

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:

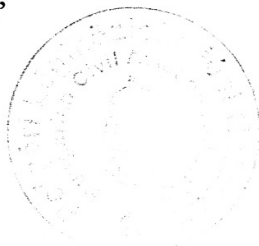
Meteorológiai Szolgáltatások az ICAO Annex 3 szerint:
TAF, TREND FORECAST, SIGMET + GAMET + AIRMET valamint
alacsonyszintű SIGWX térkép Közép-Európára.

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

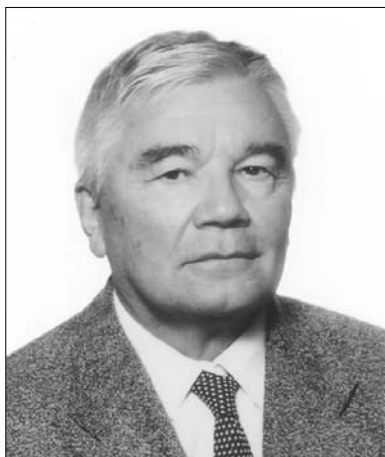
AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI
SZOLGÁLAT ÉS A MAGYAR
METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

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 háttére	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 őszének időjárása	43

INTERJÚ DR. BÖJTI BÉLÁVAL



Előként 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 hőiesen, 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 árvaát 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 őrzi 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 zökkenővel 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 felidéznünk a LÉGKÖR 1957. évi 1. számát, amelyben – az Observatóriumot megálmodó és annak építését szó szerint kiharcoló – Zách Alfréd helyettes igazgató írja ELKÉSZÜLT A SIÓFOKI OBSZERVATÓRIUM 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 kémlelve a magyar tenger különleges időjárási viszonyait és örködve a hirtelen jövő, veszélyt hozható szélviharok fölött. 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 töltött el, aki 28 évig irányította az Observatórium munkáját. A fél-évszázados évforduló alkalmából ezért Őt faggatjuk: a LÉGKÖR kérdéseit 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 bíboros, esztergomi érsekként 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 rejtelmében, ő meg albán szavakkal töltötte a fejemet (aminek később nagy hasznát vettem!). A nemzetközi menzán sok kínai, argentin, görög és más nemzetiségű hallgató étkezett 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 megkelestük Dési Frigyet, aki segített megszerezni az Elnöki Tanács engedélyét. Az albán Elnöki Tanács viszont azt kérte, a diploma megszer-

zése után dolgozzunk 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 kísérve) 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 mólószárny Balatonba nyúló bővületének sarkán; tervező: Molnár Péter

Mikor helyeztek Siófokra és melyek voltak első tapasztalataid az 1956-ban felépült Observatóriumban?

Albániából történő visszatérésemről Dési Friggyessel leveleztem; első válasza finoman szólva is tartózkodó volt, de a személyes találkozón egészen másként, nagy szeretettel fogadott. (Mindenki 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 helyezett 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 értékelik 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 számúzta 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 tűzoltóőrökre (!) szervezett veszélyjelentő állomások segítették. 1955-től – a Varsói Szerződés jóvoltából – már 21 főállomás működött az országban, saját személyezettel; ezekből 10 volt a Dunántúlon. Az 1960-as évek derekán kaptuk a villámszámlálót, majd a goniométer*, amivel Siófok belépett a „Középeurópai szférikus* iránymérő hálózatba”, [a mai vilámlomalizációs 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 Mátyás Dezső fiatalon meghalt észlelőnk: „Mi a csuda, ezeken a helyeken ZEUS dolgozik, hogy mindig villámlik?”].

1969-ben települt Ferihegyen az NDK gyártmányú időjárási radar 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 időjárási radar, 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 időjárási térképeket Frankfurtból és Bécs-Schwechat repülőtéréről. Megindult a rádiógéptávíró üzem is: közvetlenül hozzáfértünk 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 rakéta 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 üdülőkötől. 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 füstakréták, 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 kutatások 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-



Forgótükrös fényjelző Zámárdiban; (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, Tanczer Tibor). Feladatunk volt az autópályák tervezéséhez Magyarország hófúvási viszonyainak vizsgálata is. Mindezeknek később nagy hasznát vettem, amikor az Obszervatóriumban időnként megjelent az itt állomásozó Déli Hadseregcsoporthoz [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 Obszervatórium vezetésével, azzal az indoklással, hogy „Elég sok a vihar ott lent!”. Ehhez persze tudni

kell, hogy Dési a magyarországi zivatarokról írta doktori disszertációját; dedikált példány van belőle az Obszervatórium 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 Obszervatóriumban 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 mértek 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 Obszervatóriumot és a toronyba légkondicionálót szereltek. 1975-ben megkezdtek a Velence-tavi viharjelzés rendszeres kiszolgálását s attól kezdve már közvetlenül adhatunk előrejelzést a Magyar Rádiónak. [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 Obszervatóriumba, 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 Obszervatóriumot. 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 pókhalás, 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, titkos 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 kiüntetést 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 medáliát. — 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 náluk 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 – kezet csókolott 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 időjárási 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 Népfront 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” indokolással), végül 2000-ben a PRO METEOROLOGIA kitüntetés. 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). Kitüntetéseimnél 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 fotikári 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 vetjük Siófoknál. Enyhe volt az éjszaka, ezért nem hűlt ki teljesen. Már sokan keresték, a vízürendőség 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 Observatórium felfedezésére indult, „Megnézem már, hová kerülttem...” 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, vetkőzzetek le, menjetek fürdeni, később majd beszélgetünk. Ők ezt szó szerint vették és – jó skandináv szokás szerint – teljesen meztelenül indultak ki az Observatóriumból strandolni; a kerítéstől rángattam vissza őket, már sokan voltak ott idegenek. Kaptam tőlük emlékebe egy nadrágot, „Boldog karácsonyt” felirattal és a norvég zászlóval.

A nyári nagy nyüzsgés után mit csináltak télen?

Először is lecsúszattuk a nyári túlmunkát: volt olyan hónap, amikor 269 órát teljesítettem. Azután jöhetett a kutatómunka, amivel megalapoztuk a következő szezont. Megfelrendeltek a központba télen, a

gáláns Gazdasági Főosztály egyszer a Margitszigeti Nagyszállóban foglalt nekem szállást: az volt télen a legolcsóbb.

Mivel foglalkozol nyugdíjas-ként, mennyire követed szakmánk fejlődését, újabb eredményeit?

Munkában eltöltött 35 évemből 28 évig vezettem az Observatóriumot, 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 eszközei, 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 makroszoptikus helyzetait, beleértve Fritz Rodewald munkáit is (hamburgi szinoptikus volt a múlt században).

Végül köszönöm a beszélgetést, szívélyes barátsággal és szeretettel gondolok tisztelőimre, de haragszaimra 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 gondolsz, 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 visszatértem. 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 találhatók, de Németország, Svájc, Belgium és Lengyelország egyes részein az eltérés az 5 fokot is meghaladta. Még a Berni Alpok csúcsán (Jungfraujoch, 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. Végeterül bemutunk 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 lég hőmérséklet és az SVF kapcsolata városi környezetben (irodalmi áttekintés)

Röviden áttekintjük a felszínközeli lég hőmérséklet (T) és az UHI (ΔT), valamint az SVF kapcsolatára 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 lég hőmérséklet 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 lég hőmérsékletének maximális hűlési gradiense és az SVF értéke között. Az SVF értékeket 27, egymástól körülbelül azonos távolságra lévő helyen terepi méréssel határozta meg, a lég hő-

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 termográfával végzett észleléseiből kapott lég hőmérsékletet vizsgálták és megállapításuk szerint a lég hőmérséklet 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 említene, 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 lég hőmérséklet és az SVF értékek között ($n = 17$) nem tudott kimutatni szignifikáns összefüggést.

Eliasson (1996) további vizsgálatai 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 lég hőmérséklet és az SVF értékei ($n = 18$) között.

A göteborgi kutatásokat Upmanis *et al.* (1998) folytatták. Három városi parkban és azok beépített környezetében vizsgálták a lég hőmérséklet 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 végzett 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 lég hőmérséklet ($n = 14$) 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 körületében 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:

$$\text{állomások: } T = 6,35 - 7,48 \cdot \text{SVF} \quad (n = 16)$$

$$\text{mobil mérések: } T = 2,16 - 4,56 \cdot \text{SVF} \quad (n = 13)$$

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 elem párokon 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 találhatók. 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 mérésorozatról 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 kapcsolatkeresés, ami $n = 103$ elempárt jelent.

