrófavédelmi óvintézkedéseket lehessen tenni. Egy pontatlan modellszámításra alapozott döntéssorozat súlyos következményeket idézhet elő. Amennyiben alábecsüljük egy adott térségben a radionuklidok koncentrációját, az komoly egészségügyi következményekkel járhat, ha valahol túlságosan nagy dózist becsülünk, az egy esetleges evakuációt követően súlyos társadalmi és gazdasági problémákat és károkat okozhat.

Az integrált modellek, mint például a *RODOS*, összekapcsolják az előrejelzési modellt a döntéshozó és tanácsadó szoftverekkel, és ezek kulcsfontosságú adatokat szolgáltatnak vészhelyzet esetén a megfelelő védelmi stratégia kidolgozásához (Whicker et al., 1999; Galmarini et al., 2001; Baklanov et al., 2002).

A baleseti kibocsátási modelleket nem lehet a szokásos értelemben verifikálni, mivel ahhoz egy balesetnek kellene bekövetkeznie. Erre a problémára nyújtottak megoldást az *ETEX* (European Tracer Experiment) elnevezésű európai előrejelző kísérletek (Van Dop et al., 1998). Az *ETEX* egy nemzetközi akció volt (<http://rem.jrc.cec.eu.int/etex/>), mely során két alkalommal (1994. október 23-án és november 14-én) egy kémiailag inaktív anyagot bocsátottak ki a franciaországi Montherfaulban. A kibocsátott anyag koncentrációját Európa több meteorológiai állomásán folyamatosan mérték. A mérések alapján már verifikálni lehetett a különböző nukleáris terjedési modellek adott időszakra készített előrejelzéseit és segítséget nyújtott a modellek továbbfejlesztésében.

3. RADIOAKTÍV SZENNYEZŐANYAG TERJEDÉSI MODELLEK

A Lagrange-típusú modellek között megemlíthetjük a *DERMA* modellt (Sørensen, 1998), amely vízszintes irányban Gauss-féle profillal számol, valamint teljes keveredést tételez fel a keveredési rétegen belül és Gaussi eloszlással a keveredési réteg felett. A brit Meteorológiai Szolgálat (MET Office) *NAME* modellje (Bryall and Maryon, 1998) és a norvég *SNAP* modell (Saltbones et al., 1998) olyan Lagrange-féle leírást használ, amelyben nagyszámú részecske kibocsátásával veszik figyelembe a meteorológiai állapotváltozókban meglévő fluktuációkat.

Az Euler-típusú modellek rácsalapú módszereket használnak, és nagy előnyük, hogy a trajektóriák helyett a háromdimenziós meteorológiai mezőket vehetik figyelembe (Wendum, 1998; Langner et al., 1998). Hátrányuk, hogy fix rácsfelosztás esetén, nagy térbeli gradiensek esetén jelentős lesz a megoldás numerikus hibája. Ez különösen nagy probléma a pontforrásokból származó légszennyezők esetében, hiszen ekkor a kibocsátás helyének közelében igen nagy lehet a koncentrációgradiens. A numerikus diffúziót adaptív (alkalmazkodó) térbeli rács alkalmazásával lehet csökkenteni. A rács a véges tér- és időbeli felbontásból származó numerikus hibától függően automatikusan sűrűsödik vagy ritkul, növelve így a számítások pontosságát (Lagzi et al., 2004).

Egy másik módszerrel a kibocsátás közelében Lagrange-féle, távolabb Euler-típusú modellt használhatunk a terjedés leírására. Erre példa a *Brandt et al. (1996)* által kifejlesztett *DREAM* modell. Ez a közelítés interpolációt igényel, amikor a szennyezőanyag terjedését Euler-féle modellel kívánjuk folytatni. Hasonló ötletet használtak a svéd *MATCH* Euler-modellben (Langner, 1998).

A már említett *RODOS* (Realtime Online Decision Support) rendszert (Ehrhardt et al., 1997; Mikkelsen et al., 1997) Magyarországra is adaptálták. Ez egy EU követelményeinek megfelelő nukleáris baleset-elhárítási döntéstámogató rendszer, amelyet más országok is használnak, így alkalmas lehet egy esetleges országhatárokon átnyúló nukleáris csóva kezelésére közös környezetben. A rendszer segítségével lehetőség nyílik nemcsak a nukleáris balesetek, hanem vegyi és biológiai vészhelyzetek kezelésére is. A *RODOS* a szennyezőanyag terjedést az *ATSTEP* és a *MATCH* modellek kombinációjával írja le.

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál számos adaptált szennyezőanyag terjedési modellt is használnak: *RIMPUFF*, *SINAC*, *MEDIA*, *FLEXTRA/FLEXPART* (Ferenczi and Labancz, 1993; Ferenczi and Ihász, 2003). Ezek változatos típusúak, de a többségük Lagrange-féle leírásmódot használnak.

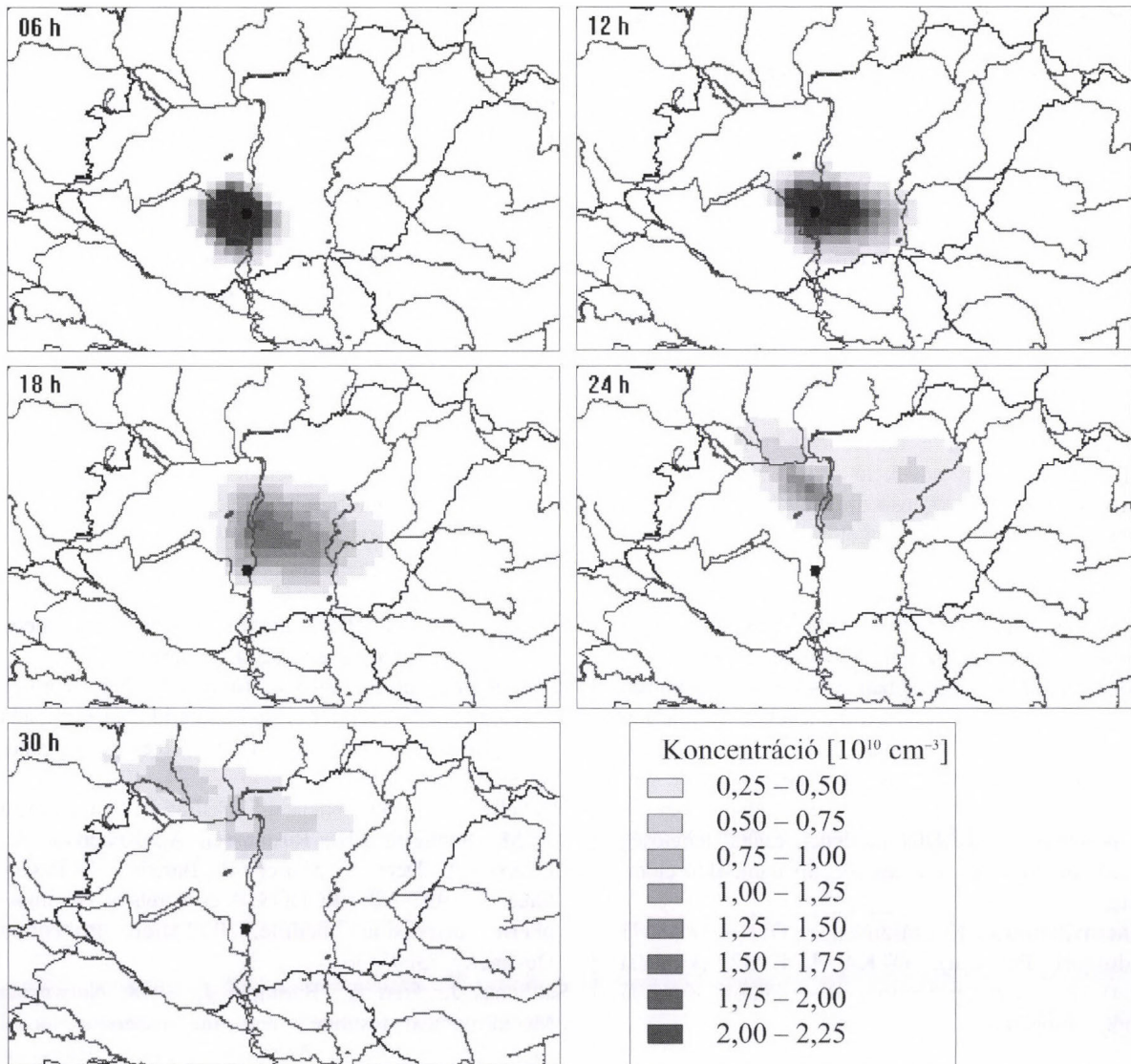
4. A TREX MODELL

A baleseti kibocsátások modellezéséhez egy hazai fejlesztés során kidolgoztunk egy háromdimenziós Euler-típusú terjedési modellt *TREX* (**T**Ransport-**E**Xchange model), amely alkalmas különböző szennyezőanyagok terjedésének és kémiai reakcióinak leírására. Az Euler-típusú modellek a légkör meghatározott részét rácsalával bontják fel, és ennek pontjaira oldják meg a fizikai és kémiai folyamatokat leíró matematikai egyenletrendszereket úgy, hogy valamilyen állandó vagy változó időlépésenként kapják meg a megoldást. Modellünkben a terjedés leírásához használt légköri transzportegyenletekben az advekción, a függőleges és vízszintes diffúzió, az ülepedés, a radioaktív bomlás és az emisszió hatását vettük figyelembe. Az így keletkezett egyenletrendszert matematikailag másodrendű parciális differenciálegyenletek alkotják, amelyeknek megoldásai a megfelelő kezdeti- és peremfeltétek figyelembevételével egyértelműen leírják az anyagok térbeli és időbeli eloszlását. Az Euler-típusú modellek egyik hatékony numerikus megoldási technikája a „method of lines” módszer. Ennek során a parciális differenciálegyenleteket térben diszkrétizáljuk, majd a keletkezett közönséges differenciálegyenleteket időben integráljuk. A térbeli diszkrétizációs technikák (véges differencia, véges térfogat és véges elem módszerek) közül modellünkben a véges differencia módszert alkalmaztuk.

A modell kvázi-3-dimenziós, mint a mai gyakorlatban leginkább használt modellek többsége. A modellben a légkör vizsgált részét függőleges irányban rétegekre bontjuk, a rétegekben a koncentráció-változást külön-külön 2-dimenziós modellek írják le, a rétegek közötti függőleges anyagtranszportot a turbulens diffúziós egyenlet alapján számítjuk. A vertikális keveredés minél pontosabb leírása érdekében 32 magassági szintet különböztettünk meg. Az időlépés és a rácsfelbontás megválasztása a megoldás pontossága szempontjából döntő fontosságú, emellett a véges felbontásból származó numerikus hibát, konvergencia és stabilitási problémákat is eredményezhet.

A modell vezérlő egysége – a főprogram – az adatok beolvasását, a különböző függvények meghívását és ciklusba szervezését, végül az eredmény kiírását végzi. Az első almodul a horizontális és vertikális határfeltételeket adja meg. A tartomány peremén ‘no-flux’ határfeltételt használunk, vagyis azt feltételeztük, hogy a határon nincs anyagáramlás. Külön rutin végzi az advekción, a vertikális és horizontális diffúzió számítását, illetve a magassági szintek meghatározását. A különböző anyagtranszportok (advekción, diffúzió) illetve a radioaktív bomlás és ülepedés különálló számítására operátor-splitting módszert használunk.

A vertikális turbulens diffúziót a *K-elmélet** alapján számítottuk és magasságfüggő függőleges turbulens diffúziós együtthatóval vettük figyelembe. A program bemutatására a Paksi Atomerőműben (földrajzi szélesség: 46°37', hosszúság: 18°51') egy 2005. december 2-án



1. ábra. A Paksi Atomerőmű hipotetikus balesete során kibocsátott szennyezőanyag-koncentráció horizontális eloszlása a felszínközeli rétegben, a kibocsátás kezdete után 6, 12, 18, 24 és 30 órával.

00 UTC-kor bekövetkezett feltételezett reaktorbaleset szimuláltunk előrejelzett meteorológiai adatok felhasználásával. A szimulált baleset következtében óránként $3,6 \times 10^{12}$ darab ^{131}I izotóp került a levegőbe, majd 12 óra elteltével megszűnt a kibocsátás. A ^{131}I egészségügyi szempontok miatt igen fontos radionuklid, felezési ideje 193 óra, az emberi szervezetben főként a pajzsmirigyben halmozódik fel és csak lassan ürül ki. A csernobili atomerőmű balesete után közvetlenül is ez az izotóp okozta a legnagyobb sugárterhelést a lakosság körében.

A bemenő meteorológiai adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálatnál operatíván futtatott ALADIN előrejelzési modell 0–48 órás 6 óránkénti előrejelzései szolgáltatták. 48 órára végeztünk modellszámítást úgy, hogy a 6 órás intervallumokban a meteorológiai mezőket konstansnak vettük. A modellünk felbontása a szimuláció során $0,15 \times 0,1$ fok volt.

A futtatás során a szennyezőanyag térbeli és időbeli eloszlásának változását vizsgáltuk, illetve a kiülepedett anyag mennyiségét számítottuk. Az 1. ábrásorozaton a paksi atomerőműből kibocsátott szennyezőanyag koncentráció-eloszlása látható a földközeli rétegben, a kibocsátás kezdetét követő 30 órában 6 óránként. A szennyezőanyag terjedésében megfigyelhető az országtól délre áthaladó sekély ciklon következtében létrejött szélfordulás. Eszerint a szél 6 órakor nyugati volt, 6 óra elteltével délnyugati és újabb 6 óra múlva délkeletivé fordult. 24 óra elteltével az addig egységes csóvában két maximum jelent meg, miközben a szennyezőanyag mennyisége csökkent a kiülepedés és a felsőbb rétegekbe való átkeveredés miatt. 30 órával a kibocsátás kezdete után az alsó légrétegben már egy nagyságrenddel kevesebb szennyezés található, mint az emisszió megszűnésekor. A későbbiekben a radioaktív anyag elhagyta az országot és Szlovákia kis, különálló

területeire korlátozódott. Egy ilyen 48 órás előrejelzés az adott felbontás mellett egy átlagos PC-n (2,0 GHz, 1GB RAM) 2 óra, de a baleseti kibocsátás modellezésénél a pontosság mellett a gyorsaság is fontos szempont, ezért tervezük a programkód párhuzamosítását. Az egyenletek megoldása numerikusan történik, ilyenkor a légköri transzport egyenletek megoldásához a szimulálandó tér diszkrétizációja szükséges, amelynek során a fizikai teret cellákra bontjuk, majd a tér összes térbeli változó irányában megvizsgáljuk a reakció, advekcio és a diffúzió okozta koncentrációváltozásokat. A párhuzamosított algoritmus lényege (legegyszerűbb esetben), hogy a tartományt felbontjuk egyenlő részekre és az egyes processzek egymástól függetlenül számítják az adott tartományban végbemenő koncentrációváltozásokat a differenciálegyenletek segítségével. A diffúzió és advekcio „rövid” kölcsönhatási távolsága miatt csak a szomszédos cellákban lejátszódó folyamatok hatnak egymásra, ami elősegíti a probléma futtatását többprocesszoros rendszereken. A diffúzió és az advekcio miatt minden időlépésben a szomszédos tartományok határainak koncentrációvektorát át kell küldeni a szomszédos részeknek. Ezáltal a modell egyszerre több számítógépen futhat, még jobban csökkentve a számítási időt (Lovas *et al.*, 2004). Az ilyen modellekkel előrejelzett adatok hamarabb a stratégiai döntéshozók kezébe kerülhetnek, és a megfelelő óvintézkedéseket még időben megtehetik. Terveink között szerepel a modell operatív összekapcsolása az ALADIN modellel, ezáltal lehetőség nyílik a szennyezőanyag-terjedés operatív numerikus előrejelzésére.

Köszönetnyilvánítás. Kutatásainkat az OTKA D048673 (Posztdoktori Pályázat), OTKA F047242 (kutatási pályázat) és a Békésy György Posztdoktori Kutatási Ösztöndíj támogatták.

**Vincze Csilla^a, Lagzi István^b, Mészáros Róbert^a
a ELTE Meteorológiai Tanszék
b ELTE Kémiai Intézet**

Irodalomjegyzék

- Baklanov A., Mahura A., Jaffe D., 2002: Atmospheric transport patterns and possible consequences for the European North after a nuclear accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 60, 23–48.
- Brandt J., Mikkelsen T., Thykier-Nielsen S., Zlatev Z., 1996: Using a Combination of Two Models in Tracer Simulations. *Mathematical Computational Modelling*, 23, 99–115.
- Bryall D. B., Maryon R. H., 1998: Validation of the UK MET office NAME model against the ETEX data set. *Atmospheric Environment*, 32, 4265–4276.
- Ehrhardt J., Brown J., French S., Kelly G. N., Mikkelsen T., Müller H., 1997: RODOS: Decision-making support for off-site emergency management after nuclear accidents. *Kerntechnik*, 62, 122–128.
- Ferenczi Z., Labancz K., 1993: Forward trajectory calculation program system for the Central European region. *Idojárás*, 97, 211–217.
- Ferenczi Z., Ihász I., 2003: Validation of the Eulerian dispersion model MEDIA at the Hungarian Meteorological Service. *Idojárás*, 107, 115–132.
- Galmarini S., Bianconi R., Bellasio R., Graziani G., 2001: Forecasting the consequences of accidental releases of radionuclides in the atmosphere from ensemble dispersion modelling. *Journal of Environmental Radioactivity*, 57, 203–219.
- Lagzi I., Kármán D., Turányi T., Tomlin A. S., Haszpra L., 2004: Simulation of the dispersion of nuclear contamination using an adaptive Eulerian grid model. *Journal of Environmental Radioactivity*, 75, 59–82.
- Langner J., Robertson L., Persson C., Ullerstig A., 1998: Validation of the operational emergency response model at the Swedish Meteorological and Hydrological Institute using data from ETEX and the Chernobyl accident. *Atmospheric Environment*, 32, 4325–4333.
- Lovas R., Kacsuk P., Lagzi I., Turányi T., 2004: Unified development solution for cluster and grid computing and its application in chemistry, *Lecture Notes in Computer Science*, 3044, 226–235.
- Mikkelsen T., Thykier-Nielsen S., Astrup P., Santabarbara J. M., Sørensen J.H., Rasmussen A., Robertson L., Ullerstig A., Deme S., Martens R., Bartzis J. G. Pasler-Sauer J., 1997: MET-RODOS: A comprehensive atmospheric dispersion module. *Radiation Protection Dosimetry*, 73, 45–56.
- Saltbones J., Foss A., Bartnicki J., 1998: Norwegian Meteorological Institute's real-time dispersion model snap (Severe Nuclear Accident Program); Runs for ETEX and ATMES II experiments with different meteorological. *Atmospheric Environment*, 32, 4277–4283.
- Sørensen J. H., 1998: Sensitivity of the DERMA Long-range Gaussian dispersion model to meteorological input and diffusion parameters. *Atmospheric Environment*, 32, 4195–4206.
- Van Dop H., Addis R., Fraser G., Giradi F., Graziani G., Inoue Y., Kelly N., Klug W., Kulmala A., Nodop K., Pretel J., 1998: ETEX: A European Tracer Experiment; Observations, dispersion modelling and emergency response. *Atmospheric Environment*, 32, 4089–4094.
- Wendum D., 1998: Three long-range transport models compared to the ETEX experiment: A performance study. *Atmospheric Environment*, 32, 4297–4305.
- Whicker F. W., Shaw G., Voigt G., Holm E., 1999: Radioactive contamination: state of the science and its application to predictive models. *Environmental Pollution*, 100, 133–149.

IDŐJÁRÁSI TÍPUSOK LÉGSZENNYEZETTSÉG CENTRIKUS OBJEKTÍV OSZTÁLYOZÁSA SZEGEDRE

ÖSSZEFOGLALÓ

A dolgozat meghatározza a Kárpát-medence fölött előforduló jellegzetes időjárási típusokat a téli (december, január és február), valamint a nyári (június, július és augusztus) hónapokban, majd feltárja, hogy ezen időjárási típusok milyen szerepet játszanak a hagyományos fő légszennyező anyagok feldúsulásában/felhígulásában. Az ECMWF adatbázisára alapozva elkészítettük a 00 óraker UTC mért napi tengerszinti légnyomási mezőket minden egyes időjárási típusra (clusterre) azon célból, hogy kiderítsük a tengerszinti légnyomási mezők és a légszennyező anyagok koncentrációi közötti kapcsolatot Szegeden. A dolgozat adatbázisa 12 meteorológiai elem és 8 légszennyező paraméter napi értékeit tartalmazza az 1997-2001 közötti ötéves periódusra vonatkozóan. A jellegzetes időjárási típusok objektív definiálása a faktoranalízis és a clusteranalízis módszereinek alkalmazásával történt. Eredményeink szerint a téli hónapokban az elsődleges légszennyező anyagok koncentrációit tekintve öt időjárási típust (clustert) különítettünk el, melyek magasabb koncentrációkat jeleznek abban az esetben, ha magas a besugárzás, valamint alacsony a szélsébség. Ez akkor fordul elő, amikor egy anticiklon található centrumával a Kárpát-medence fölött, továbbá akkor, amikor egy anticiklon figyelhető meg a Kárpát-medencétől délre, mely befolyásolja Magyarország időjárását. Alacsony légszennyezőanyag koncentrációk pedig akkor fordulnak elő, amikor zonális légáramlások határozzák meg a Magyarország fölötti időjárási folyamatokat. A nyári hónapok során az anticiklon-centrum helyzet, illetve az anticiklon peremhelyzetek a leggyakoribbak a Kárpát-medence fölött. (Anticiklon peremhelyzet fennállásakor a Kárpát-medence egy magas nyomású légköri képződmény peremén található.) Nyáron a magas besugárzás és a rendkívül alacsony NO_x koncentrációk miatt a másodlagos légszennyező anyagok erősen feldúsulnak.

1. BEVEZETÉS

A légszennyezettség rendkívül fontos környezetvédelmi probléma, főleg a túlszűfolt és túlnépesedett nagyvárosokban. A legtöbb emberi tevékenység szennyezőanyagokat termel, melyek folyamatosan felhalmozódnak. A légszennyezettség nemcsak forrásának közvetlen környezetét károsítja, hanem hatással van távolabbi térségek levegőminőségére is.

A levegőminőséget, valamint a légszennyező anyagok koncentrációit nemcsak fizikai és kémiai tényezők befolyásolhatják, hanem meteorológiai, továbbá

földrajzi és társadalmi tényezők is. Némely időjárási helyzet, pl. enyhe szélviszonyok, vagy szélcsend hőmérsékleti inverziókkal – ami az anticiklonális időjárási helyzetekre jellemző – szélsőséges mértékben megnövelheti a légszennyező anyagok koncentrációját.

Európára vonatkozóan számos légszennyezettséggel kapcsolatos tanulmány jelent már meg a nemzetközi szakirodalomban. Athén levegőjének tanulmányozása e tekintetben különösen nagy figyelmet kapott, elsősorban a hosszú nyarai miatt, melyekre a szélcsend, vagy gyenge szelek, továbbá zavartalan besugárzás a jellemző. Ez a nyári időjárás, valamint a várost északról határoló hegyek kedveznek a légszennyező anyagok rendkívüli mértékű felhalmozódásához (*Kambezidis et al., 1995; 1998*).

Péczeley (1959) vizsgálatai szerint Budapesten a légszennyezettség derült, szélcsendes időjárással, esetleg gyenge légáramlásokkal jellemzett kiterjedt és tartós anticiklonális időjárás fennállásakor éri el csúcserőtekeit. Ugyanakkor a légszennyezettség viszonylag alacsony, amikor ciklonális időjárási viszonyok uralkodnak a Kárpát-medence fölött, erős és turbulens légáramlásokkal. Különösen abban az esetben javul a levegőminőség, amikor Magyarország a ciklon hátoldali, hidegfronti áramrendszerében található.

A dolgozat fő célja, hogy többváltozós statisztikai módszerek alkalmazásával meghatározzuk a Szeged fölött uralkodó időjárási típusok egy objektív, megbízható osztályozási rendszerét a nyári és a téli hónapokra. Ezt követően a homogén hőmérsékleti- és nedvességviszonyok által jellemzett időjárási típusok mindegyikére megbecsüljük a fő légszennyező anyagok koncentrációit. Majd azon célból, hogy feltárhassuk az uralkodó időjárási típusok közötti lehetséges kapcsolatot, meghatározzuk a közepes tengerszinti légnyomási mezők térbeli eloszlását, valamint a Szeged térségében előforduló légszennyező anyagok koncentrációit az egyes időjárási típusokra az Észak-atlanti – Európai térségre.

Viszonylag kevés ilyen témájú tanulmány született a nemzetközi szakirodalomban. *Ambrózy et al. (1984)* makrocirkulációs rendszerek évszakos objektív tipizálását végezte el a napi 500 mb-os abszolút topográfia adatai alapján az Atlanti-Európai térségre. *Bartholy (1989)* a 700 mb-os légnyomási felület napi adatait felhasználva az északi félgömbre határozott meg objektív makrotípusokat. Időjárási típusok objektív megközelítésére példaként említhetők még *McGregor és Bamzels (1995)*, *Sindosi et al. (2003)*, valamint *Makra et al. (2006)* munkái, akik a hagyományos fő légszennyező anyagok (MAPs) koncentrációi szerint időjárási típusokat hatá-

roztak meg külön-külön Birmingham-re, Athénre, illetve Szegedre. Ugyanakkor *Kassomenos et al.* (1998), *Péczely* (1957, 1983) és *Károssy*, (1987, 2004) szubjektív módszereket alkalmazva érdekes eredményeket kaptak Athén, illetve Budapest éghajlatának makroszinoptikus tipizálásával kapcsolatosan. *Péczely* (1959), valamint *Kassomenos et al.* (1998) szubjektív időjárás típusok hatékonyságát tanulmányozták a légszennyező anyagok feldúsulásában, illetve felhígulásában.

Másrészt gyakran használnak ún. stabilitási osztályokat, pl. a levegőminőség modellezésére azon célból, hogy osztályozzák, vajon a légszennyező anyagok szóródása számottevő, vagy csekély az uralkodó meteorológiai feltételek alapján (melyeket empirikusan határoznak meg a szélsébség, a hőmérsékleti gradiens, a borultság vagy a napsugárzás ismeretében) (*Pasquill, 1962; Turner, 1964*). Mind Pasquill, mind Turner osztályozási rendszere független a tengerszint fölötti magasságtól és a felszín érdességétől (*Golder, 1972*). E dolgozatban az általunk használt módszer egy objektív osztályozási rendszer, szemben Pasquill és Turner szubjektív módon meghatározott kategóriáitól. Továbbá az általunk használt módszer sokkal több meteorológiai paramétert vesz figyelembe az időjárás típusok osztályozására, valamint a légszennyező anyagok koncentrációja szerint kapott osztályokat (időjárás típusokat) statisztikailag is kiértékeljük.

Ugyanakkor megjegyezzük, hogy a dolgozatban használt módszerek nem helyettesíthetnek egyéb kémiai transzport modelleket, viszont kiegészítik a jelenleg használatos módszereket, hozzájárulva a légszennyezettség koncentrációk előrejelzéséhez.

E tanulmány egy objektív időjárás osztályozási rendszert mutat be, mely egyúttal alapul szolgálhat egy légszennyezettség megfigyelés/előrejelzési rendszer létrehozására azzal a végső céllal, hogy Szeged légszennyezettségét tanulmányozzuk.

2. SZEGED ÉGHAJLATA ÉS LEVEGŐMINŐSÉGE

2.1. Éghajlat

A Köppen-féle klímaosztályozás szerint Magyarország területének legnagyobb része – Csongrád megyével és a szegedi agglomerációval együtt – a Cf klímazónába tartozik (*Köppen, 1931*), melyet meleg-mérséklet éghajlat jellemez csaknem egyenletes évi csapadékeloszlással („C” az abc szerinti felsorolásban a harmadik klímátípust jelöli, míg az „f” jelentése: állandóan nedves, minden hónapban hullik csapadék, száraz időszak nincs), illetve *Trewartha* (1943) szerint a D.I klímazóna része, melyre kontinentális éghajlat a jellemző hosszabb meleg évszakkal („D” az abc szerinti felsorolásban a negyedik klímátípust jelöli, míg az „I” azon belül az első altípusra utal).

Magyarország részletesebb, nagyobb felbontású éghajlati osztályozása a vegetációs időszak középhőmér-

sékletén (tVS), valamint az ariditási indexen (H) alapszik ahol $H = S/(LC)$ (S a átlagos évi sugárzási egyenleg; L a párolgási hő, C pedig a átlagos évi csapadékösszeg). Az 1901–1950 közötti 50 éves időszak éghajlati paramétereire alapján Szeged éghajlata a meleg-száraz kategóriába sorolható a következő fent említett paraméterekkel: $tVS > 17,5$ °C és $H > 1,15$ (*Péczely, 1979*).

2.2. Levegőminőség

Egy részletesebb analízis a környezetminőséget és a környezeti tudatosságot alapul véve Szegedet a vizsgált 88 magyarországi város közül a 32. helyre rangsorolta. [Az 1. helyre rangsorolt város rendelkezett a legjobb környezeti feltételekkel (*Makra et al., 2002*)]. A magyarországi Regionális Immisszió Vizsgáló (RIV) állomásokon 2001-ben mért – a levegőminőségi küszöbértéket meghaladó – szennyezőanyag koncentrációk alapján Szeged levegőminősége egy háromkategóriás osztályozási rendszert (megfelelő, közepesen szennyezett, szennyezett) figyelembe véve a „szennyezett” kategóriába tartozott (*Mohl et al, 2002*). Szegeden a nitrogén-oxidok (NO_x), az ózon, valamint a 10 m-nél kisebb átmérőjű részecskék (PM₁₀) koncentrációi túllélik az EU levegőminőségi küszöbértékeit. [A PM₁₀ napi (24-órás) koncentrációja 11-19-szer magasabb, míg évi koncentrációja kétszer magasabb, mint a 2005. január 1.-től érvényes EU-küszöbérték!]

3. ADATBÁZIS

Az adatok a szegedi monitoring állomásról származnak, amely a belvárosban, a Kossuth Lajos sugárút és a Damjanich utca, sarkán található, kb. 10 m távolságra a Kossuth Lajos sugárúttól. A vizsgálat adatbázisát mind a légszennyező anyagokra, mind a meteorológiai paraméterekre az 1997–2001 közötti ötéves időszak nyári (június, július, augusztus), illetve téli hónapjaira (december, január, február) vonatkozó 30 percenkénti adatok alapján számított értékek képezik.

3.1. Légszennyező anyagok

A figyelembe vett 8 légszennyező paraméter a következő légszennyezők átlagos napi tömegkoncentrációi: CO (mg m⁻³); NO (g m⁻³), NO₂ (g m⁻³), SO₂ (g m⁻³), O₃ (g m⁻³) és PM₁₀ (g m⁻³), valamint az NO₂/NO napi arányai és az O₃ (g m⁻³) napi maximális tömegkoncentrációi.

3.2. Meteorológiai paraméterek

A tekintett 12 meteorológiai paraméter napi adatai a következők: középhőmérséklet (T_{mean}, °C), maximum hőmérséklet (T_{max}, °C), minimum hőmérséklet (T_{min}, °C), napi hőmérsékleti terjedelem (T = T_{max} – T_{min}, °C), szélsébség (WS, m s⁻¹), relatív nedvesség (RH,%), globális sugárzás (I, MJ m⁻² nap⁻¹), telítettségi gőznyomás (E, hPa), gőznyomás (VP, hPa), potenciális párolgás (PE, mm), harmatpont hőmérséklet (Td, °C) és légnomás (P, hPa).

A 00 UTC időpontjában mért tengerszinti légnyomási mezők az ECMWF Re-Analysis ERA 40 projektjéből származnak.

A vizsgált terület az Észak-atlanti – Európai térségben található a 30°N–70.5°N földrajzi szélességek és a 30°W–45°E hosszúságok tartományában. Az 1,5°x1,5° sűrűségű rácshálózatot választottuk, mely 28x51=1428 rácspontot tartalmaz a vizsgált térségben.

4. MÓDSZEREK

Az ilyen rácspontsűrűséggel rendelkezésre álló, clusterenként átlagolt légnyomás értékekből az izobárok megszerkesztése a Surfer 7.00 szoftver felhasználásával történt. A pontonkénti adatokból, azaz összesen 28x51=1428 adatból az izobárokat a Kriging eljárással (standard beállításokkal), adatsűrítés nélkül, maximális simítással rajzoltuk meg. Az eljárás eredményeként a Föld felszínén 40,5° földrajzi szélesség és 75° földrajzi hosszúság különbségű foktrapéznek megfelelő görbült felszín a síkban egy X és Y irányban is egyenközűen beosztott téglalpra képeztünk le.

Ahhoz, hogy a kiindulási adatkészlet dimenzióját csökkentjük, s ily módon a vizsgált 12 változó közötti kapcsolatokat meg tudjuk magyarázni, a faktoranalízis többváltozós statisztikai módszerét alkalmaztuk. (Jolliffe, 1993; Sindosi et al., 2003). A faktorok kiválasztása a főkomponens analízis segítségével történt (a k-adik sajátérték a k-adik főkomponens varianciája). A dolgozatban a „varimax”, vagy másképp „ortogonális faktor rotáció”-t hajtottunk végre (Sindosi et al., 2003). A faktoranalízist a kiindulási változók 12 oszlopából (12 meteorológiai változó) és 450 sorból (450 nap, azaz öt év nyári, illetve téli napjai) álló adattáblázatára alkalmaztuk azon célból, hogy csökkentjük a 12 db – egymással kölcsönös kapcsolatban lévő – meteorológiai paraméter számát, s hogy feltárjuk a legfontosabb független meteorológiai faktorokat, melyek felelősek Szeged időjárásának alakításáért.

A kapott faktorérték idősorokra a clusteranalízist alkalmaztuk azon célból, hogy a hasonló időjárási feltételekkel rendelkező napok objektív csoportjait előállíthassuk. A módszer célja, hogy az objektumok homogenitása a legnagyobb legyen a clusteren belül, s egyúttal azok heterogenitása a legnagyobb legyen a clusterek között. A dolgozatban a hierarchikus eljárást, azon belül pedig az „average linkage” módszert használjuk, (Anderberg, 1973; Hair et al., 1998; Sindosi et al., 2003). Ezután a kapott clusterek mindegyikére (melyek valamelyikébe minden egyes nap beletartozik) kiszámítjuk a meteorológiai és a légszennyező paraméterek átlagértékeit. Ily módon megkapjuk az időjárási feltételek, valamint a légszennyező anyagok koncentrációi közötti összefüggéseket. Végül minden egyes időjárási típusra megszerkesztjük az Észak-atlanti – Európai térség fölött a 00 UTC időpontjában mért közepes tengerszinti lég-

nyomáseloszlás térképeit. E térképek elkészítésének a célja az, hogy összekapcsoljuk a légáramlási rendszereket, valamint a légszennyező anyagok feldúsulását/felhígulását Szeged térségében. Szinoptikus rendszerek itt említett, jól elkülöníthető csoportokba történő osztályozása lehetővé teszi számunkra, hogy leírjuk a Szeged térsége számára legfontosabb szinoptikus típusokat.

Amikor meghatározzuk a szinoptikus típusokat, csupán a meteorológiai paramétereket vesszük figyelembe, kizárva a légszennyezettségi adatokat. Következésképpen, az egyes szinoptikus típusokra kiszámított átlagos légszennyezettség koncentrációk további statisztikai értékelésére van szükség. Ezt a feladatot az egyoldali variancia-analízis segítségével hajtuk végre minden egyes légszennyező anyag esetében. A módszer segítségével a különböző szinoptikus típusok (cluster) légszennyező anyag koncentrációinak szignifikáns eltérései meghatározhatók. Végül a Tukey-féle differencia tesztet alkalmazzuk azon célból, hogy mennyiségileg összehasonlíthassuk minden egyes szinoptikus típus párhuzamait között az átlagos légszennyezettség koncentrációkat (párónkénti többszörös összehasonlítás) (McGregor and Bamzels, 1995; Sindosi et al., 2003).

5. EREDMÉNYEK

5.1. Téli hónapok

A faktoranalízisnek a meteorológiai elemek idősorára való alkalmazása 4 faktort eredményezett, melyek a teljes variancia 86,51%-át megmagyarázzák.

1. *Faktor* a teljes variancia 50,86%-át magyarázza, s tartalmazza a három legfontosabb hőmérsékleti változót (középhőmérséklet, maximum- és minimum-hőmérséklet), továbbá három fontos légnedvesség paramétert (telítettségi göznyomás, göznyomás és harmatpont hőmérséklet). Látható, hogy a hőmérsékleti változók nincsenek közvetlen kapcsolatban a globális sugárzással, amely télen a 3. Faktortól függ. Ez arra vezethető vissza, hogy a téli léghőmérsékletet elsősorban szinoptikus skálájú légtömegek befolyásolják, a helyi eredetű besugárzásnak jóval kisebb a szerepe. E hőmérséklet- és légnedvesség paraméterek magas faktorsúlya szoros kapcsolatokat jelzi. Nevezetesen, a göznyomás magas faktorsúlya azzal magyarázható, hogy a hőmérséklet emelkedésével növekszik a légkör vízgőzkapacitása. A harmatpont hőmérséklet kapcsolatban van a fenti paraméterekkel, ugyanis a göznyomás növekedése (csökkenése) a hőmérséklet növekedésére (csökkenésére) vezethető vissza.

2. *Faktor* (a teljes variancia 19,85%) csupán a relatív nedvességet tartalmazza (negatív előjellel) és a potenciális párolgást. Az ellentétes előjelű magas faktorsúlyok fordított összefüggést jeleznek e két változó között. Ugyanis a magas (alacsony) potenciális párolgás alacsony (magas) relatív nedvességhez kapcsolódik.

3. *Faktor* a teljes variancia 8,72%-át magyarázza, s a napi hőmérsékleti terjedelmet, valamint a globális sugárzást foglalja magába. A magas globális sugárzás értékek, melyek alacsony felhőborítottságot jeleznek, általában magas maximum-hőmérsékletet okoznak. Amikor az ezt követő éjszaka tartósan derült marad az ég, az éjszakai hosszuhullámú kisugárzás a felszín nagyobb lehűléséhez, valamint alacsonyabb T_{min} értékhez vezet; következésképpen a Trange általában nagyobb lesz ilyen időjárási feltételek fennállásakor. (Ez csak abban az esetben igaz, ha pl. hűvösebb légtömeg advekción nem lép föl.)

4. *Faktor* alig gyengébb, mint a 3. Faktor és a teljes variancia 7,08%-át magyarázza. Mindössze a légnyomást tartalmazza.

Ezt követően a clusteranalízist alkalmaztuk a négy faktorérték idősorra és ennek eredményeként a vizsgált napok 6 homogén csoportját különítettük el. Az egyik

cluster mindössze 4 napot tartalmazott (ezek a következők: 2001. január 5, 10, 18, 19; az összes vizsgált nap alig 0,89%-a). Ezek a napok egy anticiklonhoz kapcsolódó szélsőséges időjárási feltételeket mutattak, magas légszennyezőanyag koncentrációkkal. Emiatt ezt a cluster-t kihagytuk, s a továbbiakban a megmaradó öt jellegzetes cluster-t elemeztük, melyek az uralkodó időjárási típusokat tartalmazzák.

A vizsgált clusterekhez tartozó közepes tengerszinti légnyomáseloszlás térképei, valamint az egyes clusterek (időjárási típusok) napjainak a száma az 1. ábrán látható.

Az öt időjárási típust légnyomási rendszerekkel, s a hozzájuk tartozó légszennyezettség koncentrációkkal az alábbiakban mutatjuk be.

1. Cluster. Ezt nevezhetjük úgy is, mint „anticiklon a Kárpát-medence fölött”. Ezt a légnyomási rendszert magas légnyomás jellemzi Közép-Európa fölött. Ez az időjárási típus az összes vizsgált nap 12,5%-ra jellemző és a következő időjárási paraméterek kapcsolódnak hozzá: magas globális sugárzás (középtértéke = 5,4 MJ m⁻²), a hőmérsékleti paraméterek (napi középhőmérséklet, maximum- és minimum-hőmérséklet) legalacsonyabb értékei, a légnedvesség paraméterek (gőznyomás, telítettségi gőznyomás, potenciális párolgás és harmatpont hőmérséklet) legalacsonyabb értékei, továbbá igen alacsony szélsebesség (0,3 m s⁻¹). Ilyen időjárási feltételek esetén az elsődleges légszennyező anyagok (CO, NO₂, SO₂ és a PM₁₀, az NO kivételével) erősen feldúsulnak a belvárosban – a csekély átszellőzés, valamint az éjszaka során kialakult hőmérsékleti inverziók következtében (Horváth et al., 2002). Ezen időjárási típus fennállásakor – a csekély borultsággal összhangban – a másodlagos légszennyező anyagok koncentrációi (O₃ és O_{3max}) viszonylag magasak.

2. Cluster. Ennek a típusnak a neve: „anticiklon a mediterrán térség fölött”. Ez a cluster az összes napok 30%-át tartalmazza, egyúttal a leggyakoribb helyzet. Légnyomási rendszere egy anticiklon peremhelyzetet jelez a Kárpát-medence fölött, gyenge szelekkel, illetve szélcsenddel. Ezen időjárási típusra felhős idő, valamint – az alacsonyabb éjszakai lehűlések miatt – magasabb hőmérsékletek a jellemzők. A hőmérsékleti paraméterek szignifikánsan magasabb értékeket mutatnak, mint az 1. Cluster esetében. Az ózonkoncentrációk alacsonyabbak a nagyobb borultság miatt. Az elsődleges légszennyezők alacsonyabb koncentrációi a nagyobb szélsőséggel magyarázhatók.

3. Cluster. Az Azori-szigetek fölött magas nyomású nyelv húzódik Közép-Európa felé. Ez a helyzet azonban csak februárban jellegzetes. Fennállásakor egy anticiklon elérheti Közép-, sőt Kelet-Európát is, csendes, napos időjárást okozva, magas hőmérsékletekkel és erős szelekkel. A CO, SO₂ és a PM₁₀ alacsony koncentrációi az 1. Clusterben tapasztalható értékeikhez képest azzal magyarázhatók, hogy az öt cluster közül ebben a clusterben a legnagyobb az átlagos szélsebesség. Mivel az NO átlagos koncentrációja az 1. és a 3. Clusterben megegyezik, az ózon nagyobb feldúsulása a 3. Clusterben az 1. Clusterbeli értékéhez képest a csekélyebb borultsággal magyarázható. (Ez azonban csak abban az esetben igaz, ha nincs advekción.)

4. Cluster. Anticiklon található Dél-Európa és Észak-Afrika fölött. Ez a cluster nem különbözik lényegesen a 3. Clustertől, amit a χ^2 -próba függetlenségvizsgálat eredménye is jelez. A Délnyugat-Európa

fölötti magas nyomású képződmény ebben a clusterben kiterjed a Mediterráneum keleti része fölé. A nagyon alacsony szélsőségek miatt az elsődleges légszennyező anyagok koncentrációi (az SO₂ kivételével) rendkívül magasak (CO = 0,93 mg m⁻³; NO = 44,0 µg m⁻³; NO₂ = 47,2 µg m⁻³; PM₁₀ = 61,4 µg m⁻³). Egyidejűleg a globális sugárzás is magas. Az ózon koncentrációja azonban mégsem magas. Ennek oka az NO legmagasabb koncentrációi, beleértve az NO₂/NO arány legalacsonyabb értékeit, melyek a következő lebomlási folyamat révén megakadályozzák az ózonképződést: NO + O₃ → NO₂ + O₂.

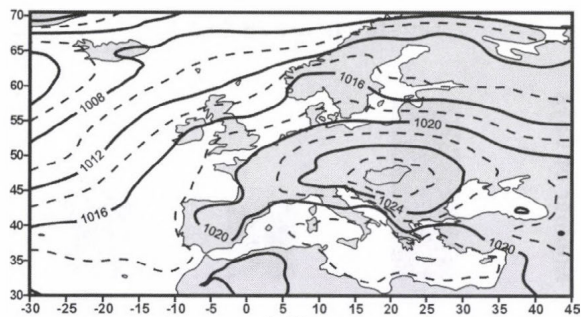
5. Cluster. Intenzív zonális áramlás figyelhető meg Európa fölött. Ez az időjárási típus az összes napok 20,1%-át teszi ki, s decemberben a leggyakoribb. Fennállásakor erős szelek tapasztalható Szegeden. Légnyomási rendszere zonális áramlást jelez a Kárpát-medence fölött, mely az elsődleges légszennyezők viszonylag alacsony koncentrációit vonja maga után. Különösen igaz ez az SO₂-re és a PM₁₀-re, melyek ebben a típusban veszik föl a legalacsonyabb koncentrációikat. Másrészt a legnagyobb borultság (I = 2,7 MJ m⁻², csakúgy, mint a 2. Clusterben), közepes NO-koncentrációval az ózonparaméterek legalacsonyabb koncentrációit eredményezik (O₃ = 20,2 µg m⁻³; O_{3max} = 39,0 µg m⁻³).

Ahhoz, hogy meghatározhatjuk az egyes időjárási típusoknak a légszennyezettség koncentrációkra gyakorolt hatását, elvégeztük a légszennyező paraméterek varianciaanalízisét (ANOVA). Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza. Eszerint az NO₂/NO kivételével az összes légszennyező anyag átlagos koncentráció értékeiben szignifikáns különbség tapasztalható az egyes időjárási típusok között a 99%-os valószínűségi szinten. Mivel szignifikáns különbség mutatkozik az átlagos légszennyezettség koncentrációkban, ezért a Tukey-féle differencia tesztek alkalmaztuk azon célból, hogy megkapjuk az említett különbségek páronkénti többszörös becslését. A statisztikailag szignifikáns különbségeket az 2. táblázat tartalmazza külön-külön a 95%-os, illetve a 99%-os valószínűségi szintekre. Megállapíthatjuk, hogy a 3.-4. időjárási típusok között 5 légszennyező anyag, míg az 1.-2., 1.-5. és a 2.-3. időjárási típusok között 4 légszennyező anyag átlagos koncentrációi között mutatható ki szignifikáns különbség. A 3.-4. Cluster között tapasztalható a legnagyobb különbség, ugyanis e két cluster esetében mutatható ki a legtöbb légszennyező anyag koncentrációi között szignifikáns eltérés. Ez elsősorban azzal a ténnyel magyarázható, hogy e két típus között a legnagyobb a szélsőségek különbsége. Másrészt a 2. Cluster átmenetinek tekinthető, mivel ez mutatja a legkevesebb páronkénti szignifikáns eltérést a légszennyezettség koncentrációkban. Kivételt képez az NO₂, melynek átlagos koncentrációja a 2. Cluster 4 db páronkénti összevetését tekintve 3 esetben szignifikáns eltérést mutatott. A 2. és 5. Cluster között egyetlen légszennyező anyag koncentrációja sem mutatott szignifikáns eltérést.

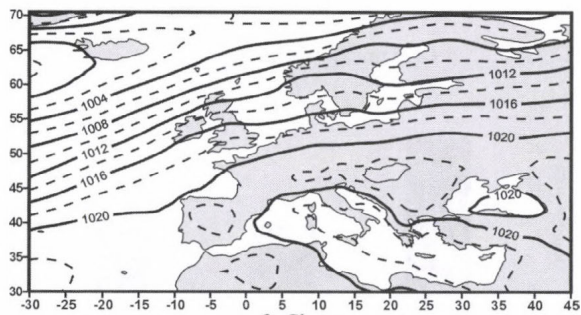
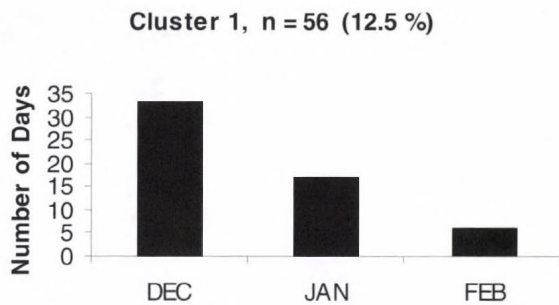
1. táblázat

	CO	NO	NO ₂	NO ₂ /NO	O ₃	O _{3max}	SO ₂	PM ₁₀
csoporthoz tartozó átlagos négyzet	1516531,41	8183,16	2361,19	305,70	2057,77	6255,12	332,56	4971,82
csoporthoz tartozó belüli átlagos négyzet	137957,12	585,10	257,83	212,15	186,97	464,40	65,23	534,98
F-arány	10,99	13,99	9,16	1,44	11,01	13,47	5,10	9,29
szignifikancia-szint, %	99	99	99	78	99	99	99	99

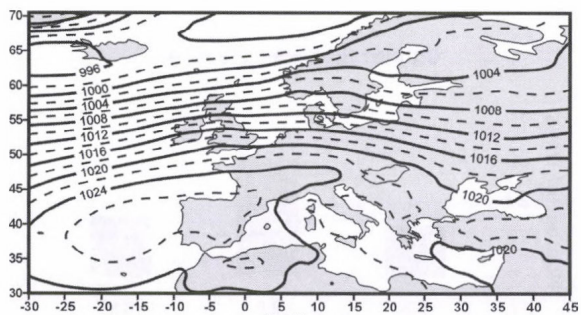
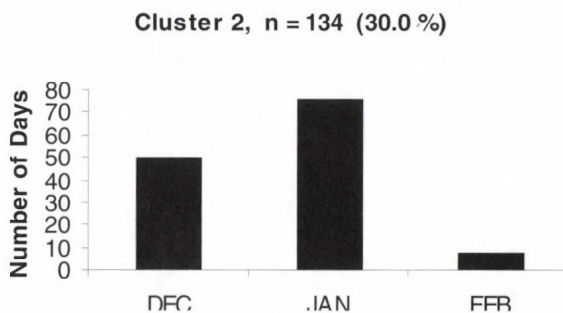
ANOVA-statisztikák a légszennyező koncentrációk időjárási típusok közötti összehasonlítására
(december, január és február)



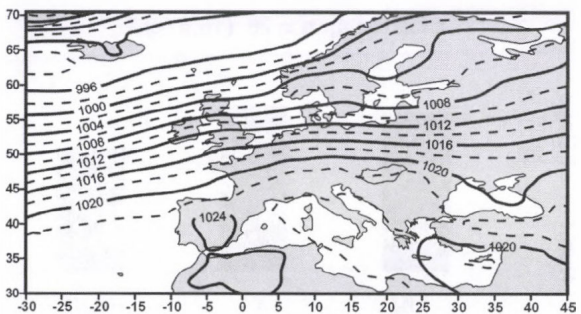
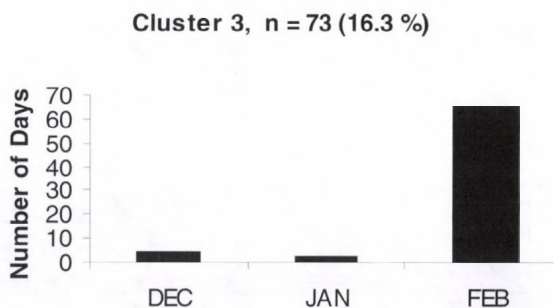
1. Cluster



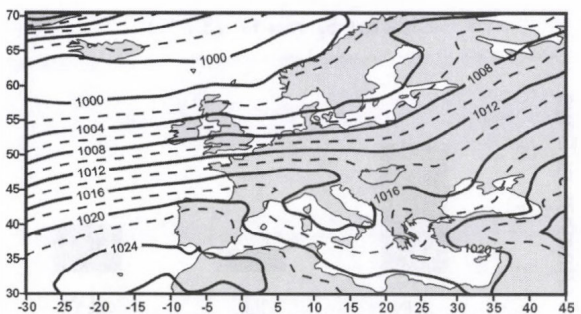
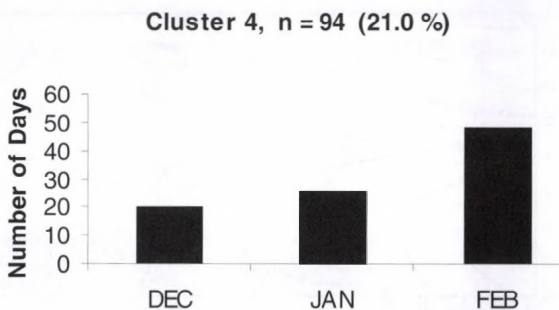
2. Cluster



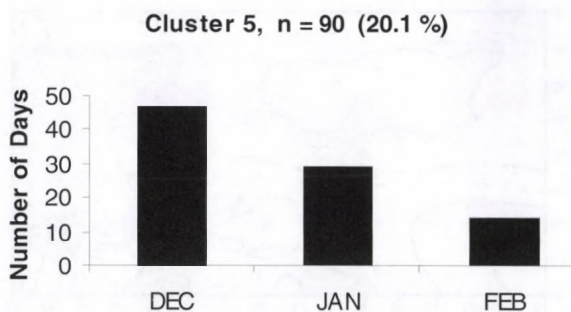
3. Cluster



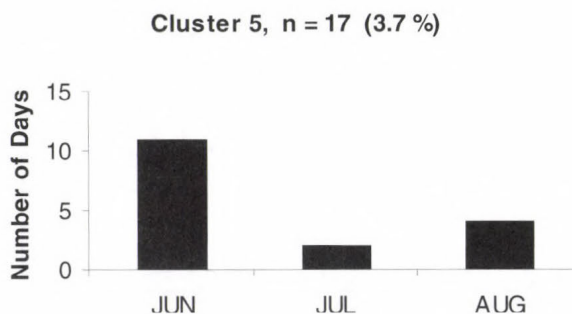
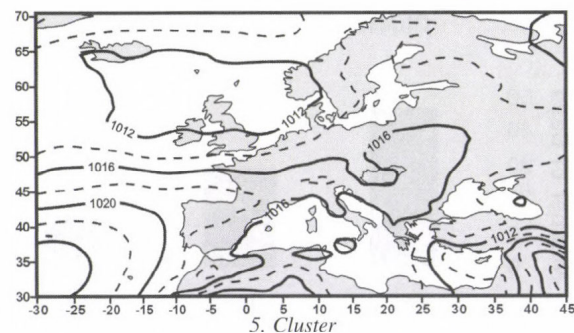
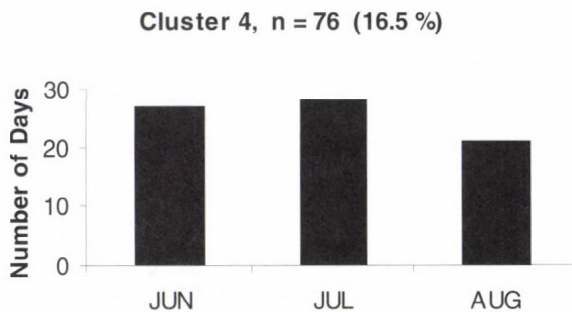
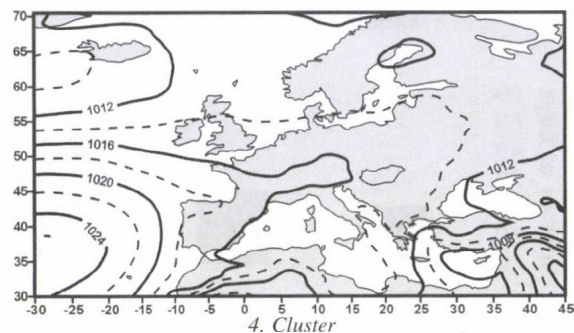
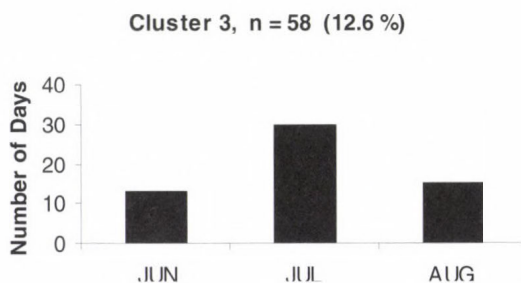
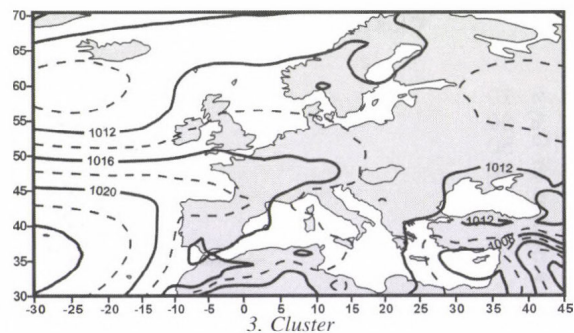
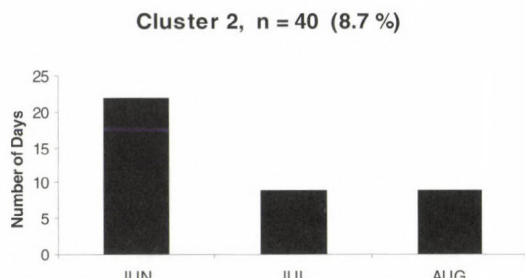
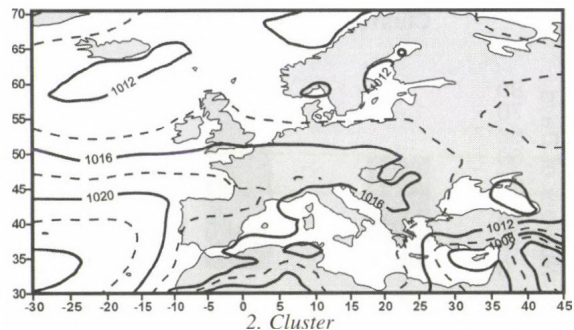
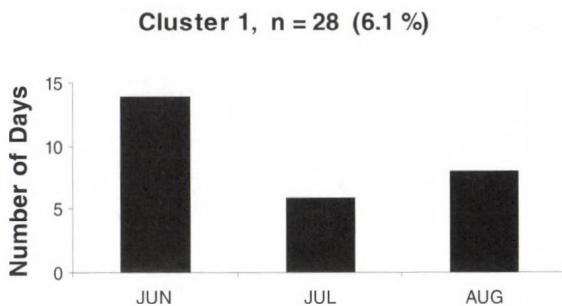
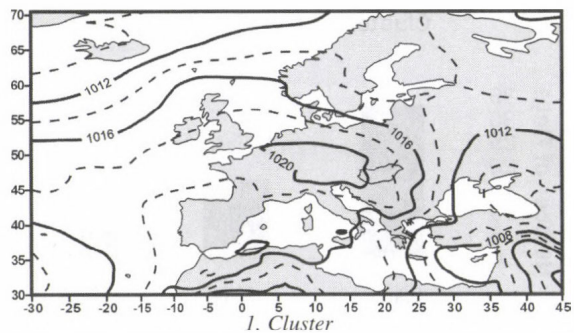
4. Cluster



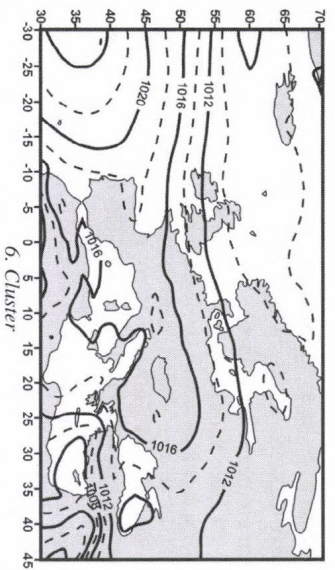
5. Cluster



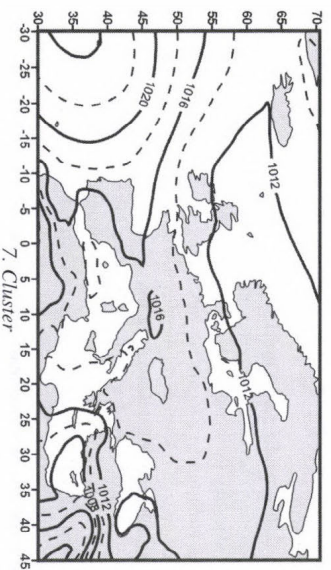
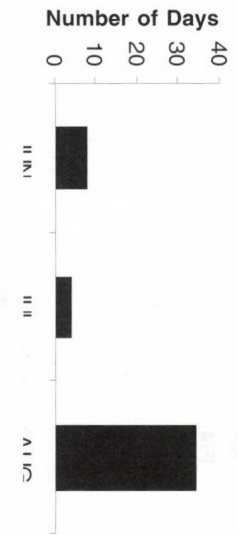
1. ábra Az egyes időjárási típusok (clusterek) közepes tengerszintű légnyomási mezői, valamint a vizsgált napok számának havi változásai, Észak-atlanti – Európai térség, téli hónapok (december, január és február)



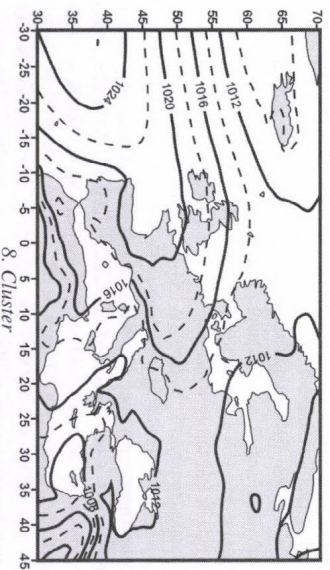
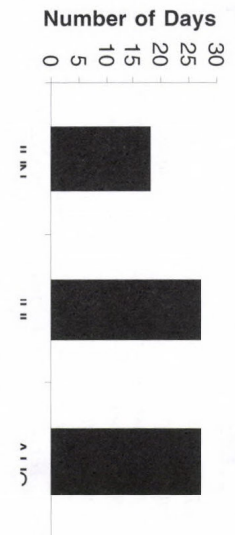
2. ábra Az egyes időjárás-típusok (cluster) közepes tengerszinti légnyomási mezői, valamint a vizsgált napok számának havi változásai, Észak-atlanti – Európai térség, nyári hónapok (június, július és augusztus)



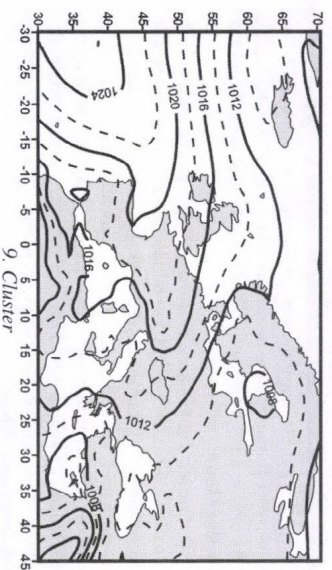
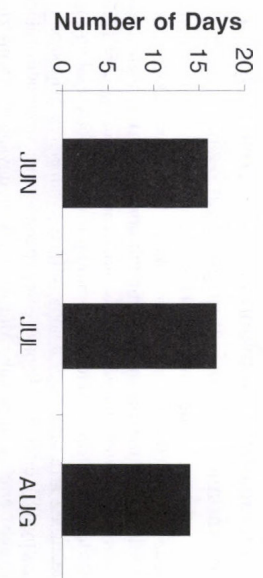
Cluster 6, n = 46 (10.0 %)



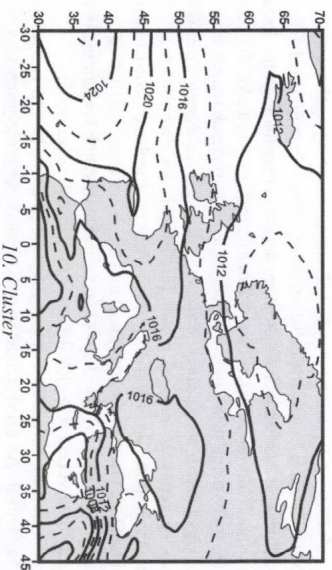
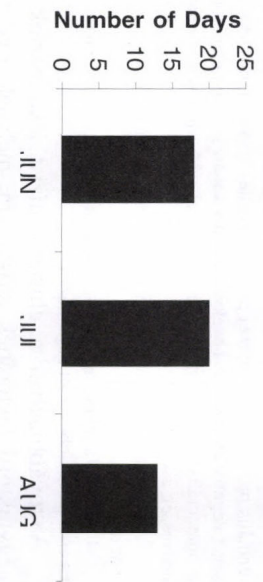
Cluster 7, n = 72 (15.6 %)



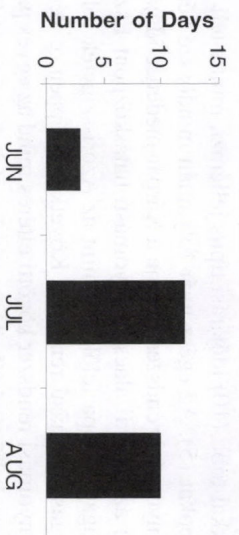
Cluster 8, n = 47 (10.2 %)



Cluster 9, n = 51 (11.1 %)



Cluster 10, n = 25 (5.4 %)



2. ábra folytatása

2. táblázat

1				
2	NO ₂ O_{3max} SO₂ PM₁₀			
3	CO	2 CO O_{3max}		
4	NO SO₂	NO NO₂ PM₁₀	3 CO NO O_{3max} O₃ PM₁₀	
5	O_{3max} SO₂ O₃ PM₁₀		4 CO O_{3max} O₃	NO NO₂ PM₁₀

Időjárási típus – légszennyezettség differencia mátrix (téli hónapok). Minden egyes mátrix cellában két időjárási típust hasonlítunk össze. A mátrix cellákban található légszennyező anyagok koncentrációi szignifikánsan eltérnek egymástól az adott két időjárási típus között a Tukey-féle differencia-teszt alapján (normál karakter: az eltérés a 95%-os valószínűségi szinten szignifikáns, bold karakter: az eltérés a 99%-os valószínűségi szinten szignifikáns).

5.2. Nyári hónapok

A meteorológiai paraméterek idősoraira alkalmazott faktoranalízis 4 fő faktort eredményezett, melyek a teljes variancia 84,36%-át magyarázzák.

1. *Faktor*, a teljes variancia 47,35%-ával ugyanazokat a paramétereket tartalmazza, mint a téli hónapokban. Ezek hőmérsékleti- (közép-hőmérséklet, maximum- és minimum-hőmérséklet) és légnedvesség változók (telítettségi gőznyomás, gőznyomás és harmatpont hőmérséklet). E változók faktorsúlyai mind pozitív előjelűek, csakúgy, mint télen. Ez arra utal, hogy a hőmérsékleti paraméterek magasabb (alacsonyabb) értékei a légnedvesség paraméterek magasabb (alacsonyabb) értékeivel járnak. Míg ez a faktor ugyanúgy értelmezhető, mint a téli hónapokban, a többi faktor más meteorológiai paraméterekre mutat nagy faktorsúlyt a téli hónapokéhoz képest.

2. *Faktor* (a teljes variancia 19,44%-a) a globális sugárzást és a potenciális párolgást tartalmazza pozitív előjellel, míg a relatív nedvességet negatív előjellel. A növekvő globális sugárzás maga után vonja a potenciális párolgás növekedését, s ezzel párhuzamosan a relatív nedvesség csökkenését.

3. *Faktor* (a teljes variancia 8,86%-a) csupán a légnomást tartalmazza.

4. *Faktor* (a teljes variancia 8,22%-a) alig gyengébb a 3. faktornál és csak a szélsőséget tartalmazza.

A továbbiakban a clusteranalízist alkalmaztuk a négyfaktorú faktorérték idősorokra, melynek eredményeként a vizsgált napokra tíz clustert (időjárási típust) kaptunk. A kapott clusterek mindegyike az összes vizsgált nap legalább 3,7%-át tartalmazza. A nyári évszakot sokkal több (10) időjárási típus jellemzi, mint a téli hónapokat (5). Az egész nyár folyamán mindössze két fő légnomási rendszer alakítja a Kárpát-medence időjárását: az izlandi alacsony nyomású hatásközpont Északnyugat-Európa felől, valamint az Azori-szigetek fölötti magas nyomású rendszer. Következésképpen, e két fő légnomási rendszer közötti eltérés mind az egyes paraméterek középértékeiben, mind a térségi légnomáseloszlásban meglehetősen csekély.

Az egyes légnomási rendszereket, s a hozzájuk tartozó légszennyezettség koncentrációkat a következőkben elemezzük (2. ábra).

1. *Cluster*. Az összes vizsgált nap 6,1%-át tartalmazza. Egy Nyugat-Európa felől Skandináviát kivéve Európa belseje fölé kiterjedő magas nyomású rendszer jellemzi, mely magába foglalja a Kárpát-medencét is. Együttal Délnyugat-Ázsia felől DK-Európa fölé egy fejlett termikus alacsony légnomási rendszer húzódik. Ebben az időjárási helyzetben a léghőmérséklet az összes clustert tekintve a legalacsonyabb. Ez azzal magyarázható, hogy ebbe a clusterbe többségében júniusi napok tartoznak. Következésképpen, az elsődleges (CO, NO, NO₂, NO₂/NO és PM₁₀, kivéve az SO₂-t), valamint a másodlagos (O₃ és O_{3max}) légszennyező anyagoknak ebben a clusterben a legalacsonyabbak a koncentrációi.

2. *Cluster*. Ez a kora nyári időjárási helyzet (az összes vizsgált nap 8,7%-ával) kevésbé jellegzetes, mivel az 1. Clusterben említett magas és alacsony nyomású rendszerek meggyengültek. A szélsőségek ebben a clusterben a legalacsonyabb. A légszennyező anyagok koncentrációja az SO₂ kivételével megnövekszik, míg az NO-koncentrációk a legmagasabb értékeiket veszik föl.

3. *Cluster*. Tipikus nyári helyzet az összes vizsgált nap 12,6%-ával. A meteorológiai elemek értékei egy tipikus nyári napot jeleznek. E típus fennállásakor a 2. Clusterrel összevetve az azori anticiklon kis mértékű visszahúzdódik Nyugat-Európa felé, míg a Délnyugat-Ázsia fölötti termikus alacsony nyomású rendszer Délkelet-Európa fölött megerősödik. E típus esetében a CO-koncentrációk megnövekednek, míg az SO₂ koncentrációja csökken.

4. *Cluster*. Ez a leggyakoribb típus az összes vizsgált nap 16,5%-ával, s mindegyik nyári hónapban jellegzetes. Légnomási rendszere nagyon hasonlít a 3. Clusterééhoz. Az egyetlen lényeges különbség az, hogy a 3. Clusterben Észak-Európa fölött megfigyelt kiterjedt alacsony nyomású rendszer itt hiányzik. A CO-koncentrációk csökkennek, továbbá a borultság jelentős csökkenése az O₃-koncentráció csekély emelkedését vonja maga után. (Az NO-koncentrációk gyakorlatilag nem változnak a 3. Clusterben mért értékekhez képest.) Az a tény, hogy a borultság számottevő csökkenésével csupán alig növekszik az O₃-koncentráció, a transzport folyamatok változásával magyarázható. Nevezetesen, a felhőzet csökkenését a cirkuláció megváltozása okozhatja, amely kevesebb ózont szállít Szeged fölé, mint korábban. Másrésztől az alacsonyabb ózonkoncentrációt csupán részben kompenzálják a megnövekedett globális sugárzás által felgyorsított fotokémiai folyamatok. A hosszútávú transzport is meghatározhatja a helyi ózonkoncentrációt, s így módon a helyi sugárzási viszonyoktól függő helyi ózonképződés mértéke kicsi.

5. *Cluster*. Tipikus kora nyári helyzet, melyhez a legkevésbé tartozik – az összes vizsgált nap mindössze 3,7%-a. Az azori anticiklon erősen fejlett, Európa belseje fölé terjeszkedik, de elkerüli a Kárpát-medencét. Ezzel egyidejűleg az Észak-atlanti térség fölött mélyül egy alacsony nyomású képződmény. Magas napi hőmérsékleti terjedelemből, továbbá borús időjárás és mérsékelt szelek jellemzik. A 4. Clusterrel összevetve nincs lényeges különbség a légszennyező anyagok koncentrációiban.

6. *Cluster*. Tipikus késő nyári helyzet (az összes vizsgált nap 10,0%-ával). Az azori magas nyomású rendszer mélyen benyúlik Kelet-Európa fölé, s ez esetben már a Kárpát-medencét is magába foglalja. Észak-Európa fölött nincsenek időjárási frontok. Igen magas a globális sugárzás, mely maga után vonja a hőmérsékleti paraméterek magas értékeit is. Ugyanakkor a szélsőségek alacsony. Következésképpen, az elsődleges légszennyező anyagok erősen földúsulnak. Jóllehet mind a globális sugárzás, mind az NO-koncentráció (melyek ellenkező hatást fejtenek ki az O₃ és O_{3max} koncentrációira) magasabb értékeket vesznek föl, mint az 5. Clusterben, a másodlagos légszennyező anyagok koncentrációinak csekély növekedése a globális sugárzás erősebb súlyát jelzi.

7. *Cluster*. Ez a második leggyakoribb típus, az összes vizsgált nap 15,6%-ával. Az azori magas nyomású rendszer erőteljesen visszahúzdódik, egészen a kontinens nyugati pereméig, s ezzel egyidejűleg egy alacsony nyomású rendszer mélyül el Észak-Európa fölött. Ez a típus a 6. Clusterhez képest egy jellegzetesebb légnomási rendszert jelez.

3. táblázat

	CO	NO	NO ₂	NO ₂ /NO	O ₃	O _{3max}	SO ₂	PM ₁₀
csoportok közötti átlagos négyzet	332509,51	174,27	1178,53	1873,59	1465,91	4555,88	26,59	2732,5
csoportokon belüli átlagos négyzet	21776,86	37,17	125,86	942,20	253,81	694,29	11,63	134,77
F-arány	15,27	4,69	9,36	1,99	5,78	6,56	2,28	20,28
szignifikancia-szint, %	99	99	99	96	99	99	98	99

ANOVA-statisztikák a légszennyező koncentrációk időjárás típusok közötti összehasonlítására (június, július és augusztus)

Ugyanakkor gyakorlatilag sem az időjárás elemek, sem a légszennyezőségi koncentrációk nem változnak az előző clusterhez képest.

8. Cluster: E típus gyakorisága minden egyes nyári hónapban megegyezik, s az összes vizsgált nap 10,2%-át tartalmazza. Az azori magas nyomású centrum kiterjed Közép-Európa fölé, míg az észak-európai alacsony nyomású rendszer két részre bomlik: az izlandi és a balti depresszióra. A Kárpát-medence a balti és a délkelet-európai depresszió közelében található. Emiatt megnövekszik a borultság, ami a hőmérsékleti paraméterek csökkenésével jár, a szélesebbé pedig ebben a clusterben éri el a maximumát. Emiatt olyan alacsonyak mind az elsőleges, mind a másodlagos légszennyező anyagok koncentrációi.

9. Cluster: Ez a típus az összes vizsgált nap 11,1%-át tartalmazza. Az azori magas nyomású centrum pozíciója nem változik, ugyanakkor Észak- és Kelet-Európa egy rendkívül kiterjedt és egységes alacsony nyomású rendszer hatása alatt áll. A Kárpát-medence a magas nyomású centrum peremén fekszik. Mivel az időjárás helyzet a 8. és a 9. Clusterben rendkívül hasonló, ebből adódóan a meteorológiai paraméterek csekély eltéréseket mutatnak. Következésképpen, nincs szignifikáns eltérés e két típus légszennyező anyag koncentrációiban.

10. Cluster: Jellegetes késő nyári időjárás típus, az összes vizsgált nap 5,4%-ával. Ebben a clusterben az azori magas nyomású centrum meggyengül. Másrészt a 9. Clusterben az Észak- és Kelet-Európa jellemző rendkívül kiterjedt és egységes alacsony nyomású képződmény itt eltűnik, s a helyén Ukrajna és Románia fölött egy magas nyomású rendszer képződik. Ugyanakkor Észak-Európa fölött egy nagy kiterjedésű alacsony nyomású képződmény fejlődik ki. A Kárpát-medence a két magas nyomású centrum között helyezkedik el, zavartalan besugárzást biztosítva, igen magas hőmérsékletekkel, s mérsékelt szelekkel. Ebben az időjárás típusban a legnagyobb mind az elsőleges (a kén-dioxid kivételével), mind a másodlagos légszennyező anyagok koncentrációja.

A téli hónapokhoz hasonlóan a szennyezőanyag koncentrációk egyes időjárás típusok közötti eltéréseinek szignifikancia vizsgálatát varianciaanalízis (ANOVA) segítségével hajtottuk végre. Az eredményeket a 3. táblázat tartalmazza. A CO, NO, NO₂, O₃, O_{3max} és PM₁₀ átlagos koncentrációi szignifikáns – időjárás típusok közötti – eltéréseket mutatnak a 99%-os valószínűségi szinten, míg az SO₂ koncentrációi a 98%-os szinten, az NO₂/NO koncentráció arány pedig a 96%-os szinten. A páronkénti összehasonlításokat elvégezve (Tukey-féle differencia tesztek), a kapott statisztikailag szignifikáns eltéréseket a 4. táblázat tartalmazza a 95%-os, illetve a 99%-os valószínűségi szinten, külön-külön. Nincs két olyan időjárás típus, amelyekre mind a 8 figyelembe vett légszennyező anyag átlagos koncentrációi szignifikáns eltérést mutatnak. Az időjárás típusok közötti legnagyobb eltérés öt légszennyező anyag átlagos koncentrációiban (az 1.-10., 6.-8., 8.-10. és 9.-10. típusok között), illetve négy légszennyező anyag átlagos koncentrációiban (az 1.-6., 1.-10., 2.-10., 3.-6., 3.-10., 4.-6., 4.-

10., 6.-8., 6.-9., 8.-10. és 9.-10. típusok között) tapasztalható. Összességében a 6. és a 10. időjárás típus különbözik leginkább a többitől, hiszen a páronkénti többszörös összehasonlítások az ő esetükben mutattak ki a legtöbb légszennyező anyag átlagos koncentrációi között szignifikáns eltéréseket. Ennek az lehet az oka, hogy e két típus szélesebbé jelentős mértékben különbözik. Ugyanakkor az 5. típus átmeneti clusternek tekinthető, mivel az átlagos légszennyezőségi koncentrációkban ez mutatja a legkevesebb szignifikáns páronkénti eltérést.

6. ELEMZÉS

Azon célból, hogy megbecsüljük a különböző időjárás típusoknak a szegedi légszennyezőségi koncentrációkra gyakorolt hatását, objektív többváltozós statisztikai módszereket alkalmaztunk meteorológiai és légszennyezőségi adatokra. Miután objektív tengerszinti légnyomású rendszereket definiáltunk az Észak-atlanti – Európai térségre, meghatároztuk a Kárpát-medence fölött uralkodó időjárás típusokat.

Bár az eljárást alkalmazták már a szakirodalomban (Sindosi et al., 2003); mégis ez egy új megközelítésnek számít a vizsgált térség időjárás típusainak osztályozására. Ugyanis Magyarország területére mindezidáig csupán az Észak-atlanti térség napi tengerszinti légnyomású mezőinek Péczely által elkészített szubjektív osztályozási rendszere ismeretes (Péczely, 1957; 1983). Péczely osztályozási rendszere – csakúgy, mint az objektív kategorizálásé – a 00 UTC időpontjában mért tengerszinti légnyomású mezőkön alapszik. Péczely 13 makroszinoptikus időjárás típusot határozott meg a Kárpát-medence területére. Ami a téli hónapokat illeti, a Péczely makrotípusok 4 csoportja különíthető el a Kárpát-medencében: (1) déli áramlással kapcsolatos helyzetek, (2) délnyugat felől Közép-Európa felé terjeszkedő anticiklon, (3) anticiklon Magyarországtól északra és (4) anticiklon a Kárpát-medence fölött. Ezek az időjárás típusok az összes vizsgált nap több mint 70%-át teszik ki a téli hónapokban. Ugyanakkor a jelen dolgozatban kimutatott öt objektív típust alapvetően zonális áramlások jellemzik (az összes vizsgált nap 87,5%-a). E típusok részletesebben a következők: anticiklon Magyarországtól délre (2. és 4. Cluster), délnyugat felől Közép-Európa felé terjeszkedő anticiklon (3. Cluster), egy zonális ciklonális típus

1	CO																			
2	NO ₂	PM ₁₀																		
3	CO																			
4	PM ₁₀																			
5	CO																			
6	O _{3max}																			
7	NO ₂	PM ₁₀																		
8	CO																			
9	PM ₁₀																			
10	CO	O _{3max}																		
	NO ₂																			
	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀	O ₃	PM ₁₀

Időjárési típus – légszennyezettség differencia mátrix (nyári hónapok). További magyarázat a 2. táblázat

(5. Cluster). E típusokat kiegészíti egy anticiklon centrum típus, azaz anticiklon a Kárpát-medence fölött (1. Cluster) (az összes vizsgált nap 12,5%-a). Ami a nyári hónapokat illeti, négy Péczy-típus a legjellegzetesebb: (1) Magyarország egy kelet-európai ciklon hátoldali áramrendszerében található, (2) délnyugat felől Közép-Európa felé terjeszkedő anticiklon, (3) anticiklon Magyarországtól északra és (4) anticiklon a Kárpát-medence fölött. Ezek az időjárési típusok az összes vizsgált nap több mint 60%-át teszik ki. Ugyanakkor a 10 objektív clustert alapvetően a következő csoportok határozzák meg: délnyugat felől Közép-Európa felé terjeszkedő anticiklon (2., 3., 4., 5., 8., 9. Cluster), anticiklon a Kárpát-medence fölött (1. és 6. Cluster), valamint anticiklon Magyarországtól keletre (10. Cluster). Az anticiklon centrum helyzet, valamint az anticiklon peremhelyzetek nyári túlsúlya nyilvánvaló mind a Péczy-típusoknál, mind az objektív clusterek esetében.

A téli és a nyári hónapokra definiált időjárési típusokat kapcsolatba hoztuk a légszennyezőanyag koncentrációkkal. Megállapítottuk, hogy a légszennyezettség koncentrációk különböző – a térségre jellemző – légnyomási rendszerekhez köthetők. Következésképpen, az időjárás-előrejelzés ismeretében a várható légszennyező koncentrációk előre megbecsülhetők. Ez az infor-

máció hozzájárul a súlyos légszennyezettségi epizódok megelőzéséhez. Ugyanakkor hangsúlyoznunk kell, hogy a légcirkuláció nem az egyetlen tényező a légszennyezettség ellenőrzésében. A feltárt légnyomási rendszerek csupán befolyásolhatják a légszennyező anyagok koncentrációit, melyek túlnyomó többségükben antropogén eredetűek. Emiatt a légszennyezettség koncentrációk precíz előrejelzéséhez a jó időjárás-előrejelzés mellett szükség van az emberek szokásainak ismeretére is. Pl. a csúcsforgalmi napok, a szabadságolás napjainak, vagy az ünnepnapok ismerete is kívánatos bizonyos kibocsátási korlátozások előírásakor. Végül egy másik tényező – mely szintén nem elhanyagolható – az időjárás perzisztenciája (fennmaradása). Továbbá figyelemmel kell lennünk arra, hogy olyan légnyomási rendszerek fennállása, mely tartósan kedvez a légszennyezők feldúsulásának, még rosszabb levegőtisztosági feltételeket eredményezhet.

7. ÖSSZEZÉS

A dolgozat a légszennyező anyagok szegedi koncentrációit elemzi, jellegzetes tengersizinti légnyomási rendszerek fennállásakor. E légnyomási rendszerek által meghatározott jellegzetes időjárési típusokat definiáltunk mind a téli, mind a nyári hónapokra, amelyek

jelentős szerepet játszanak a szennyezőanyagoknak Szeged belvárosában történő feldúsulásában. A téli hónapokra kapott eredmények azt mutatják, hogy az elsődleges légszennyező anyagok nagyobb koncentrációban fordulnak elő, amikor mind a felhőzet, mind a szélsőesség csekély (1. és 4. típusok; 1. ábra). Ez az eset fordul elő, amikor egy anticiklon található a Kárpát-medence fölött (1. Cluster), továbbá amikor a Magyarország felől délre eső térség egy anticiklon hatása alatt áll, mely befolyásolja hazánk időjárását (4. Cluster). Az elsődleges légszennyezők koncentrációi akkor alacsonyok, amikor Magyarország fölött zonális áramlások uralkodnak (a szélsőesség ekkor a legnagyobb) (3. Cluster, átmeneti típus és 5. Cluster). A nyári hónapok légnyomási rendszere nehezebben kategorizálható, mivel ekkor a légnyomási mezők változékonysága és a gradiensek kisebbek, mint télen. Ez elsősorban az anticiklon-centrum helyzetet, valamint az anticiklon peremhelyzetek túlsúlyának tulajdonítható. Az alacsony felhőzet és a rendkívül, alacsony NO_x-koncentrációk hatására ekkor a másodlagos légszennyezők meglehetősen fődúsulnak. Megjegyzendő, hogy nyáron az O₃-koncentrációk a télen mért értékek dupláját mutatják.

Az időjárási típusok előrejelzése lehetőséget teremt ahhoz, hogy megelőzzük a szélsőséges légszennyező koncentrációk kialakulását.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak az OMSZ Módszertani és Elemző Osztályának a vizsgált időszakra vonatkozó tengersizinti légnyomási adatok átadásáért, Haszpra Lászlónak és Horváth Lászlónak a troposzférikus ózontelbontással kapcsolatos értékes tanácsaiért, valamint Deák József Áronnak értékes növényökológiai tanácsaiért.

HIVATKOZÁSOK

- Ambrózy, P., Bartholy, J., Gulyás, O., 1984: A system of seasonal macrocirculation pattern for the Atlantic-European region. *Időjárás*, 88, 121-133.
- Anderberg, M.R., 1973: *Cluster Analysis for Applications*. New York: Academic Press, 353 pp.
- Bartholy, J., 1989: Determination of seasonal macrosynoptic types using cluster analysis and rotated EOF analysis. *Acta Climatologica*, Tom. 21-23, Fasc. 1-4, 23-33.
- Golder, D., 1972: Relations among stability parameters in the surface layer. *Boundary Layer Meteorology*, 3, 47-58.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Black, W.C., 1998: *Multivariate data analysis*. New Jersey: Prentice Hall (5th ed), 730 pp.
- Horváth, Sz., Makra, L., Motika, G., 2002: An objective assessment of the connection between meteorological elements and the concentrations of the main air pollutants at Szeged, Hungary. AMS Fourth Symposium on the Urban Environment and the 12th Joint Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology with the Air and Waste Management Association, Norfolk, Virginia, USA, 20-24 May 2002. *Proceedings J4.3*, J58-J59.
- Jolliffe, I.T., 1993: *Principal component analysis: A beginner's guide – II. Pitfalls, myths and extensions*. *Weather*, 48, 246-253.
- Kambezidis, H.D., Tulleken, R., Amanatidis, G.T., Paliatsos, A.G., Asimakopoulou, D.N., 1995: *Environmetrics*, 6, 349-361.

- Kambezidis, H.D., Weidauer, D., Melas, D., Ulbricht, M., 1998: *Atmospheric Environment*, 32, 2173-2182.
- Kassomenos, P., Flocas, H.A., Skouloudis, A.N., Lykoudis, S., Asimakopoulou, V., Petrakis, M. 1998: Relationship of air quality indicators and synoptic scale circulation ant 850 hPa over Athens during 1983-1995. *Environmental Technology*, 19, 13-24.
- Károssy, Cs. (1987). *A Péczely-féle makroszinoptikus típusok katalógusa (1983-1987)*. *Légkör*, 32/3, 28-30.
- Károssy, Cs., 2004: *A Péczely-féle macroszinoptikus típusok, 1988-2003*. Kézirat
- Köppen, W., 1931: *Grundriss Der Klimakunde*. Walter De Gruyter & Co., Berlin
- Makra, L., Horváth, Sz., Sümegehy, Z., 2002: An objective analysis and ranking of cities on environmental and social factors. *IGU 2002. Geographical Renaissance at the Dawn of the Millennium*. Durban, South-Africa, 2002. In: *Climates in Transition* (Nkemdirim, L.C. ed.), Minuteman Press, 161-172.
- Makra, L., Mika, J., Bartzokas, A., Béczi, R., Borsos, E., Sümegehy, Z., 2006: An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary with special interest to air pollution levels. *Meteorology and Atmospheric Physics* (in press)
- McGregor, G.R., Bamzeli, D., 1995: Synoptic typing and its application to the investigation of weather – air pollution relationships, Birmingham, United Kingdom. *Theoretical and Applied Climatology*, 51, 223-236.
- Mohl, M., Gaskó, B., Horváth, Sz., Makra, L., Szabó, F., 2002: Szeged 2. Környezetvédelmi Programja, 2003-2007. Kézirat, (Polgármesteri Hivatal, H-6720 Szeged, Széchenyi tér 10.)
- Pasquill, F., 1962: *Atmospheric diffusion*, Van Nostrand, 209 pp, London
- Péczely, G., 1957: *Grosswetterlagen in Ungarn*. Kleinere Veröffentlichungen der Zentralanstalt für Meteorologie Budapest 30, 86 pp, Budapest
- Péczely, G., 1959: Budapest klégseznnyezettsége különböző időjárási helyzetekben. *Időjárás*, 63, 19-27.
- Péczely, G., 1979: *Éghajlatlan*. Tankönyvkiadó, 336 pp, Budapest
- Péczely, G., 1983: *Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek katalógusa, (1881-1983)*. Országos Meteorológiai Szolgálat, 53, 116 pp, Budapest
- Sindosi, O.A., Katsoulis, B.D., Bartzokas, A., 2003: An objective definition of air mass types affecting Athens, Greece; the corresponding atmospheric pressure patterns and air pollution levels. *Environmental Technology*, 24, 947-962.
- Trewartha, G.T., 1943: *An Introduction to Weather and Climate*. McGraw-Hill, New York
- Turner, D.B., 1964: A Diffusion Model for an Urban Area. *Journal of Applied Meteorology*, 3, 83-91.

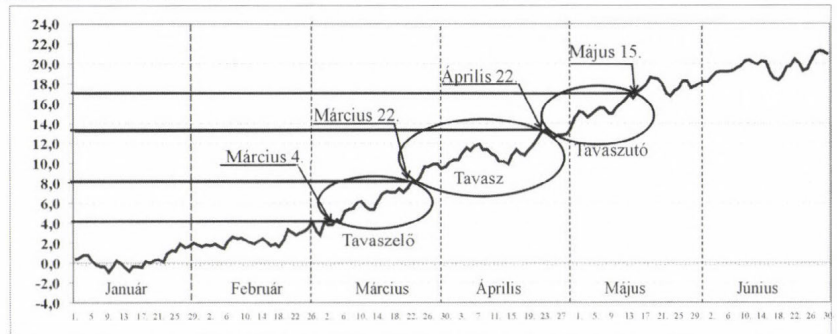
**Makra László, Béczi Rita, Sümegehy Zoltán,
SZTE Égh. és Tájé. Tsz.
Mika János OMSZ,
Motika Gábor ATVKTVE,
Szentpéteri Mária SZTE Tanítóképző Int.**

Helyreigazítás

A *Légkör* 2005. 3. és 4. számában megjelent „Hawaii – a mosoly országa” című cikk szerzői helyesen: Makra László, Szentpéteri Mária, Gál András, Vitányi Béla. (A szerk.)

NÉHÁNY SZÓ A TAVASZRÓL

Manapság gyakran lehet hallani, hogy az utóbbi években nincsen tavasz, a tél után rövid átmenet után hirtelen kezdődik a nyár. Nézzük, igazuk van-e azoknak, akik azt állítják, hogy régen másként volt, vagyis tavasszal igazi tavasz volt. Először is, határozzuk meg, mit fogadunk el a tavasz, a nyár, az ősz és a tél kezdetének? Magyarországon az évszakok kezdete nem esik egybe a csillagászati évszakok kezdetével. Az időjárás nem ragaszkodik a naptári határokhoz, ezért nem helyes az az állítás, hogy a meteorológiai tavasz március 1-én, a nyár június 1-én kezdődik, az ősz kezdőpontja szeptember 1., a télről pedig december 1-től beszélhetünk. Célszerűnek tűnik az éghajlati évszakokat hőmérsékleti határokkal kijelölni. A tél és a nyár közötti átmenetre nézve a tavaszról, magáról tavaszról és a tavaszutóról lehet beszélni. Réthly Antal, a XX. század elején tevékenykedő meteorológus javasolta a meteorológiai évszakokra vonatkozó fenti fogalmakat és hőmérsékleti határokat. Ezeket felhasználva – az 1971–2004. közötti időszak budapesti hőmérsékleti adataira támaszkodva – megállapítottuk, hogy a tavaszról (amikor a napi középhőmérsékletek 4 és 8 fok között alakulnak) március 4. és 22. között tart (18 nap). Maga a tavasz (a 8-13 fok közötti napi középhőmérsékletekkel) március 22-én kezdődik és április 22-én ér véget (összesen 31 napig tart). Majd április 23-tól május 15-ig, átlagosan 23 napon, a tavaszutóban van részünk (ez alatt az idő alatt a napi középhőmérsékletek 13 és 17 fok között mozognak). Ezek szerint már május 16-tól kezdődik a nyárelő, ami igaz is, mert ebben az időszakban a hőmérséklet alakulása a június eleji viszonyokat tükrözi (1. ábra).



1. ábra. Napi átlagos középhőmérsékletek alakulása január 1. és június 30. között

A fentiek szerint tehát a tavasz átlagosan tényleg rövid ideig, összesen **72** napig, azaz kb. két és fél hónapig tart. Ezzel szemben a nyár 118 napot, közel 4 hónapot foglal magába. Az a tény, hogy a télből a nyárba való átmenet valóban rövid, Magyarország éghajlatának szárazföldi jellegéből adódik. Az egyes években a tavasz kezdete és vége lényegesen eltér az átlagos határnapoktól, ami a Kárpát-medence természetes éghajlati ingadozásának következménye. A tavaszról egyébként a XX. század első felében is átlagosan március 15-én kezdődött és a tavaszutó május 20-ig tartott, a tavasz tehát átlagosan **74** napos volt, így a mostani és a régi tavaszok átlagos hosszúsága között nincs jelentős különbség!

Március első harmada időjárását tekintve nagyon változatos lehet. Sok esetben a telet idézi, de kellemes, meleg időjárás is előfordulhat ebben az időszakban. Az átlagos

napi középhőmérsékletek rendszerint már február 10-től 0°C felett alakulnak, így márciusra sem jellemzők a fagypont körüli, illetve alatti napi értékek. Általában a március 11. és 31. közötti időszak az év legdinamikusabban melegedő periódusa, ez alatt az idő alatt a napi középhőmérséklet-emelkedés meghaladja a 3 fokot. A tavaszi felmelegedés a március 20. utáni időszakban a leggyorsabb (1. és 2. táblázat).

Az egyes években a hőmérséklet alakulásában nagy szélsőségek mutatkoznak. Március elején 5 százalékos valószínűséggel lehet -5 és -10 fok közötti fagyokra számítani, 1 százalékos valószínűséggel pedig -10, -15 fokos értékek is előfordulhatnak (1963. március 1-én Győr környékén -24,8 fokot regisztráltak, Budapesten a legalacsonyabb márciusi hőmérsékletet, -14,8 fokot, 1986. március 4-én mérték). A legmagasabb márciusi hőmérsékletet

1. táblázat

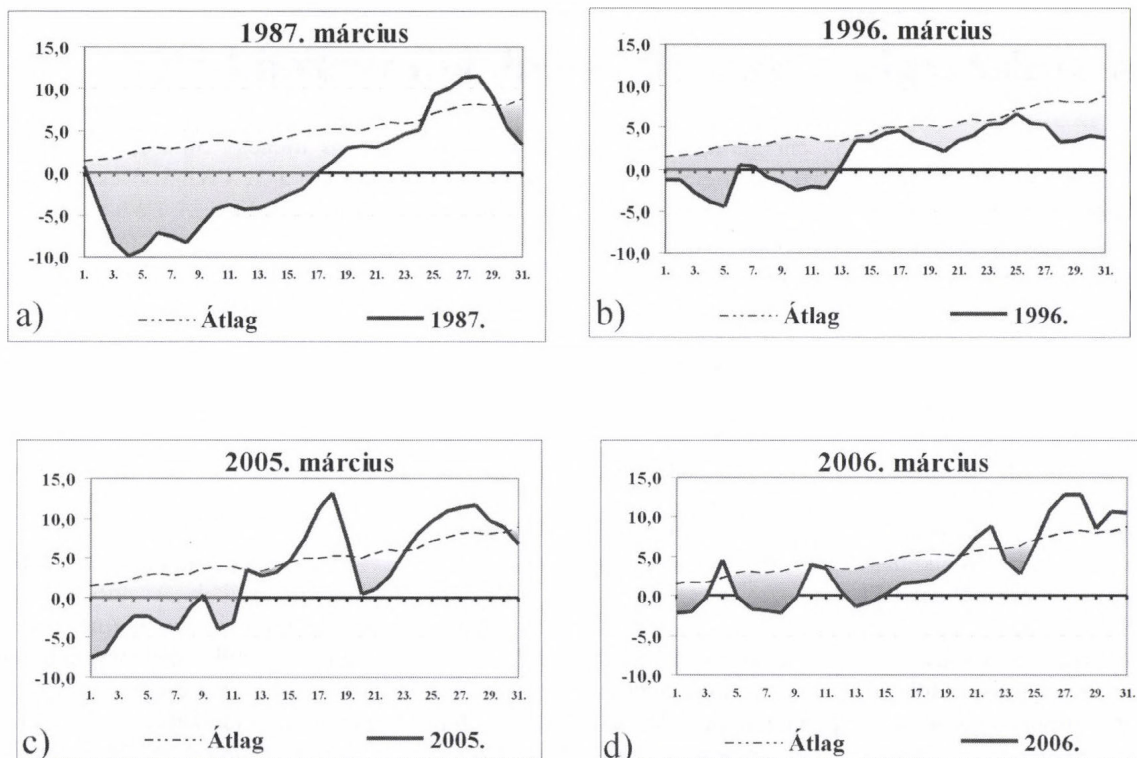
Év	1987.	1932.	1958.	1931.	1962.	1996.
Havi középhőmérséklet, °C	0,0	0,4	0,9	1,3	1,5	1,7

Márciusi középhőmérsékletek alakulása a leghidegebb márciusokban

2. táblázat

Év	1990.	1934.	1916.	1977.	1989.	1981.
Havi középhőmérséklet, °C	9,0	8,8	8,8	8,3	8,2	8,1

Márciusi középhőmérsékletek alakulása a legmelegebb márciusokban



2. ábra. Márciusi napi középhőmérsékletek alakulása a sokévi átlaghoz viszonyítva

(+28,4°C) 1977. március 24-én, Homokszentgyörgy térségében jegezték fel. Az utóbbi években már március elején is többször előfordultak +20 fok feletti napi maximumok.

A 100 évnél is hosszabb havi középhőmérsékleti adatsorokat elemezve kiválasztottunk néhány leghidegebb és legmelegebb márciusot.

A közel 120 éves periódust megvizsgálva megállapítható, hogy a leghidegebb március 1987-ben volt (2-a. ábra). Ebben az évben a márciusi havi középhőmérséklet kb. 5 fokkal az átlag alatt maradt. Az évszakhoz képest rendkívül hideg időjárás csak a hónap végén fordult enyhébbre. Érdemes megemlíteni, hogy ebben az évben március 4. és 8. között az éjszakai legalacsonyabb hőmérséklet többfelé -15, -20 fok alá süllyedt, sőt egy-egy helyen -22, -25 fokot is mértek (pl. március 5-én Iregszemcse térségében -25,2°C-ot regisztráltak!). Ebben a hónapban a Dunántúl északnyugati, nyugati területein 15 – 20 napig volt hótakaró, az ország többi részén a hótakarós napok száma

5 és 10 között váltakozott. A hónap végén viszont hirtelen berobbant a meleg, és a didergető hideg napok után napközben +17, +21 fokig is emelkedett a hőmérséklet.

1996. márciusában (2-b. ábra) az átlagosnál 3-4 fokkal hidegebb, csapadékban és napfényben szegény volt az időjárás. A hónap első harmadában a hideg és havazásokban gazdag tél után folytatódott a télies időjárás. Különösen hideg volt az idő március 5-én, ezen a napon az éjszakai órákban a Dél-Alföldön -15, -18 fokig hűlt le a levegő, a talajközeli rétegben a hótakaró felett -18, -20 fokig is csökkent a hőmérséklet. Március elején a nappali órákban is többfelé fagypontra maradt a csúcshőmérséklet, sőt március 4-én és 5-én az ország keleti részén a kora délutáni órákban mindössze -1, -4 fokig melegedett föl a levegő. Március középső harmadában (főként 11. és 13. között) sem változott az időjárás jellege, vagyis folytatódott az inkább téliesen hideg, borongós időjárás.

2005-ben is késett a kitavaszkodás (2-c. ábra). Ebben az évben a nagyon hideg, kemény fagyokat hozó február után március közepéig hó takarta a földeket. Szokatlan hideg volt a hónap első hetében. Március 2-án például Rábagyarmaton a kora hajlani órákra -21,5 fokig csökkent a hőmérséklet. A havi átlaghőmérséklet nem volt szokatlanul alacsony, de ha az egész hónapnál rövidebb szakaszokat vizsgálunk (pl. március első hete, illetve első fele), akkor 2005-ben ez a második leghidegebb időszak volt.

Az idén is a hideg január és február után, amikor már mindenkinek elege volt a téli hidegekből, havazásokból, nem sietett a várva várt kitavaszkodás (2-d. ábra). Igaz, hogy 2006. márciusában a napi átlag alatti hőmérsékletekben nem találtunk szélsőségesen alacsony értékeket, de nagyon is kellemetlenül érintett minket az elhúzódó tél szorítása. Ráadásul március első felében sokfelé havazott, a havazásokat gyakran erős, ill. viharos szél kísérte.

Kalmár Györgyné

A szélenergia hasznosításának környezeti hatása

Az energia-termelés során – alapvető tény – mindig fellépnek környezeti hatások. A környezeti hatások egy része káros, például a légszennyezés, más része hasznos, konkrétan az amiért e tevékenységet folytatják, például a villamos energia termelése. A hatások pozitív és negatív oldala együttesen vizsgálható, amikor a tevékenység szükségességét, hasznosságát mérlegelik. Ez a törekvés, azaz az ilyen kiterjedt költség- és haszon-elemzés, az energia-gazdálkodásban is csak az utóbbi időben vált jellemzővé. A környezet igénybevétele, a környezet rombolás, a levegő és víz-szennyezés, a föld és tájhasználat, a globális klíma megváltoztatása, vizuális szennyezés jelentősége és ennek a költségek közötti kalkulálása is csak azóta vált elfogadottá. Az elemzések többsége szakértői becsléseken alapul, kiváltva ezzel komoly vitákat.

A modern társadalom számára nem csak az energia előállítása, hanem az igények kielégítésének módja is gazdasági és politikai feszültségek forrása. Talán példának említhetnénk a fenntartható fejlődés biztosításának társadalmi igényét, az egyenlőtlen elosztásból fakadó szociális problémákat, a nagyfokú koncentrációból adódó sebezhetőséget, kockázatot, a fejlett és fejletlen országok érdek-különbözőségét.

Ezt a vitáktól hangos, érdekektől megosztott területet tovább terheli számos, a környezet védelemével kapcsolatos probléma is, mint pl. a széndioxid kibocsátás és a kapcsolódó üvegház-hatás, a savas csapadék, a radioaktív hulladék, az ózonlyuk, a tengerek olaj szennyezése, a bányászat tájromboló hatása.

Mindezek a problémák szükségserűvé teszik, hogy az emberiség kifejlesszen olyan olcsó, bőséges

energia-termelő, vagy megtakarító technológiákat, melyek nem, vagy csak kis mértékben terhelik a környezetet, nem okoznak visszafordíthatatlan környezeti károkat, a fenti értelmű vitákat mérséklék.

E törekvések két fő csapásiránya: egyfelől az energia racionális használatát elősegítő, másfelől a megújuló energiatermelését lehetővé tevő technológiák kifejlesztése. Mindkét irány bírja a társadalom, a politika aktív támogatását.

Biztos, hogy a felsorolt okok is közrejátszottak abban, hogy manapság reneszánszát éli a szélenergia hasznosítása. Naivság lenne azt hinni, hogy pont ez az energia-termelési mód lenne a kivétel a fent elmondottak alól. Természetes, hogy a szélenergia hasznosítása során is vannak, lesznek problémák, melyek nagymértékben környezeti hatásokkal és károkkal vannak kapcsolatban. A kérdés a hatások-, a károkozás mértéke, melyet összevetve más technológiákkal kapcsolatban felmerülő terhelésekkel, eldönthető, hogy helyes irányba haladunk-e.

A szél energiája

A mozgó léghőmozgás kinetikus energiája, az áramlás éves energia tartalma, ha globális léptéken a kinetikus energia keletkezése majd annak disszipációja átlagosan hét nap alatt zajlik le, akkor mintegy 10^{23} J. A szárazföld szélenergia kapacitása (munka végző képessége) mintegy 53.000 TWh, ezen belül Ny-Európáé 4.800 TWh, tovább haladva K-Európa a korábbi Szovjetunióval 10.600 TWh energia kapacitással rendelkezik. (Sørensen 2000).

A közeljövő földi energia igényére jellemző az a becslés, mely szerint az új évezred első évtizedében csak az elektromos energia felhasználás

nálás mintegy 30%-kal növekszik, és eléri a 21 TWh-ás éves igényt és 2020-ra pedig a 27 TWh-t.

Ha a szélenergia fenti értékeit összevetjük a Föld 2010-re becsült villamos energia igényével, akkor látható, hogy a szárazföld szélenergia potenciáljának 0,04%-ából kielégíthető lenne a Föld villamos energia igénye. Ha csak az európai potenciált nézzük, akkor is két-három ezrelék már fedezhetné az igényeket.

Természetesen ezek az adatok elméleti értékek. A valóság jobb közelítéséhez figyelembe kell venni egyfelől a szélenergia átalakításának veszteségét, másfelől pedig a rendelkezésre állás erős időbeli ingadozását. Meg azt is, hogy senki se akarna szél erőmű erdő közelében élni a valóságos erdő helyett.

A lehetőségek ismeretében, a fenti korlátok ellenére sem csoda, hogy nagyon jelentős fejlődésnek indult a szélenergia hasznosítása. A befektetők, az állam egyre nagyobb lehetőséget lát e természeti erőforrás kiaknázásában. Egyes becslések szerint csak Európában az évtized végére, akár 100.000 MW hasznos teljesítmény kiépítése is reális.

Az olaj és egyéb fosszilis tüzelőanyagok árának emelkedésével, a technológiák gyors fejlődése eredményeként, a szélből nyert energia ára közeledik az állami támogatások nélkül is versenyképesnek tekinthető árhoz. Tehát a gazdasági kényszerek egyre kevésbé állnak a felhasználás útjában.

Azt hiszem, hogy a fentiekkel ösztönözött érveket szolgáltatottak arra, hogy érdemes és szükséges valóban komolyan foglalkozni a szélenergia termelés környezeti hatásaival, hiszen az iparág megakadályozhatatlan lendülettel fejlődik hazánkban is.

A szélerőművek környezeti hatása

Mielőtt a részletekbe mennénk, fontosnak tartjuk egy korábbi konkrét, számszerű vizsgálat néhány adatát bemutatni (Extern E. 1995).

E tanulmány a szélerőművek áramtermelése során egy KWh áram előállításához szükséges egyes externáliák (környezeti károk) árának becslésével foglalkozott. Eredményeiket tized EUR-Centben adták meg, amelyeket az egyszerűség kedvéért 250 Ft/EUR átváltási ár figyelembevételével forintban adunk most meg (összevetéshez, ma a fosszilis alapanyagú hazai erőművektől felvásárolt áram ára – nagy szórás mellett – 15 Ft/KWh körül mozog):

Zaj 0,018 – 0,275 Ft/KWh

Globális melegedés 0,038 Ft/KWh

Savasodás 0,18 Ft/KWh

Terület használat 0,065 Ft/KWh

Balesetveszély 0,023 Ft/KWh

Vizsgálódásunk során számos ismert és lehetséges környezeti hatást elemeztünk (ABC szerint felsorolva):

Árnyékolás, árnyék-vibrálás, baleseti kockázat, beavatkozás a légköri áramlási rendszerbe, biológiai sokszínűség sérülése, elektromágneses interferencia, madárpusztulás, táj-terhelés (látvány), terület-foglalás, zaj kibocsátás.

Az egyes hatások vizsgálatánál alapvetően irodalmi adatokra támaszkodunk, hivatkozva a forrásra.

Árnyék és árnyék-vibrálás

A szélerőmű oszlopa, szárnylapátja és egyéb egységei árnyékot vetnek, melynek mértéke nagyban függ a konstrukció felületétől, a szél irányától, a napállástól, illetve az égbolt borultságától.

A napsugárzás két részre bontható, úgymint direkt és diffúz (szórt) sugárzás. A direkt sugárzás útjában lévő forgó lapátú szélerő-

mű hatására egy folyamatos vibráló, illetve az álló kerék mögött egy lassan mozgó árnyék jön létre. A diffúz sugárzást az ilyen „karcsú” építmény, akár több tíz elemet tartalmazó szélerőmű farm méretben sem befolyásolja.

Az árnyák hatás egyfelől a környék épületeiben tartózkodókat (lakókat), illetve a közlekedést, másfelől a mezőgazdasági termelést érintheti.

A két hatás közül az árnyék-vibrálás az, amely az igazi probléma forrása, ugyanis a fény intenzitás gyors változása meglehetősen zavaró hatású. Az álló szélkerék mögött kialakuló árnyék a napállás változásával mintegy vándorol és csak rövid ideig tartózkodik egy-egy helyen. E rövid idejű hatásnak nincs említésre méltó következménye.

Álló rotort és állandó napsütést feltételezve az épületek benapozására használt számítási eljárásokkal az érintett terület körvonala jól meghatározható. A vibráló hatás ezen a területen belül léphet fel. Mértékét erősen befolyásolja a szélirány és a sebesség, a napállás, a légkör átláthatósága.

Az érintett terület alacsony napállásnál (napkelte, napnyugta) jelentős, a szélerőmű talpától akár több kilométer is lehet, míg a nap többi részében 3-400 méterre korlátozódik. A rövid ideig tartó, de nagy területeket érintő hatás miatt külö-

nösen érdekes, hogy e kérdésben Németországban már bírósági döntés is születet (Dobesch and Kury, 2001), mely az érintetteket kismértékben, de tűrésre kötelezte. Konkrétan évente 30 óra időtartamban el kell viselniük az árnyék-vibrálást.

Baleseti kockázat

A mai korszerű nagy teljesítményű szélerőművek tengely magassága akár a 100 m-t, míg szárnylapátjainak hossza az 50 m-t is meghaladhatja. Nagyobb szélben a meglehetősen gyorsan forgó lapátok jelentős impulzussal rendelkeznek, így ha leszakadnak, akkor ballisztikus lövedékhez hasonlóan repülve az erőműtől nagyobb távolságra is kerülhetnek. A több tonna súlyú alkatrészek bizony komoly potenciális veszélyt jelenthetnek, pl. az offshore telepítésnél hajókra, autótutak mentén a közlekedőkre, vagy közeli lakóházak estén azok lakóira.

A veszélyek ismeretében, a kockázatok csökkentésére a nagy szélesebségeknél automatikus leállító rendszer üzemel. Általában 25 m/s-ot meghaladó szélesebség esetén a rendszer leáll. A kerekek nem forognak tovább.

De más események is bekövetkezhetnek, pl. az oszlop ledől, vagy egy-egy alkatrész leesik, esetleg jég képződik és az hullik le.

Az árnyékhatástól befolyásolt távolság (m) a toronymagasság és a napállás függvényében

Toronymagasság	50	60	70	80	90	100	110	120
Napmagasság								
2°	1432	1718	2005	2291	2577	2864	3150	3436
2.5°	1145	1374	1603	1832	2061	2290	2519	2748
3°	954	1145	1336	1526	1717	1908	2099	2290
15°	187	224	261	299	336	373	411	448

Az óra járásával É-ről indulva (0=360 fok) az árnyékhatás releváns területe

0° – 24°	Az építmény magasságának 3,732-szeresén belül árnyék lehetséges
24°–108°	Árnyék lehetséges 15° magassági szög felett
50° – 124°	Árnyék lehetséges 2-3° magassági szög felett
124° – 236°	Releváns árnyékolás nincs
236° – 310°	Árnyék lehetséges 2-3° magassági szög felett
252° – 336°	Árnyék lehetséges 15° magassági szög felett
336° – 360°	Az építmény magasságának 3,732-szeresén belül árnyék

A kérdés kettős: mekkora legyen a védőtávolság, azaz meddig repülhet egy-egy ilyen alkatrész, illetve mekkora a kockázata egyáltalán ennek az eseménynek

Holland, német és dán erőműveknél bekövetkezett több mint kétszáz súlyos eseményt analizáltak (Braam, 2002). A teljes adatbázis mintegy 43 ezer erőmű-évet reprezentált. A kétszáz esetből végül 62 bizonyult a környékre veszélyesnek. A 0,5–2 MW teljesítményű háromlapátos erőműveknél a megengedett forgási sebesség kétszeresénél az elemzések szerint a veszélyeztetett terület az oszlop 3–400 méteres körzete, az oszlopmagasság függvényében.

Annak kockázatát, hogy egy ilyen baleset bekövetkezik, és egy személy meghal, aki folyamatosan és védelem nélkül e területen tartózkodik, 10^{-6} év értékben adták meg. Azt pedig, hogy például egy tartálykocsi balesetet szenved, amíg elhalad egy szélfarm mellett $p = 5,9 \cdot 10^{-10}$ valószínűségűnek becsülték. (Az üzemanyag szállító gépkocsi 15 m hosszú és 2,5 m széles, továbbá 85 km/h sebességgel egy szélfarm (9,5 km hosszan települt 20 db 100 m magas és 74 m szélkerék átmérőjű szél erőmű) mellett az oszlopoktól 37 m távolságon halad.)

Beavatkozás a légköri áramlási rendszerbe

A szél erőmű az áramló levegő kinetikus energiáját használja fel és alakítja át villamos árammá. Tehát, mintegy „energia szivattyú” működik. Energiát emel ki az áramlásból, melynek következtében szükség szerűen csökken a szélesebbesség. Az izgalmas kérdés arra irányul, hogy mekkora ez a csökkenés, és ez a csökkenés hatással lehet-e a lokális, vagy nagyobb méretű cirkulációs rendszerekre?

A nagy kiterjedésű szélfarmok esetén a kérdés nem csak elméleti,

hanem gyakorlati szempontból is fontos. Hiszen a szélirányban álló erőművek erősen ronthatják a mögöttük elhelyezkedők hatásfokát. A kérdéskört vázlatosan Christiansen (2006) munkája alapján mutatjuk be.