A hősziget értékek átlagát a teljes egy évre és évszakoosan 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 épületadatok alapján próbálunk következtetéseket 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 definiálását 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

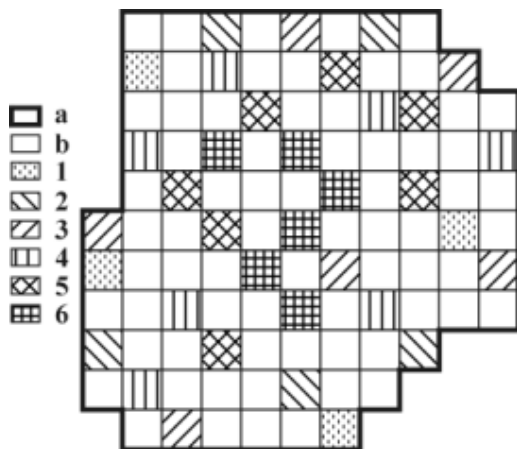
A rétegekben lévő egységek (cellák) száma és a mintázott egységek (cellák) száma

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 történne 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 lehetőségekhez 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

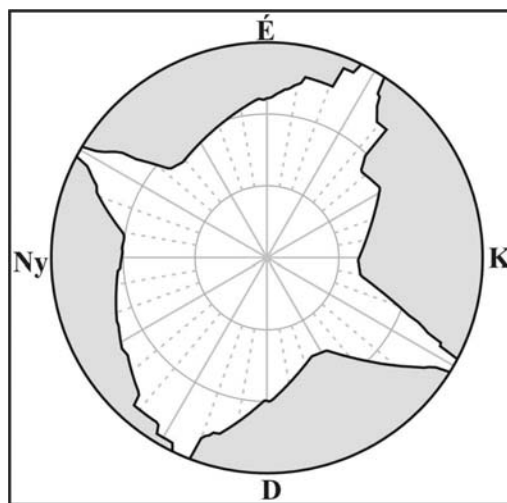
Az SVF értékek kiszámításához a kiválasztott 35 cellán belül elsőként a teljes útvonalnak az adott cellákban haladó szakaszait kellett meghatározni úgy, hogy amennyire lehetséges, kövessék az utcák középvonalát (3. ábra). Ezekre az útvonalszakaszokra történt az algoritmus bemenő paramétereként megadott 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

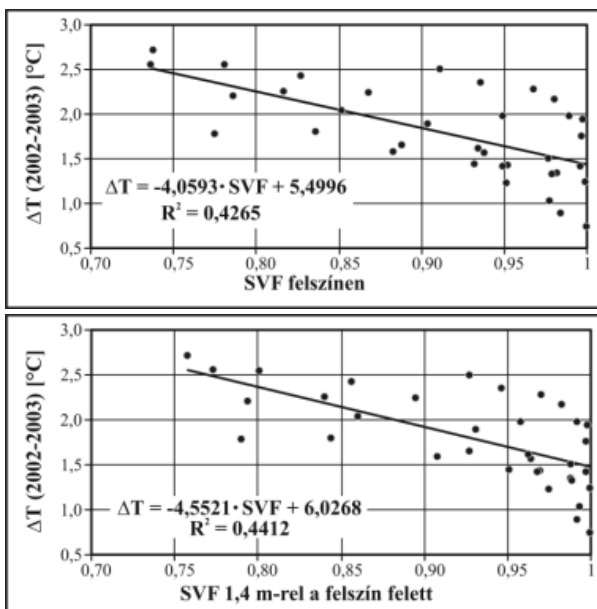
A kiinduló adatok, mint cellánkénti átlagértékek, a következők voltak:

- 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 átlá-

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 varianciáját ($R^2 = 0,426$ 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 varianciájának 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 hosszúhullámú 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.

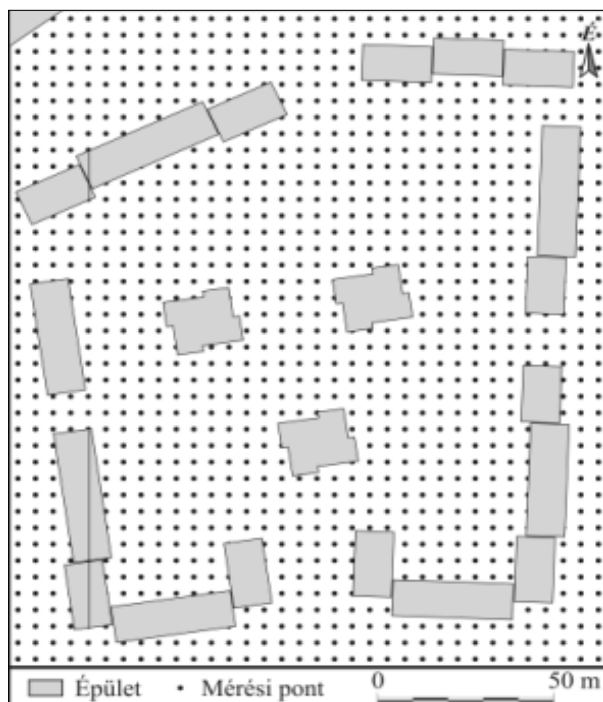
Erre példaként tekintsünk egy 170x200 m nagyságú mintaterületet Szeged egyik lakótelepi részén. A 6. ábra ezt a kijelölt területet, valamint az SVF számításhoz szükséges 200 m-rel megnövelt környezetet mutatja be a rajtuk lévő épületekkel együtt. Az SVF eloszlásának meghatározásához megfelelő sűrűségben felvett diszkrét pontokra vonat-

2. táblázat



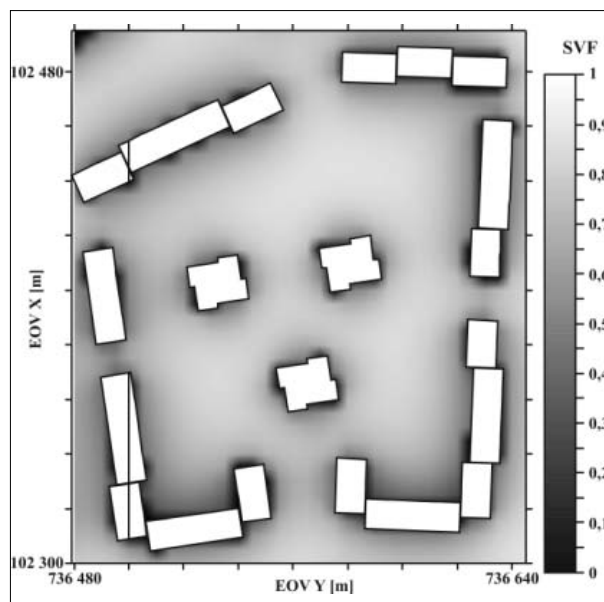
6. ábra A kiválasztott mintaterület Szeged egyik lakótelepi részén

kozó értékek szolgáltatnak információt. Az adatbázis pontosságát és az algoritmus futásának az idejét is figyelembe véve az 5 m-es felbontás (a mintaterületre fektetett 5×5 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, sportcsarnok, stb.).



7. ábra A mintaterület és az SVF eloszlási mezőjének meghatározásához kiválasztott mérési pontok 5×5 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 részeknél 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 rácshálózatra 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 vizsgálataink 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 vizsgálataink 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 Kutler 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
- 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 Klysik 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
- Sümegey 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 Sümegey Z, 2001: A városi hőmérsékleti többlet: keresztmetszet menti vizsgálatok Szegeden. *Légekör* 46/4, 19-25
- Unger J, Pál V, Sümegey 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 áramlástanai 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 közelebből 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 sűrűlódó 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 sűrűlódási 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 sűrűlódási 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 légkörzés nagytérségű mérsékeltövi örvényeit (a ciklonokat és anticiklonokat)

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 nagytérségű rendezett mozgásainak befejező életciklusa az áramlás sűrűlódásos felaprózódása, amelynek során a nagyobb örvények energiája az egyre kisebb méretű örvényeknek adódik át, és amelyet légköri energiakaszkádnak nevezünk. Ilyenformán a globális légkör termikusan gerjesztett és a sűrűlódás 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 kicsoda?

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. Másodszor, a disszipatív dinamikai rendszerek fázisterében 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 fázistartomány térfogata a Liouville-tétel értelmében exponenciálisan csökken, és így az attraktor fázistérfogata nulla (egy sűrűlódó

dásmentes, konzervatív rendszernek ezért nincs karakterisztikus állandósult viselkedése és attraktív halmaza). Mármint, 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 megválaszolhatatlan 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 fázistérbeli 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-sorozata* egyik cikkében kifejtette, hogy „egy különös attraktor csak egy kívülről 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.

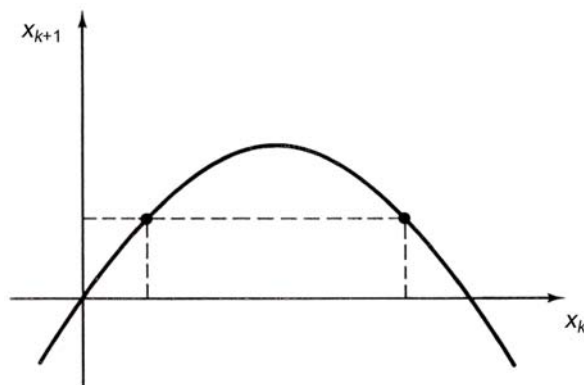
Hogy ne tartozzunk a különös attraktort furcsának ítéelő kívülrállók közé, a következő tényeket kell átgondol-

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 ismerv, 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 idősorból 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 káoszeleméletnek a fizikusok és matematikusok által kidolgozott számos, gyakran igen elvont tétele kizárólag kis (mindenképpen 10 alatti) szabadsági fokú rendszerekre vonatkozik. Ezzel szemben a nagytérű légköri folyamatokat a kutatók 106–107-dimenziós általános cirkulációs modellekkel szimulálják, ráadásul az időben véletlenszerűen változó külső kényszerek (köztük a naptevékenység és a vulkántevékenység) 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

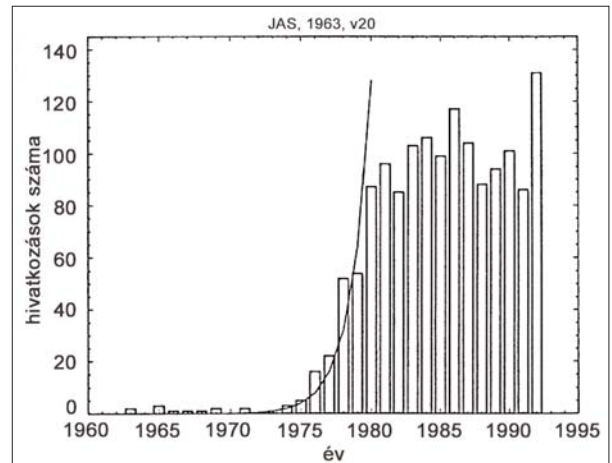
érzékenységgel, illetve az ebből eredő korlátozott előrejelezhetőséggel definiáljuk (amint ezt *Temesvári Tamás* és *Tél Tamás* tanulmánya is megemlíti [12]), vagy pedig a káosz meghatározásból elhagyjuk az „egyszerű rendszerekre” vonatkozó megszorítást, miközben természetesen nem vitatjuk, hogy a növekvő 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 vízcsep 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; mind-egyik hullám a többitől lineárisan független alapfrekvenciával 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 folyadékokban – 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-

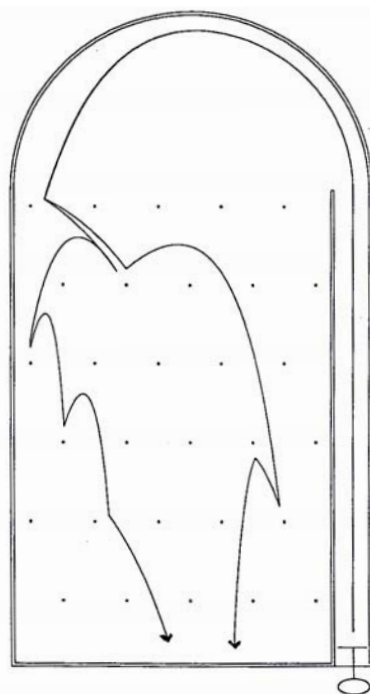
ratóriumi kísérletekkel pedig *Harry Swinney* és *Jerry Gollub* [16] kérdőjelezte meg. Megállapításaik lényege az volt, hogy egy kvázi-periodikus mozgás már a harmadik független alaphfrekvencia belépésénél instabillá válhat, és ha a rendszernek létezik különös attraktora, akkor egyidejűleg a spektrális 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-rekonstrukciós 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 energiavesztéset, 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.

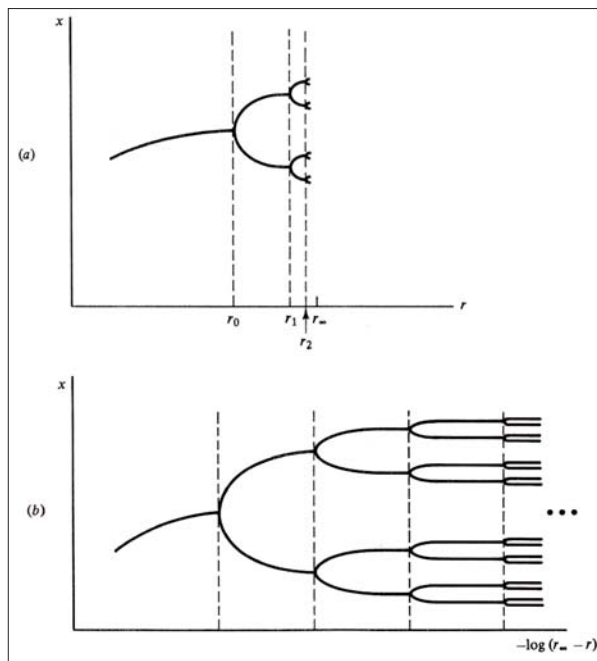
hatatlan következményeként annak, hogy James Gleick a már említett könyve első részének ezt a címet választotta. Az elnevezés eredetét meglehetősen homály feddi. Az biztos, hogy először 1972 decemberében, egy rangos washingtoni tudományos konferencia meteorológiai szekciójában hangzott el, amelyet a 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 térrésznel 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

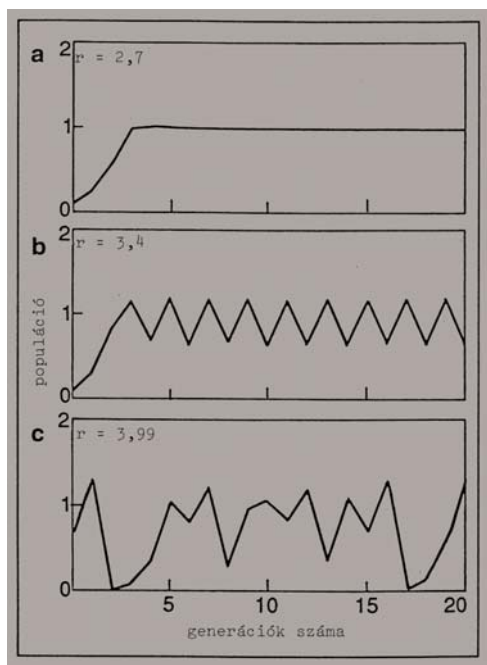
igazának a bizonyítéka. Számunkra viszont a meteorológiai prognosztikának azt a bizonytalanságát szimbolizálja, hogy két időjárási helyzet, amely kezdetben mindössze egyetlen pillangó mozgásának a közvetlen hatásában tér el egymástól, elegendően hosszú idő elteltével akár egy tornádó megjelenésével különböző két állapotba fejlődhet. Érdekes 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 jellegű, 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 káosz 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-

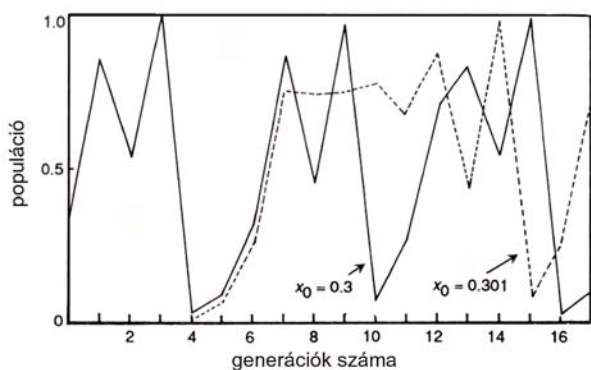


4. ábra. A logisztikus leképezés stabil ciklusainak pontjai a kontrollparaméter függvényében.



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, amelyeken 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 számegyenesen 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 struktúrájának 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 beválását 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 maradvá, *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 mindenkor 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 „kitenyésztesének” 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 mindenkor aktuális beválási 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 tudomány 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: mindennapi 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 T^m ($m = 3$ 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 vízcepp. A túlhűlt vízceppекből álló esőcseppek általában jégsem 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, távvezeték) 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

Villámkiülésből 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 fiatalkora ellenére kitűnő eredménnyel tette le szakvizsgáját a Pázmány Péter Tudományegyetem földrajz szakán. Tanulmányai befejeztével az Egyetemi Földrendéstanai 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 (tiszjelöltté) 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 élettapasztalat 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 hazaérkezésekor – 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 magaslégköri méréseket, az éghajlattant, az állomásszervezést, az agrometeorológiát és az adatok nyilvántartását. Minisztériumi tevékenysége azonban nem tartott sokáig. Munkájának oroszánrészre 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 magaslégkörkutatás 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 ismételt 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 légkörten, görgővihar). Szakirodalmi tevékenységének kiemelkedően szép eredménye három kiadást megért tankönyve, 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 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 elismeréséül 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.