Dániában Horns Rev-ben (Északi tenger) 80 szél erőmű 160 MW teljesítménnyel, Nysted-nél (Balti tenger) 78 turbina 166 MW teljesítménnyel üzemel. Az erőművek szél gyengítő hatását, illetve a turbulencia intenzitásának növekedését nagyfelbontású SAR (Synthetic Aperture Radar) képek és földi mérések felhasználásával vizsgálták.

A szél erőmű farmon átlagosan 8–9% sebesség csökkenést tapasztaltak, közvetlenül az erőművek közelében, szélirányban. A környezeti szélesebbeségtől már csak 2%-kal kisebb sebességet tapasztaltak 5–20 km távolságban, a szélesebbesség, a légköri stabilitás és a működő szél erőművek számának függvényében. (A felszíni szélmérések és a modell-számítások jó egyezést mutattak.)

Számos hasonló mérés alapján kimondhatjuk, hogy a szél erőművek közelében jelentős szélgengyelés fordul elő, miközben a turbulencia erősödése is tapasztalható.

A légköri cirkulációs rendszert, pontosabban annak módosulását érintő kérdésre más megközelítéssel válaszolunk. A bevezetésben már említettük, hogy a Föld 2010-re becsült villamos energia igényét a szárazföldi szélerő energia potenciáljának 0,04%-ából ki lehetne elégíteni. Ha egy rendkívül ambiciózus tervet elemzünk, amikor a Föld villamos energia igényének 10%-át szárazföldi és offshore szél erőművekkel állítják elő, akkor a szárazföldi szélerő energia potenciál legfeljebb 3×10^{-5} részét használnánk ki.

Milyen következményei lehetnek?

Egyfelől a kinetikus energia disszipációjának (hővé alakulásának) területi eloszlása változna (hisz a villamos energia felhasználá-

lása nem esik egybe az energiatermelés helyszínével), másfelől megváltozna a kinetikus energia – a már említett hétnapos – disszipációs ideje. Mindkét esetben nyugodtan mondhatjuk, hogy a változás mértéke messze kisebb, mint a jelen ismereteinkben meglévő bizonyosság. Például, a disszipáció ideje legfeljebb egyharmad perccel rövidülne.

E tekintetben nyugodtan kijelenthetjük, hogy nem valószínű a globális légköri cirkulációs rendszer megzavarása. Az azonban nem zárható ki, hogy a helyi szélrendszerek kisebb módosulása bekövetkezik.

Elektromágneses interferencia

Amennyiben rádió, televízió, vagy mikrohullámú adó és vevő között szél erőmű helyezkedik el, előfordulhat az elektromágneses hullámok visszaverődése. A visszavert hullám aztán interferenciába léphet az eredetileg kibocsátott elektromágneses hullámmal. Ha ez az interferencia fellép, akkor például a TV kép „szellemképes” lesz, vagy a rádió „zavartnak” tűnik. Egyes vélemények szerint a radar berendezések zavara is felléphet, bár e kérdés egyelőre nyilvánosan nem tisztázott.

A visszaverődés nagymértékben függ a szélkerék és a torony anyagától, annak fizikai méreteitől, alakjától. Általában a zavar megszüntetéséhez egyéb műszaki beavatkozások (néha drága megoldások) szükségesek, például a TV esetében kábel hálózat kiépítése, vagy újabb átjátszók alkalmazása.

Feltűnő azonban, hogy az irodalomban e kérdés alapos, a részleteket is feltáró vizsgálatai hiányoznak. A jelenséget és a potenciális problémát, mint egy egyszerű, technikai eszközökkel megoldható kérdést kezelik.

Erózió

Szokásos körülmények közt, sík területen telepített erőművek esetén a jelenséggel nem kell számolni. Nem így a hegyvidékeken, sívatakokban, azaz nem művelt területeken. Itt a telepítéssel kapcsolatos munkák következtében megbontják a korábbi felületet és ez által a szélnek, a csapadéknak jobban kitért helyzetet hozhatnak létre. Mindezek azonban gondos munkavégzéssel és a terület tudatos védelmével könnyen elkerülhetők.

Madár- és denevérpusztulás, biológiai sokszínűség sérülése

A szélerőművek hatása e téren kettős: – egyfelől a madarak és denevérek közvetlen ütközése a szélkerékkel – másfelől a zavaró hatás miatt a madarak élettere beszűkül és feltehető az elköltözésük.

Az irodalomban talán a leggyakrabban hivatkozott madárpusztulás a californiai Altamont Pass területén folyik. A hetvenes években épített szélerőmű farm mintegy 6700 kisebb teljesítményű, nagy forgássebességű elemből áll. A kilencvenes években átlagban évente mintegy 300 db ragadozó madár esett áldozatul, ütközve a szélkerekekkel. Bár ez a szám megdöbbentően magas, mégis a szokásos madár/turbina/év mérőszámot alkalmazva még a 0,5 értéket sem éri el. Az irodalomban található európai, ausztráliai adatokkal általában ennél magasabbak, jelentős szórással egy-két madár/turbina/év paraméterről számolnak be (*Wind coordinating committee*, 2004).

Fontos megjegyezni, hogy a ragadozó madarak a leginkább veszélyeztetettek. (A vadászás során vélhetően csak a prédára koncentrálnak.) Nagyfokú pusztulásukkal felborulhat a helyi biológiai egyensúly.

A baj általában a rosszul megválasztott telepítési hely miatt van. Ezért a madár és denevér pusztulás elkerülésére különösen körültekintő telepítést javasolnak a szakértők, például a kisebb madarak lakóhelyétől 250–500 m-es, míg a nagytestű állatok esetében akár 800 m-es védőtávolságot tartanak szükségesnek.

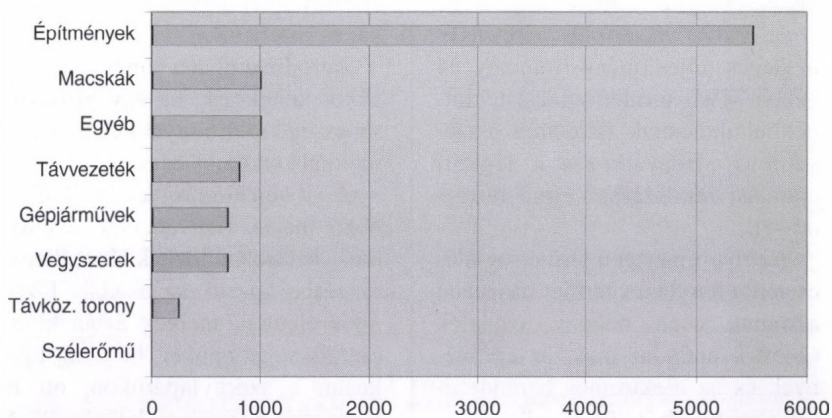
A javaslatok szerint az erőművek telepítésnél kerülendők a védett madarak tartózkodási területei, a vándorlási útvonalak, az az élettér ahol sok madár tartózkodik, továbbá a költőhelyek környezete (*Chapman*, 2003.).

továbbá, hogy az erőmű közelében lakók véleménye az idővel kedvezőbb lesz.

Talán objektívebbnek tűnhet a véleményalkotás, ha az erőművek körzetében lévő ingatlanok értékét, illetve értékében bekövetkezett változásokat mérlegeljük. Gyakori vélemény, hogy az ingatlanok értékvesztést szenvednek el, bár előfordul olyan vélemény is, hogy ezen építmények nincsenek befolyással az árra (*20-MW Wind Farm*, 2002) Mindenesetre a nyitott tér, a zavartalan tájkép értéknövelő, melyet az erőművek képe ronthat.

Áthidaló megoldásként az újabb

Madárpusztulás oka 10000 esetből



Forrás: Erickson, et al., 2002. Summary of Anthropogenic Causes of Bird Mortality

Táj-terhelés (látvány)

A szélerőművek egy adott térség meghatározó látványai. Az erőmű magasságától és a felszín egyenletlenségeitől függően 2 km-en belül a táj domináns eleme, míg 2–5 km-en belül fontos eleme (*Stanton*, 1996).

Annak megítélése, hogy a tájképet mily mértékben zavarja (vagy éppen kiegészíti), komoly, a szubjektív értékítélettől befolyásolt viták tárgya. Az állásfoglalás erősen függ a véleményt alkotó és a szélerőmű kapcsolatától. Azaz akik közel lagnak egy ilyen erőműfarmhoz azok véleménye kevésbé pozitív, mint azoké, akiknek nincs közvetlen tapasztalatuk, illetve a telepítésben érdekeltek. Érdekes tapasztalat

telepítésekkor részletes látványterv készítését javasolják. A tervnek a fontos tájképi elemeket és értékeket, valamint az azokra gyakorolt hatást is be kell mutatnia (*Cambridge windfarm proposal*, 2004). A látványtervek alapján aztán széleskörű társadalmi egyeztetés eredményeként szülehetnek meg a döntések.

Léteznek vizsgálatok és azokon alapuló javaslatok, melyek szerint például a szélerőmű színe, annak változatossága, a környezetben lévő állandó építmények és azok horizontális mérete, az energia hálózattal kiépített kapcsolat, a megközelítést biztosító út is jelentőséggel bír a látvány tekintetében.

Összefoglalóan mondhatjuk, hogy e tárgykörben nincs általános-

nak tekinthető mértékadó és kiforrott vélemény, de e körülmény a tervezés során nem hagyható figyelmen kívül.

Terület-foglalás

A területfoglalásnak legalább két értelmezése lehetséges. Egyfelől a ténylegesen építmények, berendezések részére igénybe vett terület, másfelől a szélenergia felhasználása oldaláról az a terület, melyen belül további szél erőművek csak lényegesen alacsonyabb hatékonysággal üzemeltethetők.

Az utóbbiból kiindulva egyes szerzők szerint sík területen, az átlagos energia termelő képességű széleloszlás esetén 60 acres/MW névleges teljesítmény (mintegy 24 hektár/MW) területfoglalás tekinthető általánosnak. (Érdemes összevetni a „Beavatkozás a légköri áramlási rendszerbe” című bekezdéssel!)

Az ilyen mértékű területfoglalás esetén a tényleges terület használat azonban csak néhány százalék (2–5%), mely az utak, az építmények és az elektromos berendezések telepítéséből következik.

A területfoglalás egy másik aspektusa a terület optimális hasznosítása a tulajdonos szempontjából. Vizsgáljuk meg ezt a kérdést a profit oldaláról. Ha egy hektár jó minőségű szántóföld ma hazánkban – minden támogatást is figyelembe véve – úgy évi 200 eFt bevételt jelent gazdájának, akkor annak adózás előtti nyeresége, legfeljebb ha 20 eFt/év lehet.

Ugyan ekkora területet szél erőmű telepítésével hasznosítva az itt megtermelt áramból származó bevétel mintegy 60 mFt/év (amennyiben 1 MW teljesítményű és 30%-os hatékonyságú erőművel számolunk). Ha a nagyvonalú erőmű telepítő bevételének egy ezrelékét fizeti ki a terület bérleti díja ként, akkor a tulajdonos 60 eFt/év adózás előtti nyereségre tehet szert.

Zaj kibocsátás

Talán a jelenséget legjobban észrevehető részét a surrogás hangutánzó szó jellemzi, amelyet alapvetően a szélkerék (kilépő él és vég), valamint a tartóoszlop okoz. Létrejön az áramló levegő és a szélkerék/oszlop interakciója során a turbulens áramlás következtében bekövetkező a szerkezetekre ható erőhatásnak, illetve az örvények leválásának köszönhető. E jelenség elsősorban gyenge-közepes szélnél zavaró, mert erős szélben a természetes környezet elemein keletkező hasonló jellegű háttér zaj ezt elfedheti.

Két fő zajforrás létezik a szél erőműveknél, úgymint aerodinamikai és mechanikai.

Aerodinamikai a hangkibocsátás akkor keletkezik, ha egy bizonyos sebességű szél tárgyakkal, objektumokkal „ütközik” és ekkor az örvények az objektumról leválva különböző magas frekvenciájú véletlen hang-hatásokat hoznak létre, illetve rezgésbe hozzák az akadály bizonyos elemeit, melyek aztán kibocsátják saját zajukat. Ez a zaj tipikusan a szárnylapátokon, ott is leginkább a végeken, keletkezik. A fejlesztések eredményeként a korszerű berendezéseken, az utóbbi években ez a típusú zaj jelentősen csökkent. (A kisebb zaj érdekében a korszerű berendezéseken például már nem teszik lehetővé a szárnylapát-végek 65 m/s-nál nagyobb sebességét.)

A mechanikai zajkibocsátás elsősorban a generátorból, a rotor szélirányba való forgatásából és egyes elemek rezonanciájából szár-

mazik. A jelenlegi technikai szinten, ha megfelelően karbantartott az erőmű, e hatás majdnem elhanyagolható.

A zaj zavaró hatása erősen függ a kibocsátás és a receptor távolságától, az emisszió föld feletti magasságától, a környezettől és a légkör állapotától (szélsebesség, szélirány és hőmérsékleti rétegződés).

A zaj a távolság négyzetével arányosan gyengül, és függ a környezeti elemeken bekövetkező visszaverődéstől, elnyelődéstől. 4–5 m/s-os szélsebesség esetén a fák levelein és ágain, kerítéseken, oszlopokon, építményeken keletkező zajok már elnyomhatják a szélkerék zaját. A környezetben lévő háttérzajtól – ökölszabály szerűen – mintegy 300 méteren-, illetve a rotor átmérőjének hétszeresén belül különíthető el csak a szélkerék okozta zajhatás.

Az azonban kijelenthető, hogy szélirányban, bizonyos légköri helyzetben, egész kis zajok is jól terjedhetnek, nagyobb távolságon is hallhatók. Ezért a telepítésnél elengedhetetlen a tipikus szélrózsa és a potenciálisan zavart területek elhelyezkedésének figyelembevétele.

Fontos megkülönböztetni a zajt a hangtól. Vizsgálatok bizonyítják, hogy a zavaró hatás nagymértékben pszichológiai attitűd, a forráshoz való viszonyulás függvénye. Ezért már felmerült az az ötlet is, hogy bizonyos esetekben a magas frekvenciájú zajt kellemesebb hanghatásokkal mintegy elnyomják.

Magányosan álló, közepes teljesítményű szélturbina 90-100 dB(A) zajt bocsát ki. A zaj a szélirányban 40 m távolságra 50-60 dB(A)-re,

1. táblázat

	dB(A)
Éjszaka vidéken	20-40
Csendes hálószoba	35
40 mph sebességu gépkocsi 100 m távolságból	55
Iroda (normál munkavégzés mellett)	60
30 mph sebességu teherautó 100 m távolságból	65

Összehasonlító zaj adatok

(The Scottish Office, Environment Department, Planning Advice Note)

500 m-re pedig 25-35 dB(A)-ra csökken. Tíz hasonló turbina együttesen 500 m-re 35-45 dB(A)-l terhel a környezetet. Ha azonban a széllel ellentétes irányban vizsgáljuk ugyanezt a farmot, akkor 10 dB(A)-l kisebb zajterhelést tapasztalunk. (*British Wind Energy Association*, 2000) (Összehasonlításul az 1. táblázatban egyéb zajokat adunk meg.)

Infra- és alacsonyfrekvenciás zaj kibocsátás

A jelen megközelítésben az infra- és alacsonyfrekvenciás zaj kibocsátásának az a legfontosabb tulajdonsága, hogy intenzitásának csillapodása a távolsággal lényegesen gyengébb, mint a magas frekvenciás zajoknak. Azaz e jelenséget másképp kell kezelni. (Ambrózy Pál hívta fel figyelmemet arra, hogy a mindennapi életben e jelenséget kiválóan példázza a ma közkedvelt hangos zenehallgatás az autókban. Amikor jön, vagy megy a jármű csak a dobok hangos ritmusa hallható.)

A szélturbináknál a szél-iránnyal ellentétes oldalon az infra- és az alacsony frekvenciás zajok általában tapasztalhatók, mérhetőek (*McKenzie* 2004). Az infrahang arra érzékenyeknél alvászavart, fejfájást, mentális zavarokat, esetleg hallucinációt is okozhat. Tehát, mint lehetséges környezeti ártalmat, nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A méréseket, illetve a terhelhetőséget a lakosság legérzékenyebb 5–10 százaléka meghatározott küszöbértékhez képest szokás vizs-

gálni. A mai szélérőművek e vizsgálatok szerint azonban a küszöbértéket meg se közelítő zajt bocsátanak ki. Például 0,5–1 MW teljesítményű turbinától 500 m távolságra 10 Hz frekvencián a határérték harmadát (20 Hz-en szintén a harmadát), míg a 2 MW teljesítményt meghaladó turbina esetén, 10 Hz-en és 2 km távolságban a határérték negyedét (20 Hz-en pedig a tizedét) sem éri el a „zajszint” (*Tempest and Leventhall* 2004).

Összefoglalásul elmondható, hogy a mai technikai, technológiai színvonalnak megfelelő szélérőművek környezeti hatása: megfelelő gondos telepítés esetén, a környezet számára elfogadható, kivédhető terhelést jelentenek.

Az általuk okozott károk eltérnek a már megszokottak tekinthető fosszilis erőművek hatásaitól, így közvetlen összehasonlításuk nehezen képzelhető el. Mégis, ha általános értékmérőként a károk árát pénzben fejezzük ki, úgy mai tudásunk szerint a széleenergia közelebb áll a „zöld energia” fogalmához.

Mind ez azonban nem menti fel a telepítőt az alól a felelősége alól, hogy az érintetteket időben bevonja a tervezésbe, építésbe. Az irodalmi tapasztalatok alapján az ilyen gondos beruházó hosszútávon sokkal előnyösebb helyzetbe kerül, többszörösen megtérül befektetése.

Mersich Iván

Irodalom

Braam H. and Rademkers L.W.M.M.: Guidelines on the Environmental Risk of Wind Turbines in the Netherlands Global Wind Energy Conference, Paris, 2002

Cambridge windfarm proposal review of the landscape and visual chapter of the environmental statement 2004 www.stopcambridgewindfarm.org.uk/documents/Blandford%20Full%20Report.PDF

Chapman A. 2003 Renewable energy industry environmental impacts <http://www.countryguardian.net/chapman.htm>

Christiansen, M.B. and Hasager C.B. 2006 Wind farm wake mapping from SAR Risoe National Laboratory, Frederiksborgvej 399, DK - 4000 Roskilde, Denmark

Dobesch, H. and Kury G. 2001 Meteorological concepts and recommendations for the exploitation of wind energy in the atmospheric boundary layer WMO

ExternE 1995 A Research Project of the European Commission, www.externe.jrc.es Proceedings, Low Frequency 2004. 11th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control Maastricht, Netherlands, 30 August - 1 September 2004

Editors: Dr W. Tempest and Dr H. G. Leventhall

Shadow Flicker Briefing Wind Farm Measurements and Modeling 2003 www.efsec.wa.gov/wildhorse/deis/appendices

Sörensen B.(2000): Renewable Energy. Its physics, engineering, use, environmental impact, economy and planning aspects. Academic Press.

Stanton C. 1996 The Landscape Impact and Visual Design of Windfarms School of Landscape Architecture, Edinburgh College of Art, Heriot-Watt University, Lauriston Place, Edinburgh

Tempest W. and Leventhall H.G. 2004 Proceedings, 11th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control Maastricht, Netherlands, 20-MW Wind Farm and Associated Energy Storage Facility Environmental Assessment, 2002

www.tva.gov/environment/reports/windfarm

Wind coordinating committee, 2004 Wind turbine interactions with birds and bats: a summary of research results and remaining questions Fact sheet: second edition-national www.nationalwind.org

KISLEXIKON

Folytatás az 5. oldalról.

Bq aktivitás

Vincze Cs. és társai: *Húsz éve ...*

A radioaktív részecskesugárzás erősségének mértéke. Az 1 Bq (becquerel) erősségű sugárzás 1 db radioaktív részecske kibocsátását jelenti 1 másodperc

alatt, vagyis 1 Bq = 1 s⁻¹. A mértékegységet a radioaktivitás egyik felfedezőjéről, a francia Henri Becquerelről (1852–1908) nevezték el.

K-elmélet

Vincze Cs. és társai: *Húsz éve ...*

Más néven „a keveredési úthossz elmélete”. Egy légköri nyomanyag terjedésének leírására szolgáló elmélet a turbulens, azaz a néhány centiméteres távol-

ságokkal jellemezhető mozgásrendszerek tartományában. Alapfeltételezése, hogy a terjedés egyenesen arányos a nyomanyag gradiensével, azaz egységnyi távolságra jutó változásával. Arányossági tényező a turbulens örvénytestek intenzitását jellemző mennyiség, amelyet általában K-val szoktak jelölni.

Összeállította: Gyuró György

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

Rovatvezető: Maller Aranka

Rendezvényeink 2006. április 1-június 30 között

Előadó ülések, rendezvények:

Május 25.

a Magyar Meteorológiai Társaság Tisztújító Közgyűlése.

Program:

- 14.00 A Közgyűlés összehívása
A határozatképesség megállapítása
- 14.05 Tudományos előadás:
Dr. Matyasovszky István: Éghajlat, éghajlatváltozás és ingadozás: statisztikai módszerek
- 14.35
- A Közgyűlés megnyitása
 - Közhasznúsági jelentés
Főtitkári beszámoló
Az Ellenőrző Bizottság jelentése
 - Vita
 - Tagfelvétel (Felvett tagok: Szabó Péter, Tóth Zoltán)
 - A 2006. évi társasági díjak átadása
 - Tisztújítás
 - A Közgyűlés bezárása

Június 1.

- **Mészáros Róbert** (a 2005. évi Róna díjas): *Az ózon terjedésének és ülepedésének modellezése* (a Róna Zsigmond Ifjúsági Kör rendezvénye)

A 2006. évi TÁRSASÁGI DÍJAKKAL kítiintetettek névsora

STEINER LAJOS EMLÉKÉREM

Haszpra László

SZAKIRODALMI NÍVÓDÍJ

Matyasovszky István: Statisztikus klimatológia. Idősorok elemzése.

RÓNA ZSIGMOND ALAPÍTVÁNY 2005. ÉVI KAMATAI

Radics Kornélia

BERÉNYI DÉNES EMLÉKDÍJ

Galló Vilmos

Közhasznúsági jelentés a Magyar Meteorológiai Társaság 2005. évi tevékenységéről

Társaságunk a közhasznú szervezetekről szóló 1997. évi CLVI. törvény előírása szerint kérte a Fővárosi Bíróságtól nyilvántartásba vételét a közhasznú szervezetek közé. Az eljárás a Pk. 60. 443 ügyiratszámom befejeződött és Társaságunkat 1999. február 16.-án bejegyezték a közhasznú egyesületek közé.

Az MMT hatályos Alapszabálya értelmében az alábbi közhasznú tevékenységeket végzi:

- tudományos tevékenység, kutatás;
- nevelés, oktatás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés;
- kulturális örökség megóvása;
- környezetvédelem;
- euroatlanti integráció elősegítése.

A hatályos jogszabályok előírásai szerint a közhasznúsági jelentést az alábbiakban részletezzük:

1. Költségvetési támogatás felhasználása

Közvetlenül az állami költségvetésből támogatást nem kaptunk.

1.1 Egyéb támogatás

A NKÖM-től bértámogatásra 92e Ft-ot kaptunk.

1.2 Kapott közhasznú támogatások kimutatása:

Országos Meteorológiai Szolgálat jogi tagdíja 780e Ft, az

MH Meteorológiai Szolgálat jogi tagdíja 300e Ft, egyéb jogi tagdíjak 315e Ft. NCA pályázat működésre 500e Ft, nemzetközi tagdíjra 200e Ft.

2. A vagyon felhasználásával kapcsolatos kimutatás:

Társaságunk mérleg szerinti vagyona 2004-ban 9.814e Ft volt. A 2005-ös évet 1.877e Ft negatív eredménnyel zártuk, vagyonunk 2005 év végére 8.907e Ft-ra csökkent, amit állampapírokban, bankszámlán, illetve készpénzben tartunk. Rövid lejáratú kötelezettségünk növekedett az elmúlt évhez képest, mert év végén nagyobb összeget utaltak tévesen a bankszámlánkra, amit januárban visszautaltunk. Tárgyi eszközünk állománya nem változott, új beszerzésünk nem volt. Figyelembe véve az éves rendes értékcsökkenési leírást, a tárgyi eszközök nettó értéke 136e Ft.

3. Cél szerinti juttatások kimutatása:

2005 évben csak díjakra és könyvutalványokra költöttünk 198e Ft-ot.

4. Vezető tisztségviselőknek nyújtott juttatások:

Vezető tisztségviselőink nemcsak névlegesen, hanem ténylegesen társadalmi munkában látják el önként vállalt feladatukat, amelyért a beszámolási időszakban semmiféle juttatásban nem részesültek, még költségtérítésben sem.

5. Szakmai tevékenységünket a főtítkári beszámoló tartalmazza

Társaságunk működésének 81. évében a szakosztályok fokozatos aktivizálódásának, fiatal tagtársaink lelkes szervezőmunkájának és hagyományaink ápolásának lehettünk tanúi.

Az előadóülések száma lényegesen meghaladta az előző években megszokott mennyiséget. Ez főként a Nap- és Szélenergia Szakosztály, valamint a Róna Zsigmond Ifjúsági Kör vezetésének munkáját dicséri. Nekik köszönhető, hogy a korábbi 10-12-vel szemben a beszámolási évben összesen 19 szakmai előadást hallgathattak meg tagtársaink. Nagyobb rendezvényt, konferenciát, vándorgyűlést nem tartottunk ugyan, mégis voltak olyan események, ahol több tagtársunk is szerepelt előadóval.

Immár hagyományosnak tekinthető, hogy Major György társelnökünk szervezésében előadóüléseken kísérhetjük figyelemmel a klímaváltozás kutatásának helyzetét. A februárban megtartott rendezvényen az MTA Meteorológiai Tudományos Bizottságának tagjai a hazai kutatóprogramokról, az éghajlatmodellezéssel kapcsolatos tervekről és a nemzetközi együttműködés helyzetéről számoltak be.

A Nap- és Szélenergia Szakosztály az év során négy alkalommal tartott nyilvános szakosztályi ülést, ahol a megújuló energiafajták, azaz a nap- és szélenergia magyarországi felhasználhatóságának kutatási eredményeiről számolt be 22 szerző összesen 12 szakmai előadáson. Igen öröndetes, hogy a meteorológia mellett a mérnöki és a közgazdasági tudományok képviselőit is sikerült megnyerni a rendezvények számára.

A tavalyi évben a Róna Zsigmond Ifjúsági Kör új vezetőséget választott. A két új vezető: Lőrinc Andrea elnök (az OMSZ munkatársa) és Kern Anikó titkár (az ELTE doktorjelöltje) a szakosztály alapításának idejét idéző lelkesedéssel és odaadással szervezték az Ifjúsági Kör üléseit. Egy-egy szakterület neves kutatójának meghívásával a szakosztály önképző-kör jellegét igyekeztek feleleveníteni. Apró figyelmességként süteménnyel és teával vendégelték meg az üléseket meglátogató tagtársainkat.

Hangulatos és sokak számára emlékezetes volt az a nyári nap, amikor az egykori tanítványok 90. születésnapján köszöntötték tiszteleti tagunkat, az ELTE Meteorológiai Tanszék egykori vezetőjét, Dr. Dobosi Zoltán nyugalmazott egyetemi tanárt. Mika János tagtársunk szervezésében három szakmai előadás is elhangzott azokról a szakterületekről, ahol a professzor úr legfontosabb tudományos eredményeit elérte.

A magyar felsőoktatás egészét érintő átalakulás, a „Bolognai folyamat” néven ismertté vált kétszintű képzés bevezetése érzékenyen érinti a meteorológus felsőoktatást is, ezért évzáró ülésünk három előadója: Czelnai Rudolf, Lőrinc Andrea és Bartholy Judit a múlt tapasztalatait, a jelen helyzetet és a jövőképet igyekezett összefoglalni.

Ugyancsak az évzáró ülésen hallgathattuk meg Simon Antal társelnökünk összeállítását neves elődeink, meteorológiai foglalkozó ismert személyiségek életútjáról. Saj-

nos azóta tudjuk, hogy a mindig emlékezetes évfordulós előadások sorában Tóni barátunktól ez volt az utolsó.

Az egyedi szervezésű rendezvények mellett több alkalommal is kapcsolódtunk szakmai események megszervezéséhez. A 2005. évi Meteorológiai Világnapon „Időjárás, éghajlat, víz és a fenntartható fejlődés” címmel Bartholy Judit egyetemi tanár tartott előadást. A Társaságunk közreműködésével megtartott rendezvényen adta át szokás szerint a környezetvédelmi és vízügyi miniszter a Schenzl Guido-díjakat és a Pro Meteorológia Emlékplaketteket, amelyeknek az odaítélése előtt ebben az évben is kikérték elnökünk véleményét.

Néhány szót az egyesületi életről általában. A tagtoborzó tevékenység tavaly is sikeres volt, így biztosítva látszik Társaságunk fennmaradása.

Az OMSZ-szel közösen kiadott folyóiratunkat, a Légkört továbbra is ingyenes ellátmányként tudjuk eljuttatni tagtársainkhoz. Ebben nagy segítséget jelentenek intézményi összekötőink az OMSZ-nél és az ELTE-n. Az ő közreműködésükkel tudjuk megtakarítani az egyre tetemesebb postai költségeket. Elnökünk fáradhatatlan főszerkesztői munkája mellett a Légkör évek óta rangos magyar nyelvű szakmai fóruma a meteorológiának.

Májusi közgyűlésünkön hagyományainknak megfelelően szakmai kitérítéseinket adtuk át: a Steiner Lajos-emlékérmet, a Szakirodalmi Nívódíjat, a Berényi Dénes emléklapot és a Róna Zsigmond Alapítvány kamatait.

Külső kapcsolatainkról. Egyre nagyobb aggodalommal figyeljük azt a folyamatot, amely során a jelek szerint sem a MTESZ új elnöke, sem új főigazgatója nem tudta tartósan konszolidálni a szövetség működését. A MTESZ nem hogy tagszervezeteinek nem tud segítségére lenni, de a szövetségi vagyont sem tudta megvédeni, és peres eljárásba keveredett egyes tagszervezeteivel. Reméljük, hamarosan sikerül úrrá lenni a gazdasági és működési nehézségeken, és megjelennek a stabilizálódás jelei.

Lejárt elnökünk két éves megbízatása az Európai Meteorológiai Társaság (EMS) Egyesületi Bizottságának (Society Council) választott tagjaként. Köszönjük aktívan munkáját.

Az OMSZ elnökének felmentése, a miniszteri biztos tevékenysége és az új elnök kinevezése szerencsére nem érintette a Szolgálat és Társaságunk kapcsolatait, sőt, Dunkel Zoltán elnök úr személyes látogatás alkalmával erősítette meg együttműködési szándékát. A kinevezése utáni hetekben megtartott látogatásra Bozó László általános és Buránszkiné Sallai Márta szakmai elnökhelyettes is elkísérte.

Ugyancsak a kapcsolatok további ápolásáról nyilatkozott a Magyar Honvédség Meteorológiai Szolgálatának új parancsnoka, Horváth Csaba alezredes.

Társaságunk működésének 81. éve összességében aktív egyesületi munkával telt, és az év végén bizakodva néztünk a tisztújítást hozó új év elé.

Ahogy az az Ellenőző Bizottság jelentéséből is kiderül, Társaságunk gazdálkodása 2005-ben sem mutatott javuló mérleget. Igyekszünk ugyan a lehető legtöbb módon takarékoskodni, intézményi összekötőinket felhasználni példá-

ul a postaköltség és a tagdíj befizetéséhez kapcsolódó bankköltség csökkentésére, a számítógépes világháló használata meghívóink terjesztésére, a korábban felhalmozott tartalék fogyása mégsem volt megállítható. Egyéni tagjaink tagdíjfizetési morálja összességében kielégítő, és tevékenységünkhöz továbbra is komoly hozzájárulást jelent két jogi személyiségű tagunk, az Országos Meteorológiai Szolgálat és a Magyar Honvédség Meteorológiai Szolgálatának támogatása, az évet ismét hiánnyal zártuk. Ez ugyan fedezhető a tartalékokból, a gazdasági csődöt viszont csak a bevételek növelésével, elsősorban új rendezvények szervezésével tudjuk majd elkerülni.

Az MMT hatályos Alapszabálya értelmében az alábbi közhasznú tevékenységeket végzi:

- tudományos tevékenység, kutatás;
- nevelés, oktatás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés;
- kulturális örökség megóvása;
- környezetvédelem;
- euroatlanti integráció elősegítése.

A hatályos jogszabályok előírásai szerint a közhasznúági jelentést az alábbiakban részletezzük:

Társaságunk közhasznú szervezetként működik. Ennek jegyében

- Tudományos tevékenységet folytattunk, szakmai rendezvényeket és előadói üléseket szerveztünk.
- Nevelési, oktatási, képességfejlesztési munkát végeztünk, előadói üléseken hallgattuk meg fiatal tagtársainkat, és ifjúsági szakosztályunk önképzőkori üléseket szerveztünk.
- Ismeretterjesztő tevékenységet végeztünk a Légkör című egyetlen magyar nyelvű szakmai folyóirat szerkesztésében és terjesztésében való közreműködéssel.
- Szolgáltunk kulturális örökségünk megóvását, ápolunk elődeink emlékét, az aktuális évfordulók kapcsán Simon Antal társelnökünk fáradhatatlan munkájának köszönhetően rendszeresen megemlékeztünk híres magyar meteorológusok szakmai tevékenységéről, az országos szervezetek előtt kezdeményeztük nagyjaink emlékhelyeinek védetté nyilvánítását. Tudománytörténeti Bizottságunk tagjainak javaslatára tovább bővült az OMSZ Meteorológiai Múzeuma. Simon Antal és Mezősi Miklós áldozatos munkája nyomán az OMSZ Székház felújítási munkáinak befejezése után a kiállított műtárgyak rendezés és takarítás után visszakérültek a tárlókba.
- Környezetvédelmi tevékenységünk keretében előadói üléseket tartottunk a meteorológia, az éghajlat és a megújuló energiaforrások felhasználásának aktuális szakmai kérdéseiről, előadókat hívtunk más szakterületek képviselői közül is, hogy közösen vitathassuk meg az aktuális szakmai kérdéseket.

6. Számviteli beszámoló:

Statisztikai számjel: 19815826-9112-529-41

A szervezet megnevezése: Magyar Meteorológiai Társaság

A szervezet címe: 1027 Budapest, Fő u 68.

KETTŐS KÖNYVVITELT VEZETŐ EGYÉB SZERVEZETEK KÖZHASZNÚ EGYSZERŰSÍTETT ÉVES BESZÁMOLÓJÁNAK MÉRLEGE 2005. ÉV

adatok E Ft-ban

Sor-szám	A tétel megnevezése	Előző év	Tárgyév
1.	A. Befektetett eszközök	297	136
2.	I. IMMATERIÁLIS JAVAK	0	0
3.	II. TÁRGYI ESZKÖZÖK	297	136
4.	III. BEFEKTETETT PÉNZÜGYI ESZKÖZÖK	0	0
5.	IV. BEFEKTETETT ESZKÖZÖK ÉRTÉKHELYESBÍTÉSE	0	0
6.	B. Forgóeszközök	9.814	9.309
7.	I. KÉSZLETEK	0	2
8.	II. KÖVETELÉSEK	0	400
9.	III. ÉRTÉKPAPÍROK	8.990	7.059
10.	IV. PÉNZESZKÖZÖK	824	1.848
11.	C. Aktív időbeli elhatárolások	529	282
12.	ESZKÖZÖK (AKTÍVÁK) ÖSSZESEN	10.640	9.727
13.	D. Saját tőke	8.645	6.689
14.	I. INDULÓ TŐKE/JEGYZETT TŐKE	1.042	1.042
15.	II. TŐKEVÁLTOZÁS/EREDMÉNY	9.786	7.524
16.	III. LEKÖTÖTT TARTALÉK	0	0
17.	IV. ÉRTÉKELÉSI TARTALÉK	0	0
18.	V. TÁRGYÉVI EREDMÉNY ALAPTEVÉKENYSÉGBŐL (KÖZHASZNÚ TEVÉKENYSÉGBŐL)	-2.183	-1.877
19.	VI. TÁRGYÉVI EREDMÉNY VÁLLALKOZÁSI TEVÉKENYSÉGBŐL	0	0
20.	C. Céltartalék	0	0
21.	F. Kötelezettségek	1.355	3.038
22.	I. HOSSZÚ LEJÁRATÚ KÖTELEZETTSÉGEK	1.174	1.222
23.	II. RÖVID LEJÁRATÚ KÖTELEZETTSÉGEK	181	1.816
24.	G. Passzív időbeli elhatárolások	6	400
25.	FORRÁSOK (PASSZÍVÁK) ÖSSZESEN	10.640	9.727

A beszámolót Pusztainé H. Magdolna bejegyzett mérlegképes könyvelő készítette.

Nyilvántartási száma: PM 168451

A mérleg könyvvizsgálattal nincs alátámasztva.

KETTŐS KÖNYVVITELT VEZETŐ EGYÉB SZERVEZETEK KÖZHASZNÚ EGYSZERŰSÍTETT ÉVES BESZÁMOLÓJÁNAK EREDMÉNYKIMUTATÁSA 2005. ÉV

Sorszám	A tétel megnevezése	Előző év	Tárgyév
1.	A. Összes közhasznú tevékenység bevétele	3.390	4.290
2.	1. Közhasznú célra, működésére kapott támogatás	357	329
3.	a) alapítótól	–	–
4.	b) központi költségvetésből	–	–
5.	c) helyi önkormányzattól	–	–
6.	d) egyéb, ebből 1%	357	329
7.	2. Pályázati úton elnyert támogatás	95	700
8.	3. Közhasznú tevékenységből származó bevétel	924	559
9.	4. Tagdíjból származó bevétel (egyéni és jogi)	1.181	1.704
10.	5. Egyéb bevételek	833	998
11.	B. Vállalkozási tevékenység bevétele	0	0
12.	C. Összes bevétel	3.390	4.290
13.	D. Közhasznú tevékenység ek ráfordításai	5.573	6.167
14.	1. Anyagjellegű ráfordítások	47	85
15.	2. Személyi jellegű ráfordítások	2.386	3.637
16.	3. Értékcsökkenési leírás	180	169
17.	4. Egyéb ráfordítások	2.854	2.197
18.	5. Pénzügyi műveletek ráfordításai	106	79
19.	6. Rendkívüli ráfordítások	–	–
20.	E. Vállalkozási tevékenység ráfordításai	0	0
21.	1. Anyagjellegű ráfordítások	–	–
22.	2. Személyi jellegű ráfordítások	–	–
23.	3. Értékcsökkenési leírás	–	–
24.	4. Egyéb ráfordítások	–	–
25.	5. Pénzügyi műveletek ráfordításai	–	–
26.	6. Rendkívüli ráfordítások	–	–
27.	F. Összes ráfordítás	5.573	6.167
28.	G. Adózás előtti eredmény	-2.183	-1.877
29.	H. Adófizetési kötelezettség	0	0
30.	I. Tárgyévi vállalkozási eredmény	0	0
31.	J. Tárgyévi közhasznú eredmény	-2.183	-1.877

adatok E Ft-ban

Tájékoztató adatok (E Ft-ban)

MEGNEVEZÉS	ÖSSZEG
A. Személyi jellegű ráfordítások	3.637
1. Bérköltség	1.865
ebből: – megbízási díjak	165
– tiszteltdíjak	0
2. Személyi jellegű egyéb kifizetések	944
3. Bérjárulékok	663
B. A szervezet által nyújtott támogatások	0
ebből: A korm.rend. 16.§(5) bekezdése szerint kötelezettségként elszámolt és továbbutalt, illetve átadott támogatás	0

7. Az Ellenőrző Bizottság jelentése

Az ülésen a EB a vizsgált 2005. évről a szokásos évi ellenőrzést a már gazdaságilag lezárt adatok alapján vizsgálta az MMT Titkárságán.

A taglétszám 2005. december 31-én 403 fő volt (35 új belépő, 23 törölve, meghalt 6). A tagdíj befizetés megfelelő volt, utolsó felszólítást 16 fő kapott. Az egyéni tagdíjbevétel az összes bevételnek közel 8%-át teszi ki.

A Társaság gazdálkodását illetően: a tárgyévi gazdálkodás 1.877e Ft hiánnyal zárult. Ez kb. 300e Ft-tal kisebb az előző évinél de várható volt, mivel tárgyévben bevételt jelentő rendezvény nem adódott.

Bevételi oldalon a jogi tagdíj és az NCA pályázati összeg, csökkent a kamat, az egyéni tagdíj és a bértámogatás.

A működési költségek közül mint várható volt, az anyag- és szolgáltatási tételek emelkedtek. Viszont a kiadási oldalt két évi EMS tagdíj terheli, a 2006. évi is előre ki lett fizetve. Az 1.877e Ft hiány a korábbi évek tartalékából fedezhető volt, de így a gondos gazdálkodás mellett is fogy a vagyon. (Részletes kimutatás alább.)

Az MMT szakmai tevékenysége az előző évekhez hasonlóan alakult, megfelelt az Alapszabályban lefektetett elveknek. A központi rendezvényeket a főtitkári beszámoló értékelte, emellett aktívan működik továbbra is a Róna Zsigmond Kör.

Az EB a könyvelési bizonylatokat és a leltári nyilvántartást rendben levőnek találta.

Bevételek:	2004 tény	2005 terv	2005 tény	2006 terv
Működés:				
Egyéni tagdíj	401	350	309	500
Jogi tagdíj	780	1.000	1.395	1.300
SZJA 1%	357	350	329	350
MTESZ támogatás	0	0	0	0
Mecenatúra tám. működésre	0	500	500	500
NKÖM bértámogatás	157	157	92	157
Mecenatúra tám. tagdíjra	95	0	200	0
Kamat	833	500	578	400
Egyéb KH bevétel	537	2.000	887	2.000
Működés összesen:	3.160	4.857	4.290	5.207
Rendezvény	230	0	0	750
Összes bevétel:	3.390	4.857	4.290	5.957

Kiadások:	2004 tény	2005 terv	2005 tény	2006 terv
Működés				
anyag ktg.	46	100	85	100
posta	274	300	465	400
pénzügyi, számviteli szolg.	440	440	0	520
egyéb szolg.ktg.	105	150	192	192
belf.kiküld.	6	10	0	20
bér	1.776	2.041	1.865	1.920
bérráulékok	610	650	635	640
megbízási díj	0	0	165	0
megb.díj járuléka	0	0	28	0
könyvtulványok, díjak	220	200	198	200
utazási támogatás	270	0	0	0
reprezentáció	30	40	28	40
étk. ktg.tér.	42	48	46	72
BKV bérlet	0	0	64	75
ÉCS	180	200	169	100
MTESZ tagdíj m ²	682	1.000	800	750
bank ktg.	106	120	79	80
egyebek	396	130	273	150
EMS tagdíj	90	100	191	0
nem visszaig ÁFA	0	0	306	0
Összes működési ktg.	5.273	5.539	6.167	5.257
Rendezvényi kiadások	300	0	0	700
Összes kiadás	5.573	5.539	6.167	5.957
Működési eredmény:	-2.113	-682	-1.877	-50
Rendezvényi eredmény:	-70	0	0	50
Tárgyévi összeredmény:	-2.183	-682	-1.877	0

8. Jelen közhasznúsági jelentést az MMT Közgyűlése 2006. május 25.-én elfogadta.

*

A Magyar Meteorológiai Társaság 2006. évi tisztújító közgyűlésén megválasztott új vezetőség

Tiszteletbeli elnök: Szász Gábor

Elnök: Major György

Társelnökök: Ambrózy Pál
Dunkel Zoltán

Főtitkár: Gyuró György

Titkárok: Maller Aranka
Zemankovicsné Hunkár Márta

Szerkesztő: Tünczer Tibor

Jegyző: Pusztainé H. Magdolna

Tudományos Tanács:

Antal Emánuel
Bartholy Judit
Bozó László
Götz Gusztáv
Tóth Pál
Mészáros Ernő
Probáld Ferenc
Szepesi Dezső
Haszpra László
Weidinger Tamás

Ellenőrző Bizottság:

elnök: Gajzágó László
tagok: Buránzskiné Sallai Márta
Hirling György
Horányi András

Fegyelmi Bizottság:

elnök: Sándor Valéria
tagok: Tar Károly
Tölgyesi László

Tudománytörténeti Bizottság:

elnök: Mezősi Miklós
tagok: Bodolai Istvánné
Bereczky László

Választmány: Ács Ferenc

Bálint Gábor
Bóna Márta
Domonkos Péter
Faragó Tibor
Geresdi István

Homokiné Ujváry Katalin
 Horváth Ákos
 Horváth Csaba
 Ihász István
 Ináncsi László
 Károssy Csaba
 Kerényi Judit
 Kapitány Ervinné
 Lőrincz Andrea
 Makra László
 Mersich Iván
 Mika János
 Nagy Sándor
 Práger Tamás
 Szalai Sándor
 Szegedi Sándor
 Tóth Róbert
 Tőkei László
 Varga Miklós
 Varga Zoltán
 Vig Péter

Tóth Zoltán
 Unger János
 Wantuchné Dobi Ildikó

Választmányi póttagok:

Rimócziné P.A.
 Varga László
 Zsoldos Erzsébet
 Wantuch Ferenc

Tiszteleti tagok:

Barát József
 Bodolai Istvánné
 Czelnai Rudolf
 Dobosi Zoltán
 Hallamáné Lépp Ildikó
 Justyák János
 Kéri Menyhért
 Kőrösi György
 Koppány György
 Szász Gábor
 Vissy Károl

OLVASTUK...

Gyorsul a grönlandi jég olvadása

A grönlandi gleccserek, amelyek az utolsó jégkorszak vége óta lomhán vánszorognak az óceán felé, az utóbbi években felgyorsultak. Egyre több jéghegy szakad le róluk, amelyek elolvadva hozzájárulnak a világtenger további szintemelkedéséhez. A globális felmelegedés következtében bolygónk minden részén megfigyelhető a tengeri és a szárazföldi jégtakaró visszahúzódása. A folyamat nem kíméli sem a magashegységek gleccsereit, sem a grönlandi jégárakat.

Grönland Földünk legnagyobb szigete, közel 20 magyarországnyi (1 833 900 négyzetkilométer) összefüggő jégtakaróval rendelkezik, amely 2.85 millió köbkilométer jeget zár magába. Ha ez a hatalmas mennyiség elolvadna, 7 méterrel emelné meg a világtenger szintjét. Az utóbbi években több tudományos kutatás is foglalkozott a grönlandi jéggel. Ezek megállapították, hogy miközben a jégmező a peremvidéken fogyatkozik, addig a sziget középső részén és az 1500 m feletti régiókban vastagodik a sziget jégtakarója. A napokban újabb eredményt közöltek Eric Rignot (JPL) és Pannir Kanagaratnam (Kansas Egyetem) kutatók a Science-ben. Méréseik szerint a grönlandi gleccserek egyre nagyobb sebességgel haladnak a tenger felé. Akad olyan, amely évente 14 kilométert is megtesz. A kutatók 30 grönlandi gleccser mozgását vizsgálták műholdas adatokat felhasználva. A legjelentősebb sebességnövekedést a sziget déli részének jégárainál

tapasztalták. Kutatásuk azt is alátámasztotta, hogy a jégtakaró bizonyos részei időnként valóban vastagabbá válnak. A sziget középső részén 2003-ban 78 köbkilométerrel gyarapodott a jég, melyet a hó megnövekedett mennyisége okozott. Ugyanakkor ez az időszakos növekedés sem tudja ellensúlyozni a jégmező peremvidéken megfigyelhető olvadást. Számításaik szerint Grönland 220 köbkilométernyi jeget veszít évente. Ez éppen kétszer akkora mennyiség, mint egy évtizeddel ezelőtt.

Az olvadás következtében a gleccserek talpazata síkosabbá válik és a jégárak mozgása felgyorsul. Ennek következtében egyre több jéghegy szakad le róluk a partokon (ún. borjadzás), melyek elolvadva hozzájárulnak a világtenger szintemelkedéséhez. A kutatók szerint Grönland déli részén a felszíni hőmérséklet emelkedése, míg az északon az ideáramló melegebb légtömegek okozzák a gleccserek sebességnövekedését. Az elmúlt 20 évben a levegő hőmérséklete a sziget délkeleti részén 3 fokkal emelkedett és 2350-re akár 8 fokkal is magasabb lehet az átlaghőmérséklet.

A kutatást műholdradar-interferometriás módszerrel végezték, felhasználva az ESA ERS-1, ERS-2 és Envisat holdjainak, valamint a kanadai Radarsat-1 mesterséges holdnak különböző időpontokban, hosszú éveken át rendszeresen gyűjtött adatait.

Úrkaleidoszkóp XX. évfolyam, 3. szám

Közreadta: H. Bóna Márta

2006 TAVASZÁNAK IDŐJÁRÁSA

Az év első két hónapjához hasonlóan **március** is több mint 1 fokkal hidegebb volt a sokévi átlagnál, a hónap középhőmérséklete országos átlagban 3,6 °C-nak adódott. A negatív anomália túlnyomórészt a március első felében uralkodó, az átlagosnál 3-5 fokkal hidegebb időszaknak volt köszönhető: március 20-ig mindössze két napon haladta meg a normálértéket a napi középhőmérséklet. A hónap végén aztán beköszöntött a tavasz, március 27-én az északnyugati országgrészben a 25 °C-ot is meghaladta a nappali felmelegedés.

Márciusban országszerte 15-20 nap volt fagyos, téli nap valamint zord nap azonban – a hegyvidéki területeket kivéve – már csak 0-2 napon fordult elő.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 25,6 °C Sopron (Győr-Moson-Sopron megye) március 27.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: -18,8 °C Vásárosnamény (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye) március 9.

Január és február csapadékviszonyaihoz hasonlóan március is csapadékosabb volt az átlagnál, országos átlagban a hónap csapadékösszege mintegy 20%-kal haladta meg az ilyenkor szokásos értéket. A csapadékhozam területi eloszlásában azonban markáns különbségek mutatkoztak: míg az ország középső és nyugati vidékein a normálnak 70-120%-a hullott le, az északkeleti országgrész csapadékhozama egyes területeken az átlag kétszeresét is elérte.

A hónap első felének jellemző csapadéka még a hó volt, az országos havazások, orkán erejű széllel párosulva komoly fennakadásokat okoztak. Március 20-át követően csapadék már csak eső formájában hullott, a hónap végére pedig az Északi-középhegységet kivéve a hó mindenütt elolvadt.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 120 mm Kocsord (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 21 mm Derekegyház-Kétkő (Csongrád megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 28 mm Vízvár (Somogy megye) március 10.

Április közel 2 fokkal melegebb volt a szokásosnál, középhőmérséklete országos átlagban 11,9 foknak adódott. A hónap első felében még sűrűn váltogatták egymást a normálnál melegebb és hidegebb időszakok (áprilisban mindössze 6 nap középhőmérséklete maradt el a sokévi átlagtól), 14-től kezdve aztán egészen a hónap végéig kellemes, késő tavaszias, az átlagnál esetenként 6-8 fokkal melegebb időben volt részünk.

Áprilisban az Északi-középhegység területét kivéve fagy már csak 1-4 napon fordult elő, április végén pedig már nyári napot is regisztráltak, országszerte 1-3 alkalommal.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 27,2 °C Pápa (Veszprém megye) április 26.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: -6,0 °C Zabar (Nógrád megye) április 8.

Április az árvizek jegyében telt, először a Duna, majd a Tisza és a Körösök mentén kellett elrendelni a legmagasabb, rendkívüli fokozatú árvíz-védekezési készséget. A védeke-

zést nehezítette, hogy április országos átlagban a szokásosnál közel 40%-kal csapadékosabb volt, bár a csapadék időbeli és térbeli eloszlása nem volt egyenletes. A havi csapadékmennyiség közel fele a hónap utolsó hetében hullott, és míg az ország nagy részén átlag feletti volt a csapadékhozam, addig az északi-középső régióban a szokásos mennyiségnek csupán 40-80%-a hullott. A legtöbb csapadékos napot (11-14) az ország keleti szélén regisztrálták, máshol 5-10 nap volt csapadékos. Havazás áprilisban 1 napon fordult elő az ország területén.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 162 mm Debrecen (Hajdú-Bihar megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 13 mm Tiszaujváros (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 65 mm Debrecen (Hajdú-Bihar megye) április 20.

2006 **májusban** elkerültek minket az elmúlt években már megszokottá vált kora nyári nagy melegek. A napi középhőmérsékletek a hónap folyamán átlag körül ingadoztak, sem rendkívüli hidegre, sem nagy melegre nem volt példa: országos átlagban május középhőmérséklete a pontosan sokévi átlagnak megfelelően alakult, 14,9°C-nak adódott. A hónap leghidegebb napja 1-je volt, amikor a legnagyobb nappali felmelegedés az ország nagy részén nem haladta meg a 12-15 fokot. Május legmelegebb napján (23-án) ezzel szemben országszerte 26-32°C-os maximumhőmérsékletet regisztráltak.

Fagy már csak a hegyvidéki területeken fordult elő, május 2 napján, nyári napot ezzel szemben 2-8 alkalommal regisztráltak. A déli országgrészben 1 hőségnap is előfordult.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 31,7 °C Sátorhely (Baranya megye) május 23.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: -0,8 °C Zabar (Nógrád megye) május 5.

Május csapadékosabb volt a sokévi átlagnál, folytatva így a havi csapadékösszegekben tapasztalható, év eleje óta tartó tendenciát. A csapadékhozam országon belüli megoszlása ezzel együtt megint nem volt egyenletes. A Dunántúl középső területein valamint a nyugati határszélen átlag körül (valamivel alatta) alakult a havi csapadékösszeg, míg az Északi-középhegység területén illetve a délnyugati országhatár mentén helyenként az ilyenkor szokásos összeg kétszeresét is meghaladta a havi csapadékhozam. Májusban átlagosan 15-20 napon fordult elő csapadékhullás – a déli országgrészen csak 10-15 nap volt csapadékos. Az évszaknak megfelelően a havi csapadékmennyiség döntő többsége zivatartevékenységből származott, csendes, áztató eső május folyamán csak egy-két napon fordult elő.

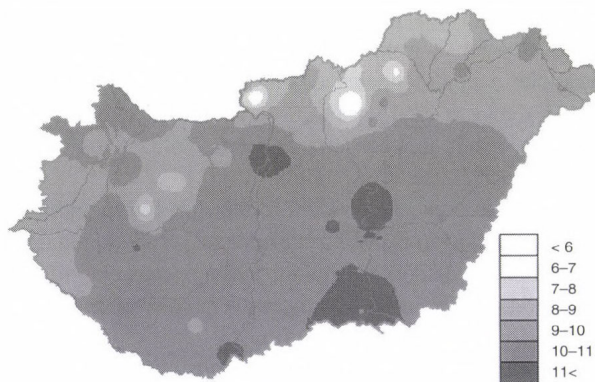
A hónap legnagyobb csapadékösszege: 185 mm Iklód-bördöce (Zala megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 30 mm Szentés-Nagyitóke (Csongrád megye)

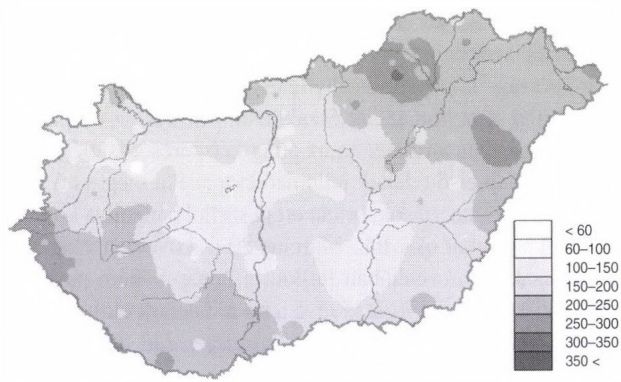
24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 55 mm Szakály (Tolna megye) május 14.

2006. tavasz

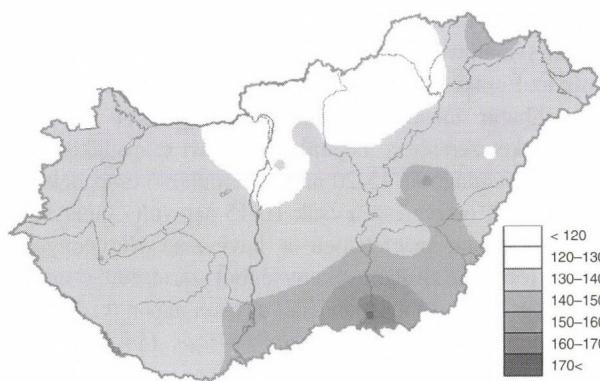
állomások	napsütés (óra)		hőmérséklet (°C)					csapadék (mm)			szél	
	évsz.össz.	eltérés	évsz.közép	eltérés	absz.max.	napja	absz.min	napja	évsz.	összátlag%-ában	1mm<napok sz.	viharos napok
Szombathely	517	-22	9,7	0,3	25,6	2006.05.16	-10,0	2006.03.06	143	98	26	10
Nagykanizsa	548	14	9,9	-0,2	28,1	2006.05.28	-9,3	2006.03.07	223	130	25	6
Győr	527	-31	10,4	-0,1	26,6	2006.04.25	-6,2	2006.03.02	185	153	29	11
Siófok	564	-21	10,9	0,2	28,1	2006.05.22	-4,7	2006.03.01	119	90	22	16
Pécs	529	-42	10,9	0,3	29,7	2006.05.23	-8,4	2006.03.01	192	123	24	8
Budapest	546	-4	11,3	0,4	26,9	2006.05.16	-7,4	2006.03.01	151	124	31	5
Miskolc	480	-49	9,8	-0,2	28,1	2006.05.23	-7,6	2006.03.09	229	168	34	7
Kékestető	446	-92	4,8	-0,3	22,0	2006.05.23	-11,3	2006.03.01	294	138	35	19
Szolnok	486	-89	11,6	0,7	29,8	2006.05.23	-6,3	2006.03.08	145	117	28	-
Szeged	543	-13	10,8	-0,2	30,8	2006.05.23	-11,3	2006.03.03	149	124	25	10
Nyíregyháza	-	-	9,9	-0,5	28,6	2006.05.23	-12,9	2006.03.09	212	175	35	18
Debrecen	520	-56	10,4	-0,2	29,0	2006.05.23	-9,8	2006.03.03	290	215	36	6
Békéscsaba	523	-41	10,8	0,0	30,1	2006.05.23	-7,4	2006.03.02	163	119	28	7



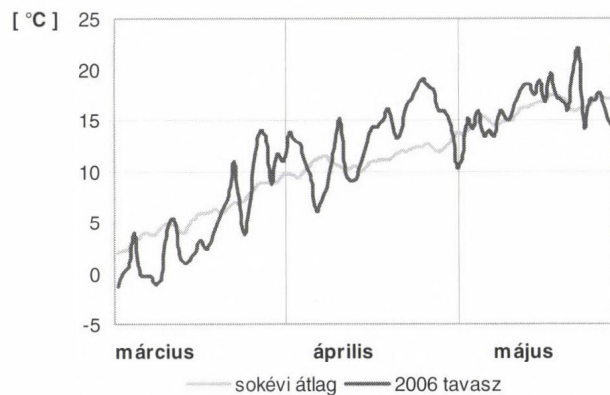
1.ábra: A tavasz középhőmérséklete °C-ban



2.ábra: A tavasz csapadékösszege mm-ben



3.ábra: A tavasz globálsugárzás összege MJ/cm²-ben



4.ábra: A tavasz napi középhőmérsékleteinek eltérése az átlagtól °C-ban

TÖRTÉNELMI ARCKÉPEK

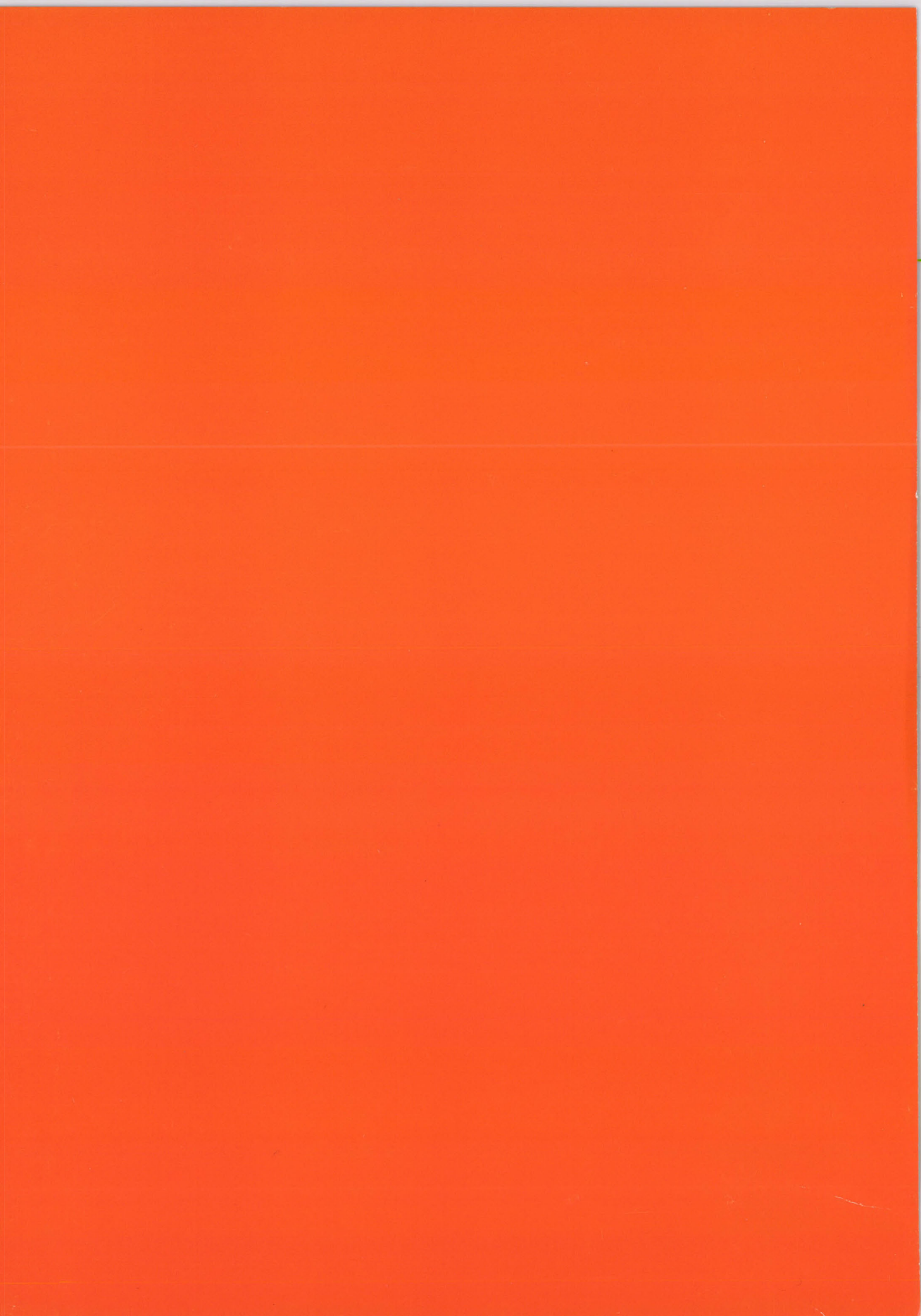
MARGULES, Max

(Brody /Galícia/, 1856. április 23. – Perchtolds /Bécs mellett/, 1920. október 4.)



Oszták fizikus, kémikus és meteorológus. 1880-ban bécsi főiskolai magántanár, 1882-től 1906-ig az osztrák meteorológiai intézet titkára. Munkái az aerodinamika elméleti területén jelentősek. A róla elnevezett Margules-féle egyenlet összefüggést állapít meg a frontfelület hajlásszöge, a front vonalával párhuzamos tengelyek sebességkomponensei és a légtömegek sűrűsége (hőmérséklete) között. Sz.P. Hromov tankönyve: A dinamikus meteorológia alapjai, egy fejezete (41.§.) részletesen foglalkozik frontokkal kapcsolatos megállapításaival. Margules elméleti vizsgálatai a maga korában úttörő jellegűek voltak, melyek a viharokkal, zivatarokkal és szélroham vonalakkal (bőékkal) foglalkoztak. A fizika és kémia területén is kiváló alkotott. A világtól való elidegenedése akadályozta meg abban, hogy mint főiskolai tanár elméleti eredményeinek megfelelő állást foglaljon el. Korán nyugdíjba vonult, magányosan, az első világháború végén már nyomorogva nem tudta magát elhatározni, hogy külső, anyagi segítséget vegyen igénybe. Exner, az osztrák intézet igazgatója a remete módjára teljes visszavonultságban és a háború után roppant szegénységben élő tudóst falusi magányában többször fölkereste, de segítséget tőle sem fogadott el. Az elszegényedett tudós végzetét 1920-ban már az orvosok sem tudták befolyásolni, nagy nyomorban éhenhalt.

S.A.

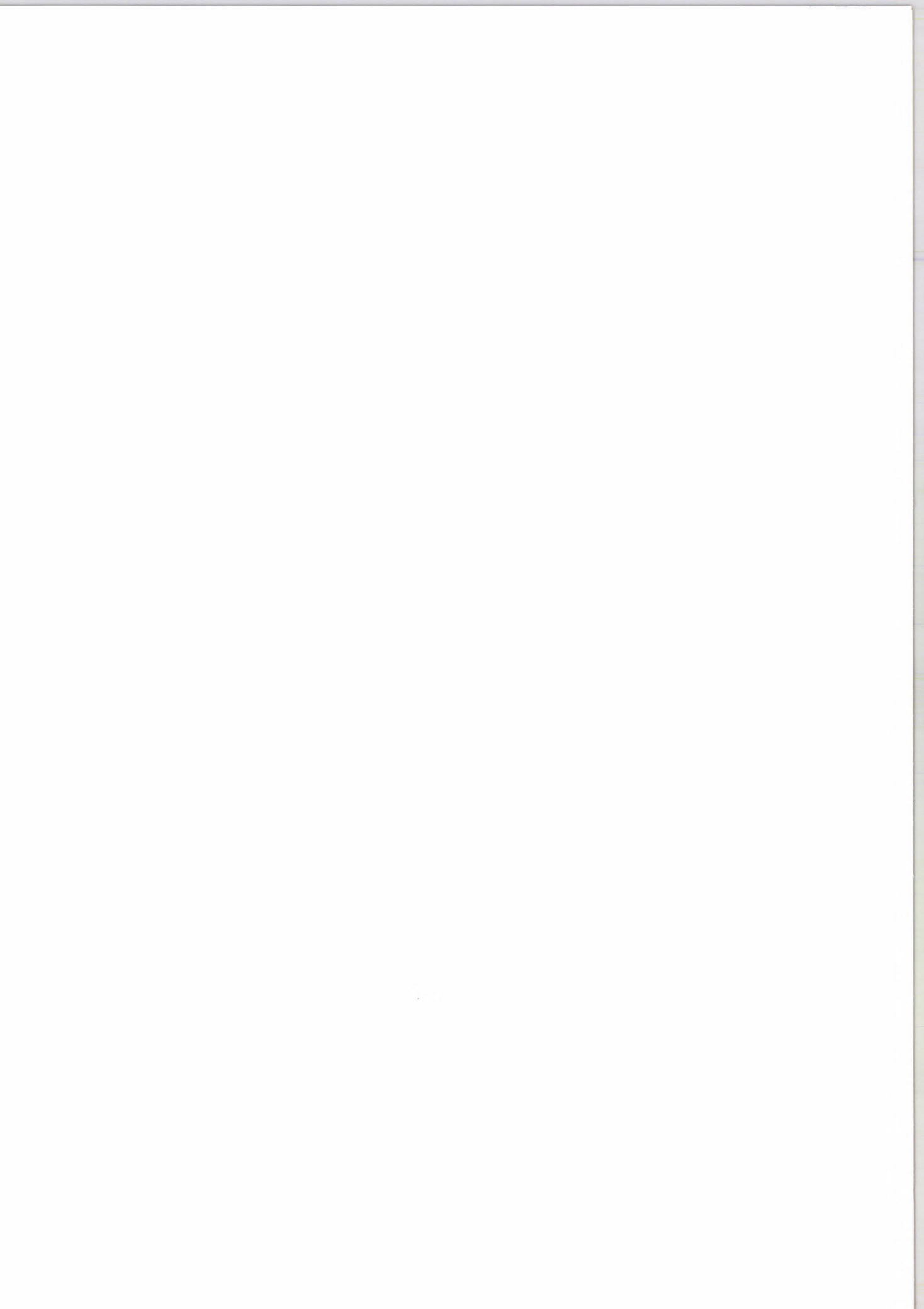


L É G K Ö R

51. évfolyam

2006. 3. szám





LÉGKÖR

51. évfolyam
3. szám

Felelős szerkesztő:
Dr. Ambrózy Pál
a szerkesztőbizottság
elnöke

Szerkesztő bizottság:
Dr. Bartholy Judit
Bihari Zita
Bóna Márta
Dr. Gyuró György
Dr. Haszpra László
Dr. Hunkár Márta
Ihász István
Németh Péter
Dr. Putsay Mária
Szudár Béla
Tóth Róbert

ISSN 0133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Dunkel Zoltán
az OMSZ elnöke

Készült:
Az **FHM Kft.**
nyomdájában
800 példányban

Felelős vezető:
Modla Lászlóné

Évi előfizetési díja 1380 Ft

Megrendelhető
az OMSZ Pénzügyi Osztályán
Budapest, Pf.: 38. 1525

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI
SZOLGÁLAT ÉS A MAGYAR
METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

TARTALOM

A címlapon: Szegedi Observatorium, 2006. július 13.
A felvételt Haszpra Tímea készítette

Unger János, Gál Tamás, Kovács Péter: A városi felszín és hősziget kapcsolata Szegeden	2
Gyuró György: Faludy György recski emlékei Tóth Gézaról	9
Szinyei Dalma, Vincze Csilla: Talajnedvesség-becslő modell tesztelése és alkalmazása magyarországi adatsorokon	10
Kitüntetés	12
Dr. Koppány György: Az előrejelzés fogalmáról és az előrejelezhetőségről	13
Szalai Sándor: Az Európai Meteorológiai Társaság 8. közgyűlése Ljubljánában	15
Horváth Ákos: Pusztító zivatarláncok	16
KISLEXIKON	19
Seres András, Ács Ferenc: A szinoptikus helyzetek és a felszín közeli légkör stabilitási viszonyainak párhuzamos elemzése	20
Balogh Miklós: Repülőgépes mérések felhasználása az ALADIN számszerű időjárás-előrejelzési modellben	24
Hegyfokj Kabos hamvai a Nemzeti Sírkertben	26
Bartók Blanka, Csákberenyi - Nagy Gergely: A napenergia hasznosítás meteorológiai adottságai Debrecen térségében	27
Dr. Domonkos Péter: Zivatarfelhők szokatlan fényjelenségei	32
Hidy Dóra, Barcza Zoltán, Haszpra László, Galina Churkina: Gyeppek szén-dioxid forgalmának modellezése	33
KISLEXIKON	36
A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI	37
HUNGEO 2006	37
Az Országos Meteorológiai Szolgálat Közleménye	38
Schlanger Vera: 2006 nyarának időjárása	39

A VÁROSI FELSZÍN ÉS A HŐSZIGET KAPCSOLATA SZEGEDEN

1. rész: Térinformatikai eljárás a felszíngeometria számszerűsítésére

1. Bevezetés

Települési környezetben a megváltozott felszínborított-ság jelentősen befolyásolja a terület energia- és víz-egyenlegét, ami lokális léptékű klímamódosuláshoz vezet. A változások közül a városok hőmérsékleti többlete jelenik meg a legmarkánsabban (Landsberg 1981, Kuttler 2005). A kialakuló városi hősziget (urban heat island – UHI) három szinten lehet világosan megfigyelni és elkülöníteni: a felszínen (e.g. Voogt and Oke 1997, Dezső et al. 2005), a jelen tanulmányban is vizsgált felszínközeli (házak közötti) néhány méteres légrétegben (e.g. Unger 1996) és a városi tetőszint feletti légtérben (e.g. Rotach et al.).

A felszínközeli UHI elsősorban az urbanizált részek és a külterületek között jelentkező eltérő hűlési és felmelegedési ütem következménye. Nagysága (intenzitása) amellett, hogy jellegzetes napi járást mutat, a városon belül meglehetősen eltérő mértékű. A hősziget kialakulására és intenzitására hatással lévő faktoroknak, illetve azok nagyságrendi szerepének meghatározása, modellezése bonyolult, részben a város összetett vertikális és horizontális tagoltsága, részben pedig a mesterseges hő- és szennyezőanyag-kibocsátás miatt.

A témával foglalkozó kutatások számos lehetséges kiváltó tényezőt vizsgáltak meg. Már a kezdeti lépéseknél nyilvánvalónak látszott, hogy a hősziget maximális erőssége a város méretétől függ. A különböző kontinensek városait összehasonlító vizsgálatok rámutattak arra, hogy az egyes földrészekeken tapasztalható városi hőszigetek jellege, erőssége más és más, melyre legkézenfekvőbb magyarázatként az adódik, hogy a különbséget az eltérő építési anyagok és szokások okozzák (Park 1987).

Az éjszakai hősziget elsősorban a városi felszínnek a külterülethez képest eltérő hosszúhullámú kisugárzása miatt alakul ki. A nappal eltárolt hőmennyiség a tagolt felszíngeometria miatt csak korlátozottan tud a sugárzás révén eltávozni, hiszen annak egy része az égbolt helyett az épületek falában nyelődik el és részben onnan visszasugárzódik a felszín felé. Így a városi felszín módosítja a sugárzási viszonyokat, ezzel a város sugárzási mérlegét és energiaegyenlegét is, amelynek következtében a város légtere melegebbé válik környezeténél, vagyis kialakul a hősziget.

A városi hősziget kifejlődésének vizsgálatához tehát fontos a városi felszín geometriáját jellemezni. Ennek a felszíni tagoltságnak a számszerűsítésére az *égboltláthatósági index* (sky view factor – SVF) az egyik megfe-

lelő paraméter (Oke 1988). E paraméter fizikai megfontolásból származtatható, részletesebb kifejtését a következő fejezet tartalmazza.

A geometriai szerkezet feltárásában nagy segítséget jelenthet a térinformatikai megoldások alkalmazása. A városi geometria ugyanis nagyon jól modellezhető 3D-s adatbázis segítségével, amely azután térinformatikai alapokra helyezett elemzések adatforrásaként szolgálhat.

E cikkben célunk egy olyan eljárás bemutatása, amely képes megoldani a városi geometria jellemzését és számszerűsítését egy 3D-s épület-adatbázis alapján. Így lehetővé válik, hogy az összetett városi felszín szerkezete teljes egészében feltérképezhető legyen időigényes terepi mérések nélkül. A cikk 2. részében (amely a Léggör folyóirat következő számában jelenik majd meg) az új eljárással kapott eredmények segítségével elemezzük a városi hősziget és a városi geometria kapcsolatát Szegeden (a város területének egyharmadát lefedő mintaterületen), valamint, hogy az eredményeket összevetjük a korábbi kutatásokból származó terepi mérések eredményével.

2. Az SVF megközelítése, értékének számítása

A *láthatósági index* (view factor – VF) egy arányszám, amely azt fejezi ki, hogy egy adott felületről kisugárzott energiamennyiség mekkora része nyelődik el egy másik felület által (Oke 1987). Tehát ez egy dimenzió nélküli mennyiség, melynek minimális értéke 0, maximális értéke pedig 1 lehet (ekkor az összes kisugárzott energia elnyelődik). A VF értékek összege az adott, 1-lel jelölt felületről „látható” összes felületre természetesen 1 lesz, azaz:

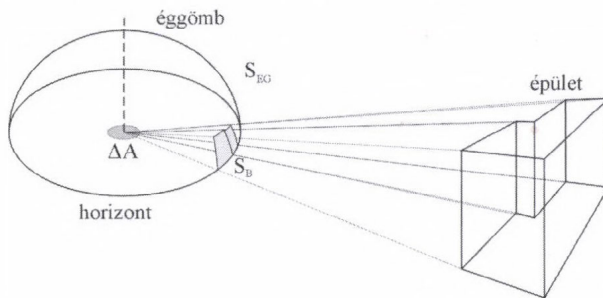
$$VF_{1-2} + VF_{1-3} + \dots + VF_{1-n} = 1$$

Tekintsük a felszín egy pontját, amelyből az égboltnak valamely része látható, valamint tegyük fel, hogy ez a pont a hosszúhullámú tartományban sugároz. A pontból kiinduló sugárzás egy része a pont körüli felületeken elnyelődik (épületek, növényzet, stb.), a maradék része viszont az égbolt irányába távozik. Így kiszámíthatjuk, hogy a felszín egy pontjából származó sugárzás mekkora része nem nyelődik el a pont környezetében. Ez az arány az *égboltláthatósági index* (SVF). Értelemszerű tehát, hogy az SVF kiszámítható, ha az 1 értékből levonjuk az összes, a földfelszíni pontból „látható” felületekre számított VF-t.

Városi felszín esetében az épületek – hiszen ezek a felszín legfontosabb építőelemei – befolyásolják legin-

kább az SVF értékét. A továbbiakban, leegyszerűsítve, városi felszínen szigorúan csak a legjellemzőbb városi objektumok, az épületek együttesének felszínét értjük.

Az égbolt egy részét tehát az épületek eltakarják, a maradék része pedig látható marad. Az adott – végtelen kicsinek tekintett – felületelemből (ΔA) nézve az égbolt épületek által eltakart részét úgy kapjuk meg, hogy az egyes épületeket vetítősugarakkal leképezzük az éggömböt reprezentáló félgömbre (1. ábra).

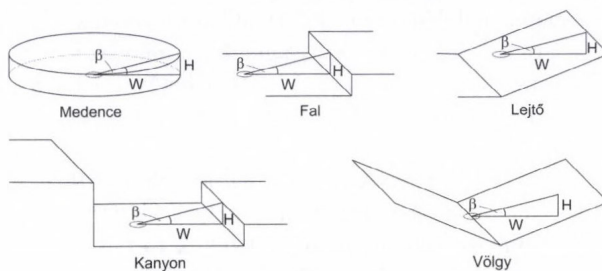


1. ábra Egy adott épület által korlátozott égboltláthatóság meghatározása

Az éggömbön keletkezett S_B -vel jelölt rész azt mutatja, hogy milyen részt takar ki az épület a ΔA -ra vonatkoztatva az égboltból, azaz milyen alakúnak „látszik” az épület az adott földfelszíni pontból. Ebben az esetben tehát az égboltláthatósági index nem más, mint:

$$SVF = 1 - VF_{\Delta A\text{-épület}} = 1 - VF_{\Delta A\text{-SB}}$$

Néhány tipizált és leegyszerűsített geometriai elrendezés esetében viszonylag egyszerű feladat meghatározni az SVF értékét. A 2. ábra ezeket az eseteket szemlélteti.



2. ábra Néhány egyszerű geometriai konfiguráció (a jelek magyarázata a szövegben) (Oke 1987)

A medence, a fal, valamint a kanyon esetében a függőleges kiterjedés mértékét H jelöli (mélység, magasság), az adott földfelszíni ponttól való távolságukat pedig W . A medencét teljesen zártnak kell tekinteni, a falat, lejtőt, kanyont és a völgyet pedig végtelen hosszúságúnak. A β -val jelölt szög a lejtő és a völgy esetében azok meredekségét jelzi ($\beta = \arctg(H/W)$), a többi esetben pedig emelkedési szög. Az égboltláthatósági index – az ellipszisekkel jelölt felületekre vonatkoztatva a 2. ábrán – ezekben a speciális esetekben a következő (Oke 1987):

$$SVF_{\text{medence}} = \cos^2\beta \quad (1)$$

$$SVF_{\text{fal}} = SVF_{\text{lejtő}} = (1 + \cos\beta)/2$$

$$SVF_{\text{kanyon}} = SVF_{\text{völgy}} = \cos\beta$$

A későbbiekben (ld. 4.2. szakasz) a medencére vonatkozó SVF értéket használjuk majd fel a kifejlesztett algoritmusban.

3. Az SVF értékének meghatározása városi felszín esetén (irodalmi áttekintés)

A városi környezetre alkalmazott SVF becslési módszereket a következőképpen lehet csoportosítani, címszavakban kiemelve a módszerek lényegét, a megközelítés módját:

- méretarányosan kicsinyített modell,
- analitikus módszer (terepi felmérés – távolság és szögmérés, H/W arány), grafikus becslés,
- halszemoptikával készült fotó manuális és szoftveres kiértékelése,
- GPS* vevő jeleinek kiértékelése,
- geometriai attribútumokat leíró adatbázis (3D) elemzése számítógépes algoritmusokkal.

Oke (1981) egy 0,5x0,5 m alapterületű makettet épített fából annak demonstrálására, hogy nyugodt, tiszta időjárás esetén a sugárzási veszteség kisebb volta a városi felszín esetén hőmérsékleti többletet eredményez a vidéki környezethez képest. A modellben különböző H/W (utcamagasság/szélesség = 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4) értékekkel kísérletezett, amely azt mutatta, hogy a maximális intenzitás időben annál később következik be, minél nagyobb a H/W érték (minél szűkebbek az „utcák”). A továbbiakban becslést adott a VF és az SVF kiszámítására a H/W hányados segítségével, a városi utcákat végtelen hosszú, állandó magasságú „kanyonként” kezelve.

Az Oke (1981) által megállapított, egyszerűsített utcákra érvényes H/W-SVF kapcsolatot a valós környezetben fekvő utcákra is ki lehet terjeszteni. Ugyanis az utca valamely pontján felállított, s annak irányára merőlegesen mindkét oldalra végrehajtott épületmagasság mérés (pl. teodolit segítségével), valamint az utca szélességének ismerete elegendő a VF, így az SVF értékének megbecsléséhez (Bottyán and Unger 2003). Különálló ház láthatósági faktorának meghatározására Johnson and Watson (1984) adott egy módszert. Később kifejlesztettek egy grafikus megoldást is, melyről leolvasható a keresett SVF érték, ha az adott épület emelkedési és az épület szélességét kifejező azimut szögei rendelkezésre állnak (Watson and Johnson 1987).

Steyn (1980) az SVF értékét halszemoptikával készült fotók alapján közelítette meg (a halszemoptika a középponti szöggel arányos leképezést valósít meg).

A becslés egy integrálközelítő összeg, valamint a kép koncentrikus körgyűrűre való felosztásán alapult. Gondosan megválasztott közelítés segítségével a hiba alacsony értéken tartható. A papírképeket manuálisan értékelték ki, amely igen időigényes eljárás volt. *Barring et al.* (1985) kísérelték meg először a módszer automatizálását videokamerával készített képek digitalizálásával. *Holmer* (1992) a képeket egy számítógéppel összekötött digitalizáló táblán értékelt ki. Az eljárás pontossága és időigénye nagymértékben a körgyűrűk szélességén múlott. A felvételek készítésekor *Grimmond et al.* (2001) alkalmaztak először digitális kamerát, majd a kiértékelést egy erre a célra írt Fortran programmal végezték el. Az autóra szerelt kamera gyors és részletes geometriai információt szolgáltatott egy egész városrészről. Ezt a képanalízist a fényesség és a kontraszt változtatásával *Brown and Grimmond* (2001) fejlesztette tovább. *Chapman et al.* (2002) egy teljesen automatizált eljárást alkalmaztak az égbolt elkülönítésére a sötét skála digitális színfokozatait elemezve az átalakított képeken.

Érdekes annak vizsgálata, hogy hogyan becsülhetők ismeretlen városi területekre az SVF értékek. Arra ugyanis nincs kapacitás, hogy a városi felszín minden egyes pontjáról halszemoptikával készített fotók álljanak rendelkezésre. Lehetséges viszont a városi felszín területhasznosítási klasszifikációja, majd az egyes osztályokhoz tartozó SVF értékek statisztikai elemzése (szórás, variancia, stb.). Az osztályozás alapján lehetséges a módszer további területekre történő kiterjesztése (*Bradley et al.* 2001).

Egy újabb megközelítés az SVF értékének becslésére a helymeghatározó műholdak bevonása a mindenki által elérhető GPS hálózat segítségével. A GPS vevőt ugyanis zavarják az épületek, amelyek a műholdtól érkező jeleket leárnyékolják, valamint a csökkentik a műholdláthatóságot, amiből az SVF közelítő értéke számíthatóvá válik (*Chapman et al.* 2002, *Chapman and Thornes* 2004). A legjobb eredményeket belvárosi területeken mutatták ki, ahol sokkal erősebb a korreláció a GPS készülékkel becsült, valamint a halszemoptikával készített fotók kiértékeléséből származó SVF értékek között, mint a külvárosi és vidéki területeken.

Pontos digitális térképek, valamint a hozzájuk kapcsolódó térbeli adatbázis alapján szintén lehetséges az SVF értékének a kiszámítása (*Souza* 2003, 2004). Az így kapott érték természetesen sosem lesz olyan pontos (hiszen egyfajta modellről van szó), mint a halszemoptikával készített felvétel kiértékelésekor kapott, ezt viszont elég jól ellensúlyozza, hogy tetszőleges földfelszíni pontra számítható az érték, amennyiben rendelkezésre áll a területre vonatkozó 3D-s adatbázis.

Egy alternatív lehetőség, hogy raszteres állományt alakítunk ki (akár a rendelkezésre álló 3D-s adatokból), amely lefedi a vizsgált területet és e raszteres állomány alapján becsüljük az SVF-t. Természetesen ebben az

esetben olyan algoritmust kell használni, amely a raszteres állománnyal képes dolgozni. A kapott eredmény pontosságát növeli, ha rendelkezésre áll az egyes épületek tetőszerkezetét leíró állomány is (*Brown et al.* 2001, *Lindberg* 2005).

4. Algoritmus az SVF számításához

4.1. A 3D-s adatbázis

A város szerkezetére vonatkozó 3D-s adatbázis tartalma erősen befolyásolja az SVF meghatározására irányuló algoritmus számítási lehetőségeit, pontosságát. Ez az adatbázis gyakorlatilag a valós világ egyfajta modellje, mely egy ideális (kissé leegyszerűsített) városi felszín reprezentál.

A Szegedre vonatkozó adatbázis tartalmazza az egyes épületek magasságát, valamint a tető típusát (lapos, sátor, donga, stb.), azonban a tető maga grafikusan nincs reprezentálva. Az adatbázis által leírt városi felszín legfontosabb, az épületek alakját érintő egyszerűsítései a következők: minden épület lapos tetős és egy épület minden fala azonos magasságú.

Az egyes épületeknek az égboltra vetülő képét (ld. 1. ábra) kezelhetjük az őt alkotó, az adott felszíni (ΔA) felületelemből látható falainak a vetületével. A fal egy élének a képét úgy kapjuk meg, hogy ΔA középpontja és az épület látható éle által meghatározott síkkal elmetsszük az éggömböt. Tehát idealizált városi felszín esetén egy tetszőleges fal képe főkörív szakaszok által határolt gömbnégyszög lesz. Ezek összessége adja meg az épületek vetületét az éggömbön.

4.1.1. A 3D-s adatbázis felépítése

Az adatbázis felépítése térinformatikai szoftverekkel és eljárásokkal történt. A magassági adatok mérését a digitális fotogrammetria eszköztára tette lehetővé. A kiértékelés különböző lépéseihez több adatforrást is felhasználtunk:

– Raszteres alap: A Szeged várost lefedő 1992-es légifelvételek eredeti negatívjait, melyek kb. 60%-osan fedik egymást, szkennelvel digitalizáltuk 14 mikron felbontásban. Pontos mérés csak a kiváló minőségű digitalizált negatívok felhasználásával lehetséges, ugyanis szembevető minőségbeli különbség tapasztalható az alkalmazott negatív szkennelése és a gyakran használt papírfotó szkennelése között.

– Vektoros alap: Az épületek alaprajza DXF formátumban áll rendelkezésünkre. A vektoros állomány középhibája 10 cm, tehát geodéziai pontosságúnak tekinthető. Az állomány konvertálása után erre illesztettük rá a teljes vizsgált terület cella-hálóját.

– Térképek: A feldolgozás során felhasználtuk a Szeged területéről rendelkezésre álló 1:10.000 méretarányú EOTR földmérési-topográfiai térképszelvényeket. A térképek szintvonalait digitalizálva állítottuk elő a Digi-

tális Domborzatmodell (DDM), amely a tereptárgyak nélküli lecsupaszított földfelületet jelenti.

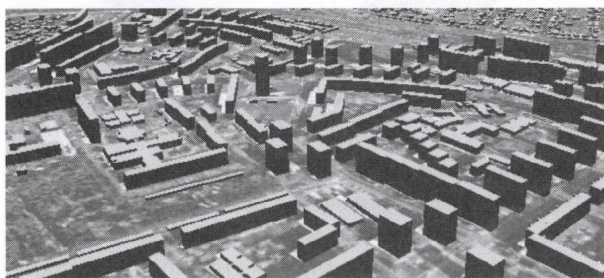
Az OrthoBASE modullal végeztük el a légifotók tájolását (légi-háromszögelést) és összeillesztését egy olyan rendszerbe, amiből a magassági adatok mérhetővé válnak. A 3D-s mérés az elkészített sztereó képpárokon az ERDAS IMAGINE Stereo Analyst moduljával történt, lebegő kurzor segítségével, ami nemcsak x és y , hanem z irányban is mozgatható. Így a mérőjelek egyszerre láthatóak térben, valamint külön-külön is a sztereopárokhoz tartozó képeken is. Ezt követően a szoftver a x -parallaxis alapján kiszámítja a pont x , y és z koordinátáit.

Az épületek magassági adatait és a tetőtípust az ArcView-ban rögzítettük. Ehhez felhasználtuk az épületek alaprajzát, amit az eredeti DXF formátumból *shapefile* formátumba konvertáltuk. Az épületek adatait az attribútum táblázat tartalmazza külön-külön oszlopokban. További oszlopokban egyéb értékeket is rögzítettünk (pl.: épületkód, alapterület, térfogat) a későbbi elemzések megkönnyítése végett.

Az adatok rögzítése közben a könnyebb tájékozódás érdekében az épület-alaprajzok alá az IMG formátumú ortofotókat helyeztünk, amiket a több lépcsős munkafolyamatból álló ortokorrekciónak eredményeként kaptunk meg. Ezek a képek a földfelszíni objektumok már a síkrajzi helyükön találhatóak. Mind a vektoros, mind a raszteres adatok EOVS (Egységes Országos Vetület) koordinátákkal rendelkeztek, így ezek pontosan átfedték egymást.

Az adatokról leolvasható információk korlátozott volta miatt – a kis méretű épületek nem mindig képződnek le – a 15 négyzetméternél kisebb területű épületek kimaradtak a további vizsgálatokból. Ezeknek az apró épületeknek a hőfelvétele és hőleadása igen kicsi, így a városi környezet klímamódosító hatása szempontjából elhanyagolható.

Az eredményül kapott 3D-s épület-adatbázis egy részletének térbeli megjelenítése a 3. ábrán látható.



3. ábra Az épület-adatból generált kép a város egy részéről

4.1.2. Az adatbázis frissítése és pontosság

Az 1992-es légifelvételeken a jelenlegi nagy bevásárlóközpontok még nem jelentek meg, viszont az épület-alaprajzos állományon már rajta vannak. Mivel ezek az óriási épületek a hozzájuk tartozó nagy parkolókkal je-

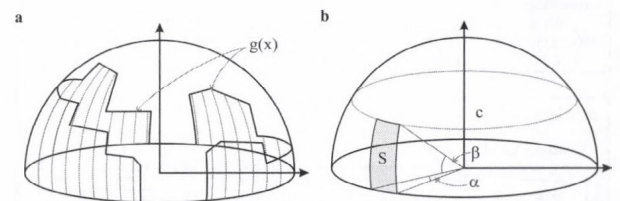
lentősen befolyásolhatják környezetük termikus viszonyait, fontos volt az adatok frissítése, amihez a 2003. augusztus 5-én készült légifotókat használtuk fel. Ezáltal a jelenlegi legújabb és legmegbízhatóbb felszínparaméter adatokhoz jutottunk, amelyek így már időben szorosan kapcsolódnak a városi hőmérsékletmérések periódusához (2002. április – 2003. március).

A vizsgált terület szélén elhelyezkedő cellákban teodolitos mérésekkel ellenőriztük az ERDAS-szal mért épületmagassági adatokat. Itt, ahol a légi-háromszögelésből adódó hiba várhatóan a legnagyobb, az értékek differenciájának az épület teljes magasságához viszonyított részaránya átlagosan 5% körülinek bizonyult, és az átlagos eltérés közel 100 elem alapján csak 58 cm-nek adódott.

4.2. Az SVF számítás/becslés algoritmizálása idealizált városi felszín esetén, programfelépítés

Az alkalmazott eljárás hasonló a közelítő integrálás módszeréhez, amely többek között egyváltozós függvények görbéje alatti terület meghatározására alkalmas, gyakorlatilag annak átültetése félgömb esetére. A félgömbön kapott területekhez fogunk SVF értékeket rendelni, felhasználva azt, hogy a medencére vonatkozó SVF számítási képlet ismert.

A $g(x)$ poligon a látható égbolt határa, az alatta lévő területen az égbolt már takarva van az épületek miatt (4a. ábra). Felosztjuk a félgömböt α szögenként félgömbcikkekre, majd berajzoljuk a „téglalapokat” úgy, hogy azok magassága egyenlő legyen a $g(x)$ -nek az intervallum felezőpontjában felvett értékével. Meg kell jegyezni, hogy $g(x)$ nem egy függvény, csak egy egyszerű görbe. A kapott felületelemek VF értékeinek összegének felhasználásával közelítjük a $g(x)$ görbéhez tartozó SVF-et.



4. ábra (a) A látható égbolt határa ($g(x)$ görbe) alatti terület egyenletes felosztása szeletekre (egy szelet magassága egyenlő a $g(x)$ által a felezőpontban felvett értékkel), (b) a medence egy α szélességű és β magasságú szelete (S)

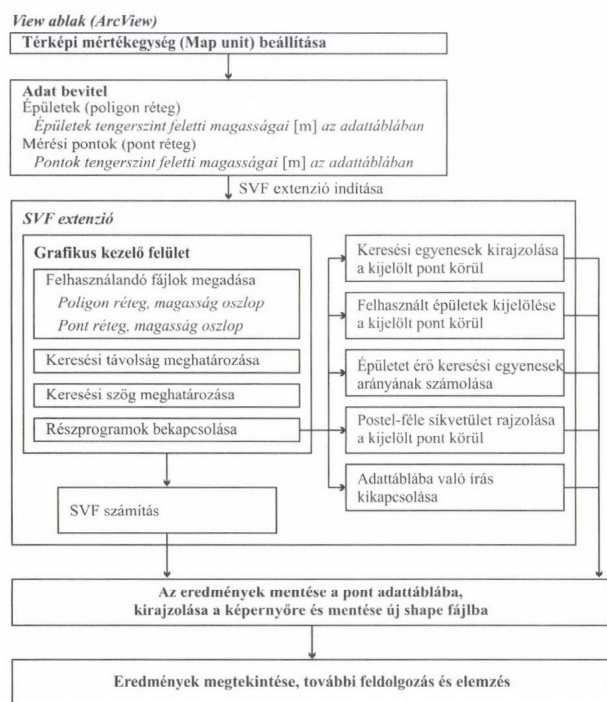
A kérdés tehát az marad, hogy hogyan számítható ki az S -el jelölt felületelemhez tartozó VF (4b. ábra)? Felhasználva a medencéhez tartozó (1) egyenlet szerint a β látószögű medence égboltláthatósági indexe $\cos^2\beta$, tehát magának a medencének a láthatósági indexe $1 - \cos^2\beta = \sin^2\beta$, tehát egy α „szélességű” darabjára ennek az $\alpha/360$ szorosa. Ezt kell összegezni a cikkekre, majd az értéket 1-ből kivonni, hogy az SVF értékét megkapjuk. Látható tehát, hogy az eljárás pontosságát nagyban befolyásolja,

hogy milyen nagyságúnak választjuk az α értéket. Minél kisebb ez a szög, annál jobb a becslés, de ez azt is jelenti, hogy jelentősen megnövekedhet a számítási igény.

Egy adott pontra vonatkozó SVF érték meghatározását a következőképpen végzi el az algoritmus. Az adott α szögenként egyeneseket rajzol a pontból. Megkeresi az adott irányba eső azon épületet, amely a legnagyobb mértékben takarja az égboltot, és megállapítja a hozzá tartozó β szöget. Az egyes épületek magasságát az adatbázis megfelelő oszlopából olvassa ki. Kiszámítja az S értéket, majd ezeket a megfelelő módon összegzi. Azt, hogy a ponttól milyen távolságig vegye az algoritmus figyelembe az épületeket, a felhasználónak kell eldönteni. A kapott SVF értékek egy táblázatban kerülnek rögzítésre.

Először azt a térinformatikai szoftvert kellett kiválasztani, amely rendelkezik azokkal a lehetőségekkel, amelyekre a feladat megoldásához szükségünk van. Magas fokú programozhatósága, valamint széles körű felhasználása miatt kézenfekvő volt az ESRI által forgalmazott ArcView szoftvercsalád 3.2-es verziójának használata (www.esri.com), amit Souza et al. (2003) és (2004) által tárgyalt hasonló algoritmus is alátámaszt. Az ArcView 3.2 saját beépített skript-nyelvvvel rendelkezik (Avenue), amellyel a szoftver teljes egészében programozható, azaz bármely eleméhez hozzáférhetünk általa.

Az elkészített algoritmus összesen 9 skriptből épül fel. Mindegyik skript egy részfeladat végrehajtásáért felelős (grafikus felület, paraméterek ellenőrzése, SVF számítás, stb.). Például az egyik legszemléletesebb eredmény az, amely a kijelölt pont körül megrajzolja az égbolt és az épületek látszólagos képét. A vetítés a

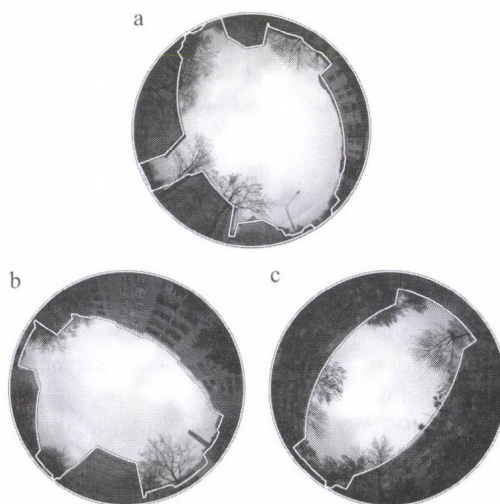


5. ábra Az algoritmus lépéseinek áttekintése

Postel-féle síkvetülethez hasonlóan történik, ami a gömbnek egy kiválasztott pontjából kiinduló irányok mentén hossztorzulásmentes ábrázolást tesz lehetővé. Ez a vetítési eljárás megegyezik az SVF meghatározásánál széleskörűen felhasznált halszemoptika leképezésével, így egy adott pontról készült fényképpel vizuálisan is összevethető az algoritmus eredménye (ld. 4.3. szakasz). Az 5. ábra a kifejlesztett algoritmus folyamatábráját mutatja be.

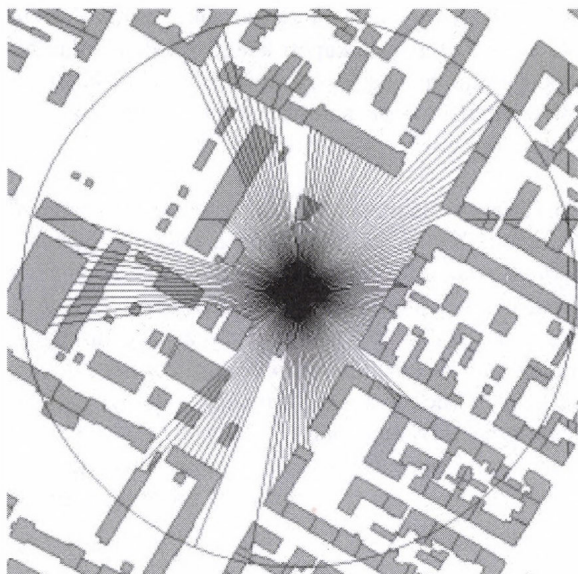
4.3. Az algoritmus ellenőrzése, tesztfuttatás „városi felszín” esetében

Magának a kész algoritmusnak az ellenőrzése során először halszemoptikával felszerelt digitális kamerával képeket készítettünk a város számos, beépítettség szempontjából jellegzetes pontján. Ezeket a fényképeket összevetettük az algoritmus által a 3D-s épületadatokból generált, az adott pontok 180°-os térbeli környezetét bemutató vetületekkel. Illusztrációként a 6. ábra bemutat néhány ilyen összehasonlítást, amelyek szerint az épületek körvonalait tekintve igen jó az egyezés a helyszínek körüli „valóságos” és a „virtuális” környezet között. Természetesen a növényzetet az algoritmus nem vehette figyelembe.



6. ábra Halszemoptikával készült és az algoritmus által generált (fehér vonal) 180°-os térbeli környezet három kiválasztott városi helyszín körül Szegeden (Nikon Coolpix 4500 digitális kamera FC-E8 halszemoptikával)

Az ellenőrzés második lépését két speciális SVF érték kiszámolásával – medence és „végtelen” hosszú kanyon – valósítottuk meg (2000 m, 1 fok). Először egy medencét reprezentáló poligonon futtattuk le az algoritmust, a poligon magasságát véletlenszerűen megválasztva. A számított és a program által adott érték közötti különbség 0,4% volt, ami abból származik, hogy a pontot nem sikerült tökéletesen a medence középpontjába helyezni. A végtelen kanyont két véges hosszúságú poligonon helyettesítve, a kapott érték 0,01%-os pontosságú volt.



7. ábra Az algoritmus futtatásának grafikus eredménye (az első tesztpont a szegedi Mars-térnél, a második a Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karának bejáratánál található)



„Városi” felszín esetén némileg hosszabb futási időre lehet számítani. Két különböző elhelyezkedésű tesztpontot választottunk. Az első pont egy viszonylag nyitott helyen, a szegedi Mars-térnél helyezkedett el (7a. ábra), míg a másik egy zártabb városi környezetben, az egyetem BTK-épületénél (7b. ábra). A tesztpontokra az algoritmus kb. 10-10 másodperc alatt futott le. Mindkét esetben 200 méter sugarú környezetben térképezte fel az épületeket, a forgatási szög 2 fokos volt (hogy az ábrákon ne folyjanak nagyon össze a „letapogató” egyenesek). A kapott SVF értékek: 0,9795 vagy 97,95%, és 0,5758 vagy 57,58 % (az algoritmus százalékban kifejezve rögzíti az SVF értékeket). Az eltérő SVF értéket magyarázata jól látható a 7. ábrán. A Mars-térnél viszonylag nyitottabb a terület, főképp a körút irányában és a teret határoló épületek sem túl magasak. A BTK mellett már egészen más a helyzet, a szűk utca oldalait viszonylag magas épületek alkotják, tehát az SVF érték ennek megfelelően sokkal kisebb lesz, mint az előző esetben.

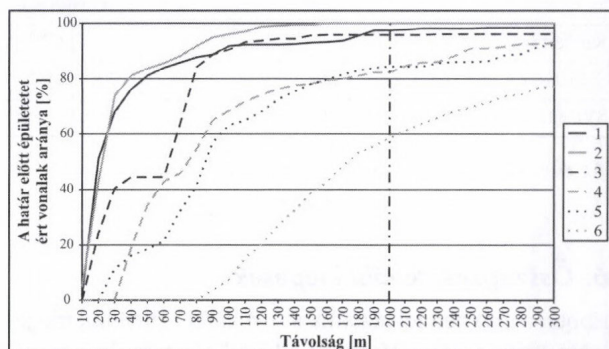
Az előzőeket figyelembe véve, az eljárás alkalmaznak tűnik a megfelelő pontosságú SVF értékek kiszámítására. Az értékek az igényeknek megfelelő sűrűségben állíthatók elő, kiváltva ezzel az idő- és költségigényes terapi mérést vagy fényképezést.

5. Az algoritmus paramétereinek meghatározása

Az algoritmus bemutatásánál már szerepelt, hogy két fontos paramétert a felhasználónak kell megadnia: (1) az adott pont körüli sugár, (2) hány fokozatonként kövessék egymást az egyenesek.

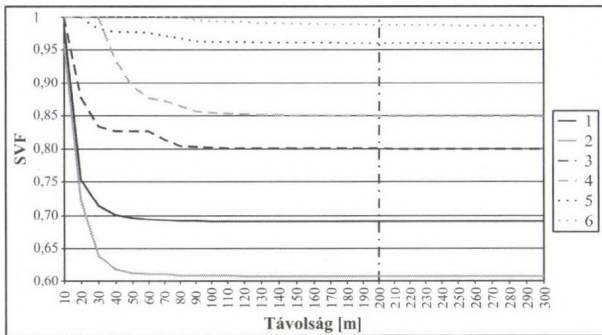
Szeged esetében a 200 m-es sugarú környezet tűnt kézenfekvőnek. Ennek alátámasztására kiválasztottunk

hat helyszínt, amelyek különböző beépítettségű területeket reprezentálnak. A 8. ábra a keresési távolságon belül az épületet ért vonalak arányának változását mutatja a távolság függvényében, míg a 9. ábra az SVF értékének változását szemlélteti a keresési távolság függvényében. Látható, hogy a sűrűbben beépített részekben (1-3. pont) már a 100 m körüli sugár is megfelelő lenne, míg a 4-6. pontok esetében inkább a 300 m-es sugár javasolható a 8. ábra alapján. Ha azt nézzük azonban, hogy az SVF értéke hogyan változik a kör sugarát növelve (9. ábra), egyértelműen adódik, hogy már a ritkább beépítésű részekben sincs lényeges értékváltozás a 200 m-es értéket túllépve.



8. ábra A keresési távolságon belül épületet ért vonalak arányának változása a keresési távolság függvényében. (1: belváros, két utca kereszteződése, 2: belváros, szűk utca, 3: lakótelep, házak között, 4: lakótelep, egy széles sugárút kereszteződése, 5: családi házakkal beépített terület, széles útkereszteződés, 6: kis beépítettségű terület)

A sugár megadásánál még azt is figyelembe kell venni, hogy az nem növelhető bármekkora, mivel távolság növelésével egy felületelem hatása hatványozottan csökken az adott pontra jellemző sugárzási viszonyok-



9. ábra Az SVF értékének változása a keresési távolság függvényében. (1: belváros, két utca kereszteződése, 2: belváros, szűk utca, 3: lakótelep, házak között, 4: lakótelep, egy széles sugárút kereszteződése, 5: családi házakkal beépített terület, széles útkereszteződés, 6: kis beépítettségű terület)

ra. Mindezeket mérlegelve a 200 m-es keresési távolságot találtuk megfelelőnek a számításokhoz.

A letapogató egyenesek egymással bezárt szögénél az 1 fokos értékre két ok miatt esett a választás. Egyrészt az algoritmus számítási idejének optimális szinten belüli tartása volt a cél. A szög értékének csökkentésével a számítási idő jelentősen nő. Az 1. táblázat bemutatja a számítási idő és az SVF értékének változását a keresési szög függvényében. Látható, hogy – négy tizedes pontosság esetén – az 1°-nál kisebb érték megadása már nem változtat a számítás végeredményén. Másrészt, ilyen paraméter mellett 200 m-es távolságban már csupán a 3,5 m-nél keskenyebb épületek képesek elsiklani a letapogató egyenesek között, egy ekkora épületnek viszont már elenyésző a sugárzási viszonyokra gyakorolt hatása.

1. táblázat

Keresési szög	30°	10°	5°	2°	1°	0,5°	0,25°
Számítási idő	< 1s	~ 1s	~ 2s	~ 4s	~ 9s	~ 20s	~ 42s
SVF értéke	0,9837	0,9826	0,9812	0,9810	0,9808	0,9808	0,9808

Az egyes keresési szög értékekhez tartozó számítási idő és az SVF értéke

6. Összegzés, további lépések

Ebben a cikkben felvázoltuk a városi felszíngeometria jelentőségét a város légterében kialakuló termikus viszonyok szempontjából. Bemutattuk a Szeged épületeit leíró 3D-s épület-adatbázis létrehozását, majd ennek az adatbázisnak a felhasználását az összetett városi felszíngeometriát jellemző mérőszám, az égboltláthatóság (SVF) meghatározására egy általunk kifejlesztett eljárás alapján. Ez az eljárás nagy területre képes nagy sűrűséggel és viszonylag gyorsan SVF értékeket szolgáltatni, amennyiben a 3D-s adatbázis rendelkezésre áll az adott területre.

A cikk 2. részében, amely a Légekör folyóirat következő számában jelenik majd meg, az új eljárással kapott

SVF értékek segítségével elemezzük a városi hősziget és a városi geometria kapcsolatát Szegeden, valamint a kapott eredményeket összevetjük a korábbi kutatásokból származó terepi mérések eredményével. Végezetül bemutatunk még egy alkalmazási lehetőséget is.

Köszönetnyilvánítás: A kutatást az OTKA (T049573) támogatta. Külön köszönet illeti a Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium Földügyi és Térképészeti Főosztályát a légifelvételek negatívjaiért, Szeged Megyei Jogú Város Önkormányzatát a szegedi digitális épület-alaprajz adatbázisért, valamint Zboray Zoltán kiértékelő mérnököt a térinformatikai feldolgozás során nyújtott hasznos tanácsaiért.

Unger János – Gál Tamás – Kovács Péter
Szegedi Tudományegyetem

Irodalom

- Brring L, Mattsson JO and Lindqvist S, 1985: Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmö, Sweden. *J Climatol* 5, 433-444
- Blankenstein S and Kuttler W, 2004: Impact of street geometry on downward longwave radiation and air temperature in an urban environment. *Meteorol Zeitschrift* 15, 373-379
- Bottyán Z and Unger J, 2003: A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theor Appl Climatol* 75, 233-243
- Bradley AV, Thornes JE and Chapman L, 2001: A method to assess the variation of urban canyon geometry from sky view factor transects. *Atmos Science Letters* 2, 155-165
- Brown MJ, Grimmond CSB and Ratti C, 2001: Comparison of methodologies for computing sky view factor in urban environment. Internal Report Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, LA-UR-01-4107, 6 p
- Brown MJ and Grimmond CSB, 2001: Sky view factor measurements in downtown Salt Lake City – Data report for the DOE CBNP Experiment, October 2000. Internal Report Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, LA-UR-01-1424, 16 p
- Chapman L, Thornes JE and Bradley AV, 2001: Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets. *Theor Appl Climatol* 69, 81-89
- Chapman L, Thornes JE and Bradley AV, 2002: Sky-view factor approximation using GPS receivers. *Int J Climatol* 22, 615-621
- Chapman L, Thornes JE, 2004: Real-time sky-view factor calculation and approximation. *J Atmos Oceanic Technol* 21, 730-741
- Dezső Zs, Bartholy J and Pongrácz R, 2005: Satellite-based analysis of the urban heat island effect. *Időjárás* 109, 217-232
- Grimmond CSB, Potter SK, Zutter HN and Souch C, 2001: Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas. *Int J Climatol* 21, 903-913
- Holmer B, 1992: A simple operative method for determination of sky view factors in complex urban canyons from fisheye photographs. *Meteorol Zeitschrift* 1, 236-239
- Johnson GT and Watson JD, 1984: The determination of view-factors in urban canyons. *J Climate Appl Meteorol* 23, 329-335
- Kuttler W, 2005: Stadtklima. In Hupfer P und Kuttler W (eds): *Witterung und Klima*. Teubner, Stuttgart-Leipzig-Wiesbaden, 371-432
- Landsberg HE, 1981: *The urban climate*. Academic Press, New York, 275 p
- Lindberg F, 2005: Towards the use of local governmental 3-D data within urban climatology studies. *Mapping and Image Science, Swedish Cartographic Society*

- Oke TR, 1981: Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *J Climatol* 1, 237-254
- Oke TR, 1987: *Boundary layer climates*. Routledge, London and New York, 405 p
- Oke TR, 1988: Street design and urban canopy layer climate. *Energy Buildings* 11, 103-113
- Park H-S, 1987: Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments. *Environmental Research Center Papers* 11, The University of Tsukuba, Ibaraki, Japan, 79 p
- Rotach MW, Vogt R, Bernhofer C, Batchvarova E, Christen A, Clappier A, Feddersen B, Gryning S-E, Martucci G, Mayer H, Mitev V, Oke TR, Parlow E, Richner H, Roth M, Roulet Y-A, Ruffieux D, Salmond JA, Schatzmann M and Voogt JA, 2005: BUBBLE – an Urban Boundary Layer Meteorology Project. *Theor Appl Climatol* 81, 231-261
- Souza LCL, Rodrigues DS and Mendes JFG, 2003: The 3DSkyView extension: an urban geometry access tool in a geographical information system. In Klysiak K, Oke TR, Fortuniak K, Grimmond CSB and Wibig J: *Proceed Fifth Int Conf on Urban Climate* Vol. 2, University of Lodz, Lodz, Poland, 413-416
- Souza LCL, Pedrotti FS and Leme FT, 2004: Urban geometry and electric energy consumption in a tropical city. *Proceed 5th Conf on Urban Environment, AMS Meeting, Vancouver*, CD 4.10
- Steyn DG, 1980: The calculation of view factors from fisheye-lens photographs. *Atmosphere-Ocean* 18, 254-258
- Unger J, 1996: Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary. *Theor Appl Climatol* 54, 147-151
- Voogt JA and Oke TR, 1997: Complete urban surface temperatures. *J Appl Meteorol* 36, 1117-1132
- Watson ID and Johnson GT, 1987: Graphical estimation of sky view-factors in urban environments. *J Climatol* 7, 193-197

Faludy György recski emlékei Tóth Gézáról

2006. szeptember 1-jén meghalt Faludy György író, költő, műfordító, a Meteorológiai Intézet igazgatójának egykori fogolytársa. A – többek között – Villon-fordításairól híressé vált Faludyról, József Attila kortársáról kevesen tudják, hogy az Országos Meteorológiai és Földmágnésségi Intézet igazgatójának, dr. Tóth Gézának* volt rabtársa a recski internálótáborban. Közös éveikről a Pokolbéli víg napjaim** című önéletrajzi regényében a következőképpen emlékezik meg:

„Az Északkeleti Betörés az első sorban állt, Egri Gyurka mellett. Nyájás és jóindulatú férfiúnak ismertük, óriási fejével és hatalmas állával, mely elfedte nyakát, sőt melle egy részét is, ő volt a tábor legkisebb embere; az egyetlen, aki az alsó ágy sorban egyenesen ülni tudott, anélkül, hogy beverte volna fejét. Polgári nevén Tóth Gézának hívták; szemtől szembe Géza bácsinak szólítottuk, de háta mögött mindenki Északkeleti Betörésnek mondta. Az öregúr a Meteorológiai Intézet egyik vezetője volt. Letartóztatását és csúfnevét annak köszönhettem, hogy az általa szerkesztett meteorológiai jelentésben másnapra "lány nyugati szellőket" ígért, a következő két napra pedig "északkeletről, a Szovjetunió irányából közelgő fagyos légrétegek betörését" jósolta. Ha jósolta, kétségtelenül így volt, mert az öregúr millibár fokokban, szélsőségekben és hasonlókban nem ismer tréfát. A következő napon elvitte az ÁVO, "a meteorológiai jelentésbe csempészett imperialista propaganda- és kémtevékenység" címén. Czebe Valér vezérkari százados, aki a katonapolitikai osztályon dolgozott, s akit rögtön Géza bácsi után tartóztattak le, azt állította, hogy a nevezett két napon, a fagyos légrétegekkel együtt, egy-egy szovjet hadosztály érkezett Magyarországra. E kinos coincidência okozta, nézete szerint, Géza bácsi vesztét; de azért óvakodott, hogy e feltevését – mely az öregvet végső kétségbeesésbe kergette volna – közölje velem.