Azaz 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 társadalmi feladatokat felvett munkavégzés, a való világ körülményeinek és kívánalmainak érzékelése és tiszteletben tartása, a meglévő értékek megtartásának igénye, az ember mélyesges tisztelete sokak számára maradt Hille életútjának legfőbb tanítása. A magyar repülésmeteorológia e kimagasló szakmai egyéniségének példája – úgy érzem – követendő mindannyiunk számára.

Radics Kornélia
MH Meteorológiai Szolgálat



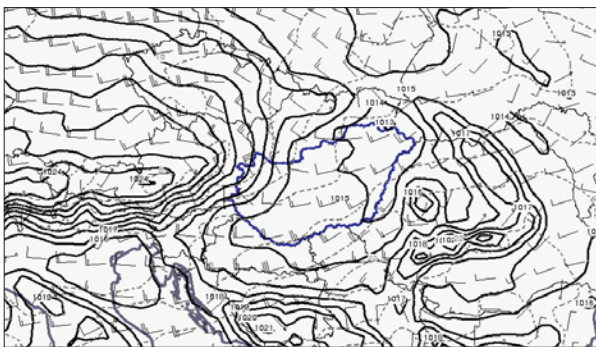
Dr. Hille Alfréd
(1891-1981)

A 2006. augusztus 20-i budapesti vihar időjárási háttere

2006. augusztus 20-án 21 órakor heves zivataros hidegfront érte el a fővárost. A legerősebb szellőkések a Belvárosban elérték 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 összezsúfolódott 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

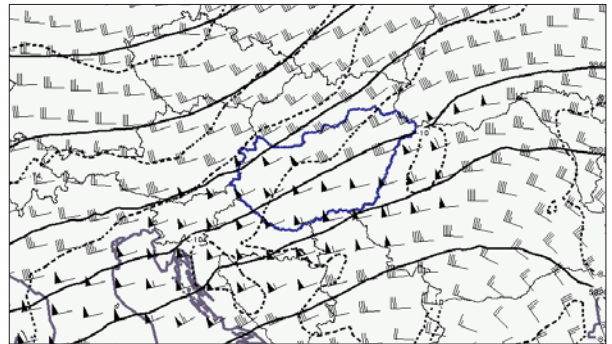
Európa időjárását már több napja egy nagy kiterjedésű fejlett ciklon határozta meg, amelynek északnyugati és délkeleti területei között jelentős (15–20 fokok) hőmérséklet különbség alakult ki. A ciklon nem csak termikusan, de dinamikusan is aktív volt, azaz a ciklon hidegfrontja mögött gyorsan emelkedő légnyomás orrszerűen előrenyomuló magasnyomású mezőt alakított ki amely erős hidegfrontra utalt (1. ábra).



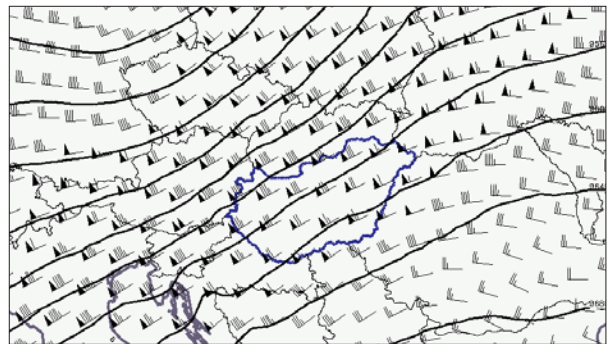
1. ábra. A tengersizti légnyomás (folytonos vonalak 1 mb sűrűséggel), 850 hPa hőmérséklet (szaggatott vonalak) illetve a 925 hPa szél 2006. augusztus 20. 18 UTC-kor az ECMWF +6 óras előrejelzése alapján.

A középső troposzférában, a ciklon déli oldalán a dél-nyugat-északkeleti áramlási rendszer erős volt, így 500 hPa-on 25 m/s erősségű szél is fújt, és néhány fokos hideg advekcio is lezajlott, tovább növelve a front mentén a konvektív instabilitást (2. ábra).

A szél a magassággal tovább erősödött, és a 300 hPa-os 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.

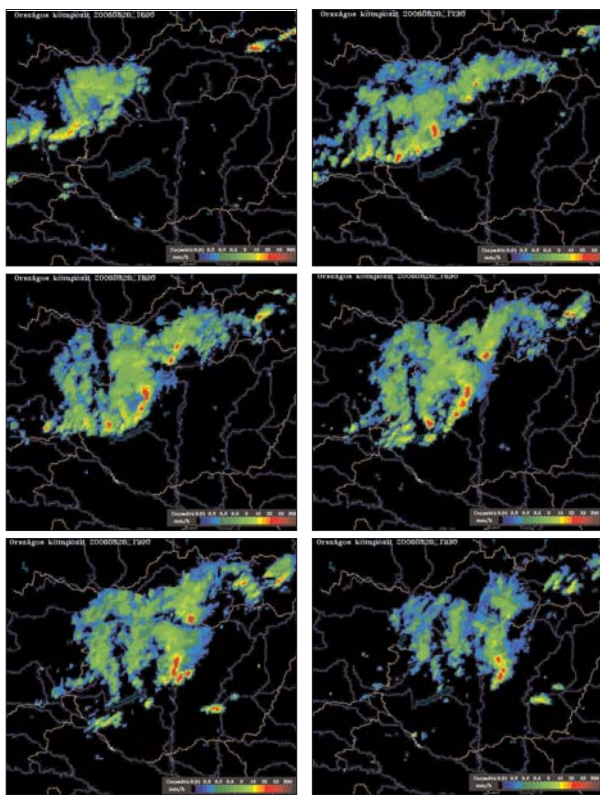
A fentebb leírt szinoptikus helyzet kedvezett a zivatarok kialakulásának, mivel a front mentén létrejövő erős konvergencia a kényszer konvekciót, a magasban lezajló hideg advekcio a konvektív hasznosítható energia növekedését, végül pedig a jet stream a szélnyírást együttesen és egy időben hozta létre. 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 zivatark 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 Légekör 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

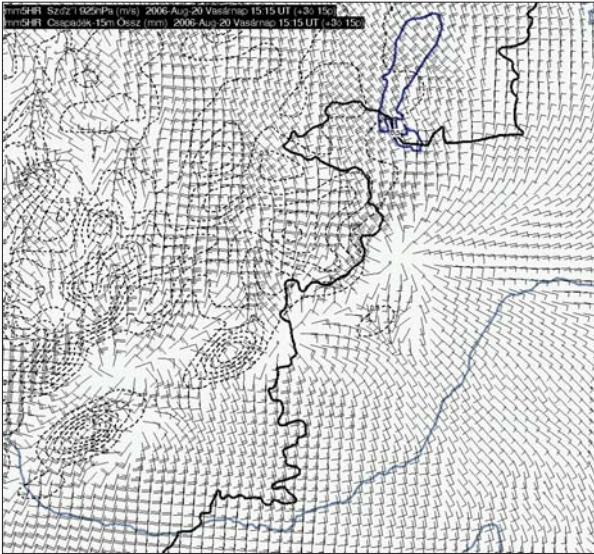
Valószínűsíthető, hogy a cella átvonulása során a leg-erősebb szellőkések meghaladták a mért értékeket és helyenként megközelíthették a 40 m/s sebességet is. Legtöbbször az ilyen típusú zivatark felelősek a tornádók kialakulásáért és nem zárható ki annak a lehetősége, hogy a cella élettartama folyamán 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 át-helyeződésénél 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 zivatarcellák 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.

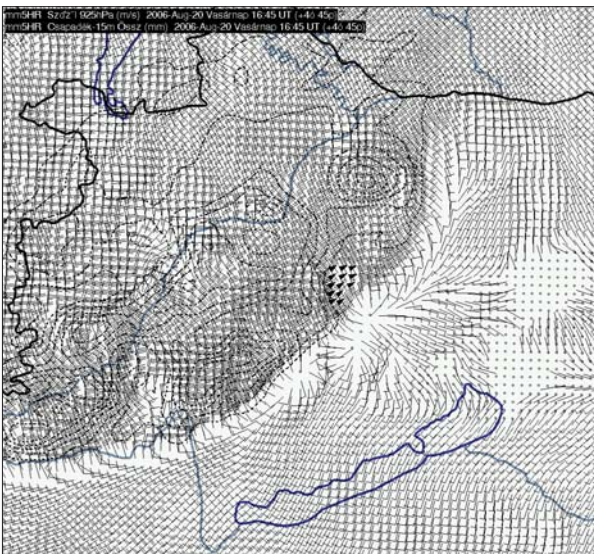
Az OMSZ-nál azóta üzembe helyezett nagy teljesítményű szuper számítógép segítségével és a mezo meteorológiai jelenségek modellezésére alkalmazott MM5 korlátos tartományú légköri modell segítségével megkíséreltük utólagosan szimulálni az augusztus 20-i vihart. A modell futtatást az augusztus 20. 12 UTC-s 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).



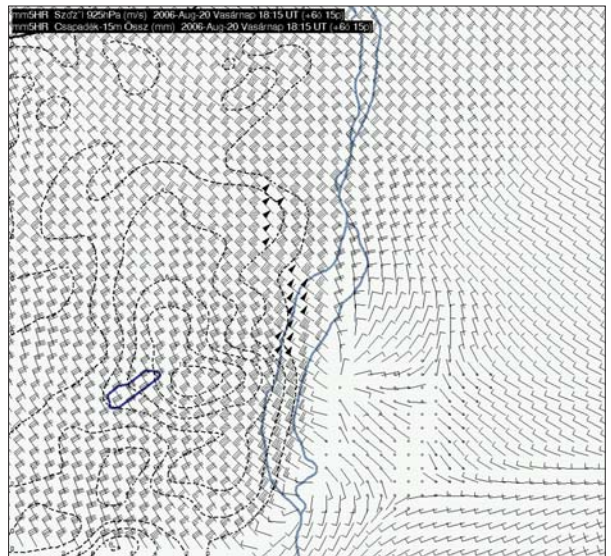
6. ábra. Az MM5 modell 15:15 UTC-re vonatkozó 925 hPa-os előrejelzett szélmezeje és a 15 perc alatt lehullott csapadék mennyisége (szaggatott vonal).

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 erősödve 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 Pannonhalmi 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 szélsebesség 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 kísért, felhőszakadás és néhol jégeső kísérhet.

Kiadta: Országos Meteorológiai Szolgálat
www.met.hu)

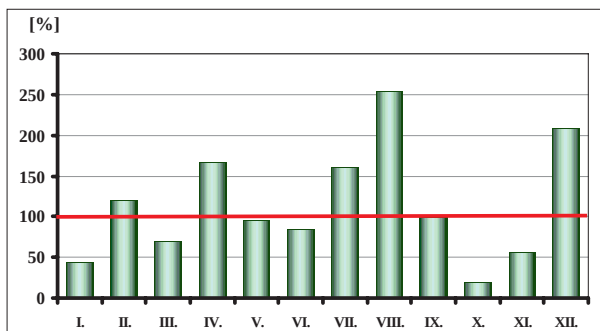
Készült: 2006.08.20 17:36 UTC

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

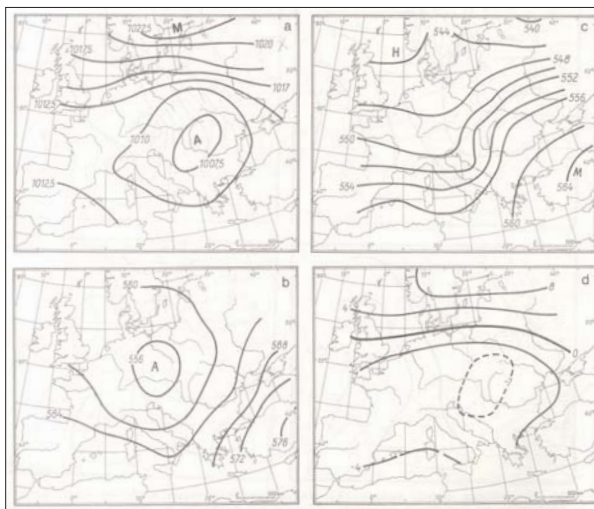
Csapadékperiódusok

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 odaheleződött 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 csapadékokat vonuló mediterrán ciklon (M) okozta, a többi esetben a Kárpát-medence fölé helyeződő, 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 melegszekektörében 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 melegszekektörében az alacsony szinteken meleg, nedves levegő áramlott, ugyanakkor 500 hPa-on már hidegadvektió 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, talajközelsben 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, sokféle alakult ki ismétlődő zápor, zivatar. Számottevő hőmérsékleti advektió 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 orográfikus területeken, illetve csapadék- és szél előrejelzésénél 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.

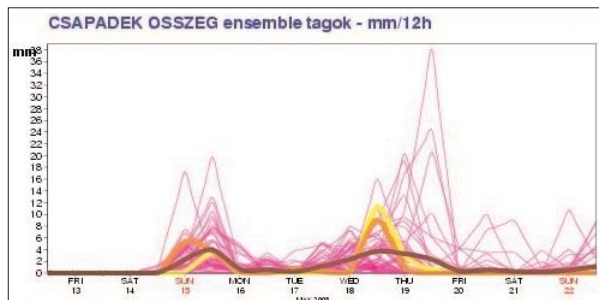
Az ensemble technika azért lehet különösen hasznos a felhasználók számára, mert segítségével előrejelezhető a prognózisok megbízhatósága. Az előrejelzések megbízhatósága ugyanis nemcsak attól függ, hogy hányadik napra vonatkozik az előrejelzés. Van például olyan eset is, amikor a nyolcadik, kilencedik napra nagyobb az előrejelzés megbízhatósága, mint a harmadik, negyedik napra.

Az ensemble előrejelzések gyakori megjelenítési formája az ún. fáklya diagramm, amely adott pontra vonatkozóan az egyes meteorológiai változók időbeli viselkedését, pl. a hőmérséklet, csapadék, geopotenciál előrejelzések szórását mutatja.

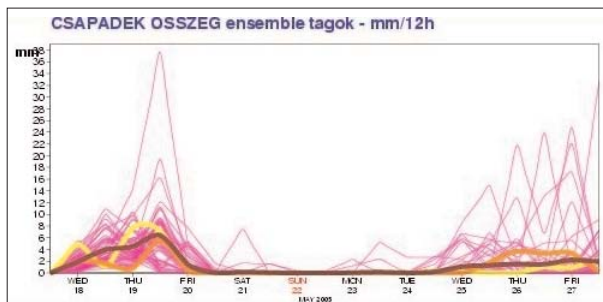
A determinisztikus és az ensemble előrejelzések elemzése négy nagy csapadékot okozó időjárás helyzetben

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 előrejelzésétől. Hasonló volt a valószínűségi előrejelzések alakulása is, tehát időben közeledve a kérdéses nap csapadékához az ensemble átlag is rosszabb lett.



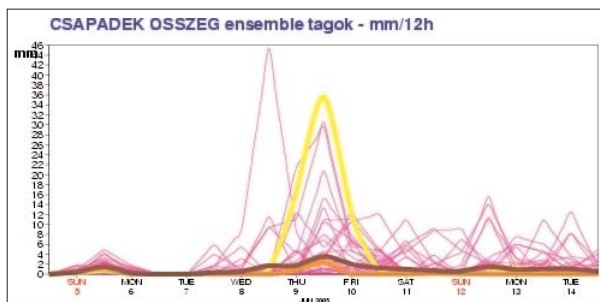
3. ábra: Valószínűségi előrejelzés Budapest térségére a 2005. május 12. 12. UTC-s futtatás alapján



4. ábra: Valószínűségi előrejelzés Budapest térségére a 2005. május 17. 12. UTC-s futtatás alapján

A június 9-re vonatkozó valószínűségi előrejelzések:

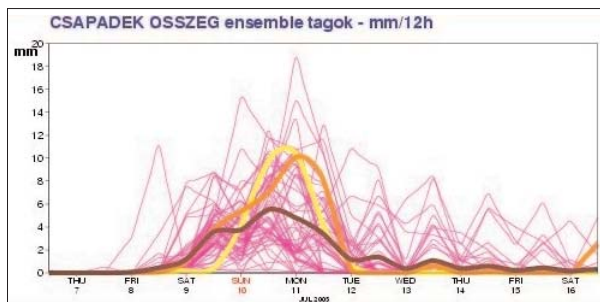
Az operatív modell június 4. 12 UTC-s futtatása (5. ábra) adta a legnagyobb mennyiséget, 35 mm-t, ez az érték tökéletes, hiszen Budapest-Pétszentlőrincen a június 9-én 35 mm hullott! A következő napok futtatásaiban az operatív modell csapadéértéke kevesebb volt, de 6-án, 7-én és 8-án is 20 mm feletti, 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, támogatják.