Az Északkeleti Betörés derűsen viselte sorsát. A Mátra vidéke Magyarország klimatikusan legérdekesebb pontja: a legtöbb csapadékkal, váratlan felhőátvonulásokkal és egyéb meteorológiai fenoménnel, melyek újabb és újabb gyönyörűséget szereztek neki. Aprócska testének a sovány

koszt elegendő táplálékot biztosított; a munkánál erdei manóhoz hasonlított, vagy kerti törpe szobrához, mely megelevenedett, és gigantikus szerszámot – fűrészt, ácsbárdot, baltát – emelget. Közben-közben gyors és átható pillantásokat vetett a felhőkre. A barakkban is folyton tett-vett, fűrt-faragott: polcot gyalult fekhelye mögé, libellával egyesre színtezte, zöldre festette: mindenféle tárgyakat gyűjtött, melyeket gondos elrendezésben rakott ki, hogy – mint mondani szokta "mentől otthonosabban érezhessem magamat". Csak éjjel ült néha ágyán, hatalmas állát kezébe temetve. Egyszer megkérdeztem, min töri a fejét. Elmondta, hogy ötszobás, rendkívül drága házbérű lakásban hagyta feleségét. Kétségtelen, barátai álltak össze, és fizetik a lakbérét. A kérdés, mely nem hagyja nyugodni, a következő: ha majd 10-15 év múlva szabadon engedik, miből fizeti vissza barátainak horribilis tartozását?

Felszólítottam, magyarázza el a különféle felhőalakzatokat. Az Északkeleti Betörés megbiccintette lőfejét, és elmosolyodott örömeiben. Szérazon, elég körülményesen beszélt, de rövidesen vagy harmincan tolongtak körötte: az időjárás mindenkit érdekelt. Már jó háromnegyed órája beszélt, amikor az ajtónál kukucskáló volt vezérkari főnök jelentette: jönnek...

Forrás: <http://www.irodalmiakademia.hu/dia/diat/muvek/html/FALUDY/faludy00690/faludy00690.html>

* Tóth Gézával interjút olvashatunk a Légkör 1993-as 2. számában. Meteorológiai működéséről az 1994-es 2. számában és a Simon Antal által összeállított Magyarországi meteorológusok életrajzi lexikonában találunk részletes adatokat.

** Heitere Tage in der Hölle. Rütten und Loening Verlag, München, 1964; Myne lykkelige Dage i Helvede. Forlaget Fremad, Koppenhága, 1964; Les beaux jours de l'enfer. John Didier, Párizs, 1965; Pokolbéli víg napjaim. AB Független Kiadó (szamizdat), Budapest, 1987; Magyar Világ Kiadó, Budapest, 1989.

Gyuró György

Talajnedvesség-becslő modell tesztelése és alkalmazása magyarországi adatsorokon

A Léggör szerkesztőbizottságának célja fiatal, még az egyetemeken padjaiban ülő hallgatók kezdeti tudományos szárnypróbálgatásainak támogatása. Ezek sorába tartoznak a Tudományos Diákköri Konferenciákra benyújtott és elfogadott tanulmányok. Esetükben még nem várható el az érett kutatókkal szemben támasztható szigorúbb követelmények. Mindazonáltal, e tanulmányok a témavezető ill. konzulens tanároknak köszönhetően korszerű, aktuális kérdések megoldására irányulnak. Az alábbiakban is egy ilyen dolgot adunk közre. (A szerk.)

Bevezetés

Magyarországon, a kontinentális éghajlatnak köszönhetően a nyári hónapokban erős az aszályra való hajlam. Magas hőmérséklet, alacsony légnedvesség-tartalom mellett, valamint csapadék hiányában a talaj nedvességtartalma lecsökken, ami kihat a növények vízellátottságára is. Ez befolyásolja a levelek gázcsere-nyílásainak állapotát. E gázcsere-nyílásokon (sztómákon) keresztül történik a növényzet és légkör közti vízgőz- és nyomgázcsere. Alacsony talajnedvesség-tartalom esetén a sztómák nyitottsága csökken, ami gátolja a kicserélődési folyamatokat. E mechanizmusok vizsgálatánál ezért kiemelkedő fontosságú a talajnedvesség meghatározása, illetve hatásának elemzése.

Munkánk során a következő célkitűzéseket valósítottuk meg: (1) magyarországi viszonyokra adaptáltunk egy egyszerű talajnedvesség-becslő modellt, (2) mért talajnedvességi adatok felhasználásával pontosítottuk a modellparaméterek értékeit, (3) érzékenységi vizsgálatokat végeztünk, (4) kiszámítottuk a talajnedvesség térbeli eloszlását egy magyarországi szabályos rácsra.

A számított talajnedvességi mező felhasználásával a különböző növényállományok sztómán keresztül történő nyomgáz-áramát pontosítottuk. Eredményeinket egy kutatási programhoz, a troposzférikus ózon száraz ülepedésének becsléséhez használják az Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizikai és Kémiai, valamint Meteorológiai Tanszékén fejlesztett terjedési-ülepedési modellben.

Az alkalmazott modell

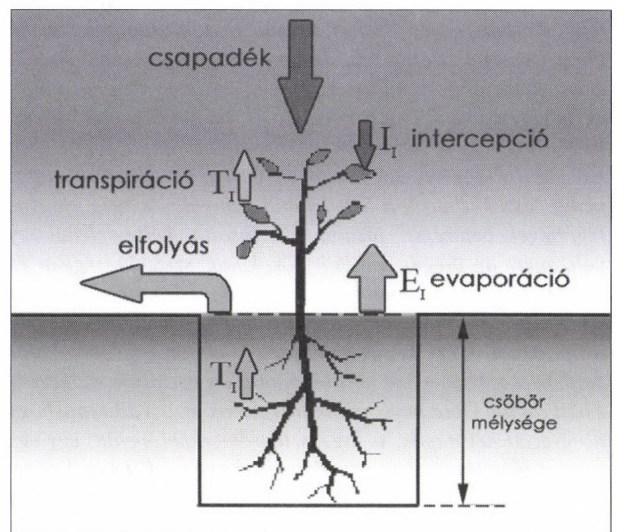
A talajnedvesség-becslő modellek kiindulási alapja a talaj vízháztartásának alapegyenlete. A különböző modellek más-más parametrizációt alkalmaznak, több-kevesebb egyszerűsítéssel. Ebből adódóan egy adott modell eredményei pontosabbak, megbízhatóbbak lehetnek egy

másiknál, a modell összetettségétől függően. Ugyanakkor a sok bemenő adat hibáiból származó eltérések jelentősen torzíthatják a számított értékeket.

A talajnedvesség becsléséhez Mintz and Walker (1993) alapján egy egyszerű, ún. csöbör-modellt használunk (1. ábra), ami prognosztikus egyenletrendszer segítségével, napi bontásban becsli a talajnedvesség értékét egy meghatározott talajrétegben, az ún. csöbörben. A csöbör mélységének a gyökérszóna tartományát vettük. A talajban az oldalirányú, valamint a mélyebb rétegek felé történő vízmozgásokat elhanyagoltuk, feltételezve, hogy a csöbör telítődése után a víz csak a felszínen folyhat el. A modellben alkalmazott egyszerűsített vízháztartás-egyenleg szerint a talajvíztartalom napi átlaga az i -edik napon (θ_i) megadható az $i-1$ -edik napi érték (θ_{i-1}) és a felszín és a légkör közötti, előző napi vízmérleg összegeként:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + (P_{i-1} - I_{i-1}) - (T_{i-1} + E_{i-1})$$

ahol P_{i-1} a napi csapadékösszeg, I_{i-1} az intercepció veszteség, T_{i-1} a növényzet transpirációja, E_{i-1} pedig a talaj evaporációja az $i-1$ -edik napon (minden tag mértékegysége mm). A modell bemenő adatai a referenciamagasságban (2 m) mért előző napi átlagos léghőmérséklet és relatív nedvesség értékei, valamint az előző napi csapadékösszeg.



1. ábra A csöbör-modell folyamatábrája

A számításokhoz szükséges a gyökérszóna mélységének, valamint az adott talajtípusra vonatkozó fizikai állandóknak az ismerete. A modell előnye, hogy kevés bemenő adatot igényel, ami megkönnyíti a rutinszerű

alkalmazást. Hátránya, hogy egyes modellparaméterek értéke bizonytalan, ezáltal azok rossz megválasztása hibás eredményt szolgáltathat.

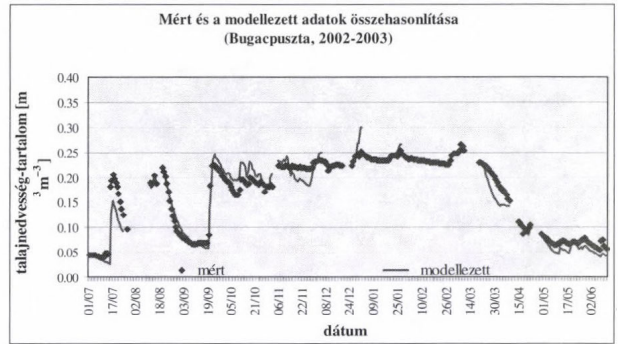
A rendelkezésünkre álló két magyarországi adatsoron teszteltük, hogy mennyire befolyásolja a modellezés eredményét a különböző paraméterek megváltoztatása. Elvégeztük a csöbör-modell érzékenységi vizsgálatát is. A bemenő meteorológiai állapothatározók értékeit megváltoztatva azt vizsgáltuk, mekkora eltérés adódik a modellezett talajnedvességi értékekben.

Számításainkat összevetettük más modellek eredményeivel is. Az összehasonlítás során – a számos modellbeli egyszerűsítés ellenére – a csöbör-modellel történt számítások pontosabbnak bizonyultak (Szinyei és Vincze, 2004).

A pontbeli számítások után modellünket kiterjesztettük egy szabályos rácsra. Az egyes rácspontokban a modell bemenő adatait részben az Országos Meteorológiai Szolgálatnál operatíván futtatott ALADIN előrejelzési modell szolgáltatja, részben szakirodalmi hivatkozásokból vettük. Számításaink során öt fizikai talajféleséget különböztettünk meg. A magyarországi talajnedvességi mező meghatározásához a talajtípusokat Várallyay *et al.* (1980) alapján határoztuk meg egy 0.15×0.10 fokos, szabályos rácsra. Az egyes rácspontokban a domináns talajtípust vettük figyelembe. A talaj-karakterisztikákat Ács (2003) számításai alapján vettük figyelembe.

Eredmények

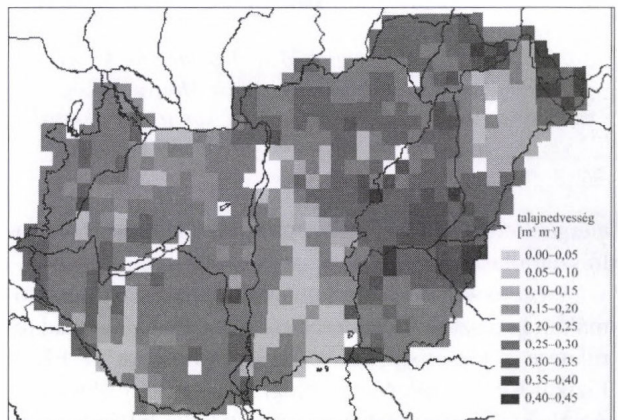
A csöbör-modellt magyarországi adatsorokon, egy debreceni és egy bugaci állomás méréseit felhasználva teszteltük. Számításainkhoz a Debreceni Agrometeorológiai Observatóriumban 1974-ben, valamint a GREEN-GRASS EU5 program keretében Bugacpusztán, 2002–2003-ban mért talajnedvességi értékek és meteorológiai állapothatározók álltak rendelkezésünkre. A gyökérszóna mélységének azt az értéket választottuk, melyre a mért és modellezett talajnedvességi adatok a legjobb egyezést mutatták. A mért és modellezett napi talajnedvességi értékek görbéit a 2.a és a 2.b ábra szemlélteti. A modell jól követi a mérési eredményeket mindkét esetben, azonban az adatsorokban néhol



2. ábra A mért adatok és a csöbör-modellel számolt talajnedvességi értékek összehasonlítása, (a.) Debrecen, (b.) Bugacpuszta.

időbeli eltolódást tapasztaltunk. Ez feltételezhetően a modell által elhanyagolt vízforgalmi tagokból, valamint a talajparaméterek bizonytalanságából ered.

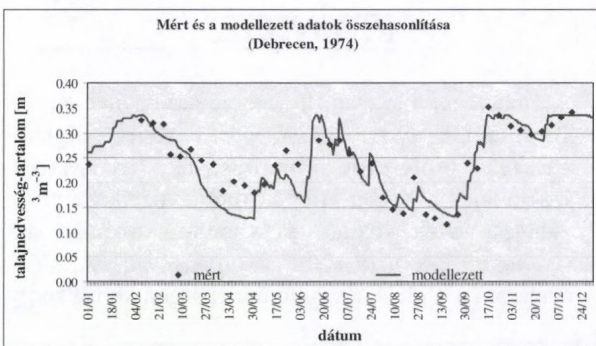
A pontbeli számítások, tesztelés és érzékenységi vizsgálat után 1998. július 23-án meghatároztuk a talajnedvesség térbeli eloszlását is Magyarország területére. Mivel a kezdeti talajnedvességi mezőt nem ismertük, ezért a modellszámításokat 1998. május 1-ével kezdtük, feltételezve, hogy a második hónap elteltével a modell már a reális állapotot tükrözi. Az eredményként kapott talajnedvességi mezőt a 3. ábra mutatja.

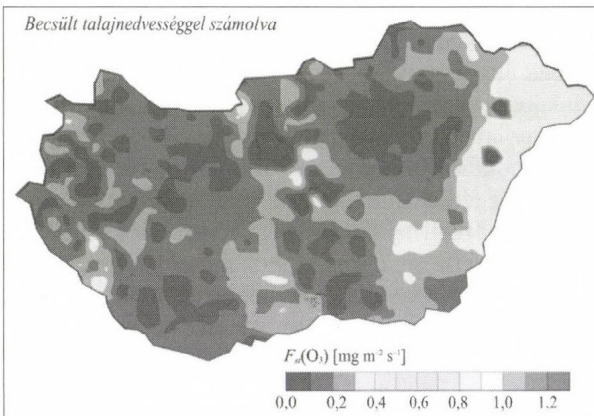
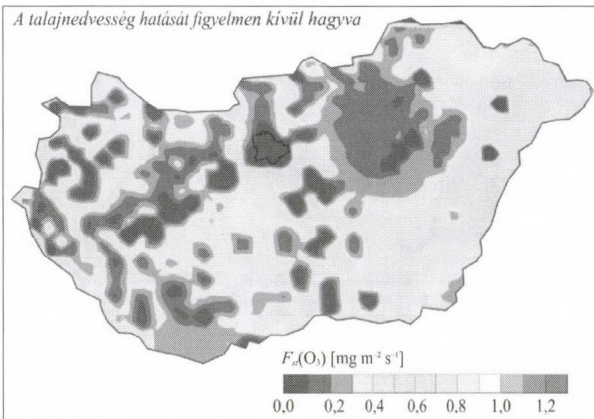


3. ábra A becsült talajnedvesség térbeli eloszlása Magyarországon 1998. július. 23-án

A modell alkalmazása

Az általunk számított talajnedvességi mezőt egy kutatási program keretében használják fel, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékén kidolgozott ózonülededési modell (Mészáros, 2002) egyik bemenő adataként. E modellt összekapcsolták az ELTE Fizikai Kémiai Tanszékén fejlesztett transzport modellel (Lagzi, 2003), ezáltal az ózon légkörből való kiülepedése, vagyis a különböző növénytakarókat érő szennyezőanyag-terhelés az egész ország területére szimulálható. A terjedési-ülededési modellt eddig csak fiktív talajnedvességi mezőkre futtatták (Lagzi *et al.*, 2004), de a dolgozatunkban bemutatott eredmények





4. ábra A talajnedvességi modell alkalmazása. Az ózon sztómán keresztül történő ülepedése Magyarország területére 1998. július 23-án, 12 UTC-kor; (a.) a talajnedvesség figyelembe vétele nélkül, (b.) becsült talajnedvességgel

alapján lehetőség nyílik a becsült talajnedvességgel való számolásra is.

A 4.a és 4.b ábrákon látható térképek az ózon sztómákon keresztüli ülepedését mutatják Magyarország területére két esetben. (A modellszámításokat az ELTE Fizikai Kémiai, ill. Meteorológiai Tanszéken végezték.) Az első térkép megfelelő vízellátottságot feltételezve (a talajnedvesség hatását figyelmen kívül hagyva), míg a második az általunk számított talajnedvességi mezőt figyelembe véve ábrázolja az ózon ún. sztóma-fluxusát.

A talajnedvesség nélkül, illetve a talajnedvességgel számított ózon fluxusok közötti eltérés erre a konkrét nyári idopontra jelentősnek bizonyult. A különbség a talajnedvesség nyomgáz-ülepedést gátló hatását tükrözi. Emiatt különösen a nyári, aszályra hajlamos időszakban indokolt a talajnedvesség minél pontosabb megadása, hiszen ezáltal jelentősen pontosítható a szennyezőanyag-terhelés becslése is.

Összefoglalás

Kutatásaink során egy egyszerű talajnedvesség-becslő modellel végeztünk pontbeli számításokat, majd a modell tesztelése, érzékenysége és bizonytalanságának

vizsgálata után meghatároztuk a talajnedvesség térbeli eloszlását is. Eredményeink felhasználhatók a felszín-légkör közötti kölcsönhatások elemzése során. A talajnedvesség-tartalom ismeretében pontosítható a növényzet ún. állomány-ellenállása, ami a skalármennyiségek fluxusát erősen befolyásoló tényező.

A talajnedvesség térbeli eloszlása megfelelő adatbázis esetén akár folyamatosan, rutinszerűen is számítható. Az alkalmazott modell azonban még számos bizonytalanságot hordoz. A becslés pontosítása elsősorban a talajtípusok térbeli eloszlásának finomításával, illetve az egyes talajtípusokra vonatkozó talajparaméterek pontosabb megadásával érhető el.

Köszönetnyilvánítás Köszönetet mondunk dr. Ács Ferencnek, dr. Weidinger Tamásnak, Pintér Krisztina és Druca Miklós doktorandusoknak, valamint témavezetőnket, dr. Mészáros Róbertnek.

Hivatkozások

- Ács, F., 2003: On the relationship between the spatial variability of soil properties and transpiration. *Időjárás*, 107, 257-272.
- Lagzi, I., 2003: Magyarország levegőszennyezettségének modellezése adaptív térbeli rács alkalmazásával. Doktori értekezés. ELTE TTK, Kémiai Könyvtár, Budapest.
- Lagzi, I., Mészáros, R., Horváth, L., Tomlin, A., Weidinger, T., Turányi, T., Ács, F., Haszpra, L., 2004: Modelling ozone fluxes over Hungary. *Atmospheric Environment* 38, 6211-6222.
- Mészáros, R., 2002: A felszínközeli ózon száraz ülepedésének meghatározása különböző felszín típusok felett. Doktori értekezés. ELTE TTK, Meteorológiai Könyvtár, Budapest.
- Mintz, Y., Walker, G. K., 1993: Global Fields of soil Moisture and Land Surface Evapotranspiration Derived from Observed Precipitation and Surface Air Temperature, *Journal of Applied Meteorology*, August 1993.
- Szinyei, D., Vincze, Cs., 2004: Talajnedvesség-becslő modell tesztelése és alkalmazása magyarországi adatsorokon. TDK dolgozat. XXVII. OTDK FiFöMa Szekció, ELTE TTK, Budapest.
- Várallyay, Gy., Szucs, L., Murányi, A., Rajkai, K., Zilahy, P., 1980: Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe II. *Agrokémia és Talajtan* 29, 35-76.

Szinyei Dalma és Vincze Csilla
V. éves meteorológus szakos
hallgatók, ELTE TTK

KITÜNTETÉS

A Debreceni Egyetem Természettudományi Kari Tanácsa Dr. Justyák Jánosnak a Meteorológiai Tanszék professzor emeritusának, az MTA Doktorának a Karon kifejtett több évtizedes eredményes nevelő, oktató és kutató munkájáért a Gyémánt Katedra díjat adományozta. A díj átadására a TTK tanévnyitó ünnepségen került sor.

AZ ELŐREJELZÉS FOGALMÁRÓL ÉS AZ ELŐREJELEZHETŐSÉGRŐL

Vannak szavak, fogalmak, amelyekkel naponta találkozunk, talán éppen ezért természetesnek tarjuk, hogy mindenki ugyanazt érti alattuk, tehát nem is kell definiálni. Ilyen szó az *előrejelzés*. Vannak hidrológiai előrejelzések, főleg akkor, amikor valamelyik folyón ár-hullám vonul végig, vannak politikai előrejelzések, például választások előtt, vannak népesedési előrejelzések, gazdasági előrejelzések és végül vannak meteorológiai előrejelzések, de lehetnek még más, ritkábban előforduló előrejelzések is. Ezek hallatán mindenki ugyanarra gondol, és nem jut eszébe azon töprengeni: *mit nevezünk előrejelzésnek?*

Ha azonban válaszolnunk kellene erre a kérdésre, zavarba jönnénk. Az bizonyos, hogy *az előrejelzés valamit állít, ami a jövőben fog megtörténni*. De a MÁV évente készíti vasúti menetrendet, ami általában egy évre előre jelzi, hogy honnan hova mikor indul vonat, vagy mikor érkezik. A MÁV menetrendet mégsem tartjuk előrejelzésnek. Előfordul, hogy a hatóság bejelenti, hogy valamelyik hidat javítás miatt egy adott időben lezárják, s a forgalmat más útvonalra terelik. Ezt az illetékes hatóság eldönti, és előre bejelenti, ezért nem állíthatjuk, hogy előrejelzés. A csillagászk napra, órára, percre kiszámítják, hogy mikor lesz napfogyatkozás, sőt azt is kiszámítják, hogy hol lesz teljes, hol lesz részleges a napfogyatkozás. A napfogyatkozás évét és napját már az ókori csillagászok közül is néhányan ki tudták előre számítani. Nevezhetnénk előrejelzésnek, de mégis tudjuk, hogy itt valami előre determinált eseményről van szó, amihez csak egy megbízható számítási módszert kell ismerni, és az esemény időpontja előre kiszámítható. Ugyanígy a

naprendszer bolygóinak égi koordináták szerinti elhelyezkedését is egész évre kiszámítják és közlik, például a Csillagászati Évkönyvekben. Ezek mind jövőre vonatkozó állítások. Mégsem nevezük előrejelzéseknek.

Vannak azonban sok tényező, bonyolult események, amelyek kimenetele kisebb-nagyobb mértékben bizonytalan. Ilyenek a társadalmi változások, de egyes természeti jelenségek is. Ide tartoznak az időjárás események, a légkör állapotváltozásai is. Ezen jelenségek jövőjéről állítani valamit kockázatos, az állítás megbízhatósága bizonytalan. Ezt a *bizonytalanságot* egy egyszerű példán jól megérthetjük. Keresünk választ arra a kérdésre, hogy jövő év december havi középhőmérséklete hogyan alakul Budapesten, és határoljuk be ezt a hőmérsékletet egy- fokos intervallumba. Budapesten 1780 óta végzett műszeres mérések szerint a legalacsonyabb decemberi középhőmérséklet -10 fok (1879), legmagasabb érték +5,6 fok (1825) volt (Réthly A. 1947). A kérdésünkre tehát 16 féle választ adhatunk, hiszen éghajlati ismereteink szerint a december havi középhőmérséklet Budapesten 16 egy-fokos intervallumban fordulhat elő. Ha mind a 16 válasznak egyenlő valószínűsége volna, akkor a bizonytalanságunk pontosan 4 bit lenne, ami azt jelenti, hogy négy „felező” kérdésre adott „igen – nem” válasszal eljuthatnánk a pontos válaszhoz. A valóságban az egyes hőmérsékleti érték-közök valószínűségei nagyon különböznek, ezért a bizonytalanság valamivel kisebb 4-nél, a Shannon-entrópiával számolva 3,3 bit. Ahhoz, hogy ezt a bizonytalanságot ki tudjuk számolni, jól definiált kérdésre van szükség: 1. pontosan mit szeretnénk tudni az időjárásról (egy-fo-

kos érték-közben a havi középhőmérsékletet); 2. mely időpontra (jövő év december); 3. hol (Budapest). Ismernünk kell továbbá az adott kérdésre adható válaszokat és az egyes válaszok valószínűségét. Ekkor a Shannon-entrópia a következő formában felírható:

$$S(Q/X) = 1/\log 2 \sum p_i \cdot \log 1/p_i,$$

ahol Q egy jól definiált kérdés, X a kérdésről szerzett korábbi ismereteink, p_i az i-dik válasz valószínűsége, S a Shannon-entrópia bitekben kifejezve.

Itt találkozunk a bizonytalanság mérésével. Ha a jövőre vonatkozó kérdésünk nem jól definiált, inkább csak általánosságokra vonatkozik, akkor is lehet a választ illetően bizonytalanság, csak nem tudjuk kiszámítani a mértékét. *Az előrejelzéstől azt várjuk, hogy a jövőt illető bizonytalanságunkat csökkentse*. Például kiszámíthatjuk, hogy az inercia-prognózisnak adott helyen és adott évszakban mekkora a várható hibája. (A gyakorlatban is előfordult, hogy egy szinoptikus gyakran az előző napi hőmérsékleteket „jelezte előre”). Ezeknek a „prognózisoknak” kiszámítható a várható hibája. Elvárjuk, hogy az előrejelző módszerrel készített előrejelzések hibája ennél kisebb legyen. De „előrejelezhetjük” az éghajlati normál értékeket, ekkor az éghajlati előrejelzéseink közepes hibája megközelíti a normáltól vett eltérések várható értékét. Elvárjuk, hogy a módszeres előrejelzéseink hibája kisebb legyen ennél.

A meteorológiai események *előrejelezhetőségének* vizsgálatakor újabb kérdés merül fel. Mit akarunk előrejelezni? Erre a kérdésre válaszolhatjuk azt, hogy *a légkör állapotának folyamatos változását* egy bizonyos jövőbeli idő-

pontra. De válaszolhatjuk azt is, hogy *egy hosszabb időszak, 5 vagy 10 nap, hónap, évszak átlagos hőmérsékletét vagy csapadék összegét egy adott helyre*, mert számunkra ennek van jelentősége, a folyamatos változásnak nincs. A kettő között lényeges különbség van az előrejelezhetőség szempontjából.

Számos kutató foglalkozott számos helyen az előrejelezhetőség kérdésével kezdve *E.N. Lorenz, J. Smagorinsky* nevével és a névsort nehéz lenne befejezni anélkül, hogy valakit ki ne hagynánk belőle. A magyarok közül megemlíthetjük *Pálvölgyi Tamást (Pálvölgyi, 2004)*, és itt is lehetne sorolni a kutatókat. Bár a személyek különbözőek, a probléma ugyanaz. Legtöbb kutató a légkör folyamatos állapotváltozásának előrejelzését tekinti előrejelzésnek.

Az USA-ban az 1960-as évek végén Joseph Smagorinsky vezetése alatt működő Geofizikai Folyadék-dinamikai Laboratóriumban (GFDL) készítettek két 15 napos globális előrejelzést egy adott rács-hálózatra azzal a céllal, hogy ezeket az előrejelzéseket összehasonlítsák a 15 nap alatt bekövetkezett valóságos légköri állapotokkal. A számítógép 5 perces időlépésekben végezte az előrejelzést, egy óras előrejelzésre tehát 12-szer kellett értéket kiszámítani a több ezer rácspontra; egy napra $12 \times 24 = 288$ -szor; 15 napra 4320-szor. A két kísérleti előrejelzés kiértékelése ugyancsak óriási munkát jelentett. Az eredmény: az egyik próba szerint kb. 8 napig volt elfogadható hibája az előrejelzésnek, a másik próba szerint még ennél is rövidebb ideig (*Smagorinsky, 1967*).

Európában 1978-79-ben alakult meg az Európai Középtávú Időjárás-előrejelző Központ (ECMWF), induláskor 15 ország, később további országok közreműködésével. Helyét Angliában, Readingben jelölték ki, ahol az egyetemen meteorológusképzés is folyik, így együtt tudnak dolgozni az egyetem meteo-

rológiai tanszékével. Először 10 napos előrejelzések készítésével foglalkoztak a GFDL-éhez hasonló módszerrel, és tanulva Smagorinskyék tapasztalatából, nem is tervezték hosszabb távra kiterjeszteni a prognózisokat. A módszerek állandó továbbfejlesztésével később lehetőség nyílt az előrejelzések tartamának meghosszabbítására.

A numerikus prevízió, a szám-szerű előrejelzés többnyire a légköri történések folyamatos előrejelzését célozza meg. Az egyik problémája az, hogy a térbeli felbontása száz km-ekben mérhető, bár finomabb felbontással is kísérleteznek, de a helyi jelenségekig nem tudnak eljutni. Ilyen kistérségű jelenség például a vízgőz kondenzációja, ködképződés, felhőképződés vagy a felhőcseppecskék növekedése, helyi záporok kialakulása, a szélesség rövididejű változásai, a hirtelen felerősödő szél maximumának előrejelzése. *Hogy a vízgőz kondenzációja milyen nüansznyi különbségeken múlik arra jó példa, amikor hűvös éjszakák után a szabadban parkoló autók egyik oldalán sűrű harmat, esetleg zúzmara borítja, a másik oldal teljesen száraz, a két oldal között alig másfél méter távolság van.* Az egyik legnehezebb feladat a meteorológia számára a felhőzet és a csapadék előrejelzése. Hasonlóan nehéz a köd lokális előrejelzése.

A számszerű előrejelzés másik problémája a légköri változások nemlineáris volta, ennek eredményeképpen lehetetlen hosszabb időre pontosan kiszámítani a légkör állapotváltozásait. A meteorológiai adatsorok vizsgálatokor megkülönböztetik a véletlenszerű rendszeretlen változásokat – amelyeket *zajoknak* neveznek – a nagytehetetlenségű, lassú változásoktól, amelyeket gyakran *hasznos jelekként* kezelnek. Ilyen hasznos jel például a mérsékelt és magas szélességeken a hőmérséklet évszakai ingadozása, de lehet a tengeráramlás lassú változása is, amely ugyancsak a

hőmérséklet lassú, több évtizedes változását vonja maga után. Lassú folyamat ezen kívül a hó- és jégtakaró elolvadása, amennyiben nagy térségre terjedt ki és szokatlanul nagy vastagságot ért el. Az olvadás és az olvadt hóból származó víz elpárologtatása a szárazföldeken sok hőt von el a légkörből, tehát hűtő hatása van, amely hosszabb időre hőmérséklet csökkenést okoz. A lassú változások közé tartozik a napsugárzás évtizedes, évszázados ingadozása is; ilyen volt például az 1500 körüli *Spörer-* illetve az 1600-1700-as években jelentkező *Maunder-minimum*. Ezekben az években gyengült a naptevékenység, csökkent a napsugárzás, és egyes kutatók ezt összefüggésbe hozzák az úgynevezett „kis jégkorszak” kialakulásával. Erősíteni látszik a föltételezést, hogy 1000 és 1200 között a naptevékenység intenzív szakasza egybeesett az ún. „középkori maximummal”, vagyis egy melegebb időszakkal.

Nagy jelentősége van a Föld-légkör rendszer albedójának, sugárzás-visszaverő képességének. Ha egy százalékkal nő az albedó, akkor a Föld egyensúlyi hőmérséklete egy fokkal csökken és fordítva, ha csökken az albedó, növekszik az egyensúlyi hőmérséklet, persze föltéve, hogy minden más tényező állandó marad.

A hosszabb távra, például egy hónapra vagy évszakra szóló előrejelzés sikere függ attól, hogy mekkora a „hasznos jel”/”zaj” aránya. A lassú változások előrejelezhetősége hasonlít ahhoz, amit a zene vagy beszédközvetítéskor ugyancsak a jel/zaj aránnyal mérnek. Találkozunk olyan előírással, hogy élvezhető egy hangfelvétel hallgatása, ha a jel/zaj arány legalább 15-szörös, tehát a készülék sístergése, recsegése alig észrevehető a közvetített hang erősségéhez képest. A széles körben elterjedt „bécsi” vagy „nyíregyházi” előrejelzés népszerűségét annak köszönheti, hogy a nagytehetetlenségű évszakai válto-

zásokra épült. Télen fagypontra körüli vagy alatti, nyáron 20 fok fölötti hőmérsékleteket „jelzett előre”, nyáron zivatarokat, télen hóesést jövendölt, ami nagyjából be is következett, a pár napos lehűlések vagy melegek váltakozásai pedig zajok, tehát időpontjukra „nem kell szigorúan odafigyelni”.

A Budapesten mért napi középhőmérsékletek sorára egyes évekre végzett számítások szerint a sokévi átlagok évi menete a napi értékek teljes varianciájának 75–83%-át megmagyarázza (Hunkár és Koppány, 1979). Az évi menet által megmagyarázott variancia a légnyomásra és a felhőzetre már korántsem ennyire biztató, sőt egyes években akár negatív is lehet, ami azt jelenti, hogy a normális évi menettel többé-kevésbé ellentétesen alakul. Ilyenkor a jel/zaj arány lehet akár egynél kisebb, a bizonytalanság a prognózisok után nagyobb, mint akkor, ha csak éghajlati ismeretekkel rendelkezünk. Lényegesen javítható ezekre az elemekre számított megmagyarázott variancia, ha 3-20 napos természetes időjárási periódusok átlagát és nem az évszakos átlagokat tekintjük jelnek.

Megállapíthatjuk tehát, hogy a légkör állapotváltozásait csak korlátozott időre, néhány napra vagy egy-két hétre tudjuk tőrhető hibával előrejelezni. Hosszabb időre, hónapokra vagy évszakokra legfeljebb átlagokat vagy tendenciákat lehet

korlátozott pontossággal prognosztizálni. A „korlátozott pontosság” azonban homályos fogalom. Éppen ezért az USA-ban a közép- és hosszútávú prognózisokban meghatározott éghajlati valószínűségű kategóriákat használnak. Például a csapadék mennyiségét három 1/3-1/3 valószínűségű kategóriában jelzik előre; az alsó terciliszt „kevés”, a középső terciliszt „mérsékelt”, a felső terciliszt „sok” csapadék elnevezéssel jelzik. A hőmérsékleti átlagot 1/4 illetve 1/8 valószínűségű kategóriákban adják meg, „erősen normál alatt”, „normál alatt”, „normál körül”, „normál fölött”, „erősen normál fölött” elnevezéssel. A két szélső kategória éghajlati valószínűsége 1/8, a három középsőé 1/4. Természetesen ehhez ki kell számítani valamennyi érintett régióra a csapadék terciliszteit és a hőmérséklet kvartiliszteit illetve oktiliszteit. Előnye viszont, hogy pontosan kiszámítható az éghajlati ismereteken alapuló bizonytalanság, hiszen adva vannak az egyes lehetőségek valószínűségei, és kellő számú prognózis esetén a prognózisok utáni bizonytalanság.

Az éghajlati valószínűségi kategóriákban történő előrejelzések, amelyek meghatározott helyre vonatkoznak „jól definiált kérdésekre” adnak választ, ezért kiszámítható a prognózisok utáni információ nyereség. Kiszámítható az éghajlati valószínűségi ismeretében fennál-

ló bizonytalanság: $S(Q/X)$ és a prognózisok utáni bizonytalanság a prognózisok hibáinak valószínűségei alapján: S' (Koppány, 1986). Az információ nyereség ekkor:

$$I = S - S'$$

Elvárjuk, hogy $I > 0$ legyen, vagyis a prognózisok utáni bizonytalanság csökkenjen.

Nem várjuk el, hogy valamennyi olvasónk megértse a Shannon-entrópia itt említett változatainak kiszámítási módját, ez a verifikációt végző szakemberek dolga, de meteorológusoknak és a meteorológiai előrejelzések felhasználóinak is meg kell elégedni azzal, hogy a tudomány nem tehet többet, mint azt, hogy törekszik a jövőt illető bizonytalanság csökkentésére.

Dr. Koppány György

Irodalom

- Hunkár M. és Koppány Gy., 1979: Meteorológiai adatsorok varianciája. Időjárás, 83. 121-127.o.
- Koppány Gy., 1986: Az időjárás hosszabbtartamú előrejelzése. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Pálvölgyi T., 2004: A globális éghajlatváltozás kilátásai. Természet Világa, 135. II. Különkiadás. 13-18.o.
- Réthly A., 1947: Budapest éghajlata. Reuma és Fürdőkutató Intézet kiadványa.
- Smagorinsky, J., 1967 (Szóbeli közlés).

* * *

Az Európai Meteorológiai Társaság (EMS) 8. közgyűlése Ljubljanában

A szokásokhoz híven, az Európai Alkalmazott Klimatológiai Konferenciát (ECAC) az EMS közgyűlés előzte meg 2006. szeptember 3-án délután, a Szlovén Környezetvédelmi Hivatalban. Az ülés csak egy délután tartott, de fontos döntések születtek. Új tagként felvették az Andorrai Meteorológiai Társaságot, társult tagként pedig a spanyol, a román és a finn meteorológiai intézetet (az OMSZ már asszociatív tag). Így összesen 34

Társaság 27 európai országból tagja az EMS-nek, továbbá 26 társult tagja is van. A tagsági díj emelését is elhatározták, mivel az elmúlt 7 év alatt a tagdíj 1 EUR/fő volt stabilan, míg az infláció mintegy 13 %-ot tett ki. A növekedés értékét nem szám szerint adták meg, hanem az európai inflációs rátához kötötték (Eurostat jelentés). Érdemes kiemelni a Támogatásokról Döntő Bizottság jelentését. Az EMS viszonylag kis költségvetése el-

lenére egy év alatt (2005. szeptember – 2006. augusztus) összesen 5600 eurót osztottak szét utazási támogatásokra, illetve díjakra. Ezzel a lehetőséggel érdemes élni a konferenciák magyar résztvevőinek is.

A következő összefoglaló az Európai Alkalmazott Meteorológiai Konferenciához kötődően rendezik meg El Escorialban, Spanyolországban.

Szalai Sándor

PUSZTÍTÓ ZIVATARLÁNCOK

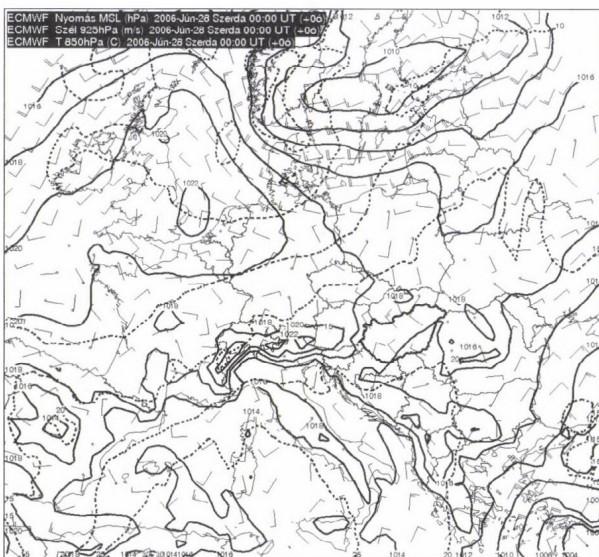
2006. június 29-én

Bevezetés

2006. június 29-én északnyugat felől hatalmas vihar söpört végig az országon. A délelőtti órákban a Dunántúlon, majd délutántól az ország többi részén is orkán erejű szél, felhőszakadás, sokfelé pusztító jégeső kísérte a zivatarvonal átvonulását. Alig hagyta el az országot a vihar, délnyugatról újabb hatalmas zivatarfelhők keletkeztek és az esti órákban egy második zivatar rendszer tört rá a Dunántúltra, elsősorban a Balatonnál okozva ismét 100 km/ó-t meghaladó szelet. A zivatar sorozatnak azonban ezzel még mindig nem volt vége: másnap hajnalban újabb rendszer alakult ki és bár az előző kettőnél jóval gyengébb volt, de átvonulását így is sokfelé kísérték felhőszakadások és viharos szelek. A károk mindenfelé tetemesek voltak: utakra és vasutakra dőlt fák, leszakadt felső vezetékek, hirtelen megáradt és kiöntött patakok illetve a jég által szétvert kertek és földek kísérték a rendszer útját. Becslések szerint a károk milliárdosok voltak. Ebben az írásban a vihar kialakulásának és áthaladásának meteorológiai hátterét mutatjuk be.

A meteorológiai előzmények

Meglehetősen ritka az, hogy 24 órán belül két heves zivatarlanc is áthaladjon a Kárpát-medencén. Az ilyen jelenségek általában az ún. prefrontális instabilitási vonalakhoz kötődnek, amikor a front előtt heves zivatarok alakulnak ki, majd később a front átvonulásával

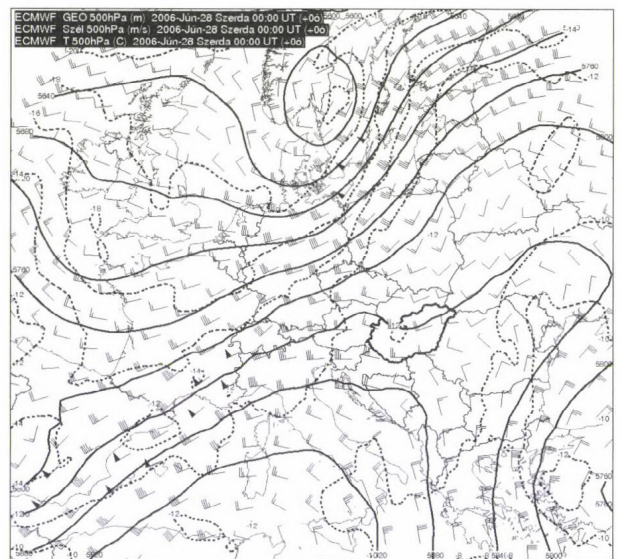


1. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 28-án 00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján a tengerszintű légnyomás (2 hPa sűrűséggel), a 850 hPa szintű hőmérséklet és a 925 hPa szintű szélmeztét segítségével ábrázolva.

a front mentén ismét kialakulhatnak zivatarok. A 2006. június 29-i esemény azonban nem ilyen klasszikus eset volt.

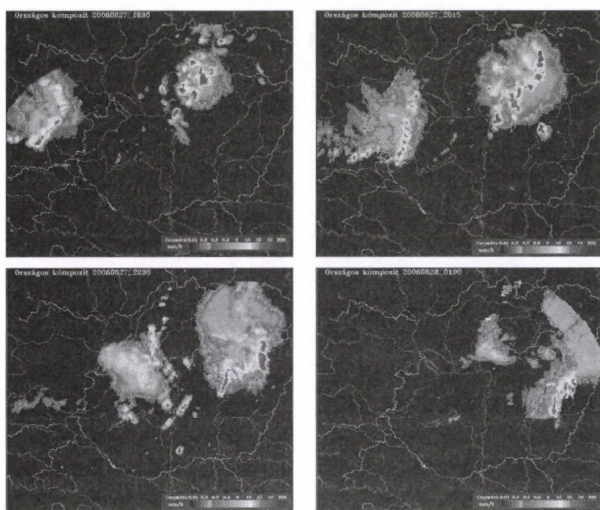
A nagyterségű folyamatok szempontjából tekintve tőlünk nyugati irányban egy több napja veszteglő hidegfront helyezkedett el. A front két oldalán a 850 hPa-os nyomás felületen mintegy 10 fok hőmérséklet különbség alakult ki 24 órával a vihar kitörése előtt (1. ábra).

A középső troposzférában ugyanebben az időben az 500 hPa-os szinten (2. ábra) ugyancsak jelentős volt a hőmérséklet különbség, és a hazánk fölött mérsékelt hideg beáramlás is kialakult, növelve a Kárpát-medencében lévő légtömegek labilitását.



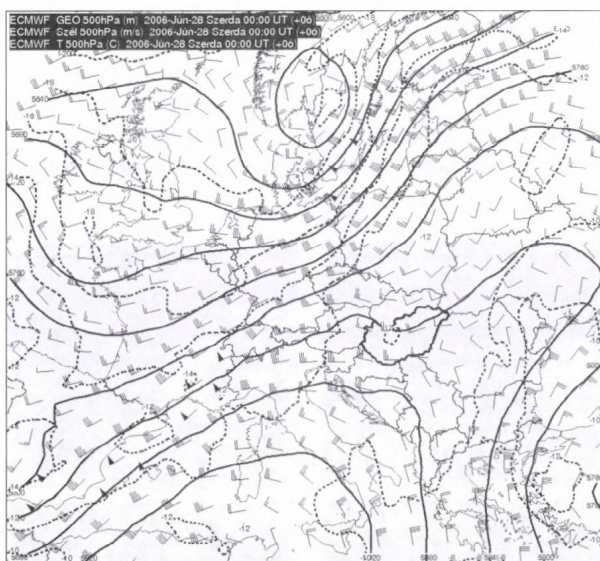
2. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 28-án 00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján az 500 hPa magasság (40 m sűrűséggel), az 500 hPa szintű hőmérséklet és a 500 hPa szintű szélmeztét segítségével ábrázolva.

Érdeemes észrevenni, hogy bár a front termikusan minden szinten éles volt, azonban mind a felszínen, mind nagyobb magasságokban dinamikusan meglehetősen inaktívnak tűnt, azaz nem alakultak ki nagy nyomás különbségek, illetve térségünkben a szélmeztétben sem található szignifikáns erősödés vagy jet stream. A rendkívül nagy labilitás, illetve a dinamikai rendezettség hiánya miatt a vizsgált eset megelőzően már több napja kialakultak rendkívül heves zivatarok, amelyek főleg a front mentén jöttek létre és messze betörték a meleg szektorba. Ilyen „figyelmeztetés” volt a június 27–28 éjszakáján betörő zivatarlanc is (3. ábra). A rendkívül száraz és forró Dunántúltra besodródó zivatarok gyorsan kiszáradtak, míg a nagyobb nedvességű északi és északkeleti országrészekben az erős zivatarok tovább fennmaradtak.



3. ábra. Radarral mért csapadék intenzitás
(a) 2006.06.27, 18:30 (b) 2006.06.27, 20:15 (c) 2006.06.27, 22:30
(d) 2006.06.28.01:00 UTC-kor.

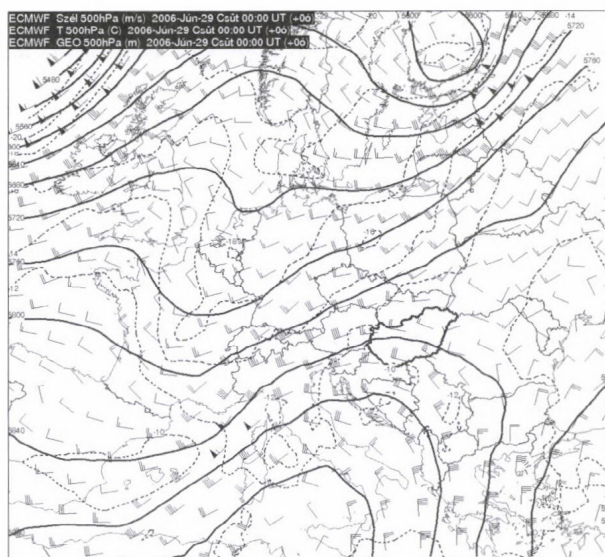
Még labilisabbá vált a helyzet a vihart megelőző hajnalra, amikor a talajközelen a front még jobban megközelítette az országot és dinamikusabban továbbra is meglehetősen inaktív maradt (4. ábra).



4. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 29-én 00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján a tengerszintű légnyomás (2 hPa sűrűséggel), a 850 hPa szintű hőmérséklet és a 925 hPa szintű szélmező segítségével ábrázolva.

Ugyanakkor az 500 hPa-os szinten egyértelmű hidegadvекció figyelhető meg, fokozatosan erősödő széllel növelve a konvektív instabilitás valamennyi formáját (5. ábra).

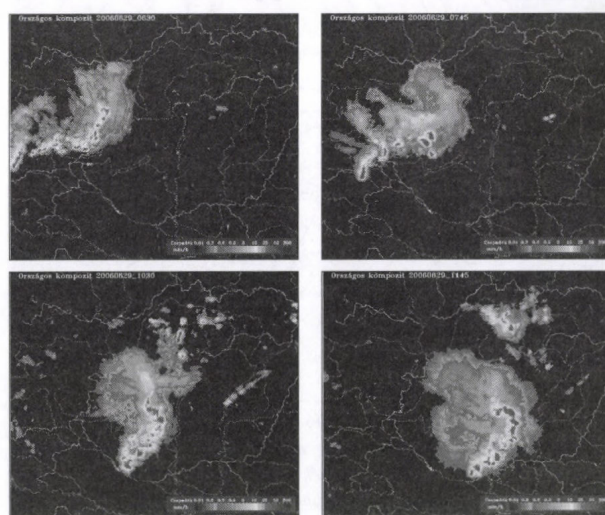
A nagy vihar előestéjén még egy „utolsó figyelmeztetést” adott a léggör. 28-án az esti órákban ismét nyugati irányból megjelent egy zivatargóc, azonban a Dunántúl fölé érve rövidesen szétesett. Feltűnő volt, hogy ezt követően a vihart megelőző éjszaka – több nap óta először – nem voltak zivatarkok az országban.



5. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 29-án 00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján az 500 hPa magasság (40 m sűrűséggel), az 500 hPa szintű hőmérséklet és a 500 hPa szintű szélmező segítségével ábrázolva.

Az északnyugati zivatarlánc

2006. június 29-én a kora reggeli órákban a radarméréseken már megjelentek az északnyugatról jövő zivatarlánc cellái. Maga a zivatarrendszer már előző nap kialakult a közeledő hidegfront mentén és az időjárási térképek alapján úgy tűnt, hogy maga a front közeledik az országhatárhoz. A zivatarkok azonban jóval gyorsabban mozogtak mint a front, így rövidesen láthatóvá vált, hogy egy újabb, de a korábbiaknál jóval erősebb instabilitási vonalról van szó (6. ábra). A rendszert rendkívül erős villámlás is kísérte, óránként több tízezer felhőfelhő villámot számolt a villám detektor. A rendszer 06 UTC-kor érte el a nyugati országhatárt. Az első hullám a Balatontól északra vonult el és kissé legyengült, azon-

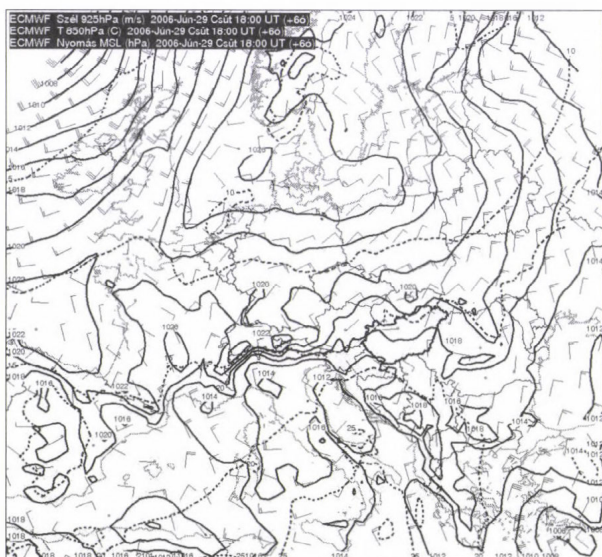


6. ábra. Radarral mért csapadék intenzitás (a) 2006.06.29, 06:30
(b) 2006.06.29, 07:45 (c) 2006.06.29, 10:30
(d) 2006.06.29, 11:45 UTC-kor.

ban a második hullám annál jobban felerősödvé csapott le a Balatonra. A legerősebb szellőkést Balatonaligán mérték, 32 m/s-t. A vízre lecsapó orkánerejű szél létrehozta a vízfüggönyt, azaz a tó felett kialakuló 10-20 m magas vízceppekkel teli szinte átlátszatlan réteget. Bár a viharjelzés egy órával a vihar előtt kiadásra került, mégis maradtak a vízen vitorlás hajók amelyek jelentős sérüléseket szenvedtek, illetve a partra vetette őket a víz. A Balaton keleti medencéjében különösen erős cellák jöttek létre amelyek zivataros kifutószél frontja látványos arcus felhőket hozott létre. A zivatarvonal áthaladását esti sötétség kísérte. A Siófoktól kissé délre átvonuló legerősebb cellából 12:30 UTC körül dió nagyságú jég hullott letarolva a kerteket, termőföldeket. A rendszer a Kiskunságon is nagyon erős volt, majd a Tisza vonalát átlépve kezdett gyengülni.

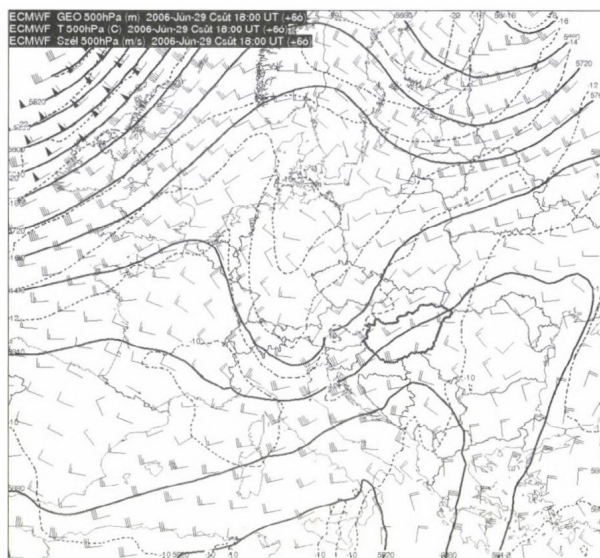
A délnyugati zivatarlánc

Az első zivatarlánc gyors mozgásánál fogva elszakadt a hidegfronttól, illetve a mögötte felépülő mező skálájú zivataros magasnyomás még kissé vissza is vethette a frontot és az alsó szintekben még átmenetileg vissza tudott melegedni a levegő, illetve az eddig rendkívül száraz planetáris határreteg benedvesedett. Az alacsony szinteken tőlünk délnyugatra ismét felmelegedett a levegő (7. ábra), míg az 500 hPa-os szinten kimélyülő teknő ezúttal délnyugatról biztosította a hidegadvekciót illetve az erősödő magassági szelet (8. ábra) ismét megnövelve az instabilitást, illetve biztosítva a feltételt egy klasszikus délnyugati instabilitási vonal kialakulásához.



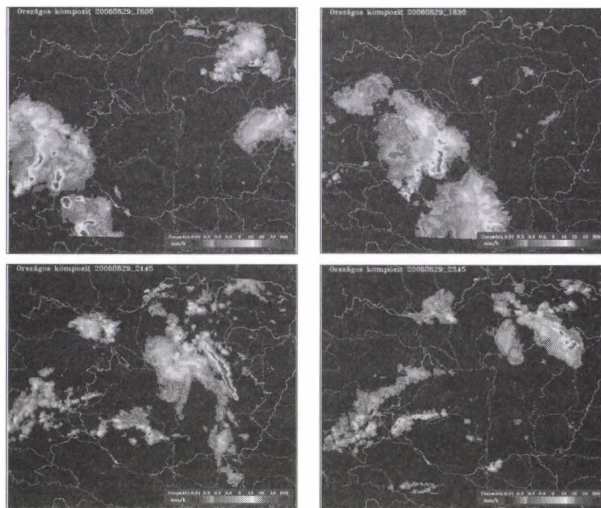
7. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 29-én 18 UTC-kor az ECMWF analízise alapján a tengerszinti légnyomás (2.5 hPa sűrűséggel), a 850 hPa szintű hőmérséklet és a 925 hPa szintű szélmező alapján.

A délnyugati zivatarlánc késő délutánra már megközelítette az országhatárt és nagy sebességgel vonult dél-



8. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 29-én 18 UTC-kor az ECMWF analízise alapján az 500 hPa magasság (40 m sűrűséggel), az 500 hPa szintű hőmérséklet és a 500 hPa szintű szélmező alapján.

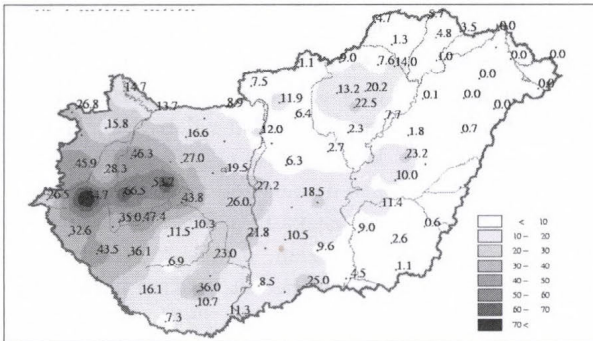
nyugatról északkeleti irányba (9. ábra). A Balatont már sötétedéskor érte el, ismételten 100 km/6 körüli szellőkéseket okozva. A Balatontól keletre a zivatarcellák reflektivitása valamelyest csökkent azonban így is több fele okoztak jelentős mennyiségű csapadékot. Az északkeleti országrészhez közeledve még egyszer éles vonalas szerkezet alakult ki, majd valamivel gyengébb intenzitással elhagyta az országot.



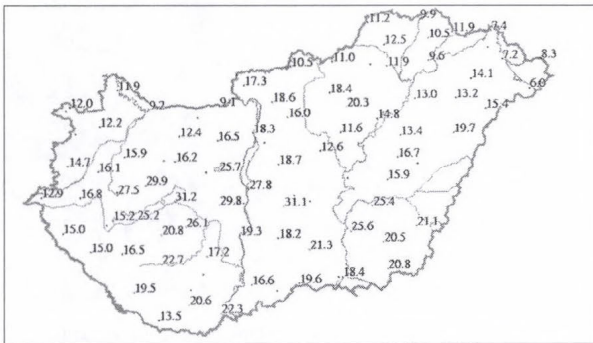
9. ábra. Radarral mért csapadék intenzitás (a) 2006.06.29. 16:00 (b) 2006.06.29. 18:30 (c) 2006.06.29. 21:45 (d) 2006.06.29. 23:45 UTC-kor.

A rendkívül aktív zivataros periódus záró akkordjaként a lassan mozgó hidegfront is elérte az országot. A front mentén az előzőknél jóval gyengébb de még így is jelentős csapadékot adó zivatarok alakultak ki amelyek mögött végül stabilizálódott a levegő.

A 2006. június 29-i zivatarok mérlege: helyenként hatalmas mennyiségű csapadék (10. ábra) és a velük járó lokális árvizek, az országszerte pusztító orkánerejű szél (11. ábra) és egy-egy körzetet letaroló jégeső.



10. ábra. 2006.06.30. 06 UTC-ig lehullott 24 óras csapadékösszeg



11. ábra. 2006.06.29-én mért legerősebb szellőkések

Összefoglalás

A fentiekben leírt viharok több tanulsága is van. Szinoptikai szempontból érdemes megfigyelni, hogy a zivatarok valamilyen módon a közelben levő hidegfrontokhoz kötődtek, legtöbbször azok mentén alakultak ki. Mivel a front termikusan fejlett volt, dinamikus azonban inaktív, így a zivatarláncok, zivatargócok mozgását a nagytérségű folyamatok nem befolyásolták jelentősebben, azok a saját csapadék hűtötte magasnyomású rendszereik által tolva behatoltak a melegszektorba, messze a front elé. A numerikus modellek nyilvánvalóan nehezen tudták kezelni az ilyen, alapvetően lokális skálájú folyamatokat. Az első (északnyugati) zivatarláncot nem is jelezték előre. A második (délnyugati) rendszer illetve a hidegfront előrejelzése már sikeresebb volt, azt bizonyítva, hogy az utóbbi kettő inkább a nagytérségű folyamatok által meghatározott jelenség volt.

Végül ki kell emelni a meteorológiai riasztások főként a Balatoni Viharjelzés jelentőségét. Azzal hogy a viharjelző szinoptikus jó előre felismerte a jelenség veszélyességét és minden érintett szervezetnek, hatóságoknak nyomtatékosan elküldte a riasztásokat, életeket mentett meg. Ez a legtöbb, amit a meteorológia az emberekért tehet.

Horváth Ákos

KISLEXIKON

[Cikkeinkben csillag jelzi azokat a kifejezéseket, amelyek a kislexikonban szerepelnek]

Sztóma vezetőképeség

Hidy Dóra et al: Gyepék szén-dioxid forgalmának modellezése

A sztóma két zárósejtvel körülvett nyílás a levélen, melyen keresztül a vízgőz, illetve a szén-dioxid diffúziója végbemegy. A levélen való elhelyezkedésük és számuk nagyon változó.

A növényi levelek többféleképpen respirálnak (respiráció = légzés – CO₂ és vízgőz áramlása a növényi test és környezete között). A gázcsera nagy része a sztómákon keresztül bonyolódik (a maradék csekély hányad (csupán 1–5%) a növényi levelek viaszos rétegén, az ún. kutikulán keresztül, a gázok átpréselődésével történik). A sztómák, azaz a gázcsere nyílások a leveleken szétszórva találhatók, feladatuk a növényen kívül és belül lévő víz szabályozása – kinyitják vagy elzárják a nyílást a növény vízigényétől és a megváltozó környezeti hatásoktól függően.

A sztóma vezetőképesége azt jelenti, hogy egységnyi idő alatt a nyílás keresztmetszetén mekkora mennyiségű gáz tud átáramlani. Azaz a növényi levelek gázvezető

képessége egyenesen arányos a respirációjuk intenzitásával, így a sztóma vezetőképesége erősen befolyásolja a növényi produktivitást, és ezen keresztül az ökológiai rendszerek szénháztartását.

GPS (Global Positioning System)

Unger J. és társai: A városi felszín és a hősziget kapcsolata Szegeden

Olyan földi helymeghatározó rendszer, amely 24 mesterséges hold órajelei alapján, háromszögelési eljárással adja meg a földrajzi szélesség, hosszúság, valamint a tengerszint feletti magasság értékét.

adatasszimiláció

Balogh M.: Repülőgépes mérések felhasználása...

A különböző meteorológiai megfigyelőrendszerek eltérő módszerrel, térben és időben szórványosan végzett méréseinek átdolgozása olyan egységes, konzisztens rendszerbe, amelyből mint kiinduló adatbázisból a legjobb előrejelzés készíthető.

Folytatás a 36. oldalon

A szinoptikus helyzetek és a felszín közeli légkör stabilitási viszonyainak párhuzamos elemzése

Bevezetés

A felszín közeli turbulenciát a felszíni karakterisztikák (pl. albedo, érdeség, sztómavezetés, a talaj fizikai félesége, levélfelületi index) és a felszín közeli légkör állapota határozza meg. A *Légkör* hasábjain a felszíni karakterisztikáknak az átviteli folyamatokra gyakorolt hatásairól több cikkben is értekeztünk. *Cúc és Ács (1999)* tanulmányában a labilis rétegződés modellezésével kapcsolatos iteratív eljárás alkalmazhatóságáról kaptunk betekintést. A stabilis rétegződésre vonatkozó hasonló vizsgálat tanulságai *Hágel és Ács (2003)* tanulmányában vannak bemutatva. *Ács és Lőke (2001)*, *Márfy és Ács (2002)* valamint *Ács és mtsai (2005)* a talaj fizikai féleségének az átviteli folyamatokra gyakorolt hatását elemezték. *Ács és Drucza (2003)* a felszín típusok és a felszín vízellátottságának a meghatározó szerepére utaltak. E vizsgálatok nem foglalkoztak a felszín közeli légkör állapotának a turbulenciára, a légköri rétegződésre kifejtett hatásaival.

E tanulmányban a turbulenciával, a légköri rétegződéssel kapcsolatos témakört e 'légköri' szempontból fogjuk megközelíteni úgy, hogy nem fedledkezünk meg a szinoptikus skálájú folyamatokról sem. Ugyanis a makroskálájú örvények, melyek meghatározzák időjárásunkat, *Richardson (1922)* kaszkadikus elve* alapján meghatározzák a felszín közeli légkör állapotát is. Ezen állapot viszont meghatározó a felszín közeli turbulencia és rétegződési viszonyokra. Eddigi tanulmányaink az 'alulról-felfelé' irányuló hatást, e tanulmányunk viszont a 'felülről-lefelé' irányuló hatást szemlélteti és vizsgálja. A hatást a Monin-Obukhov-féle hosszának (*Monin és Obukhov, 1954*) azaz az L_{mon} kulcsparaméternek – ami a felszín közeli légkör rétegződésének típusát és intenzitását jellemzi – és az

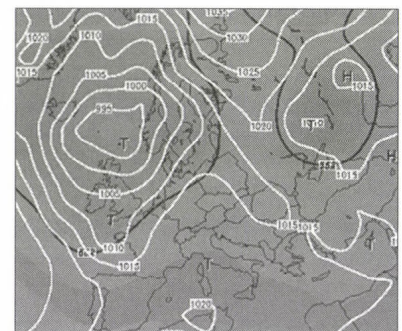
időjárási helyzetkép változásainak párhuzamos elemzésével vizsgáljuk.

Az elemzést a braunschweigi (Németország) szinoptikus meteorológiai állomás 6 napos (1992. április 28.-tól 1992. május 3.-ig) és 15 perces időléptékű adatsorán végeztük. Az adatsort, azaz a légköri határfeltételeket a léghőmérséklet, a párányomás, a szélesebség, a globálisugárzás, a légköri visszasugárzás és a csapadék mért értékei alkotják. Az adott térség és időszak időjárását meghatározó légköri képződményeit (ciklonok, anticiklonok, frontok stb.) a weboldalon megtalálható archív térképek (NCEP reanalízisek) alapján mutatjuk be és elemezzük. E tanulmányban a felszíni karakterisztikák a következők: csupasz talaj a felszín típusa, a felszín pedig száraz és sima. Az elemzést mindegyik napra külön-külön elvégezzük. A legvégén összegezzük eredményeinket más eredmények ismerete alapján is, majd a lehetséges alkalmazásokról is szót ejtünk.

A szinoptikus helyzetek, az észlelt adatok és a légköri rétegződés kapcsolatrendszerének elemzése

Április 28.: Ezen a napon a térség egy Skandinávia közelében örvénylő ciklon előoldalán, illetve egy magasnyomású gerinc hátoldalán (*1a. ábra*) helyezkedett el. Ez az áramlási rendszer enyhe levegőt sodort a térségbe, azonban a napsütést gyakran zavarták felhők, ez jól mutatkozik az adatsor globálisugárzás értékeiben. Csapadékot ezen a napon nem észleltek. A légmozgás általában gyengemérsékelt volt. Az éjszakai órákban az extrém stabilis értékek a jellemzők, a lehülés miatt. A késő esti órákban, az L_{mon} hirtelenszerű növekedését egy rövid, átmeneti szélerősödés okozhatta. Napközben változóan felhős idő lehetett, ezért stabilis és labi-

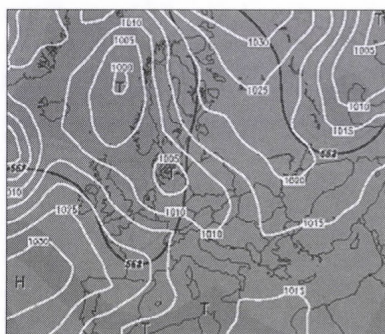
lis értékek egyaránt jelentkeztek, hiszen a besugárzás nagyon gyorsan és hirtelen változott. Amikor előbuktant a Nap a felhők közül, hirtelen megnövekedett a globálisugárzás értéke, ez az L_{mon} negatív értékű csúcsai-ban mutatkozott meg. Amikor felhőzet eltakarta a Napot, a besugárzás lecsökkent, az L_{mon} értékek pedig megnöttek, sőt, gyakran pozitív értékek lettek (*1b. ábra*).



1. ábra: április 28. a) Tengerszinti légnyomás értékek (fehér izobárok) illetve az 500 hPa-os légnyomás szint (fekete vonalak, illetve szürke árnyalatok) gpm-ben, UTC 0 órakor T =alacsony nyomás, H =magas nyomás
b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása április 28.-án

Április 29.-én a térség egy peremciklon területén helyezkedett el. (*2a. ábra*). Ez a peremciklon az 1. ábrán látható, Dél-Anglia felett lévő, hidegfront behullámozásából alakult ki. A behullámozást jelzi a lokális alacsony nyomás, illetve ciklonális görbület. Állomásunk felett e peremciklon gyenge hidegfrontja vonult át a kora reggeli órákban. Ezt jelzi a szélerősödés, a hőmérséklet-csökkenés, illetve

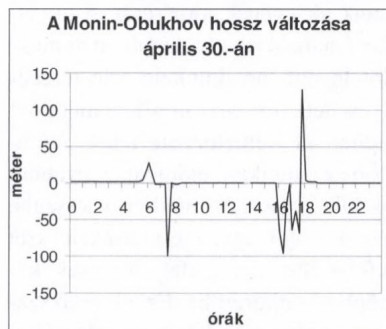
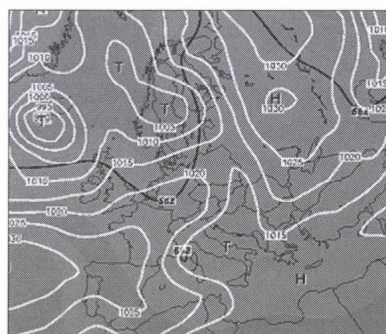
a relatív nedvesség hosszabb ideig tartó magas értéke, majd hirtelen csökkenése. A front felhőzetéből csapadék is hullott (összesen 0,4 mm). A front mögött hamar felszakadozott a felhőzet, de a felhőátvonulások gyakran zavarták a napsütést. Emiatt nagy időbeli változékonyságot mutatott mind a szél, mind a napsugárzás, mind a hőmérséklet. Ez az L_{mon} értékekben is megmutatkozott, melyek a nap folyamán rendkívül nagy ingadozást tanúsítottak. Sőt, amikor csapadék is volt (valószínűleg a front nem sokkal ezelőtt vonult át), neutrális volt a rétegződés. Ekkor igen nagy L_{mon} értékek is előfordultak ($L_{mon} \gg 800$ m), ezeket kiszűrtük. Emiatt reggel 8 óra körül szakad a görbe a 2b. ábrán. Ettől eltekintve az L_{mon} értékek többnyire negatívak maradtak a nappali órákban, viszont a front mögött is gyakran felhős volt az égbolt, ezért az L_{mon} értékek nagyon fluktuáltak. Érdekes, hogy ezen a napon ritka volt az erősen labilis helyzet. Estére a szél is gyengült, és kisebb volt a besugárzás is, ezért beállt a szokásos éjszakai, extrém stabilis rétegződés ($L_{mon} < +10$).



2. ábra: április 29. a) Magyarázat az 1. ábránál

b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása április 29.-én

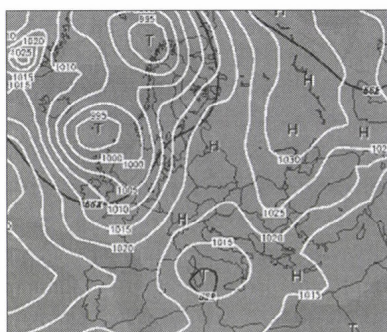
Április 30.-án a tegnapi peremciklon egyesült a Skandinávia felett örvénylő gyengülő ciklonnal és északabbra távozott, helyébe pedig az Atlanti-óceán felett elhelyezkedő anticiklon magasnyomású nyelve (gerince) nyúlt be. (3a. ábra) Az adatsor túlnyomórészt napos és igen kellemes tavaszi időről tanúskodik. A hajnali órákra erősen lehűlt a levegő, és mivel a szél is gyenge maradt, párassá vált a levegő, sőt köd is képződhetett. Azonban, ahogy kisütött a nap és melegedett a levegő, az szárazabbá vált, és a köd is feloszlott. Ezen a napon süthetett a Nap a legtöbbit. Csapadék nem volt és a légmozgás is gyengémszerű maradt. Az L_{mon} értékek a napkeltét követően rövid stabilis rétegződésre utalnak, de a nappali órákban végig negatívak. A kora délelőtti illetve a kora esti órákban feltűnő negatív értékek is jelentkeznek, míg a nappali órákban -1 körüli (tehát erős labilitás) értékek a tipikusak (3b. ábra). Naplemente után a labilitás csökken (nagyobb $|L_{mon}|$ értékek), sőt stabilissá vált a rétegződés, ami végül extrém stabilissá alakult az éjszakai órákban.



3. ábra: április 30. a) Magyarázat az 1. ábránál

b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása április 30.-án

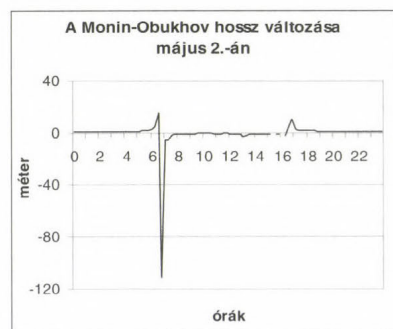
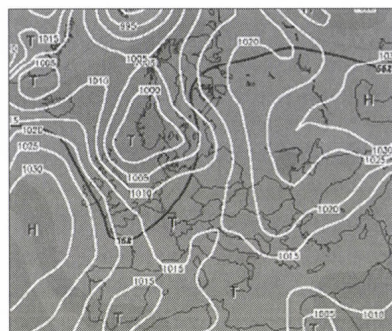
Május 1.-jén a térség egy Skandináviától nyugatra örvénylő ciklon áramlási rendszerébe került, a nappal első felében még a ciklon előoldalán volt az állomás (4a. ábra). Nagyon szépen kirajzolódnak az egymásalatti ciklonális görbületek az izobárokban a Brit-szigetek felett. Ez egy hidegfront, ami ezen a napon a délutáni órákban elérte Németországot és így állomásunkat is. Ezért a délelőtti folyamán még enyhe és többnyire napos az időjárás (ekkor az L_{mon} értékek többnyire negatívak). Ahogy a front és felhőzet elérte a térséget, megnövekedett a felhőzet, melyből délután 2 óra körül csapadékot észleltek. A csapadékhullás két órán keresztül tartott. Este hat körül azonban ismételt (körülbelül egy órás időtartalmú) csapadék hullott. Összesen 3,6 milliméter csapadékot regisztráltak. A front délután 4 óra körül vonult át, hirtelen változás jelentkezett a párányomásban, a relatív nedvességben, a hőmérsékletben és a szélben. Ennek oka egyértelmű, a frontok diszkontinuitási, „szakadási” felületek, ahol a meteorológiai elemek ugrásszerű változásokat szenvednek. A csapadékhullás átmenetileg telítette a levegőt. A front áthaladását rendkívül nagy L_{mon} értékek kísérték, azaz ilyenkor a rétegződés közömbös volt. Ilyenre már láttunk példát, április 29.-én a reggeli órákban. Mivel a front sokkal erősebb volt, mint a 29.-ei, az L_{mon} értékek növekedése sokkal szembetűnőbb. A Monin-Obukov hossz előjelét is érdemes vizsgálni. A kezdeti, front előtti időszakra jellemző negatív értékekről délután 1 óra körül hirtelen pozitívba vált, majd kis idő múlva újra negatív, majd délután 3-tól újra pozitív értékű lett és aznap már végig pozitív, azaz stabilis maradt. Ez érthető is, hiszen délután 4-től a talajon (is) beáramló hideg levegő stabilizálta a rétegződést. Amikor előjelet váltott az L_{mon} , akkor jelentkeztek az igen nagy ($L_{mon} \gg 800$ m), azaz neutrális értékek (ezekben a pontokban szakad a függvény) (4b. ábra). A hidegfront átvonulását lehűlés követte, a szél viszont hamar gyengült.



4. ábra: május 1. a) Magyarázat az 1. ábránál
b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása május 1.-jén

Május 2.-án a Norvégia közelében örvénylő ciklon középpontjával kelet felé mozdult. Ennek a ciklonnak a hidegfrontja haladt át állomásunk felett az előző napon. A hidegfront északi része már Dél-Svédország felett, míg a déli, egyre jobban elgyengülő része Közép-Európa felett található (5a. ábra). Azonban a frontot hordozó ciklon is gyengül, töltődik, hisz középpontjában növekszik a légnyomás. Emiatt a front hatása sem túlzottan erős, tartós, ezért állomásunkon a szél már az éjszakai órákban gyenge volt. A léghőmérsékleti értékekben átlagosan 2-3 fokos csökkenés következett be. Ezen a napon viszonylag kevés lehetett a felhő. Ezért hajnalra erősen lehűlt a levegő. Csapadékot nem észleltek, a légmozgás is gyenge maradt. Mivel a szél is legyengült a hajnali órákra, és a front se szárította ki a talaj feletti légrétegeket (illetve a lehullott csapadék is párolgott), ismételten erősen páráns, sőt ködös lett a levegő. A köd a napsütés megjelenésével hamar megszűnt, mert a levegő szárazabbá vált (gyorsan csökkent a relatív nedvesség). Ezen a napon szembevetődött, hogy többnyire kicsi

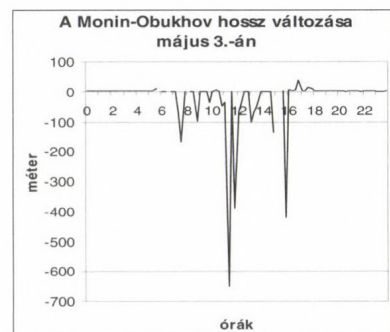
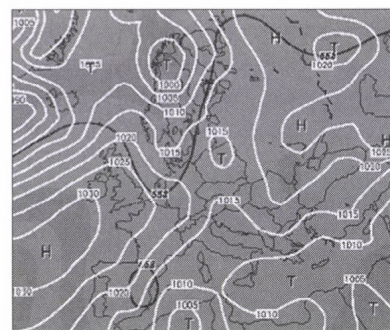
L_{mon} értékek voltak: éjjel +1 körül, nappal viszont -1 körül. Az éjjeli stabilis értékek okait már leírtuk, a napali extrém labilis értékek okai a hosszabb és erőteljesebb besugárzási időszaknak köszönhető (5b. ábra).



5. ábra: május 2. a) Magyarázat az 1. ábránál
b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása május 2.-án

Május 3.-án állomásunk egy átmeneti zónában helyezkedett el. (6a. ábra) A Skandinávia felett örvénylő ciklon már eltávolodott, az Atlanti-óceán feletti anticiklon tengelye (gerince) pedig keletebbre mozdult. Ezért egyre inkább ez a magasnyomású képződmény alakította állomásunk térségének időjárását. A következő napokban a fent említett anticiklon tovább mozdult kelet felé, terebélyesedett, és egy másik anticiklon épített ki Németország felett. Azonban az anticiklon előoldalán továbbra is hűvös levegő áramlott a térségbe észak felől (gyenge-mérsékelt szél kíséretében), a melegedés csak később következett be. Ez a levegő száraz, ezért csapadékot az állomás ezen a napon se észleltek, habár a napsütést gyakran megzavarta a felhőzet. A napos időszakok hossza

azonban nagyobb lehetett. Ezért a besugárzás ingadozása (napsütéses-felhős időszakok váltakozása) nagy volt. (akárcsak április 29.-én). A napali órákban az L_{mon} szinte mindig negatív, az ingadozás azonban a tegnapiénál sokkal nagyobb. Nagyobb pozitív értékek – hasonlóan a tegnapi naphoz-, napkelte és napnyugtá idején jelentkeztek (6b. ábra). Ezek az L_{mon} értékek azonban nem voltak olyan nagyok, mint ápr. 30.-án vagy máj. 2.-án. Ezekon a napokon csendesebb, kevésbé szeles időjárás uralkodott, a hőmérsékletnek jellegzetes és szabályos napi menete volt. Hajnalra erősen lehűlt a levegő és megnőtt a relatív nedvesség, emiatt a levegő erősen páráns lett, sőt köd is képződhetett (mindhárom nap 5 °C körüli vagy az alatti a minimum hőmérséklet, sőt, a talajon ennél alacsonyabb, illetve a hajnali órákban 90-95% feletti relatív nedvesség értékek). A köd képződésével hő szabadul fel, ezért a levegő átmenetileg melegebb lesz, mint a talajfelszín. Ez stabilizálja a légrétegződést. Az esti stabilis értékek megjelenése a besugárzás hirtelen csökkenésének köszönhető.



6. ábra: május 3. a) Magyarázat az 1. ábránál
b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása május 3.-án

Mindhárom napon gyakori volt az extrém labilis rétegződés, azonban május 3-án jóval többször volt abszolút értékben nagy, de negatív L_{mon} érték.

Összefoglalás

Tanulmányunkban a légköri képződmények és a felszín közeli légköri rétegződés közötti kapcsolatot elemeztük. A szinoptikus helyzetekhez kapcsolódó időjárást az NCEP reanalízis képek alapján, míg a légköri rétegződést a mért légköri határfeltételek alapján becsültük. Elemzésünkben az alábbi konklúziókra jutottunk:

- A tipikus kisugárzási időszakban (éjjel és télen anticiklonális helyzetben) extrém stabilis a légrétegződés.
- A tipikus besugárzási időszakban (nappal és nyáron), nyugodt, csendes (nincs vagy gyenge a légmozgás) időjárás esetén extrém labilis a rétegződés.
- Szeles, csapadékos időjárással kísért frontátvonulásnál a légrétegzö-

dés egy bizonyos ideig neutrális. Tehát a neutrális légrétegződés nemcsak az átmeneti időszakokban (kora reggel napfelkelte tájékán, és késő délután, naplemente idejében) fordulhat elő, hanem a frontátvonulás időszakában is jellemző, ilyenkor nagyobb a megjelenési gyakorisága.

- Ha a napsütéses és napsütés nélküli időszakok gyorsan váltakoznak, a légrétegződés típusa gyorsan változhat.

Ezen eredmények és a légköri rétegződéssel kapcsolatos ismeretek sikeresen hasznosíthatók az alkalmazott meteorológia tárgyköreiben, pl. a repülésmeteorológiában vagy a légszennyezés-transzport modellezésében. Ez utóbbira – érdekessége és jelentősége miatt – kicsit részletesebben is kitérünk. A légszennyezés-transzport és a stabilitási viszonyok kapcsolatának részletes leírása megtalálható pl. *Arya (1999)* és *Blackadar (1997)* munkáiban. Ezen elméleti taglalásokban fontos szempont a légköri állapotváltozók és a stabilitási viszonyok kapcsolatának jellemzése. A gyakorlati alkalmazá-

sok miatt e kapcsolatokat sokszor empirikusan taglalják. Egy ilyen leírás látható az *1. táblázatban* (*Blackadar, 1997; Foken, 2003*) is. Ezen eredmények nyilván összevetethetők e tanulmány eredményeivel. Látható, hogy az általunk felsorolt tendenciákat és kapcsolatokat az *1. táblázat* is igazolja.

Seres András egyet. hallgató
Ács Ferenc egyet. docens
ELTE Meteorológiai Tanszék

Irodalomjegyzék

- Ács, F., 2004 : A talaj-növény-légkör rendszer modellezése a meteorológiában: A növényi párolgás és a talaj kapcsolata. ELTE-TTK, Egyetemi jegyzet, 117 pp.
- Ács, F. és Drucza, M., 2003: A rétegződés hatása a szárazföldi felszín turbulens áramok intenzitására. *Léggör*, **XLVIII.** évf. 2. szám, 9-16.
- Ács, F. és Lőke, Zs., 2001: Biofizikai modellezés az agrometeorológiában. *Léggör*, **XLVI.** évf. 3. szám, 2-7
- Ács, F., Geresdi, I. és Horváth, Á. 2005: Numerikus vizsgálatok a talaj szerepéről a meteorológiában. *Léggör*, **50. évf.** 3. szám, 27-32
- Arya, S. P., 1999: Air pollution meteorology and dispersion. Oxford University Press, New York, Oxford, 310 pp.
- Blackadar, A. K., 1997: Turbulence and Diffusion in Atmosphere. Springer, Berlin, Heidelberg, 185 pp.
- Czucz, B. és Ács, F., 1999: A labilis rétegződés parametrizálása a PMSURF növénytakaró modellben: konvergencia vizsgálat empirikus módszerekkel. *Léggör*, **XLIV.** évf. 2. szám, 2-6.
- Foken, T., 2003: Angewandte Meteorologie. Mikrometeorologische Methoden. Springer, Berlin, Heidelberg, 289 pp.
- Hágel E. és Ács F., 2003: A számítógépek alkalmazása az agrometeorológia oktatásában. *Léggör*, **XLVIII.** évf. 1.szám , 35-37
- Márfy, J. és Ács, F., 2002: A csupasz talajfelszín közeli réteg nedvességi viszonyainak modellezése a Penman-Monteith-féle képlet alapján. *Léggör*, **XLVII** évf., 3. szám, 23-26
- Monin, A. S., Obukhov, A. M., 1954: Basic Laws of Turbulent Mixing in the Atmosphere Near The Ground (Translation in Aerophysics of Air Pollution edited by J.A. Fay and D. O. Hoult, American Institute of Aeronautics and Astronautics, New York, 90-119, 1969) Akademia Nauk SSSR, Leningrad, Trudy Geofizicheskovo Instituta 151 (No. 24), 163-187.
- Richardson, L. F., 1922: *Weather Prediction by Numerical Process*, Cambridge
- A webloldalon közzétett NCEP reanalízis térképek.

1. táblázat

Légköri állapotváltozók			Légköri rétegződés		
Szél (m s ⁻¹)	Besugárzás	Éjjeli felhőzet	Pasquill kategóriák	L _{mon} (m)	z/L _{mon} (z= 10 m)
< 2	erős	-	A	-30	-0,33
< 2	közepes	-	A - B	-	-
< 2	gyenge	-	B	-100	-0,1
2	erős	-	A - B	-	-
2	közepes	-	B	-100	-0,1
2	gyenge	-	C	-300	-0,033
2	-	≥4/8	E	250	0,04
2	-	≤3/8	F	60	0,17
4	erős	-	B	-100	-0,1
4	közepes	-	B - C	-	-
4	gyenge	-	C	-300	-0,033
4	-	≥4/8	D	5000	0,002
4	-	≤3/8	E	250	0,04
6	erős	-	C	-300	-0,033
6	közepes	-	C - D	5000	0,002
6	gyenge	-	D	5000	0,002
6	-	≥4/8	D	5000	0,002
6	-	≤3/8	D	5000	0,002
> 6	erős	-	C	-300	-0,033
> 6	közepes	-	D	5000	0,002
> 6	gyenge	-	D	5000	0,002
> 6	-	≥4/8	D	5000	0,002
> 6	-	≤3/8	D	5000	0,002

A légköri állapotváltozók és a különbözőképpen jellemzett stabilitási kategóriák egymás közötti kapcsolata. A pasquilli kategóriák leírása: A = erősen labilis, B = labilis, C = gyengén labilis, D = közömbös, E = gyengén stabilis és F = stabilis.

Repülőgépes mérések felhasználása az ALADIN számszerű időjárás-előrejelzési modellben

Vilhelm Bjerknes norvég meteorológus 1904-ben megállapította, hogy a légkörben lejátszódó folyamatok előre jelezhetők, ha az áramló gázok mozgását és termikus folyamatait leíró egyenleteket a légkörre alkalmazzuk. Ezek alkotják a légköri hidro-termodinamikai egyenletrendszert, melynek megoldására elsőként Lewis Richardson tett kísérletet az 1910-es években, akkor még sikertelenül. Próbálkozása azért fulladt kudarcba, mivel az alkalmazott matematikai közelítő módszerek, és a ritka mérőhálózat által szolgáltatott adatok nem voltak megfelelőek, és az óriási mennyiségű számítás-hoz csupán mechanikus számológépeket használhatott. Bár az egyenletrendszer pontos megoldására ma sincs lehetőség, a számítógépek megjelenésével, a matematikai módszerek fejlődésével, és a nagy sűrűségű adatok gyarapodásával – ilyenek a repülőgépes mérések is – megvalósult Richardson álma, az időjárás számszerű előrejelzése. Az előrejelzési feladat még így sem egyszerű, amit jól mutat, hogy az egyenletrendszer részét képező, a légköri áramlásokat leíró ún. Navier-Stokes egyenletek szerepelnek azon hét matematikai probléma között, amelyek megoldásáért az amerikai Clay Institute fejenként 1 millió dollárt ajánlott fel.

A számszerű időjárás előrejelzési modellek és az adatasszimiláció*

Richardson úgy gondolta, hogy az egész világot vagy egy kisebb területet behálózó pontokban – az ún. rácspontokban – rögzített magasságokon, más néven szinteken, a légkörben mérhető állapothatározók (pl. szél, hőmérséklet, légnyomás, páratartalom) értékeiből kiindulva meg lehet határozni a későbbi időjárást. A napjainkban használt számszerű előrejelzési modellek működése is ezen alapul, csak nagyobb sűrűségben állnak rendelkezésre mérési és megfigyelési adatok (felszíni mérések, rádiószondás, műholdas és repülőgépes mérésekből), és a számításokat szuper-számítógépek végzik. A globális modellek – melyek az egész Földet lefedik rácshálózatukkal – több mérési adatot és nagyobb számítási kapacitást igényelnek, mint a kisebb területeket, kontinenseket, illetve országokat lefedő korlátos tartományú modellek. Ez utóbbiak előnye a kisebb számítási kapacitás mellett is megvalósítható nagyobb pontosság, részletesség. Korlátos tartományú az Országos Meteorológiai Szolgálatnál használt ALADIN/HU előrejelzési modell is, amely majdnem egész Európát lefedi, tartományának közepe pedig Magyarországra esik. A modell fejlesztése 16 partner-ország – köztük Magyarország – részvételével folyik az ALADIN (Aire Limitee

Adaptation Dynamique developpment International) projekt keretein belül.

Akár globális, akár korlátos tartományú modellel dolgozunk, a sikeres előrejelzés elkészítéséhez szükségünk van a légkör valós állapotának ismeretére, a kiindulási időpontban, a modell tartományát behálózó rácspontokban. A valós állapot leírása a modell számára az ún. kezdeti- és peremfeltételek megadásával lehetséges. A modellek eredményei annál megbízhatóbbak lesznek, minél pontosabbak a kezdeti- és peremfeltételek, hiszen a megoldandó egyenletrendszer nem lineáris, így egy kezdetben kicsiny hiba az előrejelzésben nagy pontatlanságokat eredményezhet. Nehézséget jelent a feltételek megadásakor, hogy a megfigyelések, és mérések – amelyek a légkör állapotát reprezentálják – nem a rácspontokban történnek, hanem térben és időben szabálytalanul elhelyezkedő pontokban.

Az adatasszimiláció az a folyamat, amely létrehozza a rácspontokban a kezdeti feltételeket a különböző forrásokból származó, eltérő térbeli és időbeli felbontású megfigyelési adatokból, és a modell által szolgáltatott háttér-információkból. Az adatok rácspontra illesztése – az ún. objektív analízis – az adatasszimiláció egyik legfontosabb feladata, amit a modell kiindulási időpontjára, az ún. analízis időpontra vonatkozóan végzünk. A megfigyelések valódi időpontja nem feltétlenül esik egybe az analízis-időponttal, mivel legtöbbször egy tágabb időintervallumból, az analízis idő körüli ún. analízisablakból vesszük azokat. Az objektív analízis lehet folytonos és ciklikus az analízisablakba eső megfigyelések kezelésétől függően. Folytonos adatasszimilációs eljárásokban a megfigyelési adatokat azok valós mérési idejében használjuk fel az analízis során, ciklikus eljárásokban az adatokat az analízis-időpontra vonatkoztatva vesszük figyelembe. Az objektív analízist megelőzően fontos az adatok szűrése és ritkítása is, mivel csak jó minőségű, megbízható adatokból kaphatunk megfelelő kezdeti feltételeket. Az ALADIN/HU modell adatasszimilációs eljárása ciklikusan végzi az analízist, az analízisablak sugara pedig 3 óra, ezért különösen fontos a sajátos időbeli eloszlással rendelkező megfigyelési adatok (repülőgépes, műholdas adatok) megfelelő szűrése és ritkítása.

A repülőgépes adatok sajátosságai

A polgári légiközlekedésben használt repülőgépek által mért ún. AMDAR (Aircraft Meteorological DATA Relay system) megfigyelési adatok tér- és időbeli eloszlásukból adódóan értékes információval rendelkeznek. Számos vizsgálat szerint, globális modellekben ezek az

adatok pozitív hatást gyakorolnak a kezdeti feltételek létrehozására, és ezen keresztül a rövid-távú előrejelzés eredményeire is. Az előbbieket motiválták abbéli törekvéseinket, hogy az AMDAR adatok felhasználásával pontosítsuk az Országos Meteorológiai Szolgálatnál operatívan használt ALADIN/HU finom felbontású, korlátos tartományú modell kezdeti feltételeit és előrejelzését.

Az időben kvázi-folytonos repülőgépes mérések esetén (repülésük folyamán a kereskedelmi repülőgépek néhány másodpercenként vagy percenként mérnek) különös figyelmet kell szentelnünk az adatok megbízhatóságának. Célszerű időben folytonos objektív analízist alkalmaznunk az asszimilációs eljárás során, mert az adatok időbeli eloszlása is kvázi-folytonos. Ciklikus analízis alkalmazásakor a szűrés és ritkítás során figyelembe kell venni a megfigyelési és az analízis-időpont távolságát is, hiszen ekkor az analízis-időpontra vonatkoztatjuk a mérést. A probléma megértéséhez végezzük el a következő gondolatkísérletet annak tudatában, hogy mi az AMDAR adatokat az ALADIN/HU modellbe, az ebben működő ciklikus objektív analízissel szeretnénk asszimilálni.

Gondatkísérlet a problémák szemléltetésére

Heathrow Európa egyik legforgalmasabb repülőtere, ahol egy repülőgép 9 óra 30 perckor leszáll, ereszkedése közben folyamatosan szondázza a légköri állapotváltozókat, és továbbítja az adatokat. Tegyük fel, hogy a repülőgép 12 óra 30 perckor felszáll, és ugyanazon az útvonalon halad visszafelé, miközben folyamatosan mér. Három és fél óra telt el, és ez alatt a légkörben, de főleg a földfelszín közelében lévő rétegben, az ún. planetáris határrétegben markáns változások zajlottak le. Ha a gép a legkiválóbb műszerekkel rendelkezik, az AMDAR adatbázisba minden mérése bekerül, ahol így egy adott földrajzi helyre több, nem egy időben mért érték is vonatkozhat. Ha nem-folytonos, ciklikus adatasszimilációs eljárással végezzük az analízist, akkor ezek az értékek egyformán az analízis-időpontra – jelen esetben 12 órára – vonatkoznak. Fontos kérdés, hogy mennyire megbízhatóak az AMDAR adatbázisok, és miként kezeli az ALADIN/HU modell eredeti szűrő és ritkító eljárása az AMDAR megfigyeléseket, így azok mennyire jól írják le a légkör valós állapotát az analízis-időpontban.

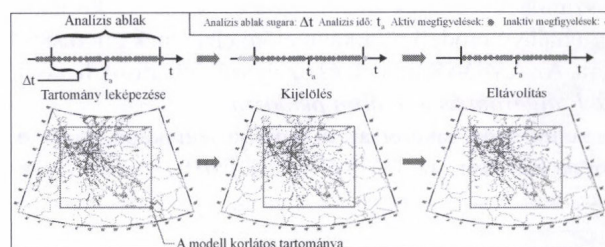
Kísérletek térben egymáshoz közeli mérésekkel

A gondatkísérletben felvetett kérdések tisztázása és a kezelendő problémák minél jobb megismerése volt az első lépés a hatékony módszer kidolgozása felé. Mivel az eredeti szűrőeljárás folytonos objektív analízisre lett optimalizálva, meg kellett vizsgálni az ALADIN/HU modell meglévő adatszűrő eljárásának működését AMDAR adatokat is tartalmazó adatbázisokkal. A kísérletek során létező, és manuálisan változtatott adatokat is használ-

tunk, amelyeket úgy választottunk és módosítottunk, hogy a gondolatkísérletben részletezethez hasonló eseteket is tartalmazzanak. Az így futtatott szűrőeljárás eredményeinek vizsgálata és kiértékelése után került sor egy új adatszűrő séma kialakítására. A kísérletek alapján – az új sémával szemben – fontos követelmény volt, hogy csak az analízisablakba eső megfigyeléseket tartsuk meg, mivel előfordultak olyan esetek, amikor a szűrés után az analízisablakon kívül eső megfigyelések is benne maradtak az adatbázisban. Lehetőséget kellett teremteni az analízisablak sugarának változtatására is az AMDAR adatok esetében, hiszen a gondatkísérletben vázolt okok miatt az analízisablak sugarának csökkentése javíthatja a modelledményeket. Mivel az eredeti ritkító eljárás járatonként ritkította a megfigyeléseket, és nem kezelte a térben közeli, de időben távoli (ezáltal eltérő értékű) adatokat, gondoskodni kellett a mérések megfelelő térbeli ritkításáról is, amit egy teljesen új algoritmus kifejlesztésével valósítottunk meg.

A kidolgozott szűrő és ritkító eljárások

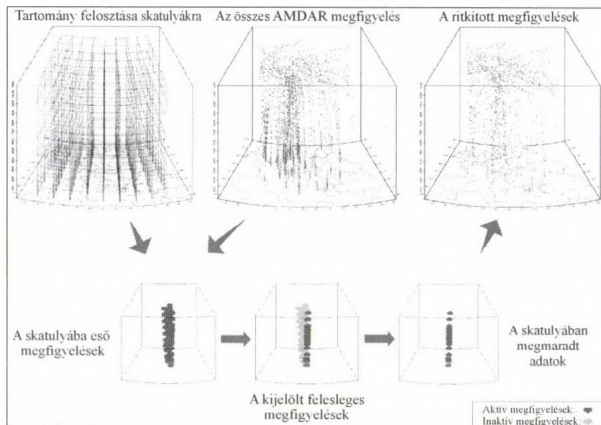
Az analízisablakon kívüli mérések kiválogatására alkotott szűrőprogram egy létező algoritmusba ágyazva készült el. Ez a program eredetileg az ALADIN modell-tartományába eső megfigyelések kiválogatását végezte. Az eljárás ebben a formájában biztosítja a modell szempontjából időben és térben is korrekt adatok használatát (1. ábra).



1. ábra: Az analízis ablakon és korlátos tartományon kívül eső mérések kiválogatása

A 2. ábrán a térbeli és időbeli ritkításért felelős, saját fejlesztésű algoritmus leegyszerűsített működése látható. Ez a skatulyázó eljárás nevet kapta, hiszen az analízis tartományt térrészekre (rácsdobozokra, vagy skatulyákra) bontva, az egyes dobozokon belül végzi a ritkítást. A modelltartományt horizontálisan változtatható rácsávolsággal, egy térképező leképezéssel osztja fel a program, míg vertikálisan a modellszinteket veszi alapul. A skatulyákba eső megfigyelések közül, az analízis időpontjához legközelebb eső megfigyeléssorozatot kiválasztva ritkít. A megfigyelés sorozat a kiválasztott járat azon megfigyeléseit takarja, amik időben közel vannak egymáshoz. A programok integrációját, és helyes működését egy új, de az eredetire épülő adatasszimilációs séma biztosítja. A sémával

folytatott működési tesztek és kísérletek elvégzése után kezdődtek meg az analízis, és az abból kiinduló előrejelzések eredményességét vizsgáló futtatássorozatok, és hatásvizsgálatok.

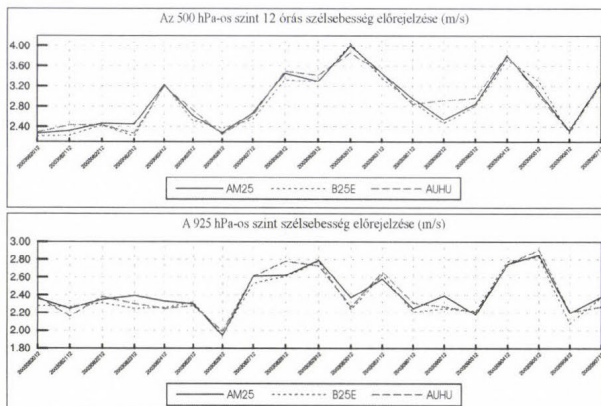


2. ábra: A saját fejlesztésű ritkító (skatulyázó) eljárás vázlatos működése

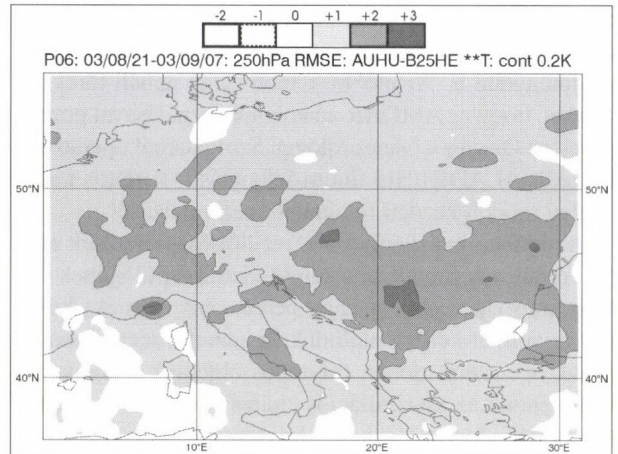
A fejlesztések eredményei

A hatásvizsgálatok, mind az analízis, mind az előrejelzés szempontjából biztató eredményeket hoztak, főleg a hőmérséklet, a szél, és a relatív nedvesség értékeit tekintve. Elmondható, hogy az AMDAR adatok megfelelő előszűréssel és ritkítással alkalmasak – még nem folytonos, azaz ciklikus objektív analízissel dolgozó asszimilációs eljárás alkalmazása esetén is – a korlátos tartományú modell rövidtávú előrejelzésének pontosítására. Az AMDAR adatok és az új szűrőeljárások hatását az 1. diagram és a 3. ábra példázza.

A módszer sikerét az bizonyítja leginkább, hogy e sorok írásakor az OMSZ ALADIN/HU modelljének



1. diagram: A 925 hPa-os és az 500 hPa-os szint szélességének 12 órás előrejelzéseinek négyzetes hibái, egy hosszabb időszakban. Az ALADIN modell AMDAR adatok nélkül készült előrejelzését (AUHU) a szaggatott vonal, az AMDAR adatokat is felhasználó eredeti szűrőeljárásával készült előrejelzést (AM25) a folytonos vonal, míg az új szűrőeljárással készült előrejelzést a pontozott vonal jelöli. Az új szűrőeljárás majdnem az egész időszakban kisebb hibát mutat.



3. ábra: A 6 órás hőmérséklet előrejelzések négyzetes hibájának különbsége a 250 hPa-os szinten, az AMDAR adatok nélkül készült (AUHU), ill. az AMDAR adatokat az új adatszűrő eljárással, 25 km-es ritkítási rácsávolsággal, 1 órás analízisablakkal (B25HE) készült előrejelzések esetén. A szürke területeken pozitív a különbség, azaz a skálának megfelelő mértékben jobb az előrejelzés.

operatív előrejelzése már az új adatszűrő és ritkító eljárással működik, és az ALADIN projekt együttműködő partnerei is érdeklődnek az eljárások iránt. A további fejlesztési céljaink között szerepel az új séma gyorsítása és az alkalmazott eljárások modellbe illesztése, mivel ezek jelenleg külső programként futnak. A tervek megvalósításán jelenleg is dolgozunk, így nemsokára a nemzetközi partnerek számára is lehetővé válhat az AMDAR adatok hatékony felhasználása, és így az időjárás pontosabb előrejelzése az ALADIN modellel.

Köszönettel tartozom Randriamampianina Rogernek, Kertész Sándornak, Weidinger Tamásnak és Havasi Ágnesnek az írással kapcsolatos építő észrevételeikért. Külön köszönet az Országos Tudományos Kutatási Alapnak (OTKA, T049579) a munka támogatásáért.

Balogh Miklós
egyet. hallgató, ELTE

Hegyfokyi Kabos hamvai a Nemzeti Sírkertben

A Nemzeti Emlékhely és Kegyeleti Bizottság 2006. március 1-jén hozott határozatával a Nemzeti Sírkert részévé nyilvánította Hegyfokyi Kabos (1847–1919) türkevei plébános, klimatológus sírját, amely a türkevei római katolikus templom kertjében található. A magyar meteorológia hőskorának kiemelkedő tudósáról a Léggör 1992. 3., 1994. 3. és 4. számában találhatunk megemlékezéseket.

Ambrózy Pál

A napenergia-hasznosítás meteorológiai adottságai Debrecen térségében

Bevezetés

A napenergia hatékony felhasználásának elsődleges feltétele, hogy pontosan ismerjük a földfelszín egy pontjára, adott időegység alatt érkező energia mennyiségét. Ezen túl a napenergia-hasznosításban meghatározó szerepet kapnak a technikai feltételek, pénzügyi-gazdasági konstrukciós lehetőségek és az energiaforrás társadalmi elfogadottsága. Az alábbi tanulmányban Magyarország északkeleti részén, Debrecen térségében vizsgáltuk a napenergia hasznosításának meteorológiai adottságait, mely kiindulópont lehet az ez irányú döntéshozók, felhasználók számára.

A napenergia-hasznosításhoz közvetlenül kapcsolódó éghajlati elemek, mint a globálsugárzás, a napsütés órák száma, a borultság és a köd alakulásának rövid áttekintése után meghatároztuk a vízszintes, illetve jellegzetes dőlésszögű, déli tájolású felszín napenergia-bevételét. Ugyanakkor egy becslést is adtunk, hogy bizonyos technikai feltételek mellett a rendelkezésre álló napenergiából mennyi villamos energia nyerhető.

Sugárzási viszonyok Debrecen térségében

Globálsugárzás

Az energetikai felhasználás szempontjából a Naptól kiinduló és a felfogó felszínre érkező rövidhullámú sugárzás, a globálsugárzás mennyisége (a meteorológiában 0,29 és 4 μm hullámhossz közötti spektrális tartomány), illetve ennek térbeli, időbeli eloszlása a döntő. Magyarország területére átlagosan beérkező napenergia 138 W/m^2 (Weinberg-Williams 1990), ami az ország villamos energiatermelését egy 21 km^2 -nyi területről tudná fedezni (Kacz-Neményi 1998).

Debrecen térségében a csillagá-

1. táblázat

	Jan.	Feb.	Már.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Év
Lehetséges	197	285	481	678	883	959	971	837	607	431	247	176	6753
Tényleges	108	174	324	460	595	622	662	557	410	273	120	80	4385

Globálsugárzás (MJ/m^2) havi és évi átlagos összegei Debrecenben (Justyák-Tar 1994)

szatilag lehetséges globálsugárzásnak mintegy 65%-a érkezik a felszínre (Justyák-Tar 1994). Ez egy éves ingást mutat, a legkevesebb sugárzás a téli évszakban, a legtöbb pedig nyáron van, ami egyértelműen a napenergia nyári alkalmazását helyezi előtérbe, például medencefűtésre, kempingek fűtésére stb. A tavaszi és az őszi energiaösszeg között is nagy az eltérés, tavasszal sokéves átlagban $575 \text{ MJ}/\text{m}^2$ – rel több energia érkezik, mint ősszel (1. táblázat).

Napfénytartam

Egy másik meteorológiai tényező, mely a napenergia alkalmazhatóságának hatékonyságát, illetve ennek időbeli eloszlását alapvetően befolyásolja, a napsugárzás időtartama. A csillagászatilag lehetséges és a tényleges napfénytartam aránya tulajdonképpen a direkt sugárzás mennyiségét jellemzi.

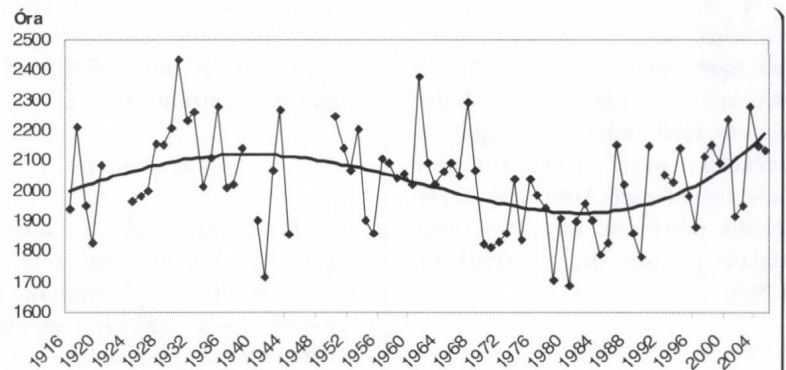
Debrecen sokéves átlagban 2045 óra napsütést kap évente, a lehetségesnek mintegy 46%-át (ld. később az 5. táblázatban). Hónapos bontásban a legtöbb napfény, 296 óra, júli-

usban van, ami napi 9,5 órás napsütést jelent, a legkevesebb, 47 óra, pedig decemberben jellemző, napi mintegy 1,5 órás napsütéssel.

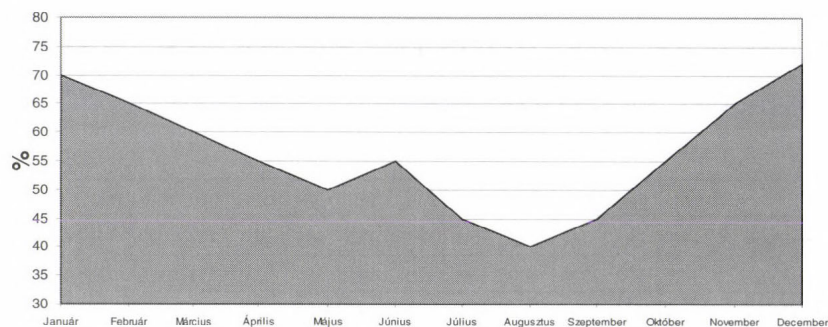
Az utóbbi 89 évben jelentős mértékben változott az egymást követő évek napsütéses óráinak száma, és ezzel együtt a beérkező napenergia. Az általunk vizsgált mérőállomáson (Debrecen) a napsütéses órák számában 1944-ig egy egyenletes, lassú emelkedés figyelhető meg. Ekkor egy csökkenő trenddel évi 350 napsütéses órával alacsonyabb szinten stabilizálódik a napfénytartam, majd 1990 után ismét egy fokozatos növekedés tapasztalható (1. ábra).

Borultság

Az energiahasznosítás hatékonysága szempontjából lényeges a napsütés nélküli napok alakulása is, amikor egész nap a globálsugárzásnak csak a szórt sugárzási komponense érvényesül. Bár a mai napenergiát átalakító rendszerek már a szórt sugárzást is tudják hasznosítani, de mivel annak intenzitása sokkal alacsonyabb, mint a direkt sugárzásé,



1. ábra: A napsütéses órák számának változása Debrecenben 1916 és 2005 között.



2. ábra: Átlagos borultság Debrecenben az 1927–1978 időszakban (Justyák-Tar 1994)

így ez kevésbé hatékony. Debrecenben a sokéves statisztikák alapján (1927–1978) a május-augusztusi időszakban csak fél vagy egy-egy napsütés nélküli nap fordul elő, április–szeptemberben is csak két-három nap adódik. Ellenben télen 12 felett van a teljesen borult napok száma. A legtöbb ilyen nap decemberben alakul ki, átlagosan 16,6. Ilyenkor a felhőzet mellett a köd is fontos szerepet kap a direkt sugárzás kimaradásában (Justyák-Tar 1994).

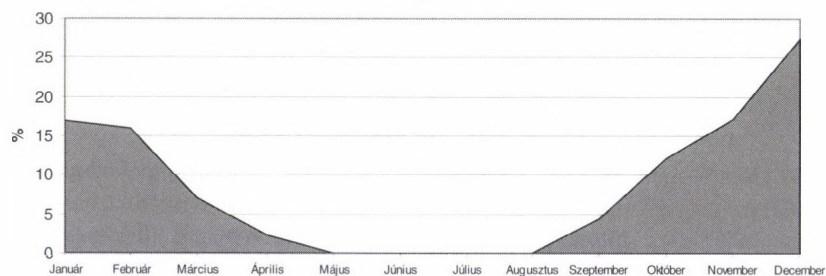
A borultság sokéves aránya télen 70% körüli, míg nyáron kevesebb, mint 50% (2. ábra). Míg télen az alacsonyan elhelyezkedő réteges (stratus) felhőzet alakul ki nagyobb gyakorisággal, addig nyáron a magasabban elhelyezkedő gomolyos felhőzet (cumulus) a jellemző (Justyák-Tar 1994). Így télen a zárt, egyenletes felhőzet szinte teljesen kizárja a napsütést, nyáron a felhődarabokból álló cumulus felhőzet megszakításokkal, de összességében mégis jelentős nagyságú tényleges napütést eredményez.

A borultság napi menetére jellemző, hogy az év folyamán a minimum általában a késő esti órákban és éjfél körül áll be. A maximum télen általában reggel jelentkezik, ősszel inkább a délelőtti órákban jellemző, kora tavasszal eltolódik délutánra, mely hasonlóan alakul nyáron is. (Justyák-Tar 1994).

Köd

Amint a 3. ábráról is leolvasható, a ködös napok száma Debrecenben a

borultsághoz hasonló évi eloszlást mutat. A téli hónapok 1/6-a ködös, amely jelentősen csökkenti a besugárzást, viszont a nyári hónapok gyakorlatilag ködmentesek, ami kedvező lehetőséget biztosít a napenergia energetikai célú felhasználására ebben az évszakban (Dobosi-Felméry 1971).