5. ábra: Valószínűségi előrejelzés Budapest térségére a 2005. június 4. 12. UTC-s futtatás alapján

A július 10-11-re vonatkozó valószínűségi előrejelzések:

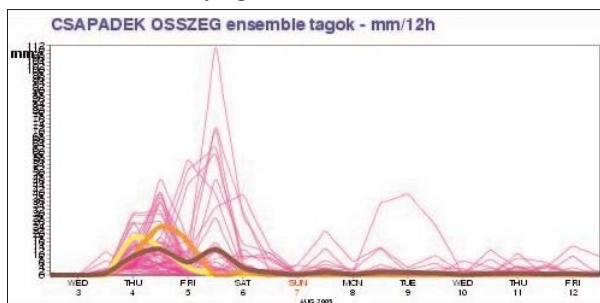
A két nap alatt Budapest-Pétszentlőrincen 56 mm hullott, első nap 31, a második nap 25 mm. A július 4. 12. UTC-s futtatásban az operatív modell július 10-re, 11-re nem adott számottevő csapadékot, csupán egy-egy ensemble tag jelzett előre 10 mm körüli mennyiséget. A július 5. 12 UTC-s előrejelzésben 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

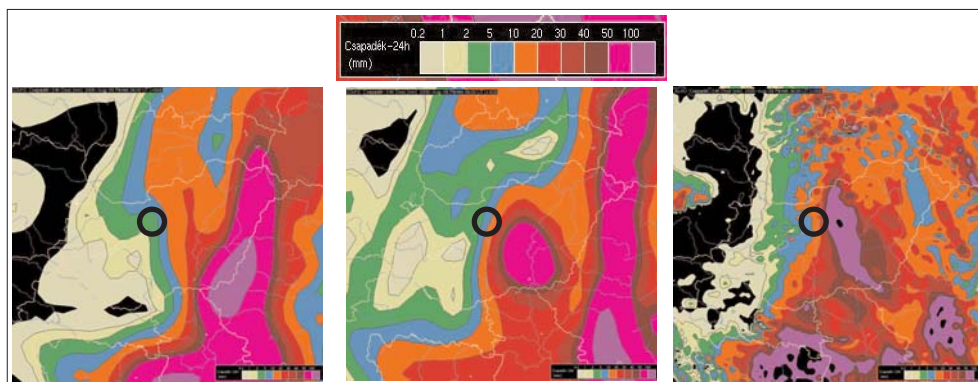
Az augusztus 3-4-re vonatkozó valószínűségi előrejelzések:

A két napos csapadékösszeg Budapest-Pétszentlőrincen 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 előrejelzés 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-Pétszentlőrincen 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 csapadéköna tengelyét helyesen, az ország középső, illetve nyugati részére adta. Ezúttal 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 körrel 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.

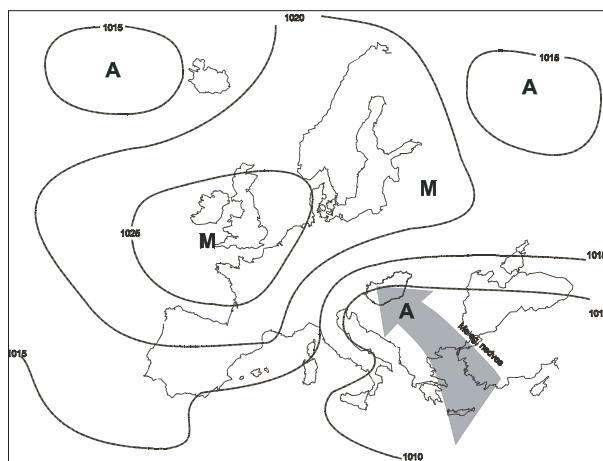
Összefoglalás

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 csapadékokat 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 mennyiségben 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

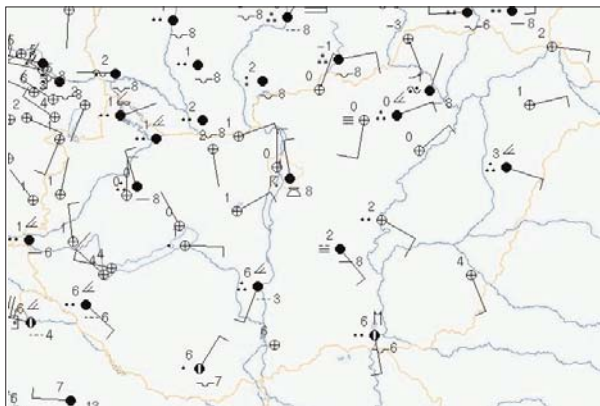
Irodalom

- 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. Léggör, 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.



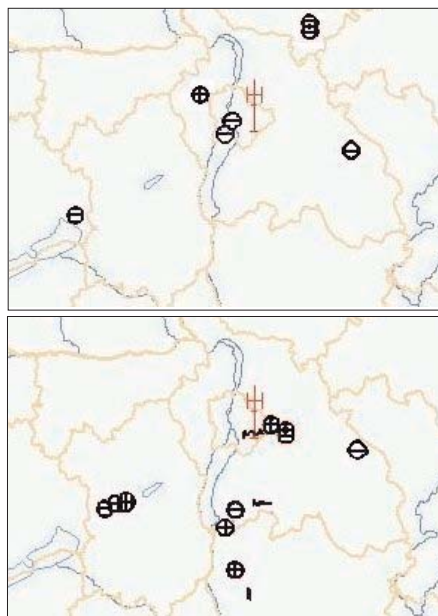
1. ábra Hőmérséklet, szél, felhőzet és jelenlegi időjárás észlelések 2006. 02. 17-én 10 UTC-kor

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 óras csapadék összeg (mm)	Hőmérséklet (°C)	1 óras csapadék összeg (mm)	Hőmérséklet (°C)
09	0,2	-0,2	1,5	+0,4
10	2,1	+0,4	1,7	+0,6

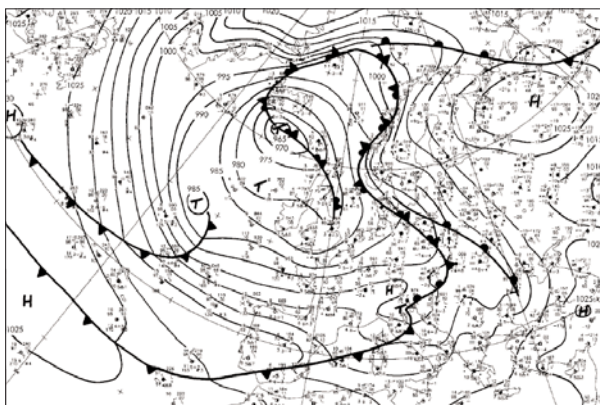
A reggeli órákban átmenetileg gyengült a csapadék, majd a beágyazódott zivatartörmékből 08.30 és 09.30 UTC között (2. ábra) a város több pontján is előfordult zivatar, esővel, néhol hódarával, jégdarával, míg a budai oldalon ezen felül ónos eső is előfordult. A ferihegyi reptéren a zivatart 09.32 UTC-kor 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

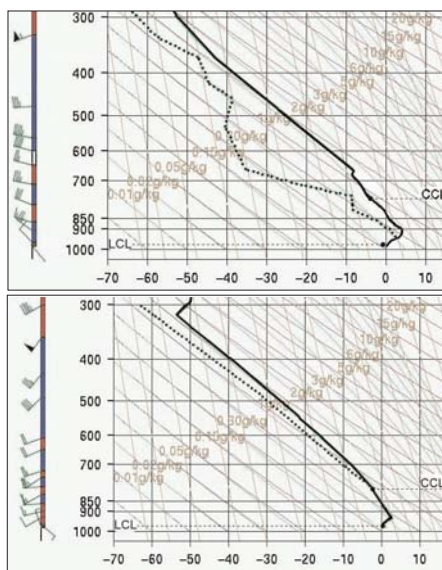
Vajon előre jelezhető volt-e ez a különleges természeti jelenség?

Először nézzük át az adott órákban uralkodó légköri viszonyokat! Reggel az Island 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 efölött elhelyezkedő levegő viszont labilizálódott. A legnagyobb labilitás a kora délelőtti órákban uralkodott a főváros térségében, de ebben az időben nem volt rádiószondás mérés.