3. ábra: Ködös napok alakulása Debrecenben, az 1929–1978 időszakban (Justyák-Tar 1994)

A különböző kitétségű és hajlásszögű felszínre érkező direkt sugárzás mennyiségének meghatározása

A felszínre érkező napenergia mennyisége az adott időjárási viszonyok mellett a felfogó felszín geometriai tulajdonságainak függvénye. A lejtőtulajdonságok sugárzásbevitel-módosító hatása elsősorban a direkt sugárzás mennyiségi eloszlásában nyilvánul meg.

A vízszintes síkra eső közvetlen sugárzás intenzitása (I)

$$I = I_0 q^z \sin h \quad (1)$$

ahol I_0 – a napállandó, q – a tiszta légkör átbocsátási együtthatója, T – a Linke-féle homályossági tényező, z – a sugárzás légkörben megtett útjának a hossza, h – a napmagasság.

A potenciális napenergia megha-

tározásánál azonban a gyakorlatban előforduló vízszintestől eltérő, különböző lejtésszögű és tájolású felfogó felszínek energia-bevételeinek elemzése válik szükségesszerűvé.

A vízszintes felületre érkező globálsugárzás értékekből ismert lejtőtulajdonságok alapján geometriai összefüggésekkel kiszámítható a különböző lejtőkre jutó közvetlen napenergia (Kaempfert-Morgen 1952, Kondratyev 1954, Justyák-Tar 1973).

Ha a besugárzásra merőleges felszínre a légkörön keresztül I energia jut, akkor a lejtő felszínére érkező energia (I_L):

$$I_L = I [\cos\beta \sinh + \sin\beta \cosh \cos(\alpha_N - \alpha_L)] \quad (2)$$

Itt I a napsugarakra merőleges síkra vonatkoztatott sugárzás intenzitása, β – a lejtő hajlásszöge, h – a napmagasság, α_N – a lejtő normálisának azimutja, α_L – a Nap azimutja. (Kondratyev 1954).

Tehát a lejtős felszínre érkező közvetlen sugárzás mennyisége függ a napmagasságtól, a napsugarak beesési szögétől, a lejtő hajlásszögétől, a lejtő irányától.

Vizsgálatunkban a vízszintes és ettől eltérő tulajdonságú felületek energia bevételeinek összefüggését a vízszintes felületre jutó közvetlen sugárzás értékekből egy szorzószám (q_β) segítségével határoztuk meg:

$$I_L = q_\beta I_V \quad (3)$$

ahol, I_L – a lejtő felszínére jutó sugárzásmennyiség, I_V – a vízszintesen mért direkt sugárzás mennyisége.

A módszert *Justyák-Tar (1973)* dolgozta ki, mely felhőtlen égbolt esetén, vagyis a direkt sugárzás meghatározására használható.

A számítás egyszerűsítése céljából a q_β értékek csak a déli lejtőkre határoztuk meg, mivel a déli irány éves átlagban kiemelkedően jellegzetes a besugárzást illetően. Az év folyamán a maximális sugárzást kapó felszín szempontjából optimális lejtőirány energia-bevételére a szakirodalomban találunk értékeket (*Major 1985*).

Déli lejtőn a különböző hajlásszögű és a vízszintes felületre érkező közvetlen sugárzás napi összegének aránya a következőképpen számítható ki (*Justyák-Tar 1973*):

$$q_\beta = \frac{\omega_1 \sin \delta \sin(\varphi - \beta) + \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_1}{\omega_1 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_1} \quad (4)$$

ahol q_β - vízszintes és déli lejtő közvetlen besugárzása közti arányszám, δ - Nap deklinációja, β - a lejtő hajlásszöge, φ - a hely földrajzi szélességi köre, ω_1 - a vízszintes felszín napkeltének óraszöge, ω_1' - a lejtő napkeltének óraszöge.

Egy adott pont esetében a vízszintes felszín napkeltének óraszöge (radiánban) az alábbi összefüggés alapján határozható meg:

$$\cos \omega_1 = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \quad (5)$$

Mivel a fenti összefüggés alapján kapott értékeket még korrigálni kell az adott pont földrajzi hosszúságával, ezért a ω_1 értékét a

$$t = 12 + \omega_1/15 \quad (6)$$

alapján határoztuk meg, ahol t az adott hely (Debrecen, $\delta = 47,3^\circ$, $\lambda = 21,3^\circ$) napkeltének időpontja órában, melyet a Csillagászati Évkönyvből néztünk ki.

Ahhoz, hogy meghatározhassuk a vízszintes és ettől eltérő felület sugárzásbevitelének eltérését, ismernünk kell az adott pontban a különböző hajlásszögű lejtőre eső besugárzás kezdetének (lejtőnap-

kelte) és végének (lejtőnapnyugta) időpontját vagy óraszögét is. Ez a déli lejtők esetében a következőképpen határozható meg (*Justyák-Tar 1973*):

$$\cos \omega_1' = \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \beta)}{\operatorname{tg} \varphi} \cos \omega_1 \quad (7)$$

A 0, illetve negatív előjelű deklinációk esetében $\omega_1' = \omega_1$.

Debrecen térségében az év minden hónapjának 21. napjára meghatároztuk a q_β szorzószámot, amely megadja a vízszintes és déli felszínre érkező direkt sugárzás közti arányát (2. táblázat).

A naplemek felállításánál ajánlott átlagos 30° lejtésszögű felszínnek (a térség településein átlagosan 30 fokos ferdeségű tetőszerkezetek a jellemzőek) mellett meghatároztuk a vízszintes és az adott hónap optimális lejtésszögű felületének (*Suri 2005*) energia-bevétele közötti eltérést is.

A $47^\circ 30'$ északi földrajzi szélességi körön, a nyári hónapokban átlagosan 25° lejtésszögű déli felületek kapják a legnagyobb besugárzást, télen az optimális lejtésszög 59° (4. ábra).

Annak függvényében, hogy az év folyamán milyen jellegű kihasználtságot akarunk elérni, megválasztható a felfogó felszín dőlésszöge. A nyári időszakban maximális hatásfokot 25° - lejtésszöggel érhetünk el, ha viszont a téli és nyári hónapokban kiegyenlítettebb energiatermelést tervezünk, akkor ez egy éves átlagos 42° -os dőlésszöggel valósítható meg (4. ábra).

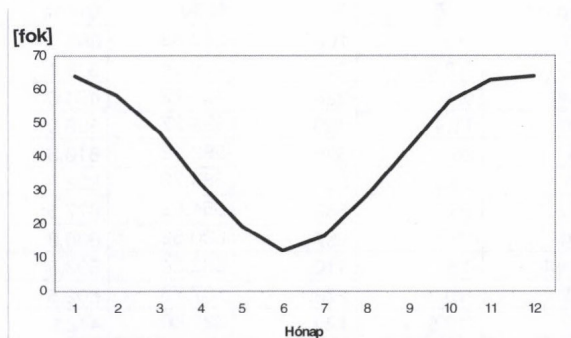
A továbbiakban a déli, 30° -os hajlásszögű, illetve az adott hónapban maximális besugárzást kapó ferde felületekre végezett számítások eredményeit ismertetjük.

Az alkalmazott módszerrel a vízszintes és ferde felszín közötti közvetlen sugárzás kapcsolata az év minden napjára meghatározható. A minden hónap 21-dik napjára meghatározott q_β értéket beszorozva az adott hónap átlagos sugárzási értékével, jó megközelítéssel kiszámítható egy adott hajlásszögű déli lejtő átlagos hónapos sugárzásbevétele. Mivel a módszer felhőtlen égbolt esetére vonatkozik, vagyis csak közvetlen sugárzási adatokkal használható, elsődként meghatároztuk azt a lehetséges maximum ener-

2. táblázat

Időpont	Jan.21	Feb.21	Márc.21	Ápr.21	Máj.21	Jún.21	Júl.21	Aug.21	Szept.21	Okt.21	Nov.21	Dec.21
δ	-19.58	-10.41	0.05	11.37	20.06	23.26	20.32	12.13	0.5	-10.34	-19.49	-23.26
q_{30°	2,47	1,83	1,43	1,15	1,00	0,94	0,99	1,13	1,42	1,86	2,68	3,02
q_{max}	3,32	2,17	1,49	1,15	1,03	1,00	1,02	1,13	1,45	2,21	3,69	4,32

Az év hónapjainak 21. napján a Nap deklinációja (δ), és az adott napra vonatkozó vízszintes és déli, 30° -os (q_{30}), illetve a hónapos optimális lejtésszögű (q_{max}) felület közötti sugárzás aránya ($\varphi = 47,3^\circ$)



4. ábra: A maximális sugárzást kapó déli lejtők hajlásszöge az év folyamán Debrecenben (*Suri, 2005*)

3. táblázat

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.
$G_{\text{lehetséges}}$	197	285	481	678	883	959	971	837	607	431	247	176
G_{30}	457	487	649	753	865	892	961	921	850	819	655	495
G_{max}	655	619	718	780	906	960	994	948	878	951	912	760

Az elméletileg lehetséges globálisugárzás vízszintes síkon ($G_{\text{lehetséges}}$), illetve a 30° lejtésű (G_{30}) és a maximális napenergiát kapó felületen (G_{max}) Debrecenben, MJ/m^2 -ben ($G_{\text{lehetséges}}$ forrása Justyák-Tar 1994)

gia-bevételt, mely egy hónapban az adott lejtőre érkezik, ha a vízszintes felületre a csillagászatilag lehetséges maximális besugárzás jut (3. táblázat).

A legnagyobb eltérések a vízszintes és déli lejtők energia-bevétele között a téli hónapokban vannak, amikor a Nap deklinációja negatív előjelű, ekkor ugyanis a vízszintes felszínre érkező közvetlen sugárzáshoz viszonyítva szinte kétszeres mennyiség jut a déli 30° -os lejtőkre, a hónapos optimális lejtőszögű felszínre (66°) pedig több mint háromszoros. Ez alapján a lejtő hajlásszögének befolyásoló szerepe az alacsony deklinációjú napállás idején kihangsúlyozottabb. A 3. táblázatban természetesen csak egy elméleti megközelítést kapunk a rendelkezésre álló napenergia mennyiségéről, a valóságban a tényleges besugárzási értékekkel kell számolnunk. A vízszintes felületre számított tényleges globálisugárzás értékeket a kapott szorzószámokkal (minden hónap 21. napján) beszorozva meghatároztuk a hónapos átlag

energiamennyiséget (MJ), mely egy déli irányú, 30 fokos (G_{30}), illetve a legtöbb sugárzást felfogó felszín (G_{max}) 1 m^2 - es felületre átlagosan jut (4. táblázat).

A bemutatott számítás azonban tartalmaz pontatlanságot, mivel a globálisugárzás adatok tartalmazzák a szórt sugárzást is, azonban a fenti módszer csak a felhőtlen égbolt, vagyis a direkt sugárzási komponensre alkalmazható.

A levegő, vízgőz és szennyező anyagok molekuláin, valamint a felhők által szórt sugárzás nagyjából egyenletesen érkezik az égbolt minden pontjából, és csak a lejtő hajlásától függ, irányától független (Justyák-Martonné 1979). Magyarországon a vízszintes síkra érkező napenergiának éves átlagban fele diffúz formában érkezik, tehát a diffúz sugárzás szerepe nem hanyagolható el (Major 1985). Mivel a felszín geometriai tulajdonságai a globálisugárzás két komponensét eltérő arányban befolyásolják, ezért válik szükségszerűvé olyan számítási algoritmus kidolgozása, mely lehetővé teszi a két komponens külön vizsgálatát.

4. táblázat

Időpont	δ	G	G_{30°	G_{max}
Jan	-19.6	108	266.83	358,9
Febr	-10.4	174	319.24	378,1
Márc	0.1	324	461.72	484,0
Ápr	11.4	460	529.37	528,9
Máj	20.1	595	592.12	610,3
Jún	23.3	622	584.73	622,9
Júl	20.3	662	654.03	677,5
Aug	12.1	557	630.52	630,8
Szept	0.5	410	582.24	593,3
Okt	-10.3	273	507.73	602,5
Nov	-19.5	120	321.86	442,8
Dec	-23.3	80	241.93	345,4

A tényleges globálisugárzás értéke vízszintes felületre (G), illetve a déli 30° -os és a hónapos maximális sugárzást kapó felületre a Justyák-Tar féle szorzószám alapján MJ/m^2 -ben

A direkt és szórt sugárzás arányának meghatározása

A felszínen mért globálisugárzás direkt és szórt komponensei arányának meghatározására, változóan felhős időszakra, mérési adatok hiányában elméleti számítást alkalmaztunk.

Elsőként meghatároztuk a hónapos borultság (B) százalékát a nap-sütéses órák függvényében:

$$B = \frac{N_0 - N}{N_0} 100 \quad (8)$$

ahol N_0 – csillagászatilag lehetséges napfénytartam, N – tényleges napfénytartam.

Feltételezve, hogy a borult időszakban a globálisugárzás csak szórt sugárzásként érkezik a felszínre, így a B% arány a szórt ($G_{\text{szórt}}$) és direkt (G_{dir}) sugárzás között is fennáll:

$$G_{\text{szórt}} = \frac{GB}{100} \quad (9)$$

$$G_{\text{dir}} = G - G_{\text{szórt}} \quad (10)$$

ahol G a globálisugárzás.

Ha a lejtőszög nem nagy ($\beta < 40^\circ$), a szórt sugárzás a lejtő tulajdonságaitól függetlennek tekinthető (Muhenberg 1965). Mivel a különböző lejtésű felszínek a direkt sugárzás mennyiségét befolyásolják, a beérkező globálisugárzás mennyiségét a következő összefüggéssel határoztuk meg:

$$G_{\text{lejtő}} = (G_{\text{dir}} \cdot q_\beta) + G_{\text{szórt}} \quad (11)$$

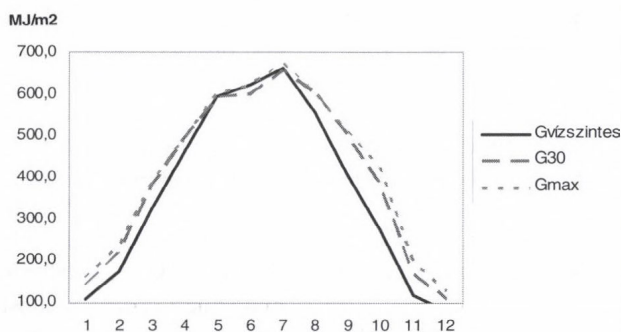
Hasonló számítás a szakirodalomban Justyák-Martonné (1979) tanulmányában található.

A (11) képlet alapján a vízszintes felülethez viszonyítva a ferde síkok alkalmazásával egész évben nagyobb energia-bevétel érhető el (5. ábra). A 30° dőlésszögű felszín a nyári hónapokban kevesebb energiát kap, mint a vízszintes, mivel ekkor az optimális hajlásszög is kisebb ennél. A nyári hónapokban nem nagy az a különbség, amelyet a vízszintes és ferde felszínek energia-bevétele mutat, viszont a téli

5. táblázat

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.
N_0 (óra)	275	285	367	407	466	475	480	440	377	336	279	262
N (óra)	57	85	149	192	249	268	296	273	206	156	67	47
G (MJ/m^2)	108	174	324	460	595	622	662	557	410	273	120	80
B (óra)	218	200	218	215	217	207	184	167	171	180	212	215
$B\%$	79.3	70.2	59.4	52.8	46.6	43.6	38.3	38.0	45.4	53.6	76.0	82.1
$G_{szórt}$ (MJ/m^2)	85.6	122.1	192.5	243.0	277.1	271.1	253.8	211.4	186.0	146.3	91.2	65.6
G_{direkt} (MJ/m^2)	22.4	51.9	131.5	217.0	317.9	350.9	408.2	345.6	224.0	126.8	28.8	14.4

A direkt és szórt sugárzás közti arány meghatározása vízszintes felületen; N_0 – csillagászati-
lag lehetséges napfénytartam (Debrecen), N – tényleges napfénytartam
(Debrecen 1927-1991), G – globálsugárzás (Debrecen, 1961-1990), B – borultság(N_0-N), $B\%$
– a borultság százaléka a N_0 -hoz viszonyítva, $G_{szórt}$ – a szórt sugárzás, G_{direkt} – direkt sugárzás



5. ábra: Havi globálsugárzás mennyisége a különböző hajlásszögű déli lejtőkön Debrecenben

hónapokban ez 140% (30° esetében), és 164% (maximális szög esetében).

Az adott felületre érkező napenergia villamos energiává való átalakítása az alkalmazott napelemek technikai adottságaitól függenek. A napelemek első generációját képviselő amorf kristályos rendszerek hatásfoka 8-10%. A polikristályos szilícium napelemek 10-14%-os hatásfokkal működnek, míg a legfejlettebb monokristályos rendszerek hatásfoka is mindössze 16-18%.

Debrecen térségében a vízszintes, illetve ferde felszínre érkező sugárzás mennyiségét kWh-ban a 6. táblázat tartalmazza.

Ha egy 150 Wp napelemet (8%-os hatásfokkal) alkalmazunk, adott

meteorológiai feltételek mellett a vízszintes felületen éves összegben 182,7 kWh, a 30° lejtésszögű felületről 202,0 kWh villamos energiát nyernénk, míg a minden hónapban optimális lejtésszögbe állított napelemről 209,9 kWh energia nyerhető (az utóbbi megoldás technikai okok miatt még kevésbé elterjedt). Ismerve a jelenlegi ár-szintet a napelem piacon, kijelenthető, hogy a befektetés megtérülési ideje 10-12 év (23,87 Ft/kWh áramátvételi értékkel számolva). A megtérülési idő lényegesen javítható támogatásokkal, vagy az átvételi ár emelésével. Példaként hozható fel Ausztria, ahol jelenleg 60 cent/kWh az átvétel értéke, ezzel 5 év alá csökkentve a megtérülési időt.

6. táblázat

	Jan.	Feb.	Már.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Év
$G_{vízszintes}$	30,0	48,3	90,0	127,8	165,3	172,8	183,9	154,7	113,9	75,8	33,3	22,2	1218,1
G_{30°	39,1	60,4	105,5	136,9	164,9	166,9	182,5	167,4	140,0	106,1	46,8	30,3	1346,8
G_{Max}	44,4	65,2	108,0	136,8	167,5	172,9	186,5	167,4	141,7	118,3	54,9	35,4	1399,3

6. táblázat: A Justyák-Tar féle formulával meghatározott globálsugárzás értékek (kWh/m^2) Debrecenre vonatkoztatva, a vízszintes, 30°-os és a hónapos maximális sugárzást kapó felszíneken

Összegzés

Debrecen térségében a napenergia adottságok kiaknázásában jó hatásfok érhető el. Ennek maximalizálását a technikai berendezések mellett az általunk vizsgált déli tájolású felfogó felület dőlésszögének változtatásával érhetjük el. A számított paraméterű felfogó felszínnek (déli, 30 fokos, illetve hónapos maximális sugárzást kapó hajlásszög) a vízszinteshez képest a téli hónapokban akár 40%-kal magasabb energia-bevételt is eredményeznek.

A napenergia-hasznosítás nagyfokú elterjedésének gátját a másik három alappillér között kell keresnünk. A technikai háttér jelenleg mindössze 10-18 %-os hatásfokot biztosít. A támogatási-hitelezési rendszer is fejlesztésre szorul Magyarországon, de jó alapot biztosíthat a külföldi, már jól működő minták átvétele. A harmadik pillér a lakosság hozzáállása, amely az oktatással és a média segítségével már középtávon jelentős eredmények érhetőek el.

Igazán komoly változások azonban csak összehangolt Európai Unió, állami és regionális politikával valósíthatóak meg, amelyben az oktatás, a K + F és a média játssza a főszerepet, minthogy ezeknek van a legnagyobb tudatformáló és fejlesztéseket segítő potenciálja.

Hivatkozások

- Dobosi Z. - Felméry L. /1971/: Klimatológia. Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest, 35.p.
- Justyák J. /1998/: Magyarország éghajlata – Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen 52-53.p.
- Justyák J. - Martonné E. K. /1979/: A domborzatnak és a napsugárzásnak, mint termőhelyi tényezőnek alakulása a Bodrogheresztúri-félmedencében, Földrajzi Értesítő, 18. 3-4 füzet, 249-266
- Justyák J. - Tar K. /1994/: Debrecen éghajlata – KLTE Kiadó, Debrecen, 44-76.p.
- Justyák J. - Tar K. /1973/: A déli lejtőre és a vízszintes felszínre jutó közvetlen sugárzás kapcsolata, Időjárás, 77. 3. 164-174
- Kacz K. - Neményi M. /1998/: Megújuló energiaforrások – Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 11.o.

Kaempfert W. - Morgen A. /1952/: Die Bessnung, Diagramme der solaren Bestrahlung verschiedener Lagen, Zs. F. Met. 6. 138-146

Kondratyev K. /1954/: Lucsisztaja energija szolnca. Leningrad

Major Gy. (szerk) /1985/: A Napenergia hasznosítás meteorológiai megalapozása Magyarországon, ÉTI, Budapest

Muhenberg V. /1965/: Nyekotorüe oszobennosztji prihoda szolnyecsnoj radiacii na naklonnütje poverhnosztji. G. G. O. Trudü Vp. 179. 108-117

Šúri M. - Huld T.A. - Dunlop E.D. /2005/: PVGIS a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe. International Journal of Sustainable Energy, 24, 2. 55-67

Weinberg C. J. - Williams R. H. /1990/:

Energia a Napból, Tudomány 1990 November 105-108.p.

**Bartók Blanka¹,
Csákberényi - Nagy Gergely²
Debreceni Egyetem
¹Meteorológiai Tanszék
²Társadalomföldrajzi és
Területfejlesztési Tanszék**

Zivatarfelhők szokatlan fényjelenségei

Amiről írok, az 15 évvel ezelőtt, 1991 nyarán történt. A pontos dátumra nem emlékszem, de az évszám az bizonyos, mert az volt az egyetlen nyár, amikor a budaörsi repülőtér mellett teljesítettem észlelő és diszpécser szolgálatot.

Este 21.00h és 21.30h között többször is kimentem a szolgálati helyiség erkélyére, hogy ránézzek a megfigyelőállomás térségét érintő, tőle zömében északra elvonuló zivatar alakulására. Negyed tíz után néhány perccel tűnt fel először, hogy a villámlások között van egy olyan jelsorozat, amely helyét és fényintenzitását tekintve azonos felvillanásokból áll. E villanások északi irányban, alacsony magassági szögben mutatkoztak, sűrűn, szabálytalan időközönként, átlagosan fél- vagy egy percenként. Fél tíz körül már folyamatosan kémleltem az eget, mert a rejtélyes villogás nem hagyott nyugodni. Rájöttem, hogy a villanások fészket irányból tekintve alacsony felhők takarják, és amit látok, az egy magasabb szintű felhőzetről történő visszaverődés, onnan, ahol hízag van az alacsony felhőzetben. A visszfény kb. 10° magassági szögben tükröződött, tehát a villanások tényleges helye tőlem igencsak messze lehetett. A fény szín- és intenzitáseloszlása alapján a földi reflektor eredetet kizárhatónak véltem (akkoriban a magánkezdeményezésű tűzijáték még számításba sem jöhetett). Jó darabig nem akartam hinni a szememnek, és csak sokára törődtem bele, hogy a felvillanások teljesen azonos

jelsorozatból állnak. (Eközben „normális” villámok is előfordultak, változatos irányból és fényerővel.) $\frac{3}{4}$ 10 körül 10-15 percre meg kellett szakítanom az égbolt folyamatos figyelését, hogy teljesítem SYNOP távirat adási kötelezettségemet. A villódzás azonban még ekkor sem maradt abba.

Néhány perccel 22 óra előtt megcsörrent a telefonom. A hívó fél azt közölte velem, hogy Újpesten, egy sokemeletes ház erkélyén állva, szokatlan fényjelenséget látott, tőle északnyugatra, kb. 50° magasságban. (Ez összhangban volt azzal, amit magam láttam Budaörsről.) Állítása szerint az ismétlődő fényes villanásokat sokan bámulták az erkélyekről. A bejelentést a telefonáló fogalmazása és hanghordozása alapján komolyan ítéltam. Azt válaszoltam neki, hogy véleményem szerint egy ismeretlen eredetű elektromos jelenséget látunk, amelynél a feszültségkülönbség azonos légtér részben folyamatosan újraképződik. Majd tréfásan azzal búcsúztam, hogy ha később a fényes valamiből esetleg kis zöld emberkéket látna kiszállni, akkor telefonáljon újra. (Az illető nem telefonált újra, tehát kis zöld emberkéket nem érkeztek.)

Másnap figyeltem kollégáim arcát, a rádió híreit, és mindent, ami eláruhathat, hogy okozott-e feltűnést az előző esti fényjelenség. Úgy tapasztaltam, hogy általában nem vettük észre a szokatlan égi jelenséget, illetve aki mégis, az

másnapra kialudta. Akkoriban úgy döntöttem, hogy a furcsa élményemről nem számolok be, mert sokan nem hinnének nekem, ráadásul magam sem voltam teljes bizonyossággal meggyőződve arról, hogy amit láttam, az természeti eredetű. Tudom, a kedves Olvasó okkal csodálkozhat azon, hogy miért meséltem most mégis el ezt a régen látott tüneményt. A magyarázat az, hogy a közelmúltban került a kezembe (jóllehet több mint egy éve megjelent) Kósa-Kiss Attilának „Változó méretű égővörös fény – zivatarfelhőben” c. írása (Kósa-Kiss, 2004). Kósa-Kiss nem ugyanazt a tüneményt látta, mint amit én 1991-ben, de írása mégis rádöbbenett arra, hogy a légkörben nem csak ott és akkor történt zivatarhoz kapcsolódó szokatlan fényjelenség, amiről a fentiekben beszámoltam.

A 15 évvel ezelőtt átélt élménynek és Kósa-Kiss cikkének az az együttes tanulsága a számomra, hogy a modern kor embere általában nem nagyon figyel az őt körülvevő természetre, másrészt, ha olyasmint lát vagy hall, ami az általa korábban tanultakkal nem látszik harmonizálni, akkor hajlamos nem hinni sem a saját szemének, sem a szakmáját féltőn szerető tudósító szavainak.

Dr. Domonkos Péter

Irodalom

Kósa-Kiss A. 2004: Változó méretű égővörös fény – zivatarfelhőben. Léggör, 49/4, 25. és 32.

GYEPEK SZÉN-DIOXID FORGALMÁNAK MODELLEZÉSE

Bevezetés

A meteorológia feladata a légköri folyamatok megismerése, míg az élő és élettelen környezet közötti kölcsönhatások vizsgálatával az ökológia foglalkozik. A két tudományágak látszólag kevés köze van egymáshoz. Van azonban egy fontos érintkezési területük: a talaj-növény rendszer kölcsönhatása a légkörrel. A folyamatok, sokrétűek és összetettek, fizikai, kémiai és biológiai jellegűek.

A számítógépes numerikus modellezés forradalmasította a meteorológiát: lehetővé tette az időjárás és az éghajlat számszerű előrejelzését. A talaj-növény-légkör rendszer meteorológiai vonatkozású modellezésében az energia-, a momentum- és a vízháztartási folyamatokon van a hangsúly. E modelleket biofizikai modelleknek is nevezik. A talaj-növény-légkör rendszer ökológiai alkalmazású modellezésében a momentumátvitel kevésbé érdekes, ugyanakkor az energia- és vízháztartás folyamatainak leírása kiegészül a szén- és a nitrogénforgalom teljes vagy részleges taglalásával. E modelleket már nem biofizikai, hanem biogeokémiai modelleknek nevezik.

A meteorológiai és az ökológiai vizsgálatok legfontosabb kapcsolódási pontja a növényállomány és a légkör közötti anyagcsere, ezen belül a párolgási és szén-dioxid csere folyamatának modellezése. Míg a múltban elsősorban a vegetáció vízháztartása érdekelte a szakembereket, napjainkra a szén-dioxid forgalom alakulása is az érdeklődés homlokterébe került. A légkör szén-dioxid háztartásában, és így a légköri üvegházhatás alakulásában ugyanis a bioszféra meghatározó szerepet játszik. Az ökológiai modellekben a vízgőz és a szén-dioxid

csere együtt vizsgálendő, mert a vízgőzcsere intenzitása meghatározza a szén-dioxid csere intenzitását is.

A légkör szén-dioxid (CO_2) koncentrációja az ipari forradalom előtti 280 ppm-es értékről (ppm: milliomod térfogatrész) mostanra elérte a 380 ppm-et. Napjainkban az emberiség a fosszilis tüzelőanyagok (szén, kőolaj, földgáz) elégetésével évi kb. 6,3 milliárd tonna szenet juttat szén-dioxid formájában a légkörbe, ami a teljes légköri CO_2 mennyiség közel 1%-a. Az erdőirtások során, amellet, hogy évente újabb 1,7 milliárd tonna szén kerül a légkörbe, egyúttal pusztul a CO_2 egyik fő nyelője, a vegetáció (IPCC, 2001). Az antropogén források által kibocsátott szén-dioxidnak csak egy része marad a légkörben, a többit felveszik az óceánok és a bioszféra.

A mérések és a modellszámítások szerint az utóbbi évtizedekben a szárazföldi ökológiai rendszerek növekvő szerepet játszanak a globális szén-dioxid körforgalomban, az antropogén eredetű légköri szén-dioxid felvételében, elsősorban az északi félgömb mérsékelt éghajlati övében (IPCC, 2001).

A bioszféra-talaj rendszer érzékeny széntároló (rezervoár): az éghajlat megváltozására (csapadék, hőmérséklet, besugárzás, stb.) a bioszféra szénforgalma gyorsan és jelentősen megváltozhat, ami az üvegházhatáson keresztül visszahat magára az éghajlatra. Amíg az elmúlt tízezer évben a bioszféra által respirációval leadott és fotoszintézise révén felvett szén mennyisége kiegyenlített volt, addig az utóbbi két-három évtizedben a bioszféra nettó szénfelvevővé vált (McGuire et al., 2001; Cao et al., 2002). Így mérsékli a növekvő szén-dioxid kibocsátással együtt járó légköri kon-

centráció-növekedés ütemét, ezzel az üvegházhatás gyorsabb erősödését, ezen keresztül pedig az éghajlatváltozást. Kérdéses azonban, hogy e labilis szén-rezervoár a hőmérséklet további emelkedésével nem válik-e nettó szén-dioxid forrássá már a közeljövőben? Erre utaló jeleket látunk az 1997 óta folyó hazai mérésekben (Haszpra et al., 2005), de ennek a veszélynek a reális és közeli voltát jelzi a globális légköri szén-dioxid koncentráció növekedésének utóbbi években tapasztalt szokatlanul magas üteme is (<http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg/trends/>), amelyet nem az antropogén kibocsátás növekedése generál.

Amíg nem ismerjük pontosan a bioszféra viselkedését, addig nem tudjuk megbízhatóan előre jelezni a szén-dioxid légköri koncentrációjának változását, és ezen keresztül az éghajlatváltozást. A bioszféra viselkedésének megértéséhez először az ökoszisztémák szintjén bekövetkező szén-dioxid forgalom változás lehetséges okait kell tisztáznunk. Mivel az ökológiai rendszerek szénforgalma számos tényezőtől függ, a működésük megértéséhez fizikai, kémiai és biológiai folyamatok minél pontosabb ismerete szükséges. Ehhez a mérések mellett a legmegfelelőbb eszközként a folyamatok matematikai leírását felhasználó, számítógépes ökoszisztéma modellek kínálkoznak.

Jelen tanulmányban egy ökológiai modell hazai viszonyokra való adaptálásának első eredményeit mutatjuk be.

A talaj-növény-légkör rendszer ökológiai modellezése

Már az 1970-es években megjelentek az ökológiai rendszerek működését szimuláló, közvetlenül a növények fiziológiai folyamatainak

matematikai leírásán alapuló modellek, melyeket elsősorban a legnagyobb széntárolóknak feltételezett erdőségek szénforgalmának leírására fejlesztettek ki. Ezek képesek voltak hozzávetőleg megadni a növények reakcióját a változó környezeti feltételekre. Az utóbbi évek egyik fontos felismerése volt, hogy az erdők mellett az Eurázsiai és Észak-Amerikában jelentős területet borító gyepek ugyancsak fontos szerepet játszhathatnak a globális szén-dioxid körforgalom alakításában, így ezek vizsgálata is nélkülözhetetlen (Suyker and Verma, 2001).

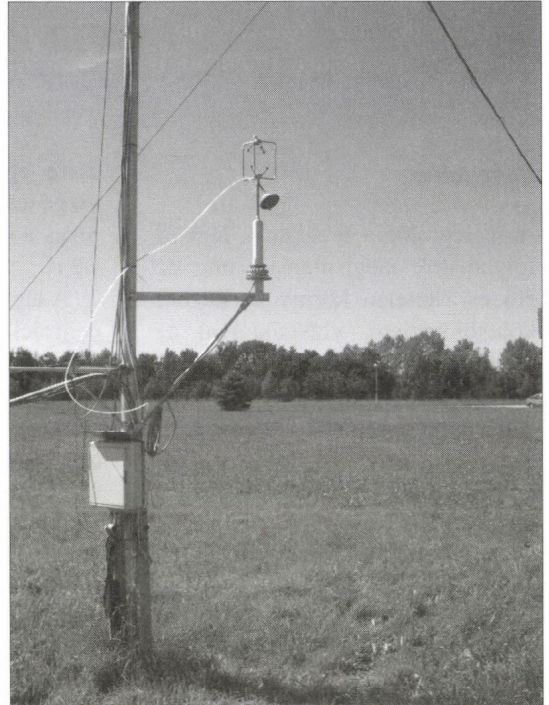
A modellezés nélkülözhetetlen része a számítási eredmények verifikálása, azaz összevetése a megfigyelésekkel. A modellek különböző környezeti feltételekhez, különböző ökológiai rendszerekre való adaptálásához szükség van minél pontosabb helyi mérési adatokra. A nyugat-magyarországi gyepek területek vizsgálatához a hegyhátsági (Vas megye, 46°57'N, 16°39'E, 248 m – Barcza et al., 2003) mérőállomásról állnak rendelkezésre adatok. Itt két éven keresztül (1999–2000) folytak nagy pontosságú, közvetlen anyagáram mérésen alapuló (ún. eddy-kovariancia elven működő) felszín-légkör szén-dioxid csere mérések kvázi-természetes fajösszetételű gyepek felett. Ezek a mérések lehetővé teszik, hogy a világon rendelkezésre álló ökológiai modellek valamelyikét a hazai viszonyokhoz igazítsuk.

A Biome-BGC

Részletes dokumentáltsága és a széleskörű használat során nyert kedvező tapasztalatok miatt hazai célokra a Biome-BGC modellt választottuk. Ezt a modellt az 1990-es években az Amerikai Egyesült Államokban, a Montanai Egyetemen fejlesztették ki (Running and Hunt, 1993; White et al., 2000). Felépítése folytán, megfelelő paramétere-

zés mellett, különböző ökológiai rendszerek működésének leírására is alkalmas. Bár a modell nitrogén- és vízforgalmat is kezel, elsősorban a növényi szénforgalom legfontosabb paramétereinek, az ökológiai rendszer nettó szén-cseréjének (Net Ecosystem Exchange – NEE), a bruttó elsődleges terméknek (Gross Primary Product – GPP) és az ökológiai rendszer teljes respirációjának (Total Ecosystem Respiration – TR) meghatározására használatos.

Az ökológiai modellek adaptációja során komoly probléma, a gyakorta hiányos dokumentáció mellett, hogy a modell által igényelt bemenő paraméterek kisebb vagy nagyobb részének a vizsgált helyszínre vonatkozó értékeit nem ismerjük (White et al., 2000). Ennek a problémának a részbeni kiküszöbölését szolgálja a Biome-BGC ún. spin-up („befutási”, kiegyenlítő) futási módja. A spin-up futás során a modell szimulálja a vizsgált ökológiai rendszer fejlődését. Az ismert adatok és hosszú távú (valós vagy szimulált) meteorológiai adatsorok felhasználásával meghatározza a helyileg nem ismert környezeti és növényélettani paraméterek egyensúlyi értékeit (pl. a talaj szervesanyag-tartalma, a vizsgált ökológiai rendszer szén- és nitrogéntartalma, stb.). Az így kapott értékek feltehetően megközelítőleg jól tükrözik a valóságban is kialakult állapotokat. Az ismert és a spin-up futás során meghatározott paraméterértékeket használja aztán a modell kiindulási adatokként a második, ún. normál futási fázis során, az ökológiai rendszer működésének napi léptékű szimulálásához.



Fűfelszín fölötti eddy kovariancia mérés Hegyhátsálon
(Kern Anikó felv.)

A Biome-BGC magyarországi alkalmazása

A hegyhátsági gyepekre vonatkozóan nem álltak rendelkezésünkre részletes talajtani és növénytani adatok. A tényleges számítások megkezdéséhez ezért nem nélkülözhetjük a Biome-BGC modellt spin-up fázisát. Ez a vizsgált ökológiai rendszer több évtizedes, egyensúlyra törekvő fejlődését szimulálja, amelyhez meteorológiai adatok is szükségesek. Hegyhátságra ilyen hosszú meteorológiai adatsorok sem állnak rendelkezésre, ezért a szimulációhoz a Kelet Anglia Egyetem Klímakutató Csoportjának (Climate Research Unit [CRU], University of East Anglia, Norwich, Egyesült Királyság) hosszútávú, rácsponos éghajlati adatállományának Hegyhátsál körzetére vonatkozó adatait használtuk (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/>; New et al., 2002). A CRU adatbázisa havi átlagértékeket tartalmaz, míg a Biome-BGC használatához napi adatokra van szükség. Virtuális napi adatok előállítására a C2W időjárás-generátort alkalmaztuk,

amely egy sztochasztikus modell révén, Hegyhátsál földrajzi helyzete és a CRU adatbázisából ismert éghajlati jellemzők (átlaghőmérséklet, csapadékösszeg, stb.) ismeretében a havi adatokból virtuális napi adatokat generált (Bürger, 1997).

A *spin-up* fázis során a növényéletlani paramétereket még nem módosítottuk, a modell-dokumentáció ajánlásait alkalmaztuk (White *et al.*, 2000). Az eredeti növényéletlani paraméterekkel és a *spin-up* futtatás során kapott környezeti paraméterek felhasználásával a modell már hozzávetőlegesen jól adta vissza a terepi mérések értékeit, de a korreláció a mért és számított anyagáramok (NEE, GPP, TR) között még a kívánatosnál gyengébb volt. Szembetűnő volt a produktivitás és a téli respiráció túlbecslése. A modell még további finomhangolásra szorult, amit a szaknyelv kalibrációnak nevez.

A kalibráció során a paraméterek értékeinek változtatásával keressük azt a paraméterérték-együttest, amely mellett a modell a leghívebben adja vissza a tesztidőszak mérési eredményeit. Feltételezhető, hogy az így meghatározott paraméterértékekkel a mérések által már le nem fedett időszakokra is jó közelítéssel a valóságnak megfelelő eredményeket kapunk, azaz a modell alkalmas a vizsgált ökológiai rendszer viselkedésének elfogadható pontosságú szimulálására.

A Biome-BGC, más folyamat-orientált ökológiai modellekhez hasonlóan, sokparaméteres, erősen nemlineáris rendszer. A paraméterek értékeinek egyenkénti, egymás utáni behangolása jó eséllyel nem vezet el az optimális paraméterérték készlethez. A számításokat tehát elvben minden ésszerű paraméterérték-kombinációra el kellene végezni, ami egy ilyen sokparaméteres rendszer esetében irreális feladat lenne.

Első lépésként az egyes paraméterek értékeit külön-külön mó-

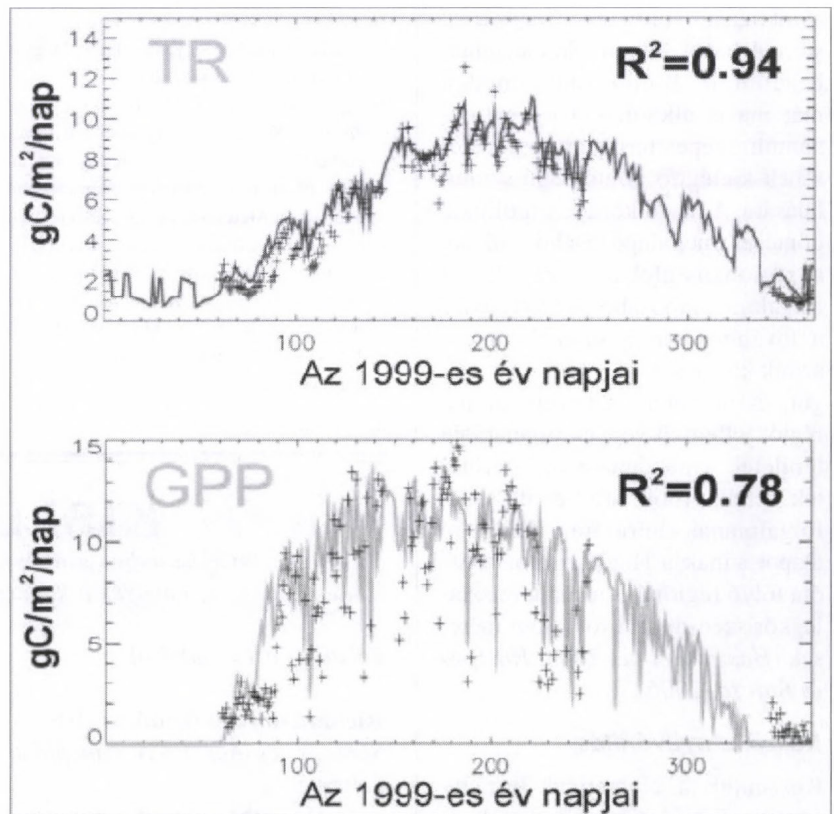
dosítottuk, és kiválasztottuk azokat a paramétereket, amelyek módosítására a modell-eredmény lényegesen megváltozott (érzékenység-analízis). A kalibrációt a továbbiakban csak ezekre a paraméterekre végeztük. A többi paraméter értékére a modell nem érzékeny, az értékek esetleges pontatlansága az eredményeket lényegesen nem befolyásolja. A Biome-BGC növényéletlani paraméterei közül a modell a sztóma vezetőképességére* bizonyult a legérzékenyebbnek. Ennek magyarázata abban rejlik, hogy a sztóma vezetőképessége erősen befolyásolja a növényi produktivitást, és ezen keresztül az ökológiai rendszerek szénháztartását.

A modell-kalibráció egyik lehetséges matematikai megvalósítási módja a Bayes-féle statisztikai közelítés (Mosegaard and Tarantola, 1995; Kennedy and O'Hagan, 2001). A Bayes-féle kalibráció bár-

milyen matematikai modellre alkalmazható, de előnyei igazán az olyan erősen nemlineáris, sok paraméterrel rendelkező, komplex modellek esetén érvényesülnek, mint amilyenek a folyamat-orientált ökológiai rendszer modellek is.

A Bayes-féle kalibráció során az érzékenység analízissel kiválasztott paraméterek értékeit – az ésszerű tartományokon belül – véletlenszerűen kombináljuk, és az ezekkel a kiindulási értékekkel végzett modellszámítások eredményeit összehajlítjuk a mérési adatokkal.

A kalibrációs eljárás nyomán lényegesen megnőtt a számított és a mért adatok közti korreláció (1. ábra), csökkent a produktivitás téli túlbecslése. A kalibrált modell meglehetősen pontossággal visszaadja a vegetációs periódus kezdetén megfigyelhető hirtelen produktivitás-növekedés. A kalibrációt követően a Biome-BGC modell lényegében alkalmassá vált arra,



1. ábra: A hegyhátsáli kvázitermészetes fajösszetételű gyep mért (+) és a Biome-BGC modell kalibrált változatával számított (folytonos vonal) teljes respirációja (TR - fent), valamint bruttó elsődleges terméke (GPP - lent) 1999-re vonatkozóan

hogy segítségével megvizsgálhasuk a környezeti tényezőkben bekövetkező esetleges változásoknak (pl. éghajlatváltozás, változás a tápanyag-ellátottságban, stb.) az ökológiai rendszerekre, illetve azok szénháztartására gyakorolt hatását.

Összefoglalás

Az éghajlat-modellezés az ökológiai visszacsatolások figyelembevételével, azaz a fizikai folyamatok mellett a biológiai és kémiai folyamatok számszerűsítésével, pontosabbá válik. Ugyancsak nem elhanyagolható szempont, hogy az ökológiai rendszerek folyamatainak modellezése révén közvetlen gazdasági jelentőségű információkhoz is juthatunk. Vizsgálhatjuk a növényi produktivitás változását a környezeti tényezők változásának függvényében, beleértve ez utóbbi-ba mind az éghajlati változásokat, mind pedig a közvetlen emberi beavatkozást (öntözés, trágyázás, stb.). A hazai viszonyokra adaptált, bekalibrált Biome-BGC modell már ma is alkalmas a nyugat-dunántúli gyepes területek viselkedésének kielégítő pontosságú szimulálására. A hazai környezetpolitikai döntések megalapozásához, illetve a regionális/globális szén-dioxid forgalom alaposabb megértéséhez a továbbiakban a modellt igyekszünk kiterjeszteni a Magyarországot, és általában a közép-európai régiót jellemző vegyes vegetációjú területek (mezőgazdasági területek, rétek, erdők, stb.) eredő szénforgalmának leírására. Ehhez jó alapot adnak a Hegyhátsálon 1997 óta folyó regionális skálájú felszín-légkör szén-dioxid forgalom mérések (Haszpra et al., 2005; Haszpra és Barcza, 2005).

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a Numerical Terradynamics Simulation Groupnak, a Montanai Egyetem fejlesztőinek, hogy rendelkezésünkre bocsátották

a Biome-BGC és a MTCLIM modelleket (<http://www.ntsg.umt.edu>), illetve Gerd Bürgernek, hogy elérhetővé tette számunkra a C2W program forráskódját. Köszönjük Ács Ferencnek (ELTE Meteorológiai Tanszék) értékes tanácsait.

Hidy Dóra, Barcza Zoltán
ELTE Meteorológiai Tanszék
Haszpra László OMSZ
Galina Churkina
Max Planck Institute for
Biogeochemistry, Jena

Irodalomjegyzék

- Barcza, Z., Haszpra, L., Kondo, H., Saigusa, N., Yamamoto, S. and Bartholy, J., 2003: Carbon exchange of grass in Hungary. *Tellus*, 55B: 187-196.
- Bürger, G., 1997: On the disaggregation of climatological means and anomalies. *Climate Research* 8, 183-194.
- Cao, M., Prince, S. D., and Shugart, H. H., 2002: Increasing terrestrial carbon uptake from the 1980s to the 1990s with changes in climate and atmospheric CO₂. *Global Biogeochemical Cycles* 16, 1069-1082
- Haszpra L. és Barcza Z., 2005: Légköri szén-dioxid mérések Magyarországon. *Magyar Tudomány* 50/1, 104-112.
- Haszpra, L., Barcza, Z., Davis, K. and Tarczay, K., 2005: Long term tall tower carbon dioxide flux monitoring over an area of mixed vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology* 132, 58-77.
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. (eds. J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson). Cambridge University Press, Cambridge, U.K. and New York, U.S.A.

Kennedy, M. and O'Hagan, A., 2001: Bayesian calibration of computer models. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*. 63, 425-464.

McGuire, A. D., Sitch, S., Clein, J. S., Dargaville, R., Esser, G., Foley, J., Heimann, M., Joos, F., Kaplan, J., Kicklighter, D. W., Meier, R. A., Melillo, J. M., Moore, B. I., Prentice, I. C., Ramankutty, N., Reichenau, T., Schloss, A., Tian, H., Williams, L. J., and Wittenberg, U., 2001: Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of CO₂, climate and land use effects with four process-based ecosystem models. *Global Biogeochemical Cycles* 15, 183-206.

Mosegaard, K., and Tarantola, A., 1995: Monte Carlo sampling of solutions to inverse problems.

Journal of Geophysical Research 100B, 12431-12447.

New, M., Lister, D., Hulme, M. and Makin, I., 2002: A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*, 21, 1-25.

Running, S. W. and Hunt, E. R. J., 1993: Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, Biome-BGC, and an application for global-scale models. In: *Scaling physiological processes: leaf to globe* (eds.: Ehleringer, J. R. and Field, C. B.). Academic Press, San Diego (CA), 141-158.

Suyker, A. E. and Verma, S. B., 2001: Year-round observations of the net ecosystem exchange of carbon dioxide in a native tall grass prairie. *Global Change Biology* 3, 279-290.

White, M. A., Thornton, P. E., Running, S. W. and Nemani, R. R., 2000: Parameterization and sensitivity analysis of the Biome-BGC terrestrial ecosystem model: net primary production controls. *Earth Interactions* Vol. 4, 1-85.

KISLEXIKON

[Cikkeinkben csillag jelzi azokat a kifejezéseket, amelyek a kislexikonban szerepelnek]

Folytatás a 19. oldalról

Richardson kaszkadikus elve

Seres A. és Ács F.: *A szinoptikus helyzetek...*

A légkörben, mint egymással súrlódó, különböző méretű örvények összességével jellemezhető

közegben a mozgási energia folyamatos átalakulása a nagyobb kiterjedésű mozgásformáktól a hierarchia alacsonyabb lépcsőjén elhelyezkedő kisebb örvények irányába, egészen a molekuláris skáláig.

Összeállította: Gyuró György

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

Rovatvezető: Maller Aranka

Rendezvényeink 2006. július 1–október 31 között

Választmányi ülés: 2006. október 5.

Napirend:

1. A Vándorgyűlés, valamint az Erdő és klíma konferencia programjának véglegesítése
2. Kapcsolat az Amator Meteorológusok Egyesületével
3. Kapcsolat a magánmeteorológusokkal
4. Javaslattevő bizottságok felkérése (Steiner, Nívódíj, Róna, Berényi)
5. Folyó ügyek
6. Tagfelvétel

Felvett tagok: Dombai Ferenc, Énekes Nóra Andrea, Hollósi Brigitta, Juhász Ágota, Pomázi István, Teleki Valter

Előadó ülések, rendezvények: 2006. október 25-27.

A Magyar Meteorológiai Társaság XXXI. Vándorgyűlése és az V. Erdő és klíma konferencia rendezvényre Mátrafüreden került sor.

A rendezvényről bővebben a következő számban olvashatnak.

Köszönet az 1%-ért!

Az 1996. évi CXXVI. törvény feljogosította az adózó állampolgárokat, hogy személyi jövedelemadójuk 1%-át az általuk megjelölt közcélú intézmény javára átutaltathassák az APEH-hel.

Örömmel jelentjük, hogy a 2005. évi bevallásaikban a Társaságunknak ajánlott 1%-ok összesen **374.196.- Ft**-ot tettek ki, amit az APEH át is utalt számunkra.

Ezúton fejezzük ki köszönetünket a támogatásért.

Elszámolás a 2004. évi SZJA-ból felajánlott 1%-ról

A 2004. évi adóbevallásban újból lehetett felajánlani a befizetendő SZJA 1%-át azon társadalmi szervezetek részére, akik megfeleltek a törvény által előírt követelményeknek. Örömmel tudatjuk kedves tagtársainkkal, hogy társaságunk megfelelt az előírásoknak és meg is kapta az Önök által felajánlott, összesen **329.215.- Ft**-ot. A felajánlott összeget a 2005. évi postaköltségekre és az Internet elofizetésre használtuk fel.

Mégegyszer nagyon köszönjük a felajánlást és reméljük, hogy ebben az évben is sokan nekünk adják személyi jövedelemadójuk 1%-át, ennyivel is könnyítve nehéz anyagi helyzetünkön.

Az MMT Elnöksége

HUNGEO 2006

Augusztus 21. és 25. között nyolcadszorra került megrendezésre a magyar földtudományi szakemberek világtalálkozója „Energiahordozók nyomában – Pannon tájakon” címmel. A helyszín ezúttal Pécs, a Pécsi Tudományegyetem volt. Nagy megtiszteltetés, hogy Sólyom László, a Magyar Köztársaság elnöke elvállalta a konferencia fővédnökségét.

A konferenciát hagyományosan a Magyarhoni Földtani Társulat rendezte, de szervezésében több, földtudományokban érdekelt tudományos társaság (így a meteorológiai) is részt vett. Az OMSZ anyagi támogatással járult hozzá a lebonyolításhoz.

A találkozó 140 résztvevője közül legtöbben a határokon belüli szakemberek voltak, de közel harmincan érkeztek Erdélyből, Kárpátaljáról, a Délvidékről és más országokból is.

Az első napon a plenáris előadások zajlottak. Közülük kettő volt meteorológiai témájú. Geresdi István, a Pécsi Tudományegyetem Környezettudományi Intézetének tanszékvezető docense „Az aeroszolrézecskek hatása a Föld éghajlatára” címmel tartott előadást, míg Horváth Ákos, az OMSZ Siófoki

Viharelőrejelző Observatóriumának munkatársa a „Pusztító légköri energiákról” beszélt. Előadásának szomorú aktualitást adott az előző esti (augusztus 20-i) budapesti vihar, ezért korábbi terveit kiegészítve erről az eseményről is tartott nagyon érdekes, látványos beszámolót.

A következő napon, augusztus 22-én a szekció ülésekre került sor. Az összesen hat szekció között jelentős súllyal szerepelt a meteorológia, 11 előadás hangzott el, és 7 poszter készült. Az előadások témája részben a címadó energiahordozókkal (elsősorban a szélenergiaival) vagy az energiatermelés kapcsán a levegőszennyezettséggel volt kapcsolatos, de voltak olyanok is, melyek az éghajlatváltozással vagy különböző meteorológiai paraméterek elemzésével foglalkoztak.

Az elhangzott előadások:

Bihari Zita, Szentimrey Tamás, Birszki Bálint: Széltérképek készítése a MISH interpolációs rendszerrel
Dobi Ildikó, Németh Ákos, Varga Bálint, Tarjányi Zsuzsanna: A szélenergia hazai hasznosításának elősegítése meteorológiai információkkal

Radics Kornélia, Bartholy Judit: A hazai szélklíma szélsőségeinek elemzése

Lakatos Mónika: A fűtési energiaigényt befolyásoló hőmérsékleti paraméterek alakulása 1901–2005 között

Labancz Krisztina: Az energiahordozók környezeti hatásai: a hazai levegőtisztasági alapterhelés meghatározása

Horváth László, Weidinger Tamás: A bioszféra-légkör közti nyomanyag-kicserélődéssel kapcsolatos kutatások az Országos Meteorológiai Szolgálatnál; összefoglaló az utóbbi húsz év eredményeiről

Mika János: Az éghajlat múltjának és jövőjének kutatása: mit tanulhatunk egymástól?

Bartholy Judit, Pongrácz Rita, Hunyady Adrienn, Torma Csaba: A PRECIS és a RegCM regionális klímamodellek adaptálása Közép- Kelet-Európa térségére

Pongrácz Rita, Bartholy Judit, Pattantyús-Ábrahám Margit, Pátkai Zsolt: Az Atlanti-Európai térség cirkulációs viszonyainak elemzése 1957-2002 között

Molnár József, Kakas Mónika, Marguca Viola: A hősziget sajátosságai egy kisvárosban – beregszászi vizsgálatok alapján

Péliné Németh Csilla, Radics Kornélia: Magyarországi ködviszonyok statisztikai elemzése

A bemutatott poszterek:

Drüszler Áron, Csirmaz Kálmán, Mika János: A felszínhasználat dokumentált magyarországi változásainak hatása az éghajlatra az MM5 finom felbontású modell alapján

Kern Anikó, Bartholy Judit, Pongrácz Rita, Barcza Zoltán, Gelybó Györgyi, Ferencz Csaba: A légköri vízgőz származtatása NOAA AVHRR, ATOVS és MODIS adatok alapján

Mika János, Máthé Csongor, Schlanger Vera: Az éghajlati átlagok és a változékonyság várható változásai 17 GCM eredményei alapján

Pongrácz Rita, Bartholy Judit: Detektálható éghajlati trendek a hazai növénytermesztést befolyásoló klímaparaméterek alapján

Radics Kornélia, Bartholy Judit: A potenciális szelenergia változékonysága Magyarországon

Szalai Sándor, Bihari Zita, Lakatos Mónika, Szentimrey Tamás: Magyarország éghajlata néhány jellemzőjének bemutatása új matematikai statisztikai eszközök alkalmazásával

Schlanger Vera, Bella Szabolcs, Szalay Sándor: Az ESPERE internetes Éghajlati Enciklopédia

A meteorológiai előadásokat általában nagy létszámú közönség hallgatta, többen jöttek más szekciók résztvevői közül is.

A találkozó további három napján szakmai terepbejárást szerveztek Baranyában és Horvátországban.

Bihari Zita

* * *

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT KÖZLEMÉNYE

Az Országos Meteorológiai Szolgálat Elnöksége – a 6/2003. (IV.28.) KvVM rendelet alapján – a *Meteorológiai Világnap* alkalmából, (2007. március hó 23.) **miniszteri elismerések** adományozására kíván előterjesztést tenni.

Ennek megfelelően a hazai és a nemzetközi meteorológia területén kimagasló tudományos kutatások és szakmai eredmények elismerésül két *Schenzl Guidó-díj*, valamint négy *Pro Meteorologia Emlékplakett* adományozására kerülhet sor.

A Szolgálat Elnöksége felhívja a szakmai, tudományos és társadalmi szervezeteket, egyesületeket, kamarákat, gazdálkodó szervezeteket, intézményeket, önkormányzatokat, valamint a meteorológia iránt érdeklődést tanúsító magánszemélyeket, hogy az elismerésekre tegyék meg javaslatukat.

A javaslatokat **2007. január hó 23.** napjáig kell, az Országos Meteorológiai Szolgálat Elnöki Irodájára, a személyügyi referensnek eljuttatni. **(1024 Budapest, Kitaibel Pál u. 1).**

A javaslatnak tartalmaznia kell a jelölt *nevét, személyi adatait, munkahelyét, beosztását, tudományos fokozatát, korábbi kitüntetéseit, továbbá szükséges ismertetni az indítványt megalapozó eredményeket is.*

Az elismerések adományozására beérkezett javaslatokat az erre a célra alakult bizottság értékeli, amelyben a Szolgálaton kívül képviselteti magát a Magyar Honvédség Meteorológiai Hivatala, a Magyar Tudományos Akadémia, az ELTE Meteorológiai Tanszéke, valamint a Magyar Meteorológiai Társaság.

Az elismeréseket a *miniszter* vagy megbízottja a Meteorológiai Világnapon ünnepélyes keretek közt adja át.

**Országos Meteorológiai Szolgálat
Elnöki Iroda**

* * *

2006 NYARÁNAK IDŐJÁRÁSA

Június időjárására kettősség volt jellemző: a hónap első felében az átlagnál 5-6 fokkal hidegebb, 14-től kezdve azonban a megszokottnál esetenként 6-8 fokkal is melegebb volt az idő. Június végén nagy viharokkal érkezett a lehűlés, a hónap középhőmérséklete azonban összességében az átlagnál 0,9 fokkal magasabb volt, 19°C-nak adódott.

A hónap végi kánikula miatt 22-től kezdve közel egy hétig hőségriadó volt érvényben az ország területén, de nappali csúcshőmérsékleti rekord nem született. 26-án éjszaka megdőlt a július 26-ára vonatkozó éjszakai melegrekord: Budapesten 23,1 °C-os éjszakai minimumhőmérsékletet regisztráltak (a korábbi rekord 21,5°C volt).

Országszerte 15-19 nap volt nyári; hőségnap a középső-déli országrészben 10-14, a hegyvidéki területeken 0-3 alkalommal fordult elő. Forró napot csak hazánk középső területein regisztráltak, 1-2 alkalommal.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 36.7 °C Fülöpháza (Bács-Kiskun megye) június 27.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: 0.1 °C Zabar (Nógrád megye) június 1.

Június, folytatva az év eleje óta tartó tendenciát, közel 30%-kal csapadékosabb volt mint a sokévi átlag. Amíg azonban az ország középső részén a szokásos csapadékmennyiség 150-230%-a hullott le, az északkeleti valamint északnyugati vidékeken helyenként a normálértéket sem érte el a csapadékhozam.

A hónap eleji nagy esőzések, valamint a május végi nagy csapadékok június első felében komoly áradásokat okoztak országszerte, a hónap végén pedig hirtelen lezúduló, nagy mennyiségű csapadékot szállító lokális esőzések változtattak sártengerré egész városrészeket Budapesten.

Június 22-én Miskolcon tornádót észleltek, a június végi viharos időjárás következtében pedig több patak kilépett a medréből, a szél fákat tépett ki, tetőket rongált meg.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 260 mm Rákócscaba (Budapest)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 38 mm Üröm (Pest megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 107 mm Nógrádszakál (Nógrád megye) június 27.

107 mm Rákócscaba (Budapest) június 22.

Július mintegy 3 fokkal melegebb volt a sokévi átlagnál, középhőmérséklete országos átlagban 22,8°C-nak adódott. Legtöbb helyen a hónapnak mindössze 4 napján csökkent átlag alá a napi középhőmérséklet, július túlnyomó többségében a szokásos napi középértéket 3-6 fokkal meghaladó hőmérsékleteket regisztráltak. A hónap során a kánikula miatt többször rendeltek el hőségriadót, mégis mindössze egy melegrekord született: Budapesten július 22-én 36,9 Celsius fokot mértek (a korábbi rekordot, 36 °C-ot 1998. július 22-én regisztrálták).

Júliusban a hegyvidékek kivételével 26-28 nap volt nyári, és 15-22 nap volt hőségnap. Forró napot az országnak csak néhány pontján regisztráltak, 1-5 alkalommal.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 36.9 °C Budapest július 22.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: 5.3 °C Zabar (Nógrád megye) július 16.

Július, megszakítva az éve eleje óta tartó tendenciát, csapadékszegényebb volt mint az átlag: az ilyenkor szokásos csapadékmennyiségnek csak a fele hullott le a hónap folyamán. Az ország nyugati felében volt nagyobb a szárazság, ott a havi csapadékmennyiség helyenként mindössze 30%-a volt a sokévi átlagnak, míg a legcsapadékosabbnak a keleti országrész bizonyult, ahol a normál 70%-a is lehullott.

A hőséget néhol jégeső és heves vihar váltotta. Július 22-én egy ember meghalt és három megsebesült, amikor a viharos szél leszakított egy világító transzparenst. Júliusban többször fordult elő jégzáró is, de hirtelen lezúduló nagy csapadékok is komoly károkat okoztak. Július 24-én egy heves záport követően 70 tonna iszapot kellett a budai utakról eltávolítani.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 95 mm Penc (Pest megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 5 mm Pátyod (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 54 mm Kecskemét (Bács-Kiskun megye) július 24.

Augusztus középhőmérséklete elmaradt a sokévi átlagértéktől, az anomália ugyanakkor országon belül nem volt egyenletes. Az északkeleti országrészben a hónap csak 0,3-1 fokkal, a délnyugati régióban viszont helyenként 1,6 fokkal is hűvösebb volt az ilyenkor megszokottnál.

Augusztus nagy részében átlag alatt alakultak a napi középhőmérséklet értékek, több napig tartó meleg időszakra csak a 20-át megelőző héten volt példa. 20-án este aztán komoly viharral érkezett meg a lehűlés, Budapesten a 120 km/órát meghaladó (orkán erejű) szellőkések következtében 5 ember veszítette életét, az anyagi kár milliárdos volt.

Augusztusban forró nap nem volt, ahogy a hegyvidéki területeken és a nyugati régióban hőség nap sem fordult elő. Az ország középső és keleti területein 3-5 hőség napot, és 10-20 nyári napot regisztráltak augusztusban, a nyugati vidékeken 5-10 nap volt nyári.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 34.3 °C Körösszakál (Hajdú-Bihar megye) augusztus 20.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: 4.0 °C Zabar (Nógrád megye) augusztus 30.

Augusztus csapadékhozama több mint másfélszerese volt a sokévi átlagnak, jórészt nagy csapadékot adó lokális zivataroknak köszönhetően. Ennek megfelelően a csapadékhozam átlagtól való eltérése igen változatosan alakult az országon belül: egyes területeken a normálérték kevesebb mint 150%-a, máshol közel 300%-a hullott le a hónap folyamán.

A hónap legnagyobb napi csapadékhozamát augusztus 1-jén regisztrálták, amikor Budapesten és vonzáskörzetében egy nap alatt 70-90 mm csapadék hullott (az augusztus havi átlagos csapadékhozam 76 mm).

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 220 mm Záhony (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

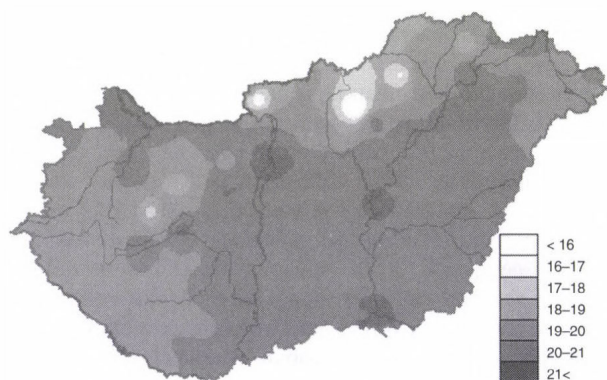
A hónap legkisebb csapadékösszege: 52 mm Drégelypalánk (Nógrád megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 93 mm Isaszeg (Pest megye) augusztus 1.

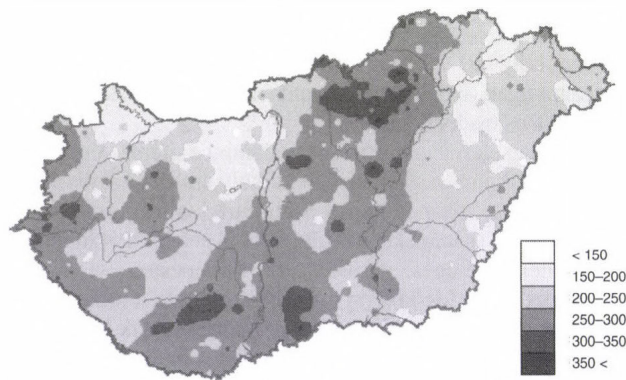
Schlanger Vera

2006. nyár

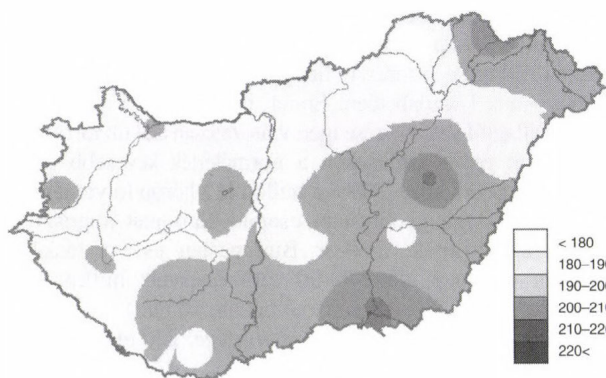
állomások	napsütés (óra)		hőmérséklet (°C)						csapadék (mm)			szél
	évsz.össz.	eltérés	évsz.közép	eltérés	absz.max.	napja	absz.min	napja	évsz.	összátlag%-ában	1mm<napok sz.	viharos napok
Szombathely	744	26	19,6	1,2	34,6	2006.07.22	2,7	2006.06.01	236	104	30	7
Nagykanizsa	788	38	19,4	0,5	34,6	2006.06.27	2,2	2006.06.01	275	113	28	5
Győr	795	25	20,6	1,2	35,3	2006.07.21	6,6	2006.06.01	175	97	24	3
Siófok	862	64	21,5	1,3	34,6	2006.06.26	9,7	2006.06.06	211	111	20	18
Pécs	789	-31	20,6	0,8	34,0	2006.06.27	7,0	2006.06.11	245	118	24	6
Budapest	865	88	21,3	1,3	36,5	2006.07.22	5,8	2006.06.01	344	207	21	8
Miskolc	795	80	19,9	0,8	32,6	2006.07.21	5,2	2006.06.01	247	118	31	7
Kékestető	742	-9	15,0	0,9	26,6	2006.07.22	3,1	2006.06.01	344	129	32	6
Szolnok	762	-41	21,4	1,3	35,4	2006.07.22	7,0	2006.06.01	345	202	31	-
Szeged	813	4	20,7	0,6	34,3	2006.07.21	3,7	2006.06.01	217	121	24	8
Nyíregyháza	-	-	20,1	0,6	34,1	2006.07.21	7,2	2006.06.01	268	130	26	11
Debrecen	831	38	20,5	1,0	33,6	2006.07.21	6,3	2006.06.01	192	93	28	7
Békéscsaba	852	44	20,7	0,6	34,6	2006.06.27	4,9	2006.06.01	231	129	32	5



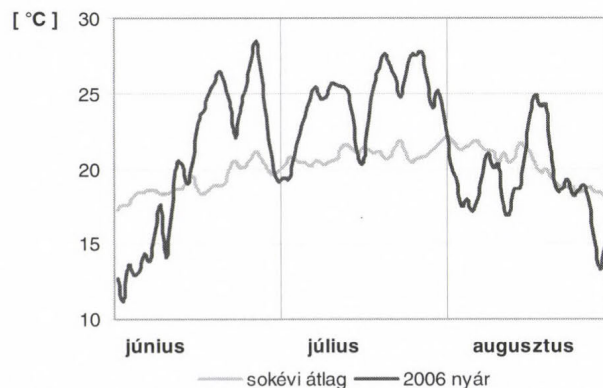
1.ábra: A nyár középhőmérséklete °C-ban



2.ábra: A nyár csapadékösszege mm-ben



3.ábra: A nyár globálsugárzás összege MJ/cm²-ben



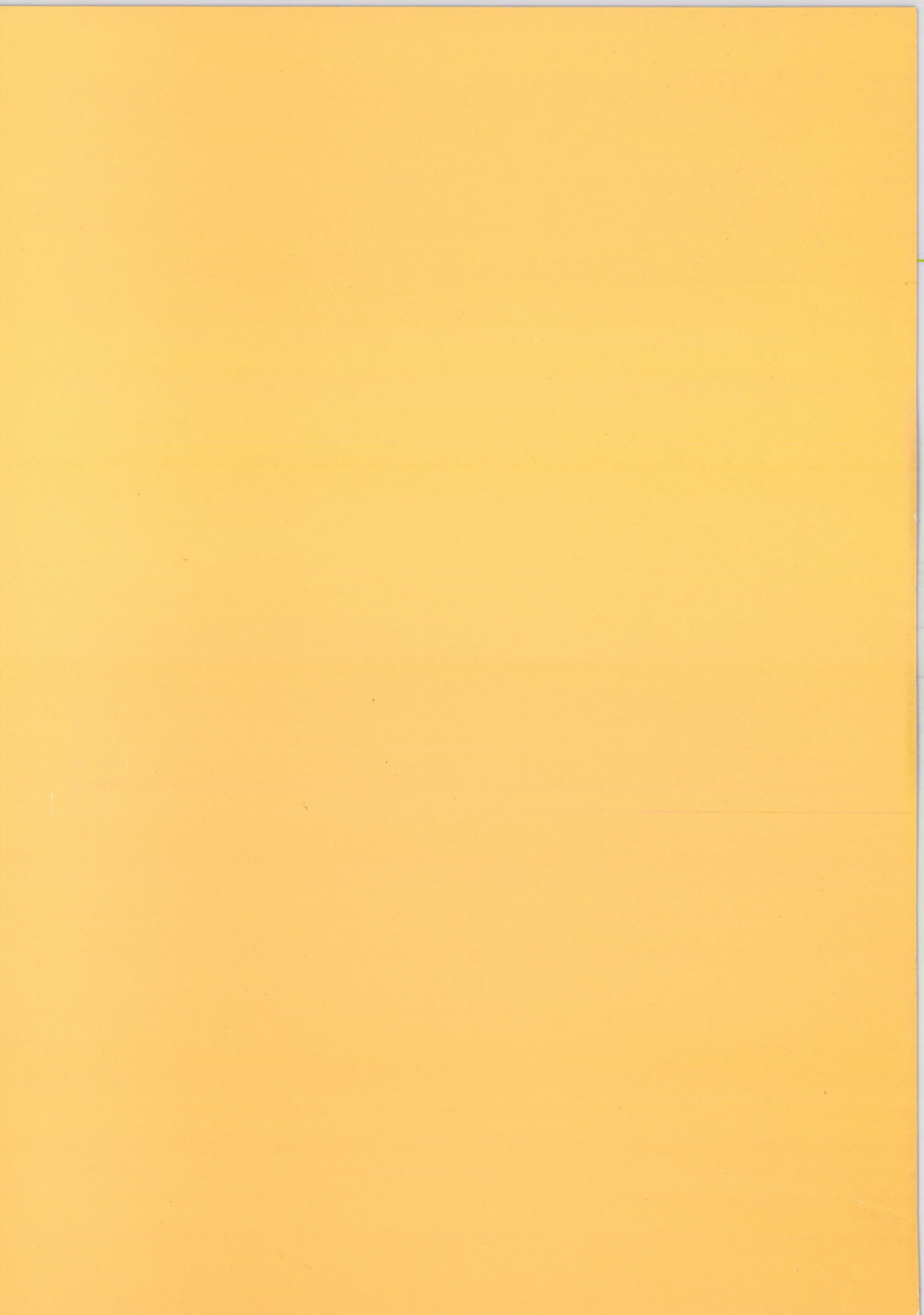
4.ábra: A nyár napi középhőmérsékleteinek eltérése az átlagtól °C-ban

EXNER, Felix, Max

(Bécs, 1876. augusztus 23. – Bécs, 1930. február 7.)



Szülővárosában járt gimnáziumba és egyetemre, 1900-ban avatták doktorrá matematika-fizika szakból, egy-egy félévet hallgatott Berlinben és Göttingenben, 1901-ben mint asszisztens belépett a bécsi meteorológiai intézetbe, 1902-ben lett adjunktus és 1904-ben a meteorológia magántanára az egyetemen. 1904–05-ben egyévi szabadságot kapott és tanulmányútra ment az USA-ba és Indiába, 1907-ben a meteorológiai intézet titkára lett, 1910-ben az innsbrucki egyetemen a kozmikus fizika rendkívüli tanárává és a ZAMG igazgatójává nevezték ki. A bécsi Tudományos Akadémia 1920-ban levelező tagjává, 1922-ben rendes tagjává választotta. A ZAMG 75 évi fennállásának ünnepén udvari tanácsosi címet kapott. Exner kiváló elméleti kutató volt, jelentős irodalmi tevékenységet fejtett ki. 1916-ban jelentette meg egyik legjelentősebb munkáját a „Dynamische Meteorologie”-t. E művében a légkör dinamikájának elméleti fizikai alapokon nyugvó összefoglalását adta, kiemelve Margules alapvető eredményeit. Könyvének második kiadásában, 1925-ben már vázolta a Bjerknes nevéhez fűződő, bergeni iskola frontológiai elméleti megállapításait és eredményeit. Második nagy munkája a „Meteorologische Optik”, amelyet Pertnerrel közös néven jelentetett meg, aki betegsége miatt a kötetet már nem fejezhette be. Richardson angol meteorológus 6 órás időközökre vonatkozó numerikus időprognózis kísérleteivel kapcsolatosan idézte fel 16 évvel korábbi saját próbálkozásait, illetve a kényszerű egyszerűsítések miatti eredménytelenségét. 1910-ben az angol meteorológusok eredményei alapján kezdte meg a korreláció számítások alkalmazását és 1913-ban már meg is jelentette első nagyobb tanulmányát „Monatliche Witterungsanomalien auf der nördlichen Erdhälfte in Winter” címmel. Életének utolsó 20 évében figyelmét leginkább a ciklonok származása és az általános légkörzésre vonatkozó vizsgálatok kötötték le.



L É G K Ö R

51. évfolyam

2006. 4. szám





POLGÁRI LÉGIKÖZLEKEDÉSI HATÓSÁG
Mint
NEMZETI FELÜGYELETI HATÓSÁG
(NSA)
MAGYARORSZÁG, EURÓPAI UNIÓ

TANÚSÍTVÁNY

Az Európai Parlament és a Tanács 550/2004/EK Rendelete,
valamint a Bizottság 2096/2005/EK Rendeletének értelmében, a
Polgári Légiközlekedési Hatóság, mint Nemzeti Felügyeleti Hatóság (NSA)
ezennel tanúsítja, hogy az

Országos Meteorológiai Szolgálat

mint léginavigációs szolgáltató, megfelel az alább felsorolt szolgáltatásokra
vonatkozó Közös Követelményeknek, ezért alkalmas azok ellátására.


A tanúsítvány az alábbi tevékenységi körre érvényes:

Meteorológiai Szolgáltatások az ICAO Annex 3 szerint:
TAF, TREND FORECAST, SIGMET + GAMET + AIRMET valamint
alacsonyszintű SIGWX térkép Közép-Európára.

Jelen Tanúsítvány érvényes:
2008-09-30

A Tanúsítvány Referencia száma: HU-001-MET

Budapest, 2006-09-., 12. „


Fejéregyházi László
PLH Igazgató



Budapest, 2006-09-., 13. „


Törőcsik József
NSA Vezető Auditor

LÉGKÖR

51. évfolyam
4. szám

Felelős szerkesztő:
Dr. Ambrózy Pál
a szerkesztőbizottság
elnöke

Szerkesztő bizottság:
Dr. Bartholy Judit
Bihari Zita
Bóna Márta
Dr. Gyuró György
Dr. Haszpra László
Dr. Hunkár Márta
Ihász István
Németh Péter
Dr. Putsay Mária
Szudár Béla
Tóth Róbert

ISSN 0133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Dunkel Zoltán
az OMSZ elnöke

Készült:
Az **FHM Kft.**
nyomdájában
800 példányban

Felelős vezető:
Modla Lászlóné

Évi előfizetési díja 1380 Ft

Megrendelhető
az OMSZ Pénzügyi Osztályán
Budapest, Pf.: 38. 1525

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI
SZOLGÁLAT ÉS A MAGYAR
METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

TARTALOM

A címlapon: Lencsefelhők (*Ac lenticularis*) Korzika (Saint Florent) fölött
2006. augusztus 23-án. *Dr. Putsay Mária* felvétele.

Ambrózy Pál és Mezősi Miklós: Interjú Dr. Böjti Bélával	2
Unger János, Gál Tamás, Geiger János: A városi felszín és a hősziget kapcsolata Szegeden 2. rész	8
Götz Gusztáv: Turbulencia, káosz, pillangóhatás	15
KISLEXIKON	22
Radics Kornélia: Dr. Hille Alfréd életútja, munkássága	23
Horváth Ákos: A 2006. augusztus 20-i budapesti vihar időjárási háttere	24
Bonta Imre, Homokiné Ujvári Katalin: 2005 nagy csapadékos helyzetei a valószínűségi előrejelzések tükrében	27
Fövényi Attila: Egy szokatlan időjárási jelenség Budapesten	32
Bartha Imre, H. Zsikla Ágota: 2006. évi balatoni és velencei-tavi vihar-előrejelzésről és viharjelzésről	35
Emlékezés Bártfai Erzsébetre, Kőrösi Györgyre és Zorn Józsefre	39
Gyuró György: Felméry László köszöntése 75. születésnapja alkalmából	41
Kitüntetések	41
A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI	42
Gyuró György: Aranyoklevelek átadása az ELTE-n	42
Schlanger Vera: 2006 őszeének időjárása	43

INTERJÚ DR. BÖJTI BÉLÁVAL



Elsőként kezdjük családi körülményeiddel, iskolákkal, pályaválasztással!

Köszöntöm az olvasót; a zalai falvakban ugyanis, gyermekkoromban, előre köszöntünk. 1933-ban születtem Nagykanizsán. Felmenőim gazdálkodók voltak, „fűzfa-nemesek”; sok-sok gyerekkel a családban. Édesapám katonai pályára került, két világháborúban harcolt hősiessé, az adott korszak követelményei szerint. Katonai pályafutása azonban 1943 februárban tragikus véget ért: a Délvidéken, Csáktornya környékén a partizánok lelőtték. Hárman voltunk testvérek, én a legkisebb, s attól kezdve édesanyám három árvát nevelt. Apámat katonai pompával temették és a búcsúztatás után a hadtest parancsnoka közölte édesanyámmal: „Asszonyom, az árvákról természetesen gondoskodunk!”. Így kerültem tíz éves koromban Kőszegre, a *M. Kir. Hunyadi Mátyás Katonai Nevelőintézetbe*. Az intézmény most ünnepelte fennállásának 150. évfordulóját; múzeuma örzi anyámhoz írt egyik levelemet és a derékszíjamat.

1945-ben, a háború végén, megszűnt a katonai nevelés, ekkor Nagykanizsán, a Piarista Gimnáziumban folytattam tanulmányaimat. Az átmenet a polgári életbe zökkenőkkel járt: mindjárt az elején latin-

50 éve épült fel a Siófoki Viharjelző Observatórium: 1956. december 31-én történt az épület műszaki átadása. A nevezetes évforduló alkalmából érdemes felidézni a LÉGKÖR 1957. évi 1. számát, amelyben – az Observatóriumot megálmodó és annak építését szó szerint kiharcoló – Zách Alfréd helyettes igazgató írja ELKÉSZÜLT A SIÓFOKI OBSZERVÁTORIUM címmel: „Ismét gazdagabb lett a magyar meteorológiai szolgálat egy létesítménnyel, de ezzel együtt gazdagabb lett a magyar építészet, és nem utolsósorban Balatonunk is. A Balaton egyik legszebb pontján emelkedik a türkizöld kis épület a tó fölé nyúló toronnyal, mintegy kémelve a magyar tenger különleges időjárási viszonyait és örködve a hirtelen jövő, veszélyt hozható szélviharok fölé. A siófoki kikötőből kifutó, vagy oda beérkező hajók kirándulói, akarva nem akarva gyönyörködhetnek benne. Az épület harmonikusan beilleszkedik a balatoni tájba, a hullámzó vízfelület és a zöldellő somogyi partok közé...”

Zách Alfréd – akit az Observatórium állítólagosan pazarló kivitele miatt akkor feljelentettek, de a hatósági vizsgálat őt teljesen tisztázta – a továbbiakban így ír: „Az épület kifejezi – mint eszmét, amit az építész szem előtt tartott – a földön állás nyugalmát és az elemekkel való tevékeny szembenállást. Formái a torony és a szabadlépcsők kivételével nyugodtságot és az emberi hajlék intimitását sugározzák. Mindezt teljessé teszi a szép kertészeti munka...”.

A balatoni viharjelző szolgálatban a leghosszabb időt – vezetőként is – Böjti Béla töltötte el, aki 28 évig irányította az Observatórium munkáját. A fél-évszázados évforduló alkalmából ezért Őt faggatjuk: a LÉGKÖR kérdeisi dr. Ambrózy Pál és Mezősi Miklós tette fel Bélának.

ból megbuktattak... Nem voltam valami nagy erőssége az iskolának, ezért vakációk idején – nagyszüleim jóvoltából – a közeli ferences rendház papjai okígtattak, főleg latinra; (ott találkoztam egyébként az akkor még kispap *Paskai László* későbbi bfboros, esztergomi érsekkel is). Gimnáziumi éveimet tehát a katonás rend, a piarista nevelés és a falusi környezet ferences szellemisége egyaránt meghatározta. A nyarakat egy kis zalai faluban töltöttem, ahol a félrevert harangokkal kísért „viharok” élményei magukkal ragadtak. Ekkor fogalmazódott meg bennem a pálya, a hivatás keresése és érettségi után – katonai pálya helyett – a meteorológus szakra jelentkeztem. 1955-ben kaptam diplomát, 1972-ben doktoráltam és 2005 őszén az ELTE rektora adta át az aranydiplomát. Az egyetemen kiváló tanáraink voltak; a névsor felsorolása helyett: *Tanár Urak, köszönöm a nevelést!*

Hogyan kerültél Albániába – mint ifjú meteorológus – és hogyan tértél vissza onnét?

A meteorológus szak akkor is az ELTE Természettudományi Karán működött. A kollégiumban egy szobában laktam *Jaho Siri* albán és – milyen véletlen – *Ambrózy Pál* évfolyamtársaimmal. Sirit segítettem eligazodni a magyar nyelv rejtelmeiben, ő meg albán szavakkal töltötte a fejemet (aminek később nagy hasznát vettem!). A nemzetközi menzán sok kínai, argentin, görög és más nemzetiségű hallgató érkezett és ott egyszer összekacsintottam egy csinos gyógyszerész-hallgatóval, az albán *Zogulla-val*. Diákszerelemnek indult, máig tartó házasság lett belőle! De a házasságkötésünk igazán bonyolult volt: Zogullával megkerestük *Dési Frigyes*t, aki segítette megszerezni az Elnöki Tanács engedélyét. Az albán Elnöki Tanács viszont azt kérte, a diploma megszer-

zése után dolgozunk Albániában, mert gyógyszerészre és meteorológusra nekik egyaránt szükségük van. Az albán jog szerinti házasságot 1955-ben kötöttük a követségen, Jaho Siri tolmácsolt; mosolygó évfolyamtársaim meg azt kérdezték tőlem: „Jó lesz ez neked?”

Ifjú diplomásként először az Országos Meteorológiai Intézetbe [OMI] jártam szakmai gyakorlatra és felkészülésre. Legjobb gyakorlati tanácsokat Veress Lászlótól, a gépészmérnök képzettségű, de háborús tapasztalatokkal is felvértezett repülés-meteorológustól kaptam. [Ő korábban már járt Albániában Zogu albán király és Apponyi Zseraldina esküvőjén]. Laci bácsi emlékezetes tanácsa (némi MASZOVLET-vodkával kísérvé) így hangzott: „Sűrű izobár = nagy szél” Ma is igaz, bármilyen humorosnak tűnik. Zogullával 1956. március 5-én utaztunk el Albániába.

Az Albán Hidrometeorológiai Szolgálatnál dolgoztam Tiranában, technikai tudományos besorolásban, igen szép fizetéssel, még lakást is kaptunk. Állomások telepítése, csapadékadatok értékelése, valamint szaktanácsadás volt feladatom repülőterek építéséhez, lecsapolási munkálatokhoz; 300 állomást látogattam végig. Munkámat segítette az is, hogy egyetemi szakdolgozatomat „Az orográfia hatása a csapadéokra” címmel írtam s ez igazán hasznosnak bizonyult Albániában. Jaho Sirivel dolgoztam együtt, munkatársaink idős, de széleskörű ismeretekkel rendelkező, Grazban, Párizsban, Rómában tanult mérnökök voltak. A Szolgálat létszáma akkor 350 fő volt (a hidrológiai hálózat észlelőivel együtt) és az Akadémia irányítása alatt működött. Tiranában született kislányunk is, Karolin. A még élő albán családtagokkal máig szoros a kapcsolatunk. [Ha a kedves olvasó a www.shqiperia.com honlapra kattint, ott világnyelveken bepillantást nyerhet a sasok országába: az albánok egyaránt tisztelik Hunyadi Jánost és Zogu királyuk nejét, a magyar Apponyi Zseraldinát].



A Siófoki Viharjelző Observatórium 1956 óta áll a nyugati mólószármv Balatonba nyúló bővületének sarkán; tervező: Molnár Péter

Mikor helyeztek Siófokra és melyek voltak első tapasztalataid az 1956-ban felépült Observatóriumban?

Albániából történő visszatérésemről Dési Frigyessel leveleztem; első válasza finoman szólva is tartózkodó volt, de a személyes találkozáson egészen másként, nagy szeretettel fogadott. (Mindenképp gondolhatja, hogy miért írta azt a levelet...). 1958-ban tértünk vissza Tiranából és előbb Lorincen dolgoztam, az Aerológiai Observatórium Sugárzási Osztályán: a Nemzetközi Geofizikai Év adatait dolgoztuk fel a hazai állomásokról, mértünk, sokat jártunk vidék-

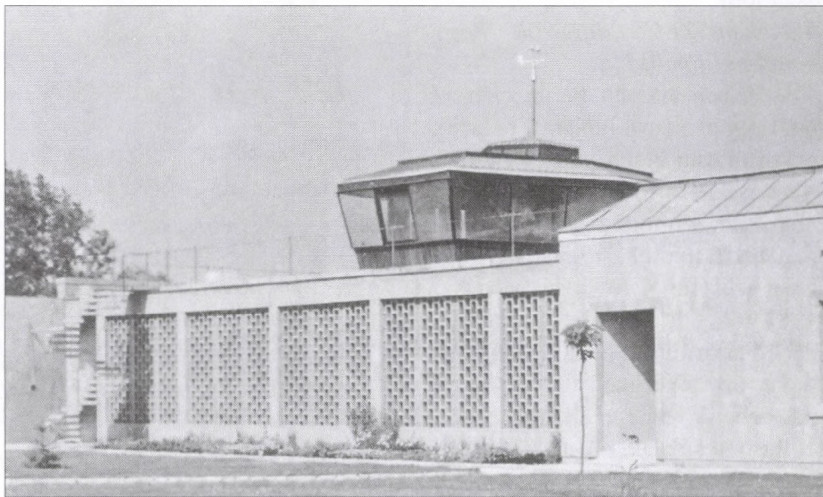
re. Dési professzor egy négyszemközi eligazítás után – amelynek részleteit nem tartom illendőnek közreadni – 1959. január elsején helyezte Siófokra, az OMI Balatonkutató és Viharjelző Observatóriumába.

Milyen körülményeket találtál Siófokon és kik dolgoztak akkor ott?

Az idén 50 éves, látványos épületet az Ybl-díjas Molnár Péter tervezte. [Építész körökben még ma is oly magasra értékeli a létesítményt, hogy 2006 tavaszán az OMSZ-tól egy kiállításra kölcsön kérték a teljes tervdokumentációját! – a szerkesztő megjegyzése]. 1957 előtt az állomás és a viharjelzői munka is a szigeten, a hajó kikötőben működött. Érkezésem előtt az új épületet már belakták, Tóth Pál vezetésével a párhuzamos méréseket is elvégezték. A személyzetet illetően pedig röviden válaszolok: az OMI vezetése – egy kivétellel – oda száműzte az 50-es évek összes kellemetlenkedőit, akiktől Budapesten meg akartak szabadulni...

A balatoni viharjelzés látványosan átalakult 1956-tól napjainkig. Aktív szolgálati idő alatt milyen fontosabb technikai és módszertani fejlesztések történtek Siófokon?

A műszaki fejlődést csak címszavakban lehet felsorolni: a háború után újjászervezett balatoni vihar-



Az Observatórium kertje 1957-ben



Légifelvétel 1965-ből; fotó: dr. Simon Antal

jelzést 1951-ben még a dunántúli tűzoltóórsőkre (!) szervezett veszélyjelentő állomások segítették. 1955-től – a Varsói Szerződés jóvoltából – már 21 főállomás működött az országban, saját személynél; ezekből 10 volt a Dunántúlon. Az 1960-as évek derekán kaptuk a villámszámlálót, majd a goniométert*, amivel Siófok belépett a „Középeurópai szférikus* iránymérő hálózatba”, [a mai villámlokaliszációs rendszer, a SAFIR elődjébe – szerk.]. Ezzel viszont nem volt szerencsénk: a túl érzékeny goniométer nemcsak egészen távoli villámokat mért be, hanem állandó helyű mesterséges kisüléseket is, [a rossz nyelvek szerint részecskegyorsítókat. Erre mondta Máttyás Dezső fiatalon meghalt észlelőnk: „Mi a csuda, ezeken a helyeken ZEUS dolgozik, hogy mindig villámlik?“].

1969-ben települt Ferihegyen az NDK gyártmányú időjárásiradar és ekkortól van elektromos víz hőmérőnk is. 1974-től indultak meg az első távszélmérők: ettől kezdve már azt is tudtuk, hogy éppen milyen szél fúj a tó túlsó partján... 1981-től állt üzembe Szentgottárd-Farkasfán az MRL-5 időjárásiradar, ami éjjel-nappal sokat segített nekünk, viharjelzőknek.

Hasonlóan alakult a távközlés fejlődése is: 1952-ben még a honvédelmi miniszter külön engedélyre kellett

a Budapest-Siófok-Keszthely önálló távgépíró összeköttetéshez; akkor ez volt a viharjelző meteorológus egyetlen kapcsolata az OMI-val. 1962-től rádiós faksimilén* vettük az időjárásir térképeket Frankfurtból és Bécs-Schwechat repülőtérrel. Megindult a rádiógéptávíró üzem is: közvetlenül hozzáfertünk a nemzetközi meteorológiai központokhoz. A döntő távközlési áttörést az OMI URH rádiótelefon hálózata hozta 1968-ban: attól kezdve bármikor kapcsolatba léphettünk a dunántúli főállomások észlelőivel, akik szinte



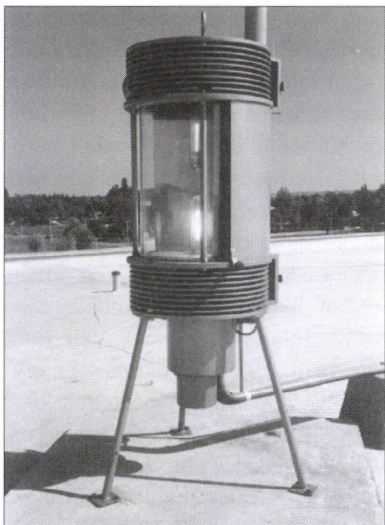
Viharjelző rakéták kilövése;
(a rakéták 1987-ig voltak használatban)

riporterként közvetítették Siófokra a természetben lejátszódó folyamatokat. [A mobiltelefonok lehetőségeit kihasználva ma is jó lenne egy ilyen szolgáltatás – ezt állítom]. 1989-ben kapcsolták be Siófokot az OMSZ távközlési számítógépéhez, középsebességű vonallal.

A jelzőrendszer technikája is gyökeresen megváltozott szolgálati idő alatt: a kézi kapcsolású postai telefonon riasztott, sárga/piros rakéták miatt sok panaszt kaptunk az üdülőktől. Egyre inkább kiütköztek az akkori viharjelzés hibái, a „túlbiztosítás”, az éjszakai riasztás és a feloldás hiánya, a hosszú korlátozások. Az állami vezetés éppúgy mint az OMSZ vezetői igyekeztek valami új rendszerrel orvosolni a hibákat. 1972-ben a METESZ, MAHART és a BM ankétot szervezett a balatoni viharjelzésről s ott hangzott el először: „Fényjelzőket a Balaton mellé!” De addig hosszú volt az út: előbb külső szakértők „nagy ötleteit” kellett megvizsgálnunk: pl. a színes katonai füsttrakéták, hangágyú, vagy a Balaton közepén lehorgonyozott jelzőhajók alkalmazását. 1977-től így 10 év telt el további kísérletekkel, tervezéssel, amíg – a nyugat-európai üdültavakon már bevált – távvezérelt fényjelzők hivatalosan is felváltották a rakétákat. Az Observatórium mostani vezetője, dr. Barta Imre kollégám – később utódom – lövette az utolsó rakétákat 1987. szeptember 27-én. Ezzel új korszak kezdődött a balatoni viharjelzésben.

A sikeres viharjelzéshez nemcsak fejlett technika kell, hanem elméleti megalapozás is. Ez milyen szervezeti keretben történt?

A nagy nevekkel fémjelzett kutatócsoportok hosszú sorát lehetne itt felsorolni, hazai és nemzetközi sikerekkel. Dési Frigyes és Bodolai István irányításával az OMI tornyában működött egy „Dinamikus meteorológiai kutatócsoport” [később osztály], amely elméleti és gyakorlati kérdé-



Forgótükros fényjelző Zamárdiban; (1985)

sekkel foglalkozott a szinoptikus meteorológia, viharjelzés és a légkör dinamikája témakörökben. Ide bedolgoztam én is: elsőként a víz és levegő közötti kapcsolattal foglalkoztam, majd a mezoszínoptikán belül a szelek, különösen a viharjelzéshez igazán fontos pre- és postfrontális szelek előrejelzésével, a nyomásmező segítségével; ott akkor egy kitűnő csapat állt össze (Bodolai Istvánné, Ambrózy Pál, Götz Gusztáv, Tünczer Tibor). Feladatomból az autópályák tervezéséhez Magyarország hófúvási viszonyainak vizsgálata is. Mindezeknek később nagy hasznát vettem, amikor az Observatóriumban időnként megjelent az itt állomásozó Déli Hadseregcsoport [szovjet alakulatról van szó – a szerk.] főnöksége (tolmácsot is hoztak) és igazolást kért arról, hogy adott napokon, három dunántúli bázisuk környékén, a kávéházban (!), heves viharok voltak. Megkapták. Mindez írásban is megvan az irattárunkban, „titkos” jelzéssel... Ez a kapcsolat később odáig fejlődött, hogy telexen megkaptuk tőlük a szovjet radarok adatait s így elkezdhetjük a kifutószél és a radarjelek összefüggését vizsgálni.

Visszatérve a 60-as évekre, 1964-ben Dési Frigyes megbízott az Observatórium vezetésével, azzal az indokolással, hogy „Elég sok a vihar ott lent!”. Ehhez persze tudni

kell, hogy Dési a magyarországi zivatarokról írta doktori disszertációját; dedikált példány van belőle az Observatórium könyvtárában! Ezután több külföldi ösztöndíjat is kaptam és előadásokat tarthattam „Sturmwarnung am Balaton See” címmel a környező országokban (Ausztria, Német Szövetségi Köztársaság, Olaszország, Jugoszlávia).

Mire emlékezel még az Observatóriumban eltöltött évtizedekből?

1958–1962 között Siófok volt a Balaton-kutatás bázisa, dr. Kakas József irányításával. Abban az időszakban kiszolgáltuk a Budapest-Siófok közötti nyári repüléseket is. Telente mértük a jégvastagságot, 1967-től a hókristályokat is. 1963-ban a Meteorológiai Társaság Vándorgyűlését Siófokon külön bélyeggel köszöntötte a Magyar Posta. 1968-ban hoztuk létre a mai szép könyvtárat; 1971–72-ben felújították az Observatóriumot és a toronyba légkondicionálót szereltek. 1975-ben megkezdtük a Velence-tavi viharjelzés rendszeres kiszolgálását s attól kezdve már közvetlenül adhatunk előrejelzést a Magyar Rádióknak. [Ez persze nem ment simán: sok vitám volt velük, mert időhiányra hivatkozva megvágták jelentéseinket. Akkor Bodolai Istvánnal és Máhr Jenővel felkerestük az egyenruhában villogó (néha még manapság is megszólaló) vezető szerkesztőt és egy nagyon kemény tárgyalás során elértük – a „belügyminiszter elvtársra” hivatkozva –, hogy vágás nélkül adják le előrejelzésünket, amit persze előtte mindig egyeztetünk a budapesti kollégákkal].

Az OMI/OMSZ vezetői külföldi vendégeiket mindig szívesen vitték az Observatóriumba, a viharjelzés bemutatására. Kik voltak a legérdekesebb, legnevesebb szakmabeli látogatóid a vendégkönyv szerint?

Eseménynaplónk szerint 1990-ig (vagyis nyugdíjazásomig) 26 országból 340 külföldi szakember lá-

togatta meg az Observatóriumot. D. Arthur Davies WMO főtitkár kétszer is járt nálunk; első alkalommal 1961-ben. [Akkor egy éjszakán át igen jó hangulatú kártyaparti volt a Csárdás Étteremben: az egykori tengerész és kitűnő tolmácsa (akinek ugyan nem sok dolga volt, mert a „zsuga-szakma” nemzetközi és forintban folyt), továbbá Dési, személyem és még a pincérek is játszottak...]. Davies úr 1976-ban ismét meglátogatott bennünket, beírását az OMSZ Múzeumában levő siófoki gyűjtemény őrzi: „Különösen boldog vagyok, hogy írhatok, 15 évvel ezelőtt is nagy hatást gyakoroltak rám a látottak...” – szól a hiteles fordítás. A következő WMO főtitkár, Obasi úr feleségével érkezett 1986-ban, Barát József elnökünk társaságában. A szakmai látogatás után egy kis pókháló, magyaros borozóban igen jól érezték magukat vendégeink!

A világ minden tájáról érkeztek hozzánk Mészáros Ernő akadémikus tanítványai. Itt járt Hromov professzor, a szinoptikus meteorológia atyja, de amerikai kutatók is. A legjobb kapcsolat az osztrák, német, szlovák, jugoszláv és szlovén kollégákkal alakult ki. Örömmel emlékezhetek, hogy annyi híres emberrel találkozhattam. Legkedvesebb vendégeim a nyári gyakorlatra érkező meteorológus hallgatók voltak: őket nem kellett szoros nyakkendőben fogadnom...

És kikre emlékezel a nem szakmai, hanem állami protokoll vendégek közül?

Egyszer telefont kapok, hogy magas rangú (észak) koreai vendégek érkeznek hozzánk, mindenki katonára, titkosra az akció. Jöttek is, a vendégek farmerben, mellettük két magyar ezredes, mint tolmács, egyenruhában. Mondták, hogy adják jelentést a vendégnek. Adtam. Ezután vigyázzba állítottak, azzal, hogy most Kim Ir Szen elvtárs nevében kitüntetést kapok, nem mástól, mint a farmerbe álcázott koreai honvédelmi

miniszter helyettesétől. Fehér ingben voltam, ami csupa vér lett, amikor a tábornok elvtárs mellemre szúrta a medálját. — Más: jön a japán igazgató, cigarettával a kezében, miközben Mátyás Dezső észlelőnk meg éppen hidrogénnel tölti a ballont, majd elkezd a pilotozást, természetesen egyedül, ahogy az nálunk szokás volt. A japán meg csak bámult, mert ezt nálunk mindig ketten csinálják! — Érdemes megemlékezni *Krasztanov* professzor látogatásáról is, [bolgár igazgató, akadémikus, hosszú hullámos hajjal – a szerk.]. Amikor Ferihegyre megérkezett, Dési képviselőtében Veress Laci bácsi fogadta és – szokásos piás hangulatában – kezét csókolt neki, oroszul „Tisztelt Asszonyom” megszólítással. Amit ezért Désitől kapott! — *Fidel Castro* is üdült a Balatonnál, Aligán. Ő nem jött Siófokra, hanem Tihanyba vitték hajóval, a kormányórság meg negyedóránként kért tőlünk időjárás tájékoztatást. URH-án riadóztattam összes dunántúli állomásainkat, még a légy zümmögését is jelentették. Amire nagy szükség is volt: hirtelen vihar jött és a kubai elnököt helikopterrel kellett visszavinni Aligára.

A Magyar Meteorológiai Szolgálat büszke lehet a Siófoki Viharjelző Observatórium munkájára, mert itt 50 év alatt szinte minden

nyáron előfordult akkora vihar, mint ami most Pesten egyszer volt augusztus 20-án, miközben a Balatonnál külföldi kormányfők, vezető politikusok üdültek.

Milyen volt kapcsolatot a külső szervekkel, elsősorban a Balatoni Vízürendészet vezetőivel?

1980 őszén a Siófoki Városi Tanács dísztermében mintegy 200 résztvevő kézfeltartással a Hazafias Népfőnt városi elnökének választott. Ettől kezdve társadalmi rendezvényeken is megjelenhettem, így az Observatórium külső kapcsolatai kiszélesedtek. A Balatoni Vízürendészet, a MAHART-tal – vezetőikkel és beosztottakkal egyaránt – szinte baráti kapcsolatunk volt, éppúgy, mint a Balatoni Intéző Bizottsággal, vagy a Magyar Vitorlás Szövetséggel. Úgy fogalmaznék: Egy mindenkiért, mindenki a BALATONÉRT!

Elmaradt, vagy késedelmes riasztás miatt előfordult-e vízi-baleset a Balatonon?

Hála a jó Istennek, nem. Vezetésem alatt nem kellett bírák elé állnunk és az Observatórium munkatársainak azóta sem, immár 50 éve. Viszont szomorúsággal tölt el, ha a Balaton áldozataira gondolok, nagyon sok

ilyen volt, egyes években 30–35 fő veszítette életét a tóban, a legtöbbjük a saját felelőtlensége miatt. Amiben persze közrejátszott, hogy a régi jelzőrendszer hiányosságai miatt nem volt folyamatos tájékoztatás a viharveszélyről, a felröppent rakéták színe és hangja csak pillanatnyi információt adott, a mólókon levő jelzőkosarat meg sokszor napokig felhúzza felejtették. Nem véletlen, hogy pl. az 1979. augusztus 4-i nagy viharban 300 embert mentettek ki a rendőrök és hajósok, pedig mi akkor is időben riasztottunk, másfél órával a vihar előtt... — Találkozom ma is nosztalgizáló emberekkel, akik szerint „milyen szép volt a lövés, esténként tűzijátékra emlékeztetett”. Engem viszont az áldozatokra!

Milyen szakmai kitüntetésekben részesültél pályafutásod során?

1970-ben Dési Frigyesztől vehettem át a Centenárium emlékérmét, 1976-ban lettem az OMSZ kiváló dolgozója. 1988-ban *Rákóczi Ferenc* egyetemi tanárral együtt részesültem az osztrák GERHARD SCHINZE díjban, 1990-ben kaptam meg a Magyar Meteorológiai Társaság Steiner Lajos emlékérmét, majd 1997-ben a Somogy Polgáraiért díjat („magas színvonalú szakmai munkáért” indoklással), végül 2000-ben a PRO METEOROLOGIA kitüntetését. Az ELTE Kari Tanácsa 2005 szeptemberében „Dr. v. Böjti Bélának” arany oklevelet adományozott (ahol a „v.” betű a hősi halált halt édesapám után örökölt vitézi cím rövidítése). Kitüntéseimnél azonban fontosabb a jó Isten ajándéka, a meglévő egészség. Zogulla párom idén kapja meg arany diplomáját.

28 év igazán hosszú idő az Observatórium élén, nagy felelősséggel járó beosztás. Bizonyára van olyan emléked, humoros vagy megrendítő, amit megosztanál a LÉGKÖR olvasóival?

1987-ben egy nyári hajnalon a szomszéd kertész átszól, hogy



WMO fotóskári látogatás után a siófoki „Borharapó”-ban (1986)

„Doktor úr, nézze már meg távcsővel, mintha egy ember lenne a vízben”. Tényleg, látom, hogy egy kis gyerek himbálózik úszógumin. Akkor még volt csónakunk, gyorsan beveztem hozzá, lila volt a szája, áttemeltem a csónakba, de nem tudtam beszélni vele, nem tudott magyarul. Csakhamar kiderült, hogy a fiú lengyel, 6 éves, előző este érkezett osztrák-lengyel szüleivel a Szabadi-Sóstói kempingbe, ott meglógott tőlük és fürdőnadrágban beült az úszógumiba, a keleti szél meg elsodorta; az egész éjszakát a vízben töltötte, amíg észre nem vetük Siófoknál. Enyhe volt az éjszaka, ezért nem hűlt ki teljesen. Már sokan keresték, a vízrendőrség leginkább, amikor bejelentettem nekik a talált személyt. Hát ne tudjátok meg, milyen megrendítő jelenet volt, amikor a rendőrök meghozták a szülőket; ott mindenki könnyezett. Kivéve a gyereket, aki azonnal az Obszervatórium felfedezésére indult, „Megnézem már, hová kerültem...” mondta az apjának.

Más, inkább humoros történet: reggel mentem be szolgálatba, az éjszakás kolléga azzal fogad, hogy keresnek téged, két szőke lány. Tényleg, norvég lányok voltak, előző évben találkoztam velük kint és ők most Magyarországon járva meglátogattak. Annyit mondtam nekik, vetkőztek le, menjetek fürdeni, később majd beszélgetünk. Ők ezt szó szerint vették és – jó skandináv szokás szerint – teljesen meztelenül indultak ki az Obszervatóriumból strandolni; a kerítéstől rángattam vissza őket, már sokan voltak ott idegenek. Kaptam tőlük emléke egy nadrágot, „Boldog karácsonyt” felirattal és a norvég zászlóval.

A nyári nagy nyüzsgés után mit csináltak télen?

Először is lecsúsztattuk a nyári túlmunkát: volt olyan hónap, amikor 269 órát teljesítettem. Azután jöhetett a kutatómunka, amivel megalapoztuk a következő szezont. Megfelrendeltek a központba télen, a

gálans Gazdasági Főosztály egyszer a Margitszigeti Nagyszállóban foglalt nekem szállást: az volt télen a legolcsóbb.

Mivel foglalkozol nyugdíjasként, mennyire követed szakmánk fejlődését, újabb eredményeit?

Munkában eltöltött 35 évemből 28 évig vezettem az Obszervatóriumot, ahol a szakmai tevékenység mellett hétköznapi teendők is akadtak: kertápolás, felújítások, technikai háttér biztosítása. 57 tudományos publikációt írtam, részben társszerzőkkel. Irodalmi szinten figyelem és csodáalom tudományunk fejlődését, így 73 évesen csak kullogok utána. Könyveimet (150) a Siófoki Könyvtár, családi emlékeimet a Kőszegi Városi Múzeum, a viharjelző évek anyagát pedig az OMSZ Múzeum őrzi. Kapcsolódásként az otthon szeretete, a nyugalom szolgál, meg a zene, színház, vadászat, természetjárás és a kerékpározás. A csúcs azonban a mobiltelefonom, a mindenem. Unokáim szerint ennek „profija” vagyok.

Miként látod a viharjelzés mostani helyzetét és – banális kérdés, de mindig feltesszük – milyen tanácsokat adnál egy mai, fiatal, pályakezdő viharjelző meteorológusnak?

A számítógépek eszközök, a bevitt gondolatok, elméletek, prognózisok, nowcasting megoldások a műholdak és radarok világában sem helyettesíthetik a természet közvetlen ismeretét. A légköri folyamatokban van analógia, ezért nem dobnám ki a régi katalógusokat, gépre vinném elődeink makroszinoptikus helyzeteit, beleértve Fritz Rodewald munkáit is (hamburgi szinoptikus volt a múlt században).

Végül köszönöm a beszélgetést, szívélyes barátsággal és szeretettel gondolok tisztelőimre, de haragosaimra is, ha vannak. A Balaton

térségében a korszerű megfigyelési technika (radar, műhold, automaták) és az új jelzőrendszer bevezetése előtt, *évtizedekig fennállt egy tömegszerencsétlenség veszélye*, aminek mi meteorológusok persze mindig tudatában voltunk. Ezért befejezésül hadd olvassam fel a fohászt, amit nyugdíjazásomkor, a viharjelzésben eltöltött közel három évtized után írtam: „*Mindenható Isten! Áldd meg azokat, akik az igazságért és a tudományokért dolgoznak. A más világnézetet vallóknak is sok szerencsét és sikereket kívánok további munkájukban. Fájdalom, ha a balatoni áldozatokra gondolok, szerencse és öröm, hogy az elmúlt vezetésem alatt túlbiztosítás ugyan előfordult, de viharjelzés hiánya miatt áldozat nem volt. Áldd meg az itt dolgozókat jó egészséggel, hosszú élettel, jutalmazd meg őket anyagiakkal. Egy nehéz korszakban elmentem hazámból Albániába, még nehezebbkor várt rám itthon, amikor visszateértem. A jövőt tekintve optimista vagyok; a tudomány észlelőire, meteorológusokra, technikusokra, számítógépes szakemberekre nagy jövő vár. Tessék utazni, világot látni, másoktól tanulni.*”

Kelt Siófokon, 1990 júniusában, Péter és Pál napján”.

Köszönjük az interjút!

Forró július

A *Weather* c. magazin 2006. novemberi száma rövid összeállítást közölt 2006. júliusának éghajlati szélsőségeiről. Spanyolországtól a balti államokig majd mindenhol 3 fokot elérő pozitív anomáliák találhatóak, de Németország, Svájc, Belgium és Lengyelország egyes részein az eltérés az 5 fokot is meghaladta. Még a Berni Alpok csúcsán (Jungfrau-joch, 3584 m) is 4 fokkal az átlag fölött, +2,8°C volt a havi átlag. Számos állomáson a mérések kezdete óta nem volt ilyen meleg július.

A VÁROSI FELSZÍN ÉS A HŐSZIGET KAPCSOLATA SZEGEDEN

2. rész: A felszíngeometria és a hőmérséklet-eloszlás kapcsolata

1. Bevezetés

A cikk 1. része a Léggör folyóirat előző számában jelent meg, melyben bemutattunk egy olyan eljárást, amely képes megoldani a városi geometria jellemzését és számszerűsítését egy 3D-s épület-adatbázis alapján. Így lehetővé vált, hogy az összetett városi felszín szerkezete teljes egészében feltérképezhető legyen időigényes terepi mérések nélkül. A jelenlegi cikk célja, hogy az új eljárással kapott eredmények segítségével elemezzük a felszínközeli légtérben kialakuló városi hősziget (urban heat island – UHI) és a városi geometria kapcsolatát Szegeden (a város területének egyharmadát lefedő mintaterületen), valamint, hogy az eredményeket összevessük a korábbi kutatásokból származó terepi mérések eredményével. Végezetül bemutattunk még egy további alkalmazási lehetőséget is.

A város felszíni tagoltságnak a jellemzésére az égboltláthatósági index (sky view factor – SVF) egy megfelelő mérőszám. E paraméter fizikai megfontolásokból származtatható, részletesebb kifejtését a cikk 1. része tartalmazza (Unger et al. 2006).

2. A léghőmérséklet és az SVF kapcsolata városi környezetben (irodalmi áttekintés)

Röviden áttekintjük a felszínközeli léghőmérséklet (T) és az UHI (ΔT), valamint az SVF kapcsolatra vonatkozó, rendelkezésünkre álló irodalmat. Ez azért szükséges, hogy láthassuk, milyen kapcsolatot lehet feltárni, illetve következtetéseket lehet levonni az algoritmus által számított égboltláthatóság mértéke, valamint a városi hősziget között. Mennyire szoros a kapcsolat a léghőmérséklet és az SVF értéke között?

2.1. Külföldi eredmények

Oke (1981) UHI maximális értékét vizsgálta az SVF függvényében. Főképpen európai és amerikai városokból származó adatokkal dolgozott, az SVF értékek az egyes városok leginkább beépített központi területére vonatkoztak (földfelszíni és légi fotókról történő kiértékelés alapján). A két változó között a következő empirikus összefüggést kapta 31 elempár (n = 31) felhasználásával:

$$\Delta T_{\max} = 7,1 - 13,88 \cdot \text{SVF}$$

Johnson (1985) szoros kapcsolatot állapított meg az angliai Birmingham város nyár éjszakai léghőmérsékletének maximális hűlési gradiense és az SVF értéke között. Az SVF értékeket 27, egymástól körülbelül azonos távolságra lévő helyen terepi méréssel határozta meg, a léghő-

mérsékleti értékek 8 mobil mérésből származtak. A két változó közötti lineáris korrelációs együttható értéke $-0,83$ (n = 27).

Bärring et al. (1985) a svédországi Malmöben mobil mérésekkel, valamint két állomás termográfia végzett észleléseiből kapott léghőmérsékletet vizsgálták és megállapításuk szerint a léghőmérséklet nem korrelál szorosan az SVF értékekkel (n = 75).

Ennek ellenkezőjét állapította meg Yamashita et al. (1986) öt japán városban végrehajtott 1-1 mobil mérésorozat alapján. Bár konkrét korrelációs együttható értékeket is említettek, az nem derül ki pontosan, hogy hány elemet használtak a kapcsolat erősségének meghatározásához.

Park (1987) japán és koreai városok központi területeire vonatkozó átlagos SVF értékeket vetett össze mobil mérésekből számított UHI értékekkel, valamint felhasznált irodalmi forrásokat is más kontinensekre vonatkozóan. Az általa kapott szignifikáns összefüggések régióként:

japán városok:	$\Delta T = 10,15 - 12 \cdot \text{SVF}$	(n = 13)
koreai városok:	$\Delta T = 12,23 - 14 \cdot \text{SVF}$	(n = 6)
észak-amerikai városok:	$\Delta T = 16,34 - 15 \cdot \text{SVF}$	(n = 18)
európai városok:	$\Delta T = 16,34 - 15 \cdot \text{SVF}$	(n = 11)

Eliasson (1992) által a svédországi Göteborgban végrehajtott 1 mobil mérés alapján a léghőmérséklet és az SVF értékek között (n = 17) nem tudott kimutatni szignifikáns összefüggést.

Eliasson (1996) további vizsgálata során a horizontális hőmérséklet eloszlást vizsgálta a Göteborgban különböző városi területhasználat esetében, 3 mobil méréssel végrehajtott adatgyűjtés segítségével. Ezen eredményei szerint sincs statisztikailag értékelhető összefüggés a léghőmérséklet és az SVF értékei (n = 18) között.

A göteborgi kutatásokat Upmanis et al. (1998) folytatták. Három városi parkban és azok beépített környezetében vizsgálták a léghőmérséklet változását telepített állomások és 16 mobil mérés segítségével. A város és park közötti hőmérséklet különbség és az SVF (n = 42) között nem mutatkozott szignifikáns kapcsolat, de a legnagyobb park esetében vizsgált részletesebb elemzések szerint a hűlési gradiens és az SVF (n = 6) között fellelhető az összefüggés.

Upmanis and Chen (1999) egy göteborgi parkban és beépített környezetében végeztek méréseket egy keresztmetszet mentén telepített állomásokkal. Az eredményeken elvégzett komponens analízis itt sem mutatott ki statisztikai kapcsolatot az SVF és a léghőmérséklet (n = 14) értékei között.

Upmanis (1999) részletes vizsgálatai a városon belüli változások közötti összefüggések feltárására irányultak,

különböző területhasználati típusokra vonatkozó léghőmérséklet és SVF értékek felhasználásával, szintén Göteborgban. A több mobil mérésből származó adatokat évszakonként is külön elemezte és megállapította, hogy az SVF változásának nincsen igazán nagy hatása a városi léghőmérséklet változására, de azért esetenként kimutatható az összefüggés, pl.:

$$1994. \text{ február } 14\text{-én: } T = 3,6 - 1,8 \cdot \text{SVF} \quad (n = 8)$$

Santos *et al.* (2003) a braziliai Belo Horizonte egy kerületében vizsgálták az SVF hatását a léghőmérsékletre. 3 mobil mérés alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a naplemente idejében viszonylag szoros a kapcsolat a két változó között:

$$T = 27,75 - 2,56 \cdot \text{SVF} \quad (n = 7)$$

Egy újabb cikk (Svensson, 2004) szerint – szintén Göteborg esetében – viszont már erősebb korreláció mutatható ki e két változó között. A hőmérsékleti adatok különböző típusú beépítettséggel rendelkező pontokon elhelyezett állomásokról (36 nap) és mobil mérésekből (2 alkalom) származtak. A statisztikai elemzés erős korrelációt mutat a léghőmérséklet és az SVF értékek között:

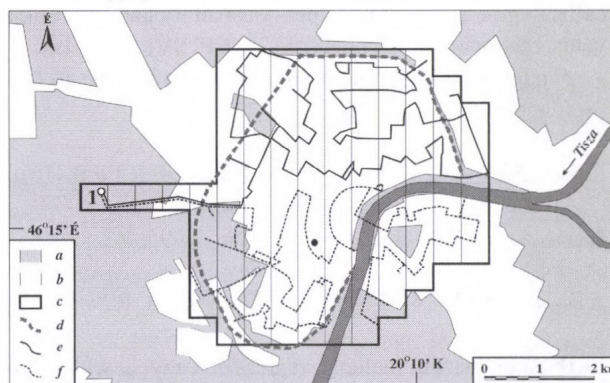
$$\begin{aligned} \text{állomások:} & \quad T = 6,35 - 7,48 \cdot \text{SVF} \quad (n = 16) \\ \text{mobil mérések:} & \quad T = 2,16 - 4,56 \cdot \text{SVF} \quad (n = 13) \end{aligned}$$

A németországi Krefeld városában 7 alkalommal végzett mobil mérés eredményeit Blankenstein and Kuttler (2004) dolgozták fel. Hasonló eljárást alkalmaztak az Unger (2004) munkájában tárgyaltakéhoz (ld. 2.2. szakasz), ugyanis a szakaszokra osztott mérési útvonal mentén mért ΔT és SVF értékeket szakaszonként átlagolták és utána hasonlították őket össze. Gyenge korrelációt sikerült csak kimutatni a két változó között, amit a szerzők részben az egyenetlen topográfia következtében fellépő hideg beáramlásoknak tulajdonítanak, amelyek módosítják a beépített területek hatására kialakuló hőmérsékleti mezőt.

Ahogy az eddigiekből is látszik, meglehetősen ellentmondásosak az eredmények abban a tekintetben, hogy a városi geometria (SVF) változása mennyire és milyen mértékben befolyásolja a léghőmérséklet (T), illetve a hősziget (ΔT) eloszlását, változását a városi környezetben. Az ellentmondások részben abból adódhatnak, hogy ezek a korábbi vizsgálatok csak a város(ok) kisebb részterületeire korlátozódtak, néhány alkalommal elvégzett és gyakran kis számú mérőpontra vonatkozó mérésekre támaszkodtak. Ezért az összehasonlítások kevés számú, a hőmérséklet és az SVF szempontjából nem feltétlenül reprezentatív elemárokon alapultak, amelyek értékei mindig egy-egy adott pontra vonatkoztak. Ez alól csak Blankenstein and Kuttler (2004) munkája jelent a probléma megközelítése szempontjából kivételt.

2.2. Az UHI és az SVF kapcsolata Szeged esetében

2.2.1. A vizsgált terület és a hőmérsékleti adatok gyűjtése
Ezekről részletesebben már többször is írtunk e lap hasábjain (Unger *et al.* 1999, Unger és Sümegehy 2001, Sümegehy és Unger 2004), ezért most csak tömören összefoglaljuk a téma megértéséhez szükséges alapvető ismérveket. Szegeden a jelentősen beépített területek nagyrészt az árvízvédelmi körtöltéseken belüli területen találhatóak. Ezért a vizsgált területet, mely 107 db 500 m oldalhosszúságú gridcellára osztottunk fel, lefedi a város belvárosi, elővárosi övezeteit, valamint egy helyen ki is nyúlik négy cella hosszúságban Ny-i irányba (1. ábra). Ez utóbbi – külterületi – cellák referenciaterületként szolgálnak a hőmérsékleti adatok gyűjtésekor.



1. ábra A vizsgált terület elhelyezkedése és felosztása 0,5x0,5 km-es gridcellákra; (a) szabad terület, (b) városi terület, (c) mért terület határa, (d) körtöltés, (e) északi és (f) déli mérési útvonal

A hősziget vizsgálatához szükséges adatokat meghatározott útvonalon haladó mérőautók segítségével gyűjtöttük 2002. április és 2003. március között (1. ábra). A ΔT területi eloszlásáról a kellő számú, elegendően reprezentatív mintát a mérési sorozatban végrehajtott 35 mérés biztosítja, melyek kiterjedtek – az esőt kivéve – minden időjárási helyzetre. Az adatgyűjtést úgy időzítettük, hogy az UHI maximális kifejlődésének várható időpontja előtt 1,5 órával kezdjük meg és utána 1,5 órával fejezzük be. A vizsgált terület mérete, illetve a mérési útvonalak hossza miatt a területet két szektorra kellett osztani. Az útvonalakat úgy kellett meghatározni, hogy mindegyik cellát érintsenek legalább egyszer az oda és a visszaúton is. A ΔT -t esetünkben a következőképpen értelmezzük (1. ábra):

$$\Delta T = T_{\text{cella}} - T_{\text{cella}(1)}$$

ahol T_{cella} = az aktuális városi cella, míg $T_{\text{cella}(1)}$ = a legnyugatibb, vidékinek tekintett cella átlagos hőmérséklete. A mérések szerint ΔT maximális értéke 5,7 °C volt az év folyamán (Unger 2004).

2.2.2. Az SVF és az UHI cellánkénti átlagai közötti évszakos összefüggés

Az SVF közelítő értékeinek meghatározásához szükséges adatok a hőmérsékleti méréshez tartozó útvonalak mentén

teodolittal elvégzett mérésorozattól származnak (Bottyán and Unger 2003, Unger 2004). Összesen 532 pontban történt mérés, majd az egyes cellákhoz az ott meghatározott SVF értékek átlagát rendeltük hozzá, kivéve a legnyugatibb 4 cella esetében, ahol nem történt terepi mérés. Így a ΔT és az SVF esetében is a cellákra vonatkozó átlagokra irányult a kapcsolatterjesítés, ami $n = 103$ elempárt jelent.

A hősziget értékek átlagát a teljes egy évre és évszakosan is kiszámoltuk, megkülönböztetve a „lombtalan” (október 16. – március 15.) és „lombos” (március 16. – október 15.) periódusokat, amelyek nagyjából megfelelnek a fűtési és a nem-fűtési időszakoknak. A megkülönböztetés azon alapult, hogy mivel az SVF értékek számításához csak az épületek adatait használtuk, ezért feltehetően a kapott cellaátlagok a „lombtalan” periódusban jobban közelítik a valós körülményekre vonatkozó „igazi” SVF értékeket.

A teljes évre és a féléves időszakokra a következő összefüggések vonatkoznak:

$$\Delta T_{\text{év}} = 5,9 - 4,62 \cdot \text{SVF} \quad (R = -0,69, R^2 = 0,476)$$

$$\Delta T_{\text{lombtalan}} = 5,99 - 4,81 \cdot \text{SVF} \quad (R = -0,695, R^2 = 0,483)$$

$$\Delta T_{\text{lombos}} = 5,81 - 4,44 \cdot \text{SVF} \quad (R = -0,665, R^2 = 0,442)$$

Ilyen elemszám mellett a regressziós egyenesekhez tartozó mindhárom korrelációs együttható (R) értéke erős kapcsolatot jelez az SVF értékek és az adott időszakra vonatkozó megfelelő ΔT mértéke között (1%-os szignifikancia szinten).

Azonban a növényzet két eltérő állapotát tükröző időszakokra vonatkozó R értékek között nincs túl nagy eltérés, de a várakozásunknak megfelelően a korreláció a téli félévben egy kicsivel erősebbnek bizonyult. A determinációs együtthatók (R^2) szerint a „lombtalan” félévben az SVF városon belüli változása mintegy 4%-kal jobban megmagyarázza a ΔT városon belüli varianciáját, mint a „lombos” félévben (Unger 2004).

3. A reprezentatív mintaterület kiválasztása

Az egész város épületeire vonatkozó geometriai felmérés igen sokáig tartott, hiszen az épületek száma a vizsgált teljes területen eléri a 22 ezret. Jelenleg az adatok ellenőrzése zajlik. Ezért a további elemzéshez a teljes terület egy kiválasztott részére vonatkozó 3D-s adatokat vesszük alapul és e kisebb – azonban kellően reprezentatív – mintaterületről származó épületadatokat alapján próbálunk következtetést levonni a teljes területre.

3.1. A rétegzett mintázás

Rétegzett mintázás esetében a populációról (103 cella, a 4 külterületi cella nélkül) rendelkezésre álló elsődleges információkat használjuk csoportok, azaz rétegek kialakítására, majd a továbbiakban ezeket a csoportokat mintázzuk

egymástól függetlenül. Minden egyes mintázási egység vagy populációs elem pontosan egy rétegbe tartozik. Ha a réteget viszonylag homogénnek alakítjuk ki a becslésre kijelölt változó varianciájához képest, a rétegzett mintázásakor a populáció bármely paraméterét általában nagyobb pontossággal tudjuk megközelíteni, mint az egyszerű, véletlen mintázással (Gál et al. 2005, Unger 2006).

Az eljárásban a rétegeket még a minták allokációja előtt kell definiálni. Amennyiben a vizsgált területről rendelkezünk már térbeli eloszlást jellemző információval, akkor a réteg optimális definíciója az, hogy egyes rétegekben definiált populáció egységek legyenek olyan homogének, amennyire csak lehetséges az ún. „auxiliáris” változó alapján. A réteg kialakítására használt „auxiliáris” változó jelen esetben a beépítettség (épületek, utcák, járdák, parkolók, stb. felületének %-os aránya egy cellán belül) volt. Elméletileg korlátozó tényező lehet az, hogy a pontosság elsősorban az auxiliáris változó és a becslésre kijelölt tulajdonság korrelációjának erősségétől függ. Amennyiben az auxiliáris változó kapcsolata a becslésre kijelölt elemmel nem szignifikáns, a végső becslés pontossága nagymértékben csökkenhet.

Cohran (1963) javasol egy eljárást erre az optimalizációra akkor, ha az auxiliáris változó folytonos értékekből áll. Amennyiben a cél a populációs várható érték becslése, akkor hatnál nem több réteg definícióját javasolja és eljárásában a Dalenius és Hodges (1959) által kifejlesztett módszert használja az auxiliáris változó eloszlása alapján megadandó optimális küszöbérték meghatározására. E vizsgálat keretében így hat réteget definiáltunk, és a populációs elemek rétegekbe tartozását a Dalenius-Hodges módszer alapján döntöttük el. Az 1. táblázat tartalmazza a rétegekbe sorolás eredményét, vagyis hogy az egyes rétegekbe hány populációs elem (cella) esik, valamint a mintavétel hány elemet érintett csoportonként. Összességében 35 cella alkotja a mintaterületet.

1. táblázat

Réteg sorszáma	Rétegben (db)	Mintában (db)
1. réteg	11	4
2. réteg	14	5
3. réteg	18	6
4. réteg	20	7
5. réteg	22	7
6. réteg	18	6
Teljes populáció	103	35

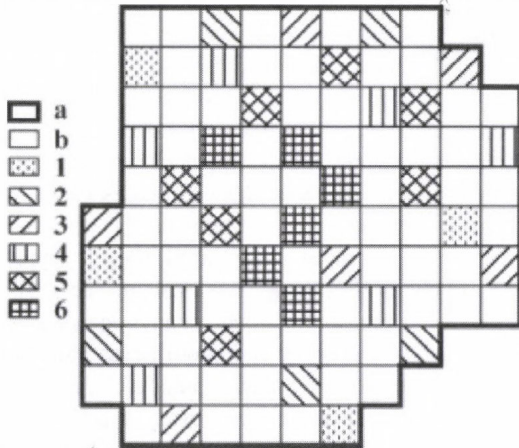
A rétegekben lévő egységek (cellák) száma és a mintázott egységek (cellák) száma

3.2. A területi elhelyezkedés szerinti kiválogatás

A következő feladat a rétegekből a megfelelő számú minta kiválasztása volt úgy, hogy a kiválasztott cellák területi elhelyezkedése minél reprezentatívabb legyen. A rétegzett mintázás már önmagában segíti ezt, hiszen az egyes rétegekből véletlenszerűen kiválasztott minták már eleve legalább

olyan jól – ha nem jobban – reprezentálják a teljes populációt, mint ha véletlenszerűen történe a cellák kiválasztása.

A rétegekből a megfelelő cellák kiválasztásánál első számú szempont volt, hogy a területen a lehető legegyszerűbben helyezkedjenek el. További szempont volt az is, hogy a város jelentős hőmérsékleti anomáliával rendelkező területei – ahol a felszín tulajdonságai is hirtelen változnak – mindenképpen reprezentálva legyenek. A kiválasztási eljárás végeredménye – azaz a mintaterületet alkotó cellák – a 2. ábrán látható, amely szerint a kiválasztott 35 cella a lehetősegekhez képest egyenletesen elszórva helyezkedik el.



2. ábra A mintaterületet alkotó cellák elhelyezkedése a vizsgált területen: (a) a vizsgált terület határa, (b) a mintaterületből kimaradt cellák, (1-6) a megfelelő sorszámú rétegből kiválasztott mintaterületi cellák

4. Az SVF meghatározása és összevetése a hőmérséklettel

4.1. Az algoritmus futtatása

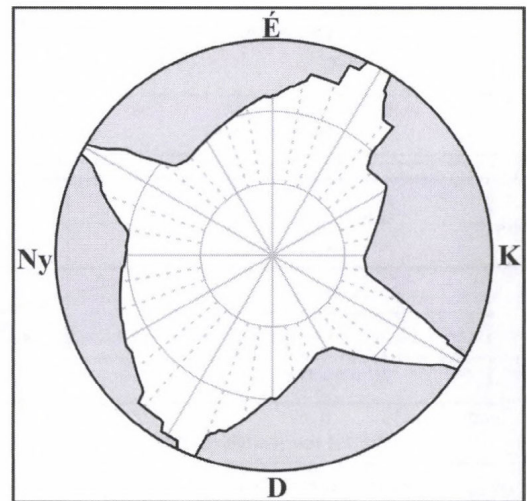
Az SVF értékek kiszámításához a kiválasztott 35 cellán belül elsőként a teljes útvonalnak az adott cellákban haladó szakaszait kellett meghatározni úgy, hogy amennyire lehetséges, kövessék az utcák középvonalát (3. ábra). Ezekre az útvonalszakaszokra történt az algoritmus bemenő paramétereként megadott mérési pontok elhelyezése, jelen esetben 20 méterenként (ez a sűrűség a megfelelő reprezentativitást szolgálja). Az egyes pontok magasságértékeit az épületmagasságok meghatározásánál használt szoftverrel mértük le (Unger et al. 2006).

Az összes pont (1022) esetén 200 méter sugarú volt a vizsgált terület, a forgatási szög pedig 1 fokos. Az algoritmust nem csak talajszintre, hanem 1,4 m magasságra is lefutattuk, hiszen a hőmérsékleti értékek is ilyen magasságból származnak, majd cellánként átlagoltuk a kapott SVF értékeket. A teljes futtatási idő körülbelül 10 óra volt.

Egy adott pontra vonatkozó SVF érték kiszámolásán kívül az algoritmus egyik opcionális eredménye a pont környezetét 180°-ban – halszemoptika jelleggel – bemutató kép, amely a pontot körülvevő épületek körvonalait ábrázolja és így szemlélteti az égboltnak a pontból látható részét (4. ábra). Ez a pontot környező félgömbnek egy olyan



3. ábra A város egy része (egy cella) az épületek alaprajzával és a mérési útvonallal (a - mérési útvonal, b - SVF mérési pont, c - a 4. ábrán szereplő mérési pont)



4. ábra Az algoritmus által generált kép: az épületek körvonalai által lehatárolt égbolt a 3. ábrán ▲-gel jelölt felszíni pontból nézve (SVF = 0,7722)

levetítése egy körlapra, ahol a sugárirányú távolságok a középponti szöggel arányosak.

4.2. Az UHI és az SVF összevetésének eredménye

A kiinduló adatok, mint cellánkénti átlagértékek, a következők voltak:

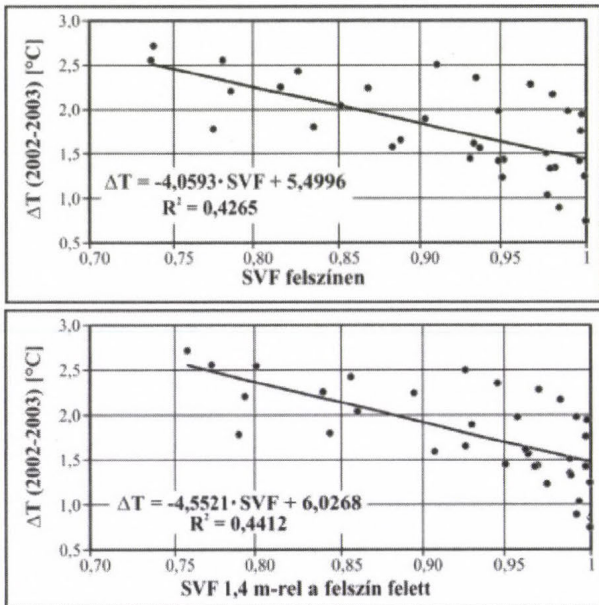
– független változó: SVF (talajszinten – SVF_0 , 1,4 m-es magasságban – $SVF_{1,4}$),

– függő változó: UHI intenzitás – ΔT (éves – $\Delta T_{év}$, „lombos” vagy meleg szezon – ΔT_{lomb} , illetve „lombtalan” vagy hideg szezon – $\Delta T_{lombtalan}$).

Először az éves átlagos ΔT és a két szintben számított SVF közötti összefüggést vizsgáljuk, majd rátérünk az évszakos átlagokra is. Természetesen a cellánkénti SVF átlag

gok mindhárom esetben ugyanazok, hiszen a felszíni elemek az egy éves mérési periódus során gyakorlatilag változatlanok tekinthetők. Az SVF átlagok ingadozása a belváros és a külterület cellák között 0,73–1,00 a felszínen és 0,76–1,00 a felszín felett 1,4 m magasságban.

Az egy éves periódusban az átlagos $\Delta T_{\text{év}}$ értéke 0,74–2,72 °C között változott a vizsgált területen belül, a legnagyobb értékek a város belső részein jelentkeztek. Az 5. ábra szerint erős lineáris kapcsolat mutatható ki az SVF és a $\Delta T_{\text{év}}$ területen belüli változása között. A kapott statisztikai mérőszámok alapján az SVF₀ változása 42,6%-ban, míg az SVF_{1,4} változása 44,1%-ban magyarázza meg a hőmérséklet városon belüli variációját ($R^2 = 0,426$ és 0,441). Tehát az SVF_{1,4} használata egy enyhe javulást jelent a determinációs együttható értékében. A megfelelő $R_0 = -0,653$ és $R_{1,4} = -0,664$ -es értékek szoros negatív kapcsolatra utalnak 1%-os szignifikancia szinten ($n = 35$).



5. ábra Az éves átlagos UHI intenzitás (ΔT) változása a két magassági szintben mért SVF függvényében (az értékek cellákra vonatkozó átlagok) ($n = 35$)

A „lombtalan” és a „lombos” periódusokban az átlagos ΔT értéke 0,85–2,63°C és 0,64–2,79°C között ingadozott. A két szezon összehasonlítása azt mutatja, hogy a várakozásnak megfelelően (ld. 2.2.2. fejezet) a kapcsolat szoro-

sabb a hidegebb évszakban (1%-os szinten) mindkét SVF számítási szintben, de a különbség nem túl nagy. A számított regressziós egyenesek és jellemzőségeiket a 2. táblázat tartalmazza. Természetesen ezek az összefüggések csak a vizsgált paraméterek értékhatárai között érvényesek.

A korrelációs együtthatók ($R_0 = -0,656$ és $R_{1,4} = -0,671$ a lombtalan, $R_0 = -0,632$ és $R_{1,4} = -0,639$ a lombos) értékei szoros negatív kapcsolatot jeleznek, de ez mindössze 2,2 és 3,2%-os szezonális különbséget jelent a ΔT variációjának magyarázatában. Ezek a kis különbségek természetesen az SVF számítási algoritmusból adódnak, amely csak az épületeket veszi figyelembe. Mindazonáltal, az eltérések kis %-os értékei a nyári vegetáció viszonylag csekély hatására utalnak az SVF szezonális változásában.

Azt vártuk, hogy a nyári időszakban a fák lombzatával kiegészített épületek csökkentik a felszínnek az égbolt irányába történő hosszuhullámú sugárzási veszteségét az éjszaka folyamán, ezzel a lehűlés mértékének csökkenését és a városi környezet magasabb hőmérsékletét eredményezve. Ezzel ellentétesen hat azonban, hogy a nappal folyamán a lombkorona miatt kisebb a szoláris energia bevétele, így kisebb a felszíni hőtárolás mennyisége és ezzel az éjszakai kisugárzás erőssége is. Ezért a vizsgálatunk jelenlegi fázisában azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a mérési útvonalak mentén a hősziget erősségére a fák égboltot korlátozó addíciós hatása elenyésző az épületek hatásához képest. Eredményeink összhangban vannak a hasonló jellegű korábbi vizsgálatokkal (Unger 2004), ahol az SVF értékek becslése terepi mérési adatokon alapult.

5. Egy további alkalmazási lehetőség

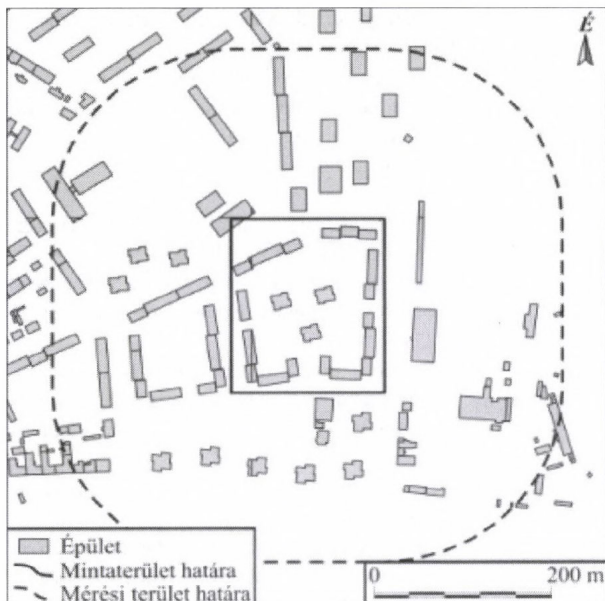
Természetesen a városi környezetben nemcsak egy útvonal mentén, hanem más szempontok alapján kijelölt kisebb-nagyobb területekre vonatkozóan is meg lehet határozni az arra jellemző SVF értékeket, vagy azoknak az adott területen való eloszlását a megkívánt (és a rendelkezésre álló 3D-s adatoktól is függő) felbontásban.

Erre példaként tekintsünk egy 170x200 m nagyságú mintaterületet Szeged egyik lakótelepi részén. A 6. ábra ezt a kijelölt területet, valamint az SVF számításhoz szükséges 200 m-rel megnövelt környezetet mutatja be a rajtuk lévő épületekkel együtt. Az SVF eloszlásának meghatározásához megfelelő sűrűségben felvett diszkrét pontokra vonat-

2. táblázat

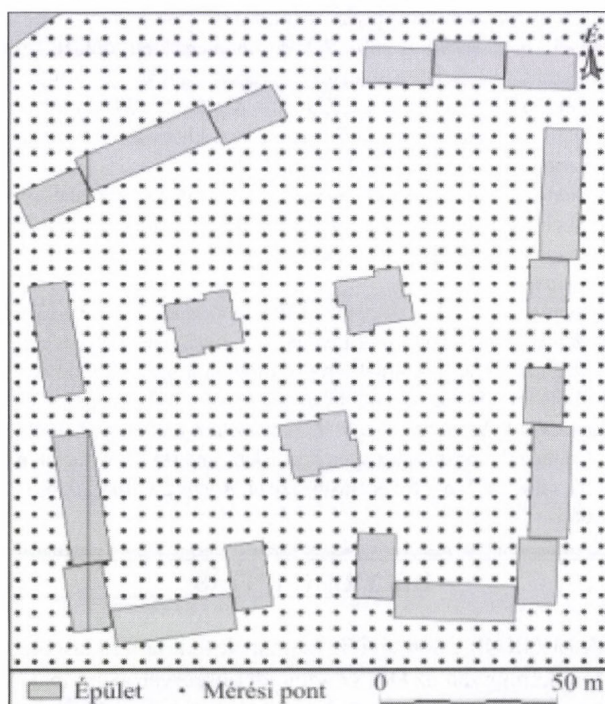
Időszak, SVF számítási szint	Regressziós egyenlet	R	R ²	Szignifikancia szint
év, talajszint	$\Delta T_{\text{év}} = -4,059 \cdot \text{SVF}_0 + 5,499$	-0,653	0,4265	1%
„lombtalan” szezon, talajszint	$\Delta T_{\text{lombtalan}} = -4,268 \cdot \text{SVF}_0 + 5,615$	-0,656	0,4309	1%
„lombos” szezon, talajszint	$\Delta T_{\text{lombos}} = -3,862 \cdot \text{SVF}_0 + 5,390$	-0,632	0,3991	1%
év, felszín felett 1,4 m	$\Delta T_{\text{év}} = -4,552 \cdot \text{SVF}_{1,4} + 6,026$	-0,664	0,4412	1%
„lombtalan” szezon, felszín felett 1,4 m	$\Delta T_{\text{lombtalan}} = -4,808 \cdot \text{SVF}_{1,4} + 6,189$	-0,671	0,4498	1%
„lombos” szezon, felszín felett 1,4 m	$\Delta T_{\text{lombos}} = -4,310 \cdot \text{SVF}_{1,4} + 5,873$	-0,639	0,4089	1%

A hősziget (ΔT) és a két szintben számított égboltláthatósági (SVF) közötti kapcsolat a három vizsgált periódusban, valamint a kapcsolódó jellemzőszámok ($n = 35$)



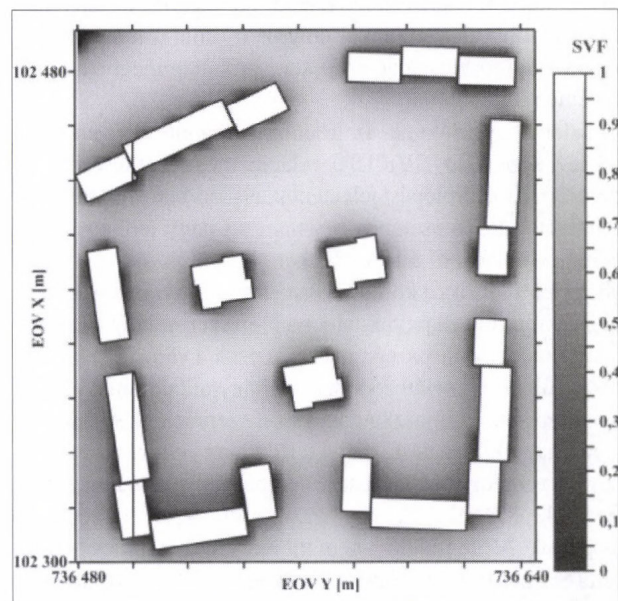
6. ábra A kiválasztott mintaterület Szeged egyik lakótelepi részén

kozó értékek szolgáltatnak információt. Az adatbázis pontosságát és az algoritmus futásának az idejét is figyelembe véve az 5 m-es felbontás (a mintaterületre fektetett 5x5 m-es háló) elegendőnek bizonyul az eloszlás jellegzetességeinek kirajzolásához (7. ábra). A mintaterületen és környezetében nagyrészt panel technológiával készült 14-16 m magas ötszintes és 31-32 m magas 11 szintes lakóházak vannak. A néhány nagyobb és szélesebb (és viszonylag alacsony) téglalap alakú épület szolgáltató funkciót lát el (iskola, élelmiszerbolt, orvosi rendelő, sportszarnok, stb.).



7. ábra A mintaterület és az SVF eloszlási mezőjének meghatározásához kiválasztott mérési pontok 5x5 m-es hálózata

Az eredményül kapott SVF eloszlási mezőt a 8. ábra mutatja, feltüntetve a mintaterület elhelyezkedésének pontos geodézia koordinátáit is. Látható, hogy az épületek közelében és ahol a szomszédos épületek falai egymáshoz közel vannak, ott alacsonyabb SVF értékek jelentkeznek (zártabb környezet), míg a házaktól viszonylag távolabb, tehát nyitottabb környezetben lévő részeken magasabb az érték.



8. ábra Az SVF értékek eloszlása a mintaterületen (EOY X és Y az Egységes Országos Vetület koordinátái)

Ez az SVF számítási eljárás, akár egyedi pontokra, akár egy rácsálzatra nézzük, nemcsak városi környezetben alkalmazható. Egy adott tetszőleges terepen lévő hely vagy terület mikroklimatikus vizsgálatához nagyon hasznos lehet az egyes pontok sugárzási viszonyait jellemző égboltláthatósági érték kiszámítása, amennyiben a környező terepről és a rajta lévő növényzetről, épületekről, rendelkezésre áll a megfelelő 3D-s vektoros adatbázis. Ez elérhető például a raszteres DDM átalakításával megfelelő felbontású vektoros állománnyá, kiegészítve pl. a felmért fák (és épületek) jellemző paramétereivel.

6. Összegzés

A kétrészes cikk célja egy olyan eljárás bemutatása volt, amely képes egy 3D-s adatbázis alapján a városi felszín geometriájának elemzésére, illetve ennek a geometriának és a hőmérséklet-eloszlás kapcsolatának a vizsgálatára egy 35 cellából álló városi mintaterületen. Az így kapott eredmények a felhasználhatóak lehetnek az átlagos városi hősziget modellezésénél, ahol a városi felszín leírása fontos paraméterként játszik szerepet.

A feladat megoldására készítettünk egy algoritmust, amely vektoros állományon – a sugárkövetés elvét felhasználva – képes a szükséges paraméter (SVF) meghatározására. Az algoritmust az ArcView 3.2 szoftveren implementáltuk

úgy, hogy a felhasználó által – a saját vizsgálati igényeinek megfelelően – paraméterezhető legyen. Az algoritmust a Szeged város épített felszínét leíró – rétegzett mintavétellel kiválasztott – 3D-s adatbázis modellen futtattuk.

Az UHI és az SVF összefüggésére irányuló vizsgálatok eredményei hasonlóknak adódtak a korábban teodolitos mérésekkel elvégzettekhez, vagyis szoros kapcsolatot sikerült kimutatni a két változó között. Az algoritmus lényegesen nagyobb elemszámmal dolgozott, mint a terepi méréseken alapuló vizsgálat, ezért statisztikailag megbízhatóbb eredményt szolgáltat.

Jelen vizsgálatunk az irodalmi áttekintésben említettekhez képest az SVF-UHI reláció megközelítése szempontjából is előrelépést jelentenek, elsősorban amiatt, hogy mindkét változó esetében egy nem túl nagy területre (egy cella) vonatkozó átlagértékeket vetettünk össze. Mint ahogy említettük, a korábbi vizsgálatok gyakran kevés számú elempáron alapultak, amelyek értékei mindig egy-egy adott pontra vonatkoztak, másrészt csak a város(ok) kisebb részterületeire korlátozódtak és néhány alkalommal elvégzett mérésekre támaszkodtak. Ezzel szemben vizsgálatunk során nagy kiterjedésű városi területeket vettünk számításba, viszonylag nagy számú elempárt alkalmaztunk, melyeknek értékei sok alkalommal elvégzett méréseken alapultak. A megfelelő – nem túl nagy, nem túl kicsi – méretűre választott területekre (egy-egy cellára) vonatkozó átlagos égboltláthatóság és hősziget intenzitás értékeiben tulajdonképpen összegződnek az adott területek felszíngeometriájának sajátosságai és mikroklimatikus folyamatainak termikus eredményei. Így e mérőszámok megfelelően reprezentálják a kiválasztott kisléptékű körzet vizsgált változóit.

Köszönetnyilvánítás: A kutatást az OTKA (T049573) támogatta.

Unger János – Gál Tamás – Geiger János
Szegedi Tudományegyetem

Irodalom

- Bäring L, Mattsson JO and Lindqvist S, 1985: Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmö, Sweden. *J Climatol* 5, 433-444
- Blankenstein S and Kuttler W, 2004: Impact of street geometry on downward longwave radiation and air temperature in an urban environment. *Meteorol Zeitschrift* 15, 373-379
- Bottyan Z and Unger J, 2003: A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theor Appl Climatol* 75, 233-243
- Cohran WG, 1963: *Sampling Techniques* (2nd ed). John Wiley & Sons, New York
- Dalenius T, Hodges JL, 1959: Minimum variance stratification. *J American Statistical Association* 54, 88-101
- Eliasson I, 1992: Infrared thermography and urban temperature patterns. *Int J Rem Sensing* 13, 869-879
- Eliasson I, 1996: Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmos Environ* 30, 379-392
- Gál T, Balázs B and Geiger J, 2005: Modelling the maximum development of urban heat island with the application of GIS based surface parameters in Szeged (Part 2): Stratified sampling and the statistical model. *Acta Climatologica Univ Szegediensis* 38-39, 59-69
- Johnson DB, 1985: Urban modification of diurnal temperature cycles in Birmingham. *J Climatol* 5, 221-225
- Oke TR, 1981: Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *J Climatol* 1, 237-254
- Park H-S, 1987: Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments. *Environmental Research Center Papers* 11, The University of Tsukuba, Ibaraki, Japan, 79 p
- Santos IG, Lima HG and Assis ES, 2003: A comprehensive approach of the sky view factor and building mass in an urban area of the city of Belo Horizonte, Brazil. In Klysis K, Oke TR, Fortuniak K, Grimmond CSB and Wibig J: *Proceed Fifth Int Conf on Urban Climate* Vol. 2, University of Lodz, Lodz, Poland, 367-370
- Sümeghy Z és Unger J, 2004: A városi hősziget szerkezetének vizsgálata normalizált intenzitás segítségével. *Légekör* 49/2, 15-19
- Svensson M, 2004: Sky view factor analysis – implications for urban air temperature differences. *Meteorol Appl* 11, 201-211
- Unger J, 2004: Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach. *Climate Research* 27, 253-264
- Unger J, 2006: Modelling of the annual mean maximum urban heat island with the application of 2 and 3D surface parameters. *Climate Research* 30, 215-226
- Unger J, Gál T és Kovács P, 2006: A városi felszín és a hősziget kapcsolata Szegeden, 1. rész: térinformatikai eljárás a felszíngeometria számszerűsítésére. *Légekör* 51/3, 2-9
- Unger J és Sümeghy Z, 2001: A városi hőmérsékleti többlet: keresztmetszet menti vizsgálatok Szegeden. *Légekör* 46/4, 19-25
- Unger J, Pál V, Sümeghy Z, Kádár E és Kovács L, 1999: A maximális kifejlődésű városi hősziget területi kiterjedése tavasszal Szegeden. *Légekör* 44/3, 34-37
- Upmanis H, 1999: The influence of sky view factor and land-use on city temperatures. In Upmanis H, 1999: *Influence of parks on local climate*. Earth Sciences Centre, Göteborg University A 43: paper 3
- Upmanis H and Chen DL, 1999: *Climate Research* 13, 125-139
- Upmanis H, Eliasson I and Lindqvist S, 1998: The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). *Int J Climatol* 18, 681-700
- Yamashita S, Sekine K, Shoda M, Yamashita K and Hara Y, 1986: On the relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama River Basin, Japan. *Atmos Environ* 20, 681-686

HELYREIGAZÍTÁS

A LÉGKÖR 2006. évi 3. számának fedőlapján közölt fénykép ugyan az OMSZ szegedi obszervatóriumában készült, de *Cb* felhőzet alatt húzó vadlibákat ábrázol. (A szerk.)

Turbulencia, káosz, pillangóhatás

A légköri mozgások természetének, az áramlástani karakterisztikák mellett a termodinamikai jellemzőket is magában foglaló légköri állapotváltozások fizikájának, valamint az időjárás előrejelezhetőségének elemzése során gyakran találkozunk három fogalommal: a légáramlás *turbulens jellegével*, a folyamatok *kaotikus dinamikájával*, illetve a prognózisok érvényességének korlátjait szimbolizáló *pillangóhatással*. Mivel ennek a három fogalomnak a lényege és egymással fennálló kapcsolata nem minden esetben jelenik meg egyértelműen a köztudatban, ezért érdemes őket tudománytörténeti keretbe foglalva, a szinoptikus meteorológia és a légkördinamika oldaláról kissé közelebről is szemügyre vennünk.

Turbulens áramlások

A turbulencia a klasszikus fizikának talán a legfontosabb, részleteiben mégis a legkevésbé ismert problémáját alkotja. A szájhagyományok szerint *Werner Heisenberg*, a kvantummechanika alapjainak megteremtője, a halálos ágyán kijelentette, hogy Istenhez két kérdése lesz: mi a relativitás elve, és mi a turbulencia? „Biztos vagyok abban – tette hozzá –, hogy az Úrnak az első kérdésre van válasza.” *Steven Orszag*, a jelenleg a Yale Egyetemen oktató neves matematikus ezt az anekdotát négy híres tudós, *Neumann János*, *Willis Lamb*, *Arnold Sommerfeld* és *Kármán Tódor* személyének említésével meséli el, majd megjegyzi, hogy „úgy képzelem, ha a Jóisten valóban választ adott ennek a négy embernek, akkor az mindegyik esetben más volt”.

A turbulencia a sűrűlő folyadékok és gázok áramlásának legbonyolultabb formája, amelyet térben és időben folytonosan változó örvényes kép jellemez. Turbulens áramlás akkor alakul ki, amikor a Navier–Stokes-féle mozgásegyenletekben a tehetetlenségi erő és a sűrűlási erő hányadosa, a dimenzió nélküli *Reynolds-szám* egy kritikus értéknél nagyobb. Laboratóriumi kísérletek szerint az időben állandó lamináris áramlás abban az esetben válik hidrodinamikailag instabillá, és váltja fel azt egy nem-stacionárius, örvényképződéssel járó áramlási formáció, amikor a Reynolds-szám meghaladja a 2100 körüli értéket.

A légköri mozgások a *nagy Reynolds-számú áramlások* családjába tartoznak: a tehetetlenségi erő általában 4-6 nagyságrenddel múlja felül a sűrűlási erő értékét. Ezért a légkörben (a felszín fölötti 1 cm-es légrétegen kívül) az összes térbeli skálán teljesen kifejlett turbulencia uralkodik. A térben differenciált eloszlású szoláris hőközlés által gerjesztett általános légkörvész nagyterésű mérsékeltövi örvényeit (a ciklonokat és anticiklono-

kat) ebben a kontextusban turbulencia testeknek (vagy turbulencia elemeknek) tekinthetjük, amelyek az energiájukat barotrop (tehetetlenségi) instabilitás esetében az alapáramlás kinetikus energiájából, baroklin instabilitás esetén pedig az alapáramlás hozzáférhető potenciális energiájából nyerik. A szabad légkör nagyterésű rendezett mozgásainak befejező életciklusa az áramlás sűrűlő felaprózódása, amelynek során a nagyobb örvények energiája az egyre kisebb méretű örvényeknek adódik át, és amelyet légköri energiakaszádnak nevezünk. Ilyenformán a globális légkör termikusan gerjesztett és a sűrűlő által csillapított, tehát *kényszerített-disszipatív rendszert* alkot.

Kaotikus állapotváltozások

A káosznak a mai napig nincs egységesen elfogadott meghatározása. A mozgásoknak (állapotváltozásoknak) ez a formája alig több mint negyed évszázaddal ezelőtt, a nemlineáris jelenségek felderítésére és elemzésére szolgáló számítógépes módszerek elterjedésével vált szélesebb körben ismertté, miután kiderült, hogy – megcáfolva a tudomány egyik, *Pierre Simon de Laplace* márki 1814-ben megfogalmazott nézetére épülő, alapvető tantételét – determinisztikus rendszerek is produkálhatnak előre nem jelezhető, véletlenszerű folyamatokat. A korlátlan prognosztikai képességűnek vélt „Laplace-démon” kudarcát eredményező káoszt ezért *különös viselkedés* néven is szokás emlegetni, amelyik negyedikként sorakozott fel az autonóm dinamikai rendszerek aszimptotikusan kialakuló állandósult viselkedésének korábban ismert három reguláris típusa, nevezetesen a stacionárius állapot, valamint a periodikus és a kvázi-periodikus változás mellé. Definíálhatnánk ezért a káoszt úgy, mint ami ennek a három szabályos viselkedésnek az egyike sem – de akkor micsoda?

A kérdésre a numerikus kísérletek adták meg a választ. Ellentétben a korlátos állandósult viselkedés reguláris formáival, először is a kaotikus spektrumot nem kizárólag diszkrét frekvenciák alkotják, hanem az időbeli változás önmagát pontosan sohasem ismétlő (aperiodikus) folyamat, és a spektrum folytonos, szélessávú, zajszerű képet mutat. Másodszer, a disszipatív dinamikai rendszerek fázissterében mindig létezik egy, az állapotpontok trajektóriáit vonzó, és az állandósult viselkedésre jellemző halmaz; ezt a rendszer *attraktorának* nevezzük. Mivel az ilyen rendszerek energiát adnak át a környezetüknek, ezért bármelyik kiszemelt, az állapotpontokkal együtt mozgó fázisstartomány térfogata a Liouville-tétel értelmében exponenciálisan csökken, és így az attraktor fázissterfogata nulla (egy sűrűlő-

dásmentes, konzervatív rendszernek ezért nincs karakterisztikus állandósult viselkedése és attraktív halmaza). Mármost, a reguláris állapotváltozások attraktorai hagyományos geometriai alakzatok: stacionárius állapot esetében fix pont, periodikus viselkedés esetén zárt görbe, kvázi-periodikus állapotváltozásoknál pedig egy legalább két független görbülettel jellemezhető gyűrű alakú felület (tórusz). Kaotikus állandósult viselkedésnél viszont a vonzó halmaz egy végtelen hosszúságú görbe által alkotott bonyolult, de rendezett fraktálszerkezet: dimenziója tört szám, és az ebből fakadó egyik sajátossága, hogy az attraktor és a síkjára merőlegesen húzott egyenes diszkrét metszéspontjainak száma végtelen, míg a pontok együttesének Lebesgue-mértéke (teljes „hossza”, tehát az attraktor „vastagsága”) nulla. Ezért David Ruelle és Floris Takens 1971-ben találóan nevezte el a képződményt *különös attraktornak* [1]. Végül a kaotikus rendszerek harmadik, gyakorlati szempontból legfontosabb megkülönböztető jellemzője a kezdeti feltételekre mutatott exponenciális érzékenység, ami lehetetlenné teszi az állapotváltozás hosszabb távú előrejelzését.

Mindezen ismérvek birtokában a Royal Society által 1986-ban, Londonban rendezett nemzetközi konferencián a szakértők a szótárak készítőinek a következő egyszerű definíciót javasolták: *a káosz a determinisztikus rendszerekben előforduló sztochasztikus viselkedés*. A tudósok tehát végül elfogadták az attraktoron végbemenő aperiodikus folyamatok dinamikájának minősítésére a *káosz* terminológiát, noha azt kezdetben sokan kifogásolták (Edward Lorenz például hosszú időn keresztül következetesen az „irregularitás” elnevezést használta). Magát a szót James Yorke vezette be a szakirodalomba, amikor tanítványa, Tien-Yien Li társaságában, 1975-ben cikket publikált az egyik legtekintélyesebb amerikai matematikai folyóiratban *A hármas periódus káoszra utal* címmel [2]. A fogalom felkeltette a *The New York Times* tehetséges szakírója, James Gleick érdeklődését, aki 1987-ben jelentette meg *Káosz – egy új tudomány születése* című (1999-ben magyar nyelvre is lefordított) könyvét, amely akkora sikert aratott, hogy a szó a köznapitól eltérő jelentéssel, tudományos terminológiaként végérvényesen polgárjogot nyert. Lorenz később fel is tette a költői kérdést: vajon Gleick műve akkor is bestsellerré vált volna, ha az *Érzékeny függőség – egy új tudomány születése* címmel kerül a könyvesboltok polcaira?

A kaotikus folyamatok elemzésével kibontakozó új világszemléletet a téma néhány úttörő kutatója, köztük Yorke és a magát „a káosz evangélistájának” valló Joseph Ford is – a neves tudománytörténész, Thomas Kuhn gondolatait [3] tovább vezetve – a 20. század tudományának a relativitáselmélet és a kvantummechanika mellé felzárkózó harmadik paradigmaváltásaként értékelte. Ford szavait idézve, „a káoszelmélet bizonyos

értelemben Kurt Gödelnek (a matematika nemteljességi tétele kidolgozójának) a gyermeke, mivel bebizonyítja, hogy léteznek megválaszolatlan fizikai kérdések”, míg Yorke szerint a káosz felfedezéséből levonható tanulságot legszebben a *Hamlet* sorai foglalják össze: Yorke tolmácsolásában „a dolgok különösebbek, mint gondoljuk”. Világosan kell azonban látnunk, hogy a káoszelmélet, jelentőségét ezzel mit sem csorbítva, valójában nem tekinthető a fizika harmadik forradalmának, mert – amint azt *Tél Tamás* is hangsúlyozza – „új törvények felfedezése nem kapcsolódik hozzá, hanem az ismert törvények eddig el sem képzelt bonyolultságú megnyilvánulásának a felismeréséről van szó” [4].

Az pedig már egy másik kérdés, hogy az a típusú káosz, amelyről Yorke a fiatal munkatársával értekezett, csak néhány speciális kezdeti feltételből induló állapotváltozásra vonatkozik, miközben a legtöbb folyamat reguláris viselkedést mutat. Ezt az esetet ma *korlátozott káosznak* nevezzük, megkülönböztetésül a *teljes káosztól*, amelynél az érzékeny függőség a legtöbb fázisértebeli trajektóriára érvényes. A „néhány” és a „legtöbb” jelzők közötti különbség szemléltetéséhez tekintsünk egy négyzetre és e négyzet egyik átlójára: az átlón fekvő diszkrét pontok száma végtelen, de a négyzeten belüli legtöbb pont nyilvánvalóan az átlón kívül helyezkedik el, és ezért nulla a valószínűsége (de nem lehetetlen), hogy egy véletlenszerűen megválasztott pont az átló egyik pontja lesz. Ebben az értelemben mondhatjuk, hogy a korlátozott káosz nulla valószínűséggel lép fel a természetben, tehát ha a légkört ez a típusú káosz jellemezné, akkor az időjárás annyira lenne előre jelezhető, mintha a folyamatokat nem kaotikus dinamika kormányozná.

Az új szakszavak bevezetésével kapcsolatban érdekes megjegyeznünk, hogy kezdetben az attraktor geometriájára utaló „különös” (*strange*) elnevezés sem aratott osztatlan elismerést. Két novoszibirszki fizikus, Boris Chirikov és Felix Izrailev 1981-ben, az Elsevier által kiadott *Physica* folyóirat deklarálta a nemlineáris dinamika témakörének szentelt *D-sorozat*a egyik cikkében kifejtette, hogy „egy különös attraktor csak egy kívülálló számára tűnik furcsának”, ami sokkal szellemesebben hangzik az eredeti angol változatban: *a strange attractor seems strange only to a stranger* [5]. Szerencsésebb fogadtatású volt az euklideszi térben tört értékű dimenzióval megjelenő alakzatok közös megjelölése céljából bevezetett terminológia. Megalkotója, Benoit Mandelbrot 1975 egyik téli délutánján akadt rá, miután az iskolából hazatért fia latin szótárát lapozgatva, szemébe ötlött a „széttör” jelentésű *frango* igéből képzett *fractus* („megtört”) szó. Így született meg az ellenvetés nélkül elfogadott „fraktál” elnevezés, kivételes eseményeként Mandelbrot vitákban bővelkedő szakmai pályafutásának.

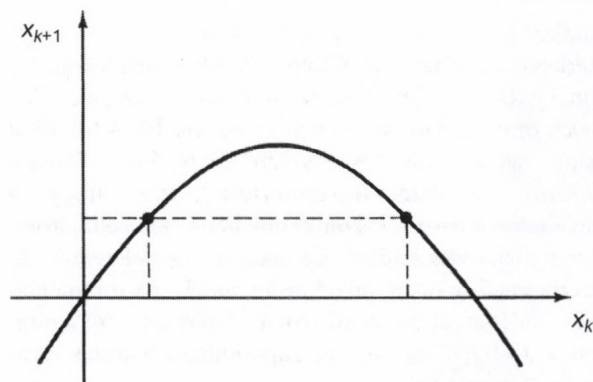
Hogy ne tartozunk a különös attraktort furcsának ítélő kívülállók közé, a következő tényeket kell átgondol-

nunk. Egy kaotikus disszipatív dinamikai rendszer trajektóriákat vonzó, végtelen hosszúságú attraktorának a fázistér korlátos méretű tartományába kell beilleszkednie. Eközben a görbe egyrészt sehol nem keresztezheti egy korábbi szakaszát (a metszéspont ugyanis a rendszer olyan állapota lenne, amely nem határozza meg egyértelműen a későbbi állapotokat, ami ellentmond a fizika alaptörvényének), másrészt a görbe csak megközelítheti a fázistérnek egy korábban már meglátogatott pontját (ha ugyanis érintené ezt a pontot, akkor ettől az időpillanattól kezdve az állapotváltozás korábbi története megismétlődne, azaz a viselkedés elveszítené aperiodikus jellegét). Ez a három egyidejű követelmény úgy valósul meg, hogy az attraktor nem megszámlálhatóan végtelen sok alkalommal visszahajlik önmagára, létrehozva a már említett, nulla fázistérfogatú fraktálszerkezetet. Matematikailag igazolható (ez a nevezetes Poincaré–Bendixson-tétel), hogy egy ilyen struktúra létrejöttéhez a fázistérnek legalább háromdimenziósnak kell lennie, a kétdimenziós fázissík ugyanis nem eléggé tágas ahhoz, hogy benne kaotikus trajektóriák elférjenek.

A Royal Society fentebb idézett meghatározásával összefüggésben hangsúlyoznunk kell, hogy a „sztochasztikus viselkedés” csak a megjelenésében mutat véletlenszerűséget: a makroszkopikus kaotikus folyamatokat teljes egészében törvények irányítják. Ezért szokás a mindennapi értelemben teljes zűrzavart és összevisszaságot jelentő, görög–latin eredetű káosz szó elé gyakran a *determinisztikus* jelzőt illeszteni, egyúttal megkülönböztetésként a kinetikus gázelméletben meghonosodott *molekuláris* káosztól, amelyet *Ludwig Boltzmann* vezetett be a 19. század második felében a 1024 szabadsági fokú rendszerek rendezetlen viselkedésének jellemzésére. A molekuláris káosz mintapéldája a folyadékokban és gázokban lebegő mikroszkopikus részecskék véletlenszerű Brown-mozgása, amelynek a mozgásegyenlete sztochasztikus. Ezzel kapcsolatban csak érdekességként említünk meg egy új kutatási eredményt, amely szerint abban az esetben, ha a Brown-mozgást nem véletlennek, hanem a molekuláris mozgás által determinált kaotikus folyamatnak tekintjük, akkor le lehet vezetni az erre vonatkozó determinisztikus mozgásegyenleteket [6].

A definíciók között tovább tallózva, Lorenz szerint a *káosz egy dinamikai rendszernek az a tulajdonsága, hogy a legtöbb állapotváltozás érzékenyen függ a kezdeti feltételektől* [7]. A numerikus prognosztikai gyakorlat tekintetében természetesen ez a lényeges ismérv, hiszen azt hangsúlyozza, hogy nemlineáris dinamikai rendszerekben teljesen normális, ha két, egymással csaknem azonos állapotot, elegendő idő elteltét követően, két olyan állapot kísér, amelyek nem mutatnak egymással nagyobb hasonlóságot, mint egy hosszú idősről véletlenszerűen kiválasztott két állapot. Ruelle meghatározása Lorenz technikai definíciójánál is tömörebb: *szerinte a káosz előrejelezhetetlenséget és véletlent jelent* [8].

A determinisztikus káosznak talán a leginkább meglepő tulajdonsága, hogy egyszerű nemlineáris rendszerekben is előfordulhat. Folytonos idejű rendszerekben a kaotikus viselkedés kialakulásához elég, ha az állapotvektor dimenziója eléri a hármat. Viszont diszkrét idejű leképezések esetében akár egyetlen skalár változó is elegendő lehet a káosz fellépéséhez, amennyiben azok (mint például az $M(x) = rx(1-x)$ függvénnyel definiált, széles körben alkalmazott logisztikus leképezés) nem-invertálhatók: egy adott x_k állapot a rákövetkező x_{k+1} állapotot egyértelműen meghatározza, viszont az x_{k+1} állapot két, egymástól különböző megelőző x_k állapotból is származhat (1. ábra). Ez a jellemvonás áll a háttérben annak a definíciónak, amelyet *Tél Tamás* és *Gruiz Márton* fogalmazott meg, és amely szerint a *káosz az egyszerű rendszerek bonyolult időbeli viselkedése* [9]. A meghatározás teljesen korrekt abban az értelemben, hogy a káoszméletnek a fizikusok és matematikusok által kidolgozott számos, gyakran igen elvont tétele kizárólag kis (mindenképpen 10 alatti) szabadsági fokú rendszerekre vonatkozik. Ezzel szemben a nagyterségű légköri folyamatokat a kutatók 106–107-dimenziós általános cirkulációs modellekkel szimulálják, ráadásul az időben véletlenszerűen változó külső kényszerek (köztük a naptevékenység és a vulkán-tevékenység) fellépése révén a valós légkör nem is tartozik az autonóm rendszerek közé. Mindebből az a következtetés adódik, hogy a *légkör nem kaotikus*, hanem annál sokkal komplexebb geofizikai folyadék, és ezen a tényen lényegében az sem változtat, hogy a Marylandi Egyetemen *Szunyogh István* és munkatársai kimutattak véges idejű, lokálisan alacsony dimenziós viselkedést a légkörben [10, 11]. Ugyanakkor Lorenz munkásságának köszönhetően, aki az 1960-as évek elején elsőként talált rá olyan disszipatív dinamikai rendszerre, amelynek különös attraktora van, a szakirodalomban a légkört az elsők között szokás emlegetni a természetben előforduló kaotikus rendszerekre hozott példák sorában.



1. ábra. A logisztikus leképezés neminvertálható jellege.

Jogos tehát a kérdés: miként oldható fel ez az ellentmondás? A legközvetlenebb formában nyilván vagy úgy, hogy a káoszt csak a kezdeti feltételekre mutatott

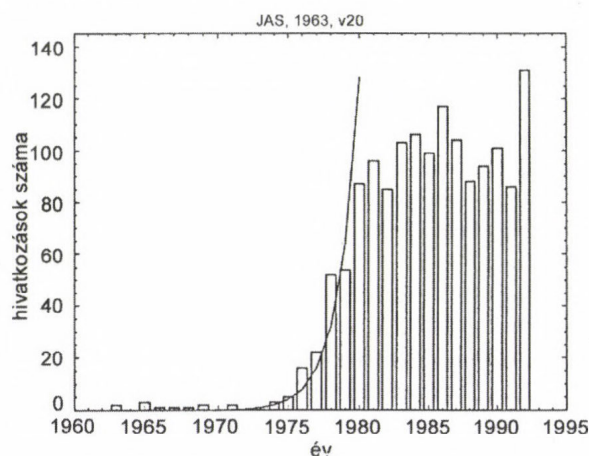
érzékenységgel, illetve az ebből eredő korlátozott előrejelezhetőséggel definiáljuk (amint ezt *Temesvári Tamás* és *Tél Tamás* tanulmánya is megemlíti [12]), vagy pedig a káosz meghatározásból elhagyjuk az „egyszerű rendszerekre” vonatkozó megszorítást, miközben természetesen nem vitatjuk, hogy a növekvő szabadsági fokú rendszerek időbeli viselkedése szükségszerűen egyre bonyolultabb. Ám ezeknél meggyőzőbb érvek is felsorakoztathatók annak alátámasztásául, hogy a légköri folyamatokat alapvetően kaotikus dinamika kormányozza. Ezeket az érveket azoknak a numerikus kísérleteknek a sorozata szolgáltatta, amelyeket az elmúlt évtizedekben alacsonyrendű (10-nél kisebb szabadsági fokú) nemlineáris, autonóm légköri modellekkel hajtottak végre, a drasztikus egyszerűsítések során gondosan ügyelve arra, hogy az energiaátalakulások fontos elemei, valamint az impulzus és a hő átvitelének meghatározó folyamatai megbízhatóan szimulálhatók maradjanak. Az eredmények a rendszer termikus gerjesztését és mechanikai disszipációját szabályozó kontrollparaméterek légkörre érvényes értékeinél mind az időjárási, mind az éghajlati időskálákon egyértelműen igazoltak három jellemző vonást: a modellezett állapotváltozások aperiodikus szabad változékonyságát, a kezdeti feltételek kis hibáinak exponenciális ütemű növekedését, valamint a fázistérbeli komplex, de rendezett fraktálszerkezetet [13]. Ezzel összefüggésben érdemes megjegyeznünk, hogy Lorenz legújabb vizsgálata szerint (amelyet életének 90. évében publikált) az általános légkörzés háromdimenziós dinamikai rendszerének absztrakt fázistere az állapotvektor összetevőinek megfelelő transzformációja segítségével a koordinátákként a földrajzi hosszúságot és szélességet, valamint a magasságot alkalmazó geográfiai térré alakítható át, amelyben a rendszer különös attraktora az időjárási térképekről ismert szinoptikus struktúrák formájában jelenik meg [14].

Turbulencia és káosz

Amikor Lorenz a *Journal of the Atmospheric Sciences* szerkesztőségéhez benyújtotta 1963-ban megjelent, tudománytörténeti jelentőségű tanulmányát, az eredetileg a *Determinisztikus turbulencia* címet viselte. A folyóirat akkori szerkesztője (és a szerző jó barátja), *Norman Phillips* azonban figyelmeztette arra, hogy a Rayleigh–Bénard-féle konvekció általa elemzett háromdimenziós rendszerének kormányzó egyenleteiből hiányzik néhány olyan tulajdonság, amelyet a turbulenciával általában azonosítani szokás. Ezért a szerző a címben a „turbulencia” szót az „aperiodikus áramlás” szavakkal cserélte fel.

Lorenz eredményei mintegy tíz éven keresztül inkább csak a meteorológusok körében voltak ismertek. Írása csupán azt követően vált az egyik legtöbbször idézett tanulmánnyá, hogy a különböző tudományágak képviselői

által végrehajtott numerikus kísérletek eredményeiben mind gyakrabban jelentek meg a káosz ismérvei (2. ábra), majd kiderült, hogy nemlineáris rendszerekben a szabályos viselkedést kell kivételnek tekinteni. Kaotikusnak bizonyult például a vízcsap csepegése, *Henri Poincaré* 1892-ben megfogalmazott sejtésével összhangban az égitestek mozgása, káoszt tapasztaltak a kutatók a többi között elektromos áramkörökben, kémiai reakciókban, a geomágneses tér polaritásának félmillió évenkénti megváltozásában, a populációdinamikában, és számos érdekes kérdést vetett fel, hogy miként realizálódik a klasszikus konzervatív rendszerek irreguláris viselkedése a kvantummechanikában.



2. ábra. Lorenz tanulmánya idézettségének évenkénti alakulása 1963 és 1992 között, a philadelphiai tudományos informatikai intézetben összeállított Science Citation Index szerint.

A káoszelmélet korai éveiben a legnagyobb reményt talán az jelentette, hogy az új diszciplína végre fényt vet a turbulencia homályos problémáira. A Cambridge-i Egyetemen az 1920-as évek elején, *Sir Geoffrey Taylor* irányításával végrehajtott laboratóriumi kísérletek nyomán a kutatók azt tudták, hogy egy álló és egy forgó koncentrikus henger közötti térrészben elhelyezkedő folyadék mozgása (az ún. *Couette-áramlás*) a Reynolds-szám lassú növelésével úgy módosul, hogy a rendszerben lineárisan független frekvenciájú hullámok jelennek meg. Ennek az ismeretnek az alapján dolgozta ki 1944-ben *Lev Landau* a turbulens mozgás évtizedeken át általánosan elfogadott magyarázatát: a Reynolds-szám értékének emelése az áramlásban egyenként újabb és újabb diszkrét hullám belépését eredményezi; mindegyik hullám a többitől lineárisan független alaphullámmal rendelkezik, és a Reynolds-szám egyre kisebb növekménye során alakul ki. Ezért nagyon hamar elérkezünk ahhoz a kritikus Reynolds-számhoz, ahol már az összes létező frekvencia jelen van a folyadékban – *Landau* szerint ez a turbulencia.

A turbulencia időbeli kialakulásának *Landau*-féle folyamatát numerikus kísérletekkel elsőként *David Ruelle*, *Floris Takens* és *Steven Newhouse* [1, 15], labo-

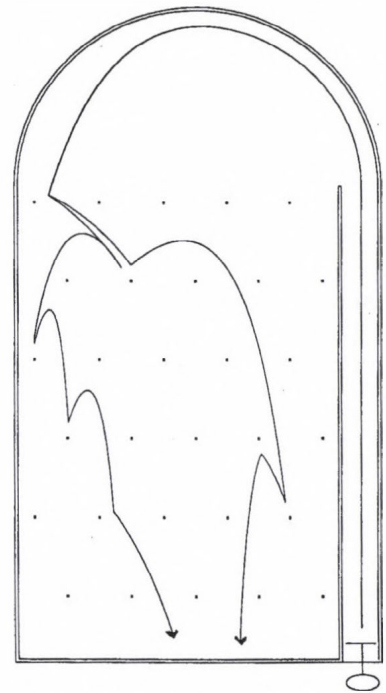
ratóriumai kísérletekkel pedig *Harry Swinney* és *Jerry Gollub* [16] kérdőjelezte meg. Megállapításaik lényege az volt, hogy egy kvázi-periodikus mozgás már a harmadik független alaphfrekvencia belépésénél instabillá válhat, és ha a rendszernek létezik különös attraktora, akkor egyidejűleg a spektrális eloszlásban szélessávú zaj jelenik meg. Ezért széles körben elfogadottá vált az a nézet, hogy a káosz megértése egyben a turbulencia megértését is jelenti majd. Napjainkra kiderült, hogy ez az optimizmus éppoly túlzott volt, mint azok a remények, amelyek a káoszelméletől várták például a rendellenes szív működésnek, az agy elektromos tevékenységének, a tőzsdei és piaci árfolyam-ingadozásoknak, sőt még a történelmi tárgyú eseményeknek és elbeszéléseknek is a jobb megismerését. Nem igazolódtak azok az elvárások sem, amelyeket a légkörfizikusok az 1980-as években a többdimenziós állapotvektor egyetlen mért komponensének hosszú idősorára építő, kísérleti attraktor-rekonstrukciók eljárásokhoz fűztek [17]. Alapvető szerepet játszott viszont a kaotikus dinamika a numerikus időjárás prognosztika koncepcióváltásában, amelyet a legszemléletesebben a *pillangóhatás* fejez ki.

A pillangóhatás

A kezdőfeltételekre mutatott érzékenység – tehát az a folyamat, amelynek során a kezdetben kis mértékben különböző állapotok az idő múlásával exponenciálisan (vagyis minden hatványfüggvényénél gyorsabban növekvő ütemben) térnek el egymástól – a dinamikai instabilitás következménye. A hagyományos értelemben definiált instabil állapot leggyakrabban emlegetett példája a hegyére állított ceruza. Ha ezt az állapotot kis perturbáció éri, a ceruza kibillen függőleges helyzetéből, ám mozgása a feldőlés megkezdését követően többé már nem instabil. Ezzel szemben a kaotikus viselkedést eredményező dinamikai instabilitás a mozgás (vagy állapotváltozás) minden pillanatában fennmarad; fogalmazhatunk úgy is, hogy a közeli állapotok fázistérbeli gyors távolodását *állandósult instabilitás* hozza létre.

A mozgás egész élettartama során fennálló instabilitás szemléletes példáját egy évtizedekkel ezelőtt igen kedvelt asztali szerencsejáték, a *tivoli* nyújtja, amelynek rugóval kilőtt golyói egy lejtős pályán elhelyezett tűknek sorozatosan ütközve, különböző számértékű lyukakba esnek bele. A 3. ábrán két, közel azonos sebességgel indított golyó számítógéppel szimulált trajektóriája szerepel, figyelembe véve a súrlódás lassító hatását, valamint azt a további energiavesztéseket, amelyet a golyó egy tűnek vagy az oldalfalnak ütközésekor elszenved. A pályáknak a kezdeti sebességtől való érzékeny függősége egyértelműen megfigyelhető.

Miként a véletlen események szimbóluma az érmedobás, úgy válhatott volna a káosz szimbólumává a *tivoli*. Ezt a rangot azonban a „pillangóhatás” nyerte el, vitat-



3. ábra. A tivoli csaknem egyforma sebességgel kilőtt két golyója által követett pálya.

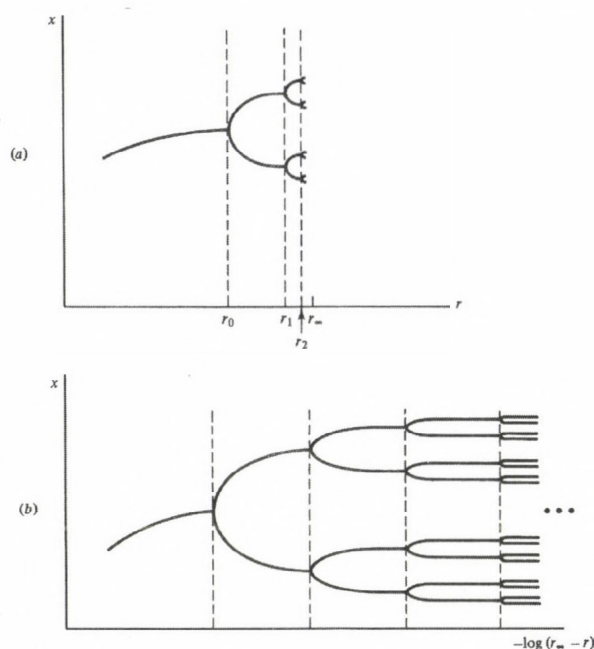
hatatlan következményeként annak, hogy James Gleick a már említett könyve első részének ezt a címet választotta. Az elnevezés eredetét meglehetősen homály fedi. Az biztos, hogy először 1972 decemberében, egy rangos washingtoni tudományos konferencia meteorológiai szekciójában hangzott el, amelyet a Globális Légkörkutató Programnak szenteltek, és ahol Lorenz *Előrejelezhetőség: Kivált-e egy braziliai pillangó szárnycsapása tornádót Texasban?* címmel tartotta meg előadását. Lorenz érzékeny függőséget jelképező kedvelt madara korábban a tengeri sirály volt, és a braziliai pillangóra történt címváltoztatást a szekció elnöki tisztét betöltő *Philip Merilees* hajtotta végre, de azt idő hiányában nem állt módjában a szerzővel előzetesen megbeszélni. Honnan származhatott ez az ötlete? A tudományos-fantasztikus regényeivel a második világháború után neves és sikeres íróvá vált *Ray Bradbury* egyik, *A mennydörgés hangja* című novellájában szerepel egy történelem előtti korban élt pillangó, amelynek a halála megváltoztatja egy napjainkban rendezett elnökválasztás eredményét, ám utólag kiderült, hogy Merilees nem ismerte ezt az elbeszélést. A Lorenz-féle különös attraktor képe, amely a *Légkör* 2003. évi 2. számában is megjelent, egy lepke széttárt szárnyaira emlékeztet (ezért nevezik pillangó-attraktornak is), de hogy ez a felületnél több, egy térrésznél pedig kevesebb, 2,39-dimenziós fraktálképződmény lett volna az ihlet forrása, ma már kideríthetetlen.

A mára világszerte közismertté vált pillangóhatás sokak szemében egy szkeptikus nézet, a „minden mindennel összefügg, tehát semmi sem lehet biztos” állítás

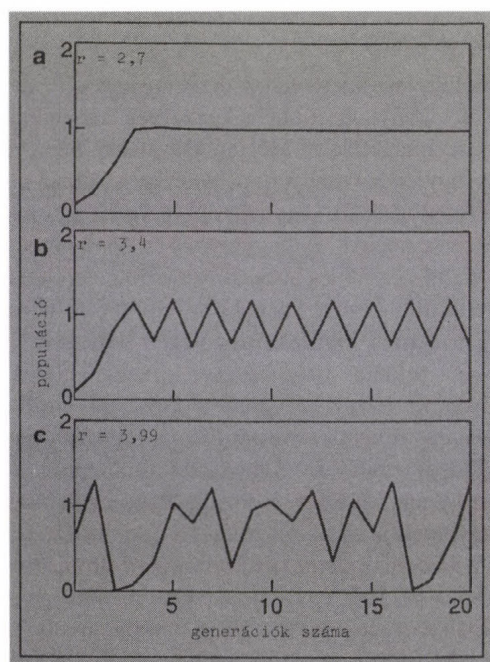
igazának a bizonyítéka. Számunkra viszont a meteorológiai prognosztikának azt a bizonytalanságát szimbolizálja, hogy két időjárási helyzet, amely kezdetben mindössze egyetlen pillangó mozgásának a közvetlen hatásában tér el egymástól, elegendően hosszú idő eltelével akár egy tornádó megjelenésével különböző két állapotba fejlődhet. Érdeemes ezt az érzékeny függőséget az egyik legegyszerűbb diszkrét idejű kaotikus dinamikai rendszer, a már említett, és a populációdinamikában igen kedvelt egydimenziós logisztikus leképezés példájával illusztrálni.

A neminvertálható logisztikus leképezést az $x_{k+1} = rx_k(1-x_k)$ egyenlet definiálja, ahol legyen x például egy rovarfaj egyedeinek száma, amely úgy van skálázva, hogy $x = 0$ kihalást, $x \geq 1$ viszont túlszaporodást jelent. Az egyenletben rx_k a k -adik generáció által lerakott peték száma, az $(1-x_k)$ tag pedig a populáció sűrűségének hatásából származó visszacsatolást írja le. Ezt az x változóban nemlineáris leképezést több kutató, köztük James Yorke társaságában *Robert May* az 1970-es évek első felében kezdte részleteiben elemezni, és a vizsgálatok meglepő következtetésekre vezettek [18]. Megfigyelték, hogy amikor $r < 1$, akkor $x \rightarrow 0$, és a faj kihal. Ha az r kontrollparaméter értéke az 1 és 3 közötti tartományban van, úgy a populáció valamilyen állandó x értéken stabilizálódik. Az $r = r_0 = 3$ fölötti tartományban ez a változatlanúság instabillá válik, és a faj egymást követő generációinak számossága egy darabig egy magas és egy alacsony érték közötti szabályos, 2 periódusú váltakozásba kezd. Az r értékének további lassú növelésével az ingadozás egyre gyorsabb ütemben mind összetettebb lesz: az $r = r_1 = 1 + \sqrt{6} = 3,45$ értéktől a 2 periódusú váltakozást 4, $r_2 \approx 3,51$ fölött 8, majd pedig 16, 32, 64, ... periódusú stabil ciklusok követik (4. ábra); ezt a folyamatot nevezik *perióduskettőző bifurkációsorozatnak*. A váratlan fordulat a kontrollparaméter $r = r_\infty = 3,57$ értékénél következik be, ahonnan $r = 4$ -ig a populáció már nem regulárisan ingadozik, hanem 2 periódusú jelleget, azaz végtelen számosságú periodikus ciklus egymásra helyeződéséből álló aperiodikus változékonyságot mutat (5. ábra). A $3,57 \leq r \leq 4$ tartományban azonban a populáció nem csupán szabálytalanul ingadozik, hanem a 6. ábra tanúsága szerint annyira érzékenyen függ a kezdeti érték előírásától, hogy a populáció alakulásának hosszabb távú előrejelzése lehetetlenné válik: a logisztikus leképezés viselkedése itt már egyértelműen kaotikus.

A 4. ábrán mutatott megjelenése nyomán *vasvilla-bifurkációnak* is nevezett perióduskettőző kaszkád a káros kialakulásának egyik gyakori módja, és a logisztikus leképezés további elemzésével a kaotikus jelenségek részleteinek olyan gazdag tárháza deríthető fel, hogy amikor *Robert Devaney* 1986-ban megjelentette a dinamikai rendszerekkel foglalkozó, azóta több kiadást megért tankönyvét, abban fő illusztratív példa-

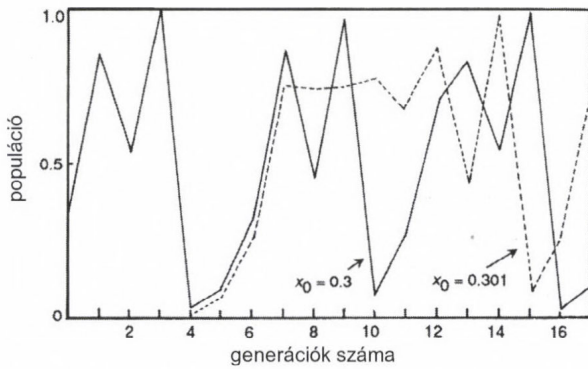


4. ábra. A logisztikus leképezés stabil ciklusainak pontjai a kontrollparaméter függvényében.



5. ábra. Az egymást követő generációk populációjának változása a logisztikus leképezés kontrollparaméterének különböző értékei esetén.

ként ezt a leképezést választotta. *Mitchell Feigenbaum* például kimutatta, hogy a stabil ciklusok r -ben mért szélességének, illetve a bifurkációsorozatban megjelenő villák ágai közötti x távolságnak a csökkenése egy-egy olyan univerzális skálafaktor, amely nem csak a logisztikus leképezésre, hanem a diszkrét és folytonos idejű dinamikai rendszerek széles osztályára jellemző [19]. Aztán a felbontás növelésével kiderült, hogy a



6. ábra. Az egymást követő generációk populációjának aperiodikus ingadozása a logisztikus leképezés kontrollparaméterének kaotikus intervallumában. A kezdeti feltétel 0,3%-os módosítása nyomán a 7. generációt követően a populáció már teljesen eltérően változik.

kontrollparaméter $[r_{\infty}, 4]$ kaotikus intervallumában *sűrűn* helyezkednek el stabil ciklikus állapotváltozást mutató „periodikus ablakok”: függetlenül attól, hogy ε értékét mennyire kicsinek választjuk meg, mindig találhatók olyan $[r - \varepsilon, r + \varepsilon]$ szakaszok, amelyekben belül páratlan $(3, 3 \times 3 = 9, 3 \times 3 \times 3 = 27, \dots)$ periódusú ciklusok jelennek meg, majd r értékének növelésével 3×2^m ($m = 0, 1, 2, \dots$) perióduskettőző bifurkációsorozatokon esnek át. Egy véletlenszerűen generált r értékhez mégis nullánál nagyobb valószínűséggel tartozik irreguláris viselkedési forma, tehát az $[r_{\infty}, 4]$ intervallumban a kaotikus állapotváltozás tekinthető tipikusnak.

De hogyan marad elegendő hely a számegegyenesen ezeknek az r értékeknek a részére? A kérdés behatóbb vizsgálata már egy új témakörbe, a korábban évtizedeken keresztül csak ellenpéldák konstrukciójára érdemesített, de a káoszelmélet nyomán „létező” objektumokká előlépett *fraktáldimenziójú Cantor-halmazoknak*, továbbá a különös attraktorokra is jellemző *önhasonlóságnak* abba az érdekes világába vezet el, ahol egy struktúrának nem csak a különböző faktorokkal kicsinyített részletei hasonlítanak egymáshoz, hanem azok egyben a teljes struktúrához is hasonlóak.

A pillangóhatás felfedezése alapjaiban változtatta meg a numerikus időjárás prognosztika filozófiáját. A dinamikus meteorológia válasza az új kihívásra az *ensemble előrejelzések* módszertanának kidolgozása volt.

Determinisztikus valószínűségi előrejelzések: az ensemble prognosztika

Mivel a légköri folyamatokat kormányzó nemlineáris differenciálegyenletek numerikus integrálásához a kezdeti feltételek abszolút pontos megadása irreális célkitűzés, tehát tökéletes előrejelzések készítése még perfekt modell birtokában sem lenne megvalósítható, az elméleti és számítástechnikai háttér fejlődésével egyetlen járható út maradt: feladni a *kategorikus* prognózisok kizárólagos érvényesülésének illúzióját, és a determinisztikus alapok megőrzésével az objektív előrejelzéseket *valószínűségi*

formában is prezentálni. Ehhez az eljáráshoz a lehetőséget a megfigyelések bizonytalanságának határán belül levő (tehát egyformán valószínűsíthető) *több* kezdőfeltételből indított integrációval nyert előrejelzések *együttese* jelenti, amelyet *ensemble prognosztika* néven szokás emlegetni. Az elnevezés feltehetőleg Cecil Leith munkájára vezethető vissza, aki az ún. *Monte Carlo-előrejelzések* elméleti bevalását 1974-ben elemezve, bevezette az ensemble átlag fogalmát a meteorológiai szakirodalomba [20].

Az ensemble prognosztikához szükséges kezdeti feltételek együttesének előállítására számos módszer kínálkozik. A három legismertebb és leginkább elterjedt eljárás közül a legegyszerűbb az, amelynél a legjobbnak minősített kezdeti állapotot, a megfigyelések hibahatárán belüli intervallumban maradván, *véletlenszerűen* perturbálják (szorosabb értelemben ez a Monte Carlo-előrejelzés), és ezt a technikát alkalmazzák a többi között Kanadában és Japánban. Ennél a módszernél nincsenek közvetlenül tekintettel arra, hogy az ideális célt a prognózis adott időjárási helyzettől függő maximális bizonytalanságának a felderítése (tehát a perturbált állapotok mindenkori leggyorsabb divergenciájának a biztosítása) jelenti. Az elméleti megfontolások szerint a nagy prognosztikai modellek 10^6 – 10^7 -dimenziós fázistérben hozzávetőlegesen száz olyan irány van, amelyek mentén a dinamikai instabilitás igazán meghatározó, tehát amely irányokban a perturbált állapotok egymástól a leggyorsabban („optimálisan”) távolodnak. Ezért nincs semmi garancia arra nézve, hogy az ensemble prognosztikához így kiválogatott néhány (vagy néhányszor tíz) perturbált kezdeti állapot többsége vagy mindegyike ezekben az instabil irányokban fog változni.

Ezen a hátrányon segít a különböző fázistérbeli irányokban leggyorsabban fejlődő perturbációk *kísérleti úton* történő „kitenyésztésének” eljárása (a *breeding módszer*), amelyet az Egyesült Államokban alkalmaznak, és amelynek a kidolgozásában és tökéletesítésében Eugenia Kalnay, Tóth Zoltán és Szunyogh István meghatározó szerepet játszott. De történhet az optimális válogatás *elméleti alapon*, a lineáris algebra tanítására építve is, amely szerint egy elemi perturbáció viselkedését a fejlődés kezdeti, lineárisnak tekinthető szakaszában egy olyan operátor határozza meg, amelynek a domináns szinguláris vektorai a leginkább instabil fázistérbeli irányokat jelölik ki. Ezzel a természetesen lényegesen nagyobb számítási munkát igénylő harmadik módszerrel készülnek az Európai Középtávú Időjárás Előrejelző Központ (ECMWF) ensemble prognózisai.

A perturbált kezdeti feltételekből származtatott előrejelzések, valamint a legjobbnak ítélt kezdőfeltételből indított „referencia” előrejelzés együttesének (az ECMWF-ben az $50 + 1$ tagból álló ensemble-nak) a szórása alapján a prognózis mindenkori aktuális bevalási valószínűsége objektíven számszerűsíthető. Az ensemble technikát kezdetben elsősorban a középtávú (10-15 napra érvényes) globális és

hemiszférikus előrejelzéseknél alkalmazták, de napjainkban már a rövidebb időtávokon és a korlátos tartományú modelleknél szintén teret hódít; ilyen jellegű kutatások *Hágel Edit* közreműködésével az OMSZ Numerikus Modellező és Éghajlat-dinamikai Osztályán is folynak. Gyakorlattá vált továbbá, hogy nem csak a kezdeti, illetve a peremfeltételeket perturbálják, hanem mindazokat a bizonytalan mennyiségeket is, amelyek például a modellfizika egyik leggyengébb láncszemét alkotó blokkjában, a szubgrid-skálájú folyamatokat parametrizáló sémában szerepelnek. Ezekkel a fejlesztésekkel párhuzamosan ma mindinkább előtérbe kerül a veszélyes időjárási jelenségek dinamikai alapú, megbízhatóbb előrejelzésének igénye, amelynek a teljesítéséhez a konvektív aktivitás szimulálására alkalmas nem-hidrosztatikus modellek kidolgozása mellett egy új eljárás, a hagyományos ensemble méret többszörösével operáló „szuper-ensemble technika” ugyancsak komoly szerephez jut.

Az ECMWF előrejelezhetőséggel foglalkozó 1995-ös szemináriumán Edward Lorenz a problémát részben megoldottnak minősítette, de mint látjuk, a pillangóhatás még egy évtizeddel az előadását követően is hosszú időre biztosít további fontos és izgalmas feladatokat a prognosztikai modellek elméleti és gyakorlati fejlesztői számára egyaránt.

Götz Gusztáv

Hivatkozások

- [1] Ruelle, D. és F. Takens, 1971: On the nature of turbulence. *Commun. Math. Phys.*, **20**, 167–192.
- [2] Li, T.-Y. és J. A. Yorke, 1975: Period three implies chaos. *Amer. Math. Mon.*, **82**, 985–992.
- [3] Kuhn, T. S., 1962: *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago. (Magyar nyelven: *A tudományos forradalmak szerkezete*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1984.)
- [4] Tél T., 1998: A káosz természetrajza. *Természet Világa*, **129**, 386–388.
- [5] Chirikov, B. V. és F. M. Izrailev, 1981: Degeneration of turbulence in simple systems. *Physica*, **D2**, 30–37.
- [6] Trefán, Gy., P. Grigolini és B. J. West, 1992: Deterministic Brownian motion. *Phys. Rev.*, **45A**, 1949–1952.
- [7] Lorenz, E. N., 1993: *The Essence of Chaos*. University of Washington Press, Seattle
- [8] Ruelle, D., 2000: Chaos, imprédictibilité et hasard. In *Qu'est-ce que l'Univers?* (szerk.: Y. Michaud). Odile Jacob, Paris, pp. 647–656.
- [9] Tél T. és Gruiz M., 2002: *Kaotikus dinamika*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- [10] Patil, D. J., B. R. Hunt, E. Kalnay, J. A. Yorke és E. Ott, 2001: Local low dimensionality of atmospheric dynamics. *Phys. Rev. Lett.*, **86**, 5878–5881.
- [11] Szunyogh I., 2002: Lokálisan alacsony dimenziós viselkedés a légkörben. *Természet Világa*, **133**, 553–557.
- [12] Temesvári T. és Tél T., 2006: Rendezetlenség, komplexitás és káosz: mindennapos fogalmak a modern statisztikus fizikában. *Magyar Tudomány*, **113**, 593–597.
- [13] Lorenz, E. N., 1984: Irregularity: A fundamental property of the atmosphere. *Tellus*, **36A**, 98–110.
- [14] Lorenz, E. N., 2006: An attractor embedded in the atmosphere. *Tellus*, **58A**, 425–429.
- [15] Newhouse, S., D. Ruelle és F. Takens, 1978: Occurrence of strange Axiom A attractors near quasi-periodic flows on Tm ($m = 3$ or more). *Commun. Math. Phys.*, **64**, 35–40.
- [16] Swinney, H. L. és J. P. Gollub (szerk.), 1987: *Hydrodynamic Instabilities and the Transition to Turbulence*. Springer-Verlag, Berlin
- [17] Ruelle, D., 1990: Deterministic chaos: The science and the fiction. *Proc. Roy. Soc. London*, **A427**, 241–248.
- [18] May, R. M., 1976: Simple mathematical models with very complicated dynamics. *Nature*, **261**, 459–467.
- [19] Feigenbaum, M., 1978: Quantitative universality for a class of nonlinear transformations. *J. Stat. Phys.*, **19**, 25–52.
- [20] Leith, C. E., 1974: Theoretical skill of Monte Carlo forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 409–418.

KISLEXIKON

[Cikkeinkben csillag jelzi azokat a kifejezéseket, amelyeket a kislexikonban szerepelnek]

ensemble prediction system (EPS), azaz sokasági előrejelzések rendszere

Bonta I. és Homokiné Ujváry K.: 2005 nagy csapadékos helyzetei...

Ugyanarra az időpontra vonatkozó több párhuzamos előrejelzésből összeállított „csokor”. Az EPS segítségével megbecsülhető az előrejelzett értékek valószínűségi eloszlása. Az előrejelzések különbözhetnek a kezdeti adatokban, a peremfeltételekben, a paraméterezési eljárásokban, vagy akár az előrejelzési modell tulajdonságaiban is. (A paraméterezésről a *Légkör 2005/3. sz. Kislexikon rovatában lehet olvasni*.)

túlhűlt víz

Fövényi A.: Egy szokatlan időjárási jelenség Budapesten

Folyékony halmazállapotú, fagypon alatti hőmérsékletű vízcsepp. A túlhűlt vízcseppekből álló esőcseppek általában jégszem vagy hókristály formájában keletkeznek, majd egy felhő alatti meleg légrétegben megolvadnak. A fagypon alatti hőmérsékletet egy a földfelszín fölött elhelyezkedő hideg légrétegben érik el a cseppek. A túlhűlt víz megfagyása a földfelszínnel vagy tereptárgyakkal (növények, oszlopok, távvezetékek) történő ütközés hatására következik be.

túltelített

Fövényi A.: Egy szokatlan időjárási jelenség Budapesten

Olyan helyzet a légkörben, amikor a relatív nedvesség nagyobb, mint 100%, azaz magasabb, mint a sík vízfelszín fölött mérhető telítési érték.

goniometer

Ambrózy P. és Mezősi M.: Interjú dr. Böjti Bélával

Geometriai irányok, azaz szögek mérésére alkalmas eszköz.

szferiks

Ambrózy P. és Mezősi M.: Interjú dr. Böjti Bélával

Villámkisülésből származó, rádiófrekvenciás – azaz a 10^4 és 10^{12} Hz közötti frekvenciatartományba eső – elektromágneses sugárzás.

faksimile

Ambrózy P. és Mezősi M.: Interjú dr. Böjti Bélával

Rádióadás formájában kibocsátott képi információ megjelenítő készüléke. Utóda a vezetékes faksimile, azaz a telefax.

Összeállította: Gyuró György

Dr. Hille Alfréd életútja, munkássága

Dr. Hille Alfréd 115 éve, 1891. augusztus 14-én született Szegeden. Nehézségekkel teli fiatalok ellenére kitűnő eredménnyel tette le szakvizsgáját a Pázmány Péter Tudományegyetem földrajz szakán. Tanulmányai befejeztével az Egyetemi Földregészeti Observatórium tanársegédje lett. Itt készítette el doktori értekezését is, amely révén Hille neve ismertté vált a földtudományok művelői körében.

Szeizmológusi pályáját megtörve, 1914. augusztusában behívták katonának a Császári és Királyi 2. Tiroli Császárvadász Ezredbe. Gyors kiképzés után novemberben kadéttá (tiszteljeltté) léptették elő. Az első ütközetben – december elején, Limanova közelében orosz hadifogságba esett. Több mint 7 évig tartó hadifogságának jelentős részét Szibériában töltötte. A hosszú és nehéz hadifogolyélet megedzette, nemcsak testileg, hanem lelkiileg is. A gazdag életpaszta és az orosz nyelvismeret megszerzésén túl is hasznosan telt szibériai tartózkodása: az időjárás számtalan emlékekkel gazdagította. Kiváló megfigyelőképességének elméleti megalapozásában a kezébe került német nyelvű meteorológiai könyvek segítettek.

Hille hazatérésekor – 1922 áprilisában – már érezte hatását a trianoni békeszerződés. Az elhelyezkedés az egyetemeken vagy a tudományos életben szinte lehetetlen volt. Így érthető, hogy Hille megragadta a felkínált lehetőséget, és a polgári légiforgalomnál helyezkedett el. Hivatali helyisége – minisztériumi alkalmazottként – az Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézetben volt. Így közvetlen kapcsolatban állt a polgári meteorológiai szolgálattal, s az intézet különböző osztályain elsajátíthatta mindazt a meteorológiai tudást, amire munkája során szüksége volt: a prognosztikai ismereteket, a magaslégtér méréseket, az éghajlattant, az állomány szervezést, az agrometeorológiát és az adatok nyilvántartását. Minisztériumi tevékenysége azonban nem tartott sokáig. Munkájának oroszánrészét Mátyásföldre, a repülések központjába helyeződött át, ahol megkezdődött a repülések meteorológiai biztosításának gyakorlati része.

Az első világháború éveiben kialakított meteorológiai szolgálatok tapasztalatainak felhasználásával Dr. Hille Alfréd megalapoz-

ta, majd európai színvonalra emelte a korszerű magyar repülésmeteorológiai kutatást és szolgálatot. Őt tekinthetjük a magaslégtér kutatás hazai úttörőjének is. Elévülhetetlen érdemeket szerzett a magyar légiforgalom megindításában és a Magyar Meteorológiai Társaság megalakításában (1925). Hosszú időn keresztül volt a Honvédelmi Minisztériumhoz tartozó Repülő Időjelző Központ vezetője. Nevéhez fűződik az első veszélyjelző szolgálat megszervezése, a balatoni (1934), majd a dunai viharjelzés létrehozása (1935) is.

A hadifogságból ismételen hazatérő Hillének köszönhető, hogy a II. világháború után megindulhatott a korszerű repülésmeteorológiai szolgálat Magyarországon. Döntő szerepet játszott a budaörsi, majd a ferihegyi repülőtér és a polgári repülési útvonalak kijelölésében is. A világháborút követően a katonai meteorológia szervezői, vezetői őt tekintették példaképüknek, szellemi atyjuknak.

Hille korán felismerte, hogy a meteorológiai támogatás egyik legfontosabb alapelve: a befogadó megértse, amit a meteorológusok mondanak és írnak neki. Fontos szempontnak tartotta, hogy a kiadott szöveg és előrejelzés könnyen áttekinthető, világos, félreérthetetlen, szabatos megfogalmazású legyen. Ezért már 1926-ban könyvet írt és adott ki „A repülés eleme” címmel, melyben közérthetően mutatta be a meteorológiai jelenségeket. A könyv érdekessége, hogy új magyar meteorológiai fogalmakat is tartalmazott (például légkör, görgővihar). Szakirodalmi tevékenységének kiemelkedően szép eredménye három kiadást megért tankönyv, mely nagymértékben hozzájárult ahhoz, hogy Hille a legismertebb nevű magyar meteorológusok egyike lett, és a repülési meteorológiában abszolút szaktekintélynek számított.

Jelentős volt ismeretterjesztő tevékenysége is. Újságírói minőségben a Pesti Hírlap időjárási rovatát szerkesztette 1925-től 1938-ig. Számos tudományos cikket is írt ebben az időben. Hille feltétlen érdeme, hogy bár írásai nagy tömegeket érdekeltek, mindig igyekezett megfelelni a tudomány és a népszerűsítés egyaránt magas szintű követelményeinek.

Dr. Hille Alfréd hamar felismerte, hogy a gyorsan fejlődő polgári és katonai repülés által megkövetelt szakemberek hiánya miatt a

meteorológiai oktatásban is előre kell lépni. Nagy hangsúlyt helyezett a repülőtér körzetét jól ismerő, feladatát értő észlelő állomány képzésére. Évtizedeken keresztül tett erőfeszítései jártak végül sikerrel, amikor 1950-ben megkezdődött a felsőfokú meteorológusképzés. Oktatói tevékenységet folytatott a Kertészeti Főiskolán, a szegedi tudományegyetemen, az Eötvös Loránd Tudományegyetemen és a kassai Katonai Repülő Akadémián is.

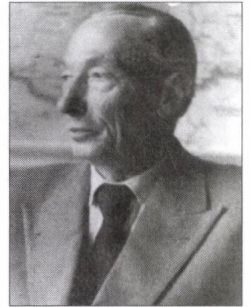
Tudományos működésének elismerésül 1953-ban megkapta a földrajztudományok kandidátusa fokozatot. Nem sokkal később, 1958-ban nyugállományba vonult. A nyugdíj azonban nem jelentett számára pihenést. A Magyar Meteorológiai Társaságban végzett rendkívül aktív munkát.

A hazai repülésmeteorológia gyakorlati létrehozója, Dr. Hille Alfréd meteorológus ezredes 25 éve, 1981. július 15-én rövid betegeskedés után hunyt el.

Korunk technológiai csodái között járva és dolgozva nehéz Hille Alfrédot, a meteorológust elképzelni, amint egyedül gyűjti össze, maga rajzolja térképre egy-egy légijárat meteorológiai eligazításához szükséges jelentéseket. Érdemei azonban a korszerű meteorológiai eljárások idején sem halványultak el, hiszen a meteorológiai tevékenységben használt fizikai alapok nem változtak meg, csak a műszerek és a munkát segítő eszközök, berendezések váltak korszerűbbé, gyorsabbá, pontosabbá.

A társtudományok felé nyitott munkavégzés, a való világ körülményeinek és kívánalmainak érzékelése és tiszteletben tartása, a meglévő értékek megtartásának igénye, az ember mélyesége tisztelete sokak számára maradt Hille életútjának legfőbb tanítása. A magyar repülésmeteorológia e kimagasló szakmai egyéniségének példája – úgy érzem – követendő mindannyiunk számára.

A társtudományok felé nyitott munkavégzés, a való világ körülményeinek és kívánalmainak érzékelése és tiszteletben tartása, a meglévő értékek megtartásának igénye, az ember mélyesége tisztelete sokak számára maradt Hille életútjának legfőbb tanítása. A magyar repülésmeteorológia e kimagasló szakmai egyéniségének példája – úgy érzem – követendő mindannyiunk számára.



Dr. Hille Alfréd
(1891-1981)

Radics Kornélia

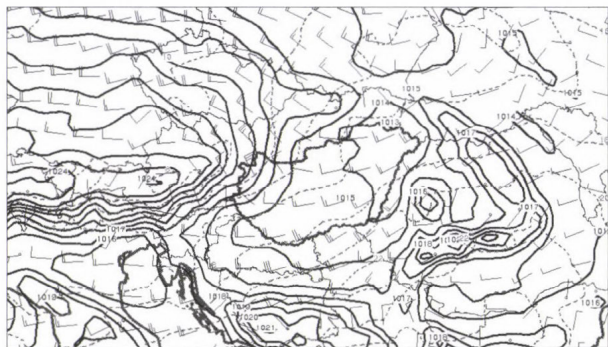
MH Meteorológiai Szolgálat

A 2006. augusztus 20-i budapesti vihar időjárásai háttere

2006. augusztus 20-án 21 órakor heves zivataros hidegfront érte el a fővárost. A legerősebb szellőkések a Belvárosban érték a 116 km/ó (32.3 m/s), Lágymányoson a 123 km/ó, (34.1 m/s), Budapest-Szentlőrincen a 82 km/ó (22.6 m/s) sebességet. Az egyik különösen erős örvénylő zivatarcella percre pontosan akkor csapott le Budapest belvárosára, amikor a szokásos augusztus 20-i tűzijáték elkezdődött. Az orkán a Duna parton öszszesúfolódott közel egymillió ember közé kartácsként szórta a törmeléket, cserép darabokat, letépett faágakat. Perceken belül több ezer sebesülés történt és a vihar sajnos öt emberéletet is követelt. A vihar okozta károk milliókra rúgtak, Magyarországon még talán soha ennyi ember nem tapasztalta meg egyszerre a természet pusztító erejét. Az alábbiakban a vihar kialakulásának és lefolyásának meteorológiai hátterét tekintjük át.

A szinoptikus helyzet

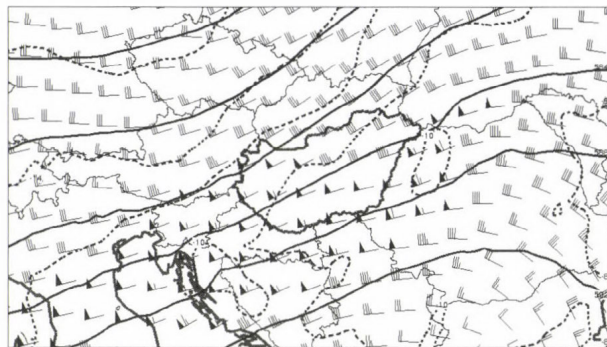
Európa időjárását már több napja egy nagy kiterjedésű fejlett ciklon határozta meg, amelynek északnyugati és délkeleti területei között jelentős (15–20 fokos) hőmérséklet különbség alakult ki. A ciklon nem csak termikusan, de dinamikusan is aktív volt, azaz a ciklon hidegfrontja mögött gyorsan emelkedő légnyomás orrszerűen előrenyomuló magasnyomású mezőt alakított ki amely erős hidegfrontra utalt (1. ábra).



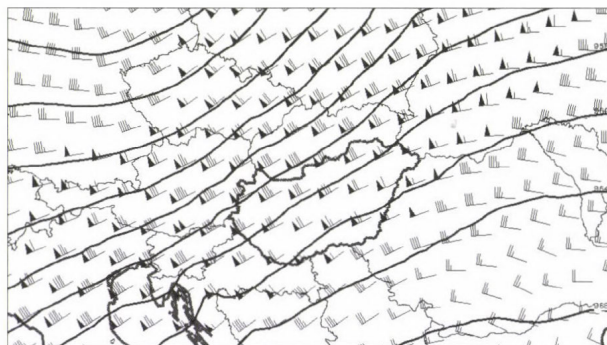
1. ábra. A tengerszinti légnyomás (folytonos vonalak 1 mb sűrűséggel), 850 hPa hőmérséklet (szaggatott vonalak) illetve a 925 hPa szél 2006. augusztus 20. 18 UTC-kor az ECMWF +6 óras előrejelzése alapján.

A középső troposzférában, a ciklon déli oldalán a délnyugat-északkeleti áramlási rendszer erős volt, így 500 hPa-on 25 m/s erősségű szél is fujt, és néhány fokos hideg advekción is lezajlott, tovább növelve a front mentén a konvektív instabilitást (2. ábra).

A szél a magassággal tovább erősödött, és a 300 hPa-s szinten jet stream is kialakult amelynek a tengelye a Kárpát-medence fölött húzódott (3. ábra).



2. ábra. Az 500 hPa-os szint magassága (folytonos vonal), hőmérséklete (szaggatott vonal) és szele 2006. augusztus 20. 18 UTC-kor az ECMWF +6 óras előrejelzése alapján.



3. ábra. A 300 hPa-os szint magassága (folytonos vonal) és szélmezeje 2006. augusztus 20. 18 UTC-kor az ECMWF +6 óras előrejelzése alapján.

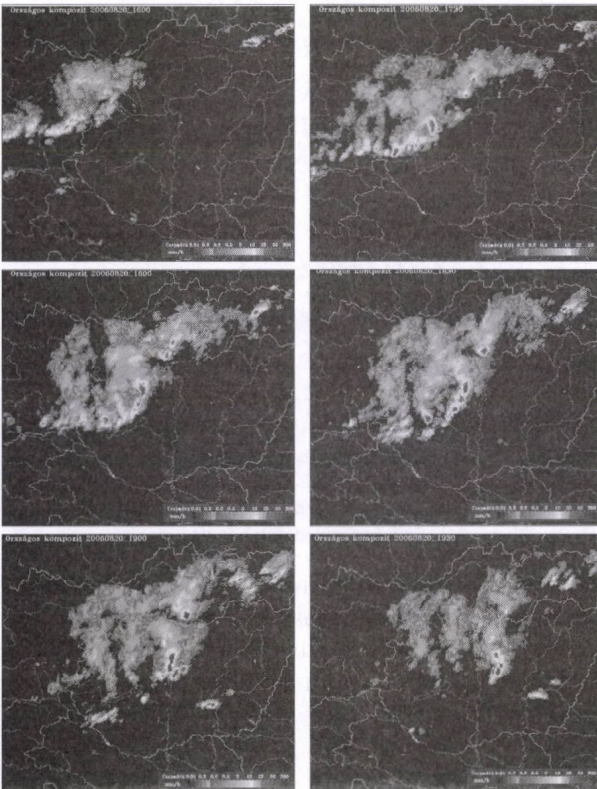
A fentebb leírt szinoptikus helyzet kedvezett a zivatarok kialakulásának, mivel a front mentén létrejövő erős konvergencia a kényszer konvekciót, a magasban lezajló hideg advekción a konvektív hasznosítható energia növekedését, végül pedig a jet stream a szélnyírást együttesen és egy időben hozta létre. Ehhez járult hozzá az a tény, hogy a front a Kárpát-medencébe a délutáni órákban érkezett meg, amikor a hőmérséklet napi menete is a konvektív folyamatok számára a legmegfelelőbb körülményeket biztosítja.

A vihar

A front mentén osztrák területen kialakuló és gyorsan növekvő zivatarok már 16 UTC-kor beléptek az országba, és gyorsan haladtak nyugatról keleti irányba. A front mögött jelentős lehűlés következett be, amely részben a csapadék hűtő hatásának, részben pedig magának a hideg beáramlásnak volt köszönhető. Az ország északnyugati és délkeleti területei között a hőmérsékleti különbség meghaladta a 10 fokot.

A hidegfront mentén néhány rendkívül erős zivatar-

góc is kialakult, A Szombathelytől kissé északra belépő zivatargócban már 17 UTC-kor erős radar reflektivitású területek jelentek meg, amelyek hol felerősödve, hol kissé gyengébben de folytonosan követhetőek voltak a radarképeken. A 17:30 UTC-s radarképen látható, hogy a nyugat felől mozgó hidegfront magyar területén két kiemelkedően nagy zivatar góc volt, az északi Budapest felé vette az irányt, míg a déli cella a Balaton felé közeledett (4. ábra). A 18:00 UTC-s és az azt követő radarmérések azt mutatták, hogy a rendszer északi része fokozatosan meghatározóvá vált. A hasznosítható konvektív energiáért folyó versenyben győztes északi góc 19:00 UTC-kor érte el a fővárost, míg a déli rendszer a Balaton keleti részét érintve legyengült. A hosszú élettartam (a nyugati határtól követni lehetett a gócot), továbbá az erős reflektivitás, és a maximális reflektivitású területek kis excentricitása alapján következtetni lehet, hogy a szóban forgó zivatarközpontok között szupercellák is voltak.



4. ábra. A zivataros hidegfront átvonulása a radarmegfigyelések alapján. A képek időpontja rendre 16:00, 17:30, 18:00, 18:30, 19:00 és 19:30 UTC-kor.

A szupercellák különösen erős, forgó mozgást is végző zivatarfelhők, amelyekkel a Léggör hasábjain is többször találkozhatott az Olvasó. Több jel utal arra, hogy a fővárosra lecsapó zivatar ilyen örvénylő szupercella lehetett, és ezt látszik alátámasztani a vihar érkezésekor készült, Kelenföld irányából a Széchenyi-hegy irányába néző fénykép is, ahol a zivatarba beáramló levegő okozta fal felhő, és az arcus struktúra egyaránt megfigyelhető (5. ábra).



5. ábra A Budapestre lecsapó zivatar. Balogh Zoltán felvétele

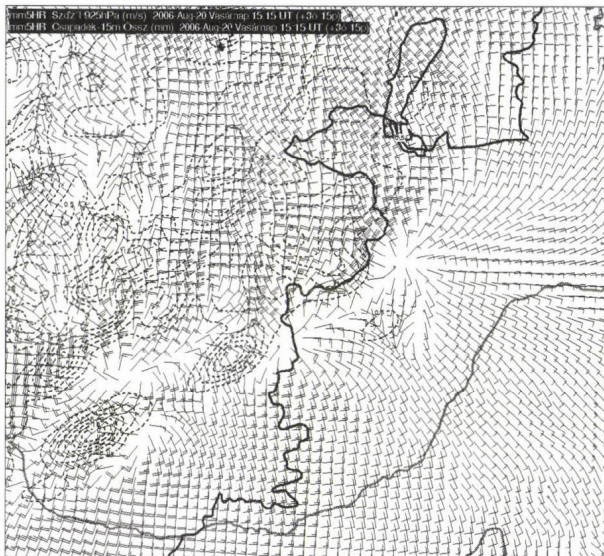
Valószínűsíthető, hogy a cella átvonulása során a legerősebb szellőkések meghaladták a mért értékeket és helyenként megközelíthették a 40 m/s sebességet is. Legtöbbször az ilyen típusú zivatarközpontok kialakulásáért és nem zárható ki annak a lehetősége, hogy a cella élettartama folyamán létrehozhatott felhőtölcsért is. Ugyancsak a szupercellák legfőbb velejárója a jégeső, gyakran galambtojás nagyságú jégszemekkel. Nagyon könnyen lehetett volna jóval nagyobb katasztrófa is, ha a fentiek valamelyike bekövetkezik az emberekkel zsúfolt budapesti Duna parton...

Az előrejelezhetőségről és az előrejelzésről

A hidegfront betörését és az ezzel járó viharos szellőkéseket a numerikus modellek már jóval előre jelezték, a 30 órás előrejelzések a front pontos helyét is megadták. A heves zivatargócok kialakulását azonban jóval nehezebb előrejelezni, mivel a konvektív rendszerek átelyeződésénél legtöbbször jelentősebb azok fejlődése. Ezúttal azonban a rendszer meglehetősen konzervatív módon együtt mozgott a hidegfronttal, ami lehetővé tette, hogy másfél órával előre az ügyeletes meteorológus elrendelje a középső országrészre a legmagasabb fokú riasztást. A zivatarközpontok szerkezetéből adódik, hogy a velük járó szél, a jégeső illetve a csapadék nagy térbeli változékonyságot mutat, egész pontos operatív előrejelzésükre (pl. Budapest kerületeire lebontva) napjainkban még nincs lehetőség.

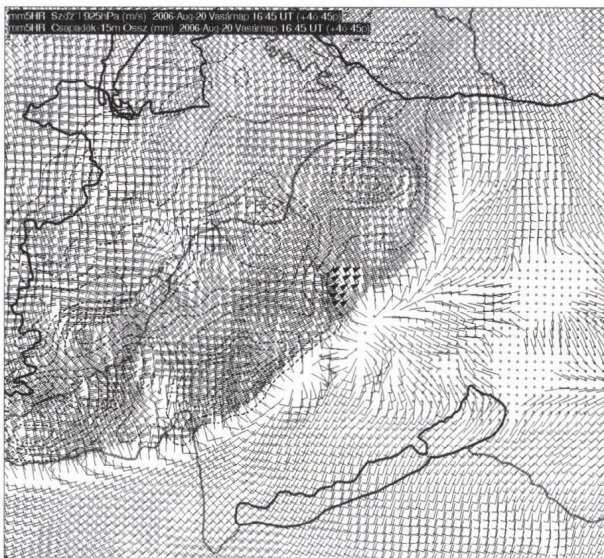
Az OMSZ-nál azóta üzembe helyezett nagy teljesítményű szuper számítógép segítségével és a mezo meteorológiai jelenségek modellezésére alkalmazott MM5 korlátos tartományú légköri modell segítségével megkíséreltük utólagosan szimulálni az augusztus 20-i vihart. A modell futtatást az augusztus 20. 12 UTC-s ECMWF analízis alapján indítottuk, és az oldalsó peremfeltételeket az ECMWF előrejelzésekből származtattuk. A modell térbeli felbontását 1.5 km-re állítottuk, amely lehetővé tette a kulcsfontosságú konvektív folyamatok parametizáció nélküli bekapcsolását. A modell tartományának nyugati határa Svájc közepén húzódott, míg a keleti határ a Tisza vonalára esett. A 600×550×30 rácspontú 12 órás prognózis készítése még a rendelkezésre álló 64 processzoron is több órát vett igénybe. A kísérlettől elsősorban azt vártuk, hogy képet kapunk a vihar elvi előrejelezhetőségéről.

A modell valóban képes volt a szupercellák szimulálására, és a számítások alapján az országba 15:15 UTC-kor belépő zivatarláncon több örvénylő zivatargóc is megjelent (6. ábra). Ilyen volt a Sopron és Szombathely közötti legerősebb cella (továbbiakban északi cella), de ilyen forgó rendszer volt a tőle délnyugatra, Kőszeg környékén belépő zivatar is (továbbiakban déli cella).



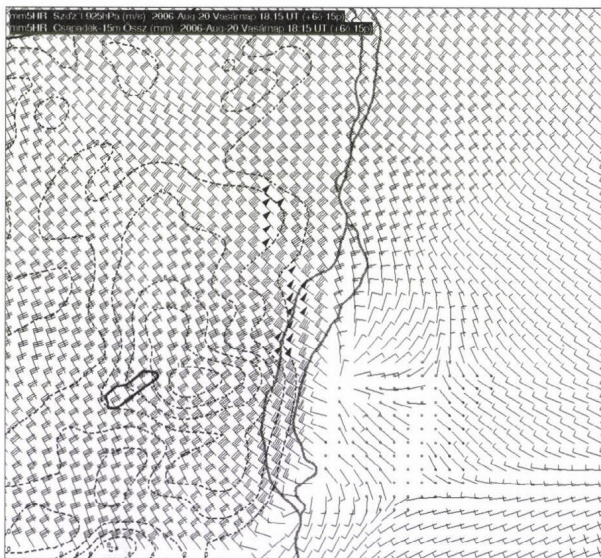
6. ábra. Az MM5 modell 15:15 UTC-re vonatkozó 925 hPa-os előrejelzett szélmezeje és a 15 perc alatt lehullott csapadék mennyisége (szaggatott vonal).

Délnyugati irányban még további örvények is kialakultak, azonban ezek a későbbiek során nem játszottak meghatározó szerepet. Bár kezdetben az északi cella volt az erősebb, azonban a modell számítás alapján mégis a déli cella vette át a vezető szerepet: Győrtől délre az északi cellának a számítások szerint le kellett volna gyengülnie (7. ábra).



7. ábra. Az MM5 modell 16:45 UTC-re vonatkozó 925 hPa-os előrejelzett szélmezeje és a 15 perc alatt lehullott csapadék mennyisége (szaggatott vonal).

A modellben a számított déli cella tovább erősödött a Balaton keleti medencéjét érintve a Csepel sziget déli részén vonult át, elkerülve a fővárost (8. ábra). A modell tehát sikeresen számította a szupercellák keletkezését és a nyugati országrészben történő mozgásukat és fejlődésüket is, azonban legyengítette azt a zivatargócot, amely a valóságban tovább erősödött és elérte Budapestet. Mindez úgy is értelmezhető, hogy a valóságban a koraesti órákban a valahol Pannonthalma térségébe érkező szupercella valamilyen oknál fogva a számításoktól eltérően tovább erősödött, és a zivatarba besodródó áramlási rendszerével megszerezte a déli cella elől a hasznosítható konvektív energiát és teljes fejlettségi állapotában csapott le a fővárosra.



8. ábra. Az MM5 modell 18:15 UTC-re vonatkozó 925 hPa-os előrejelzett szélmezeje és a 15 perc alatt lehullott csapadék mennyisége (szaggatott vonal).