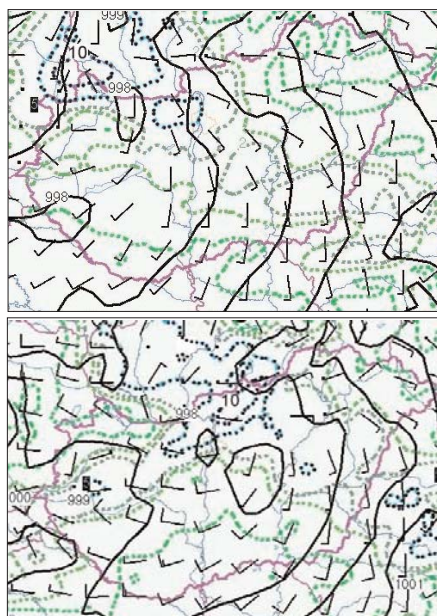
4. ábra A budapesti rádiószondás mérés hőmérsékleti görbéi: 2006. 02. 17. 00 és 12 UTC

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 néhány száz méteres emelés is beindíthatta a halmazállapot váltást.

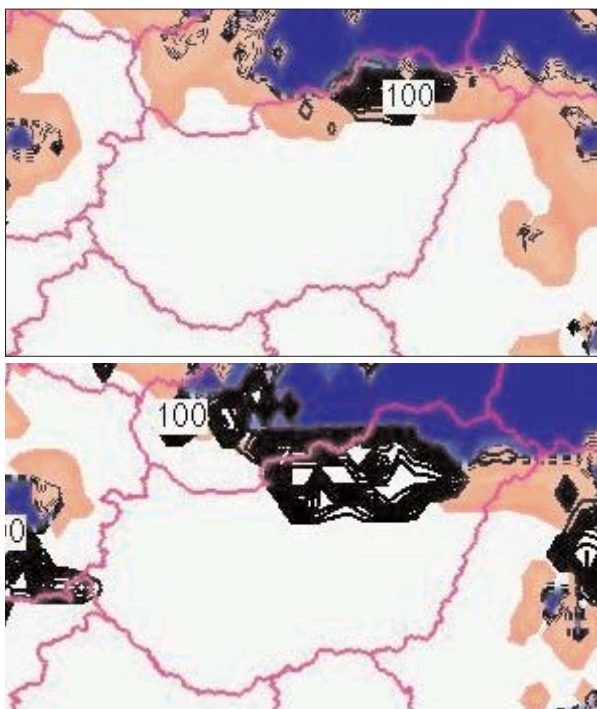
Röviden összefoglalva ez vezetett az ónos esővel kísért zivatar kialakulásához Budán. A következőkben vizsgáljuk meg, hogy előre jelezhető volt-e ez a jelenség?

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 hidegebbet 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 – Szélzászlók – 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 néhány száz méteres rétegben, így adva volt az esély az ónos esőhöz.

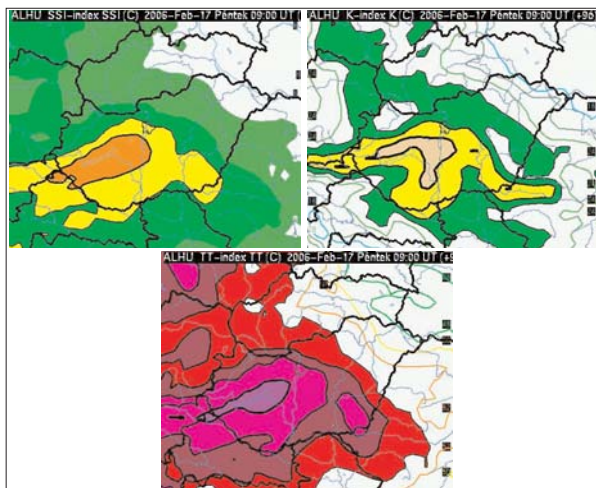


6. ábra Az ALADIN.HU modell által előre jelzett csapadék fajták 2006. 02. 17-én 06 és 09 UTC-kor
Sötét: havazás – Szürke: hó, havas eső, eső – Fehér: eső – Fekete vonalak: ónos eső

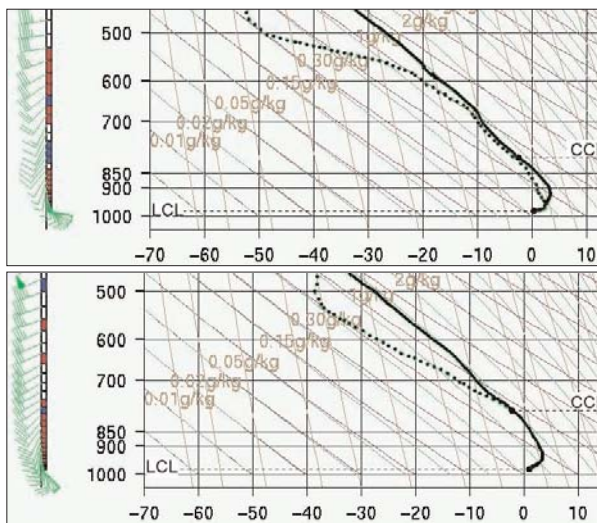
Az ALADIN.HU modell a délelőtti órákra nagyon erős labilizálódást jelzett előre a 850 hPa és 500 hPa közötti légrétegre (7. ábra). A Showalter-index (SSI) előre jelzett értéke 0C és -1C között volt Budapesten (téli 4C alatt már lehet zivatar), de a Dunántúlon néhol -1C alatti értékek is előfordultak. A K-index értéke 28C körül volt (téli 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 (téli 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 előrejelzett 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.

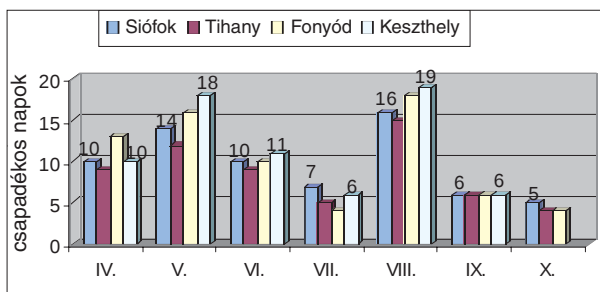
A viharjelzések meteorológiai kiszolgálását nappal (08 órától 20 óráig) Siófokról, éjszaka (20 órától 08 óráig) Budapestről látták el. A riasztást a lakosság és az üdülőkörzség részére az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (OKF) fény- és rádióvezerléssel működő rendszere biztosította.

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 Vízrendészet 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 visszatükrözoje 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 vízál-lás 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

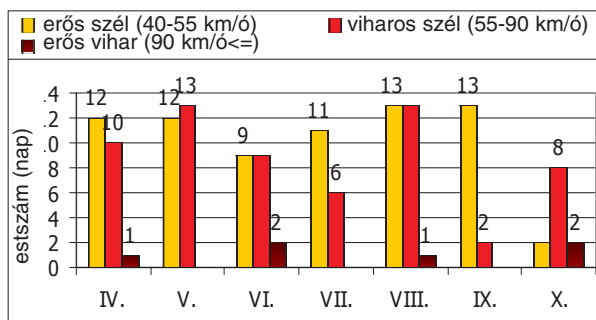


1. ábra: A csapadékos napok (0,1 mm-től) havi megoszlása a Balatonnál 2006-ban

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 $\geq 30^\circ\text{C}$) 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 szélsébséget 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 széllelőkések 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 széllelőkések 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 partközeli 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 szeles 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 keletiben 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 szeles. 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 Magyarátad, Mernye, Igal térségében. A lehullott 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 szélgyorsítások a hónap második felében már főként a zivatarokhoz kötődtek. Az egész hónapot jellemezve az átlagos szélsősebesség 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 csúcscértékek a Balatonnál 34 fok körül alakultak. A hónap végén már a Nyugat-Európából jövő hidegfront előterében 3 heves ziva-

tarvonal 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 Légkör 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 legkevesbé 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 melegebbé húzódtak. 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 nagy kiterjedésű 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 melegedést. 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 széllelkések 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 Zala megyében 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 legkevesbé szeles hónap a Balatonnál. Az idén éppen az augusztus lett a legszelesebb a havi átlagos szélsébségeket, 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 nyúlt „Índián 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 ezeken 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 csapadékoszegek 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 szélsébség elérte a viharos fokozatot. Szeptemberben két (5. és 9.) hidegfront érkezett, amely egyúttal viharos szelet is okozott, az azonban nem volt tartós. A szélgyorsodások 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 fokra 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-közelben 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/ó-t. Balatonörszödnél pedig 105 km/ó-t regisztrált az automata. Ezen szélmaximumok a frontbetöréskor álltak be. Ekkor az erős hidegadvекció mellett konvektív felhőzet is jelen volt 1–2 helyen zivattal. Az őszi végén, tél elején az utóbbi években megjelentek az erős viharok. 2004-ben november 19-én volt 100 km/ó-t elérő szélsébség a Balatonnál, 2003-ban pedig december 6-án. Mindegyik esetben fellelhető volt a troposzféra magasszintű 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) összeváltása 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 Vízirendészeti 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 emeltdíjas 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 kiszolgáltatását. 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 emeltdíjas telefonszámon áll az érdeklődők rendelkezésére!