Összegezve elmondható, hogy az utólagos számítógépes szimuláció struktúrájában és lefolyásában tükrözte az augusztus 20-i vihart, azonban a cellák pontos fejlődését nem tudta tökéletesen leírni.

A riasztásokról

Utólag talán különösen hangzik, de az augusztus 20-i vihar az egyik legjobban előrejelzett veszélyes időjárási esemény volt. Az OMSZ által előző nap kiadott és a médiákban elhangzott időjárás jelentésben szerepeltek a heves zivatarok, jégesők. A vihar napján reggel 9:45-kor figyelmeztető jelzést adtak ki, amely a heves délutáni zivatarokra hívta fel a figyelmet és ezt több jelzés is követte. A riasztásokért felelős meteorológus időben és pontosan felismerte a konvektív rendszer veszélyességét és mozgását. A 19:36-kor kiadott közvetlen riasztást a hitelesség kedvéért forma és szó szerint idézzük:

Riasztás Közép-Magyarország területére

Szél:

Új harmadfokú riasztás [2006.08.20. 17:36 UTC]

A következő órától a szélsébség meghaladhatja a 25 m/s-ot.

Zivatar:

Új harmadfokú riasztás [2006.08.20. 17:36 UTC]

A következő órától heves zivatar várható.

Megjegyzés:

Nyugat felől viharos (60-85 km/ó) széllel kísért zivatarok érik el a régiót, helyenként heves zivatar is lehet,

amit 90 km/ó körüli vagy ezt meghaladó széllel, felhőszakadás és néhol jégeső kísérhet.

Kiadta: Országos Meteorológiai Szolgálat
www.met.hu)

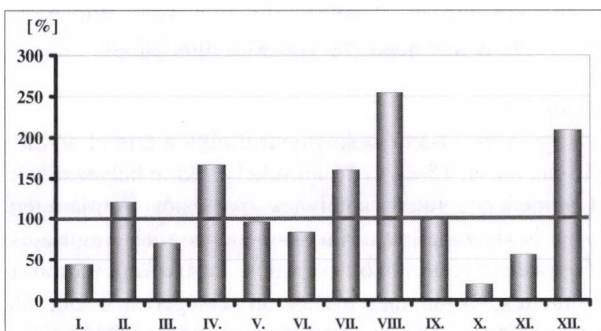
Készült: 2006.08.20 17:36 UTC

A légköri vihart egy másik, politikai vihar követte, méltatlan helyzetbe hozva azokat a szakembereket, aki augusztus 20-án színvonalas szakmai teljesítményt nyújtottak.

Horváth Ákos

2005 NAGY CSAPADÉKOS HELYZETEI A VALÓSZÍNŰSÉGI ELŐREJELZÉSEK TÜKRÉBEN

2005-ben öt hónap csapadékmennyisége haladta meg az átlagost; februárban, áprilisban, júliusban, augusztusban és decemberben a szokásosnál jóval több csapadék hullott. Az augusztusi sok eső különösen emlékezetes, hiszen Magyarországon ebben a hónapban az ország nagy részén olyan sok esett, amire a meteorológiai mérések kezdete óta még nem volt példa. A 2005-ös év csapadékanak alakulását az 1. ábra mutatja.



1. ábra: Havi csapadékösszegek 2005-ben a sokévi átlag %-ában

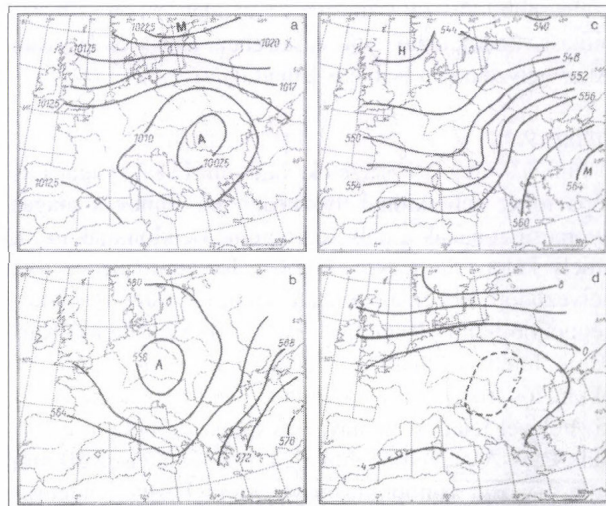
Csapadékperiódusok

2005 csapadékviszonyait a Bodolainé-féle nagy csapadékos típusok segítségével tekintjük át. (Bodolainé, 1983.)

Ezekből a típusokból 2005-ben lényegesen több fordult elő, mint az előző években: majdnem annyi nagy csapadékos nap volt ebben az esztendőben, mint a 2005-öt megelőző négy évben összesen. A jelentősebb csapadékmennyiségű napok kevés kivétellel C (Centrum) típushoz tartoztak, 2005-ben 33 ilyen nap volt. A nagy csapadékos típusok részletes leírása Bodolainé említett kiadványában megtalálható, mi most csak a centrum típust, mint a 2005-ben leggyakrabban előforduló típust emeljük ki.

A centrum típus olyan ciklonális helyzetet jelent, amelyben a Kárpát-medencében keletkezett vagy odahelyeződött ciklon feltöltődése is térségünkben játszódik le. A centrum típus vízkészlete magas, ha figyelembe

vesszük, hogy a Kárpát-medence zárt ciklonális cirkulációja ezt a nedves levegőt a medencén belül tartja, továbbá a nedves levegő utánpótlása délnyugatról és délkeletről a Földközi-tenger medencéjéből biztosítva van. Megállapíthatjuk, hogy a centrum típusú időjárási helyzetek a Duna és a Tisza vízgyűjtőterületén az egyik legveszélyesebb időjárási típust jelentik (a 2. ábra sorozaton a Centrum típus jellegzetes mezőit láthatjuk.)



2. ábra: Centrum típusú időjárási helyzet a/ közepes talajmenti nyomásmezeje, b/ közepes 500 hPa-os felülete, c/ közepes 500/1000 hPa-os rétege, d/ közepes eltérése a normál értéktől a talajon

2005 nagy csapadékos helyzetei közül a következőkben olyan eseteket emelünk ki, amikor az ország nagy részén jelentős mennyiségű csapadék hullott. Országszerte sok csapadék volt május 18-án, június 9-én, július 1-én és 2-án, július 9-12 között, augusztus 3-án és 4-én, augusztus 16-án és augusztus 21-én.

A május 18-i nagy csapadékos vonuló mediterrán ciklon (M) okozta, a többi esetben a Kárpát-medence fölé helyeződött, vagy itt kialakuló ciklonhoz köthetjük a csapadéktevékenységet.

A felsorolt napokon Budapesten is sok eső hullott, a csapadék 24 órás összege május 18-án, június 9-én, illetve augusztus 3-án és 4-én a 30, esetenként a 40 mm-t is meghaladta.

A következőkben röviden hét nagy csapadékos helyzettel ismertetjük meg olvasóinkat, ezek közül négy esetben a Budapesthez közel eső rácspontra szóló ensemble előrejelzéseket is bemutatjuk. Megvizsgáljuk, hogy a valószínűségi prognózisok mennyire segíthették a mennyiségi csapadék-előrejelzés készítését, illetve azt hogy előrejelzésünket a finomabb felbontású operatív modellre vagy az ensemble átlagra volt érdemes alapoznunk.

Nagy csapadékot okozó időjárási helyzetek rövid összefoglalója

Május. 18.

Az időjárási helyzetet május 18-án vonuló mediterrán ciklon határozta meg. A ciklon tág melegszeletében délután, este heves zivatarzóna vonult délnyugatról északkeletre. A zivatarokat helyenként felhőszakadás, jégeső és viharos szél kísérte. Az említett időjárási események az úgynevezett szlovén instabilitási vonalhoz köthetők. A délnyugatról vonuló mediterrán ciklon nyitott melegszeletében az alacsony szinteken meleg, nedves levegő áramlott, ugyanakkor 500 hPa-on már hidegadvekción zajlott. Ez a jellegzetes időjárási kép pl. a Balatonnál az egyik legveszélyesebb időjárási szituáció, és az adott napon az instabilitási vonal „méltó” volt hírnevéhez, ahogy ez Horváth Ákos helyzetelemzéséből is láthattuk (*Horváth, 2005*).

Június 9.

Június 9-én a Brit-szigetek, valamint Északnyugat-Európa felett anticiklon helyezkedett el. Ennek a magas nyomású zónának a délkeleti peremén ciklon alakult ki, amely kelet felől egyre inkább a Kárpát-medence fölé helyeződött. Ebben a regionális ciklonban, amelynek középpontja június 10-én 00 UTC-kor az Északkeleti-Kárpátok felett található, június 9-én a ciklon hátrahajló okklúziós frontjának hatására a nyugati és délkeleti határ kivételével jelentős mennyiségű csapadék hullott; a legtöbb Pécs-Árpádtetőn, ahol a 24 órás mennyiség 50 mm volt. A vázolt szinoptikus helyzetben a Fekete-tenger felől advektálódó nedves levegő és a keleti ciklon együttes hatására kialakult tartós összeáramlás eredményezte az országos, kiadós esőt.

Július 1–2.

A Kárpát-medence délnyugati része feletti kis örvény helyeződött június 1 és 3 között kelet felé; tulajdonképpen az Alpok fölé benyúló magasnyomás peremén kialakuló ciklonalitással, talajközben keleties áramlással, a magasban pedig egy hideg légörvénnyel jellemezhetjük a szinoptikus helyzetet. Július 1-jén az ország déli felén esett 20–56 mm közötti csapadék záporból, zivatarból, július 2-án délkeleten volt a több csapadék, Körösszakálról 76 mm-t jelentettek.

Július 9–12.

Az Atlanti-óceántól a Brit-szigeteken át egészen a Skandináv-félszigetig délnyugat-északkeleti irányú magasnyomású zóna húzódott, amelynek keleti oldalán sekély ciklonális mezőben helyezkedett el Közép-Európa. Az anticiklon kissé erősödött az időszak folyamán, ugyanakkor a Kárpát-medencében a ciklonális mezőben egy mezoléptékű örvény mélyült ki, amely több napon át aktív volt, sokfelé alakult ki ismétlődő zápor, zivatar. Számottevő hőmérsékleti advekción nem volt. Budapest-Pestszentlőrincen július 10-én 31 mm esett, július 11-én 25 mm, a Belvárosban 29 mm. A legtöbb eső július 11-én Felcsúton hullott, 69 mm. A szinoptikus kép, a képződött csapadékhordozó objektumok mérete, jellege mezoléptékű konvektív komplexumra emlékeztetett.

Augusztus 3–4.

Az augusztus 2-án a Földközi-tenger középső medencéjében megjelenő sekély, kisméretű örvény augusztus 3-ra a Kárpát-medence délnyugati része fölé helyeződött. A mezoléptékű örvény 3-án a medence felett kissé tovább mélyült, és helyzetét még 4-én is alig változtatta, és csak augusztus 5-én a nyugat-európai anticiklon erősödésével helyeződött kissé keletebbre. Mindkét nap országszerte jelentős mennyiségű csapadék hullott esőből, záporból, helyenként intenzív zivatarból; az augusztus 4-i 24 órás csapadékösszeg pl. Tevelen 113 mm volt. Budapest-Pestszentlőrincen a két nap alatt 100 mm hullott.

Augusztus 16.

Augusztus 14-én északnyugatról ciklon érte el a Kárpát-medencét. 15-én és 16-án sekély ciklon helyezkedett el a medence felett, amelynek okklúziós frontja még 17-én is visszahajlott a Kárpát-medence fölé. Augusztus 15-én keleten hullott sok csapadék, Poroszlóról 93 mm-t jelentettek, 16-án már a Balaton térségében is 50, 56 mm-t mértek. Ebben az esetben is a medence fölé helyeződött, itt tovább erősödő, lassan mozgó ciklon okozta a jelentős csapadékot.

Augusztus 21.

Augusztus 21. és 23. között szinte ismétlődött a pár nappal korábbi időjárási szituáció. Az Észak-Olaszország feletti sekély ciklon a medence felett kissé erősödött, és csak lassan helyeződött kelet felé, miközben a magasban erős volt a ciklonalitás. 21-én a Kapuvár-Pápa-Sármellék vonalban 70–84 mm eső hullott, Keszthelyről 92 mm-t jelentettek.

Ensemble előrejelzések

A numerikus előrejelzések a bennük szereplő fizikai folyamatok természete miatt sohasem lesznek tökéletesek. Már a kiindulási adatokban is vannak pontatlanságok, gondoljunk pl. a mérésekben rejlő hibákra. A kezdeti értékek kis mértékű változtatása esetenként az eredmény jelentő-

sebb megváltozását eredményezheti. Az ensemble előrejelzések lényege éppen ez: a kiindulási mezőket kissé megváltoztatják, természetesen ezek a változtatások fizikailag lehetségesek, és jól jellemzik a kezdeti mezőben meglévő bizonytalanságokat. Több ilyen perturbált kiindulási mezőből futtatják le a modellt, és vizsgálják az így kapott előrejelzések mennyire térnek el egymástól. Amennyiben az eltérések, előrejelzések szórása nagy, akkor nagy az előrejelzések bizonytalansága. Ha a különböző kiindulási mezőkből futtatott előrejelzések nagy hasonlóságot mutatnak, akkor megbízhatóak az előrejelzések, ami arra utal, hogy a modell kevésbé érzékeny a kiindulási feltételekre, vagyis a mérési hibákra, illetve a mérések nem reprezentatív voltára. Az ensemble előrejelzések alapján lehetőség van ily módon arra, hogy a kiadott előrejelzések mellé valószínűségi értéket rendeljenek, így a felhasználók a valószínűségek alapján is meghozhatják döntéseiket.

A mindennapi előrejelző munka során az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF) ensemble (EPS: ensemble prediction system*) előrejelzéseit használjuk fel.

Az ECMWF-nél az EPS rendszer összesen 51 tagból áll. Ebből 50 az ún. ensemble tag, amelyek felbontása jelenleg 50 km. Ezeket különböző kezdeti feltételekkel futtatják le. Az 51. tag az ún. kontroll modell, amelynek ugyanaz a felbontása, mint az ensemble tagoknak, de a futtatás kezdeti feltétele megegyezik a determinisztikus modellel. A determinisztikus modellnek (operatív változat) dupla olyan finom a felbontása (25 km), mint a többi EPS tagnak, a modell kezdeti feltétele ugyancsak különbözik az EPS tagoktól. Az ensemble átlagot az EPS tagokból számolják.

A fő dilemma az ensemble előrejelzések használatával kapcsolatban az, hogy az operatív (determinisztikus) futtatás vagy az EPS átlag alapján készítsük az előrejelzést.

Érvek a determinisztikus modell mellett:

- Kétszer olyan finom a felbontású, mint az egyes EPS tagok, ezért bizonyos mezoléptékű folyamatokat jobban előrejelez. Megjegyezzük, hogy az orografikus területeken, illetve csapadék- és szélelőrejelzésénél különösen fontos a felbontás minősége.

- Nem olyan átlagos előrejelzési mezőt nyújt, mint amelyet 50 futtatás átlagából állítanak elő, hanem egy konkrét lehetséges változatot. Emiatt könnyebb kiértékelni, mint egy átlagos nyomási képet. Nyilvánvaló az is, hogy könnyebb áttekinteni egy variációt, mint az 50 EPS változatot.

Érvek az EPS átlagok mellett:

- A harmadik-negyedik naptól kezdve az ensemble előrejelzések átlaga általában jobb eredményt ad, mint a finomabb felbontású operatív modell.

- Az EPS előrejelzések halmaza alapján előrejelezhető a prognózisok megbízhatósága (az egyes futtatások közötti eltérés nagysága alapján), csoportosíthatók a különböző változatok (clusterek pl. hideg és meleg változatok), illetve különböző elemekre vonatkozóan valószínűségi előrejelzési mezők szerkeszthetők.

Általánosságban elmondható, hogy a rövidtávú előrejelzéseknél leszámítva azokat az eseteket, amikor már a néhány napos előrejelzésnél is nagy a bizonytalanság, a kiemelt, operatív futtatás eredményeit célszerű elfogadni, mivel ennek dupla olyan finom a felbontása. A középtávú előrejelzéseknél azonban általában az ensemble átlagra érdemes alapozni a prognózist, de ahogy azt az esettanulmányok is igazolják, a csapadék előrejelzésénél – ahol különösen nagy szerepet játszik a felbontás finomsága – az operatív modell, a finomabb felbontása révén, bizonyos esetekben középtávon is jobb eredményt adhat.

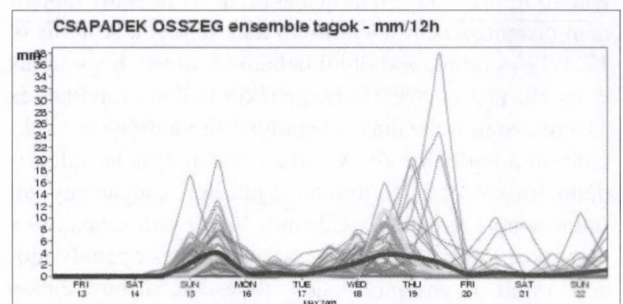
Az ensemble technika azért lehet különösen hasznos a felhasználók számára, mert segítségével előrejelezhető a prognózisok megbízhatósága. Az előrejelzések megbízhatósága ugyanis nemcsak attól függ, hogy hányadik napra vonatkozik az előrejelzés. Van például olyan eset is, amikor a nyolcadik, kilencedik napra nagyobb az előrejelzés megbízhatósága, mint a harmadik, negyedik napra.

Az ensemble előrejelzések gyakori megjelenítési formája az ún. fátyla diagramm, amely adott pontra vonatkozóan az egyes meteorológiai változók időbeli viselkedését, pl. a hőmérséklet, csapadék, geopotenciál előrejelzések szórását mutatja.

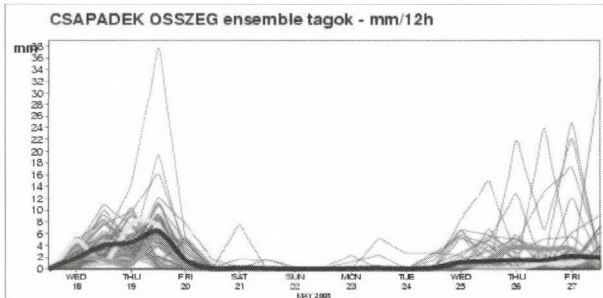
A determinisztikus és az ensemble előrejelzések elemzése négy nagy csapadékot okozó időjárási helyzetben

A május 18-ra vonatkozó valószínűségi előrejelzések:

Május 18-án Budapesten 33 mm eső hullott. A május 12. 12 UTC-s futtatásban (3. ábra) a determinisztikus modell május 18. éjféltre 10-12 mm-t adott, csupán egy ensemble tag értéke több 2-3 mm-rel. A május 13. 12 UTC-s futtatásban már több tag adott nagyobb mennyiséget, a legtöbb 25 mm-t, de az operatív érték az előző napnál kicsit alacsonyabb. Az ezt követő napok futtatásai egyre inkább május 19-re adták a több csapadékot. Még az esemény előtti napon is (4. ábra) későbbre jelzett előre több csapadékot a determinisztikus modell, és ez mennyiségében elmaradt az öt nappal korábbi előrejelzéstől. Hasonló volt a valószínűségi előrejelzések alakulása is, tehát időben közeledve a kérdéses nap csapadékához az ensemble átlag is rosszabb lett.



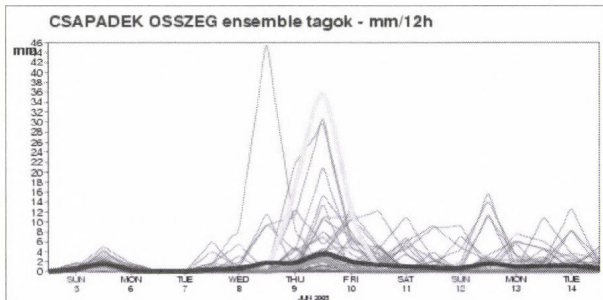
3. ábra: Valószínűségi előrejelzés Budapest térségére a 2005. május 12. 12. UTC-s futtatás alapján



4. ábra: Valószínűségi előrejelzés Budapest térségére a 2005. május 17. 12. UTC-s futtatás alapján

A június 9-re vonatkozó valószínűségi előrejelzések:

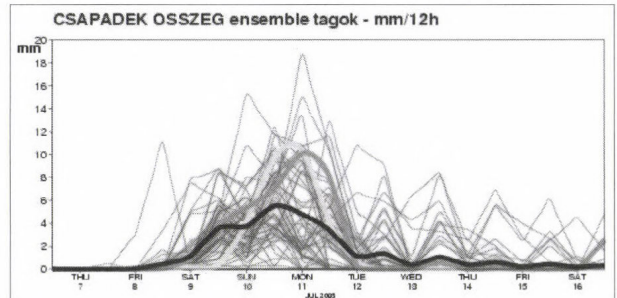
Az operatív modell június 4. 12 UTC-s futtatása (5. ábra) adta a legnagyobb mennyiséget, 35 mm-t, ez az érték tökéletes, hiszen Budapest-Pestszentlőrincen a június 9-én 35 mm hullott! A következő napok futtatásaiban az operatív modell csapadéértéke kevesebb volt, de 6-án, 7-én és 8-án is 20 mm feletti, és egy-egy tagban szerepel a 30 mm közeli, vagy feletti érték. Egyedül a június 5. 12. UTC-s futtatásban szerepelt kisebb mennyiség, 10 mm. Az operatív modell jún. 5. 12 UTC-s futtatást kivéve, tehát végig nagy csapadékot jelez előre, és ezt az ensemble tagok két nappal későbbi időponttól, jún. 6-tól, támogatták.



5. ábra: Valószínűségi előrejelzés Budapest térségére a 2005. június 4. 12. UTC-s futtatás alapján

A július 10-11-re vonatkozó valószínűségi előrejelzések:

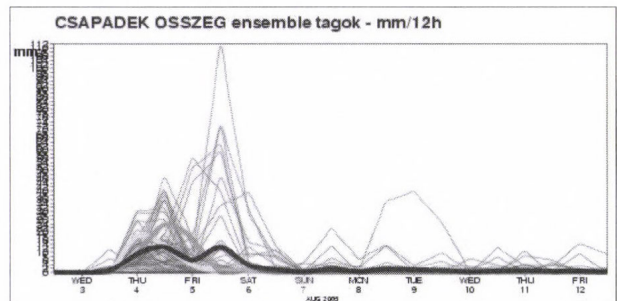
A két nap alatt Budapest-Pestszentlőrincen 56 mm hullott, első nap 31, a második nap 25 mm. A július 4. 12. UTC-s futtatásban az operatív modell július 10-re, 11-re nem adott számottevő csapadékot, csupán egy-egy ensemble tag jelzett előre 10 mm körüli mennyiséget. A július 5. 12 UTC-s előrejelzésben már több tag tartalmazott 10 mm-hez közeli csapadékot, de az operatív modell nem prognosztizált jelentősebb mennyiséget. A július 6. 12. UTC-s futtatásokból jól látható (6. ábra), hogy július 9. és 12. között gyakori csapadéokra kellett számítani és 11-ére prognosztizálták a legtöbbet (a valóságban is ekkor volt a legtöbb eső). A várható mennyiség legvalószínűbb értékét 10 és 16 mm közé jelezték, csupán egy-két futtatásban szerepelt 20-22 mm. Végül is a csapadékos időszakot július 6-tól jól megfogta mind az operatív modell, mind az ensemble tagok többsége, mennyiségben azonban kissé elmaradtak a valóságtól, de a determinisztikus modellérték azért jobb volt, mint az ensemble átlag.



6. ábra: Valószínűségi előrejelzés Budapest térségére a 2005. július 6. 12. UTC-s futtatás alapján

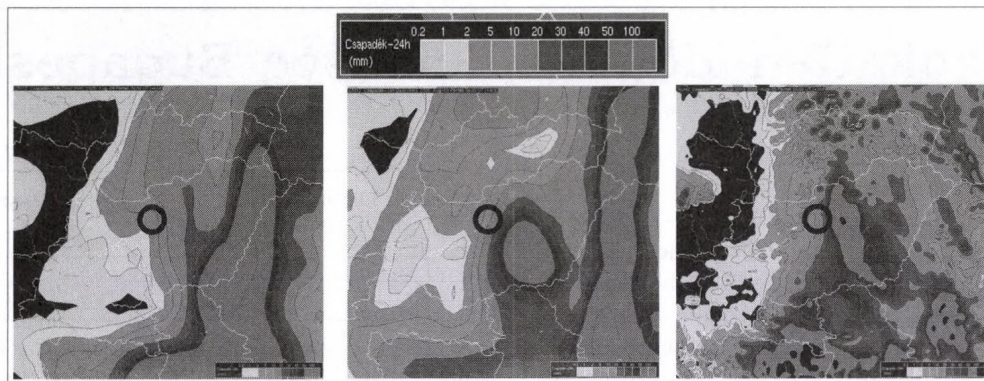
Az augusztus 3-4-re vonatkozó valószínűségi előrejelzések:

A két napos csapadékösszeg Budapest-Pestszentlőrincen elérte a 100 mm-t. A július 31. 12. UTC-s futtatásban az operatív modell sem augusztus 3-ra, sem 4-re nem adott számottevő csapadékot Budapest térségére. Augusztus 4-re néhány ensemble tag már 10–20 mm közötti mennyiséget jelzett előre. Az augusztus 1. és 2. 12 UTC-s futtatás augusztus 3-ra továbbra sem adott csapadékot, 4-re már az operatív modell 10 mm közeli, illetve 10–20 mm közötti mennyiséget jelez. Az augusztus 2. 12. UTC-s futtatásnál több ensemble tag előrejelzése (7. ábra) elérte a 20, néhány a 40 mm-t, de az augusztus 3-ra szóló determinisztikus modell előrejelzése egyértelműen rossz volt, az augusztus 4-re szóló ugyan már kicsit jobb, de a mennyiség még ekkor is lényegesen elmaradt a ténylegestől.



7. ábra: Valószínűségi előrejelzés Budapest térségére a 2005. augusztus 2. 12. UTC-s futtatás alapján

Részletesebben összehasonlítva a nagy csapadék kialakulása előtt futtatott modell előrejelzéseket, tekintsük a 8. ábrát. Ezen az augusztus 2-i és 3-i 12 UTC-s futtatású determinisztikus ECMWF és az augusztus 4-i 00 UTC-s futtatású ALADIN modell augusztus 4-re szóló csapadék-előrejelzése látható. Mindhárom előrejelzés a csapadék tengelyét Budapesttől (fekete körrel jelölve) keletre adja, miközben az a valóságban Budapest tengelyében (Budapest-Pestszentlőrincen 58 mm), illetve attól kicsit nyugatabbra volt. Amennyiben azonban kiértékeljük az augusztus 2-i 12 UTC-s futtatású ECMWF modell mind az 50 ensemble tagjának a csapadék-előrejelzését, azt állapíthatjuk meg, hogy a tagok kb. 20%-a csapadéközóna tengelyét helyesen, az ország középső, illetve nyugati részére adta. Ezáltal tehát, ha csak a fino-



8. ábra: Az augusztus 2-i és 3-i 12 UTC futtatású ECMWF és az augusztus 4-i 00 UTC futtatású ALADIN modell augusztus 4-re szóló csapadék-előrejelzése. Mindhárom előrejelzés a csapadék tengelyét Budapesttől (fekete körökkel jelölve) keletre adja, miközben az a valóságban Budapest tengelyében (Budapesten 58 mm), illetve attól kicsit nyugatabbra volt.

mabb felbontású determinisztikus modell alapján készítenénk a prognózisunkat, biztosan állítanánk, hogy a nagy mennyiségű csapadék Budapesttől keletre valószínű, hiszen az egymást követő futtatású, finomabb felbontású operatív változat mellett ezt támogatja a hazai lokális modell az ALADIN is. Figyelembe véve azonban az ensemble előrejelzéseket, e biztos állításban jogosan el kell bizonytalanodnunk, és legalább 20–30% esélyt kell adni arra, hogy a nagy csapadék tengelye nyugatabbra lesz. Ez az eset tehát szépen bizonyítja, hogy az ensemble közelítésnek a használata a rövidtávú előrejelzéseknél is indokolt lehet.

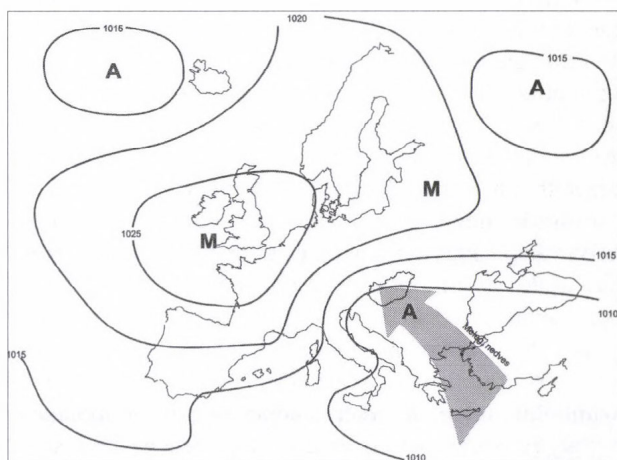
Összefoglalás

Végül is a május 18-i időjárási helyzetet kivéve mindegyik nagy csapadékos esetet hasonló időjárási szituáció határozta meg: a medence fölé helyeződő, vagy itt megerősödő, többnyire sekély ciklonhoz köthető a csapadéktevékenység, amelyhez a magasban markáns hideg légörvény kapcsolódik. Ennek labilizáló és szélnyírást erősítő hatása jelentős szerepet játszott a heves csapadéktevékenység létrejöttében. A jellegzetes talajnyomási kép, a nedves, meleg szállítószalaggal a 9. ábrán látható.

Azzal kapcsolatban, hogy a mennyiségi csapadék előrejelzéseinket a finomabb felbontású operatív modellre, vagy az ensemble átlagra érdemes-e inkább alapozni, vegyessék a tapasztalatok!

Előfordult, hogy:

- időben közeledve az eseményhez mind az operatív modell, mind a valószínűségi előrejelzés rosszabb lett (máj. 18.)
- az operatív modell végig nagy csapadékot jelez előre, és ezt az ensemble tagok csak késleltetve támogatták (jún. 9.)
- a csapadékos időszakot jól megfogja mind a determinisztikus modell, mind az ensemble tagok többsége, a mennyiségben azonban mindkettő kissé elmarad a valóságtól (júl. 9-12.)



9. ábra: 2005. nagy csapadékos helyzeteinek jellegzetes nyomási képe a meleg, nedves szállítószalaggal

- egyértelműen rossz a csapadék-előrejelzés, mind az operatív, mind az ensemble tagok többsége mennyiségében elmarad a ténylegestől (aug. 3-4.), de az ensemble tagok kb. 20%-a helyesen adja meg a nagymennyiségű csapadék helyét.

Bonta Imre – Homokiné Ujváry Katalin

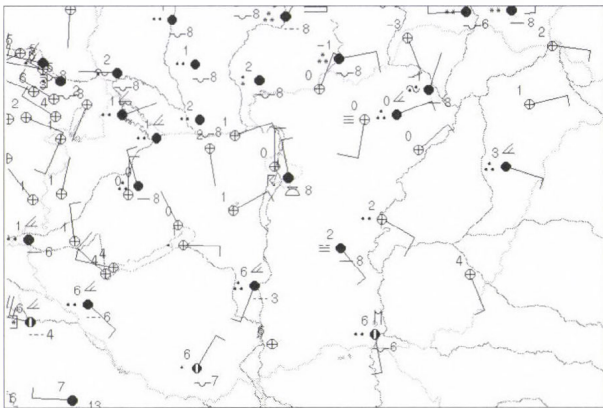
Irodalom

- Bodolainé Jakus Emma, 1983: Árhullámok szinoptikai feltételei a Duna és a Tisza vízgyűjtő területén. OMSZ Hivatalos Kiadványai LVI. kötet
- Bonta Imre, 2002: Ensemble előrejelzések használata az operatív munkában
- Meteorológiai tudományos napok OMSZ kiadvány 2002, Budapest
- Bonta Imre, 2006: Performance of the ECMWF model in some interesting synoptic situations
- Előadás, Forecast Products User Meeting: Reading, ECMWF 2006. június 14-16
- Horváth Ákos, 2005: A 2005. május 18-i vihar meteorológiai leírása. Légkör, 50. évf.

Egy szokatlan időjárási jelenség Budapesten

A 2005–2006-os tél bővelkedett nem túl gyakran előforduló időjárási eseményekben. A tél folyamán többször és viszonylag nagy területen fordult elő ónos eső. Gyakori volt az intenzív (bár többnyire rövid ideig tartó) havazás. Januárban a hosszú, hideg periódus alatt befagyott a Tisza, sőt időnként a Duna 60%-át is jég borította, többször volt hófúvás (bár viszonylag kevés települést vágott el rövid időre a külvilágtól), és zivatar, sőt hózivatar is több esetben előfordult az országban és Budapesten is. 2006. február 17-én délelőtt egy rendkívül szokatlan – a szinoptikus tankönyvek szerint nem is létező – időjárási eseménynek lehettünk szemtanúi Budapest egyes részein. Ennek a jelenségnek nincs jele és kódszáma a szinoptikai kódtáblázatokban, hiszen szinte soha nem fordul elő. Hogy mi volt ez a jelenség??? Zivatar ónos esővel. A következőkben vizsgáljuk meg, hogy mi vezetett ehhez a rendkívül ritka eseményhez!

Először nézzük meg, milyen volt az időjárási helyzetkép Magyarországon és környékén! Az 1. ábrán láthatjuk a szinoptikus állomásokon 10 UTC-kor (valójában 09.45 UTC-kor) mért szél és hőmérsékleti viszonyokat, valamint az észlelők által észlelt felhőzeti képet és időjárási jelenségeket a szinoptikában használt szimbólumokkal. A térkép alapján az adott időpontban többnyire borult volt az ég a Kárpát-medencében, sokfelé hullott különféle csapadék. Szlovákia nagy részén havazott, Magyarországon és Ausztriában sokfelé esett az eső. Hazánk északkeleti részén vegyesen esett hó, ónos eső és eső, míg Budapesten zivatart észleltek 0 °C körüli hőmérséklet mellett. A pontos értékek az 1. táblázatban láthatók.



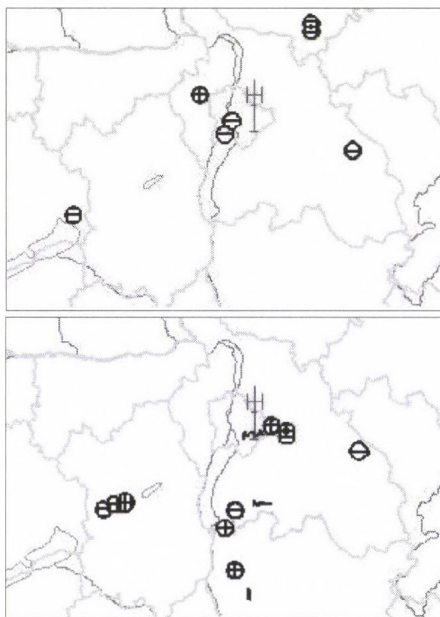
1. ábra Hőmérséklet, szél, felhőzet és jelenlegi időjárás észlelések 2006. 02. 17-én 10 UTC-kor

Az éjszakai legalacsonyabb hőmérséklet a Belvárosban (az OMSz-ban) $-0,6$ °C volt, míg Pestszentlőrincen $-1,1$ °C-t mértek, vagyis éjszaka a talaj átfagyott, néhol még ónos eső is hullott napkelte előtt.

1. táblázat

UTC	Budapest-Belváros		Budapest-Pestszentlőrinc	
	1 órás csapadék összeg (mm)	Hőmérséklet (°C)	1 órás csapadék összeg (mm)	Hőmérséklet (°C)
09	0,2	-0,2	1,5	+0,4
10	2,1	+0,4	1,7	+0,6

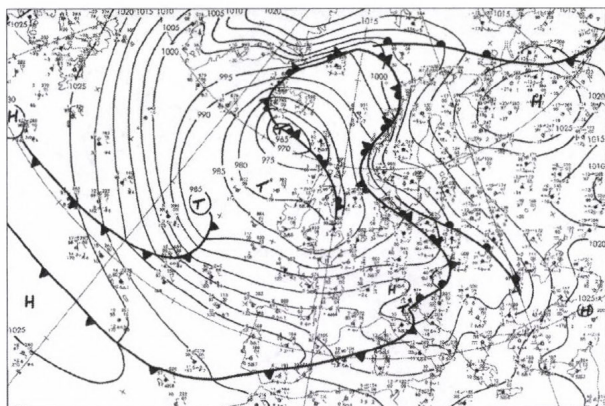
A reggeli órákban átmenetileg gyengült a csapadék, majd a beágyazódott zivatarfelhőkből 08.30 és 09.30 UTC között (2. ábra) a város több pontján is előfordult zivatar, esővel, néhol hódarával, jégdarával, míg a budai oldalon ezen felül ónos eső is előfordult. A ferihegyi reptéren a zivatart 09.32 UTC-kor észlelték. Ez az ónos eső természetesen nem a klasszikus túlhűlt vízből* álló csapadék volt, mivel csak az alsó néhány száz méteres réteg hőmérséklete volt negatív, de a hideg talajfelszínre, illetve a fákra így is ráfagyott az eső, miközben dörgött, villámlott.



2. ábra A SAFIR rendszer által 2006. 02. 17-én 08.30 és 09.00 illetve 09.00 és 09.30 UTC között észlelt villámok

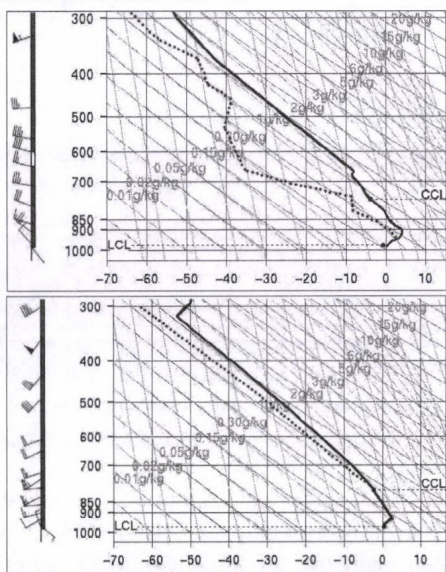
Vajon előre jelezhető volt-e ez a különleges természeti jelenség?

Először nézzük át az adott órákban uralkodó légköri viszonyokat! Reggel az Izland közeli középpontú, hatalmas ciklonon egy peremhullám képződött Szlovénia térségében. Ehhez a peremhullámhoz kapcsolódóan, az adott reggelen, Magyarország fölött egy hosszan elnyúló, hullámzó frontzóna helyezkedett el (3. ábra). A front közelében erősen felhős volt az ég, sokfelé hullott csapadék. Bár az ország nagy részén a hőmérséklet a talaj közelében már pozitív volt, de északkeleten és Budapest térségében néhol továbbra is 0 °C alatt maradt.



3. ábra A Német Meteorológiai Szolgálat (Deutscher Wetterdienst) talajanalízise 2006. 02. 17. 06 UTC

A budapesti rádiószondás mérések alapján (4. ábra) 00 és 12 UTC között az alsó 1500–1800 méteres rétegben kissé hűlt a levegő, de az alsó 500–700 méteres rétegben végig inverzió uralkodott, ami nem kedvez a zivatarnak. Az fölötte elhelyezkedő levegő viszont labilizálódott. A legnagyobb labilitás a kora délelőtti órákban uralkodott a főváros térségében, de ebben az időben nem volt rádiószondás mérés.



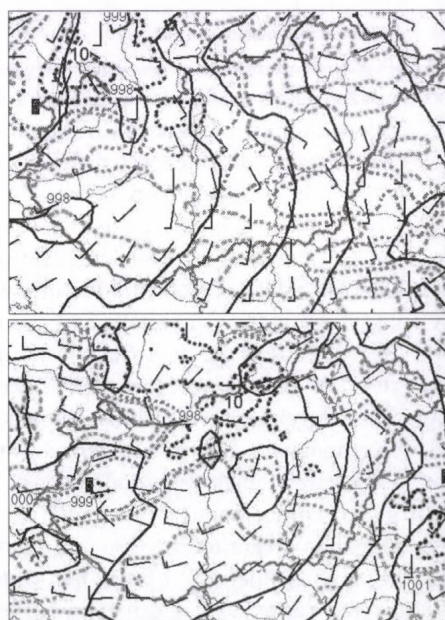
4. ábra A budapesti rádiószondás mérés hőmérsékleti görbéi: 2006. 02.17. 00 és 12 UTC

A zivatarfelhők tehát nem a talajról felszálló meleg levegő miatt alakultak ki, mint a nyári hőzivatarok, sem a felhőtető kisugárzása miatt, mint nyáron az éjszakai órákban szokott. Akkor mi lehetett az oka a zivatarfelhő kifejlődésének? A téli zivatarok többségénél a kezdeti lökést általában egy gyors mozgású hidegfront adja meg, amely eléggé megemeli a levegőt ahhoz, hogy az emelkedő levegőben beinduljon a kondenzáció és a kifagyás, amely felgyorsítja a feláramlást, és így a levegő a nedves adiabata mentén tovább tud emelkedni fölfelé. Ebben az esetben ez az indító hatás nem állt rendelkezésre, mivel a front nagyon lassan mozgott, vi-

szont egy érdekes szituáció mégis megadta ezt a kezdeti emelést a légtömegnek. A front mentén a talaj közelében egy nagyon gyenge konvergencia alakult ki, ami egy nagyon gyenge feláramlást generálhatott. Ezen felül a rádiószondás felszállásokon látható, hogy az inverzió alatti légrétegben a szélirány csaknem ellentétes a magasabban lévő légrétegek szélirányával. Vagyis a talajközeli légréteg ellentétes irányban mozgott a magasabban található levegővel, így ék alakban megemelte azt. A magasban lévő melegebb, nedves levegő így elkezdett hűlni, túltelítetté* vált, és kondenzálódott, illetve nagyobb magasságban kifagyott a benne található nedvesség. Ehhez nagyon kevés emelés is elég volt, hiszen 12 UTC-kor az alsó 3000 méterben a relatív nedvesség közel 100% volt, tehát néhányszor tíz méteres emelés is beindíthatta a halmazállapot váltást.

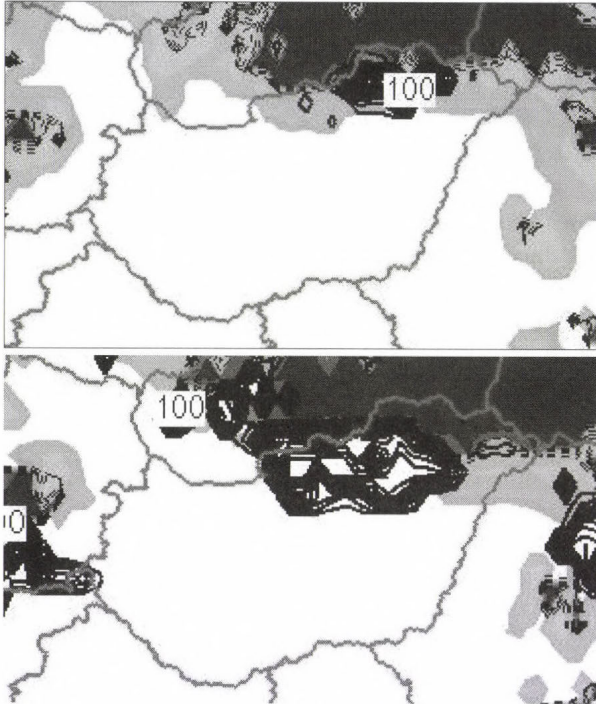
Röviden összefoglalva ez vezetett az ónos esővel kísért zivatar kialakulásához Budán. A következőkben vizsgáljuk meg, hogy előre jelezhető volt-e ez a jelenség?

A február 16-án készült előrejelzésben szerepelt, hogy északkeleten hó, ónos eső, majd eső, míg másutt inkább eső várható, 17-ére pedig zivatart is előre jeleztek a kollégák, igaz, hogy inkább a déli országrészre. Az éjszakára vonatkozó előrejelzés szinte tökéletes volt, bár Budapesten a várt 0 °C-nál 1 fokkal hidegbbet mértek, vagyis gyengén fagyott, és a korábban lehullott hóréteg miatt a talaj erősen áthűlt. Az ALADIN.HU modell előrejelzésén látható (5. ábra), hogy 09 UTC-re a frontzóna Budapest fölé kerül, és jelentős, 4–10 mm csapadék várható a város környékén, illetve tőle északra.



5. ábra Az ALADIN.HU modell által előrejelzett légnyomás és szél adatok 2006.02.17-én 09 és 12 UTC-kor, valamint csapadékmennyiség adatok 06 és 09, valamint 09 és 12 UTC között
Folytonos vonal: nyomás – Szélszélzők – Szaggatott vonal: csapadék (vastag: 5 mm felett)

A modell csapadékfajta előrejelzése (6. ábra) a kora reggeli órákban még Budapest közelébe helyezte az ónos eső határát, de 09 UTC-re már csak Borsod-Abaúj-Zemplén megyébe adott ónos esőt (Miskolcon az is esett), Budapestre már esőt várt. A valóságban Budapest egyes részein még fagyott az alsó néhányszor tíz méteres rétegben, így adva volt az esély az ónos esőhöz.

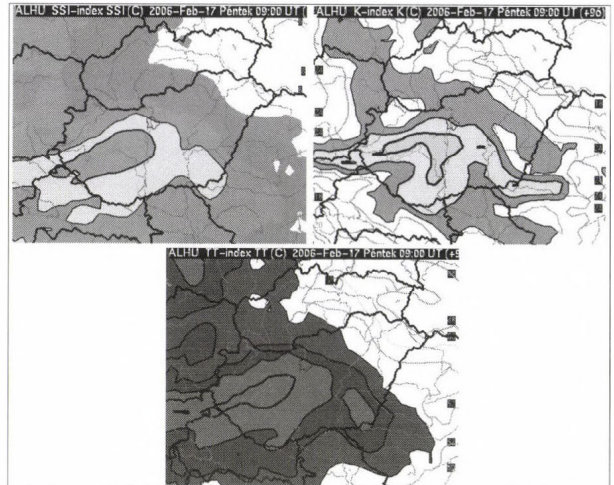


6. ábra Az ALADIN.HU modell által előre jelzett csapadék fajták 2006. 02. 17-én 06 és 09 UTC-kor
Sötét: havazás – Szürke: hó, havas eső, eső – Fehér: eső – Fekete vonalak: ónos eső

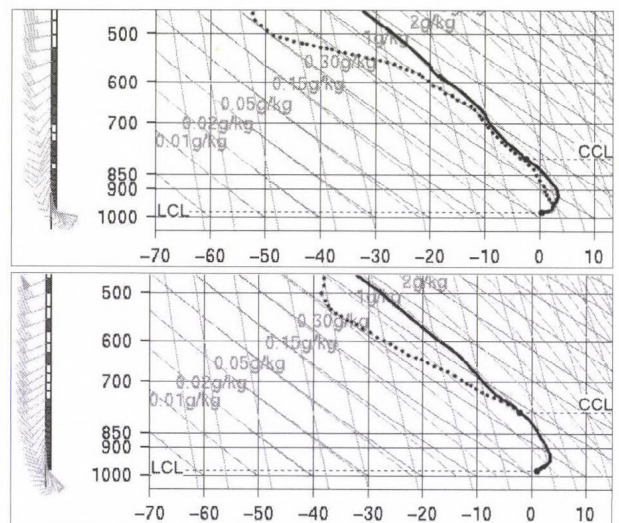
Az ALADIN.HU modell a délelőtti órákra nagyon erős labilizálódást jelzett előre a 850 hPa és 500 hPa közötti légrétegre (7. ábra). A Showalter-index (SSI) előre jelzett értéke 0C és -1C között volt Budapesten (télen 4C alatt már lehet zivatar), de a Dunántúlon néhol -1C alatti értékek is előfordultak. A K-index értéke 28C körül volt (télen 24 C elég a zivatarhoz), de a Dunántúl keleti részén és a Bakonyban 30C fölötti értékeket is prognosztizált a modell. A Totals Total-index (TT) értéke 59 C körül volt (télen 54 C elég a zivatarhoz), de a Balaton környékén 60C feletti érték lett előre jelezve. Mindezek alapján a légkör magasabb rétegei rendkívül labilisak voltak, így a zivatarok esélye megvolt, bár a talaj közeli inverzió csökkentette ezek létrejöttének valószínűségét.

A modell gyakorlatilag pontosan megadta azt, hogy az alsó légrétegekben inverzió lesz, és a szél szembefúj a magasabban lévő széllel (8. ábra), bár a pozitív hőmérsékletű réteg vastagságát kicsit túlbecsülte, és a talaj közelében a ténylegesnél kb. 1–1,5 fokkal melegebbet jelzett előre.

A fentiek alapján a zivatar és az ónos eső is előre jelezhető volt, habár a modell sokkal keletebbre adta az



7. ábra Az ALADIN.HU modell által 2006.02.17-én 09 UTC-re előre jelzett labilitási indexek SSI: színezett terület: 4 C alatt, vastag fekete vonalon belül: -1 C alatt K: színezett terület: 26 C felett, vastag fekete vonalon belül: 30 C felett TT: színezett terület: 54 C felett, vastag fekete vonalon belül 60 C felett



8. ábra Az ALADIN.HU modell által előre jelzett hőmérsékleti görbék: 2006. 02.17. 06 és 09 UTC

ónos eső lehetőségét, de szinoptikus tapasztalat az, hogy ilyen helyzetekben az ALADIN.HU modell gyorsabban melegíti az alsó légréteget, mint az a valóságban bekövetkezik. Az ónos esőre a riasztó szolgálat idejében (még hajnalban) kiadta a figyelmeztetést. A zivatar is előre jelezhető lett volna (előző nap szerepelt is az előrejelzésben), de a reggeli szolgálat nem várta ilyen korán a bekövetkeztét, ezért a riasztás már csak annak bekövetkezése után (09.02 UTC-kor) ment ki, bár a pesti zivatarokat még 15-40 perccel megelőzte a figyelmeztetés.

Összefoglalva a korábban leírtakat, elmondható, hogy külön-külön mind a két esemény (a zivatar és az ónos eső is) előre lett jelezve, de együttesen ez nem szokott előfordulni, ezért a szinoptikusokat is váratlanul érte.

A 2006. ÉVI BALATONI ÉS VELENCEI-TAVI VIHAR-ELŐREJELZÉSRŐL ÉS VIHARJELZÉSRŐL

Már hagyománnyá vált, hogy a LÉGKÖR olvasóit minden évben tájékoztatjuk a balatoni és a velencei-tavi viharjelzések meteorológiai kiszolgálásáról. A viharjelzés történetében ez volt a második olyan idény, amikor rendelet írta elő a korábbi viharjelzési törzsidőszak (május 1-jétől szeptember 30-ig) két hónappal történő kiterjesztését.

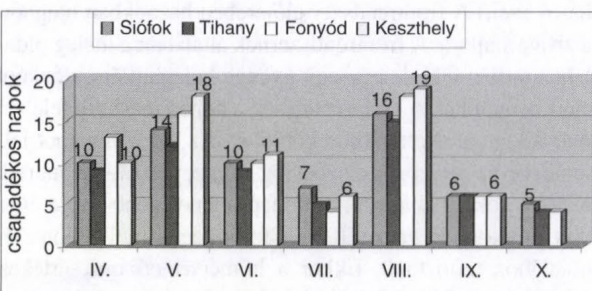
A viharjelzések meteorológiai kiszolgálását nappal (08 órától 20 óráig) Siófokról, éjszaka (20 órától 08 óráig) Budapestről látták el. A riasztást a lakosság és az üdülőközönség részére az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (OKF) fény- és rádióvezerléssel működő rendszere biztosította.

Bár április 1-től október 31-ig tíz ember fulladt a Balatonba, kettő pedig a Velencei-tóba, egyetlen olyan halálos kimenetelű vízi baleset sem történt, amely elmaradt, vagy kései viharjelzés következménye lett volna. A Vízirendészet a Balatonon 94 alkalommal 192 fürdőzőt, vagy hajózó személyt, a Velencei-tavon 58 főt mentett ki a vízből és. A Katasztrófavédelem fényjelző állomásai a Balaton nyugati medencéjében 2157, a keleti medencében 2040, a Velencei-tónál 1578 órán át üzemeltek.

A 2006. évi viharjelzési szezon időjárásának főbb jellemzői

Az időjárás visszatükrözi valamelyest a Balaton vízszintjének az alakulása. Az idei évben a szakembereknek sikerült a Balaton vízállását az optimális szint közelében tartani (köszönhetően a kedvező időjárásnak). A szezon első felében a Sió csatornán keresztül időszakosan engedtek is a tóból. Április elsején a vízszint 114 cm volt, november elsejére 91 cm-re csökkent. Közben a legmagasabb vízálás június 18 és 20-a között fordult elő, 124 cm-es értékkel.

Mennyiségileg május, június és augusztus hónapokban több csapadék esett, a nyugati medencében többfelé a sokéves átlag (1961–1990) másfél, néhol közel kétszerese: 100–140 mm. A keleti medence térségében a 100 mm-t is meghaladó csapadékösszeg egyedül a júniusra volt jellemző, ami megfelelt a sokéves átlag 135–150%-ának. A második

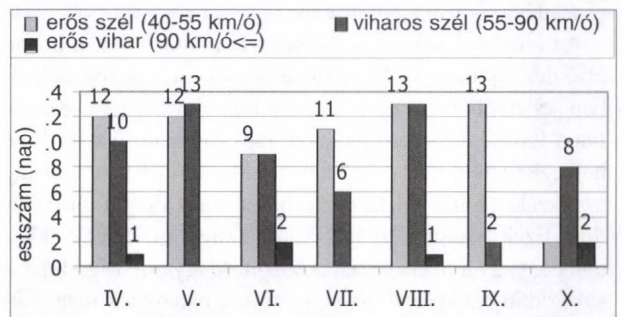


1. ábra: A csapadékos napok (0,1 mm-től) havi megoszlása a Balatonnál 2006-ban

legcsapadékosabb hónap a keleti medence térségében idén az augusztus lett. Ekkor is általában a sokéves átlagot mintegy 10–30%-kal meghaladó mennyiségeket mértek. A májusi csapadékösszeg itt az átlagos közelében alakult. Az 1. ábrán a csapadékos napok havonkénti megoszlása látható a Balatonnál.

A Balaton térségében a nyár június 15-től augusztus 20-ig „forróbb” volt, mint 2005 hasonló időszakában. 2005-ben, a vizsgált időszakban, a kánikulai napok (amikor a hőmérséklet napi maximuma ≥ 30 °C) száma 12, míg 2006-ban 28 volt. A balatoni nyár legforróbb két napja június 26. és július 22. volt, amikor a léghőmérséklet maximuma 34 Celsius fok körül alakult. A Balaton legmagasabb, és egyben rekord vízhőmérsékletét július 28-án mérték Siófoknál, 31 Celsius fokot.

Az áprilistól októberig terjedő időszakban 90 km/ó-t elérő, vagy meghaladó szélesebességet hat napon (április 11., június 27. és 29., augusztus 20., október 29. és 30.), hét (2005-ben tíz) alkalommal regisztrált a Balaton partján üzemelő 10 automata meteorológiai mérőműszer valamelyike. Összességében az április, május, és augusztus hónapok kedveztek legjobban a vitorlásoknak és szörfösöknek. Ekkor havonta 23 és 26 között volt az olyan napok száma, amikor legalább egy időszakban a Balaton valamely területén a széllelőkeések erőssége elérte, vagy meghaladta a 40 km/óra sebességet, míg ugyanezekben a hónapokban 11, 13 napon átmenetileg viharossá, 55 km/óra fölé is erősödött a szél (2. ábra).



2. ábra: A napi maximális széllelőkeések alakulása a 2006. évi viharjelzési szezonban a Balatonnál

Részletes krónika

Az év első három hónapjának időjárása az átlagosnál hűvösebben alakult. Március első hetében még a partközélen jégtáblákat lehetett látni, így kíváncsian vártuk a viharjelzési szezon kezdetét. A levegő hőmérséklete március 20-tól délutánonként már 10 fok fölé emelkedett, és a hónap végén, április elején a 18–20 fokot is elérte. A Balaton vize április elsején 10 fokos volt.

Áprilisban a levegő hőmérséklete 1–1,5 fokkal me-

gebb lett a sokéves átlagnál, és már a szezon kezdetével megjelentek a zivatarfelhők is a Dunántúlon. Jelentősebb hőmérséklet visszaesések a hónap első hetében és 10-e után következtek be. A legalacsonyabb napi maximum hőmérsékletet 6-án Siófokon, és 11-én Keszthelyen mérték: 8,4 illetve 8,8 fokot. A hónap legmelegebb napjai 23. és 26. között voltak. Ekkor a csúcshőmérséklet már elérte a 24, 25 fokot. Április az év egyik legszelesebb hónapja, és ez most is így alakult. Különösen a hónap első két dekádja volt szelles a gyakori frontátvonulások következtében, melyet az Észak-Európa feletti erős ciklonaktivitásnak köszönhetünk. A legszelesebb napok 10-e után köszöntöttek be. 10-én Európát egy a Balti államoktól Spanyolországig húzódó frontrendszer szelte ketté, mely mentén több mint 10 fokos hőmérséklet különbség jött létre. Magyarországon az erős délnyugati szelet másnap a front átvonulásával erős, majd viharos északnyugati szél váltotta fel. A frontrendszeren a mediterrán térségbe érve egy ciklon mélyült ki, melynek erősödésével a Balatonnál a szélmaximumok 11-én és 12-én elérték a 80–90 km/h-t. A hónapban három alkalommal is volt mediterrán ciklon a térségünkben, s ezen időpontok közül 28-án, a ciklon keletkezésének időszakában hullott a legtöbb 24 órás csapadék, a nyugati medencében néhol 30–35 mm. Összességében is a nyugati medencében hullott több csapadék, a sokéves átlag 100–160%-a, még a keletben a havi csapadékösszeg csak 80–100% között volt.

Májusban a havi középhőmérséklet megfelelt a sokévi átlagnak. Az átlagos napi maximális hőmérséklet 21 fok körül alakult. A hónap legmelegebb napja 22-e volt, amikor 27–28 fokig emelkedett a hőmérséklet. A leghidegebbek a hónap első és utolsó napjai lettek: 13–14, illetve 11–13 fokos legalacsonyabb napi maximum hőmérséklettel. Elsején még a mediterrán térségben létezett a ciklon, melynek felhőzete és csapadéka okozta a hűvös időt.

Az időjárási helyzet alapvetően különböző volt a hónap első dekádjában és a későbbi időszakokban. Az első dekádban jellemzően Európa mintegy kétpólusúvá vált. Kelet-, majd Északkelet-Európa felett nagy kiterjedésű anticiklon helyezkedett el, míg nyugaton Izland, Nagy-Britannia, vagy az Északi-tenger feletti centrummal mély ciklon tartózkodott. Ezek hatására Nyugat-Európa vagy a ciklonok előoldalába, vagy a frontzónába tartozott. Magyarország időjárását ezidőtájt a keletről jövő áramlások határozták meg. Különböző mértékben az anticiklon hatása alá tartozott, majd később az anticiklon északra helyeződésével a Fekete-tenger térségében kialakuló sekély ciklon volt hatással az időjárásra. Ez a dekád volt a kevésbé szelles. Az előforduló erős vagy viharos szelek a kategória alsó határára estek. A változás az időjárásban 10-e körül történt. Ekkorra az anticiklon Észak-Európából Grönland felé mozdult el. A ciklonok pályája megváltozott. Közép-Európát is egyre gyakrabban – különösen a harmadik dekádban – elérték a nyugat, északnyugat felől érkező frontok. Az áramlás iránya túlnyomórészt északnyugati, vagy délnyugati. A legnagyobb, mintegy 10 fokos lehűlést okozó frontátvonulás térségünkben

23-án az esti, éjszakai órákban történt, hevesebb vihar nélkül. Nagyrészt a középtroposzférában meglévő erős délnyugati irányú JET-nek és a viszonylag stabil légrétegződésnek köszönhetően. Az időszak utolsó dekádjára általánosan is jellemző volt az Európa fölött húzódó, hol délnyugati, hol északnyugati irányú horizontálisan is széles JET-zóna. Gyakran ennek kiterjedése 700, 600 hPa-tól 150 hPa magasságig ért! (június 27-én Bécsnél már 900 hPa-on is 25 m/s-os szél fújt.) A következő erős lehűlést okozó hidegfront 28-án érkezett, ekkor a fölöttünk levő JET-zóna már északnyugati irányultságú. A Balatontól délre heves zivatar és jégeső volt Magyaratád, Mernye, Igal térségében. A lezuholt csapadék mennyisége itt elérte az 50 mm-t. Másnapra a frontzóna lelassult térségünkben és hullámot vetett, majd Olaszország fölötti centrummal mediterrán ciklon jött létre. 29-én a tartósan felhős csapadékos időben a nyugati medencében ekkor hullott a legtöbb csapadék, Fonyódnál 49 mm-t mértek. A JET zóna később Kelet-Európába helyeződött át, majd elhagyta Európát és jóval gyengébbek lettek a jellemző magassági szélviszonyok.

Június hónapban az átlaghőmérséklet a sokéves átlag (1961–1990) közelében alakult. A hónap első hetében hűvös, hideg napok voltak 15–18 fok körüli csúcshőmérséklettel (kivétel 2-a, amikor mindössze 11,12 fok volt), 11-e után pedig 2 nap kivételével a maximum elérte vagy meghaladta a 25 fokot, sőt 8 hőségnap is volt a hónapban.

A május végén Európa nagy részét elárasztó hideg levegő hosszabb ideig megmaradt. A kontinens nagyobb részén így Magyarországon is állandósult az északias áramlás. Nagy-Britannia térségében 8.-áig anticiklon helyezkedett el, mely különböző mértékben nyúlt be Európába. DK-, K-, Észak-Európában pedig ciklonok vonultak. A másodikai hőmérsékleti mélypont idején hazánkban a délkelet-európai ciklon hatására volt felhős, csapadékos idő. Nyolcadika után az anticiklon keletebbre helyeződött, a kontinensen is lelassultak az áramlások, megszűnt az uralkodó északias áramlás és előbb Nyugat-, majd Közép-Európában is elkezdődött a melegedés. A hónap közepétől térségünkben gyengült az anticiklon, és az izobárikus mocsár időjárási helyzetben a helyi hatások domináltak. 18-ától a kontinensen a Kelet-Európai síkságtól Franciaországig, Spanyolországig egy frontrendszer hullámozott, mely egy hétig fennmaradt és csak lassan mozgott kelet, délkelet felé. (Európa fölött a magasabb légrétegekben sem volt jellemző a hónapra a viharos szél.) A frontrendszer előterében hazánkban megnőtt a zivatarhajlam. A frontrendszernek általában a meleg oldalához tartoztunk, de egy-egy gyenge hideghullám időnként elért bennünket. A szélerősedések a hónap második felében már főként a zivatarokhoz kötődtek. Az egész hónapot jellemelve az átlagos szélesség mintegy 10%-kal maradt alatta a sokévi átlagnak. A hónap legmelegebb napja 26-a volt, amikor a Benelux államok fölötti centrumú ciklon előoldalához tartoztunk. Ekkor a hőmérsékleti csúcserkékek a Balatonnál 34 fok körül alakultak. A hónap végén már a Nyugat-Európából jövő hidegfront előterében 3 heves ziva-

tarvon is áthaladt a Balaton felett. Az első 27-én az esti órákban, ekkor a szélmaximum elérte a 80–90 km/ó sebességet. A két legerősebb szélvihar június 29-én a déli és a kora esti órákban tombolt a térségben. Siófokon, és Balatonaligán, 112–118 km/ó sebességet regisztrált az automata. Erről a napról részletes elemzést Horváth Ákos irt a *Léggör* 2006. 3. számában. A 29.-ei zivatarrendszerek átvonulásakor országosan is a legtöbb csapadék a Közép-Dunántúlon hullott. Balaton-szerte 35–50 mm, de a Bakonyban már általában 50–60, Szentkirályszabadján 72.6, Bakonyszentlászlón 100 mm-t mértek.

Napsütésben leggazdagabb hónap a **július** volt, amikor a napos órák száma több mint 30%-kal felülmúlta a sokévi (1971–2000) átlagot! A havi átlaghőmérséklet (Siófok, Fonyód) 4 fokkal melegebb lett, mint júniusban és Fonyódnál elérte a 24 fokot. Siófokon pedig a 24,3 fokos havi átlaghőmérséklet 1950 óta a rendelkezésre álló mérések alapján 1994 után a második legmelegebb július lett. Ugyanakkor a napi maximumhőmérsékletben kiemelkedő értékeket nem mértek. Júliusban a meleg idő szárazsággal is párosult. A havi csapadékösszeg legtöbb helyen, különösen a nyugati medencében a sokéves átlag felét sem, de volt ahol a 20%-át sem érte el.

A július volt a nyári és a tavaszi hónapok közül a legkevésbé szeles. Hosszabb ideig (1–3 napig) tartó szeles időszak a hónap első napjaiban (a jún. 30-án érkezett hidegfront után), majd legközelebb a hónap közepén (14.) érkező hidegfrontot követő néhány nap, és a hónap végén (29.), a második hidegfrontot követően fordult elő. A hónap többi napjain mérsékelt, vagy legfeljebb élénk volt a légmozgás, és csak zivatarfelhők környezetében erősödött időnként meg a szél. A Balaton térségében 17 napon fordult elő egy, vagy több helyen zivatar. A csapadék mennyisége azonban a viszonylag száraz levegő miatt általában legfeljebb néhány tized mm volt. Az európai kontinens időjárása a mienkéhez hasonlóan alakult. Időjárási frontok néhány nap kivételével a kontinens peremterületeit érintették, illetve a hónap második felében a Kelet-Európai síkság területén is vonultak. A kontinens belsejében anticiklon uralkodott, vagy relatíve magas nyomású, mérsékelt áramlási viszonyokkal jellemezhető terület volt. Ide Nyugat-Európából a frontok már csak legyengülve, konvergencia vonalként érkeztek. A magasabb légrétegekben a kontinens fölött általában melegebb hűvösödött. Az időjárásban a váltás a hónap végén kezdődött. A magas nyomás ekkor szinte az egyik napról a másikra leépült. A leépüléssel egyidejűleg, északnyugat felől a hideg levegő azonnal megindult a kontinens belsejébe.

Az idei **augusztus** az átlagosnál csapadékosabb, kissé hűvösebb, és jóval felhősebb volt. A legnagyobb havi csapadékösszeget Sármelléken mérték, itt összesen 146.8 mm, a legkevesebbet a Balaton ellenkező végénél, Füle állomáson, itt mindössze 63 mm hullott. A napsütéses órák száma Siófokon több mint 150 órával volt kevesebb, mint az előző napsütéses hónapban, és a 30 éves átlagnak csupán a 78%-át érte el.

Az időjárás változást a következő események segítették

elő: A hónap elejére a Grönland térségében már tartósan meglévő mély ciklon az Északi-tenger, majd a Balti államok fölé helyeződött, melynek hidegfrontja kiszorította a meleget Európa nagy részéről. A front a mediterrán térségbe érve egy ciklon keletkezéséhez vezetett. A mediterrán ciklon Közép-, majd lassan Kelet-Európa felé helyeződött, több napon keresztül, nagy területen felhős, csapadékos és szeles időt okozva. 12-ére újabb mediterrán légörvény alakult ki térségünkben, miközben a Balti térség feletti centrummal Észak-Európát nagyterjedésű ciklon borította. A második mediterrán ciklon Közép-Európától néhány nap után eltávolodott, így hazánk időjárásában 15-étől átmeneti javulás kezdődött. Ekkor a kezdeti eseménytelen időjárás, majd az erősödő déli szél elősegítette a melegekedést. 30,31 fokot elérő csúcshőmérséklet elseje kivételével csak ezen a héten fordult elő, egyébként jellemzően 25 fok alatt maradt a hőmérséklet. A meleg levegőt szállító ciklon centruma a Brit-szigetek térségében volt, és később innen érkezett az a hidegfront, mely a lehűlést hozta. A hidegfront mentén hazánkban heves zivatarok – néhol szupercellák – alakultak ki, melyben szerepet játszott a felettünk húzódo magassági JET zóna. Az augusztus 20-án érkező vihar a Balatonnál is megakadályozta az ünnepi tűzijáték megtartását, melyet sokan a tó vizéről, vitorlásokból szoktak követni. A legerősebb szellőkések este átmenetileg elérték a 90–100 km/ó sebességet is. A viharveszélyre a riasztások időben kimentek.

A hónap hátralevő napjai szintén változékonyak voltak. Több alkalommal alakultak ki zivatarok. 22-én Zalamegyében szintén létrejött 2 szupercella, mely a Keszthelyi medence közvetlen közelében haladt el, de ott nagy vihart nem okozott. A későbbiekben hidegfront, rövid ideig mediterrán ciklon, még ismét előfordultak.

Az augusztus a tavaszi, nyári hónapok közül általában a legkevésbé szeles hónap a Balatonnál. Az idén éppen az augusztus lett a legszelesebb a havi átlagos szélesebbségeket, és a szeles napok számát tekintve is. Az idén augusztusban majdnem minden nap volt a Balaton valamely területén erős, vagy viharos szél.

Szeptemberben és októberben kisebb-nagyobb megszakításokkal a szokatlanul hosszú nyári „Indián nyár” okozott örömet a Balaton szerelmeseinek. A kellemes időre jellemző, hogy Siófokon például a sokéves átlagnál 20–30%-kal többet sütött a nap, és a napsütéses órák száma 40-nel több volt szeptemberben, mint augusztusban. A havi átlaghőmérsékletek szeptemberben 1–2, októberben 2–2.5 fokkal lettek magasabbak a sokéves átlagnál (1961–1990). A két őszi hónapra összesített átlagos napi maximum hőmérséklet 21 fok lett a Balatonnál. Az őszi legmelegebb napja szeptember 4-e volt, ekkor Fonyódon 29,4 fokot mértek. A leghidegebb napok szeptemberben 18.-ra és 19.-ére estek, amikor egy mediterrán ciklon hatására volt felhős, csapadékos idő. Ekkor is csak kevéssel csökkent 20 fok alá a hőmérséklet. A lehullott napi csapadék mennyisége azonban csak 1–2 helyen haladta meg a 10 mm-t. Többfelé ezen a napokon, és a megelőző 2–3 napban hullott a havi csa-

padékmennyiség több mint 3/4-ed része. Egyébként Balaton-szerte a sokéves átlagnál jóval szárazabb volt a szeptember és október időjárása. Általában az elvárható csapadékösszegek kevesebb mint fele, de Siófoknál pl. 28 ill. 24%-a hullott csak le. Ugyanakkor szeptemberben Tihanyban, Mencshelyen és Hidegkúton a havi csapadékösszeg elérte, illetve meghaladta a 100%-ot. Az utóbbi két helyen 27-én egy-egy zivatarból 20–40 mm csapadék hullott.

Szeptember elejétől október végéig csak 12 olyan nap volt, amikor a szélesebbesség elérte a viharos fokozatot. Szeptemberben két (5. és 9.) hidegfront érkezett, amely egyúttal viharos szelet is okozott, az azonban nem volt tartós. A szélerősödések ezeken kívül főként a mediterrán ciklon-aktivitás idején, illetve anticiklon peremhelyzetben, keleti, északkeleti irányból fordultak elő.

Október legmelegebb napja 3-a volt, amikor a hőmérséklet a Balatonnál 26 fokig emelkedett. A leghidegebb pedig a hónap végén érkező erőteljes hidegfrontot követően 30-a lett, ekkor a maximális hőmérséklet csak 8, 9 fokot ért el. 31-én pedig megjelent az első nagyobb fagy (-2°C) a tóparton is, ami már nem csak a talaj-közélen volt mérhető.

Októberben mindössze 12 szeles nap volt, de ebből 2 nap kivételével mindegyikben elérte a szélmaximum a viharos fokozatot. Ami ritkaság ebben a hónapban, hogy 3 napon az előoldali déli, délnyugati szél fokozódott viharossá (Európa térségében ebben a hónapban jellemzően mély, és esetenként hatalmas méretű ciklonok alakultak ki). 4 esetben hidegfront átvonulásakor, illetve posztfrentális áramlási helyzetben maradt meg a viharos szél.

Az idei második legnagyobb vihar a szezon végére esett a Balatonnál. A szélmaximum 29-én 5 mérőállomáson is elérte, vagy meghaladta a 95 km/6-t. Balatonöszödnél pedig 105 km/6-t regisztrált az automata. Ezen szélmaximumok a frontbetöréskor álltak be. Ekkor az erős hidegadvékciónak mellett konvektív felhőzet is jelen volt 1–2 helyen zivatarral. Az ősz végén, tél elején az utóbbi években megjelentek az erős viharok. 2004-ben november 19-én volt 100 km/6-t elérő szélesebbesség a Balatonnál, 2003-ban pedig december 6-án. Mindegyik esetben fellelhető volt a troposzférában a magassintű JET. Az utóbbi 20 évben ezek voltak a legnagyobb viharok az adott hónapban, illetve a 2003-as decemberi a 3. legnagyobb.

Az **5 nyári + 1 tavaszi (IV.)** és **1 őszi (X.)** hónappal meghosszabbított viharjelzési szezonban a balatoni szélveszélyes órák száma, a területi megosztást is figyelembe véve, a

nyugati medencében volt a legtöbb. A Balatonra kiadott II. fokú viharjelzések érvényességi ideje a teljes (éjjel-nappali) időszaknak csak a 15 százalékára, a Velencei-tónál alig 10 százalékára terjedt ki. A Balatonra kiadott riasztások (átlagos) összbeválása 91 százalékos, a Velencei-tóra vonatkozóan 89 százalékos volt.

A vihar-előrejelzésről és viharjelzésről szóló tömegtájékoztatás

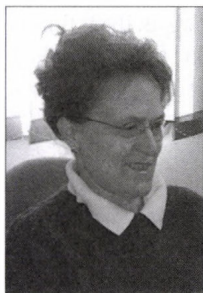
Az időjárási tájékoztatások, előrejelzések és viharjelzések az országos, ill. helyi hatáskörű rádió és televízió állomások, valamint Internet (www.met.hu) szolgáltatás közvetítésével kerültek a nyilvánosságra. A viharjelzések tó-parti megjelenítését (www.rsoe.hu) a Balaton körül 25, a Velencei-tónál 2 fix fényjelző lámpaegység végezte, éjszakánként negyven százalékkal csökkentett fényerővel. Az OMSZ vihar-előrejelző szolgálata a Balatoni Vizirendészeti Rendőrkapitányságnak, az OKF Fődiszpécserének és a Rádiós Segélyhívó Infokommunikációs Országos Egyesület (RSOE), valamint a Vízi-mentők Balatoni Szakszolgálata által működtetett Zánka központú vízi-mentő bázisnak rendszeres meteorológiai tájékoztatást adott a vízi balesetek megelőzése érdekében. Élővonalas telefonszolgáltatás állt az üdülők és a vízi sportokat kedvelők közvetlen (analóg és mobil telefonos) tájékoztatására nappal a (91)-300-425, éjjel a (91)-300-424 emeldíjas telefonszámokon. Az OMSZ egyedi megrendelés esetén idén is vállalta a Balatoni Hajózási Részvénytársaság siófoki vitorlás és közforgalmi kikötőinek, a tavakon folyó vitorlás- és szörfversenyeknek, a Balatont és a Velencei-tavat átúszó rendezvényeknek, valamint idegenforgalmi és kereskedelmi vállalkozásoknak, tó térségi szabadidős programokat szervező irodáknak, és magánszemélyeknek a meteorológiai kiszolgálását. Június elejétől október végéig a jelentősebb balatoni sportrendezvények (2 vitorlás Európa-bajnokság, 2 vitorlás Világbajnokság, 3 országos bajnokság és számos területi vitorlás verseny, tó- és öböl-átúszó programok stb.), szabadtéri rendezvények meteorológiai kiszolgálása a Balaton Fejlesztési Tanács (BFT) támogatásával történt.

A viharjelzésen kívüli (november 1-től március 31-ig) időszakban az OMSZ budapesti központjából élővonalas időjárási tájékoztatás mobil telefonról a (91)-300-424, vezeték nélküli telefonról pedig a (90)-603-421 emeldíjas telefonszámon áll az érdeklődők rendelkezésére!

Dr. Bartha Imre, H. Zsikla Ágota

A Balatonra kiadott jelzések száma (db) a Nyugati (NY) és a Keleti (K) medencében																
Riasztási fok	IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		VIHARJELZÉSI SZEZON	
	NY	K	NY	K	NY	K	NY	K	NY	K	NY	K	NY	K	NY	K
I. fok	21	20	23	23	18	18	20	15	24	23	16	11	11	12	101+32	90+32
II. fok	7	8	13	13	14	16	16	17	19	18	6	8	9	9	68+16	72+17
A jelzések fenntartási ideje (óra) a Nyugati (NY) és a Keleti (K) medencében																
I. fok	224	199	255	245	178	169	147	137	224	226	197	167	155	154	1001+379	944+353
II. fok	126	112	119	117	117	95	100	98	167	171	30	38	118	112	533+244	519+224

A 2006. évi szezonban kiadott balatoni viharjelzések statisztikája



Bártfai Erzsébet

1951 – 2006

Kezembe vettem a szakmai fényképgyűjteményem. Mindjárt az elején, három

meteorológusjelölt néz vissza egy fekete-fehér képről a Trefort kertben valamikor 75 tavaszán. Két, többé-kevésbé, komoly hallgató között Bártfai kollégina néz a lencsébe, kissé félrehajtott fejjel, azzal a kedves szeretetteljes, kicsit melankolikus mosollyal, amivel mindig rátekintett a vele beszélgetőre. Szelíd mosollyal, mint aki tudja, hogy csöndes és szelíd kőszikla mindannyiunk számára, az a kőszikla, amelyre a bölcs a házat építi. Nem erőszakos, nem türelmetlen, de szilárd és megbízható. Türelme, figyelme, szeretete nem földi mértékű. Neve, nem véletlenül, Erzsébet. „Így szól az Úr a te formáld: Neveden szólítottalak, az enyém vagy!” (Iz 43, 1). Erzsébet, a mi szentünk, Árpádházi szent Erzsébet a szeretet hőse. Bártfai Erzsébet mindvégig az ő példáját követte. Önzetlen és segítőkész. Erejét meghaladó módon vállalt fel feladatokat. Beteg édesanyját is hosszan és hűségesen ápolja. Ha bármire megkérlik, nem mond nemet. Ha úgy hozza a sors, bármikor beáll szolgálatba. Nem huszonnégy, hanem 48, 72 órát tölt a munkahelyén. Rá mindig lehet számítani. A kollégák tudják ezt, számítanak rá. Mi az, ami tartja az erőt gyenge szervezetében? A szeretet. „Ha

szeretjük egymást, Isten bennünk lakik, és szeretete tökéletes bennünk.” (1 Ján 4,12) Csodás ajándék és képesség ez, többet adni, mint kapni. Nem mindenkinek adatik meg, ahogy az Úr mondja: „Örök szeretettel szeretlek téged, azért vonzotalak kegyelemmel.” (Jer 31, 3)

Bártfai Erzsébet 1975-ben az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerzett matematika tanári és meteorológus diplomát. 1976 februárjától a Meteorológiai Szolgálat Központi Előrejelző Intézete Rövidtávú Előrejelzési Osztályán dolgozott. Érdeklődési köre a szinoptikus, időjárás előrejelzői munkán kívül az orvometeorológiára is kiterjedt. Az Intézetben, az 1980-ban megalakult Orvometeorológiai csoport vezetésére kapott megbízást. 1981-ben az akkori Német Szövetségi Köztársaságban alkalma volt hosszabb tanulmányúton megismerni a német orvometeorológiai gyakorlatot. Kitűnő német nyelvtudása segített abban, hogy az osztrák meteorológiai intézettel orvometeorológiai területen a nyolcvanas években jó kapcsolat alakuljon ki, amelynek keretében a magyar szolgálat speciális orvometeorológiai előrejelzéseket kapott az osztrákoktól. A szakmai együttműködés szervezése és fenntartása mellett a kollegiális, baráti kapcsolatok kiépítésére is telt erejéből, akkor jöttek létre a két intézet között barátságos, hol Budapesten, hol Bécs-

ben megtartott focimeccsek, ami a vasfüggöny lebontása előtt nem kis dolog volt, s ebben ő jelentős szerepet játszott. Amíg egészsége engedte, rendszeresen szerepelt a televízióban és a rádióban.

Az orvometeorológia iránti érdeklődése már egyetemista korában megmutatkozott. Ebben a speciális szakmai érdeklődésen túl, közrejátszott már akkor sem tökéletes egészsége, talán volt egy olyan indíttatása is témaválasztásának, ha közelebb lesz az orvostudományhoz, közelebb lesz az egészséghez is. Sajnos ez nem következett be, s betegségei egyre közelebb hozták az elkerülhetetlenhez. Kénytelen feladni munkáját, s idő előtt nyugdíjba vonulni. Ez sem hoz javulást. Hamarosan bekövetkezik a vég, s neve napján tér vissza Teremtőjéhez.

„Jézusomnak szíven megnyugodni jó” - mondja az ősi ének – „elmerülni benne csendes tiszta tó. Földi bútól, bajtól Szíved enyhülést ad. Tenálad lelkünk megpihen, ki sírva sírt vigad.” Hisszük, hogy tested, lelked már enyhülést nyert. A mi szívünknek is vigasztalást kell nyerni, hiszen eltávozásod számunkra megrázó felfoghatatlan és hihetetlen. Te már bátran elmondhatod, amiben mi még csak reménykedünk: „A jó harcot megharcoltam, a pályát végigfutottam, a hitet megtartottam. Készen vár rám az igazság koszorúja.” (2 Tim 4, 7-8)

Kedves Bözsi! Isten Veled! Pihenj, aludj békében!

Dunkel Zoltán

KÖRÖSI GYÖRGY

1915 – 2006

2006. november 3-án, életének 91. évében elhunyt *Körösi György*, a Magyar kir. Honvéd Légierő egykori hajózó távirásza, és szakoktatója, a II. világháború után az OMI rádiósa, ionoszféra technikus a majd műszaki előadója, végül a Gazdasági (és Beruházási) osztály vezetője.

Körösi György már 14 éves korá-

ban elkötelezte magát a repülésnek, amikor a középiskola alsó osztályainak elvégzése után jelentkezett a REMOSZ nevű repülőműszaki szakiskolába, ahol a jeles érettségi bizonyítványa mellé 1936-ban megszerelte az I. osztályú nemzetközi rádiótávírársz- és hajózó távirászs képesítést is. A Légierő akkori szinte valamenny-

nyi típusán repült rádiósként, majd szakoktatóként, a földi szolgálatban pedig észlelt és összeállította az időjárás táviratokat: ekkor került először közvetlen kapcsolatba a meteorológiával. A II. világháború utolsó évében Németországba vezényelték kiképzésre (a Luftwaffe kétmotoros rombolójára, a Messerschmitt 210-esre); 1944 őszén onnét szökött haza, hogy menekülő családját biztonságba helyezze. (Életét akkor szó szerint egy isteni csoda mentette meg a

katonaszökevények végzetes sorától...).

A háború és hadifogság után 1946-ban lépte át először a Meteorológiai Intézet kapuját: rádiótávírásként dolgozott a *Zách Alfréd*, majd *Tóth Géza* vezette Prognózis osztályon. Azon kivételes távíráskok közé tartozott, akik a nagysebességű meteorológiai rádióvétel közben képesek voltak sakkozni, vagy éppen olvasni. 1953-ban került az akkor induló ionoszféra-kutatáshoz: *Flórián Endre* irányításával tevélegesen segédkezett a hazai ionoszféra mérések megindításánál. 1955-ben *Dési Frigyes* igazgató a Titkárságra helyezte és megbízta az OMI műszaki ügyeinek intézésével. A műszaki és egyéb beruházások száma egyre nőtt és *Kőrösi György* 1960-ban kinevezést kapott a Gazdasági (később Beruházási) osztály vezetésére; 1975-ben e beosztásból ment nyugdíjba.

Aktív szolgálata idején – sőt még

nyugdíjas életének első évtizedében is – minden OMI/OMSZ beruházást ő irányított, lett légyen az nagy értékű műszer, hírközlési rendszer, obszervatórium-építés, vagy éppen a központi székház és a főállomások felújítása. Különös érzéke volt a beruházások anyagi feltételeinek megteremtéséhez, a felügyeleti szervekkel – előbb a Minisztertanács Titkárságával, majd 1968-tól az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal – ápolta jó kapcsolatai révén; ezek az „umbuldái” híresek voltak, nemcsak házon belül. Gazdasági irányító tevékenysége mellett ellátta a manapság PR menedzserként jelölt funkciót is, vagyis ápolta a közönségkapcsolatokat. Felejthetetlen, mai kollégáink számára alig hihetően magas színvonalú, családias kultúrműsorokat szervezett, neves operaházi művészek, vagy rádióriporterek közreműködésével. A meteorológiát népszerűsítő filmeket készíttetett (ő ír-

ta a forgatókönyvet, egyik ilyen film a Pardubice-i műszaki filmfesztiválon díjat is nyert); országos kiállításokra (Mezőgazdasági Vásár, BNV) ő rendezte be a meteorológiai pavilont. Azon vezetők közé tartozott, aki tudatosan, szakmai féltékenység nélkül nevelte ki utódját. Aktívan részt vett a szakszervezeti mozgalomban: két évtizeden át volt az OMI/OMSZ Szakszervezeti Bizottság választott tagja és tisztséget viselt a Közalkalmazottak Szakszervezetében is.

Életének utolsó éveit Hévízen töltötte, az őszikék elnevezésű nyugdíjas otthonban, teljes szellemi frissességben, de egyre gyengülő fizikummal és életkedvvel. Ott érte a halál is; hamvait Budapesten, a Kőbányai Szt. László templom urnatemplomjában helyezték örök nyugalomra. Emlékét kegyelettel megőrizzük!

Mezősi Miklós



Zorn József 1948 – 2006

December 8-án reggel kaptam a szomorú hírt, hogy munkatársunk, egyik legjobb, legkedvesebb Barátom, Zorn József hálózati ellenőr, vérbeli ÉSZLELŐ nincs sorainkban többé. Mindig nagy veszteség, amikor kollégáink/barátaink közül valaki távozik, de ez akkor a legszörnyűbb, amikor ez aktív korában, ereje teljében, munkája gyümölcsének learatása közben történik. Jóska 58 éves volt. 1971-ben velem egy időben jött a Szolgálathoz, azaz 35 éve vagyunk kollégák, és azt mondhatom, kezdettől fogva barátok voltunk. Aktív életútja során a meteorológia, az észlelői szakma iránti elkötelezettsége határtalan volt. Családjá mellett a munka, az ÉSZLELÉS, később hálózati ellenőrként az automaták karbantartása, a területéhez tartozó hivatásos és társadalmi

észlelőkkel való emberi kapcsolattartás éltette.

Zorn József 1948-ban született Garán. 1971-ben lett észlelő a Bajai Szinoptikus Főállomáson, majd az akkori állomásvezető nyugdíjazása után az állomás vezetését is rábízták. Sok új kollégát tanított be, képezett ki észlelőnek. Az elsők között jelentkezett észlelői szolgálatra a távoli Tengizben létesített meteorológiai állomásra. A megfigyelőhálózat átszervezése után a déli és a délkeleti országrész automatáinak havonkénti karbantartását végezte vidéki telephelyű hálózati ellenőrként, és tartotta a kapcsolatot a körzetébe eső csapadékmérő állomások társadalmi észlelőivel.

Dr. Csomor Mihály, a Hálózati Osztály egykori legendás vezetője, sokunk atyai barátja mondogatta nekünk: „Az észlelési munka végzéséhez sok önfegyelemre, kitartásra és lemondásra van szükség. Aki

azonban ezt a munkát megszereti, azt következetességre és rendszerességre neveli”. Jóska pontosan ilyen volt, őt is erre nevelte az észlelői munka.

Gáspár Pali, egykori budaörsi állomásvezető, az észlelői szakma nagy öregje így fogalmazta meg hitvallását: „Az észlelés valósággal hozzátartozik az életitmusomhoz. Ha felkelek, először az égre nézek és egész nap figyelem az időjárás változásait. A folyamatos észlelés olyan automatizmussá vált az életemben, mint a lélegzés, vagy a szívdobogás. Majd akkor hagyom abba, amikor ez utóbbi kettő is abbamarad”.

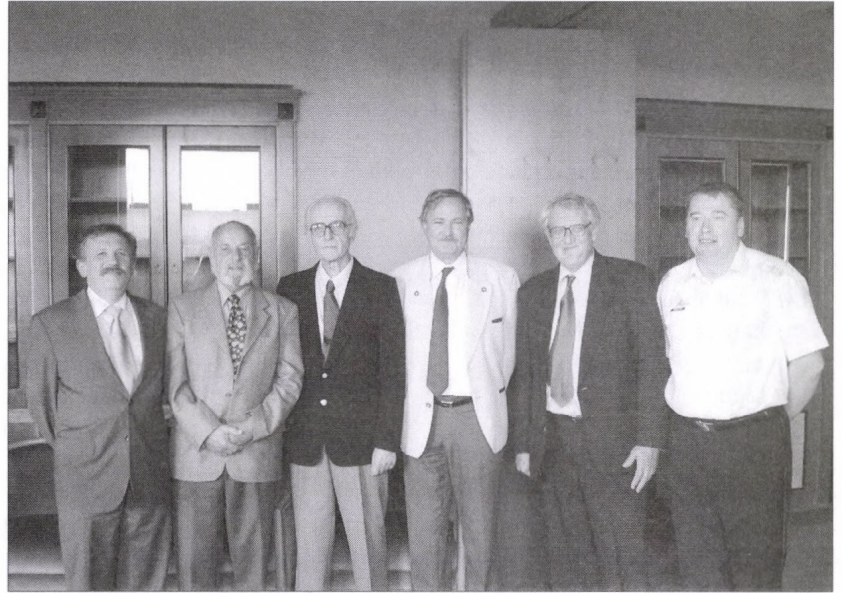
2006. december 7-én Zorn Jóska-nál megállt a szív és a lélegzés, megszakadt az észlelések folyama. Családjával, barátaival és munkatársainak népes csapatával december 14-én kísértük utolsó útjára Baján. Nyugodjon békében!

Tamáskovits Károly

Felméry László köszöntése 75. születésnapja alkalmából

Egykori tanítványok, többek között dr. Tasnádi Péter, a TTK tanulmányi dékán-helyettese és az utánpótlást jelentő ifjú meteorológusok népes csapata gyűlt össze 2006. október 13-án az ELTE TTK Kari Tanácstermében, ahol dr. Felméry Lászlót, a Meteorológiai Tanszék nyugalmazott egyetemi docensét köszöntötték, aki július 17-én töltötte be 75. életévét.

A rendezvény elején dr. Bartholy Judit egyetemi tanár, a Meteorológiai Tanszék vezetője köszöntötte az ünnepeltet, aki 1991-es nyugdíjazásáig közel 40 éven át volt egyetemi oktató, így tanára meteorológusok egymást követő generációinak és több mint kétezer biológia-földrajz szakos egyetemistának. A fényképekkel illusztrált köszöntőben mind az oktatói, mind a kutatói pályafutásnak megismerhettük legfontosabb állomásait, de bepillantást kaphattunk a családi háttérbe is. Ezek után az egykori tanítványok tartottak előadást három olyan területen (mikrometeorológiai mérések, humán-biometeorológia és statisztikus klimatológia), ahol Felméry tanár úr is tevékenykedett aktív pályafutása során. Az előadások a következők voltak: Weidinger Tamás: *Mikrometeorológiai mérések Erdőháttól Kelemenszékig*; Fejes Edina, Fülöp Andrea és Gácser Vera: *Orvosmeteorológiai tevékenység az Országos Meteorológiai Szolgálatnál – múlt, jelen, jövő*; Konkolyiné Bihari Zita, Lakatos Mónika, Szentimrey Tamás és Szalai Sándor: *Magyarország néhány éghajlati jellemzőjének bemutatása új matematikai statisztikai eszközök alkalmazásával*. Az előadások után dr. Dunkel Zoltán, az OMSZ elnöke, Horváth Csaba ezredes, a Magyar Honvédség Meteorológiai Szolgálatának szolgálatfőnöke, dr. Koppány György, a Szegedi Tudományegyetem Éghajlat-tani Tanszékének nyugalmazott tanszék-vezető egyetemi tanára, és a geográfusok nevében dr. Gábris Gyula, az ELTE Természetföldrajzi Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára mondott



Dunkel Zoltán, Vissy Károly, Felméry László, Gábris Gyula, Tasnádi Péter és Horváth Csaba

köszöntőt. Felméry tanár úr zárszavában megköszönte az üdvözlő szavakat, kiemelte, mennyire fontos számára, hogy az egykori tanítványok eredményesen dolgoznak, és meghaladták tanárukat, majd felidézte két egykori munkatársra, barátja, Rákóczi Ferenc professzor és Makainé Császár Margit tanárnő emléket. Az előadói ülést követő baráti beszélgetés során a jelenlévők nagy érdeklődéssel hallgatták Felméry László és Vissy Károly visszaemlékezését az 50 évvel korábbi októberre, amikor 23-án együtt gyülekeztek az egyetemisták, köztük Vissy Károly is, és a tanárok, köztük Felméry László is, hogy részt vegyene a békés tüntetésben.

Szerkesztőségünk nevében további jó egészséget és sok sikert kívánunk Felméry tanár úrnak!

Gyuró György

KITÜNTETÉSEK

A Katonai Meteorológia Napja alkalmából 2006. augusztus 12-én dr. Szekeres Imre a Magyar Köztársaság Honvédelmi minisztere

I. osztályú „Honvédelemért”
kitüntető címet adományozott

**dr. Dunkel Zoltánnak,
Buránszkyne Sallai Mártának és
dr. Bonta Imrének.**

Ugyanekkor Sági János vezérőrnagy az

Országos Meteorológiai Szolgálat részére

„az MH Légierő Parancsnokság és alárendelt katonai szervezetei érdekében végzett áldozatos, segítőkész munkája elismeréséül”

Emlékplakettet
adományozott.

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

Rovatvezető: Maller Aranka

Rendezvényeink 2006. november 1–december 31 között

Előadó ülések, rendezvények:

November 30.

Cserti József (ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék)

A szivárvány fizikája: a geometriai optikától az atomfizikai egyenletekig.

December 7.

MMT 2006. évi évváró ülése

- > **Radics Kornélia:** Dr. Hille Alfréd életútja, munkássága (cikk a 23. oldalon)
- > Tagtársak köszöntése
- > Kötetlen beszélgetés, büfé

Kedves Tagtársunk!

Felhívjuk szíves figyelmét arra a törvénybe iktatott jogára (1996. évi CXXVI. törvény), hogy jövedelemadójának 1%-át az Ön által megjelölt közcélú intézmény javára átutaltassa az Adóhivatallal.

Értesítjük, hogy a Magyar Meteorológiai Társaság is jogosult az ilyen adóátutalások fogadására. Arra bátorítjuk, hogy **adójával a Magyar Meteorológiai Társaságot támogassa.**

2006-ban Társaságunkhoz 374.196.- forint támogatás érkezett Önöktől. Támogatásukat nagyon köszönjük, és reméljük, hogy idén is az MMT-nek ajánlja fel jövedelemadója 1 %-át.

A tagdíjak ma már a Társaság működési kiadásainak csak a töredékét fedezik, a működési kiadásokra megszerzhető állami és alapítványi támogatások nagysága pedig évről évre csökken. Minden kiegészítő támogatást tudományos közéletünk gazdagítására tudunk fordítani.

A jövedelemadó 1%-áról való rendelkezés módja: az adóbevallási egységcsomag tartalmazza azt az űrlapot amelyen a rendelkezést meg lehet tenni a kedvezményezett adószámának és nevének feltüntetésével.

Emlékeztetőül az MMT adatai:

Magyar Meteorológiai Társaság
1027 Budapest, Fő u 68.
Adószám: 19815826-2-41

A rendelkezést külön borítékba kell zárni, a boríték tetejére rá kell írni az Ön adatait. (Az APEH a kedvezményezett nem közli, kitől származik az átutalás.)

Aranyoklevelek átadása az ELTE-n

A harmadik meteorológus évfolyam tagjai, azaz az 1956-ban végzetek vehették át jubileumi oklevelüket 2006. október 25-én az Eötvös Loránd Tudományegyetem Dísztermében az Egyetem téren. Az aranyoklevelet az ELTE újonnan megválasztott rektora, **Dr. Hudecz Ferenc** vegyészprofesszor adta át az Egyetemi Tanács nyilvános ülésén, ahol jelen voltak az egyetemi karok vezetői, közöttük **Dr. Michaletzky György** matematikaprofesszor, a TTK dékánja.

Szerkesztőségünk nevében jó egészséget és további sok sikert kívánunk az újabb aranyoklevelés meteorológusoknak.

Gyuró György



2006 ŐSZÉNEK IDŐJÁRÁSA

2006 ősze hőmérséklet tekintetében és csapadék szempontjából is dobogós helyen végzett: az évszázad 3 legmelegebb, valamint a 3 legszárazabb őszei közé sorolható. Néhány tized fokkal melegebb illetve valamivel szárazabb őszi téhát előfordultak az elmúlt 105 év során, a 2006-os őszi azonban egy szempontból mégis verhetetlen: egyszerre ilyen száraz egyben meleg őszt nem regisztráltak még Magyarországon a mérések kezdete óta.

Szeptember időjárása kellemesen alakult, a hónap középhőmérséklete országos átlagban 1,4 fokkal volt magasabb az ilyenkor szokásosnál, 17,0°C-nak adódott. Az anomália az északi országrészben volt nagyobb (az aktuális havi átlag helyenként 2,5°C-kal is meghaladta a sokévi átlagértéket), a déli országrészben kisebb (0,7-1,2°C-os értékekkel): Szeptemberben mindössze 5 nap középhőmérséklete maradt el a normáltól, a hónap nagy részében a szokásosnál melegebb időben volt részünk.

Szeptemberben viszonylag sok volt a nyári nap, legtöbbet (15–20) az ország délkeleti vidékein, legkevesebbet (0–4) a hegyvidéki területeken regisztráltak. Hőségnapot, csak a déli és délnyugati régióban mértek, a hónap során mindössze 1 alkalommal.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 30.9 °C Nagykanizsa (Zala megye) szeptember 4.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: 1.1 °C Zabar (Nógrád megye) szeptember 9.

Szeptember csapadékszegény volt 2006-ban, az ilyenkor szokásos csapadékmennyiségnek országos átlagban csupán a 37%-a hullott le a hónap folyamán. A havi csapadékhozam az ország egy-két pontján ugyan meghaladta az átlagot, jellemzően azonban mindössze 20-60%-a volt a szeptemberben szokásos csapadékmennyiségnek. Országsszerte 1-6 napon fordult elő csapadékhiány, 20 mm-t meghaladó napi csapadékot pedig csak az ország nyugati felében regisztráltak, egy napon.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 104 mm Rába-újfalu (Győr-Moson-Sopron megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 2 mm Sátoralja-újhely (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 78 mm Rába-újfalu (Győr-Moson-Sopron megye) szeptember 19.

Októberben folytatódott az enyhe idő, a hónap országos átlagban 1,7 fokkal melegebb volt, mint a sokévi átlag. A havi középhőmérsékletek országos belüli eloszlása ezzel együtt nem volt egyenletes: a pozitív anomália a nyugati országrészben helyenként a 3 fokot is meghaladta, míg a keleti régió egyes vidékein a másfél fokot sem érte el. Országos átlagban csak mintegy 8 nap hőmérséklete maradt átlag alatt október folyamán, ezzel szemben a hónap első hetében valamint utolsó dekádjában nem voltak ritkák az átlagot 6-10 fokkal meghaladó napi középhőmérsékletek sem.

Októberben, a nyugati országrészben jellemzően 1-2 nap, a keleti vidékeken pedig 5-6 nap volt fagyos.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 28.9 °C Pítvaros (megye) október 4.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: -9.0 °C Tiszaujváros (megye) október 31.

Október szárazabb volt a megszokottnál, csapadékhozama alig több mint fele volt az ilyenkor szokásosnak. A havi csapadékösszeg országos belüli eloszlása határozott észak-északnyugat, dél-délkelet irányú eloszlást mutatott. Az ország északi-északnyugati vidékein a csapadékhozam a normál 30-50 százalék körül mozgott, a déli-délkeleti országrészben ellenben 80-90 %-a volt a sokévi átlagnak, sőt egyes területeken meg is haladta azt.

Országsszerte mindössze 3-6 nap volt csapadékos, 10 mm-t meghaladó csapadékú nap pedig az ország középső és északi vidékein egyáltalán nem, és máshol is csupán egy napon fordult elő.

Október viharos időjárással búcsúzott, a 60-100 km/órás széllelőkeések fákat csavartak ki, egy ember életét veszítette.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 56 mm Jánkmajtis (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 5 mm Tarnaméra (Heves megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 45 mm Ócsárd (Baranya megye) október 4.

November az őszi második két hónapjához hasonlóan melegebb volt az ilyenkor szokásosnál, országos átlagban mindössze 2,4 fokkal. Országos belüli ezzel együtt voltak eltérések: míg a déli és keleti országrészekben helyenként csak 1,5-2 fokos volt az anomália, addig az ország nyugati csücskében az átlagtól való eltérés esetenként meghaladta a 3 fokot is.

Fagyos nap a nyugati és keleti határszéleken volt több, 8-11 nap, az ország középső vidékein csupán 3-6 nap volt fagyos. Téli nap csak a hegyvidéki területeken fordult elő, 1-2 alkalommal.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 20.8 °C Sármellék (Zala megye) november 17.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: -12.2 °C Zabar (Nógrád megye) november 4.

November, a 2006-os őszi korábbi hónapjaihoz hasonlóan szárazabb volt az ilyenkor szokásosnál: országos átlagban a novemberi csapadékhozam csak mintegy 40%-a volt a sokévi átlagnak. Legszárazabbnak az ország középső és északi területei bizonyultak, ahol az átlagos csapadékösszegnek csupán 20-30%-a érkezett meg, míg a délkeleti régióban helyenként a normál 70%-nak megfelelő csapadék is lehullott. A november jellemző csapadéka az eső volt, de országsszerte 1-2 napon havazást is regisztráltak.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 57 mm Kőszeg (Vas megye)

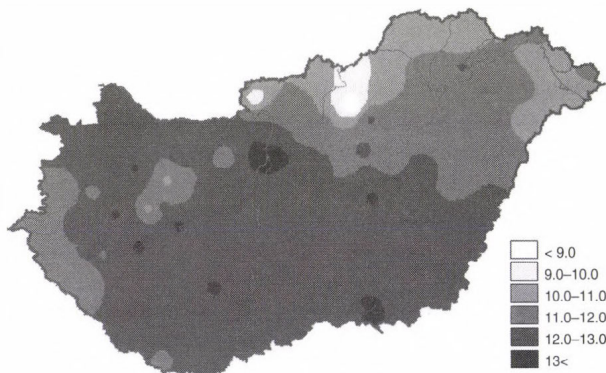
A hónap legkisebb csapadékösszege: 2 mm Dédestapolcsány (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 36 mm Kőszeg (Vas megye) november 22.

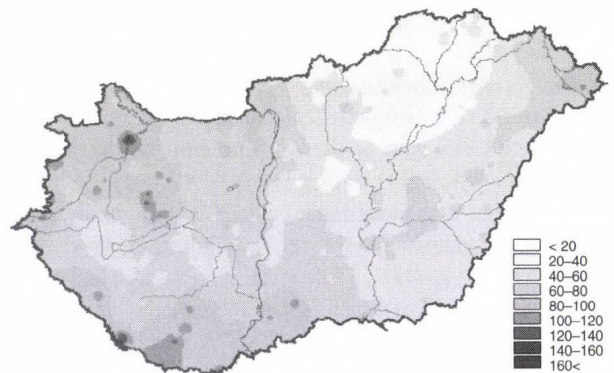
Schlanger Vera

2006. ősz

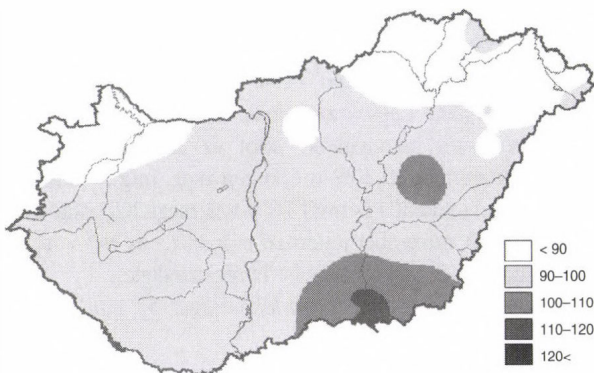
állomások	napsütés (óra)		hőmérséklet (°C)						csapadék (mm)			szél
	évsz.össz.	eltérés	évsz.közép	eltérés	absz.max.	napja	absz.min	napja	évsz. össz	átlag%-ában	1mm<napok sz.	viharos napok
Szombathely	486	93	11,6	2,0	30,6	2006.09.04	-4,8	2006.11.03	76	50	13	9
Nagykanizsa	479	85	11,4	1,6	30,9	2006.09.04	-7,8	2006.11.03	98	53	13	4
Győr	508	99	12,7	2,3	29,4	2006.09.04	-4,8	2006.11.03	86	68	14	8
Siófok	543	106	13,2	2,2	28,4	2006.09.07	-2,0	2006.10.31	39	28	12	15
Pécs	565	112	13,0	2,0	28,5	2006.09.04	-3,9	2006.11.04	82	58	10	6
Budapest	555	134	13,2	2,5	28,9	2006.09.04	-3,4	2006.11.03	55	44	13	11
Miskolc	504	128	11,9	2,4	26,8	2006.09.04	-4,8	2006.11.03	26	22	7	7
Kékestető	455	-3	8,1	1,9	19,7	2006.09.07	-8,8	2006.11.03	69	35	14	18
Szolnok	504	66	13,2	2,6	28,9	2006.09.04	-4,0	2006.11.03	69	63	13	-
Szeged	591	131	12,6	1,8	29,8	2006.09.04	-6,1	2006.11.03	62	62	14	9
Nyíregyháza	-	-	11,6	1,4	27,4	2006.09.04	-5,0	2006.11.03	42	37	8	8
Debrecen	560	129	12,0	1,8	28,3	2006.09.04	-7,5	2006.11.04	66	58	12	5
Békéscsaba	575	116	12,2	1,3	29,6	2006.09.04	-6,0	2006.11.03	42	37	11	3



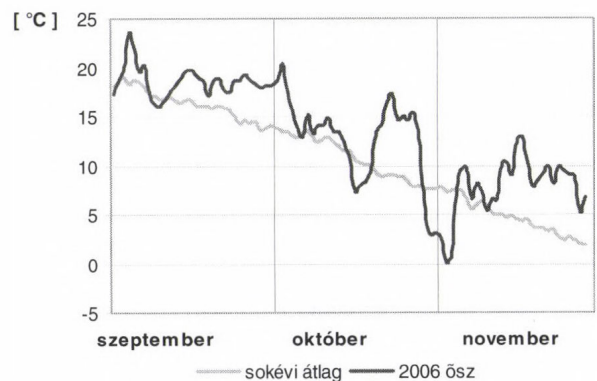
1. ábra: Az ősz középhőmérséklete °C-ban



2. ábra: Az ősz csapadékösszege mm-ben



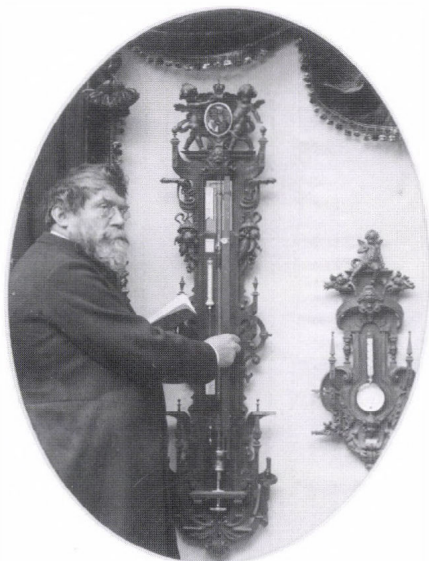
3. ábra: Az ősz globálisugárzás összege MJ/cm²-ben



4. ábra: Az ősz napi középhőmérsékleteinek eltérése az átlagtól °C-ban

LAMBRECHT, WILHELM

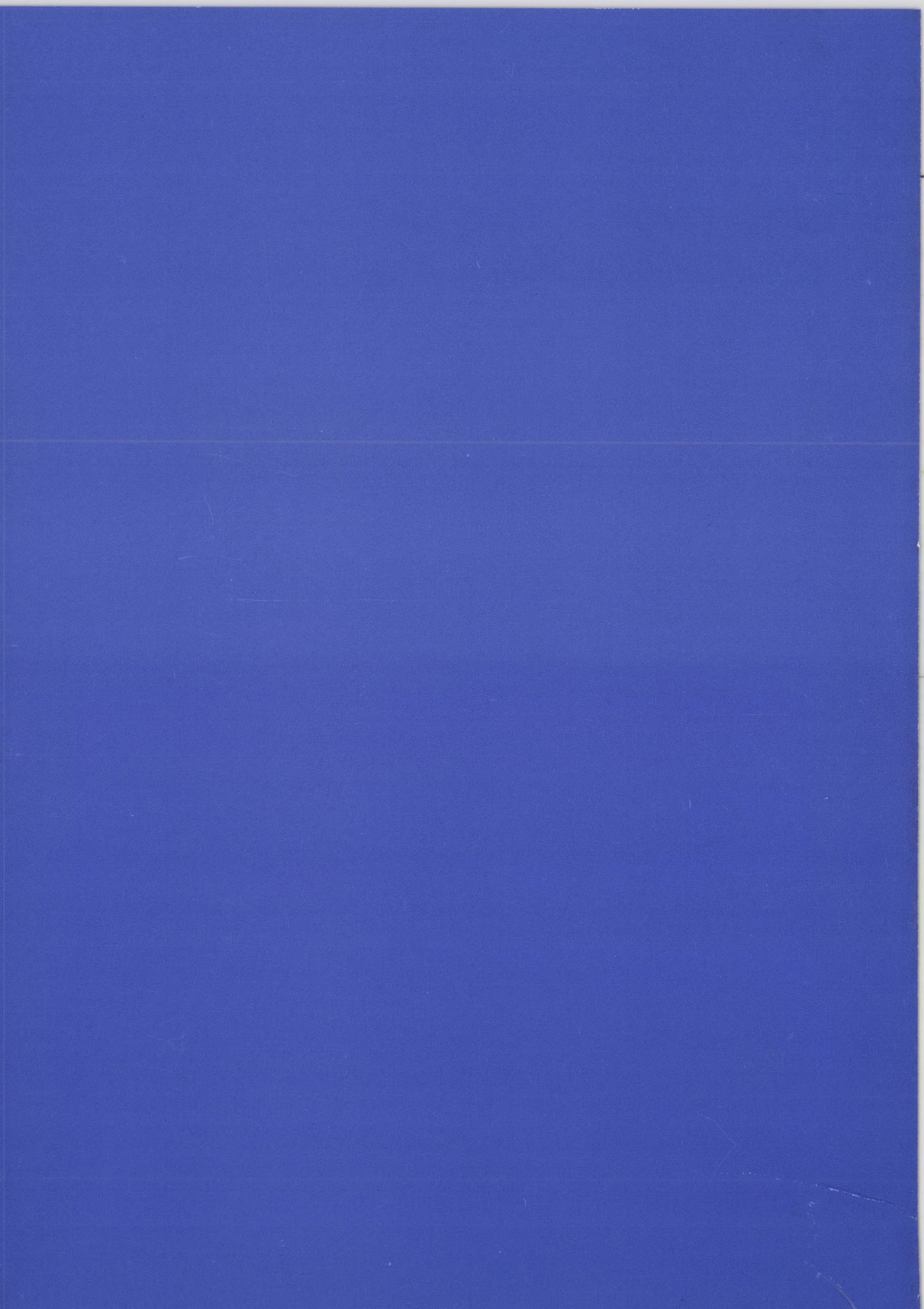
(Göttingen, 1833. július 25. – Göttingen, 1904. június 17.)



Lambrecht 90.



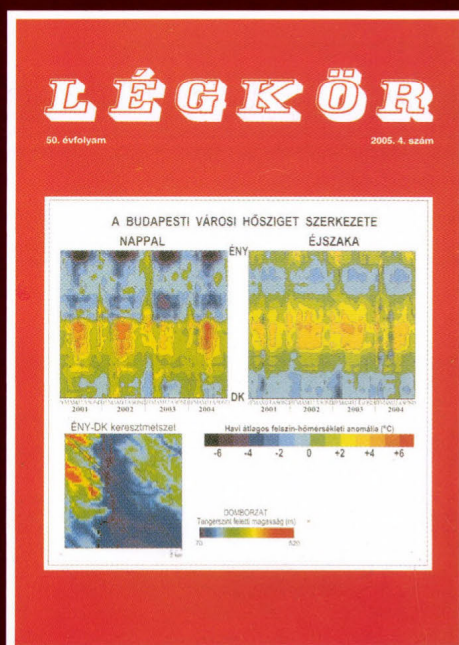
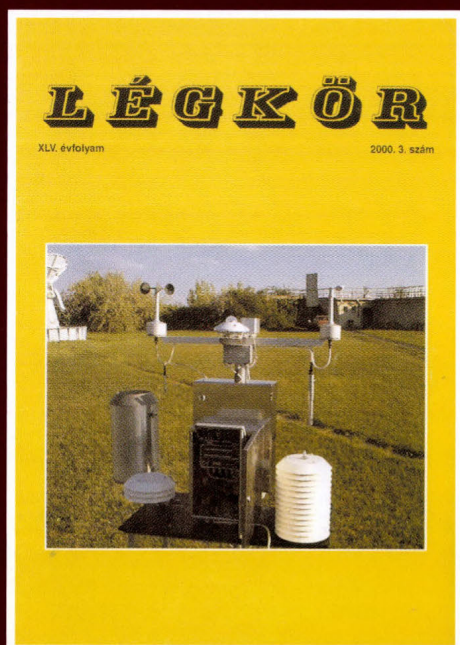
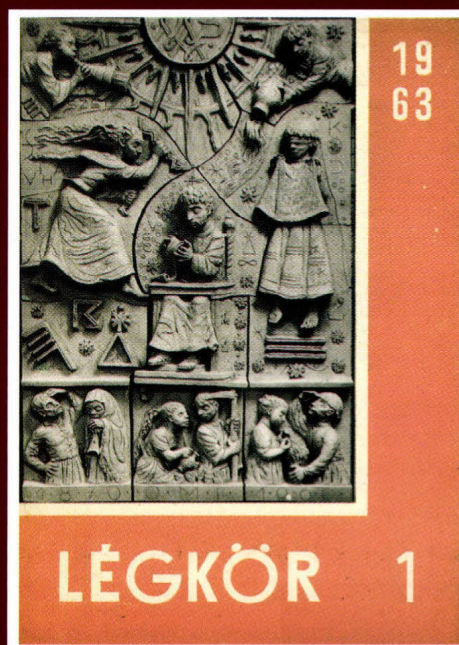
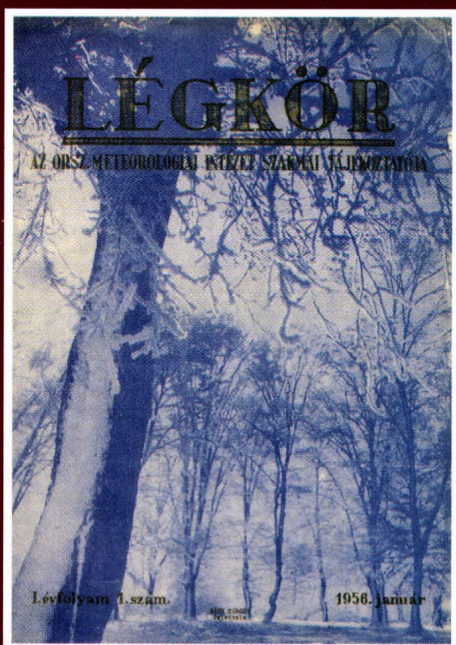
Német mechanikus. Műhelyéből sok meteorológiai műszer került ki, amelyek idővel nagy népszerűsége tettek szert. Ilyen volt Lambrecht-féle higrométer és poliméter. Utóbbit a helyi prognózis megállapítására rendezte be, harmatpont mérés alapján. A Lambrecht-féle időjárás házikók, amelyeket nagyobb városokban, köztereken állítottak fel, nagyon elterjedtek voltak, az időjárás iránti megnövekedett korabeli érdeklődés kielégítését szolgálták. Egy hasonló kivitelű és működési módú „időjelző házikó” fényképe látható Pécs város főterén, a LÉGKÖR XXXVII. évfolyam 1.-2. füzet külső borítólapján (a házikó ma már nem létezik). Lambrecht műszerei a kor igényei szerint, jelentős színvonalú és művészi kivitelű tartókon, tokokban kerültek forgalmazásra. A magyar szolgálat is számos Lambrecht gyártmányú műszert alkalmazott az 1980-as évek végéig, illetve használ ma is az automata meteorológiai állomásaihoz (csapadékmérő).



LÉGKÖR

51. évfolyam

2006. Különszám



50 éves a Légekör

LÉGKÖR

51. évfolyam
Különszám

Felelős szerkesztő:
Dr. Ambrózy Pál
a szerkesztőbizottság
elnöke

Szerkesztő bizottság:
Dr. Bartholy Judit
Bihari Zita
Bóna Márta
Dr. Gyuró György
Dr. Haszpra László
Dr. Hunkár Márta
Ihász István
Németh Péter
Dr. Putsai Mária
Tóth Róbert

ISSN 0133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Dunkel Zoltán
az OMSZ elnöke

Készült:
Az **FHM Kft.**
nyomdájában
800 példányban

Felelős vezető:
Modla Lászlóné

Évi előfizetési díja 1380 Ft

Megrendelhető
az OMSZ Pénzügyi Osztályán
Budapest, Pf.: 38. 1525

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI
SZOLGÁLAT ÉS A MAGYAR
METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

TARTALOM

A címlapon: Válogatás a Léggör néhány
régí és újabb címlapjából.

Dunkel Zoltán: Bevezető	1
Mészáros Ernő: Az újkor tudományos forradalma: A meteorológiai születése	2
KISLEXIKON	7
Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti éveí – történeti visszapillantás	8
Czelnai Rudolf: Megemlékezés a Meteorológiai Világszervezet (első) Éghajlati Világkonferenciájáról	16
Major György: A Milankovics-Bacsák elmélet és az éghajlatváltozások	20
Bihari Zita, Lakatos Mónika, Mika János, Szalai Sándor: Hazánk éghajlatának néhány jellemzője az 1956–2005 időszakban, kitekintéssel a globális tendenciákra	24
KISLEXIKON	28
Juhász Ágota, Mészáros Róbert, Szinyei Dalma Fatima, Lagzi István, Horváth László: Az ózonerhelés becslése modellszámítások alapján	29
Ambrózy Pál: Az 50 éves Léggör a (jelenlegi) szerkesztő szemével	32
Kajtárné Lovas Katalin: Az Országos Meteorológiai Szolgálat publikációs tevékenysége és kiadványai	33
Dunkel Zoltán: Ami az útijelentéseimből kimaradt!	36

Bevezető

A könyvespolcomon hatvan centimétert foglalnak el a *Légekör* bekötött számai. Leemelem az első kötetet, amely az 1956-1959-es számokat tartalmazza és fellapozom a megsárgult lapokat. A rövid beköszöntő arról szól, hogy az *Időjárás* egyre bővülő nemzetközi *elterjedettsége* arra kötelezi az Intézetet, hogy elsősorban tudományos kutató munkánk eredményeit tegyük közzé. Ez a szándék nem jelenti azt, hogy az időjárás tudománya, a meteorológia iránt érdeklődőkkel, vagy a nálunk dolgozó észlelőkkel lazítsuk a kapcsolatot. A *Légekör* megjelenítésével az Intézet teret kíván nyitni olyan tanulmányok és cikkek közlésének, amelyek tárgya főként munkatársaink érdeklődési körébe vág. Az ötven évvel ezelőtt útjára indított szakmai tájékoztató elsősorban az észlelőknek szólt, az ő munkájukat kívánta segíteni, javítani. A kitűzött cél, az észlelők tájékoztatása, a népszerűsítés mellett, a *Légekör* arra is törekedett mindig, hogy hiteles szakmai folyóirat legyen.

Miről is szól az első szám? Többek között bemutatja a Marczell György Obszervatóriumot, közli Czelnai Rudolf tudományos segédmunkatárs rövid írását a téli mennydörgésről és villámlásról. Tovább lapozva megtudhatjuk, hogy a beszolgáltatott rádiószondáért a megtaláló egy összegben 20, azaz húsz forintot kaphatott akkoriban. Végre elkészült a Steiner Lajos emlékérem, s hogy kollégánk tanulmányúton járt a Német Demokratikus Köztársaságban.

Hamarosan megjelenik az elmúlt évszak időjárását összegző rovat, s a szakmai rendezvényekről szóló tudósítások sora. S most vegyünk elő egy nemrég megjelent számot. A forma és a tartalom kissé más, de sok szempontból mégis ugyanaz. Igényes szakmai cikk, irodalmi hivatkozásokkal, a meteorológus közélet eseményei, a Társaság hírei, beszámoló egy egzotikus utazásról (1956-ban még az NDK számított annak!), s természetesen az elmaradhatatlan időjárás összefoglaló. A *Légekör* népszerűsítő kiadványnak indult, ma is az, de akkor is, most is, mintha mindig egy kicsivel többet akarna nyújtani az olvasónak. S lehet, hogy talán tudományosabbra sikerül néha, mint amennyire egy népszerűsítő folyóiratnak lenni szabad. Az is

lehet, hogy nem mindent ért a kedves olvasó! Azt hiszem ez a gondolat a szerkesztők fejében is megfordulhatott, mivel már régóta állandó rovata a lapnak a *Kislexikon*, kedvenc rovatom, amelynek szócikkeit összefésülve, akár elő is állna egy meteorológiai (szakmai) lexikon.

Amikor még kezdő voltam, s bizony voltak dolgok, amikről nem hallottam az egyetemen, s némi szégyenkezés után megkérdeztem idősebb kollégáimat, sokszor kaptam azt a feleletet, elsősorban Csomor Mihálytól, aki sajnos már nincs közöttünk, nézd csak meg, hogy erről mit írt a *Légekör*! A tanácson kívül rögvest kezembe is nyomta a megfelelő számot, mivel neki, mint a szerkesztőbizottság tagjának szépen ott sorakoztak a szekrényében, bekötve, a *Légekör* megjelent számai. Nem tagadom, irigykedve néztem sorozatát, s ez az irigykedés is benne volt abban, hogy magam is elkezdem gyűjteni számaint, s most büszke vagyok rá, hogy mára megvan a teljes sorozat!

A *Légekör* szakmai színvonalát mindig megtartva, vagy ha lehet növelve, előbb kisebb, aztán nagyobb, végül színesebb lett, de végig megtartotta népszerűségét a szerzők és az olvasók között, akik mind mi vagyunk, meteorológusok vagy a meteorológia iránt így vagy úgy érdeklődők. Az ünnepi évfordulóra bibliográfia is készül, ahogy a 30. és a 40. évfordulóra, amely a címjegyzéken túl tárgymutatót is tartalmaz, hogy az olvasók újabb és régebbi generációja sikeresen bűvárkodhasson.

Reméljük, hogy ez az ötven év csak az első a lap történetében. Kívánok neki a magam és az olvasók nevében még hosszú sikeres és hasznos pályafutást, a meteorológusok és a meteorológiát kedvelők, vagy az iránt érdeklődők örömeire! Jobbal én sem tudom befejezni a bevezető köszöntést, mint Dési Frigyes tette 1956-ban. Szeretettel nyújtjuk át nemcsak az észlelőknek, hanem minden kedves olvasónknak a *Légekör* 201. számát, s boldog új esztendődtől kívánva reméljük, hogy ők is szeretettel fogadják. Boldog születésnapot kedves *Légekör*, csak így tovább!

Dunkel Zoltán
elnök

Országos Meteorológiai Szolgálat

AZ ÚJKOR TUDOMÁNYOS FORRADALMA: A METEOROLÓGIA SZÜLETÉSE

„Csaknem minden, ami a modern világot megkülönbözteti az előző századoktól a tudománynak köszönhető...”

(Bertrand Russel: History of Western Philosophy)

A 15. évszázad kezdetén, a reneszánsz gondolkodás hajnalán Európa szellemvilágában nagy változások kezdődnek. Az Itáliában induló reneszánsz a 15. évszázadban a görög kultúra fénykorát idézi. A 16. század némi visszaesése után, a 17. és 18. század forradalmasítja a filozófiát és a tudományokat (Russel, 2004). A tudományos gondolkodás egyre jobban eltávolodik az egyháztól: a tudományt nem csak szerzetesek művelik, a véleménynyilvánítás lassan szabadabbá válik, ami fejlődésnek hatalmas lendületet ad. „Gondolkodom, tehát vagyok” mondja a nagy francia filozófus, René Descartes (1596–1650), ami a racionális tudomány előretörését jelzi.

Megszületnek azok a tudományos módszerek, amelyek a kutatásban ma is vezérfonálul szolgálnak. Így a 16. és 17. század fordulóján élt Francis Bacon (1561–1626) véglegesen megfogalmazza a kísérleti kutatás alapelvét, az indukciót. A harmincöt évvel fiatalabb Descartes az elméleti kutatás módszerét, a dedukciót dolgozza ki. A szellemi világot megrengető első nagy gondolat már a 16. század elején napvilágot lát. Ptolemaiosz Föld központú világképével szemben, Mikolaj Kopernik (Nicolaus Copernicus; 1473–1543) lengyel csillagász heliocentrikus modellt javasol. Kopernik nem gyakorlati ember. Elvi úton egyszerűsíti és elegánsabbá teszi a Naprendszer leírását. Elképzelését mintegy száz év múlva Johann Kepler (1571–1630) törvényei teszik igazán közismertté.

A megfigyelési eszközök is jelentősen fejlődnek. Az új műszerek kitérítik a megfigyelések lehetőségeit. Galileo Galilei (1564–1642) itáliai polihisztor feltalálja a távcsövet és felfedezi a Jupiter négy holdját, illetve a Szaturnusz gyűrűjét. Úgy gondolja, hogy a csillagok olyanok, mint a mi Napunk, ami arra utal, hogy nem csak a bolygónk, hanem a Napunk sem különleges égitest. Galilei megalapozza a korszerű fizikát, amelyet három törvényével és gravitációs elméletével Isaac Newton (1642–1727) tesz teljessé.

Newton optikai munkáival a színek természetének magyarázatát is jelentősen előbbre viszi: kísérletei alapján kimondja, hogy a színeket az optikai prizma különböző szögben megtört napsugarak okozzák. Véleménye szerint a fény kicsiny részecskékből áll, amelyek

egyenes vonalban terjednek. A diffrakció¹ felfedezése (Francesco Maria Grimaldi; 1618–1663) azonban nem magyarázható ezzel a feltételezéssel: Christian Huygens (1629–1695) holland tudós kidolgozza a fény hullámelméletét.

Ebben a tudományos forrongásban a korszerű légkörtudomány is megszületik és fejlődésnek indul. A tizenharmadik század, a felvilágosodás korának végére a légkör számos tulajdonsága ismertté válik. Jelen tanulmány a meteorológiai ismeretek születését és bővülését foglalja röviden össze a felvilágosodás végéig. Időnként azonban utalunk a későbbi eseményekre, mintegy hangsúlyozva egy-egy felismerés jelentőségét. A felvilágosodás korának egyik érdekessége, hogy a légkörrel foglalkozó kutatók nem meteorológusok a szó mai értelmében. Vizsgálataikat részben a fizika, részben a kémia, esetleg más tudományág keretében végérik. Ez azért meglepő, mivel a meteorológiát már Arisztotelész is különálló tudományágnak tekinti (Mészáros, 2006a). Mindenesetre a 16–18. században kapott eredmények megalapozzák azt a látványos fejlődést, amely a meteorológiában a 19., de főleg a 20. században végbement.

Műszerek, megfigyelések, mérőhálózatok

Légköri ismeretek kibontakozásához és fejlődéséhez természetesen mérőműszerekre volt szükség. A késő reneszánsz és a felvilágosodás kora ezen a területen forradalmi változásokat hozott: megszülettek az első meteorológiai műszerek. A hőmérő elvét Galilei gondolja ki. Az alapvető változás azonban Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736), Hollandiában élő német fizikus nevéhez fűződik, aki a 18. század elején először alkalmazott higanyos hőmérőt, majd megalkotta a róla elnevezett hőmérsékleti skálát. A beosztással ellátott higanyos hőmérők gyorsan terjedtek, lehetővé téve a hőmérséklet megfigyelését. Végül Aders Celsius (1701–1744), svéd csillagász a víz fagyási, illetve forrási hőmérséklete közötti skálát 100 egységre osztja fel (1742).

A barométert, mint ismeretes, Evangelista Torricelli (1608–1647), olasz fizikus és matematikus találta fel. A korai halála miatt az első híres légköri légnomásméréseket elsősorban francia kutatók (Pascal, Périer) hajtották végre (lásd Mészáros, 2005). A műszer lehetővé tette, hogy meghatározzák a légnomás vízszintes és függőleges változásait, ami megalapozta a légkör szerkezetének és a szelek kialakulásának értelmezését. Az első szélmérőt (anemométert) Leon Battista Alberti

¹ Diffrakció: hullámok terjedési irányának megváltozása kis akadályon, illetve résen való áthaladásakor.

² Nem térünk ki azonban a légkör összetételével kapcsolatos vizsgálatokra, amelyeket előző tanulmányunkban vázoltunk fel (Mészáros, 2005).

(1404–1472) olasz építész szerkesztette 1450-ben³ (lásd *Bellis, 2005*). A műszer érzékelője lényegében egy szélre merőleges korong volt, amelyet a szél sebességének megfelelően forgatott. Hasonló anemométert talált fel két évszázad múltán (1667) *Robert Hooke* (1635–1703), angol fizikus, akit az angol *Leonardo da Vincinek* is neveztek, és akit sokan a szélmérő megalkotójának tartanak⁴. Ha az anemométert szélzászlóval is ellátták, akkor a szél irányát is meg lehetett határozni.

Európában az első korszerű billenő edényes csapadékmérőt *Christofer Wren* (1632–1723) angol építész alkotja meg 1662-ben. Nedvességmérőt elsőként *Leonardo da Vinci* szerkesztett. Az általa használt szárított gyapjuszálat a sokkal érzékenyebb állati bélből készített fonállal a már említett *Hooke* helyettesítette 1664-ben (*La Cotardière, 2004*). Így tulajdonképpen minden készen állt a legfontosabb meteorológiai elemek mérésére. Hamar kiderült, hogy a légkör állapotát csak nagyobb területre kiterjedő megfigyelések segítségével lehet kielégítően jellemezni. Így a felvilágosodás évszázadaiban az első meteorológiai mérőhálózatok is megjelentek.

Az első ismert európai hálózatot az *Accademia del Cimento* hozta létre az 1660-as években. Az akadémiát *Galilei* és *Torricelli* tanítványai alapították 1657-ben Firenzében. Céljuk az volt, hogy a kísérleti tudományok elterjedését elősegítsék. Az elődök érdeklődési körének megfelelően néhány mérőállomásból álló meteorológiai hálózatot szerveztek, amely azonban csak rövid ideig működött. Tíz éves fennállás után az akadémia is megszűnt. A jövőt tekintve sokkal nagyobb jelentősége volt a *Societas Meteorologica Palatina* hálózatának. A hálózatot *Johann Jacob Hemmer* (1733–1790) a pfalzi választófejedelem kezdeményezésére hozta létre 1780-ban. A 40 állomásból (ezek egyike Budán volt) álló hálózat 12 évig működött és sok későbbi nemzeti meteorológiai hálózat mintájául szolgált.

A mérési lehetőségektől felbuzdulva 1765-ben *Antoine-Laurent de Lavoisier* (1743–1794) a nagy francia kémikus már arról értekezik, hogy a légnyomás, a hőmérséklet, a szélesség és szélirány, valamint a légnedvesség rendszeres mérése lehetővé teszi az időjárás egy-két napos előrejelzését (*Potter, 2002*). Szórványosan, de megindulnak azok a vizsgálatok, amelyek az egyik legnyilvánvalóbb kérdésre keresték a választ: miért vannak felhők és miért esik az eső.

Felhőfizika

A felhők és csapadékok keletkezésével foglalkozó felhőfizika tipikusan a 20. század második felének tudománya. Ennek ellenére nem érdektelen azoknak a vizsgálatoknak az összefoglalása, amelyet az érdeklődő kutatók a felvilágosodás korában végeztek.

Már a 18. században nyilvánvaló volt, hogy a felhők keletkezése összefügg a nedves levegő kiterjedésével, illetve hűlésével (*Pruppacher és Klett, 1998*). A kiterjedés és hűlés viszont a levegő felemelkedésének a következménye. Így mások mellett *Benjamin Franklin* (1706–1790) 1751-ben utalt arra, hogy a felmelegedés a levegő feláramlásához vezet. *Horace-Bénédict de Saussure* (1740–1799) elméletileg kimutatta, hogy a felemelkedő nedves levegő lehűl, benne csapadék keletkezik, amelynek mennyisége arányos az emelkedés sebességével. Összefüggés van tehát a feláramlás, a lehűlés és a kondenzáció között.

A felhőelemek keletkezésének mikrofizikája azonban teljesen ismeretlen maradt, hiszen még a kondenzációs magvak jelenlétével sem voltak tisztában, nem beszélve a cseppkeletkezés termodinamikájáról. Az mindenesetre nyilvánvaló volt, hogy a felhőcseppek gömb alakúak, létrejöttüket azonban csak meglehetősen elnagyoltan fogalmazták meg. Ezt jól jellemzi *Descartes* következő két mondata, amelyek a „Meteorok” c. művének a felhőkről szóló 5. értekezéséből származnak (*Descartes, 1966*). „Vízcseppek akkor keletkeznek, amikor a kicsiny párárészekből álló finom anyagban nincs elég erő ahhoz, hogy kiterjedjen..., ezért részei találkoznak, összeállnak és egy golyóban halmozódnak fel. És a felülete a golyónak... pontosan gömb formájú lesz”.

A csapadékkeletkezés egyik ma is elfogadott elméletét viszont már a 18. században elég világosan megfogalmazták. *Petrus van Musschenbroek* (1692–1761) holland fizikus 1739-ben azt javasolta, hogy a csapadék keletkezésének oka a cseppek összeütközése és egyesülése. Ezt persze már *Arisztotelész* is így gondolta (lásd *Mészáros, 2006a*). Az említett kutató azonban azt is korrektül megfogalmazta, hogy az ütközés oka a cseppek különböző esési sebessége. *Musschenbroek* arra is rámutatott, hogy 6 mm-nél nagyobb esőcseppek nem fordulhatnak elő, mivel ezek instabilak és esésük során szétesnek (*Pruppacher és Klett, 1998*). Ez a kritikus cseppméret nagyon közel van a ma elfogadott 8 mm-hez.

A szilárd csapadék formája már régen felkeltette az érdeklődést. A hópolyhek hatágú formáját Kínában már az i.e. második évezredben dokumentálták. Európában mindez csak jóval később következett be. Így fennmaradt egy 1555-ben készült fametszet, amelyet *Olas Magnus* Uppsala érseke készített. *Keplert* szintén izgatotta a kérdés és feltette azt a nyilvánvaló kérdést, hogy vajon miért hat oldalúak a hókristályok. *Descartes* volt valószínűleg az első, aki a hókristályokat helyesen tipizálta. Sőt nem zárta ki, hogy a kristályok formája a meteorológiai viszonyoktól függ. *Descartes* a jégszemek morfológiájával is foglalkozott. Egyebek között feltételezte, hogy a jégszemek számos hókristály egyesülése útján keletkeznek, amelyeket a szél egyesít. Ma már

³ Hasonló szélmérőt évszázadokkal korábban már a közép-amerikai maják is használtak.

⁴ A ma is ismert szélkanalas szélmérőt *Thomas Romney* már a 19. században hozta létre.

tudjuk, hogy a jég szemek kialakulásában sokkal inkább a függőleges mozgások játszanak meghatározó szerepet. Végül *Marcellin Ducarla Bonifas* (1738–1816) 1780-ban nagy előrelátással azt javasolta, hogy azokon a helyeken, ahol a levegő sokkal melegebb, mint a környezete, olyan magasságokig emelkedik, ahol a hőmérséklet megfelelően alacsony ahhoz, hogy a vízcseppek megfagyjanak és kicsiny jéggömböket képezzenek, amelyek a túlhűlt vízcseppekkel egyesülve növekednek tovább.

A felhők elektromosságának keletkezéséről a felvilágosodás korában nem sokat tudtak. Mindenesetre a 18. század közepén *Franklin* helyesen állapította meg, hogy a villámok elektromos kisülések. Ez nyilvánvalóvá tette, hogy a zivatarfelhőkben jelentős töltés-szétválasztódás történik. Ennek pontos magyarázatára ma már számos elmélet van. Nincs közöttük azonban olyan, amelyet a kutatók általánosan elfogadnak.

A hulló csapadékelemek hozzájárulnak az egyik legfeljebb légi jelenséget a szivárványt is. A szivárvány optikai magyarázatát azonban érdemes külön fejezetben tárgyalni. Már csak azért is, mivel a felvilágosodás legnagyobb tudósai foglalkoztak vele.

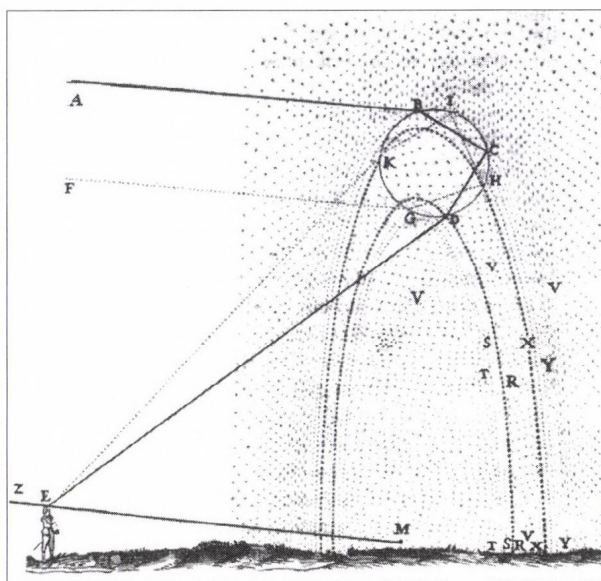
Optikai vizsgálatok: a légi szivárvány

A szivárvány magyarázata minden időszakban a fénytannal akkori fejlettségével függ össze. Az összefüggés azonban kölcsönös. Az optikával foglalkozó tudósok sokszor a szivárvány jelenségéből merítik a problémákat. A 17. század elején a fénytannal tudományát lényegében három nagy kérdés foglalkoztatja (*Maitte, 1981*). Ezek egyike a fénysebesség kérdése: végtelen-e a fénysebesség, mint *Kepler* gondolta, vagy véges, mint azt *Bacon* és *Galilei* feltételezte⁵. A másik nagy kérdés: hogyan függ össze a beesési szög a törési szöggel, amikor a fény két különböző közeg határához érkezik. Végül a középkori kutatások után továbbra is megválaszolatlan a fény természetének problémája. A második és harmadik kérdés összefügg a légi szivárvány értelmezésével. Ezért a szivárvány színeinek magyarázata továbbra is az érdeklődés középpontjában áll. Sőt egyesek (pl. *Newton*), a középkori skolasztikusokhoz hasonlóan, a szivárványt Isten, az isteni tökéletesség csodálatos megnyilvánulásának tartják.

A beesési szög és a törési szög szinuszos összefüggésének⁶ felfedezése tudománytörténeti érdekesség. A törvényt a holland *Willebrord Snell* (1581–1626) fedezte fel 1618-ban. Eredményét már nem tette közzé, mivel meghalt. Halála előtt azonban megmutatta az összefüggést *Descartes*nak, aki azt az 1647-ben megjelent

„*La Dioptrique*” c. művében publikálta és elfelejtette megemlíteni, hogy kitől származik (lehet, hogy a hivatkozás akkor még nem volt divatban?). Mindenesetre a törvényt azonnal felhasználta a szivárvány megmagyarázására. Így sokkal pontosabb eredményeket kapott, mint *Freibergi Dietrich* középkori szerzetes (lásd *Mészáros, 2006b*).

Az 1. ábra *Descartes* híres rajzát mutatja, amelyet a „*Meteorok*”⁷ c. művében publikált (lásd *Descartes, 1966*). Az ábra legfontosabb vonása, hogy a francia polihisztor mind az elsődleges, mint a másodlagos szivárvány keletkezését megmagyarázta. Az elsődleges szivárvány (az ábrán *X* ív) akkor jön létre, amikor a cseppekben a napsugarak (*AFZ*) egyszer törnek meg (*BCD*), és így érkeznek a megfigyelő szemébe (*E*). Az elsődleges szivárvány piros színe (e fölött helyezkedik el a többi szín, egészen az ibolyáig) az észlelő számára (*DE*) a napsugarakhoz, azaz az *EM* egyeneshez képest 42° szögben látható. A másodlagos szivárványt (*Y* ív) a kettős fénytörés hozza létre (*GHIK*). A másodlagos szivárvány mindig magasabban van, mint az elsődleges: ilyenkor a halványabb piros szín a megfigyelőhöz képest 52° -os szögben helyezkedik el. Bár a szögek némileg változhatnak, az ábrán lévő rajz mai elképzeléseinkkel is egyezik. Maradt azonban egy fontos probléma: a színek természete. *Descartes* úgy vélte, hogy a színeket valamilyen módon a törő felület hozza létre. *Newton*ra várt az a feladat, hogy a színek természetét tisztázza.



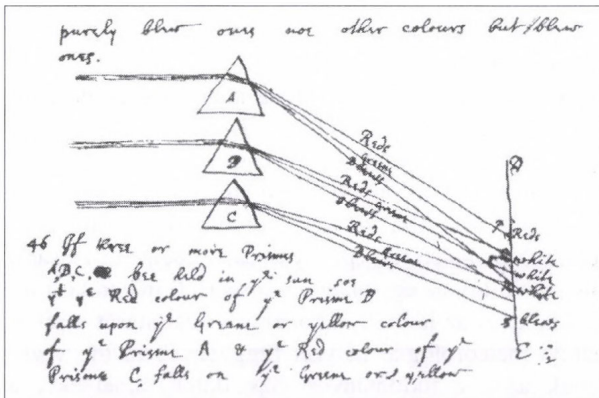
1. ábra Az elsődleges (egyszeri törés) és másodlagos (kettős törés) szivárvány keletkezése René Descartes „*Les Météores*” (1636) c. munkája szerint. Az ábrán a kör egyetlen kinagyított cseppet ábrázol. Az ábra részletei a szövegben megtalálhatók.

⁵ Ole Christiansen Römer (1644–1710) dán csillagász a Jupiter és holdjainak keringése alapján először számítja ki a fény sebességét 1676-ban. Véges, de igen nagy értéket kap: $2,15 \cdot 10^8$ km/s-ot, ami alacsonyabb, mint a jelenleg elfogadott érték.

⁶ A két szög szinuszáinak aránya állandó.

⁷ Ezen a szón Descartes légi jelenségeket értett.

Newton úgy gondolta, hogy ha a színeket a törő felület hozza létre, akkor a fénytörést előidéző prizma forgatásával változtatható a jelenség. Ennek vizsgálatára a fénytörést két egymásra merőleges, illetve több prizmával hozta létre. Azt az eredményt kapta, hogy a fénytörés független a prizma elhelyezkedésétől. Teljesen azonos módon a piros mindig kevésbé, az ibolya szín minden esetben sokkal jobban eltérül. Olyan kísérletet is végzett, amikor a megtört fényből kis rés segítségével kiválasztott egy színt, és azt egy másik prizma bocsátotta. A második prizma azonban már nem változtatott a kiválasztott színen. Végül, ha a több prizmával létrehozott színeket egy ernyőn egyesítette, akkor ismét fehér fényt kapott (2. ábra). Kísérletei alapján azt a következtetést vonta le, hogy a szín a napfény tulajdonsága, amely hét színből áll. Ezek meghatározott törő közegben a különböző mértékben megtört fényre vonatkoznak. Tisztázódott tehát, hogy a szivárvány színei miért jönnek létre.



2. ábra Isaac Newton több prizmával végzett fénytörési kísérlete, melyet az 1704-ben megjelenő „Opticks” c. művében publikált.

Az angol gondolkodó továbbá a szivárvány megmagyarázására elméleti vizsgálatokat is végzett (Maitte, 2005). A fénytörés jelenségét nem szerkesztéssel határozta meg mint Descartes (lásd 1. ábra), hanem a sugarak útját az általa kidolgozott differenciálszámításokkal írta le. Ez hatalmas előrelépés volt Baruch Spinoza (1632–1677) eljárásához képest is, aki a fénytörést, a szivárvány színeinek kialakulását, trigonometrikus számításokkal próbálta jellemezni. A differenciálszámítások jelentősége Newton dinamikai vizsgálatainál bontakozott ki igazán (lásd később).

A felvilágosodás időszakának (és a középkornak) légköri optikai vizsgálati lényegében egyetlen kérdésre, a szivárvány kialakulására összpontosultak (Mészáros, 2006b). Ez részben a jelenség feltűnő szépségének volt köszönhető. Tökéletessége sokak számára Isten dicsőségét hirdette. Tanulmányozásának jelentősége abban áll, hogy tisztázódott a fénytörés, illetve a színek természete. A vizsgálatok ugyanakkor nem terjedtek ki olyan

fontos problémákra, mint a légkör és a napsugárzás általános kölcsönhatása, amelynek a szivárvány csak egy speciális és messze nem a legfontosabb megnyilvánulása. Ilyen jellegű kutatásokra elsősorban csak a 20. században került sor.

Általános légkörzés

Amerika 1492-es felfedezése az újkor, és ezzel együtt a földrajzi felfedezések kezdete. Így nem meglepő, hogy az újkorban a meteorológiai információk iránti igény egyre nagyobb lett. A helyi szelek mellett szükségessé vált, főleg az óceánok fölött, az egész bolygó szélrendszerének, az általános légkörzésnek a megismerése. Különösen fontos volt az Egyenlítő környéki keleties szelek övének vizsgálata, amelyben Európából az Újvilágba lehetett vitorlázni, és amelyet Kolumbusz Kristóf (1451–1506) ismert fel első útja alkalmából. Ezzel párhuzamosan a tengeráramlatok ismerete is felértékelődött. A jövő szempontjából is felbecsülhetetlen jelentőségű volt, amikor Juan Ponce de León (1460–1521) spanyol hajós 1513-ban a Golf-áramot felfedezte (La Cotardière, 2004).

A kérdés jelentőségét jelzi, hogy a csillagász és matematikus Edmond Halley (1656–1742), a Halley-üstökös névadója, 1686-ban olyan térképet készített, amely az akkori ismeretek alapján az óceánok fölött uralkodó szélirányokat mutatta be. Hiányosságai ellenére térképét az első meteorológiai térképnek tekinthetjük. A térképen természetesen szerepeltek az Egyenlítő menti keleties, ún. passzát szelek (angolul stílszerűen „trade-winds”), de kialakulásukról Szerző nem adott magyarázatot. Helyesen szögezte le viszont, hogy a passzát szelek arra utalnak, hogy a légköri változásokat a napenergia hozza létre.

A problémára mintegy ötven évvel később George Hadley (1685–1768) angol meteorológus (ő már így nevezte magát) tért vissza. Coriolis (lásd később) előtt 100 évvel leszögezi, hogy mai nézeteinkkel egyezően, a passzát szeleket a Föld forgása hozza létre. Véleménye szerint a jelenséget az okozza, hogy az Egyenlítő felé mozgó levegő kisebb szélsébségű vidékekről érkezik. Az Egyenlítő felé haladva azonban egyre jobban felgyorsul, iránya keletiessé válik. Hadley nevéhez fűződik annak felfedezése, hogy az Egyenlítő környékén a felmelegedett levegő felszáll és a magasban elindul a sarkok felé, ahol leáramlik (helyére a felszín közelében visszaáramlik a levegő). Ma már tudjuk, elsősorban William Ferrel (1817–1891) munkássága nyomán, hogy az általános légkörzés nem egy, hanem három cellából tevődik össze (az általános légkörzésre vonatkozó nézetek fejlődése Lorenz, 1967, munkájában található meg).

A légáramlásokkal kapcsolatos elképzelések akkor tisztázódtak, amikor sikerült azonosítani azokat az erőket, amelyek a levegőt mozgatják, és az erőket és gyor-

sulásokat az ún. mozgásegyenletekben sikerült matematikailag összekapcsolni. Ezek a vizsgálatok még a 18. században kezdődtek meg és a 19. században fejeződtek be. Érdekes ezért ebben a témában a felvilágosodás korát túllépni és a 19. század fontosabb, a meteorológusok között sem mindig közismert eseményeit is felvázolni.

Légeköri dinamika: mozgásegyenletek

Newton valószínűleg sohasem gondolta hogy második törvénye teszi lehetővé az elméleti, ún. *dinamikus meteorológia* alapjainak kidolgozását. Newton második törvényét az 1687-ben Londonban publikált latin nyelvű „*Philosophiae naturalis principia mathematica*” c. munkájában írta le. A törvény kimondásának jelentősége felbecsülhetetlen annak ellenére, hogy ma már egyszerűnek és evidensnek tartjuk: a testek gyorsulása (és nem a sebessége, mint régebben gondolták) a testre ható erővel arányos, ahol az arányossági tényező az illető test tömege.

Légeköri szempontból a következő fontos lépést *Leonhard Euler* (1707–1783) tette meg (lásd *Lorenz, 1967*), aki a Newton törvényt fluidumokra (folyadékok és gázok) alkalmazta. A nagy svájci matematikus egyenlete felírásakor szintén nem a légekörre gondolt. Célja az volt, hogy a szökőkutak tervezési munkáját elősegítse! Ebben az un. Euler-féle egyenletben először szerepel az a ma már közismert tétel, hogy a gyorsulás a nyomási gradiens (távolságegységre jutó nyomásváltozás) értékével arányos (magyarul lásd *Simonyi, 1981*). Ha egyenletét konkrét számításokra használta, akkor mindig túl nagy gyorsulások jöttek ki, így a gyakorlatban az egyenlet használhatatlan volt. Ennek okára 1827-ben a francia *Claude Louis Marie Navier* (1785–1836) és később (1845) az angol *Sir George Gabriel Stokes* (1819–1903) jött rá, akik kimutatták, hogy a nyomási gradiens erő mellett a súrlódási erőt is figyelembe kell venni. Így született a híres Navier-Stokes egyenlet. Ebben, szemben az Euler-féle egyenlettel, a kinetikus energia nem őrződik meg, hanem részben hővé alakul.

Gaspard Gustave de Coriolis (1792–1843) francia mérnök, amikor híres munkáját („*Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps*”) 1835-ben a francia Akadémián bemutatta, a légekört meg sem említte. A később eltérítő erőnek nevezett erőt vízkerekekre alkalmazta (úgy látszik a tudományos munka jelentőségét már akkor is gyakorlati hivatkozásokkal kellett alátámasztani). Ennek ellenére a légeköri mozgásegyenletekben szereplő eltérítő erőt ma is sokszor Coriolis erőnek nevezzük, ami azért kicsit igazságtalan, mivel a légeköri mozgásegyenletekbe ezt az erőt a már említett amerikai meteorológus, *Ferrel* vezette be (*Ferrel, 1858*). Ez az erő a forgó Földön a felszínhez rögzített koordináta-rendszerben azért lép föl, mivel a mozgó levegő alatt a bolygó elfordul. A Föld nyugat-keleti forgását

figyelembe véve az Északi-félgömbön minden mozgás jobbra térül el. Így lesz az Egyenlítő felé tartó felszíni légáramlásból keleties passzát szél, illetve így jön létre a mérsékelt szélességeken a nyugatias szelek zónája. A két erő egyensúlya esetén a magasabb légrétegekben, ahol a súrlódás elhanyagolható, mint ez ma már jól ismert, a szél az izobárokra nem merőlegesen, hanem azokkal párhuzamosan, egyenletes sebességgel fúj.

Az eltérítő erő a hurrikánok (a Csendes-óceán keleti részén: tájfunok) keletkezésében is fontos szerepet játszik: a felmelegedett tenger fölött a vízgőzben gazdag levegő felemelkedik, és az odaáramló erős szeleket az eltérítő erő⁸ jobbra forgatja (az Északi-félgömbön). A hurrikánok első, többé-kevésbé tudományos leírását *William Dampier* (1652–1715) angol hajósnak (és kalandornak) köszönhetjük (lásd *Götz, 2001*), aki Kína partjainál 1687-ben figyelte meg ezt a félelmetes, hatalmas örvényszerű mozgásból és felhőzetből álló légeköri jelenséget. Az említett szerző írásában egyebek között megemlíti, hogy a képződmény középső részén kis szélsébségű, felhőtlen terület található, amelyet ma a hurrikán „szemének” nevezünk.

A mozgásegyenletek hatalmas jelentőségére igazából már a 20. században derült fény. Ezek az egyenletek az időjárás számszerű előrejelzésében (lásd *Götz, 2001*) alapvető fontosságúak. A gyorsulás ugyanis a sebesség idő szerinti deriválja. A már említett erők viszont a különböző paraméterek (pl. nyomás) térbeli eloszlásától függenek. Így az egyenletek idő szerinti integrálása lehetővé teszi az időbeli változások kiszámítását a pillanatnyi meteorológiai helyzet függvényében. Ide vettettek azok a tudományos vizsgálatok, amelyeket a felvilágosodás korában *Newton* és *Euler* végzett, valószínűleg anélkül, hogy a légekör eszükbe jutott volna.

Befejezés: a további fejlődés irányai

A 19. és 20. században a meteorológia hatalmasat fejlődött. Az elméleti, dinamikus meteorológia látványos kibontakozása megalapozta az időjárás előrejelzésének korszerűsödését, pontosságának növelését (*Vissy, 2004*). Az éghajlati modellekkel végzett vizsgálatok elvezettek a káosz elmélet (*Götz, 2001*) felfedezéséig. Kiderült, hogy a légekör hatalmas komplex rendszer. Állapotának előrejelzése csak meghatározott időtartamra lehetséges. Kialakultak a meteorológia alkalmazott ágai, mint a mezőgazdasági termelést elősegítő agrometeorológia, a vízgazdálkodást, így az árvízveszélyes helyzetek előrejelzését lehetővé tevő hidrometeorológia, vagy a légszennyeződés légeköri sorsát leíró légszennyeződési meteorológia. Kifejlődött a légekörfizika, ezen belül a felhőfizika. Végül rájöttünk arra, hogy a légekör összeté-

⁸ Az eltérítő erő a szélsébséggel és a földrajzi szélesség szinuszával arányos. Ez utóbbi miatt nem keletkeznek az Egyenlítő környékén hurrikánok (tájfunok).

tele (Mészáros, 2005), kémiai folyamatai a fizikai paramétereiket, így végső soron az éghajlatot is alapvetően befolyásolják. Kevesünknek jut eszébe, hogy ez a csodálatos fejlődés azokra az eredményekre alapozódik, amelyeket nagy nevű elődeink a felvilágosodás korában elértek. Nem gondolunk arra, hogy az ő munkájuknak köszönhető, hogy a korszerű meteorológia megszületett.

Mészáros Ernő

IRODALOM

- Bellis, Mary (2005): *Weather Sensor Instruments*. <http://inventors.about.com/library/inventors/blweather.htm>
- Descartes, René (1966): *Discours de la Méthode* suivi d'extraits de *la Dioptrique*, des *Météores*, du *Monde*, de *l'Homme* et de *Lettres*. Garnier-Flammarion, Paris.
- Ferrel, William (1858): Influences of Earth's Rotation on the Motion of Bodies. *Gould's Astronomical Journal* **97**, 113.
- Götz Gusztáv (2001): *Káosz és prognosztika*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
- La Cotardière, Philippe de (2004)(ed.): *Histoire des Sciences de la Préhistoire à nos Jours*. Tallandier, Paris.
- Lorenz, Edward N. (1967): *The Nature and Theory of*

- the General Circulation of the Atmosphere*. World Meteorological Organization, Geneva.
- Maitte, Bernard (1981): *La lumière*. Édition du Seuil, Paris.
- Maitte, Bernard (2005): *Histoire de l'arc-en-ciel*. Édition de Seuil, Paris.
- Mészáros Ernő (2005): *Hogyan fedezték föl a levegőt*. Adalékok a légkör kutatásának történetéhez. *Magyar Tudomány*, Új évfolyam **50**, 426-437.
- Mészáros Ernő (2006a): Ókori meteorológia: ahogy Arisztotelész gondolta. *Magyar Tudomány*, Új évfolyam **51**,
- Mészáros Ernő (2006b): *Fény és sötétség: légköri optika a középkorban*. Elküldve a *História* c. folyóiratba.
- Potter, Rose (2002): *Meteorology History*.
- Pruppacher, Hans R.-Klett, James D. (1998): *Microphysics of Clouds and Precipitation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston and London.
- Russel, Bertrand (2004): *History of the Western Philosophy*. The Folio Society, London.
- Simonyi Károly (1981): *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat, Budapest.
- Vissy Károly (2004): *Az időjárás előrejelzése: jóslás vagy tudomány?* Mindentudás Egyeteme (Második kötet: 187-210). Kossuth Kiadó, Budapest.

KISLEXIKON

[Cikkeinkben csillag jelzi azokat a kifejezéseket, amelyek a kislexikonban szerepelnek]

nemlineáris probléma

Götz Gusztáv: *A klímadinamika megszületése és kezdeti évei*

Olyan feladat, amelyben az ismeretlen függvény nem elsőfokú polinomként, azaz $a \cdot f(x) + b$ alakban szerepel (a és b ismert számok /állandók/).

diszkretizált egyenlet

Götz Gusztáv: *A klímadinamika megszületése és kezdeti évei*

Egy folytonos függvényekből álló egyenlet olyan alakja, amely elemi függvényekből (rácsponti függvényekből vagy ortogonális függvénysor alapfüggvényeinek sorából) áll.

numerikus integrálás

Götz Gusztáv: *A klímadinamika megszületése és kezdeti évei*

Egy differenciálegyenlet megoldásának keresése közelítő számítási eljárások segítségével.

instabilis perturbáció

Götz Gusztáv: *A klímadinamika megszületése és kezdeti évei*

Egy közel állandó paraméterekkel jellemezhető áramlás olyan jellegű befolyásolása, amelynek következtében a módosító hatás időben növekszik.

barotrop diszturbáció

Götz Gusztáv: *A klímadinamika megszületése és kezdeti évei*

Egy kétdimenziós áramlás olyan jellegű változékonysága, amely csak az alapáramlás örvényességétől (egységnyi felület körüli cirkulációjától) és a földforgás helyi függőleges összetevőjétől függ (más szóval Rossby-hullám).

szolenoid

Götz Gusztáv: *A klímadinamika megszületése és kezdeti évei*

Két különböző skalár (nem vektor) jellegű meteorológiai paraméter (például a nyomás és a sűrűség) ekvivaláris felületei által határolt hasáb.

Folytatás a 28. oldalon

* * *

A klímadinamika megszületése és kezdeti évei – történeti visszapillantás

Neumann János kezdeményezésére 1955 őszén a világ harminc eminens kutatója ült össze Princetonban, hogy megvizsgálja az általános légkörzés numerikus modellezésének lehetőségeit. A tanácskozás anyagát tartalmazó könyv *Dynamics of Climate* címmel jelent meg. Ma ezzel a konferenciával azonosítjuk a klímadinamika megszületését. Az új tudományág tehát egyidős folyóiratunkkal, a *Légkörrel*.

Előzmények

A klímadinamikai kutatások elindítása, a numerikus időjárás-prognosztika megalapozásához hasonlóan, szorosan kapcsolódott Neumann János sokrétű tevékenységéhez. A meteorológus közösség gyakran idézi fel, hogy a légkör dinamikája egyike volt azoknak az összetett, nemlineáris* problémáknak, amelyeket Neumann a második világháború befejeződését követően különösen termékeny területnek tekintett a matematikai kutatások számára. „Sok fontos probléma van a hidrodinamika, aerodinamika, égi mechanika terén, és különböző más területeken..., amelyek kizárólag olyan belső sebességgel rendelkező gépekkel kezelhetők, ami csak elektronikus úton érhető el... Egy befejezett gép használata... merőben új lehetőségeket fog megnyitni az égi mechanikában, a dinamikus meteorológiában és a statisztika különböző területein, valamint a matematikai gazdaságtan bizonyos részeiben, hogy csak a legnyilvánvalóbb területeket említsem” írta 1945 szeptemberében Frank Aydellotte-nak, a princetoni Institute for Advanced Study (IAS) akkori igazgatójának, igyekezvén rávenni őt egy elektronikus számítógépes projekt támogatására.

Az IAS 1933-ban történt létrehozásához az alapítványi javadalmat a Bamberger és Fuld családok biztosították, akik New Jersey állam északi részén az áruházi üzletágban alapozták meg vagyonukat, és akiknek deklarált szándékuk volt, hogy a kutatóintézet neves tudósok csendes szellemi alkotó munkájához teremtsen meg a feltételeket. Neumann az IAS megalapítása óta volt egyike a kinevezett matematikaprofesszoroknak. Tudnia kellett ezért, hogy új keletű kezdeményezése egyáltalán nem áll összhangban az intézet kutatási hagyományaival, ahol nem voltak laboratóriumok, a matematikát és a fizikát pedig kizárólag elméleti síkon tanulmányozták. Norbert Wiener, a kibernetika megalapozója, meg is jegyezte ezt a problémát, megkísérelve, hogy maga mellé, a cambridge-i Massachusetts Institute of Technology (MIT) professzori állásába csábítsa át Neumannt: „Míndezen hogyan illeszkedik bele a Princetintute-

ba? Olyan helyzetbe rohansz, ahol labor kell hogy legyen a kezded ügyében, márpedig elefántcsonttornyokban nem nőnek laborok.”

Neumann tekintélye révén az elgondolást mégis siker koronázta. A szervezési és finanszírozási kérdések tisztázása után igen hamar, már 1945. november 6-án jóváhagyták az IAS Electronic Computer Projectjét. A terv végrehajtása négy csoportba volt szervezve, Neumann felügyelete és Herman H. Goldstine napi irányítása alatt. Arthur Burks, Goldstine és Neumann feleltek egy belső programvezérlésű, párhuzamos rendszerű elektronikus, digitális, univerzális számítógép a végül ünnepélyesen 1952. június 10-én felavatott IAS-gép logikai tervezéséért. Kezdetben Julian Bigelow, majd 1951-től James Pomerene vezette a műszaki fejlesztésen dolgozó mérnökök és technikusok csoportját. Goldstine és Neumann, alkalmanként más matematikusokkal együttműködve, végezték a matematikai analízis és a programozás tervezését. Végül a negyedik csoport feladata egy meteorológiai programon belül az időjárás számítógépes előrejelzésének gyakorlati megvalósítása volt, 1956 közepéig tartó fennállásának legnagyobb része alatt Jule G. Charney irányításával.

Kísérletek az időjárás numerikus előrejelzésére

Nem teljesen világos, hogy miként keltette fel a prognosztikai probléma Neumann érdeklődését, de bizonyosan nagy hatással volt rá a chicagói egyetem meteorológus professzora, Carl-Gustaf Rossby. Ők ketten 1942 nyarán, egy tudományos ülészakon találkoztak először Chicagóban, és Neumann ekkor értesült azokról a manuális próbálkozásokról, amelyeket Lewis F. Richardson hajtott végre még az első világháború során és azt követően. Mivel egy elektronikus számítógép alkalmasnak látszott a prognosztikai feladat numerikus megoldásához szükséges hatalmas mennyiségű számítás elvégzésére, Neumann később ezt a problémát szemelte ki az új számítógépes technológia tudományos hasznosságának döntő próbájához. Rossby pártolta az elképzelést, és 1946 áprilisában többször is megbeszélést folytatott Harry Wexlerrel, a U.S. Weather Bureau kutatási igazgatójával, valamint Luis de Florez kapitánnyal, a Navy's Office of Research and Invention parancsnokával, akik ígéretet tettek egy ilyen jellegű kutatás támogatására. A cél az írta Rossby Neumannnak, hogy „megvizsgáljuk a légkör általános cirkulációjára vonatkozó elgondolásaink megalapozottságát, azzal a szándékkal, hogy meghatározzuk a cirkuláció állandósult állapotát, és annak reagálását önkényesen alkalma-

zott külső kényszerekre”, remélve, hogy az „némi fényt deríthet az éghajlat ingadozásainak természetére”.

A haditengerészet anyagi támogatásával az IAS meteorológiai programja 1946. július 1-jén indult. A Charney által vezetett csoport amelynek tagjai közül Ragnar Fjörtoft, John Freeman, George W. Platzman és Joseph Smagorinsky személyét kell kiemelniük az elméleti kérdések tisztázását követően, 1949 októberétől kezdve már az ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) gépen elvégzendő számítások előkészületeire összpontosíthatta figyelmét, miután kiderült, hogy az IAS-gép még legalább egy évig nem éri el az üzemképes állapotot. Az első nagy sikert 1950 tavaszán könyvelhették el, amikor megfigyelt kezdeti feltételekből kiindulva, egy kétdimenziós barotrop modell alkalmazásával megszületett az 500 hPa-os szint topográfiájának két 12 órás és négy 24 órás numerikus előrejelzése. Neumann maga mindenekelőtt azzal járult hozzá az elméleti munkához, hogy a feladathoz igazította a diszkretizált* kormányzó egyenletek numerikus integrálásának* számítási stabilitását biztosító feltételt, amelyet még 1928-ban vezetett le három göttingeni matematikus, Richard Courant, Karl Friedrichs és Hans Lewy.



Az IAS meteorológiai programjának néhány tagja 1952-ben. Balról jobbra: J. Charney, N. Phillips, G. Lewis, N. Gilberg és G. Platzman

Az IAS meteorológiai programja által felmutatott haladás 1952 nyarán arra ösztönözte Francis W. Reichelderfert, a Weather Bureau vezetőjét, valamint a légierő és a haditengerészet időjárás szolgálatainak parancsnokait, hogy megvizsgálják a közösen elvégzendő operatív numerikus előrejelzési munka lehetőségeit a Princetonban kidolgozott, egyre fejlettebb modellek alkalmazásával. Ennek a gondolatnak az eredményeként

alakult meg a Maryland állambeli Suitlandben, 1954 júliusában a mai National Centers for Environmental Prediction (NCEP) elődje, a Joint Numerical Weather Prediction Unit (JNWPU), amelynek állományát és anyagi fedezetét a három időjárás szolgálat biztosította. Igazgatónak George P. Cressmant, a fejlesztési részleg irányítójának Philip D. Thompson, a légierő őrnagyát, a számítástechnikai részleg vezetőjének Joseph Smagorinskyt, az operatív és elemző részleg főnökének pedig Edwin Fawcettet nevezték ki. Nem sokkal a JNWPU megalakítása után elkezdtek annak a háromszintes baroklin modellnek a kódolását, amelyet 1953-ban Cressman dolgozott ki Princetonban. Az operatív előrejelzések kiadása 1955. május 15-én indult el az egység új, IBM 701-es számítógépén. Mindazonáltal nem ezek voltak a világ első rendszeres numerikus időjárás prognózisai: a stockholmi egyetemen Rossby meteorológiai tanszékének három munkatársa Philip Thompson, valamint az IAS-tól Norman Phillips, továbbá két izlandi kutató segítségével valamivel korábban, már 1954 decemberének elején hozzákezdhetett az IAS-gép tervei felhasználásával 1953-ban felépült svéd BESK (Binar Elektronisk Sekvens Kalkylator) gépen a 48 órás rutin számszerű előrejelzések kibocsátásához.

Időközben az IAS-ben a figyelem fokozatosan egy új, a rövid távra szóló numerikus prognózisok metodikájának fejlesztésénél nagyobb kihívást jelentő kérdés, nevezetesen a légkör általános cirkulációjának szimulálása felé fordult. A problémán a munka komolyabb intenzitással 1953-ban kezdődött el, és ennek során átgondolásra érdemes elméleti és számítási kérdések egyaránt felmerültek. Foglaljuk össze vázlatosan azt az ismeretanyagot, amelyre a kutatók az új kihívással való megbirkózáshoz abban az időben rendelkeztek.

Az általános légköri mozgás modellezésének megalapozása

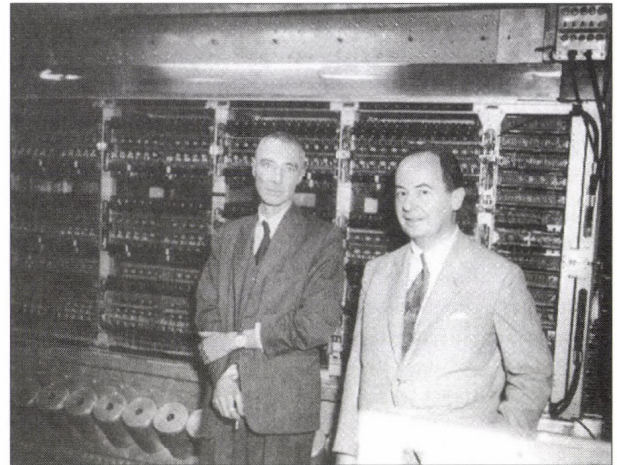
Az idő kerekét az 1910-es évekig visszaforgatva, az első világháború okozta elszigeteltség a skandináv államokat egy rendkívül sűrű meteorológiai megfigyelő hálózat kiépítésére készítette. Az így nyert adatok elemzése vezetett el a polárfront és a polárfronthoz kapcsolódó hullámciklon felfedezéséhez, továbbá ahhoz a gondolathoz, hogy a hullámciklon a polárfront felületét érő instabilis perturbáció* növekedésének a következménye. Ezek a fejlemények ösztönözték Vilhelm Bjerknes és az általa alapított bergeni iskolát a meteorológia szilárd fizikai alapokra helyezésére. A numerikus prognosztika számára mindez két lényeges következményt vont maga után: Jakob Bjerknes és Erik Palmén 1937-ben a felső-troposzféra hosszúhullámait az időjárás helyzet fontos elemeként azonosították, Rossby pedig 1939-ben ezeket a (ma róla elnevezett) planetáris hullámokat az analitikus formában történő matematikai kezelhetőség érdekében

barotrop diszturbációként* elemezte. Később, a második világháború során horizontális és vertikális irányban egyaránt jelentősen megszorodott észlelések birtokában, a kutatók figyelme mindinkább a magas-légkörre, a polárfreonton kialakuló hullámról pedig a felső-troposferikus hullámra mint a nagytérségű légköri mozgások energiájának „letéteményesére” terelődött. Jakob Bjerknes 1948-ban írt munkájával a dinamikai instabilitás új formájának létezésére derült fény, amelynél a perturbáció az energiáját nem a polárfreont által elválasztott, nyíródo levegőrétegek kinetikus energiájából nyeri, hanem a felső légkör általános szolenoid* mezejéből. Kiderült az is, hogy a magassági hosszuhullámok számos jellemvonása válik megmagyarázhatóvá, ha feltételezzük, hogy a hullámok az átlagos zonális áramlás instabilis perturbációból erednek.

De hogy egy ilyen teória alkalmazhatóvá váljék, új elméleti hátteret kellett konstruálni. Jakob Bjerknes és Rossby munkájában impliciten már ott rejtett az elképzelés csírája, hogy a légkör nagytérségű áramlási rendszerét a többi mozgásformától annak kvázi-geosztrofikus* (vagy kvázi-divergenciamentes) karaktere különbözteti meg. Ezt a koncepciót azonban először explicit, tudatos szintre kellett emelni, hogy aztán a baroklin légkörre dinamikailag konzisztens módon alkalmazni lehessen. Jule Charney és Arnt Eliassen munkája nyomán vált fokozatosan mind világosabbá, hogy a légkör planetáris áramlási rendszerét a horizontális szél- és nyomási mezők közötti kvázi-egyensúly állapota jellemzi. Ennek felismerése a numerikus időjárás-prognosztikai probléma eredményes közelítésének kulcsa lett.

A baroklin hosszuhullámok kvázi-geosztrofikus kezelésének mintegy a mellékterméke volt az a felfedezés, hogy a légkör a közepes magasságban (az 5000 m-es szint tájékán) jó közelítéssel barotrop közegként viselkedik. Az IAS meteorológiai csoportja számára ezért önként adódott, hogy az első numerikus integrációhoz barotrop modellt válasszon. Természetesen a team mindegyik tagja tudta, hogy a nagytérségű légköri mozgások rövid távon disszipációtól mentes jellegűnek tekinthetők fel, tehát van értelme a sűrűlódás és a termikus aktivitás elhanyagolásának. De ha a légkör mégsem így viselkedne, Charney szerint akkor is a barotrop modellre esett volna az első választásuk, bár ekkor hamarabb kellett volna szembesülniük az energia betáplálódásának és disszipációjának problémájával.

A ciklonok keletkezésének kérdése szintén olyan ügy volt, amelynél lehetett némi igazolást találni a termikusan inaktív modellek használatának javára, és mindenképpen a soron következő megoldandó feladatot jelentette. Egy kétszintes baroklin modell alkalmatlannak bizonyult a ciklogenezis előrejelzésére, de nem azért, mert nem tartalmazta a potenciális energia szükséges forrását, hanem mivel a vertikális mentén bevezetett két szabadsági fokkal* nyilvánvalóan képtelenség volt



Robert Oppenheimer, az IAS igazgatója és Neumann János az IAS-számítógép előtt

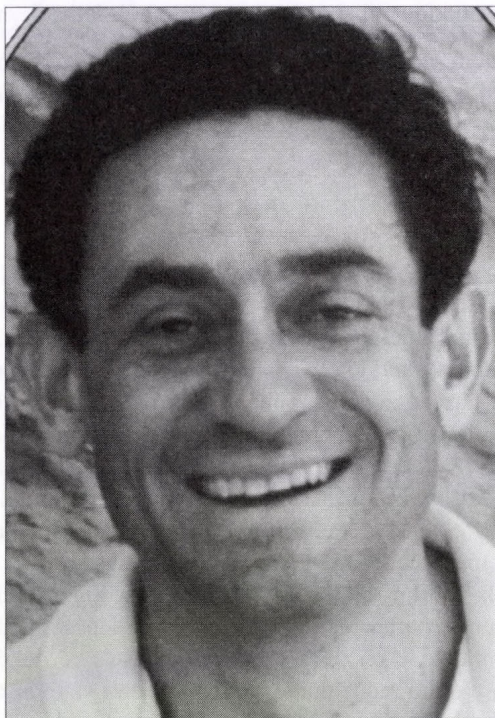
helyesen meghatározni a valós ciklogenetikus helyzetekben fellépő alsó szintű aszimmetriákat. Az a tény, hogy a ciklogenezis folyamatát végül egy háromszintes kvázi-geosztrofikus modell helyesen prognosztizálta, újólag megerősítette, hogy a nagytérségű légköri áramlás még a gyors fejlődés periódusaiban is a kvázi-geosztrofikus egyensúlyhoz közeli állapotban van.

Az IAS kutatói tehát eddig a pontig a légkört konzervatív rendszerként kezelték mondhatjuk úgy is, hogy azt vizsgálták, miként mozog a légkör a maga tehetetlensége révén. A baroklin modellek integrálását ugyan öt napos távig folytatták, de nem azért, mintha a tényleges folyamatokkal mutatott közeli hasonlóságot várták volna, hanem mert kíváncsiak voltak a reális áramlási kép szétrombolódásának menetére. Tisztán látták, hogy az előrejelzések hosszabb időtávra szóló kiterjesztése megköveteli mind az energia betáplálódásának, mind az energia disszipációjának a figyelembe vételét, és ezzel párhuzamosan a modellnek azt a képességét, hogy egy áramlási képződmény teljes életciklusát szimulálni tudja. Ennek a feladatnak a vizsgálata a legegyszerűbb módon, nevezetesen egy kétszintes modellel indult, amely felszíni sűrűlódást és földrajzilag rögzített hőforrást egyaránt tartalmazott.

Miközben az IAS munkatársai közvetlen célként egy diszturbáció életciklusának az előrejelzését tűzték ki, egyidejűleg figyelemmel kísérték azt is, hogy más kutatók miként igyekeznek közelebről megérteni az általános légkörzés problémáját. Harold Jeffreysnek a még 1926-ban tett (és annak idején kétséggel fogadott) alapvető feltételezését, amely szerint a légkör átlagos zonális mozgását nagymértékben az impulzusmomentum meridionális irányú, nagytérségű örvényes átvitele tartja fenn, V. P. Starr, J. Bjerknes és C. H. B. Priestley az 1940-es évek végén ismét vizsgálat alá vonta, és a lényegesen több információ birtokában megalapozott ténnyé léptette elő. 1951-ben R. Fjørtoft és H.-L. Kuo egy forgó sferikus burokban kialakuló barotrop mozgás

stabilitásának feltételét elemezték, és leírtak egy olyan mechanizmust, amelynek eredményeként a stabilis barotrop hullám átadja kinetikus energiáját a zonális áramlás kinetikus energiájának. Ekkor már csak egy lépés választott el a felismeréstől, hogy az instabilis baroklin hullám, a horizontális örvényes átvitel tekintetében a maga kvázi-barotrop viselkedésével, a szó szoros értelmében az a „turbulencia-elem”, amely az impulzus megfigyelt fluxusáért felelős. Ugyancsak a 20. század közepén derült fény azokra a mechanizmusokra, amelyek révén egy alapáramlás átadhatja energiáját egy diszturbációnak. A különböző mechanizmusokból származó feltételeket ma a dinamikai instabilitás különböző típusainak tekintjük. Az általános légköri szemponjtól a két legfontosabb típust a barotrop instabilitás és a baroklin instabilitás képviseli. Barotrop instabilitás esetében amelyet először Hsiao-Lan Kuo tanulmányozott az örvények az energiájukat az alapáramlás kinetikus energiájából nyerik, míg baroklin instabilitás esetében Charney és Eric T. Eady kimutatása szerint a diszturbációk energiája az alapáramlás hasznosítható potenciális energiájából* származik. Mindezen ismeretek birtokában már szinte teljesen világossá vált az út az általános légköri dinamikai elméletének megalkotása felé.

De ha Harold Jeffreys feltételezése negyed század múltán igaznak bizonyult, akkor mi a helyzet azzal a korábbi nézettel, miszerint a zonális cirkulációt rendezett meridionális cirkulációk tartják fenn? A chicagói egyetemen Dave Fultz, a cambridge-i egyetemen pedig



Jule G. Charney (1917–1981)

Raymond Hide az 1950-es évek elején forgókádas laboratóriumi kísérletek sorozatát végezték el, és kvalitatív kritériumokat találtak arra az esetre, amikor a folyadékban a tengelyszimmetrikus Hadley-rezsimet a forgástengelyre nézve aszimmetrikus Rossby-rezsim váltja fel. Felmerült a kérdés: ez a két rezsim kölcsönösen kizárja egymást? Eliassen, miközben azon dolgozott, hogy Rossby 1938-ban írt alapvető munkáját amelyben egyszerű áramlási rendszerekre vonatkozóan megadta a nyomás és a szélvektor kölcsönös igazodásának folyamatát szimmetrikus örvényre általánosítsa, 1952-ben olyan mechanizmus javaslatával állt elő, amelynek révén az impulzus vagy a hő örvényes fluxusának divergenciája szimmetrikus meridionális cirkulációt kelthet. Eliassen elképzelése szerint heves tehetetlenségi-gravitációs oszcillációk hiányában az áramlás átlagos zonális komponenséhez kapcsolódó Coriolis-erőt a zonálisan átlagolt bárikus erőnek kell kiegyensúlyoznia, továbbá elegáns matematikai gondolatmenettel kimutatta, hogy bármiféle kiegyensúlyozatlanságnak, amit akár a nagy- vagy kistérségű örvényes sűrűlási forgatónyomaték, akár a hőnek a nagy- vagy kistérségű örvényes átvitele kivált, azonnal az egyensúlyt visszaállító kényszerített meridionális cirkulációként kell manifesztálnia. Ezért a légkör kvázi-geosztrofikus modellje nem zárja ki eleve az átlagos meridionális cirkulációk létezését. Így nem egy Hadley-típusú tengelyszimmetrikus cirkuláció és egy Rossby-féle aszimmetrikus cirkuláció között kell különbséget tenni, hanem a Hadley-rezsimet kell megkülönböztetni egy Hadley-rezsim és egy Rossby-rezsim együttesétől. Mindebből pedig az következik, hogy egy egyszerű kényszerített-disszipatív (termikusan gerjesztett és a sűrűlás által csillapított) kétszintes kvázi-geosztrofikus rendszerrel leírható mind a horizontális örvényes cirkuláció, mind a meridionális cirkuláció folyamata.

Az általános légköri első sikeres modellje

Az első ilyen általános cirkulációs modellt 1955 közepére az IAS meteorológiai programjának megvalósításába 1951-ben bekapcsolódott Norman A. Phillips állította össze. A modell a légkör horizontális áramlási viszonyait a 750 és a 250 hPa-os szintre vonatkozóan szimulálta. Az előírás szerint a mozgás egy $0 \leq X \leq A$, $-B \leq Y \leq +B$ formában definiált derékszögű tartományban alakult ki, amelyet $Y = \pm B = \pm 5000$ km-nél merev függőleges falak határoltak, és amely $X = 0$ -nál és $X = A = 6000$ km-nél ciklikus folytonossággal rendelkezett (itt X a kelet, Y pedig az észak felé irányuló távolság koordináta). A kormányzó egyenletek, nevezetesen a két mozgás-egyenlet,

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v}_1 \cdot \nabla \right) (\beta Y + \zeta_1) - \frac{f_0 \omega_2}{p_2} = D \nabla^2 \zeta_1 \quad (1)$$

és

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v}_3 \cdot \nabla \right) (\beta Y + \zeta_3) + \frac{f_0 \omega_2}{p_2} = D \nabla^2 \zeta_3 - k \zeta_4, \quad (2)$$

valamint a termodinamikai energiaegyenlet

$$\frac{f_0 \omega_2}{p_2} = \Lambda^2 \left[\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \right) (\psi_1 - \psi_3) - \frac{R}{f_0 c_p} q \right] \quad (3)$$

alakúak voltak, ahol

$$q = -2h \frac{Y}{B} + D c_p \nabla^2 T_2. \quad (4)$$

Ezekben az egyenletekben $\mathbf{v} = (u, v)$ a horizontális sebességvektor, $\omega = dp/dt$ a vertikális koordinátaként a p nyomást alkalmazó rendszerben az általánosított vertikális sebesség, ζ az örvényesség vertikális komponense, ∇ az izobárfelületen alkalmazott horizontális gradiens-operátor, f a Coriolis-paraméter, $\beta = df/dY$ a Rossby-paraméter, $\psi = \Phi/f_0$ (ahol Φ a geopotenciál, f_0 pedig f egy állandónak megválasztott értéke), $D = 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ az alkalmazott oldalsó örvényes diffúziós együttható, k egy felületi súrlódási együttható, $R = c_p - c_v$ a levegő állandó nyomáson és állandó térfogaton vett specifikus hőjének különbsége (tehát a specifikus gázállandó), q a tömegegységgel közölt hő intenzitása, $h = 2 \times 10^{-3} \text{ kJ tonna}^{-1} \text{ s}^{-1}$ a tömegegységgel történő sugárzásos hőközlés alkalmazott intenzitása, T a hőmérséklet, továbbá

$$\Lambda^2 = \frac{f_0^2 \theta}{(\Phi_1 - \Phi_3)(\theta_1 - \theta_3)} = \text{const},$$

ahol Φ a potenciális hőmérséklet. Az 1, 2, 3 és 4 alsó indexek rendre a 250, 500, 750 és 1000 hPa-os szintre vonatkozó mennyiségeket jelölik. A modellben az ω_2 általánosított vertikális sebesség a légkör felső és alsó felében fellépő divergencia egyszerű mérőszáma, míg

$$\frac{f_0 (\psi_1 - \psi_3)}{R} \equiv T_2$$

az 500 hPa-os szint hőmérsékletének eltérése a standard légkörnek ehhez a szinthez tartozó hőmérsékletétől. A (4) egyenlet szerint a tömegegységgel történő q hőközlés két részből áll. Az egyik egyszerűen az oldalsó dif-

fúziós folyamat eredménye, a másik pedig nettó sugárzásként értelmezhető, amely a magas szélességeken ($Y > 0$) hűlést, az alacsony szélességeken ($Y < 0$) melegevést okoz.

Ha valamelyik x változóra alkalmazzuk az $(\bar{x}) = \frac{1}{A} \int_A (x) dX$ zonális irányú átlagolást, akkor az (1)–(3) prognosztikai egyenletek a rendszerben végbemenő energiaátalakulásokra vonatkozó állításokká transzformálhatók. Az energia a rendszerben kinetikus energia és hasznosítható potenciális energia formájában jelenik meg. A hasznosítható potenciális energia az 500 hPa-os szint hőmérsékletének változásával arányos, és ezért két rész összegére bontható: az átlagos zonális áramlás hasznosítható potenciális energiájára, amely a \bar{T}_2 hőmérséklet Y irány menti (meridionális) változásának a következménye, valamint a diszturbált áramlás hasznosítható potenciális energiájára, amely viszont a T_2 hőmérséklet X irány menti (zonális) változásából ered. A kinetikus energia ugyancsak felbontható az átlagos zonális áramlás kinetikus energiájának és a diszturbáció kinetikus energiájának összegére. A modellszámítások szépen igazolták a már említett, és Phillips kísérletével egyidejűleg az MIT-ben Lorenz által matematikailag is bizonyított tényt, hogy az átlagos zonális áramlás kinetikus energiáját a nagytérségű örvények szolgáltatják.

Noha Phillips geosztrofikus közelítést alkalmazott, az egyenletek megengedik meridionális cirkuláció kifejlődését. Ebben a kvázi-geosztrofikus rendszerben a vertikális mozgás úgy alakul, hogy biztosítsa az áramlási, nyomási és hőmérsékleti mezők geosztrofikus és hidrosztatikus egyensúlyi állapotának a fennmaradását. A (3) termodinamikai energiaegyenletből látható, hogy $\bar{\omega}_2$ nem szükségszerűen nulla, és $\frac{\partial (\psi_1 - \psi_3)}{\partial t}$ ismeretében kiszámítható. Ha pedig $\bar{\omega}_2$ ismert, akkor a kontinuitási egyenlet felhasználásával a meridionális cirkuláció meghatározható:

$$\frac{\partial \bar{v}_1}{\partial Y} = -\frac{\partial \bar{\omega}}{\partial p} \sim -\frac{\bar{\omega}_2}{p_2}.$$

A numerikus kísérlet kiinduló állapota a nyugvó légkör volt, amelyben a differenciált hőközlés lassan felépítette a meridionális hőmérsékleti gradienst és a hozzá tartozó zonális áramlást. 130 nap elteltével 60,2 fokos lineáris hőmérséklet-különbség alakult ki az $Y = -B$ és $Y = +B$ szélességi kör között, ami nagyjából azt a kritikus meridionális hőmérsékleti gradienst jelentette, amelynél ebben a kétszintes modellben az X irány mentén változó kis perturbációk instabilissá válhatnak. Phillips ekkor az X -szel változó, igen csekély véletlen perturbációt alkalmazott, az időlépcsőt pedig a folyamatok részleteinek elemzése érdekében $\Delta t \leq 2$ órára redukálta, és ezzel kezdetét vette az általános cirkuláció szimulálásának tényleges szakasza.



Norman A. Phillips

A kísérlet előzetes, igazodási fázisát lezáró 130. napon egyetlen gyenge, direkt meridionális cirkuláció jelent meg, amelynek maximális sebessége $0,03 \text{ m s}^{-1}$ volt. Ez a cirkuláció az átlagos zonális potenciális energiának átlagos zonális kinetikus energiává történő átalakulását szolgálta. A zonális áramlás eloszlása ezen a kezdő napon még nagyon szabályos volt: a 250 hPa-os szinten igen széles övben nyugati szél fúj, amelynek a maximális sebessége 36 m s^{-1} volt, míg a felszínnél (az 1000 hPa-os szinten) mindenütt gyenge, legfeljebb $1,1 \text{ m s}^{-1}$ -os keleti áramlás uralkodott. A valós légkör zonális áramlási mezejének jet-szerű karaktere ekkor még teljesen hiányzott.

A véletlen kis perturbációt követően az áramlási képben a következők események zajlottak le: (1) Először egy nagy, hullámszerű diszturbáció fejlődött ki, amelynek a hullámhossza az X irányban elérte a 6000 km-t. A hullámban az áramlás szerkezete a magassággal nyugat felé dőlt; a teknők és gerincek a kelet felé irányuló maximális előrehaladásukat az összes szinten a tartomány középső részén érték el. Az áramlási kép teknői az 1000 hPa-os szinten közeli hasonlóságot mutattak a szinoptikus térképekről jól ismert frontális teknőkkel. A diszturbáció meleg magvú ciklonként indult, és okkludált ciklonra emlékeztető képződményként zárta le életét. A hullám kelet felé 1800 km nap^{-1} sebességgel helyeződött át. Bebizonyosodott, hogy az időjárás frontok a ciklogenezis eredményeként jönnek létre, ellentétben a bergeni iskola tradicionális elméletével, amely szerint a ciklonok egy már létező polárfiónt instabilitásának a szülöttei. (2) A horizontális örvények zonális impulzust transzportáltak a tartomány középső részé-

be. Ennek eredményeként a 250 hPa-os szinten 80 m s^{-1} -os sebességet elérő jet alakult ki, és ezzel egyidejűleg az 1000 hPa-os szinten a zonális áramlás egymást váltakozva követő, keleti→nyugati→keleti irányítottságú képe jött létre. (3) Felépült egy háromcellás meridionális cirkulációs rendszer, amelyet a közepes szélességeken indirekt cella, attól északra és délre pedig egy-egy direkt cella alkotott.

A szimuláció elemzését röviddel a 26. napot követően sajnos le kellett zárni, mivel a véges differenciák számításával bevezetett csonkítási hibák gyorsan annyira tolerálhatatlanná váltak, hogy a 30. napon az áramlás elveszítette a valósággal mutatott minden hasonlóságát. Ennek ellenére az IAS-gépen lefutott kísérlet több szempontból is sikeresnek volt mondható. A modell helyesen szimulálta a felszíni zonális áramlás irányának váltakozását, a jet megjelenését, továbbá az energia pólus felé irányuló átvitelét, és az eredményül kapott kép feltűnően hasonló volt ahhoz, amit empirikus úton talált Victor P. Starr és Edward N. Lorenz az MIT-ben, valamint Jakob Bjerknes a munkatársaival a kaliforniai egyetem Los Angeles-i tagozatán. A részleteket tekintve természetesen voltak hiányosságok; így például a modell nem adta vissza a szubtrópusi keleti szeleknek a poláris keleti szélzónához viszonyított erősségét, az átlagos meridionális hőmérsékleti gradiens túl nagyra bizonyult, és a diszturbációk bizonyos jellegzetességei sem voltak eléggé reálisak. Mindez azonban indokolható volt a kormányzó egyenletek nagymérvű leegyszerűsítésével.

Phillips a kísérletét azon a nemzetközi konferencián mutatta be, amelyet Neumann János kezdeményezésére 1955. október 26–28-án rendeztek meg az Institute for Advanced Studyban, azzal a kifejezett céllal, hogy megtárgyalják a numerikus integrációs technikák alkalmazásának lehetőségeit az általános cirkuláció problematikájának kezelésében. A világ harminc élenjáró kutatója jelenlétében az ülést az intézet igazgatója, J. Robert Oppenheimer nyitotta meg, párhuzamba állítva a konferenciát azzal a tanácskozással, amelyet annak idején Los Alamosban rendeztek a Manhattan Terv keretében előállítandó atombombával összefüggő teendőket megvitatására, és kifejtette, hogy véleménye szerint a légköri mozgások nemlineáris dinamikájával foglalkozó kutatók most egy annál lényegesen bonyolultabb problémával szembesülnek.

Norman Phillips úttörő munkáját 1956-ban a Royal Meteorological Society a Napier Shaw Memorial Prize odaítélésével honorálta.

Nyitva maradt kérdések

A princetoni konferencia egyik középponti témáját természetesen a „hogyan tovább?” kérdése alkotta, amelyet Neumann és Charney egyaránt a teljes nume-

rikus prognosztikai feladatkör osztályozásával igyekezett megválaszolni. Más-más megközelítésben mindketten rámutattak arra, hogy adott (a) a rövid távú előrejelzések problémája, (b) a hosszú távú előrejelzések problémája, és (c) a klimatológia problémája. Az első olyan távra szóló prognózisként definiálható, amely egy tipikus légköri diszturbáció disszipációs (vagy relaxációs) idejénél rövidebb, vagy azzal összevethető, a második a disszipációs idő többszörösének távjára vonatkozik, míg a harmadik a $t \rightarrow \infty$ prognózis, vagy ahogy ők fogalmaztak, „egyetlen légkör vagy a légkörök sokasága időbeli és térbeli változásai statisztikájának az előrejelzése”. És mindkét kutató nézete megegyezett abban a később sokszor idézett megállapításban, miszerint „az első és az utolsó probléma messze a legegyszerűbben megoldhatónak látszik, míg a második csaknem megoldhatatlannak”. Charney ehhez hozzáfűzte, hogy azért a hosszú távú előrejelzések esetében is lehetnek enyhítő körülmények. Ha például a légkör ismert gerjesztéssel rendelkező, lineáris disszipatív rendszer lenne, akkor elegendő idő elteltével bármely létező szabad mozgás kioltódna, és az áramlás egy tiszta kényszerített oszcilláció képét venné fel. Ezért ebben az esetben a kezdeti feltételek előírásánál, vagy a folytonos mozgásegyenletek diszkretizációs módszerrel történő megoldásánál elkövetett hibák nem akkumulálódnának az előrejelzés pontosságát lenullázó mértékig, hanem a pontosság lényegében állandó maradna, és csak az áramlás matematikai leírásának egzaktságától függne. Ez az eset természetesen kizárólag olyan rendszerre példa, amely el tudja felejteni a múltját. A légkör azonban nemlineáris rendszer, ezért nem rendelkezik ezzel a szerencsés tulajdonsággal: a légkör emlékezik viszont a disszipáció révén felejt is. A döntő kérdés így az, hogy ténylegesen mire emlékszik vissza. Ha például csak egy térben vagy időben átlagolt állapotra tud emlékezni, akkor legalább ennek az átlagolt állapotnak prognosztizálhatónak kell lennie. Charney szerint éppen ez a hosszú távú előrejelzés problémája.

Ami pedig az általános légköri szimulálásának fejlesztési perspektíváit illeti, a konferencia résztvevői leszögezték, hogy egy teljesen generalizált modellben a légkörnek magának kell meghatároznia az energiaforrásait. Phillips modellje ezt a követelményt nem teljesítette; abban a hőforrás földrajzilag rögzített volt. Charney az általános cirkuláció energetikai problémájával összefüggésben nyolc kérdést fogalmazott meg: (1) Hogyan kell egyszerű modellekbe a rövid- és hosszuhullámú sugárzásátvitelt egyszerűen beépíteni? (2) Miként lehet a konvektív hőátvitelt numerikusan kezelni? (3) Hogyan lehet a vízanyag párolgását és kondenzációját számításba venni? (4) Mivel a felszínlégkör rendszer által ab-

szorbeált szoláris energia mennyisége az albedótól függ, képeseknek kell lennünk a felhőzet eloszlásának az előrejelzésére. Hogyan tegyük ezt? (5) Milyen a légkörben a különböző energiaforrások és energianyelők átlagos elrendeződése? (6) Hogyan hat vissza az óceán két alapvető mozgásformája, nevezetesen a légáramlás által keltett Ekman-sodrás és a termohalin cirkuláció a légköri folyamatokra? (7) Laboratóriumi kísérletek bizonyítják, hogy a légkör áramlási rendszere bizonyos mértékig független a hőforrások eloszlásának részleteitől, és miután az összes hőforrás nem játszik egyformán lényeges szerepet, ezért mi az energiaforrások fontossági sorrendje az általános légköri dinamikájában? (8) Hogyan tevődik át az energia egyik mozgásrendszerrel a másikra, létrehozva a planetáris hullámok között megfigyelhető szoros kapcsolatot?

Charney ehhez a nyolc, energetikát érintő kérdéshez még két, statisztikus mechanikai jellegű kérdést is fűzött: (1) Hogyan kell a klíma-statisztikákat meghatározni? Helyettesíthetők-e az időátlagok a sokaságátlagokkal, és ha igen tehát a rendszer ergodik, akkor miként kell a sokaságot megválasztani? (2) Laboratóriumi kísérletek alapján tudjuk, hogy adott külső határfeltételhez egynél több olyan stabilis állandósult állapot tartozik, amelyben a folyadék létezhet. Ennek a ténynek a fényében milyen kezdeti állapotot választunk meg, ha az időátlag módszerét alkalmazzuk, illetve hogyan jelöljük ki a sokaság tagjait, hogy azok a fázistér kölcsönösen elérhető tartományában helyezkedjenek el?

Szervezeti változások

Ezekre a klímadinamikai kérdésekre a választ a kutatók már nem az Institute for Advanced Study meteorológiai programja keretében keresték. A konferencia idején Neumann János már nem tartozott az IAS kötelékébe; őt Eisenhower elnök 1955 márciusában igen magas pozícióba, az Atomic Energy Commission tagjává nevezte ki. Rajta kívül az IAS-ban nem akadt más kari tag, aki érdeklődést mutatott volna a program iránt. „Erősen hangot kapott az a vélemény sok olyan ember részéről, akik egyébként Neumann barátai voltak az intézetnél, hogy semmi kísérleti dolgot nem kellene vállalni... Ez meglehetősen mélyen belegázolt az önérzetembe, és valószínűleg ez volt a legfontosabb oka annak, hogy ott hagytam az Institute for Advanced Studyt” írta később Charney az IAS-ból a chicagói egyetemre korábban már visszatért George Platzmannek. Charney és Phillips számos ajánlat közül az MIT állásajánlatát fogadták el; távozásukkal az IAS-ban 1956 közepén a meteorológiai program lezárult. Öröksége azonban jelen maradt a JNWPU által folytatott



Joseph Smagorinsky (1924-2005)

projektekben, valamint a világ számos neves kutatóhelyén elkezdett általános cirkulációs és egyéb programokban.

1955 júliusának végén, azt követően, hogy a Phillips-féle modell értéke belső körökben már nyilvánvaló volt, de még azelőtt, hogy Princetonban megtartották az általános légköri szimulálásával foglalkozó konferenciát (amelynek teljes anyaga *Dynamics of Climate* címmel 1960-ban, a Pergamon Press gondozásában, könyv alakban is megjelent), Charney és Neumann, valamint a Weather Bureau részéről Wexler javaslatot fogalmaztak meg az általános cirkuláció dinamikáját elemző projekt létrehozására. Az előterjesztésben felkérték a Weather Bureau-t, a légierőt és a haditengerészetet, hogy együttesen alakítsanak meg Suitlandben egy kutatócsoportot, amelynek hozzáférést biztosítanának a JNWPU IBM 701-es számítógépéhez, hogy a princetoni irányvonalak mentén folytassa az általános légköri tanulmányozását. Javasolták egy tudományos tanácsadó bizottság létrehozását is Charney, Phillips, Neumann és Wexler részvételével.

A Weather Bureau, a légierő és a haditengerészet lényegi módosítás nélkül beleegyezett, hogy finanszírozzák a tervet. Az 1955 októberében megalakult General Circulation Research Section vezetésére Wexler kapott megbízást, de még abban a hónapban ezt a tisztséget Joseph Smagorinsky vette át. A csoport gyorsan gyarapodott: 1959-ben a General Circulation Research Laboratory nevet vette fel, majd 1962-ben, amikor megkapta saját IBM 7030-as számítógépét, Washington belvárosába költözött. 1963 óta működik a ma ismert Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) elnevezéssel, és 1968-ban települt át végleges helyére, a

princetoni egyetem Forrestal Campusára. Az ezt megelőző év is fontos mérföldkő volt az intézmény életében. Jelenleg is aktív két munkatársa, Syukuro Manabe és Richard T. Wetherald 1967-ben publikálta azt a tanulmányt, amelyet a folyamatosan növekedő légköri széndioxid koncentráció termikus hatásának első hiteles kiszámításaként tartunk számon. A két kutató egyváltozós energiaegyensúlyi modellje egy megduplázódott CO₂-koncentrációra a relatív nedvesség adott eloszlása esetén 2,3 fokos, az abszolút nedvesség rögzített eloszlása mellett pedig 1,3 fokos globális melegedést eredményezett.

Epilógus

Az éghajlati folyamatok egzakt tanulmányozása hátterének a megteremtéséhez fontos eseményt jelentett az emberi környezet állapotának megóvása érdekében 1972 júniusában, Stockholmban összeült ENSZ-konferencia. A résztvevők határozatot hoztak egy környezetvédelemmel foglalkozó program, a UNEP elindításáról. Javasolták továbbá, hogy a Meteorológiai Világszervezet (WMO) és a Tudományos Uniók Nemzetközi Tanácsa (ICSU) égisze alatt működő Globális Légkörkutató Program (GARP) keretében a légkör tranzien viselkedésének vizsgálata mellett kapjon a korábbinál lényegesen nagyobb hangsúlyt az általános légköri dinamikájának elemzése. A GARP közös, WMO/ICSU szervező bizottsága (a JOC) ezért 1974 nyarán, közel hetven neves elméleti kutató bevonásával, kéthetes szakmai tanácskozást rendezett a Stockholm melletti Wijkben, majd a JOC még annak az évnek a novemberében, Budapesten tartott ülésén döntött egy klímadinamikai alprogram létrehozásáról.

Az évek során az antropogén kényszerek várható éghajlati hatásának projektálását (az ún. feltételes prognózisok készítését) jelentő szellemi kihívás, karöltve a társadalmi elvárásokkal, mind több légkördinamikával foglalkozó szakembert ösztönzött egyre komplexebb klímamodellek megalkotására. Az előrehaladás, köszönhetően a számítástechnikai háttér fejlődésének is, valóban rohamos volt. Amikor 1983-ban Joseph Smagorinsky leköszönt a GFDL igazgatói posztjáról, és a nyugalomba vonulás mellett döntött, már joggal állíthatta, hogy „a klimatológia a leíró geográfia tiszteletre méltó ágából a fizika tudományának kvantitatív diszciplínájává alakult át”.

Götz Gusztáv

* * *

Megemlékezés a Meteorológiai Világszervezet (első)¹ Éghajlati Világkonferenciájáról

Amikor a „Légkör” c. folyóirat 50-évvél ezelőtti megindítására emlékezünk, gondolataink önkéntelenül is abba az irányba fordulnak, hogy szakmánk területén mi minden történt e fél évszázad folyamán, és milyen fejlemények határozták meg e periódus mérlegét. Az egyik, sőt valószínűleg a legfontosabb ilyen fejlemény az ember okozta klímaváltozás kérdésének előtérbe kerülése volt.

Az (első) Éghajlati Világkonferenciát, melyet a Meteorológiai Világszervezet 1979. február 12. és 23. között rendezett Genfben, ma már mi meteorológusok is kezdjük méltatlanul elfelejteni. A társtudományok szakemberei meg lehet, hogy nem is hallottak róla, és ez sajnálatos, mert olyan eseményről van szó, mely – ha az összefüggéseket számításba vesszük – az összes klíma-változással kapcsolatos konferencia és csúcsertekezlet között mind a mai napig valószínűleg a legfontosabb volt. Ez volt az a konferencia, mely az antropogén klímaváltozás kockázatáról először adott bámulatosan korrekt, átfogó képet a világ számára. Igaz, hogy a politikai közeg és a média-világ erre alig reagált, de mégis ezen a konferencián történt meg a probléma első precíz megfogalmazása, és itt került sínre az „Éghajlati Világprogram”.

E kritikusan fontos konferencia emlékének felidézését kicsit személyes ügyemnek is tekintem. A WMO Globális Megfigyelő Rendszer Munkacsoportja elnökeként, majd az Európai Regionális Asszociáció Elnökeként módomban volt a konferencia előkészületeiben és lebonyolításában folyamatosan részt venni. Ennek folytán belülről láttam az események menetét. Ma már sajnos világszerte kevesen élnek azok közül, akik ebben a munkában – szervezői szinten – akkor részt vettek. Ez a visszaemlékezés ezért kötelességem is.

Ehhez hozzáteszem, hogy 1979 áprilisában, az Éghajlati Világkonferenciát követő WMO Kongresszuson felkérést kaptam a Világszervezet tudományos programjainak főigazgatói posztjára. Ennek folytán további 11 éven át volt módom a Világkonferencia utóéletét, vagyis az Éghajlati Világprogram sorsát figyelemmel kísérni.

A világkonferencia előzményei

Az antropogén klímaváltozás problémájának nemzetközi síkra vitelét a Meteorológiai Világszervezet (továbbiakban WMO) kezdte szorgalmazni az 1960-as években. Ennek természetesen voltak előzményei. Általában arra szokás hivatkozni, hogy Svante Arrhenius svéd kémikus már 1896-ban elméletet és számításokat közölt arról, hogy a széndioxid légköri koncentrációjának változásai hogyan befolyásolhatják a globális klímát. De jól tudjuk, hogy Arrhenius felvetése nem vert fel nagy port.



Neumann János (1903–1957), „a számítógép atyja”, feleségével, Karival, és Inverz nevű kutyájukkal. Közreműködésével hajtották végre az első sikeres számítógépes időjárás előrejelző modellkísérletet. Ugyancsak ő vetette fel az Általános Légkörszűrés modellezésének gondolatát, és ő teremtette meg a klíma nagyskálájú modellezésének előfeltételeit. Ma is idézni szoktuk a feladattal kapcsolatban adott kristály tiszta megfogalmazását: „az időjárás előrejelzése kezdeti-érték feladat, a klíma előrejelzése viszont peremfeltétel feladat”.

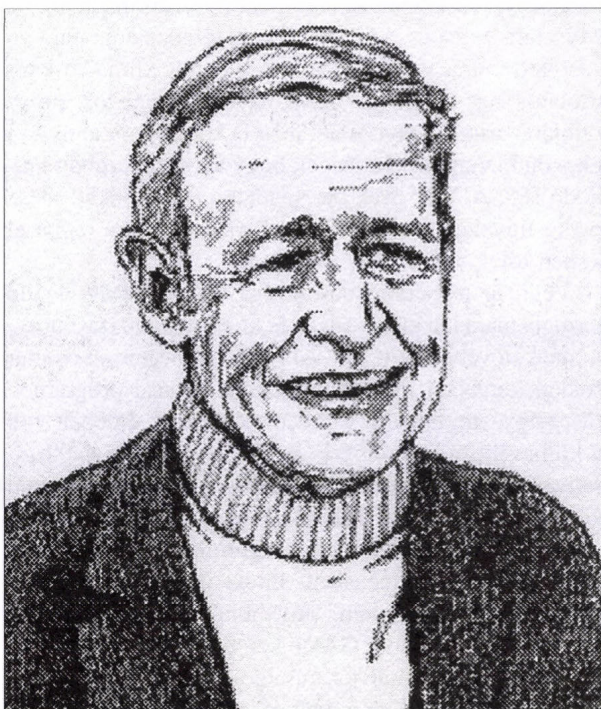
Kevesen reagáltak rá, és akik reagáltak, azok többnyire kétségbe vonták a következtetéseit.

Ezen a téren az első nagy fordulat 1955-ben következett be, amikor Neumann János publikálta azt a bizonyos híres cikkét, melyben felhívta a figyelmet arra, hogy az emberiség szaporodik, a technika fejlődik, és

¹ Az 1979-évi Éghajlati Világkonferencia megrendezésekor, még fel sem merült, hogy lesz „második”, sőt esetleg több ilyen konferencia. Ezért a konferencia nevében akkor nem szerepelt az „első” megjelölés. Csak a második éghajlati világkonferencia megrendezése után kezdtek visszamenőleg használni ezt a számozást az elsőre vonatkozóan is.

ezzel szemben a földi erőforrások végesek. Ebben a cikkben írta le azt, hogy ha lehetségessé válik a globális éghajlat ember általi módosítása, akkor ebből minden eddigénél súlyosabb biztonságpolitikai válság származhat. Ezen túlmenően ugyancsak ő szorgalmazta, és Joe Smagorinsky helyzetbe hozásával ő tette lehetővé, az Általános Légekörzés számítógépes modellezésére vonatkozó kutatások és kísérletek megindítását.

Neumann János kezdeményezésével majdnem pontosan egy időben, Roger Revelle, aki akkor a Scripps Oceanográfiai Intézet igazgatója volt, minden követ megmozgatott, hogy a Mauna Loa csúcsán 1957-től megindulhasson a légköri széndioxid koncentráció mérése. Ha ezt nem tette volna meg, akkor az 1970-es évekre nem gyűlhetett volna össze az a bizonyító megfigyelési anyag, amiből kitűnt, hogy a széndioxid légköri koncentrációja folyamatosan növekszik.



Roger Revelle (1909–1991), a Scripps Oceanográfiai Intézet Igazgatója (1951–1964). Ő kezdeményezte a Mauna Loa Observatórium létrehozását és ott a légköri szén-dioxid koncentráció rendszeres mérésének megindítását. Elsőként körvonalazta az antropogén klímaváltozás tudományos és társadalmi jelentőségét és lehetséges következményeit.

Amerikában tehát az antropogén klímaváltozás ügyével már az 1950-es évek közepétől kezdve nagyon komolyan foglalkoztak. Ez más országokban alig keltett érdeklődést, és ezért a klíma probléma még az 1960-as években is szinte kizárólag „amerikai téma” maradt. A WMO volt az a fórum, ahol az első kezdeményezések

megtörténtek a téma iránti nemzetközi érdeklődés felkeltése érdekében.

Akkoriban a WMO (ellentétben az ENSZ többi szakosított szervezetével) következetesen törekedett arra, hogy megőrizze tisztán tudományos és technikai, vagyis politikamentes arculatát. Ez a WMO-nak nagy erőssége volt, melyből hitelt meríthetett (de egyúttal nagy gyengéje is volt, amire még visszatérek). A politikamentesség elvi alapjáról kiindulva a WMO-nak módjában volt 1960-ban kutatási együttműködési megállapodást kötni a Tudományos Uniók Nemzetközi Tanácsával (továbbiakban ICSU²).

Az első műholdak pályára kerülése nyomán az ENSZ Közgyűlése több fontos határozatot hozott a világűr békés felhasználása tárgyában. Ezek között kettő is volt melyek felhívták a WMO-t, illetőleg az ICSU-t, hogy tegyenek megfelelő lépéseket az űrtechnika meteorológiai tudományos hasznosítása érdekében. Ez vezetett oda, hogy 1967 októberében az ICSU és a WMO közösen létrehozta a Globális Légekörkutatási Programot (továbbiakban GARP³). A program alapvető tudományos céljait 1968-ban rögzítették, és a megjelölt célok között már akkor ott volt azon folyamatok vizsgálata, melyek



Robert M. White,
1979-ben az USA Óceáni és Légköri Hivatalának vezetője, az első Éghajlati Világkonferencia tudományos elnöke. Döntő szerepe volt a meteorológiai műhold-rendszer létrehozásával és a globális meteorológiai megfigyelő rendszer egészének kiépítésével kapcsolatos USA programok sínre tételében.

² ICSU = International Council of Scientific Unions. Ez az együttműködés azóta is alapjául szolgál több kulcsfontosságú kutatási programnak

³ GARP = Global Atmospheric Research Program

szükségesek a klímaváltozás fizikai alapjainak megértéséhez.

A WMO és ICSU már 1968-ban megkezdte a klímaváltozással kapcsolatos kutatási világprogram tervezését. Ebben akkor mi magyarok is részt vettünk. Meghívásunkra, 1974 novemberében Budapesten ülésezett a GARP (ICSU – WMO) szervező bizottsága. Ennek az ülésnek fontos szerepe volt abban, hogy a WMO Végrehajtó Bizottsága 1975-ben formálisan létrehozta a „WMO Panel of Experts on Climatic Change” elnevezésű testületet, mely már konkrét feladatul kapta egy „Éghajlati Világkonferencia” összehívásának előkészítését, és (az előbbivel összefüggésben) az „Éghajlati Világprogram” létrehozására vonatkozó részletes javaslat kidolgozását.

A Világkonferencia előkészületei és megrendezése

Az (első) „Éghajlati Világkonferencia” előkészületei 1978 áprilisában fordultak komolyra, amikor Luxemburgban összehívtuk azoknak az előadónak a koordinációs találkozóját, akiket felkértünk, hogy a következő év elejére kitűzött világkonferencián tartsanak előadásokat. E szűk körű ülés színvonala rendkívül imponáló volt (sokak szerint felülmúlta magát a világkonferenciát).

A konferenciára 1979. február, 12–23 között Genfben került sor. Az első héten 50 ország 350 képviselője volt jelen, a második héten 120 meghívott szakértő folytatta a munkát négy szekcióban. Az elhangzott előadásokat és vitákat egy közel 800 oldalas impozáns kiadvány örökítette meg [WMO – No. 537, 1979]. Tudományos szempontból teljes volt a siker. Ugyanezt már nem lehetne elmondani a konferencia sajtóviszhangjáról és politikai hatásáról.

A világkonferencia utolsó napján tartott sajtótájékoztatónk kudarcba fulladt. Tudományos konferencia-direktorunk *Robert M. White* (USA) bevezetőben tartott egy rövid, és tudományos szempontból korrekt bevezetőt, melyben erősen hangsúlyozta a bizonytalan pontokat. Ezzel a nemzetközi sajtó képviselőinek érdeklődését nem sikerült felkeltenie. Nekik fenyegető beszéd, konfliktus és blöff kellett volna, hogy „híryanag” legyen belőle. Ilyennel nem szolgálhattunk. Kiderült, hogy a WMO politikamentes magatartásának vannak hátrányai is.

Az „Éghajlati Világprogram létrehozása

Röviddel a konferencia után, 1979 májusában összeült Genfben a WMO Nyolcadik Kongresszusa, ahol azonnal napirendre került, és az alapos előkészítésnek

köszönhetően megtörtént az Éghajlati Világprogram létrehozása. Hangsúlyozni szeretném, hogy a februárban tartott (első) Éghajlati Világkonferencia témaköreinek csoportosítása már pontosan tükrözte azt a programstruktúrát, amely az Éghajlati Világprogram kereteit is meghatározta. Négy fő területet jelöltünk ki: a klíma adatok témakörét, a klíma alkalmazások témakörét, az éghajlati hatástanulmányok (impact studies) témakörét, és a klímakutatás és modellezés témakörét. Ezekből alakítottuk ki a teljes program négy fő komponensét. A programban való részvételre meghívtunk más nemzetközi szervezeteket is.

A tervezés egyik szempontja az volt, hogy megoszthassuk a feladatokat az ENSZ Környezet-védelmi Programjával (UNEP)⁴, ezzel az akkor még egészen új ENSZ szakosított szervezettel, melynek székháza Nairobi-ban épült fel. A UNEP az 1972-ben tartott stockholmi környezeti ENSZ Konferencia nyomán jött létre, és Musztafa Tolba úr, a UNEP akkori főigazgatója nagyon szeretett volna szerepet kapni a globális klímával kapcsolatos ügyekben. A klíma-hatástanulmányok programjára tartott igényt és azt meg is kapta. Ami annyiból okozott bizonyos nehézséget, hogy a Luxemburgban működő IIASA⁵ már évek óta végezte ezt a munkát, mégpedig figyelemre méltó sikerrel, és most ezt a témát el kellett tőlük venni.

Végül az lett a tárgyalások vége, hogy a WMO önálló gazdája maradt a klíma-adat-, és klíma-alkalmazási programnak, továbbá az ICSU-val közösen megtartotta a már sokkal korábban megindított klíma-kutatási programot. (Megjegyzem, hogy az Unesco⁶ ugyancsak érdekelt volt a klímaváltozás hidrológiai és oceanográfiai vonatkozásaiban, de nem volt olyan igényük, hogy a fő program komponensek bármelyikét önállóan átvegyék.)

A mi számunkra az volt a legfontosabb, hogy egyik fő program komponensként intakt maradt az „Éghajlatkutatási Világprogram” (továbbiakban WCRP⁷). Ez a program komponens a GARP keretében akkor már évek óta működött, és már jól kidolgozott munkaterve volt, melyben hosszú időre le voltak fektetve a legfontosabb teendőik körvonalai. A WMO fentebb említett Nyolcadik Kongresszusa haladék nélkül jóváhagyta ezeket a célkitűzéseket, továbbá a hosszútávú tervezést igénylő nagy nemzetközi kísérletek menetrendjét.

Az (első) Éghajlati Világkonferencia negatív tanulságai közé tartozott annak a felismerése, hogy nem értjük a sajtó nyelvét. Ma azt mondanám, hogy ez nem volt igazán nagy baj. Akkor azonban az volt a klíma ügyeket háttérből erősen befolyásoló nagyhatalmak álláspontja, hogy a klímaváltozás politikai kérdés. Mi magunk is úgy éreztük, hogy jobb, ha a nemzetközi közvélemény

⁴ UNEP = United Nations Environment Programme

⁵ IIASA = International Institute for Applied System Analysis

⁶ Unesco = United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

⁷ WCRP = Global Climate Research Programme

klíma-ügy iránti érdeklődésének felrázását olyanok veszik kézbe, akik ehhez nálunk jobban értenek. (Ezzel kissé ingoványos talajra tévedtünk.)

Az (első) Éghajlati Világkonferencia utóélete és mérlege

Ha az (első) Éghajlati Világkonferencia eredményei közül csak annyit emelhetnék ki, hogy e konferenciának volt köszönhető az Éghajlati Világprogram megszületése, akkor is olyan jelentős dologra hivatkozhatnék, mely indokolná, hogy e konferencia emlékét a legnagyobb becsben tartsuk. De ennél sokkal többről van szó.

Ez a konferencia volt az első nagy seregszemléje azoknak a kutatóknak, akik érdemben tudtak valami fontosat a témához hozzátenni. Ennek érzékeltetésére említtem, hogy ott és akkor hallottam először arról a fontos szerepről, melyet az El Niño anomáliák játszanak a szezonális klíma-ingadozásokkal kapcsolatban. Nem sokkal a Konferencia után ez a téma hirtelen újra figyelmet keltett az 1982–83 körüli El Niño esemény következtében, mely sokkal intenzívebb volt, mint bármelyik, melyet az előző száz év alatt észleltek. Ezzel az El Niño probléma, és az azzal szorosan összefüggő „Déli Oszcilláció” a legprominensebb klímával összefüggő kutatási témák sorába került.

Ezen a konferencián kerültek szembe egymással a klímaingadozással kapcsolatos kutatások különböző iskolái. A két legprominensebb tábor a klíma modellezőké és a paleoklíma kutatóké volt. Ha az ott elhangzott 27 előadást, ami kerekén 750 oldal (nem sok) végigolvassuk, legjobban azon csodálkozhatunk, hogy milyen jól sikerült ez a válogatás. Az előadások jól reprezentálták a klíma tudomány akkori helyzetét, és minden fontos kutatási irányban megtörtént a sínek lerakása.

Bár meglepően hangozhat, még a mostanság oly gyakran emlegetett „Kormányközi Éghajlatváltozási Testület” (IPCC⁸) struktúrája is az (első) Éghajlati Világkonferencia kapcsán kialakult gondolkodást tükrözi. Egész sor szakkifejezés ugyancsak akkor és ott került bele a tudományos szaknyelvbe. Mindez persze azért nem nagyon meglepő, mert az a csapat, mely ott összejött, azután még évekig prominens szerepet játszott a téma kutatásában és az ezzel kapcsolatos tudomány-szervezésben.

Ugyancsak az (első) Éghajlati Világkonferencia kapcsán merült fel, az akkor szerzett tapasztalatok nyomán, a Második Éghajlati Világkonferencia terve. Ezt a tervet a magam részéről már 1982-ben belevettem a WMO 10-éves tervének első fogalmazványába. Hosszú ideig vitáztunk arról, hogy ez a pont a jóváhagyásra előterjesz-

tett tervben tényleg szerepeljen-e. Ahogy azonban haladtunk előre az 1980-as években, egyre jobban szelődültek ezek a viták.

1988 derekán jellemző epizód történt. Málta kormánya „A globális klíma védelme a jelen és jövő generációk számára” cím alatt határozati javaslatot kívánt az ENSZ Közgyűlése elé terjeszteni. Patrick Obasi főtitkár távollétében a máltai nagykövet hozzám fordult azt kérve, hogy nyújtsak segítséget a javaslat szakszerű kidolgozásához. Habozás nélkül pozitívan reagáltam, és bevonva a WMO titkárság tudományos divízióit nagyon alaposan átfésültük a javaslatához készített háttéranyagot és szakmai indoklást. Arra gondoltam ugyanis, hogy a máltai javaslat frontáttörést eredményezhet, mert egy „fejldő ország” részéről jön, és nem kell attól félni, hogy az észak-dél ellentét miatt felkorbácsolt hangulatban majd nagy támadás indul ellene. Az anyag elkészült, a nagykövet a segítséget megköszönte és boldogan elment a kész dokumentummal. A főnököm nem sokkal ezután érkezett vissza Nigériából, és valaki azonnal feljelentett nála, hogy szabálytalanul jártam el (ami persze tökéletesen igaz volt). Meg is kaptam a nagy fejmosást (11 év alatt ez volt az egyetlen), és eléggé el is szontyolodtam.

Azonban két nappal később a máltai javaslatot az ENSZ Közgyűlése ellenszavazat nélkül elfogadta, és meghozta a 43/53 számú határozatát. Ezzel a határozattal történt meg, többek között az IPCC létrehozásának formális megerősítése is.

Ilyen előzmények után került sorra a Második Éghajlati Világkonferencia (1990. október. 29.–november. 7.), mely két részből állt: A „tudományos” rész október 29. és november 3. között zajlott le, az ún. „miniszteri ülésekre” november 6. és 7. folyamán került sor. Az utóbbi üléseken 137 ország 908 küldötte volt jelen. Margaret Thatcher is egyike volt a vezérszónokoknak. A Green Peace aktivistái hatalmas kötött léggömböt eresztettek a magasba a konferencia központ mellett, „Climate Criminals” felirattal. Majd odaláncolták magukat az út menti oszlopokhoz. Mindezzel már a riói Környezet és Fejlődés Világkonferencia (UNCED)⁹ előkészületeit ko-reografálták. Jelentősen hozzájárultak a sajtó figyelmének felkeltéséhez.

Mindezt azzal szeretném zárni, hogy az (első) Éghajlati Világkonferencia légköre összehasonlíthatatlanul kellemesebb, és szakmailag korrektebb volt, mint a másodiké. A különbség kb. ugyanaz, mint kenyéret vásárolni egy kis péküzletben, vagy egy szupermarketben. Az utóbbiban több a kenyér, az előbbiben viszont sokkal jobb.

Czelnai Rudolf

⁸ IPCC = Intergovernmental Panel On Climate Change

⁹ UNCED = United Nations Conference on Environment and Development

A MILANKOVICS-BACSAK ELMÉLET ÉS AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSOK

A címről

A Milankovics-Bacsák elmélet a legutóbbi 600 000 évben lejátszódott glaciálisokról (eljegesedésekről) és a köztes interglaciálisokról szól. A világban ezt az elméletet Milankovics-elmélet néven ismerik és ezen a néven hivatkoznak rá. (Ha nagyon szigorúan vesszük a szó jelentését, akkor talán nem is igazán elmélet. Ez az elfogadott neve azonban és maguk a nevek a tudományban sem mindig pontos kifejezői a tartalomnak.) Bacsák György nem vett részt az elmélet kidolgozásában, ő a legelső értője, magyarázója és alkalmazója volt. A világon Milankovicsnak sok híve van, ők Bacsákot az interglaciálisok vizsgálatáról ismerik és tisztelik. Magyarországon a Milankovics-Bacsák elmélet elnevezést használjuk, így fejezzük ki elismerésünket és megbecsülésünket Bacsák Györgynek ebben a témakörben kifejtett munkássága iránt. A magyar szóhasználatban van nemzeti túlzás, alaptalannak azonban semmiképpen nem mondhatjuk.

A cím második része éghajlatváltozásokat említ. Amióta csak létezik a Föld, éghajlata folyamatosan változik, természetesen a változás iránya és sebessége nem állandó. Ebben a kis írásban mindössze a legutóbbi 2,5 millió év több fokot kitevő hőmérséklet-ingással járó változásait érintjük.

Az elmélet előzményei

A XIX. század elején a geológusok kezdték felismerni, hogy az elmúlt évezredekben több eljegesedés történt Euráziában. Az eljegesedések Skandináviából indultak, kiterjedtek a kontinens északi részének nagy területeire és megmutatkoztak az Alpok gleccsereinek hosszában is. Az Alpokban a különböző eljegesedések (jégkorszakok) nyomai jobban elkülönülnek, mint az északi síkvidéki tájakon, így a jégkorszakok megkülön-

böztetése és nevei az ottani jelekből származnak. Az elmúlt 600 000 év alatti négy nagy jégkorszak mindegyikében több eljegesedési csúcs volt. Az összesen 9 eljegesedési csúcs (az időben visszafelé haladva és az időszakot ezer években kifejezve) a mellékelt táblázatban található. A legnagyobb kiterjedésű eljegesedéskor a jégtakaró a Föld felszínének 9%-át foglalta el. Ma az állandó jégtakaró 3%-nyi.

A talált eljegesedések zavarba hozták az éghajlat szakembereit, mert korábban az éghajlat állandóságáról voltak meggyőződve: az írott történelemből ez utóbbi volt nyilvánvaló. Ennek megfelelően jelent meg a napállandó fogalma, hiszen a stabil földi éghajlathoz a termodinamika szerint időben egyenletes teljesítményű energiaforrásra van szükség. A XX. század elejére az eljegesedések okain töprengve oda jutottak, hogy a sok köbkilométer jég felhalmozódásához nem általános lehűlés, hanem enyhe telek és hűvös nyarak évezredek át folyamatos előfordulása, azaz az évszakok közötti különbség csökkenése, vezetett. Mivel az évszakokat a Föld forgástengelye és a nap körüli keringés síkja által bezárt szögnek a merőlegetől való eltérése okozza, ezért a forgástengely állásszögének változásában lehetett keresni az eljegesedések magyarázatát. A Föld nap körüli keringése pályaelemeinek egyike ez a hajlásszög. A pályaelemek változásait a többi bolygó zavaró gravitációs hatása okozza. Ezeket a változásokat a csillagászok akkor már 150 éve egyre pontosabban számítani tudták. Itt tartottak 1912-ben, amikor Milankovics bekapcsolódott az okok keresésébe (Bacsák, 1940).

Milutin Milankovics

1879-ben született Eszék közelében, a Duna partján lévő Dálya községben. A halál Belgrádban érte 1958-ban. Egyetemi tanulmányait Bécsben, a Technische Hochschule építész szakán végezte, ahol 1904-ben doktorált. A Monarchia számos nagy építkezésében vett részt, mint a vasbeton szerkezetek szakértője. 1909-ben meghívták a Belgrádi Egyetem alkalmazott matematika tanszékére.