Dr. Bartha Imre, H. Zsikla Ágota



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 csendes 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 formálód: 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 vonzottalak 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 egészséghoz 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 szívén 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, 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 megszerzte az I. osztályú nemzetközi rádiótávírási- és hajózó távírási képesítést is. A Légierő akkori szinte valameny-

nyi típusán repült rádiósként, majd szakoktatóként, a földi szolgálatban pedig észlelt és összeállította az időjárási táviratokat: ekkor került először közvetlen kapcsolatba a meteorológiával. A II. világháború utolsó évében Németországba vezényelték kiképzésre (a Luftwaffe kétfutórombolójára, 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 sorsától...).

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 távírások 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 teljesen 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 kapcsolatait 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 leg-

jobb, 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. Családja 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 első 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 életritmusomhoz. 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 Jóskánál 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!

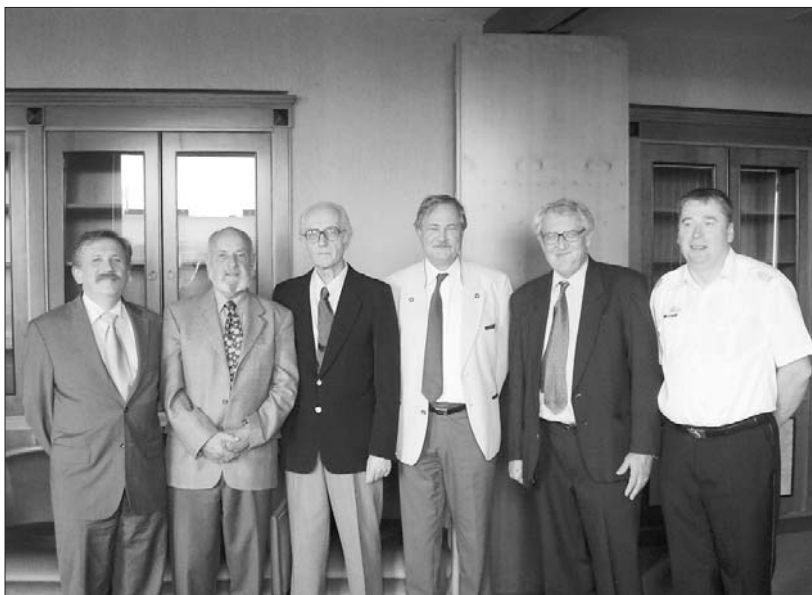
Tamáskovits Károly

* * *

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 Gácsér 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 Éghajlati Tanszékének nyugalmazott tanszékvezető 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

köszöntött. 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 munkatársa, barátja, Rákóczi Ferenc professzor és Makainé Császár Margit tanárnő emlékeit. Az előadóülést 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 vegyenek 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,
Buránszkyné 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 kedvezményezettel 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 aranyokleveleket 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 őszők tehát előfordultak az elmúlt 105 év során, a 2006-os ősz 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 csapadékhözam az ország egy-két pontján ugyan meghaladta az átlagot, jellemzően azonban mindössze 20-60%-a volt a szeptemberben szokásos csapadékmennyiségnek. Országszerte 1-6 napon fordult elő csapadékhullás, 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 Sátoraljaújhely (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 országon 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 Tiszaújváros (megye) október 31.

Október szárazabb volt a megszokottnál, csapadékhözama alig több mint fele volt az ilyenkor szokásosnak. A havi csapadékösszeg országon belüli eloszlása határozott észak-északnyugat, dél-délkelet irányú eloszlást mutatott. Az ország északi-északnyugati vidékein a csapadékhözam a normál 30-50 százaléka körül mozgott, a déli-délkeleti országrészben ellenben 80-90 %-a volt a sokévi átlagnak, sőt egyes területeken meg is haladta azt.

Országszerte mindössze 3-6 nap volt csapadékos, 10 mm-t meghaladó csapadéku 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 széllekeések 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 ősz másik két hónapjához hasonlóan melegebb volt az ilyenkor szokásosnál, országos átlagban mindegy 2,4 fokkal. Országon belül 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 ősz korábbi hónapjaihoz hasonlóan szárazabb volt az ilyenkor szokásosnál: országos átlagban a novemberi csapadékhözam 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 országszerte 1-2 napon havazást is regisztráltak.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 57 mm Kőszeg (Vas megye)

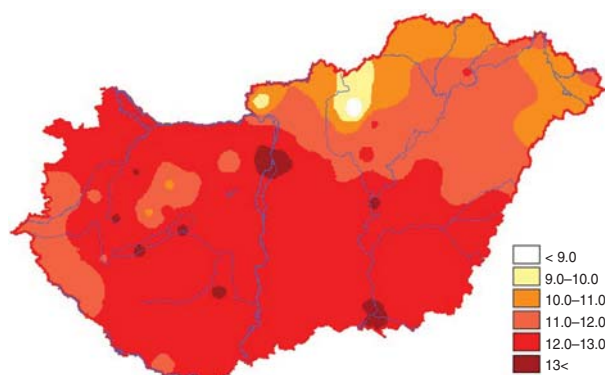
A hónap legkisebb csapadékösszege: 2 mm Dédestapolcsány (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 36 mm Kőszeg (Vas megye) november 22.

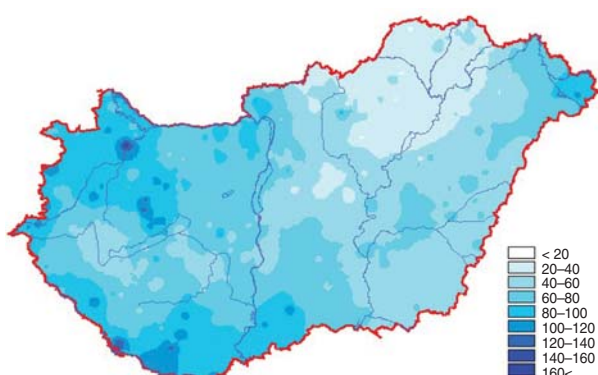
Schlanger Vera

2006. ősz

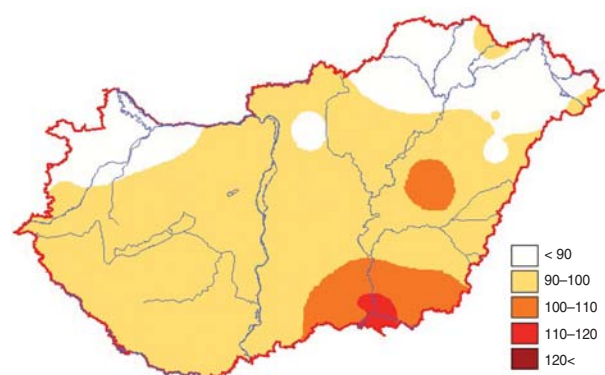
állomások	napsütés (óra)		hőmérséklet (°C)						csapadék (mm)			szél
	évsz.össz.	eltérés	évsz.közép	eltérés	absz.max.	napja	absz.min	napja	évsz. össz	átlag%-ában	1mm<napok sz.	
Szombathely	486	93	11,6	2,0	30,6	2006.09.04	-4,8	2006.11.03	76	50	13	9
Nagykanizsa	479	85	11,4	1,6	30,9	2006.09.04	-7,8	2006.11.03	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



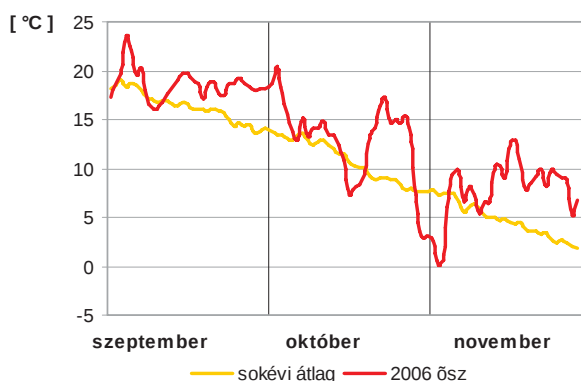
1. ábra: Az ősz középhőmérséklete °C-ban



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.)



Német mechanikus. Műhelyéből sok meteorológiai műszer került ki, amelyek idővel nagy népszerűségegre tettek szert. Ilyen volt Lambrecht-féle higrométer és poliméter. Utóbbit a helyi prognózis megállapítására rendezte be, harmatpont mérés alapján. A Lambrecht-féle időjárási 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).