Egyetemi munkája mellett a gyakorló építészeti tevékenységét is folytatta a Monarchia területén. Itt érte az I. Világháború kitörése, amikor a Monarchia hatóságai, mint szerb állampolgárt, internálták feleségével együtt. Internáltként hamarosan Budapestre került. Felkereste a Magyar Tudományos Akadémia könyvtárát és a matematikai osztály titkárát, aki segítette abban, hogy zavartalanul folytathassa 1912-ben megkezdett

Név	Időszak
Würm III	17 – 27
Würm II	66 – 78
Würm I	110 – 122
Riss II	182 – 193
Riss I	226 – 238
Mindel II	428 – 439
Mindel I	470 – 480
Günz II	545 – 554
Günz I	586 – 595

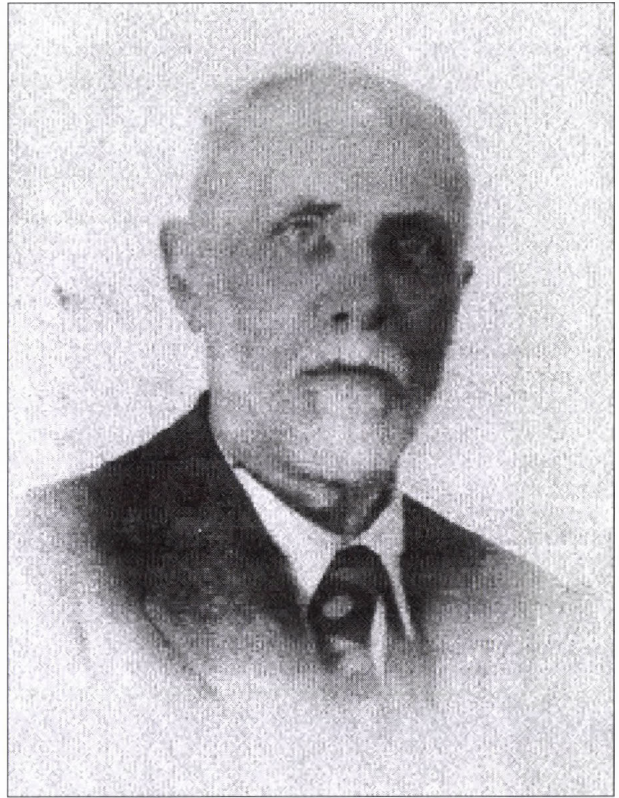
tudományos munkáját. (Meg kell jegyezni, hogy ez annyira természetesnek tűnt az Akadémia akkori vezetői számára, hogy az 1990-es években történt megkeresés szerint semmilyen hivatalos dokumentum erről nem maradt fenn az Akadémia irattárában, tehát nem volt „ügy” egy internált rendszeres megjelenése az Akadémia könyvtárában.) 1915. végére már nagyjából elkészült egy monográfia kéziratával. Arra számított, hogy a háború hamarosan véget ér és publikálhatja a munkáját. A könyv csak 1920-ban jelent meg francia nyelven. Milankovics anyanyelvi szinten írt németül, a kézírata is német nyelvű volt, de a háború után, a létrejött nagy Szerb Királyságban a közhangulat a Párizsban történő publikációt várta el. Az internálás jellemzőseként még megemlíthetjük, hogy az 1915-ben Budapesten született fiával gyarapodott család jobb megélhetése érdekében munkát vállalt egy a Tátrában építendő, többemeletes kórház tervezésében. 1919. márciusában tért vissza a család Belgrádba.

Milankovics tovább dolgozott az elmélete részletein. A lényege megjelent az 1920-as években az éghajlatban és a geofizika átfogó kézikönyveiben, így világhírré tett szert. A jégkorszakokról szóló eredményeit egy nagy (626 oldal terjedelmű) könyvben foglalta össze 1941-ben (*Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*), amit a Szerb Királyi Akadémia adott ki Belgrádban. Foglalkozott általános tudománytörténettel is. A NASA honlapja a tudomány óriásai között tartja számon (<http://earthobservatory.nasa.gov/Library/Giants/Milankovitch>).

Bacsák György

1870-ben született Pozsonyban, 1970-ben halt meg Fonyódon. Korán megmutatkozó matematikai érdeklődése ellenére ezen képességét csak nyugdíjas korában kamatoztatta igazán, amikor Milankovics eredményeit megismerve elkezdte azok alkalmazását, megmagyarázását és az ellenük felhozott kifogások cáfolatát. Idős korát meghazudtolva óriási munkát végzett nemcsak ezen a tudományterületen, hanem kiválóan ismerte pl. az ásványok bonyolult világát. A művészetek több ágában, valamint a mindennapi élet munkáiban is otthonosan mozgott.

Miért kellett Milankovics eredményeit magyarázni? Egyrészt azért, mert a többszörös és hosszú időre elnyúló publikálás ellenére Milankovics soha nem írta le a le kellő részletességgel az elmélet csillagászati, égitmechanikai alapjait. Ezeket a számításokat nem is ő, hanem egy Miskovics nevű munkatársa (aki Budapesten járt egyetemre) végezte. Másrészt azért, mert általában elég nehézkesen fogalmazott, ezért lehetőséget adott a félreértésekre. A félreértések és félremagyarázások világos cáfolatát Bacsák György adta



Dr. Bacsák György a polihisztor, a jogász, csillagász, régész, festő, a földtani tudományok doktora 1938-ban

meg, ebben nagy szerepet játszott kiváló kommunikációs készsége.

Miért kellett Milankovics eredményeit kiegészíteni? Azért, mert munkájában csak a fentebbi táblázatunkban felsorolt 9 eljegesedési csúcsra koncentrált, amelyek összes ideje a 600 000 éves időszaknak hatodát sem tette ki, a nagyobb részt kitöltő interglaciálisokra nem fordított figyelmet.

A témába vágó első munkája az IDŐJÁRÁS folyóiratban jelent meg 3 részben (*Bacsák, 1940.*)

Ebben elvégzi a csillagászati alapozást és bemutatja az interglaciális időszakok jellegzetességeit. Az első feladathoz nagyon jól jött kiválói matematikai érzéke. A második feladat megoldásához meg kellett ismételnie Miskovics és Milankovics számításait az elmúlt 600 000 évre vonatkozóan. (Családjának emlékezet szerint a szögfüggvények sorfejtéseire és a szorzataik előállításához nem használt mechanikus számológépet, hanem nagy ív papírosokon, kézzel írva végezte a számolást!!!) Ezen eredményeit a világban ma is számon tartják!

Bacsák György 1938. és 1955. között élvezte Milankovics elvi támogatását rendszeres levelezés formájában. Belgrádban az Akadémia levéltára Milankovics hagyatékában 29 levelet őriz Bacsák Györgyötől. 2002-ben ezek másolatát megszereztük a budapesti Akadémia kéziratára számára. Ugyanebben az évben

Bacsák családja 16 Milankovicstól érkezett levelet adott át a kéziratának, ezek másolatát természetesen eljuttattak Belgrádba. Így most mindkét helyen megvan a fellelt levelezés teljes anyaga.

TABLE 2. BACSÁK CHRONOLOGY OF CLIMATIC TYPES FOR THE LAST 600.000 YEARS

Beginning year	Salus climate type	Duration	Amplitude in climatic units
-5,700	Subtropical, ice-free	5,700	+136
-11,300	Antiglacial, ice-free	5,600	+428
-16,300	Antiglacial, ice-covered	5,000	
-17,500	Subarctic, ice-covered	1,200	+45
-26,900	Glacial W ₂ , ice-covered	9,400	-456
-39,700	Subarctic, ice-covered	12,800	46
-40,300	Glacial, ice-covered	600	0
-53,900	Subtropical, ice-covered	13,600	+107
-57,200	Antiglacial, ice-covered	3,300	0
-66,500	Subarctic, ice-covered	9,300	-109
-72,700	Glacial W ₁ , ice-covered	6,200	
-77,900	Glacial W ₂ , ice-covered	5,200	-546
-80,800	Subarctic, ice-free	2,900	0
-82,800	Antiglacial, ice-free	2,000	+468
-88,200	Subtropical, ice-covered	5,400	
-99,700	Antiglacial, ice-covered	11,500	+187
-100,400	Subarctic, ice-covered	700	0
-110,600	Subarctic, ice-covered	10,200	-187
-117,000	Glacial W ₁ , ice-covered	6,400	
-122,000	Glacial W ₁ , ice-free	5,000	-644
-122,600	Subarctic, ice-free	600	0
-133,800	Antiglacial, ice-free	11,200	+529
-140,500	Subtropical, ice-free	6,700	+190
-146,000	Glacial RW, ice-free	5,500	-234
-158,300	Subarctic, ice-free	12,300	-138
-159,800	Glacial, ice-free	1,500	0
-170,200	Subtropical, ice-free	10,400	+248
-179,200	Antiglacial, ice-covered	9,000	+528
-182,000	Subarctic, ice-covered	2,800	0
-192,800	Glacial R ₂ , ice-covered	10,800	-643
-201,900	Subarctic, ice-covered	9,100	-399
-203,800	Antiglacial, ice-covered	1,900	+170
-215,800	Subtropical, ice-covered	12,000	+344
-221,300	Antiglacial, ice-covered	5,300	+518
-226,500	Subarctic, ice-covered	5,200	-170
-232,000	Glacial R ₁ , ice-covered	5,500	
-237,500	Glacial R ₁ , ice-free	5,500	-676
-243,200	Subarctic, ice-free	5,700	-60
-249,200	Antiglacial, ice-free	6,000	+250
-261,600	Subtropical, ice-free	12,400	+200
-263,700	Glacial, ice-free	2,100	0
-276,200	Subarctic, ice-free	12,500	-150
-284,500	Glacial MR ₁ , ice-free	8,300	-395
-287,500	Subtropical, ice-free	3,000	0
-297,900	Antiglacial, ice-free	10,400	+550
-303,800	Subtropical, ice-free	5,900	+200
-308,000	Glacial, ice-free	4,200	-387
-318,300	Subarctic, ice-free	10,300	-139
-325,800	Glacial MR ₂ , ice-free	7,500	-339
-328,700	Subtropical, ice-free	2,900	0
-337,500	Antiglacial, ice-free	8,800	+413
-342,500	Subtropical, ice-free	5,000	0
-346,700	Glacial, ice-free	4,200	-50
-355,300	Subarctic, ice-free	8,600	-100
-362,600	Glacial MR ₁ = MR ₂ , ice-covered	7,300	-300
-364,700	Subtropical, ice-covered	2,100	0
-370,800	Antiglacial, ice-covered	6,100	+405
-374,700	Antiglacial, ice-covered	3,900	
-382,600	Subtropical, ice-covered	7,900	+200
-384,700	Glacial, ice-covered	2,100	-270
-394,600	Subarctic, ice-covered	9,900	-270
-404,000	Glacial MR ₂ = MR ₁ , ice-covered	9,400	-331
-405,800	Subarctic, ice-covered	1,800	0
-411,300	Antiglacial, ice-covered	5,500	+214
-419,200	Subtropical, ice-covered	7,900	+200
-426,200	Antiglacial, ice-covered	7,000	+235
-428,500	Subarctic, ice-covered	2,300	0
-438,800	Glacial M ₁ , ice-covered	10,300	-529
-447,600	Subarctic, ice-covered	8,800	-207
-449,000	Antiglacial, ice-covered	1,400	0
-460,700	Subtropical, ice-covered	11,700	+216
-466,400	Antiglacial, ice-covered	5,700	+481
-470,300	Subarctic, ice-covered	3,900	-50
-476,700	Glacial M ₁ , ice-covered	6,400	
-480,700	Subarctic, ice-free	4,000	-601
-488,500	Subarctic, ice-free	7,800	-339
-491,800	Antiglacial, ice-free	3,300	+100
-502,900	Subtropical, ice-free	11,100	+145
-507,800	Antiglacial, ice-free	4,900	+150
-517,500	Subarctic, ice-free	9,700	-200
-528,400	Glacial CM, ice-free	10,900	-200
-531,000	Subtropical, ice-free	2,600	0
-538,000	Antiglacial, ice-free	2,000	
-543,000	Antiglacial, ice-covered	5,000	+409
-546,100	Subtropical, ice-covered	3,100	0
-548,100	Glacial G ₂ , ice-covered	2,000	
-553,700	Glacial G ₂ , ice-free	5,600	
-564,200	Subarctic, ice-free	10,500	-365
-567,400	Glacial, ice-free	3,200	-460
-574,900	Subtropical, ice-free	7,500	+498
-579,700	Antiglacial, ice-free	4,800	
-585,000	Antiglacial, ice-covered	5,300	+715
-587,500	Subtropical, ice-covered	2,500	0
-590,100	Glacial G ₁ , ice-covered	2,600	
-595,100	Glacial G ₁ , ice-free	5,000	-550
-600,000	Subarctic, ice-free	4,900	-200

A hatszázézer évre visszanyúló Bacsák-féle jégkorszaki kalendárium a Columbia Egyetem (New York) enciklopédiájában 1967.

Bacsák Györgyre nagy tisztelettel emlékeznek a hazai földtudományi kutató közösség. Temetésén a Magyarhoni Földtani Társulat és a Magyar Földrajzi Társaság tisztségviselői búcsúztatták. Tíz évvel később ez a két szervezet emléktáblát helyezett el fonyódi háza falán. Az Akadémia Földtudományi Osztálya 1997-ben emlékülést rendezett tiszteletére, amelyen a tudósok mellett megemlékezett a Fonyódi Városvédő és Szépitő Egyesület titkára is szeretett Gyuri bácsijukról. 2002-ben a Magyar Meteorológiai Társaság Fonyódon tartotta vándorgyűlését, amely tisztelgett Bacsák emléke előtt.

Az elmélet lényege

Láttuk, hogy az eljegesedésekhez a földtörténet azon időszakait kell keresni, amelyekben a Föld forgástengelye közelebb állt a merőleges helyzethez, mint a jelen időszakban. A Föld napkörüli keringésének további pályaelemei egyrészt a keringési ellipszis-pálya excentricitása*, másrészt a forgástengely iránya (ugyanis a Föld forgástengelye úgynevezett precessziós mozgást* végez, hasonlóan a bűgóciga tengelyéhez). Akkoriban a 3 pályaelemet csak 600 000 évre visszamenőleg lehetett kielégítő pontossággal kiszámítani. A korábbi számításokat Miskovics pontosította Milankovics kérésére.

A Föld pályájának excentricitása elvben 0 és 0,067 között változhat. A vizsgálati időszakban előforduló értékek 0,0051 és 0,0475 közé estek. Az előbbi 157 millió km Nap-Föld távolságnak, az utóbbi pedig 143 millió km-nek felel meg. Az excentricitás szabályos 100 000 éves periodicitást mutat. A Föld forgástengelyének átlagos eltérése a merőlegestől 23,2 fok volt a vizsgálati időszakban, ezen érték körül 1,3 fokos amplitúdóval ingadozott szabályos 40 000 éves ciklusban. A forgástengely precessziója 15 200 és 29 600 éves periódusokat mutatott, tehát ennek ciklusai különböző hosszúságúak. Átlagos értéke 21 800 év volt.

A pályaelemek ismeretében kiszámítható, hogy a Föld légkörének külső határára mennyi napsugárzási energia érkezik az egyes földrajzi szélességeken és napokon. (Természetes volt a feltételezés, hogy a napállandó valóban állandó a teljes időszakban.) Milankovics előtt a témával foglalkozók nem végezték el a számításokat, mert tudták, hogy a felső határra érkező napsugárzás adataiból nem tudják kiszámítani a felszíni hőmérséklet értékeit (mai szóhasználatnál élve nem létezett megfelelő éghajlati modell). Milankovics érdeme az, hogy ezt az akadályt kikerülte, mondván a felső határra jutó energia térbeli és időbeli eloszlásában történő változások meg kell mutatkozzanak a felszíni hőmérséklet eloszlásában, tehát mindenképpen érdemes „a szoláris klímát” kiszámolni a különböző pályaelem együttesekre.

A számítások eredménye az, hogy az egész Földre, egy teljes év alatt érkező napenergia mennyisége nem változik a pályaelemek változásával, ami változik, az a

földrajzi szélesség szerinti eloszlás (különösen erősen a sarkvidékek körzetében), valamint a téli és nyári félfév közötti különbség. A változások alapján Milankovics klímagörbét szerkesztett és kereste a kapcsolatot az általa definiált paraméter és a fenti táblázatban leírt eljegesedési időpontok és tartamok között. Azt találta, hogy amikor az 1800. évre érvényes eloszlásból kiindulva ez a görbe olyan csökkenést mutat, amely a 67. vagy magasabb szélességre jutó sugárzásnak felel meg, akkor történtek az eljegesedések. A meteorológusok azonnal úgy vélekedtek, hogy ilyen kismértékű változás a bejövő energiában nem okozhat ekkora változást a felszíni hőmérsékletben. *Bacsák (1940)* cáfolatának egy mondatát idézzük: „Az elméleti számítások tehát olyan jól vágnak a természetmegfigyelés eredményeivel, hogy Milankovitch elméletében kételkedni nem lehet”.

Az elmélet utóélete

Az 1950-es és 60-as éveket az előzőekben vázolt helyzet jellemezte: néhányan elfogadták az elméletet az utóbbi 600 000 év jégkorszakainak magyarázatául, a többség azonban a „dinamikailag elfogadhatatlan” álláspontjára helyezkedett. Nem változtatott a helyzeten az, hogy a bolygók tömegére és pályájára egyre pontosabb adatok álltak rendelkezésre, így a pályaelemeket már néhány millió évre lehetett elegendő pontosan számítani. Ami változást hozott, az a tengeri üledékekből és a grönlandi valamint antarktiszi jégfúrásokból származó hőmérsékleti rekonstrukciók megjelenése volt (pl. *Petit 1999, Ravelo 2004, EPICA 2004*). Ezek a rekonstrukciók részben felülírták a táblázatunkban feltüntetett eljegesedési jellemzőket, másrészt óriási mértékben megnövelték a megfigyelési adatmennyiséget, lényegében folyamatos hőmérsékleti idősorok jelentek meg. Ezen idősorokban a 100 000 éves és a 40 000 éves Milankovics ciklusok határozottan megmutatkoztak, ezért az elmélet feléledt és a számítástechnikai lehetőségek számos Milankovics nyomán konstruált paraméter idősorának (klímagörbének) és a hőmérsékleti idősorának az összevetését tették lehetővé. Az eredmény a következőkben foglalható össze:

- 2,5 millió évvel ezelőtől 750 000 évvel ezelőtig folytatódott a felszín korábban megkezdődött lassú lehülése, és erre a lehülésre végig ráakódott egy szabályos 41 ezer éves hullám (41 ezer éves világ),
- 750 ezer évvel ezelőtt a lehülés eredményeként megkezdődött az Antarktisz jégtakarójának a kialakulása, a lehülés nem folytatódott és bizonytalan periódusú hullámok jelentek meg 400 000 évvel ezelőtig,

- az utolsó 400 000 évben szabályos 100 000 éves ciklusok jelentek meg (100 000 éves világ),
- a legutóbbi 10 000 évben a 100 000 éves ciklusok megszakadni látszanak, a korábbi időszakhoz képest példátlanul stabil hőmérséklet alakult ki,
- a hőmérsékleti idősorokban a Milankovics-ciklusok nem játszanak meghatározó szerepet, de a szerepük jelentős, ezért vizsgálatuk teljesen indokolt.

Záró megjegyzések

1. A tudomány jelenlegi állása szerint Bacsák György fentebb idézett mondata részben igaz: a megfigyelések nem teljesen, hanem csak jelentős részben igazolják Milankovics számításait. A hatásmechanizmust ma sem ismerjük.
2. Ha a Föld jövőbeni éghajlatát akarjuk kiszámítani, akkor, ha nem is teljesen, de, döntő mértékben dinamikailag értenünk kell a múlt éghajlatát. Múlton itt nem a teljes földtörténetre gondolunk, hanem mondjuk az utóbbi néhány száz ezer évre, így nem kell számolnunk pl. a kontinensvándorlásokkal.
3. Ezen közelebbi múlt éghajlatának változásaiban számos ok játszott akár külön-külön, akár egyidejűleg meghatározó szerepet: a Milankovics-ciklusok, a Nap aktivitásának ciklusai, a hegységképződés, az óceáni cirkuláció változásai, a bioszféra hatásai, a légkör összetételének különböző eredetű változásai, az emberi tevékenység hatásának megnövekedése és még ki tudja milyen más hatások. Ha ezeket valaki dinamikai rendszerbe foglalja, megérdemli a fizikai Nobel-díjat!

Irodalom

- Bacsák, Gy. 1940.: *Az interglaciális korszakok értelmezése I, II, III*. Időjárás.
- EPICA community members 2004.: *Eight glacial cycles from an Antarctic ice core*. Nature, vol. 429, pp. 623-628.
- Petit, J.R. et al. 1999.: *Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica*. Nature, vol. 399, pp. 429-435.
- Ravelo, A.C., Andreassen, D.H., Lyle, M., Lyle, A. O., Wara, M.W. 2004.: *Regional climate shifts caused by gradual global cooling in the holocene epoch*. Nature, vol. 429, pp.263-267.

Major György



Hazánk éghajlatának néhány jellemzője az 1956–2005 időszakban, kitekintéssel a globális tendenciákra

Fél évszázad nemcsak egy folyóirat életében hosszú idő, tele szakma- és nemzet-történeti érdekességekkel, hanem maga a légkör (ezúttal kis betűvel) is mutatott egyértelmű tendenciákat és emlékezetes szélsőségeket. Ezekből nyújtunk áttekintést az alábbi hasábocon.

A feldolgozás szerkezetében és tartalmában követi a „Magyarország éghajlatának néhány jellemzője 1901-től napjainkig” címen, az OMSZ gondozásában 2005 végén megjelent kiadványt, de értelem-szerűen csak az elmúlt 50 év éghajlatát elemzi. (Az említett kiadvány teljes egészében, színesben megtekinthető az OMSZ honlapján: www.met.hu ÉGHAJLAT/ Magyarország éghajlata/ Néhány éghajlati jellemző 1901-től).

A hazai tendenciákon, átlagos és szélsőértékeken kívül röviden bemutatjuk az ebben az időszakban globális átlagban megfigyelt változásokat is.

A felhasznált adatok és módszerek

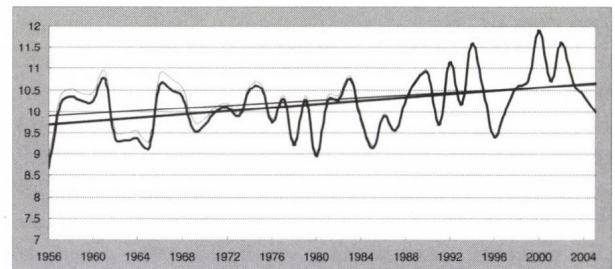
A klimatológiai leírásban a két alapvető meteorológiai elem, a hőmérséklet és a csapadék jellemzőit vizsgáltuk. A hőmérsékleti idősorok 15, a csapadék hosszú adatsorok 37 állomás homogenizált adataiból készültek (1956–2005). A hőmérsékleti térképek 57, a csapadék térképek 137 állomás homogenizált adatain alapulnak (csapadék sorok: 1951–2004; hőmérsékleti sorok: 1971–2004). A homogenizálás a változó mérési körülmények (például állomások helyének, mérési időnek, mérési módszernek stb. megváltozása) hatásának kiszűrését jelenti. A felderített inhomogenitások mértéke a nullától („homogén” adatsor) akár a tényleges változásokat felismerhetetlenné tevő hatásokig terjedhet (1. ábra).

Az anomália értékeket minden esetben a WMO által jelenleg is ajánlott „éghajlati norma” („éghajlati törzsérték”), az 1961–90-es időszak átlagaihoz viszonyítottuk. A területi átlagok a felhasznált állomások számától és helyzetétől kissé függhetnek, ez azonban a tendenciák jellegét a tapasztalat szerint nem befolyásolja.

A vizsgálatokhoz az Országos Meteorológiai Szolgálat által mért adatokat használtuk fel. A homogenizálást és a térképezéshez szükséges interpolációt a Szolgálatnál kifejlesztett MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization) (Szentimrey, 1999), illetve MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis) (Szentimrey, Bihari, 2006) statisztikai eljárásokkal végeztük el.

Az országos átlaghőmérséklet alakulása az elmúlt 50 évben

Az éves középhőmérsékletek sorozata tendenciájában jól követi a globális hőmérséklet alakulásának ismert hullámát. Magyarország átlagos évi középhőmérséklete az 1961–90-es normál időszakban 9,96°C. Az éves középhőmérsékletek idősorának lineáris közelítése szerint az 1956–2005 homogénizált adatsor 0,96°C -os, míg az eredeti adatsor kisebb, 0,73°C-os emelkedést mutat 50 évre (1. ábra). A homogén idősor becsült trendmeredeksége 90%-os megbízhatósági szinten a (0,46; 1,45) konfidencia intervallumba esik, tehát még a 90%-os megbízhatósági szintet figyelembe véve is legalább 0,46°C.



1. ábra Magyarország évi középhőmérsékletének alakulása az 1956–2005 közötti időszakban. Szürke: eredeti adatsor, fekete: homogenizált adatok

Évszakos bontást tekintve a tavaszok sokéves átlaghőmérséklete 1961–1990 között 10,33°C. Az utóbbi évek jelentős pozitív eltérései miatt a tavasz melege mintegy 1,3°C az 50 év alatt.

A melegedési tendenciát legjobban a nyarak hőmérséklete tükrözi. A vizsgált időszakban, 1956-tól napjainkig, a melegedés körülbelül 1,4°C erre az évszakra. Az 1961–1990-es időszakban a nyarak átlagos hőmérséklete 19,61°C. Az elmúlt 15 évben sok, jelentősen átlag feletti hőmérsékletű nyár volt.

Az őszi hőmérsékletének növekedése lassabb a többi évszakéhoz képest, 0,1°C-ot ér el az 50 év alatt. Ennek fő oka a XX. század közepén fellépő meleg őszi. Az 1961–1990-es időszak ezen időszakainak átlaghőmérséklete 10,28°C.

Az 1961–90-es időszakban a telek átlagos hőmérséklete országos átlagban -0,38°C. Bár az elmúlt évtizedre nem jellemzőek az enyhe telek, a téli időszakban is mintegy 1°C-ot emelkedett az évszakos átlag az elmúlt fél évszázadban.

Az 1. táblázatban feltüntetjük az 50 éves időszak szélsőséges periódusait.

1. a táblázat

év	2000 (1,90)	2002 (1,63)	1994 (1,61)
tavas	2000 (2,21)	2002 (1,96)	1983 (1,75)
nyár	2003 (3,30)	1992 (2,61)	1994 (2,12)
ősz	2000 (2,14)	1963 (1,66)	1961 (1,62)
tél	1974 (3,14)	1988 (2,63)	1994 (2,11)

Az 1956–2005 közötti legmelegebb időszakok.

Az évszám utáni zárójelben az 1961–90-es normálértéktől való eltérés szerepel °C-ban

1. b táblázat

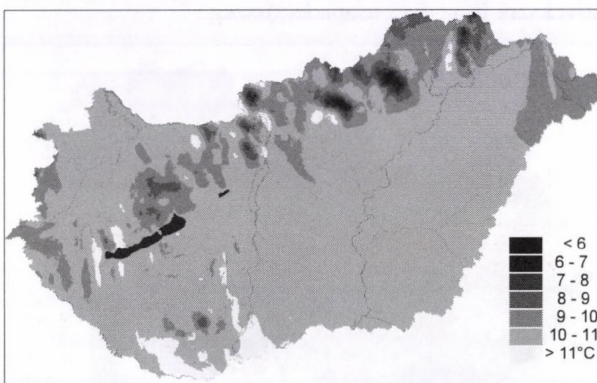
év	1956 (-1,31)	1980 (-1,03)	1965 (-0,85)
tavas	1987 (-2,27)	1980 (-1,92)	1956 (-1,56)
nyár	1978 (-1,36)	1984 (-1,07)	1965 (-0,95)
os	1988 (-1,91)	1972 (-1,54)	1978 (-1,42)
tél	1963 (-5,25)	1964 (-2,66)	1956 (-2,46)

Az 1956–2005 közötti leghidegebb időszakok.

Az évszám utáni zárójelben az 1961–90-es normálértéktől való eltérés szerepel °C-ban

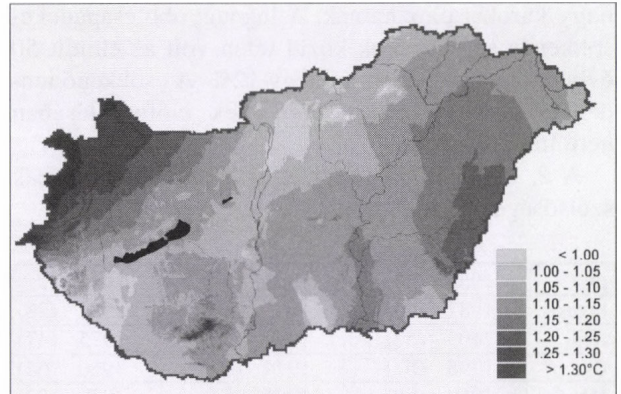
Az elmúlt három évtized melegedésének területi eloszlása

Magyarország jelenlegi átlaghőmérsékletét az elmúlt évtized értékeivel jellemezzük. Az ország területén a hőmérséklet eloszlása elsősorban a zonalitás jeveit hordozza, amit a domborzati hatások módosítanak. Az 1995–2004 időszak középhőmérsékleti térképén (2. ábra) jól látszik, hogy az ország legnagyobb része a 10–10,5°C-os tartományba esik, de a déli területeken, illetve a délies, délnyugatias lejtőkön a 11°C-ot meghaladó átlag is előfordulhat.



2. ábra Magyarország aktuális éves átlaghőmérsékletének területi eloszlása, 1995–2004

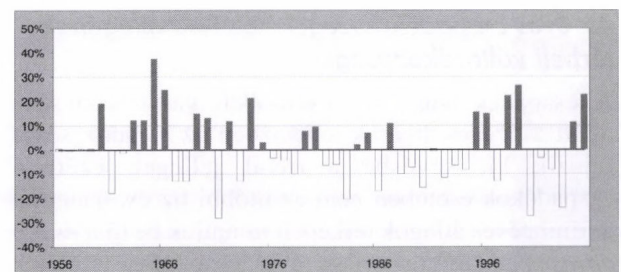
Az elmúlt 30 évben az ország egész területén emelkedett az éves középhőmérséklet, értéke – a Mátra és a Bükk csúcsaitól eltekintve – mindenhol meghaladta az 1,0°C-ot. A 3. ábrán látható, hogy a melegedés mértéke az északnyugati határ mentén volt a legjelentősebb, itt több, mint 1,3°C volt a 30 évre vonatkoztatott érték. Ugyancsak jelentős emelkedés figyelhető meg a Mecsek déli lejtőin és az ország keleti részsein.



3. ábra Az éves átlaghőmérséklet változása Magyarországon 1975–2004. A becslés a lineáris trendvizsgálati modell alapján történt, a megadott értékek a 30 éves időszakra vonatkoznak.

Az országos csapadéktendenciák változásai az utóbbi 50 évben

Az országos éves csapadékmennyiség 1961–1990-es átlaga 612 mm, az ettől való eltéréseket mutatja a 4. ábra. A múlt század második felére nem jellemzőek a csapadékos évek, a csapadék csökkenése az 1956–2005-ös időszak alatt exponenciális trenddel közelítve több mint 6%.



4. ábra Az éves csapadékösszegek országos átlagainak anomáliái 1956–2005

A tavaszi csapadék 1961–1990-es átlaga 145 mm, csökkenése a múlt század közepén fellépő csapadékos tavaszoknak köszönhetően 5%. Több száraz tavasz alakult ki az elemzett 50 éves időszak végén.

A nyarak csapadékmennyiségének 1961–1990-es átlaga 208 mm. A száraz nyári hónapok viszonylag egyenletes eloszlásúak, ami azt mutatja, hogy hazánkban az aszály (a nyári meleg és a szárazság) az éghajlat rendszeresen megjelenő tulajdonsága. A nyári csapadékösszeg mintegy 11%-os csökkenést mutat 1956–2005 között.

Az 1961–1990-es őszi átlag 143 mm. Az őszi csapadékösszegek idősorát 7%-os emelkedés jellemzi 1956–2005 között.

A tél a legszárazabb évszakunk, az 1961–1990-es átlag 115 mm, ugyanakkor a téli csapadék rendkívül fontos a növények számára, így a negatív eltérések

nagy károkat okozhatnak. A legnagyobb csapadékcsökkenés az évszakok közül télen volt az elmúlt 50 évben, összességében mintegy 12%. A csökkenő tendencia a legszélsőségesebb telek előfordulásában nem mutatkozik.

A 2. táblázatban feltüntetjük az 50 éves időszak szélsőséges periódusait.

2.a táblázat

év	1965 (38)	1999 (27)	1966 (25)
tavaszi	1987 (60)	1965 (54)	1972 (28)
nyári	2005 (62)	1999 (54)	1975 (47)
ősz	1998 (87)	1974 (67)	1960 (64)
téli	1969 (88)	1995 (54)	1979 (52)

Az 1956-2005 közötti legcsapadékosabb időszakok. Az évszám utáni zárójelben az 1961-90-es normálértéktől való relatív eltérés szerepel %-ban.

2. b táblázat

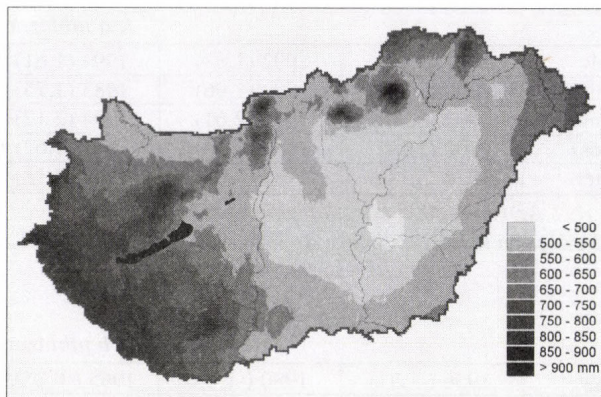
év	1971 (-28)	2000 (-28)	2003 (-24)
tavaszi	2003 (-52)	1968 (-42)	1993 (-42)
nyári	2000 (-46)	1967 (-40)	1983 (-37)
ősz	1986 (-61)	1959 (-54)	1978 (-47)
téli	1989 (-61)	1975 (-60)	1991 (-45)

Az 1956-2005 közötti legszárazabb időszakok. Az évszám utáni zárójelben az 1961-90-es normálértéktől való relatív eltérés szerepel %-ban.

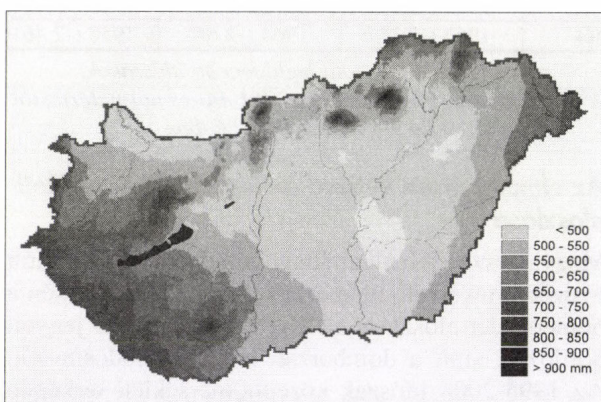
Az éves csapadékösszegek sokéves átlagának térbeli változékonysága

A csapadék nagy tér- és időbeli változékonysága miatt a tízéves átlagok jellemzően az ingadozásokat fejezik ki, kevésbé a trend jelleget, ezért a csapadékok esetében nem az utóbbi tíz év, hanem a harmincéves átlagok térképeit mutatjuk be (5.a és 5.b ábra). Napjainkra a nagy éves csapadéku területek (legalább 700 mm/év) részaránya csökkent, sőt, az utóbbi harminc év átlagában 750 mm/év feletti csapadéku területet alig találunk hazánk térképén. A két térképet összehasonlítva látható ezzel szemben, hogy az alacsony csapadéku (500 mm/év alatti) területek növekedtek, amiben nagyban közrejátszottak az 1983 és 1994 közötti aszályos évek. A csapadék eloszlására egyre inkább a DNY-ÉK-i (a Földközi-tengertől távolodva csökkenő) irányultság és a domborzat, elsősorban a tengerszint feletti magasság (magassággal növekvő) módosító hatása jellemző. Az országban a legalacsonyabb értékek a Tiszazug környékén alakulnak ki, ezért itt a csapadékmennyiség csökkenő tendenciája még súlyosabb következményekkel jár.

A XX. század második felétől bekövetkezett változást a 6. ábrán láthatjuk. Az Atlanti-óceán felől érkező nedvesség csökkenő mennyiségét jól mutatja a Kisalföld és az Alpokalja szárazodása, bár bizonyos mértékig lokális tényezők is szerepet játszhatnak ebben.

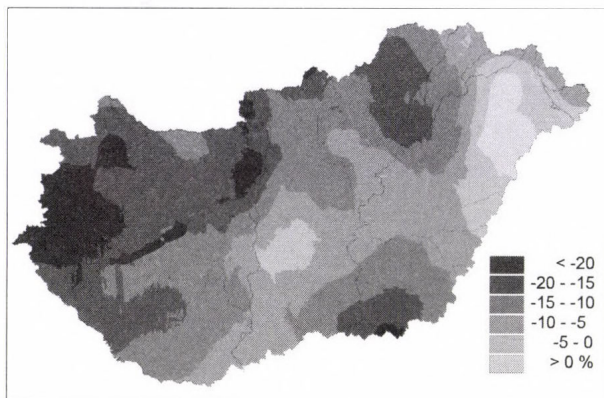


5.a ábra Az éves csapadékösszegek átlaga 1955–1984



5.b ábra Az éves csapadékösszegek átlaga 1975–2004

Kiseb mértékű a szárazodás az ötvenéves időszakban a Nagyalföldön, sőt, az ország ÉK-i területein néhol még növekszik is az éves csapadékösszeg.



6. ábra Az éves csapadékösszeg százalékos változása Magyarországon 1951–2004. A becslés során az 54 évre legjobban illeszkedő exponenciális trendet határoztuk meg, s a megadott értékek is erre az időszakra vonatkoznak.

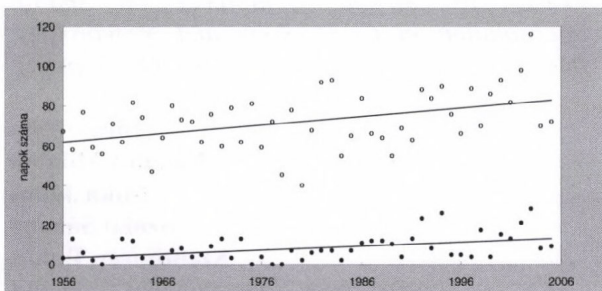
Szélsőséges hőmérsékleti viszonyok, napi hőségindexek jellemzői

A hideg telek elsősorban a XX. század első felében voltak jellemzőek, az utóbbi 50 évben hosszabb hideg periódus ritkábban fordult elő. Az 1970 utáni

időszak leghidegebb hónapja 1985 januárja volt. Ekkor a viszonylag enyhébb Dunántúlon a havi átlaghőmérséklet -6°C -ig süllyedt, de igazán hideg a hegyekben és a Tiszántúlon volt, -9°C körüli havi átlaghőmérséklettel.

1901-től napjainkig a legmelegebb hónapunk 1992 augusztusa volt, amikor hazánk délkeleti területein a havi középhőmérséklet elérte a 26°C -ot. E területeken a maximumhőmérséklet szinte minden nap meghaladta 35°C -ot.

Magyarország éghajlatának velejárói a nyaranta gyakran előforduló hőhullámok, melyeknek jelentős egészségkárosító hatása lehet. Ha éjszaka nem csökken a hőmérséklet 20°C alá, akkor az már a nyugodt éjszakai pihenést zavarja. Mindkét bemutatott hőmérsékleti karakterisztikában (7. ábra) növekedést tapasztalunk 1956 óta Budapest napi maximum és napi minimumhőmérsékleti sora alapján. A nyári napok száma mintegy húsz nappal, a meleg éjszakák száma (Klein Tank, 2003) pedig mintegy tíz nappal emelkedett országos átlagban az elmúlt 50 évben.



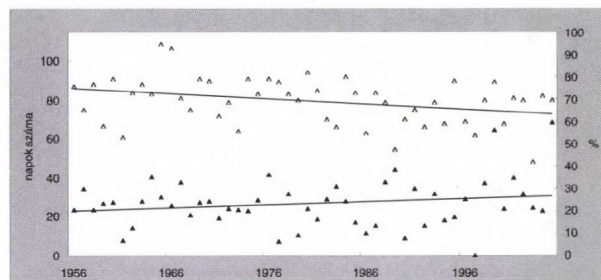
7. ábra A nyári napok (amikor a maximumhőmérséklet eléri a 25°C -ot) és a meleg éjszakák (amikor a minimumhőmérséklet legalább 20°C) tendenciája Budapesten, 1956–2005. A körök a nyári napokat, a teli karikák pedig a meleg éjszakák számát mutatják évente.

Szélsőséges csapadékviszonyok, napi csapadékindexek érdekességei

1901 óta a legnagyobb csapadékú hónap 2005 augusztusa volt, ekkor a csapadékösszeg mindenhol meghaladta a sokéves átlagot, de az ország jelentős részén a 200 mm-t is, ami már ritkábban előforduló jelenség, különösen nagyobb területen. Bár hazánkban a becsült 24 órás napi csapadékösszeg abszolút maximuma 260 mm (Dad, 1953. június 9.), továbbá esetenként a napi maximumok is meghaladják a 100 mm-t, a statisztikák alapján már a 200 mm feletti havi csapadékösszeg is nagyon magasnak minősül.

Az elemzett 50 év során a csapadékos napok száma csökken, Budapesten például mintegy 13 nappal lett kevesebb. Ugyanakkor az intenzív csapadék szerepe megnövekedett az éves csapadékösszegben (8. ábra). Budapesten 2005-ben például az összes

lehullott csapadék mintegy 60%-át a csapadékok legintenzívebb 5%-a adja. Ettől alig marad el az 1999-es év, amikor az öt százaléknyi legintenzívebb csapadék az éves mennyiség mintegy 56%-át teszi ki. A múlt század első felében jellemzően ezek az értékek 20 % körül alakultak.



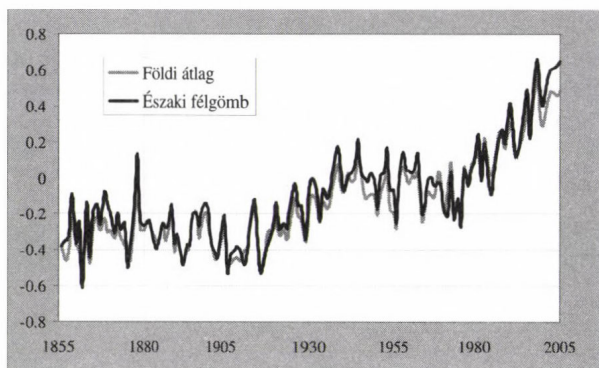
8. ábra A csapadékos napok (amikor a lehullott csapadék legalább 1 mm) számának alakulása (üres háromszögek, bal oldali tengely) és a 95%-os percentilist meghaladó csapadékok hányada az éves összegben (teli háromszögek, jobb oldali tengely) Budapesten 1956–2005

Globális tendenciák

A fentiekben megmutattuk, hogy hazánk éghajlata nem volt szigorúan állandó az elmúlt ötven évben. A változások és ingadozások természetesen nem egyszerűen a múlt idővel, hanem az éghajlatot formáló helyi és nagytérségű fizikai tényezők alakulásával függnek össze. Lineáris trendet a helyi idősorokban akkor remélhetünk, ha ezek a kormányzó folyamatok maguk is monoton módon, egy irányban alakulnak. Régióta tudjuk azonban, hogy az éghajlat egyike a legbonyolultabb rendszereknek, amelyben bármilyen szóbeli magyarázat csak kiragadni tud valamit (jobb esetben a lényegét) a légkörben, sőt az óceánban és más földi szférákban lejátszódó fontos folyamatokból. A szükséges tudás teljességét egyszer majd egy olyan számítógépben fogjuk tárolni és alkalmazni, amelynek megvalósulásáig talán egy másik fél évszázadot is várunk kell (Czelnai, 2004).

Amíg e téren pályatársaink a klímadinamika eszköztárával szerte a világban, és néhány éve immár hazánkban is, nagy erővel kutatnak (Lábó et al., 2004; Bartholy és Schlanger, 2004), e hasábkon be kell érniünk azzal, hogy a hazai trendek mellé felmutatjuk, miként alakult a Föld és ezen belül az északi félgömb átlaghőmérséklete (9. ábra).

Természetesen ebből az összevetésből csak az olvasható le, hogy miközben a háromszor fél évszázad során (ameddig visszatekintve a kutatók bátorkodnak ilyen sorokat közreadni) a hőmérséklet kisebb-nagyobb ingadozások mellett, emelkedő tendenciát mutat. Ezen belül azonban pont a bennünket érdeklő időszak első két évtizedében megtorpant a melegedés, sőt kisebb visszaesés mutatkozott. 1956



9. ábra A Föld és az északi félgömb felszín közeli légköri hőmérséklete az 1961-1990-es időszak átlagához viszonyítva. Adatforrás:

<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> (Climate Research Unit, University of East Anglia, Norwich)

és 2005 között egyértelmű globális, illetve félgömbi melegedésről csak az utolsó harminc évben beszélhetünk.

Ennek fényében talán érdemes még egyszer visszatekintnünk a fenti hazai tendenciákra.

Irodalom

- Bartholy J. és Schlanger V., 2004: Az éghajlat regionális modellezése, *Klíma-változás – hazai hatások. Természet Világa, 2004. évi II. Különszám, 40-44*
- Czelnai R., 2004: *Mai kutatásaink – kemény döntési helyzetek, Klíma-változás – hazai hatások. Természet Világa, 2004. évi II. Különszám, 5-8*

Klein Tank, A.M.G, Konnen G.P., 2003: Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *J. Climate., 16, 3665-3680.*

Lábó E., Radnóti G., Horányi A. és Szépszó G., 2004: Regionális modellek éghajlati vizsgálatok, Klíma-változás – hazai hatások. *Természet Világa, 2004. évi II. Különszám, 45-47*

Szalai S., Konkolyiné Bihari Z., Lakatos M., Szentimrey T., 2005: Magyarország éghajlatának néhány jellemzője 1901-től napjainkig, Országos Meteorológiai Szolgálat.

Szentimrey, T., 1999: „Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH)”, *Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary; WMO, WCDMP-No. 41, pp. 27-46.*

Szentimrey, T., Bihari, Z., 2006: „Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis)”, *Proceedings of the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology, Budapest, Hungary, 24-29 October 2004 (in print)*

Bihari Zita

Lakatos Mónika

Mika János

Szalai Sándor

Szentimrey Tamás

Országos Meteorológiai Szolgálat

KISLEXIKON

[Cikkeinkben csillag jelzi azokat a kifejezéseket, amelyek a kislexikonban szerepelnek]

kvázi-geosztrofikus modell

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti éve
Olyan légkörmódel, amelyben a tulajdonságok (pl. impulzus, örvényesség, hőenergia) szállítását a geosztrofikus szél, azaz a horizontális nyomáskülönbségből származó erő és a Föld forgása miatt fellépő eltérítő erő egyensúlyával jellemezhető áramlás végzi.

szabadsági fok

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti éve
Azoknak a független változóknak (függvényeknek) a száma, amelyekkel egy dinamikai rendszer pillanatnyi állapota pontosan leírható.

hasznosítható potenciális energia

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti éve

A teljes potenciális energia, azaz a helyzeti és a belső energia összegének az a része, amely egy adiabatikus (a

környezettel folytatott hőforgalom szempontjából zárt) rendszerben mozgási energiává alakítható.

pálya excentricitás

Major György: A Milankovics-Bacsák-elmélet és az éghajlatváltozások

Az égitestek ellipszis alakú pályájának a körpályához viszonyított lapultsága, azaz az ellipszis középpontjának és fókuszpontjának távolsága.

precessziós mozgás

Major György: A Milankovics-Bacsák-elmélet ...

A pörgettyűként viselkedő bolygók forgástengelyének állandó változása egy olyan kúppalást mentén, amelynek csúcspontja a bolygó tömegközéppontja, tengelye pedig merőleges a bolygó egyenlítőjére. Két hatás hozza létre együttesen: a környező égitestek garvitációs vonzása és a forgástengely megtartásának fizikai törvényszerűsége.

Folytatás a 31. oldalon

AZ ÓZONTERHELÉS BECSLÉSE MODELLSZÁMÍTÁSOK ALAPJÁN

A troposzférikus ózon (O_3) káros hatása évtizedek óta ismert. E háromatomos oxigénmolekula létrejöttében szerepet játszó prekursor vegyületek* növekvő emissziója miatt a felszín közeli ózonkoncentráció Európa nagy részén növekszik (Hjellbrekke and Solberg, 2002). Az időjárási helyzet függvényében az ózonkoncentráció menetében rövid, kiugró értékű epizódok, vagy hosszabb ideig fennmaradó magas értékek alakulnak ki Magyarországon területén is. Ez mind a mezőgazdasági, mind a természetes növényzetre veszélyes lehet. Az extrém magas értékek látható károsodást okoznak az állományban, míg a magas ózonkoncentráció hosszabb idejű megléte a vegetációs időszak elhúzódásához, anyagcserezavarhoz, levélhalálhoz, korai levélhulláshoz, a termés hozam csökkenéséhez vezethet (Krupa and Manning, 1988). E hatás jellemzéseként elterjedten használják azokat az indexeket, melyek az ózonkoncentráció egy adott küszöbérték fölötti összegét adják meg (Fuhrer et al., 1997). Az utóbbi években azonban számos tanulmány rámutatott, hogy az ózon tényleges károsító hatása a koncentráció helyett sokkal pontosabban leírható a légkörből a felszínre irányuló fluxussal (Fuhrer et al., 1997). Az ózonfluxusnak az a része károsítja a növényzetet, ami a levelek gázcsere nyílásain (sztómákon) keresztül jut el a sejtekig. Miután az ózon keletkezéséhez napfény szükséges, a legmagasabb ózonkoncentrációk egybeesnek a legtöbb fénykedvelő növény vegetációs időszakával. A növényi testbe a gázcsere nyílásokon jut be a háromatomos oxigén, és mivel vízben nem oldódik, más anyagokkal lép kapcsolatba, így számos probléma okozója. Erős reagens hatása révén kilyukasztja a sejtfalakat, a fehérjékkel és a lipidekkel történő reakciók folytán. A fotoszintézis lelassul, ezáltal a növény nem növekszik olyan gyors ütemben. A virág- és termés hozam csökken. Az ózon által legyengített növények kevésbé tudnak védekezni a kártevők, vagy az aszály ellen.

Kutatásunk célja az ózon teljes és sztómákon keresztüli fluxusának meghatározása, ezáltal a tényleges ózonterhelés becslése különböző növényállományok felett Magyarországra, valamint az ülepedést befolyásoló meteorológiai elemek hatásainak elemzése. Összehasonlítjuk a korábban használt AOT40 és a tényleges ózonterhelést pontosabban becslő sztómafluxus térképeket.

Az 1990-től 2004-ig K-pusztán mért ózonkoncentráció adatsor feldolgozásának eredményei azt mutatják, hogy a nemzetközi megszorító intézke-

dések ellenére nem történt jelentős változás az ózonkoncentráció trendjében. A mérőhelyen még mindig változatlanul magas értékeket regisztrálnak, és a határérték túllépések is gyakoriak. Az ózon koncentrációja a nyári hónapokban éri el a maximumát (60 ppb) a kora délutáni órákban, télen pedig a minimumát (15 ppb) a kora reggeli órákban. Az átmeneti évszakok (tavasz, ősz) ózonkoncentrációja átlagosan 40 ppb. Vizsgálatok azt bizonyítják, hogy magas ózonkoncentráció, illetve határérték túllépések elsősorban anticiklonális időjárási helyzetekben fordulnak elő (Debreczeni, 2006). A troposzférikus ózonnál szerzett ismereteink rávilágítanak arra, hogy környezeti és egészségügyi szempontból is fontos légszennyezőről van szó, melynek mennyiségét, időbeli változását nem szabad figyelmen kívül hagyni. Ezért is válik hasznossá az ózonterhelés becslése.

Kutatásunk során a felszín közeli ózon ülepedését, valamint a különböző felszíntípusokat ért ózonterhelés tér- és időbeli változását határoztuk meg. Az Eötvös Loránd Tudományegyetemen fejlesztett csatolt terjedési-ülepedési modellt, mellyel a számításokat végeztük, tetszőleges helyen és időpontban képes becsleni az ózon koncentrációját és a tényleges ózonterhelést (Lagzi et al., 2004). A meteorológiai állapothatározókat az ALADIN numerikus előrejelző modellt szolgáltatta (Horányi et al., 1996). A száraz ülepedés során a nyomgázt a felszín közelében kialakuló turbulens áramlás szállítja a légkörből a különböző felszínre. Az egyes felszínek ózonfelfogó képessége azonban eltérő. Az ülepedést a meteorológiai elemek, a vizsgált nyomanyag mennyisége, fizikai és kémiai tulajdonságai, valamint a felszín is befolyásolja. Az ózonfluxust ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$) az ülepedési sebesség (m s^{-1}) és az ózonkoncentráció (mg m^{-3}) szorzataként számítja a modell:

$$F = v_d c, \quad (1)$$

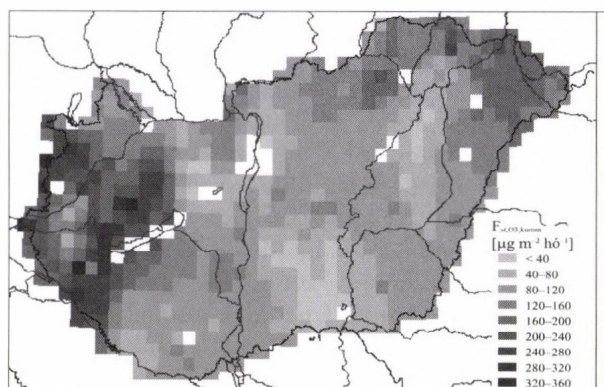
ahol F az ózonfluxus, v_d az ülepedési sebesség, c az ózonkoncentráció. Az ülepedési sebességet az ülepedést akadályozó ellenállások eredőjének reciproka adja meg. Ezek az ellenállások az aerodinamikai ellenállás (R_a), a kvázi-lamináris határreteg* ellenállása (R_b), valamint a felszíni ellenállás (R_c). Az aerodinamikai ellenállás a turbulencia és a molekuláris diffúzió által végzett szállítást gátolja az állomány feletti légtérben. A kvázi-lamináris határreteg ellenállás a momentum és a szennyezőanyag transzportjának* különbségét fejezi ki, a felszín feletti vékony réteg ellenállása. Számításukat Mészáros (2002) alapján végeztük.

A felszíni ellenállás a következő formában írható le:

$$R_c = \frac{1}{(R_{st} + R_{mes})^{-1} + (R_s)^{-1} + (R_{cut})^{-1}}, \quad (2)$$

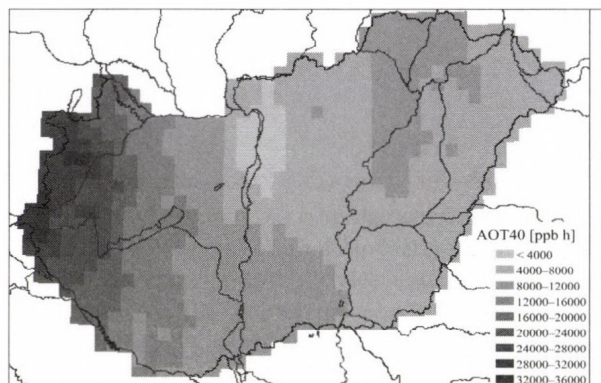
ahol R_{st} a sztóma ellenállás ($s\ m^{-1}$), R_{mes} a mezofill réteg* ellenállása ($s\ m^{-1}$), R_{cut} a kutikula ellenállása ($s\ m^{-1}$), R_s a talaj ellenállása ($s\ m^{-1}$). Ózonnal $R_{mes} = 0$, R_{cut} és R_s fajtafüggő állandók, értékeiket szakirodalmi hivatkozásokból vettük (Wesely, 1989; Brook et al., 1999; Zhang et al., 2002).

A 1. ábrán a kumulatív sztómafluxus térbeli eloszlása látható a vizsgált hónapra. A 2. ábrán az ózinterhelés becslésére használt küszöbérték, az AOT40, ugyanezen időszakra vonatkozó értékeit tüntettük föl. Ez a mérőszám az órák 40 ppb koncentráció fölötti értékeket összegzi egy megadott időszakra. Minkét ábrán a vizsgált hónap azon órák értékeit vettük figyelembe, amikor a globálisugárzás meghaladta az $50\ W\ m^{-2}$ -t, mert ez az időszak, amikor a növényzet anyagcsere folyamata a legaktívabb. A 1. és 2. ábra közti különbség rávilágít arra, hogy a korábban elterjedten használt AOT40 és a sztómafluxus – vagyis a ténylegesen a növénybe jutó károsító ózon mennyisége – eltérhet. A tényleges terhelést az az ózommennyiség feje ki a növényre, amely a légcserenyíléseken keresztül bejutva károsítja a sejteket. A kétféle mérőszám eltérése az ország északkeleti részén, a Hajdúság és Nyírség területén látjuk a legszembetűnőbb példát. Itt az AOT40 térkép alapján nem következtetünk nagy terhelésre, de a sztómafluxus térképe már jelentős ózonülepedést mutat ($160\text{--}200\ \mu g\ m^{-2}\ h^{-1}$). Ez esetben az alacsonyabb koncentráció



1. ábra. A kumulatív sztómafluxus eloszlása Magyarországon területére 1998. július (amikor a globálisugárzás, nagyobb, mint $50\ W\ m^{-2}$)

mellé magas ülepedési sebesség járult. A sztómafluxus legalacsonyabb értékeit a Hortobágy és a Kiskunság területein kaptuk. Előbbi esetben az alacsony növényzet (fű) az utóbbiban pedig a talajtípus

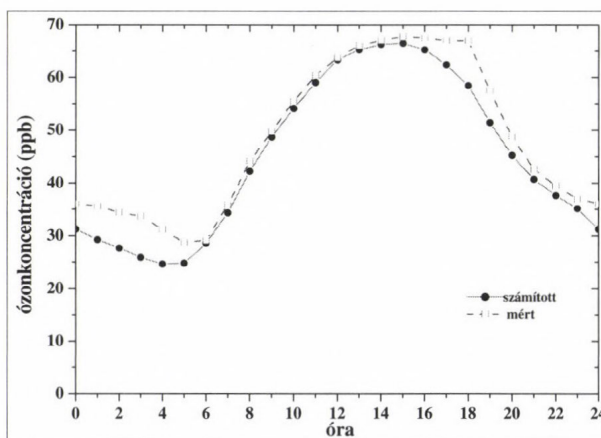


2. ábra. Az AOT40 eloszlása Magyarországon területére 1998. júliusában (amikor a globálisugárzás, nagyobb, mint $50\ W\ m^{-2}$)

(homok) miatt kapott alacsony ülepedési sebességgel magyarázható a kis mértékű ózinterhelés.

A becsült ózinterhelés bizonytalansága a bemenő adatok és a modell parametrizációk bizonytalanságából származik. A modellszámítások eredményét a rendelkezésünkre álló adatbázisok alapján verifikáltuk. Az ülepedési fluxus verifikációja nehéz, mert az bonyolult mikrometeorológiai méréseket igényel, s a vizsgált időszakra ilyen adatsor az ózon fluxusára nem áll rendelkezésünkre. Ehelyett a modell által számított ülepedési sebesség értékeket hasonlítottuk össze a szakirodalomban közölt mért adatokkal, jó egyezést kapva (Juhász, 2006).

A becsült ózonkoncentrációt összevetettük a K-pusztai mérőállomáson mért adatokkal 1998. júliusára. Az eredményeket a 3. ábra mutatja. Látható, hogy a számított és a mért görbék menete jó egyezést mutat. Az ózonkoncentráció maximális mért értéke 14 UTC környékén tapasztalható (68 ppb). Az éjszakai órákban a napsugárzás hiánya miatt az ózon koncentrációja lecsökkent (30 ppb). A modell kis mértékben alulbecsli az ózonkoncentráció értékeket.



3. ábra. A mért és számított ózonkoncentráció átlagos napi menete a K-pusztai mérőállomáson 1998. július

A legfontosabb eredményünk, hogy a sztómafluxus és a terhelés becslésére korábban használt AOT40 érték az időjárási helyzet, a felszín- és talajtípus, valamint a növény fiziológiai állapotának függvényében akár jelentősen is eltérhet. Mivel a tényleges terhelést jobban kifejezi a sztómákon keresztüli nyomgázfluxus, ezért ennek tér- és időbeli eloszlása pontosabb becslést ad a növények károsításának tekintetében.

Köszönetnyilvánítás. Kutatásainkat az OTKA D048673 (Posztdoktori Pályázat), OTKA F047242 (kutatói pályázat) és a Békésy György Posztdoktori Kutatói Ösztöndíj támogatták.

Irodalomjegyzék

- Brook, J.R., Zhang, L., Di-Giovanni, F., Padro, J., 1999. Description and evaluation of a model of deposition velocities for routine estimates of air pollutant dry deposition over North America. Part I: model development. *Atmospheric Environment* 33, 5037–5051.
- Debreczeni, V., 2006. A felszínközeli háttér-ózonkoncentráció trendje Magyarországon. *Diplomamunka*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, Budapest.
- Fuhrer, J., Skärby, L., Ashmore, M. R., 1997. Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. *Environmental Pollution* 97, 91–106.
- Hjellbrekke, A-G., Solberg, S., 2002. Ozone measurements 2000. *EMEP/CCC-Report 5/2002*.
- Horányi, A., Ihász, I., Radnóti, G., 1996. ARPEGE/ALADIN: A numerical Weather predic-

tion model for Central-Europe with the participation of the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás* 100, 277–301.

- Juhász, Á., 2006. Az ózonerhelés becslése csatolt terjedési-ülepedési modellel. *Diplomamunka*. Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék, Budapest.
- Krupa, S. V., Manning, W. J., 1988. Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation. *Environmental Pollution* 50, 101–137.
- Lagzi, I., Mészáros, R., Horváth, L., Tomlin, A., Weidinger, T., Turányi, T., Ács, F., Haszpra, L., 2004. Modelling ozone fluxes over Hungary. *Atmospheric Environment* 38, 6211–6222
- Mészáros R., 2002. A felszínközeli ózon száraz ülepedésének meghatározása különböző felszín-típusok felett. *Doktori értekezés*. ELTE TTK, Meteorológiai Könyvtár, Budapest.
- Wesely, M. L., 1989. Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. *Atmospheric Environment* 23, 1293–1304.
- Zhang, L., Moran, M. D., Makar, P. A., Brook, R., Gong, S., 2002. Modelling gaseous dry deposition in AURAMS: a unified regional air-quality modelling system. *Atmospheric Environment* 36, 537–560.

**Juhász Ágota, Mészáros Róbert,
Szinyei Dalma Fatima
ELTE Meteorológiai Tanszék
Lagzi István
ELTE Kémiai Intézet
Horváth László
OMSZ**

KISLEXIKON

[Cikkeinkben csillag jelzi azokat a kifejezéseket, amelyek a kislexikonban szerepelnek]

prekursor vegyület

Juhász Ágota és társai: Az ózonerhelés becslése modell-számítások alapján

Az a reagáló vegyület, amely részt vesz egy másik vegyület bármely módszerrel történő előállításának bármely szakaszában. Szó szerint: előfutár vegyület.

kvázi-lamináris határréteg

Juhász Ágota és társai: Az ózonerhelés becslése modell-számítások alapján

A földfelszín és a folyamatosan keveredő (mozgalmas, azaz turbulens) áramlás zónája határán megfigyelhető olyan igen vékony köztes réteg, amelyben az áramlás sebessége egyenesen arányos a felszíntől vett távolsággal.

momentum-transzport

Juhász Ágota és társai: Az ózonerhelés becslése modell-számítások alapján

Az impulzus, azaz a tömeg és a sebesség szorzatával jellemezhető mennyiség szállítása.

mezofill réteg

Juhász Ágota és társai: Az ózonerhelés becslése modell-számítások alapján

Növényi vagy állati szervezetekben a bőrszövet felszíne alatti réteg.

Összeállította: Gyuró György

Az 50 éves Légkör a (jelenlegi) szerkesztő szemével

„Légkör néven új folyóirat indul meg az 1956-os esztendőben. Ez a tény újabb és konkrét jele tudományunk és meteorológiai szolgálatunk fejlődésének.” E mondatokkal kezdődik Dési Frigyes igazgató „beköszöntője” az I. évfolyam 1. számának 1. oldalán. Bár szívéhez mindig közelebb állt az Intézet tudományos lapja, az Időjárás, elérkezettnek látta az időt, hogy egy olyan belső tájékoztató szülessen, amely eljut mindazokhoz, akik akár észlelőként, akár technikusként, vagy munkatársként hivatásuknak tekintik a meteorológiát.

Az első években évi hat füzet látott napvilágot A/4 méretben, 10–20 oldal terjedelemben, elég szerény kivitelben. Előállítója az OMI házi nyomdája volt. A példányszám kezdettől fogva 1400 (!), így minden észlelő és az Intézet összes dolgozója megkapta. A cikkek szerzői elsősorban az akkor aktív korban lévő, azóta „nagy öregeknek” nevezett meteorológusok voltak (Aujeszy László, Berkes Zoltán, Béll Béla, Hille Alfréd, Kulin István, Hajósy Ferenc, Takács Lajos, Zách Alfréd és még többen mások), de hamarosan megjelentek az 1954-1958 között végzett fiatal szakemberek első írásai is.

1960-ban áttérés történt kisebb alakú (A/5 méretű), de jobb kivitelű változatra. Ekkortól a terjedelem 20-30 oldal, az évi füzettség hatról négyre változott. 1962-ben lépett a szerkesztőbizottságba Csomor Mihály, aki hamarosan átvette a technikai szerkesztői posztot, és hosszú időn keresztül fő teherviselője volt a lapnak. A LÉGKÖR még ekkor is belső kiadványként jelent meg. Ez abban is tükröződött, hogy az első 25 évben alig több mint egy tucat „külső” szerző neve jelent meg a cikkek alatt.

1978-ban Czelnai Rudolf az OMSZ akkori elnöke újított: az 1979/1 számtól ismét A/4-es a formátum, sok ábra és kép jelenik meg, mutatósabb a borító, sőt a belső ívek alappapírja különböző színű – az újság magazin jellegét öltötte. A házi nyomda is jobb felszereléssel működött, megjelentek a fél-automata IBM írógépek, a nyomdavezető (Máthé Gyuláné) és munkatársai lelkesen vettek részt a technikai kivitelezésben. A terjedelem 40 oldalra nőtt, a példányszám 1350. Egyetlen gond volt a nyomda nagy leterheltsége, így a lap időnként több hónap késéssel látott napvilágot, sőt néha füzetek összevonására is kényszerültünk.

A 90-es évek eleje több változást – jót és rosszat – hozott a lap életében. 1992-től kezdve számítógépes szövegszerkesztéssel készül a LÉGKÖR, ami kezdetben további minőségi javulást hozott, ám a házi nyomda privatizálása, elköltözése, majd a romló technikai kivitelezés oda vezetett, hogy nyomdát kellett változtatni. Az OMSZ karcsúsítása a példányszámban is megmutatkozott: csaknem felével, 750-re kellett csökkenteni a

példányszámot. Igény volna színes ábrák megjelenítésére, főleg a műholdas és radarképek közlése esetében, ám ennek anyagi akadályai vannak.

Az elmúlt évtizedek folyamán többször felmerült, nem lehetne-e a LÉGKÖR-t utcai árusítású folyóirattá alakítani. A vele szemben fennálló belső igény (egyre több nívós szakcikk elhelyezése vált szükségessé) nem volt összeegyeztethető az „utca emberének” elvárásaival. A többi ilyen jellegű folyóirat (pl. a Hidrológiai Közöny, Földrajzi Közlemények, Magyar Geofizika) sem utcai terjesztésű. Ugyanakkor a Természet Világa (főleg a meteorológiai tárgyú különszámaival), vagy az Élet és Tudomány jobbra ellátja ezt a feladatot.

Az utóbbi tíz évben a szerzők majd harmada nem az OMSZ alkalmazottja – ők elsősorban éghajlati tan-székkal rendelkező egyetemek oktatói vagy doktoranduszai – így a LÉGKÖR folyamatosan az egész hazai meteorológus közösség lapjává vált.

Folyóiratunk tartalmi és formai kialakításában, a cikkek lektorálásában mindig nagy szerepet játszottak a szerkesztőbizottság tagjai. Többen közülük a LÉGKÖR csaknem egész eddigi történetének alakítói voltak vagy még most is azok. Mezősi Miklós 1965-től, Dunay Sándor 1972-től napjainkig járult hozzá sok-sok munkával a lap sikeréhez.



Ülésezik a szerkesztőbizottság (néhányan hiányoztak)

A LÉGKÖR az elmúlt évtizedek során – különböző riportok, beszámolók, kis hírek közlésével – eredményesen hozzájárult az OMSZ 125 éves történelmének feldolgozásához. E cél a jövőben is a szerkesztőbizottság szeme előtt lebeg, ezért folyamatban van a folyóirat teljes 50 évének bibliográfiai feldolgozása. Újdonság az is, hogy az OMSZ honlapjára már nem csak a füzetek tartalomjegyzéke, hanem a teljes szövege és ábraanyaga is felkerült. Mindemellett bízunk abban, hogy a LÉGKÖR a jövőben is változatlanul megjelenik nyomtatott formában, hiszen az olvasóközönség jelentős része ma még nem részesül az információs forradalom szolgáltatásaiban.

Ambrózy Pál

Az Országos Meteorológiai Szolgálat publikációs tevékenysége és kiadványai

Az Országos Meteorológiai Szolgálat tevékenységének megismertetése, népszerűsítése, a munkatársaink által elért szakmai eredmények közzététele nemcsak PR szempontból fontos feladatunk, hanem mint állami költségvetésből gazdálkodó intézménynek kötelességünk is. Tevékenységünk rendszeres bemutatásának, eredményeink közzétételének hosszú múltra tekintő hagyománya van. Az Országos Meteorológiai Szolgálat rendszeresen 4 kiadványt ad ki ebből a célból. Ezek a kiadványok az alábbiak:

- Az Országos Meteorológiai Szolgálat beszámolókötetete,
- Meteorológiai Tudományos Napok (összefoglaló kötet),
- Légkör (Az Országos Meteorológiai Szolgálat és a Magyar Meteorológiai Társaság negyedévente megjelenő szakmai tájékoztatója. Felelős szerkesztő: Dr. Ambrózy Pál),
- Időjárás (Negyedévente megjelenő angol nyelvű szaklap, a szerkesztőbizottság vezetője: Dr. Bozó László).

A beszámolókötetet évente, többnyire tavasszal jelenik meg, arculata 10 éve változott meg, korábban kizárólag az OMSZ kutatási tevékenységének bemutatására korlátozódott, az elmúlt években azonban már az OMSZ teljes tevékenységének ismertetését tartalmazza, sőt az utóbbi néhány évben a kötelező részvételű szakmai továbbképzések anyagai is helyet kaptak benne.

Az egyes főosztályok beszámolóit kiegészülnek még a Szolgálat munkatársai tudományos munkájának bemutatásával, beleértve az előző évben született innovációk rövid ismertetését, ill. a publikációs jegyzéket.

A kötet átfogóan, magyar és angol nyelven mutatja be a Szolgálat tevékenységét, aki szeretne képet kapni rólunk, ebből a kötetből hozzájuthat a szükséges információkhoz, vagy pedig elérhetőségeket találhat, további információ reményében.

A Meteorológiai Tudományos Napok összefoglaló kötetét szintén évente jelenik meg, a Meteorológiai Társaság és az OMSZ közös kiadványaként, bemutatva a rendezvényen elhangzott előadások rövid, illusztrált, írásos változatát.

Az OMSZ rendszeresen, negyedévente kiad még két folyóiratot is: „Légkör”, illetve „Időjárás” címmel.

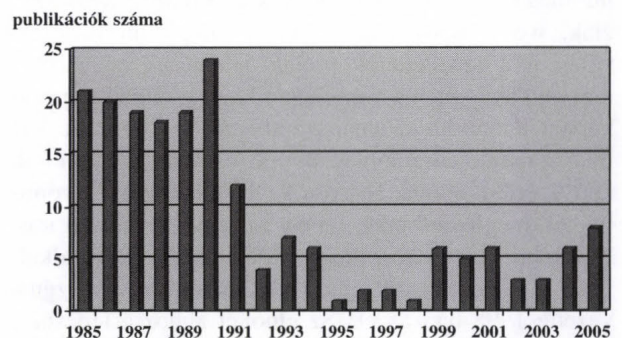
A „Légkör” az OMSZ Meteorológiai Társasággal közös folyóirata, „szakmai tájékoztató”, amelyet az MMT minden tagja, az észlelőhálózat közel 200 munkatársa és számos előfizető kézhez kap. A folyóirat

nagy múltra tekint vissza, idén már 51 éve jelenik meg rendszeresen. Munkatársaink körében igen népszerű, nemcsak az olvasó tábora széles, de sokan szívesen írnak is, így a közlendő anyagok hiánya sohasem okoz gondot. A folyóirat sokrétű: a szakmai cikkek, elemzések mellett útleírásokat, a meteorológiához kapcsolódó eseményekről szóló beszámolókat egyaránt tartalmaz.

Az „Időjárás” című folyóirat még a „Légkör”-nél is régebbi, 108 éve jelenik meg rendszeresen. A hosszú időn át magyar, illetve angol nyelvű közléseket egyaránt elfogadó lap 1991-ben komoly arculatváltozáson ment át. Ezt megelőzően gyakran jelentek meg tematikus számok, meteorológiához kapcsolódó életrajzi, és más jellegű cikkeket is közölt a folyóirat. Külföldi szerzők munkája pedig csak kis számban került közlésre. Az 1991-es változtatást követően azonban kizárólag angol nyelvű írásokat jelentet meg, és csak a legújabb kutatási eredményekről beszámoló publikációk kapnak benne helyet. A korábbiaknál több cikk szerzője külföldi, és már nemcsak a környező országok szakemberei küldik el közlésre cikkeiket.

A kutató helyeken folyó szakmai tevékenység színvonalának megítélésére, mérésére gyakran alkalmazott mérőszám az intézmény kutatóinak adott évben megjelent publikációinak a száma. Érdeemes tehát megnéznünk, hogy az OMSZ-nál az elmúlt években, hogyan alakultak ezek az adatok, különös tekintettel a Szolgálat saját folyóirataira.

Az 1. ábrán 1985 és 2005 között az OMSZ munkatársainak az „Időjárás”-ban közölt publikációi számának alakulását követhetjük figyelemmel.

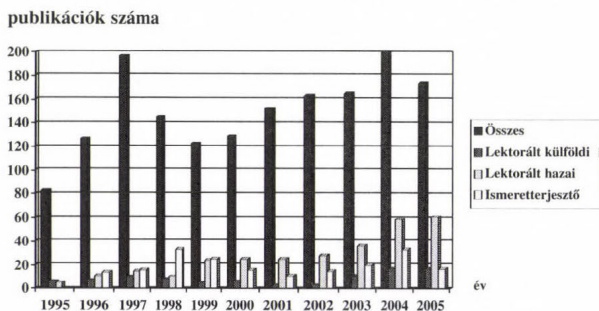


1. ábra. Az OMSZ munkatársai „Időjárás”-ban megjelent publikációinak alakulása 1985–2005.

A diagram jól mutatja az OMSZ, illetve a folyóirat életében bekövetkezett változásokat. Az 1991-ben bekövetkezett arculatváltást követően drasztikusan csökkent a folyóiratban a Szolgálat munkatársainak

asztaláról kikerült publikációk száma: az addigi, évi 20 körüli 5 körültre, sőt, 1995 és 1998 között 1–2-re csökkent. Ezekben az években a lap a közlésre leadott publikációk kevés száma miatt komoly gondokkal küszködött, tehát nemcsak a Szolgálat munkatársai jutatták kevesebb közlendő dolgozathoz a szerkesztőséget, hanem a folyóirat terjedelme is kisebb lett, a korábbi évekhez képest. Nem szabad azonban megelégednünk arról a tényről sem, hogy az elmúlt 20 évben az OMSZ-nál nagy mértékű létszámcsökkenés is bekövetkezett. Az 1985-ben még 923, 1994-ben már csak 390, és 2004-ben pedig 284 dolgozója volt a Szolgálatnak, ezzel együtt a kutatói létszám is folyamatosan csökkent, és a kutatási területek is folyamatosan szűkültek. Ez a folyamat szintén hozzájárult a publikációk számának folyamatos csökkenéséhez.

A Szolgálat munkatársai összes közlésének, elmúlt 10 évi változását követhetjük figyelemmel a 2. ábrán.



2. ábra. Az OMSZ munkatársai publikációinak alakulása 1995–2005. Külön kiemelve a hazai, illetve külföldi lektorált folyóiratokban megjelent publikációk, illetve az ismeretterjesztő dikkeket.

Az összes publikációk számának alakulása, illetve a létszám csökkenés közötti összefüggés az elmúlt 10 évben már nem mutatható ki egyértelműen. Az összes publikációba azonban beleértjük a különféle konferenciák, workshopok kiadványaiban megjelent írásokat, valamint a newsletterek, projekt jelentések anyagait is, ami minden évben a megjelent cikkek jelentős hányadát képezi. Az ábrán azonnal szembevetődő, a különféle formában megjelent publikációk megoszlásának rendkívül kedvezőtlen aránya. Nagyon kevés a lektorált folyóiratokban megjelent cikk, illetve az ismeretterjesztő írás. Ez utóbbi felismerés, ill. az „Időjárás” közlésre alkalmas anyagainak 1995 és 1998 közötti kevés száma vezette 1998-ban az OMSZ elnökét ahhoz a lépéshez, hogy az „Időjárás”-ban, illetve a hazai és külföldi folyóiratokban megjelentethető cikkek írásának jutalmazásáról Utasítást alkosson.

A 2/1998. (II. 01.) számú, a publikációs tevékenység és tudományos fokozatok elismeréséről szóló Elnöki Utasítás szerint, jutalmazásra kerülhet a lektorált folyóiratban megjelent tudományos cikk, a

lektorált szak-könyv, vagy könyvrészlet, vagy népszerűsítő kiadványban megjelent írás. A jutalom mértéke az illetményalap 0,2–1,5-szöröse, a publikáció jelentőségétől, a nyilvánosságra hozatal helyétől és nyelvtől függően. 1,0-nél nagyobb impact faktorú folyóiratokban közölt cikkek esetén egyedi elbírálás alkalmazható. (A kialakult gyakorlat szerint a jutalom mértéke ebben az esetben az illetményalap 2-3-szorosa. A munkatársakra való hivatkozás – szintén a kialakult gyakorlat szerint – növelni szokta a jutalom mértékét.)

Az ábra alapján megfigyelhető, hogy az Utasításnak valóban ösztönző hatása volt. Az is megfigyelhető azonban, hogy főként az utóbbi három évben feltűnő a változás. Ezt magyarázhatnánk azzal is, hogy ennyi időre volt szükség ahhoz, hogy az ösztönzés bekerüljön a köztudatba, véleményem szerint, ennek a késleltetett hatásnak az oka inkább az egyéb jutalmak csökkenése. Amíg az egyéb jutalmak mértéke magasabb, ez a lehetőség kevésbé vonzó. Ezt a véleményt alátámasztja az is, hogy az innovációk jutalmazásánál szintén hasonló jelenség figyelhető meg: 2003-ban, illetve 2004-ben ugrásszerűen megnőtt a leadott innovációs pályázatok száma.

Tekintettel arra, hogy az 1998 és 2002 közötti időszakban a 2/1998. (II. 01.) számú Elnöki Utasítás nem hozta meg a várt hatást, a hazai lektorált folyóiratokban megjelent publikációk száma ugyan kismértékben emelkedett, de a külföldi lektorált folyóiratokban nem jelent meg több cikk. Így 2002-ben az OMSZ elnöke a 2/1998. (II. 01.) számú Elnöki Utasítás módosítása mellett döntött, annak érdekében, hogy még vonzóbbá tegye a lektorált külföldi folyóiratokban való publikálást. A 23/2002. (VI. 20.) számú Elnöki Utasítás szerint a mellékletben felsorolt „kiemelt”, illetve „jelentős” kategóriába (ez utóbbi tartalmazza az „Időjárás”-t is!) tartozó meteorológiai folyóiratokban megjelent 1 illetve 3 publikáció után a szerző részére egy saját kezdeményezésű szakmai konferencián való részvételt finanszíroz az OMSZ, 300 000 Ft értékben. Ez a lehetőség csábító hat, ill. hathatott, tekintettel arra, hogy a saját kezdeményezésű külföldi, szakmai konferencia részvételre vonatkozó szabályok igen szigorúak voltak (lásd: 20/1997. (XI. 04.), valamint 2/2004. (I. 16.) számú Elnöki Utasítások). Ez a módosítás mégis csak igen kevesek számára volt kedvezőtlen, életbe lépése óta csupán hárman tettek eleget ezeknek a feltételeknek: dr. Bozó László, dr. Horváth László, illetve dr. Haszpra László. Hogy mennyire kevesen publikálnak lektorált külföldi folyóiratokban az OMSZ munkatársai közül, azt az is mutatja, hogy például a 2004-ben összesen 17 ilyen publikáció jelent meg, amely közül 14 dr. Horváth László, illetve dr. Haszpra László nevéhez fűződik.

A publikációs tevékenység ösztönzésére hozott

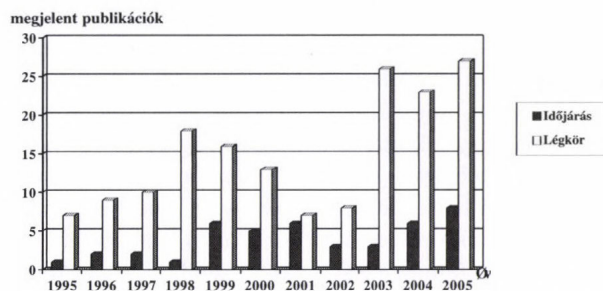
Utasítások hatása tehát felemás. Bár valóban növekedett az összes publikációk száma, leginkább a hazai folyóiratokban publikáltak többet munkatársaink, illetve nagyon sok a hazai konferencia kiadványokban megjelenő dolgozat. (A hazai konferenciákon munkatársaink jelentős részben saját költségükön vesznek részt, amint az a hazai ill. külföldi konferencia, valamint a továbbképzési főosztályi keretek felhasználásának 2004. évi vizsgálatából kiderült.) Csekély mértékben nőtt ugyan az „Időjárás”-ban, illetve a külföldi lektorált folyóiratokban megjelent anyagok száma, de ezeket az adatokat önmagukban nézve még mindig kevés az igazán színvonalas szakmai publikáció.

A folyamatos létszám csökkenés, a kutatási területek szűkítése bizonyára hozzájárult ehhez a kedvezőtlen arányhoz. A műholdas laboratórium fokozatos felszámolása, az agrometeorológiai kutatások megszüntetése egyaránt oka a kevés számú, színvonalas publikáció születésének, hiszen ha 15-20 évre tekintünk vissza, ez a két kutató laboratórium évente több referált nemzetközi folyóiratban publikált. 1996-ban például Csizsár Iván az akkori Műholdas Laboratórium munkatársa publikációjával a nemzetközi meteorológus társadalom figyelmét is felhívta és elnyerte a WMO, „WMO-Young” elnevezésű díját.

A következőkben érdemes megnéznünk azt is, hogy az OMSZ saját folyóirataira hogyan hatott a korábban említett Elnöki Utasítás, illetve annak módosítása. Ennek tanulmányozására a következő ábrán az „Időjárás” ill. a „Légkör” című folyóiratban megjelent publikációk számát tüntetem föl (1995–2005). A „Légkör”-t tekintve egyértelmű ösztönző hatásról 2001-ig nem beszélhetünk, az elmúlt 2–3 évben azonban ugrásszerűen megnőtt az itt megjelentetett cikkek száma. Ennek a kiugrásnak vélhetően ugyanaz az oka, mint amit a publikációk összes számának elemzésekor leírtam, azaz ekkorra lett jelentősége ezeknek a jutalmaknak a többi jutalomhoz képest. Az „Időjárás” esetén egyértelmű tendencia nem állapítható meg, annyit mondhatunk csupán, hogy 1998 óta átlagosan csekély mértékben nőtt az itt megjelentetett publikációk száma.

A 3. ábra alapján következtethetünk arra is, hogy milyen hatással van a két folyóirat egymásra. A 2003-as, illetve 2004-es adatok azt sugallják, hogy aki a pénzjutalom reményében ír cikket inkább választja a „Légkört”, ugyanis lényegesen könnyebb egy ott megjelentetendő cikket megírni, mint angol nyelven az „Időjárás”-ban elfogadtatni ugyanazt a szakmai tartalmat. Vegyük figyelembe azt is, hogy a többszerzős cikkek esetén az Utasítás szerint kiszámolt jutalmat osztani kell a szerzők számával, így gyakran fennáll az a helyzet, hogy egy „Légkör”-ben közölt egyszerűs cikk magasabb jutalmat kap, mint például egy 3-nál többszerzős „Időjárás”-ban, vagy más referált nemzetközi

folyóiratban megjelentetett cikk. (A „Légkör” cikkek többnyire 0,2-0,5-szeres szorzót kapnak a jutalom kiszámításakor, az „Időjárás” cikkek 1,2-1,5-szerest). Ilyen értelemben tehát, akit a jutalom ösztönöz az írásra, inkább ír egyedül több „Légkör” cikket, mint belevágjon egy többszerzős lektorált nemzetközi folyóiratban közölhető cikk megírásába.



3. ábra. Az OMSZ munkatársainak az „Időjárás”, illetve a „Légkör” című folyóiratokban publikált cikkeinek száma az elmúlt 10 évben.

Némi optimizmusra ad azonban okot, hogy az elmúlt két évben örvendetesen, csekély mértékben emelkedett az „Időjárás”-ban megjelent publikációk száma, amiben fontos szerepe van annak a ténynek, hogy az Eötvös Loránd Tudományi Egyetem Doktori Iskolája elfogadja az itt megjelenő publikációkat is a doktoranduszok részéről, a Phd minősítéshez kötelezően előírt publikációs tevékenység részeként. Az elmúlt években egyre több munkatársunk lett a Doktori Iskola hallgatója, 2004 óta évente 10-12 várományosa van Szolgáltatunknál a Phd minősítésnek, ez a tény mindenképpen hozzájárul ehhez az emelkedéshez.

A 136 éves OMSZ évszázados nagyságrendben mérhető múlttal rendelkező folyóiratokat megjeleníthető intézmény, ahol a publikációs tevékenységnek kialakult, mélyen gyökerező hagyományai vannak. Amint az elemzésből kiderült az anyagi ösztönzés pozitív hatása kétségtelen, de az igazán színvonalas cikkek születésére, hogy mennyiben vannak hatással ezek az intézkedések az már vitatható. A megfelelő és állandó kutatói létszám, a stabilan működő kutatói laboratóriumok azonban egyértelműen kedvezően hatnak a magas színvonalú tudományos munkára. Reméljük, az OMSZ, 2006. januárjában kialakított struktúrája ilyen stabil környezetet nyújt munkatársaink számára a magas színvonalú kutatáshoz, ami lehetőséget teremt az eredmények színvonalas közzétételéhez is.

Kajtárné Lovas Katalin

AMI AZ ÚTIJELENTÉSEIMBŐL KIMARADT!

Akik már utaztak velem, tudják, hogy utazásaimra mindig viszek magammal egy kis kockás füzetet, amelybe az utazás során jegyzetek. Némi nagyképűséggel azt is mondhatnám, hogy utazási naplót vezetek. Ebbe a kis füzetbe írok az értekezletek vagy az előadások alatt, s ide kerülnek olyan feljegyzések is, mint a repülőjárat száma, vagy, hogy láttam-e valami érdekeset. Kezdő éveimben sok-sok utat tettem az ország keleti felébe, s némi irigykedéssel gondoltam azokra a kollégáimra, akiknek volt határövezet igazolványuk, amellyel nappal (!) kimehettek a Fertő-tóra. Ma, amikor személyi igazolványunk felmutatásával közlekedünk az Európai Unión belül, furcsa arra gondolni, hogy 30 évvel ezelőtt még egy ausztriai kiruccanás is egzotikus kalandnak számított. Azt hiszem, ha ma olyan útról szeretnék beszámolni, ami igazán felkelti az olvasó érdeklődését, messzebbre kell vezetnem fantáziáját, mint az osztrák-magyar határ túloldala. A szekrényemben sok-sok kockás füzet sorakozik, már 191-nél tartok, s talán van közöttük olyan, amely nemcsak nekem érdekes. Szárazföldi ország lévén, azt hiszem, kevés olyan honfitársunk van, akinek fantáziáját ne ragadná meg a tenger. Sokunknak már az Adria is maga a csoda, de igazán izgalmas az óceán. S az élmény talán még magával ragadóbb, ha egyszerre van tenger is, óceán is.

Barbados

Első beszámoló egy olyan útról szól, ahol szinte egyszerre láthattam mindkettőt, s tapasztalhattam a különbséget közöttük. Szűkebb szakterületem az agrometeorológia. Természetesen adódik, hogy szakmai útjaim így vagy úgy elsősorban az agrometeorológiához kapcsolódnak. Első hallásra ez olyan szárazföldi dolognak hangzik. Ha egy pályakezdő egzotikus tengerentúli szakmai utakra vágyódik, talán ne ilyen száraz dologra szakosodjék. Amikor hosszú kilométereket róttam magányosan a Nyírségben, sose gondoltam volna, hogy *agrometeorológus* mivoltom majd nem egyszer repít át az óceánon. Laposabb közhelyet már nem is mondhatnék annál, hogy a Meteorológiai Világszervezet (WMO), világszervezet. Ha egyszer beindul, akkor globális méretekben gondolkodik. Ha létrehoz egy munkacsoportot, abba minden egyes régióból meghív valakit, s az értekezletet valahol a „nagyvilág”ban tartja, sokszor a tengeren túl. Így jutottam én el Barbadosra a *Improving Agrometeorological Bulletins Inter-regional Workshopra* (Bridgetown, Barbados, 2001 október 15-19) tagjaként. Aki tagja a munkacsoportnak, meghívást kap az értekezletre, s azt is el kell mondani, hogy az utazás és az ott-tartózkodás költségeit a WMO állja.



A Mexikói-öböl Barbados szigetéről

Talán felmerül a kedves olvasóban, hogy miként csöppentem bele ebbe a csapatba. Még 1990-ben, az akkori vezetőim, *dr. Ambrózy Pál* és *dr. Kozma Ferencné* beneveztek az RA VI Agrometeorológiai Munkacsoportjába tagnak, ahol egészen 2006-ig működtem, 1994 és 2002 között a munkacsoport elnökeként. Ebben a minőségemben szinte természetesen adódott, hogy én legyek az egyik, aki Európát, pontosabban az RA VI-ot képviseljem. A másik képviselő *Giampiero Maracchi* professzor volt Firenzéből, aki többek között a COST 718 (Meteorology for Agriculture) elnökeként ebben a témakörben is széles látókörrel rendelkezett. A benevezésen túl, némi munkával is ki kellett érdemelni a részvételt. Az én feladatomban a régióban kiadott agrometeorológiai tájékoztatók értékelése volt. A dolog első fele könnyen ment. „Csak” be kellett gyűjtenem a különböző kiadványokat, a kiértékelés aztán már simán ment. Ahogy ez már egy ilyen WMO kérdőív esetében lenni szokott, a 49 tagállam közül 31 helyről kaptam választ, de az innen begyűjtött anyag meghaladta az 500 oldalt. Az angol nyelven megírt jelentések mellett kaptam bemutatató példányokat mindenféle nyelven. A meteorológia ezen a területen is nemzetközi, különösebb nyelvtudás nélkül is érthető egy-egy nemzeti agrometeorológiai jelentés. Már csak az összesítés elkészítése maradt hátra, s felkészülve az előadásra már el is lehetett repülni Bridgetownba. Meg kell vallanom, hogy amikor megkaptam az értesítést arról, hogy hol lesz az összejövetel, nem sok elképzelésem volt arról, hogy hol található ez az ország. A WMO ugyan fizeti az utat, de ahol lehet, arra ösztönzi a résztvevőket, hogy az olcsóbb lehetőséget válasszák. Így saját magamnak kellett olcsó és gyors megoldást találnom, már csak azért is, mert a barbadosi összejövetellel csaknem egy időben volt egy COST értekezletem is, szinte a szomszédban, csak az óceán in-

nenső oldalán, Madeirán. A feladat roppant egyszerű volt, időben odaérni, és időben távozni, nehogy lemaradjak a jegyzőkönyv-vezetésről Funchalban, ahol, mint az közismert, utolsó „szent királyunk”, Ausztriai-házi Boldog Károly (*Beatus Carolus e Domo Austriae*) van eltemetve, akit a történelemben jártasak röviden csak *IV. Károlyként* ismernek. Akkoriban a COST tudományos titkára voltam Brüsszelben, s az út így egy egyszerű Brüsszel-London-Bridgetown-London-Brüsszel-Lisszabon-Funchal-Lisszabon-Brüsszel kombinációval volt megoldható, amiből a WMO fizette a Brüsszel-Bridgetown oda-vissza utat, a többi maradt az EU-ra. Az út mindjárt az elején majdnem elmaradt. London ködöt jelentett, s a British Airways nem tervezett felszállást. A szinte teljesen üres brüsszeli repülőtéren megszántak a jegykezelők, s áttettek a British Midland légitársaság járatára, ami némi késéssel mégis nekivágott a csatornának. Öröömöm határtalan volt, már csak azért is, mert felfedeztem, hogy a BM gépein nem kockáztatnak. A 12-es sor után a 14-es következett. Képzelve el a ked-



Az utolsó magyar király, IV. Károly sírja Madeira szigetén még boldoggá avatása előtt (Az előtérben a szerző koszorúja)

ves olvasó, mi történik azzal az utassal, aki a 13. sorba kap helyet! A rohanásról, London Heathrow-ról Gatwickre már ne is beszéljünk.

Mondanom se kell, hogy én voltam az utolsó utas, akit felvettek a járatra. Barbados ragyogó trópusi napsütéssel és 30 fokkal köszöntött. Az októberi brüsszeli időjáráshoz illő öltözékemben nem mondhatom, hogy nagyon fáztam volna. Ezzel szemben az a megtiszteltetés ért, hogy a helyi igazgató, *Tyron Sutherland*, aki nemcsak a barbadosi, hanem az összes Brit Karibi Területek meteorológiai intézményeinek az igazgatója, s mellékállásban a WMO második elnökhelyettese, személyesen fogadott, egy szál kopott, helyenként foltozott farmerban, tornacipőben, s fuvarozott el a szállodába. A szálloda a szigetet megkerülő út egyik oldalán volt, míg a másik oldalon a tenger. Ledobtam a csomagot, s lerohantam a csodálatos szőke fővenyre, a pálmafák alá. Sajnos hamar sötétedett, s közel az Egyenlítőhöz rövid

az átmenet a nappali világosság és az éjjeli sötét között. Egy darabig csodáltam a karibi éjszakát, aztán visszavonultam a szobámba, ahol elalvás előtt még gondosan át-tanulmányoztam a „Mi a teendő hurrikán esetén?” című kiadványt, ami gondolom a békés turisták megnyugtatót szolgálja. Nem volt nyugodt éjszakám. Ha bekapcsoltam a légkondicionálást, akkor majd megfagytam, ha kikapcsoltam, percekben belül dőlt rólam a víz. A probléma aztán gyorsan megoldódott. Egy trópusi zápor némileg lehűtötte a levegőt. Amikor eleredt az eső, meglepve tapasztaltam, hogy felettem nincs tetőtér vagy padlás, csak a bádogtető. A trópusi eső cseppjei úgy záporoztak a tetőn, mintha géppuska tűzben álltam volna. Alvásról szó sem lehetett. Jobban megfigyelve a szállodát, a kivitelezés színvonala erősen emlékeztetett a 70-es évek magyar lakótelepeire, kivéve persze a több mint 100 dolláros éjszakánkénti árat. Ez az út azon ritka WMO fizette utak közé tartozott, ahol többre került a szállás, mint a WMO ellátmány. Másnap, vasárnap lévén, a sziget teljes lakossága jó protestánszhoz illően egy emberként munkaszünetet tartott, így a prospektusokban kínált csábító programok közül egy se működött. Végül az izraeli kollégával, *Zvi Zemellel* találtunk egy taxisofőrt, akinek őseit még Afrikából hurcolták ide a brit gyarmatosítók, s akiről nem lehetett eldönteni, hogy ő vagy a kocsija öregebb. Néhány órással, nem túl megterhelő autózással, amit többször szakítottunk meg a világ legjobb koktéljának megköstölésére, bejártuk az egész szigetet. S a túra során megértettem, hogy mi a különbség tenger és óceán között. Míg az óceáni oldalon hullámok, viharos szél, sziklás part, vad vidék köszöntötte a vándort, addig a tengerparton (Mexikói-öböl) csendes, csodálatosan áttetsző, majd zöld, messzebb tekintve kék víz, némi enyhe fodrozódással, lágy hullámokkal ejtette rabul a nézelődő tekintetét. Az egésznapos kemény túrázás után a megéhezett vándorok mi mást ehetek volna, mint a sziget specialitását, repülő halat, amit minden étterem úgy hirdetett, hogy jöjjön be hozzánk, itt garantáltan nem repül a hal. Leöblítettük a halat még egy koktéllal, aztán véget is ért a paradicsomi idill, mert megérkezett Mr. Sivakumar, s munkára fogott minket, össze kellett állítani a másnapi programot.

Hétfőn már csak vágyódva nézhettem ki a tengerre, mert a WMO Agrometeorológiai értekezletek szigorú etikettje szerint előbb a megnyitó ünnepséget kellett végigülni öltöny-nyakkendőben, majd, szekcióelnökként és előadóként közreműködni a rendezvény sikeres lebonyolításában. A hivatalos megnyitóra mind a karibi igazgató, mind a kollégák talpig sötét öltönyben jelentek meg, ami kétségtelenül emelte a rendezvény színvonalát, de a légkondicionálás ellenére elég kényelmetlen is tette. Szerencsére nemcsak én feszengtem, s így délutánra *Mr. Sivakumar* megkegyelmezett nekünk, s javasolta a zakó és nyakkendő levételét. Ez határozottan javított a tárgyalás menetén. Életem egyik legjobb szak-

mai összejövetele volt, ahol a hat WMO régióból érkezett küldöttek és a meghívott szakértők sok érdekeset és okosat mondtak egymásnak, nem kendőzve gondolataikat vagy hiányosságaikat szakmai tájékozottságukban. Nehéz szívvel hagytam el az értekezletet, bár vigasztalt a tudat, hogy egy másik, érdekesnek ígérkező találkozóra megyek, Madeira rám váró csodáiról nem is beszélve. Lehet, hogy csodálatos dolog az agrometeorológia?

Fülöp-szigetek

Második beszámolóim is a tengerhez kapcsolódik. Akik jártak már arra, azok esküsznek rá, hogy egy naplemente igazán a manilai öbölben szép. Ezt a vélekedést én is meg tudom erősíteni. Március 23-án nekünk, meteorológusoknak külön ünnep. Ez a nap a Meteorológiai Világnap. A Világszervezet mindig kéri a tagországokat, hogy ezen a napon rendezzenek ünnepeket, ragadják meg az alkalmat a szakma és a nemzeti szolgálat népszerűsítésére. Aki már volt világnapi ünnepségen a Szolgálat székházában, elmondhatja, hogy mi is többé-kevésbé sikerrel igyekszünk eleget tenni a WMO elvárásainak. A magunkon érzett büszkeségem némileg lehanyaglott, amikor ott lehettem azon a világnapi összejövetelen, amit a PAGASA (*Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration*), a fülöp-szigeteki meteorológiai, geofizikai és csillagászati intézet rendezett a Világnap tiszteletére.

Hogy kerültem oda? A szokásos módon. Ezúttal is, mint agrometeorológus szakértőt, meginvitáltak egy, a barbadosihoz hasonló értekezletre. A szervező, s talán ezzel nem okozok meglepetést a kedves olvasónak, *Mr. Sivakumar*, a WMO hihetetlen munkabírású, elnyűhetetlen, indiai származású, az Egyesült Államokban doktorált csoportvezetője, aki amellet, hogy harmadmagával viszi a Világszervezet összes agrometeorológiai dolgát, amióta Genfben van, megtanult franciául és spanyolul is olyan szinten, hogy a szakmai előadásokat fordítja. Eme képességét a munkacsoport értekezleten is gyakorolhatta, ahol a latin-amerikai küldöttek nem beszélték az angolt. Az eredeti terv szerint a Világnap ünneplése nem szerepelt a munkacsoport programjában, de a vendéglátók úgy érezték, hogy a hat régióból odasereglett szakértőknek meg kell mutatni, hogy ünnepel egy igazi filippínó. Már megérkezésünkkor mindenki kapott egy, az erre a napra készült, világnapi pólót, aminek viselésére némi szelíd erőszakkal aztán mindenkit rávettek. Az ünnepek helyszíne a meteorológiai intézet volt, ahol ezen a napon szakmai kiállítást rendeztek, amelyen poszterekkel és számítógépes bemutatókkal minden részleg szerepelt. A kiállítás ünnepélyes megnyitására az Agrometeorológiai Bizottság (CAGM) elnökét, *Ray Motha*-t kérték fel, aki feladata ellátásához még egy virágfüzért is kapott a nyakába. Miután kellően megcsodáltuk a kiállítást, az egész társaság kivonult a kosárlabda pályára, ahol az ünnepeket tartották. Az



Világnapi kiállítás megnyitása a filippínó meteorológiai intézetben (2004. március 23.)

ilyenkor szokásos beszédek hangzottak el, ami szemmel láthatóan itt sem hozta lázba a dolgozókat. Majd a himnusz következett, aztán valami mást is énekeltek, állva, ahogy a himnusznál illik, lelkesen a kollégák. Ennek a szövegét, meglepetésemre, többé-kevésbé értettem. A „második himnusz”, ami úgy látszik, itt hozzátartozik egy hivatalos ünnepséghez, a *Miatyánk* volt, angolul. Az ország hivatalos nyelve a filippínó (tagalog), de gyakorlatilag kétnyelvűek, szinte mindenki van írva angolul is. A beszélt angolságuk sajnos nem mindig követhető az európai kiejtéshez szokott fülnek. Egy ország, amely nagyrészt katolikus, mert spanyol gyarmat volt, s szinte folyékony angol, mert amerikai gyarmat is volt! Az ünnepeket az intézeti dolgozók kórusának koncertje zárta, de ezzel még nem érték véget az ünnepség eseményei. Már benn az épületben még meghallgathattuk az intézeti dalverseny győztesének saját szerzésű dalának bemutatóját is. Az ünnepség kerti partival folytatódott, a munkacsoport tagjainak még egy esti fogadást is rendeztek, ahol csoportos énekléssel (*karaoke*) fejeztük be a napot, s megállapíthattam, hogy a trópusoknak is van előnye, mert a kellemesen meleg éjszakát pont a kellő mértékben enyhítette a jól behűtött sör. A *workshop*ról szinte ugyanazt mondhatom el, amit a barbadosiról. Akit a szakmai részletek, az elhangzott előadások, a levont következtetések, s ajánlások érdekelnek, az megtalálhatja azokat a WMO/TD No. 1277 (*Inter-regional Workshop on Strengthening Operational Agrometeorological Services, March 22-26, 2004, Manila, Philippines*) kiadványban. A vendéglátók mindenben nagyon segítőkészek és barátságosak voltak, igyekeztek mindig a sziget legszebb arcát mutatni. A szállodánk és közvetlen környéke szinte európai képet mutatott, bár az elrobogó jeepney-ken utazók tömege mutatja, hogy azért itt szép számmal akad szegény ember. Ami nem volt európai, az az, hogy nincs közvilágítás. Ami úgy-ahogy segítette a közlekedést napnyugta után, az a boltokból vagy házakból kiszűrődő fény volt, már ahol egyáltalán volt ilyen. Átszelve a várost, a repülő-

térre menet, vagy amikor meglátogattuk az intézetet, a mi fogalmaink szerint borzalmas körülményeket, valószínűs bádögvárosokat láttunk. A meteorológiai intézet kerítéséhez is hozzáépítettek néhány nyomorúságos viskót. Sajnos ez a látvány akkor is elkísért, amikor az értekezlet befejezésekor egy kis kultúrprogram keretében a történelmi belvárost, a spanyol időkben megmaradt *Intramuros* erődöt tekintettük meg, amelynek II. Fülöp címerével ékesített kapuját a felszabadító amerikai tankok döntötték romba 1945-ben. Ma egy hevenyészten helyreállított kapu fogadja a látogatókat. Vendéglátóink büszkén mutogatták a filippínó emlékeket, a spanyolok által 1896. december 29-én kivégzett nemzeti hős, *dr. Jose Rizal* utolsó útját mutató köveket. A program befejezésekként lassan kisétáltunk az öböl partjára, ahonnan remekül lehet látni a naplementét. Derült időnk volt, s az időzítés is jól sikerült. A Nap még fenn ragyogott az égen, de már megkezdte lenyugvását, s mi megcsodálhattuk, ahogy az öböl vízében méltóságteljesen elmerül, a szivárvány színeire festve az égboltot.

Hazafelé sajnos már nem volt ennyire kegyes hozzáam az időjárás. A csatlakozó járatra várva beugrottam Hong Kong-ba, de az egész város előbb enyhe, majd szinte átláthatatlan ködbe veszett. Egy másik öböl, de itt nem a naplementét volt szerencsém megcsodálni, hanem azt, hogy egy kis motoros bárkával is lehet szágul-



Naplemente a Manilai-öbölben, 2004. március 26.

dozni, ahogy azt maláj kalózra emlékeztető csónakmesterünk tette az aberdeeni öbölben. Az előre be nem jelentett fejenkénti 50 hong kong-i dollár borralalót a kikötőtől tisztes távolban szedte be, éreztetve, hogy aki esetleg vonakodna ettől, annak lehetőséget biztosít az öböl vizével való közvetlen megismerkedésre. Ezzel együtt csodás élmény volt, ahogy a naplomba feljegyeztem: „a XXI. századi toronyházak és a halászbárkák flottája együtt fantasztikus látvány. Az ember kiszalad térből és időből, és csak tátja a száját...” Szerencsére volt nálam annyi készpénz, így ezt a kalandot szárazon úsztam meg. Lehet, hogy csodálatos dolog az agrometeorológia?

Kourou

Harmadik utam, amiről szeretnék beszámolni, csak annyiban kötődik az óceánhoz, hogy az élményhez át kellett repülni az Atlanti-óceán túlsó oldalára, s maga a nagy élmény nem tartott tovább egy percnél. S ezért érdemes átrepülni az óceánt? Igen, hiszen nem mindennap láthat az ember műhold fellövését. Az EUMETSAT hosszás előkészületek, s többszöri halasztás után végre felbocsátotta az MSG-2 műholdat. A kilövésre Kourouban a guayana-i űrközpontban Európa űrkikötőjében (*Centre Spatial Guyanais – Port spatial de l'Europe*) került sor az Arianespace űrügynökség szervezésében. Az EUMETSAT sok-sok újságíró mellett a kilövésre meghívta a tagországok meteorológiai intézeteinek vezetőit is. Különgép vitte a meghívottakat Párizsból Cayenne-ba. Amennyire egzotikus utazásnak számított 30 évvel ezelőtt kijutni a Fertő-tóra magyar oldalról, annyira nem külföldi út ma Francia Guayanába menni. Ez a terület Franciaország tengerentúli megyéje, s mint ilyen, jogilag Franciaországhoz tartozik, azaz a Párizs-Cayenne repülés belföldi járat, amire az EU tagállamok állampolgárai személyi igazolvánnyal szállhatnak fel. Na, ezt se gondoltam volna, amikor beléptem a Szolgálatához, hogy egyszer elég lesz a személyim ahhoz, hogy elutazzam Dél-Amerikába.

A kilövés megnézésére gondosan felkészültem testben és lélekben egyaránt. Ehhez a kis „belföldi úthoz” először is védőoltásokra volt szükség. Belövettem magam hepatitisz, sárgaláz, és ha már ott vagyok, influenza ellen. A malária ellen azt mondták, ha nem megyek őserdőbe, elég csak a szúnyogriasztó kenőcs. Ez hatásosnak bizonyult, kivéve azokat a helyeket, ahol nem voltam bekenve. Azokat a szúnyogok rendre megtalálták, s az egészben az volt a szép, hogy szúnyogot nem is láttam. Az ilyen helyre utazóknak azt tudom ajánlani, hogy inkább spray-t vigyenek, lehet, hogy az hatásosabb. Nem tudom mennyi a malária lappangási ideje, eddig még nem tört ki rajtam. Aztán úgy gondoltam, hogy egy ilyen eseményt feltétlenül meg kell örökíteni, így nemcsak fényképezőgépet cipeltem magammal, ha-



Az ARIANE5 rakéta fellövésre készen, 2005. december 21.

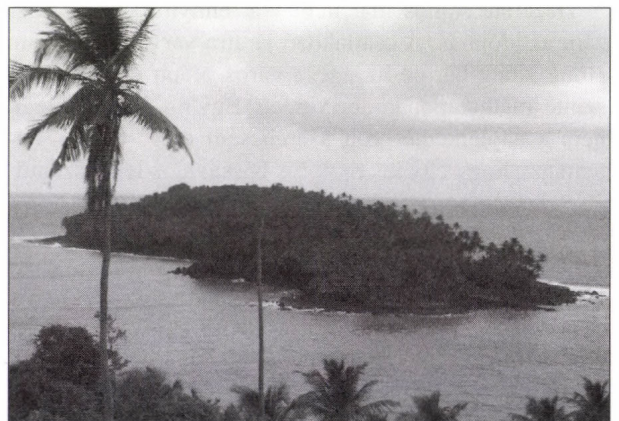
nem még beszereztem egy sokszorozó előtét lencsét is, hogy még messzebbre lásson a gépem.

Nem egyenesen a kilövésre rohantunk, hanem először bemutatták a bázisát, megtekinthettük a termet, ahonnan a fellövést irányítják. Üvegfal mögött ülnek a kezelők, s a nézők nagy kivétítőkön követhetik az eseményeket. Szépszámú előadás végighallgatásával azt hiszem, mindent megtudtunk az Arianespace-ről, a kilövés helyszínéről, az előkészületekről, s persze a kilövést megrendelő EUMETSAT-ról és ISRO-ról, az INSAT-4A-t fellövető indiai űrkutatói szervezetről. Ezután te-repszemle következett. Elvittek minket a szerelőcsarnokba, ahol megcsodálhattuk az *ARIANE 5 G* rakéta hűlt helyét, ami már akkor fellövésre készen állt, hogy az *MSG-2* mellett az *INSAT-4A* indiai telekommunikációs műholdat is pályájára vigye. Hiába, a rakétával se lehet csak úgy pazarolni! Az előadások után végre a rakétát is megtekinthettük, de csak tisztos távoból, kb. 1 kilométerről. S még ehhez a távoli szemléhez is védőmaszkot osztottak ki, arra az esetre, ha netán robbanás következne be. Sajnos ezt a távoli szemlést megnehezítette a váratlanul lezúduló trópusi zápor. A szervezők megnyugtatták a jelenlévőket, hogy eső nem, csak viharos szél késleltetheti a kilövést. Nagyon remélték, hogy erre nem kerül sor, mert ebben az esetben az üzemanyagot még arra a 24 órára is le kell szívni, s egy ilyen le-szívás, újratöltés akár 15-20 % veszteséget is jelenhet!

Szerencsére az eső elállt, s szél sem fújta a fellövés-nél. A résztvevők választhattak, hogy a központi irányító teremből vagy a szabadból figyelik az eseményeket. Én a szabad megfigyelőt választottam. Bár a megfigyelő hely 5 kilométerre volt a kilövés helyétől, még ezen a távolságon belül is lehetséges, hogy a szemlélőket gáz vagy savaseső „támadás” éri nem megfelelő időjárás, vagy nem várt robbanás esetén. Kaptunk is biztonsági tájékoztatót, s gázálcok is voltak kéznél a minket szállító buszon. Buszra szállás előtt mindenki kapott névki-tűzöt, busz számot, amit szigorúan meg kellett jegyezni, ha baleset történne, mindenki azonnal megtalálja a buszát, s álljon készen arra, hogy felvegye a gázálcot. A megfigyelőhelyhez vezető út végig le volt zárva. Mi is vagy négy ellenőrző ponton áthaladva jutottunk el a kijelölt helyünkre. Lassan sötétedett, s hiába a gép nagy fényérzékenysége, ilyen távolságról, már nem sok esélyem volt elfogadható fényképet készíteni, annak ellenére, hogy az állványon álló rakétát reflektorokkal világították meg. Egy kivétítő időnként a rakétát, időnként a kilövőt mutatta, aztán már csak a kilövőt, megkezdődött a visszaszámlálás: *dix, neuf,trois, deux, une, zero....* (Naná hogy franciául, majd angolul, már csak az hiányozna!)

A rakéta alól lassan füst hömpölyög elő, majd láng is kicsap, az eddig mozdulatlanul álló szerkezet megre-meg, majd lassan, méltóságteljesen elindul az ég felé. Az első pillanatokban úgy tűnik, hogy sose fog felemel-

kedni, aztán már ott van a látóhatár közepén, lövellnek ki belőle a lángok. És már nem is egyenesen halad föl-felé, hanem elfordul, mi is fordítjuk felfelé a tekintetün-ket, csavarjuk hátra a nyakunkat. Már csak egy fénycsó-va, ami egyre kisebb, aztán eltűnik a horizontról. Már csak a csillagok világítanak. Csodás éjszaka. A 169. kilövés erről a bázisról a terveknek megfelelően úgy tűnik rendben lezajlott. Aztán hirtelen rádöb-be-nünk, hogy nemcsak mi néztük a kilövést, hanem a szű-nyogok is. S úgy tűnik, hogy az ő érdeklődésüket in-kább a nézők kötötték le. Újból előkerülnek a szűnyog-riasztók. Az izgalom még nem ért véget. Meg kell vár-ni, amíg leválik az első, majd a második fokozat, s a műholdak pályájukra állnak. A kivétítő mutatja, hogy hogyan állunk, persze csak rajzok formájában. A köz-pont jelenti, hogy minden rendben! Örömteli arcok az irányítóból, összeölelkezések, hátra veregetések. Jöhet-nek a vezetői köszöntők, s aztán minket is buszra tesz-nek, s irány a tengerpart, ahol egy pazar fogadás vár ránk. De ki tud enni hajnali négykor?



A börtön-sziget az Ördög-szigeteken

S egy szakmai út akkor sikeres igazán, ha csatlakozik hozzá némi turisztikai élmény. Gondolom vendéglátó-ink is így gondolták, mert másnap elvittek minket az Ördög-szigetekre, a legendás fegyenctelepre, ami ma már nem az, vagy mégis, mivel a névadó sziget a turis-táknak ma sem látogatható. S ha már annyit áradoztam a tengerről, el kell mondanom, hogy a nem különöse-ben hullámozó óceánon volt szerencsém hajónyi méretű hullámokat látni egyórás utunk során, ami persze a ha-jónk személyzetét nem hatotta meg, csak nekem okozott némi gyomorszorítást. A szigeten meg hétágra sütött a trópusi nap. Féltem is, hogy esetleg napszúrást kapok, de eme aggodalmam hamar elmúlt, mert egy hirtelen jött zápor bőrig áztatott. Mire visszaértünk a kikötőbe, újból sütött a Nap, s a vízen szinte egy hullám se volt. Ideje elköszönni, irány a repülőtér. Megyünk vissza Eu-rópába, a hidegbe és sötétségbe. Búcsúzóul még van al-kalmam csodálni a napkeltét az óceán felett. Tényleg csodálatos dolog az agrometeorológia!

Dunkel Zoltán

