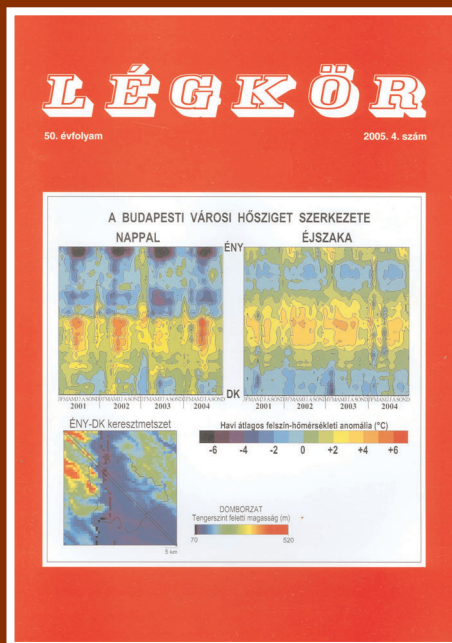
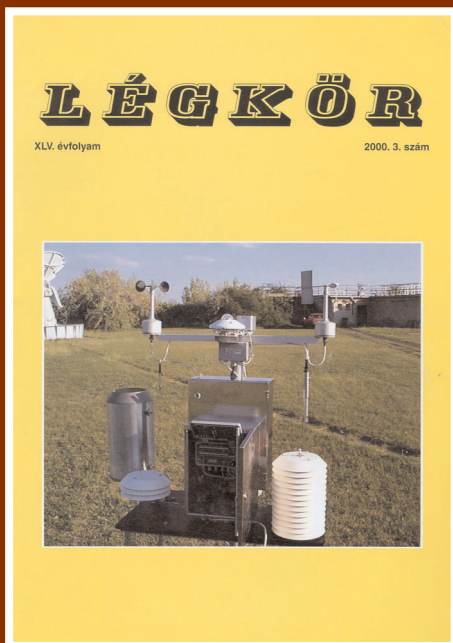
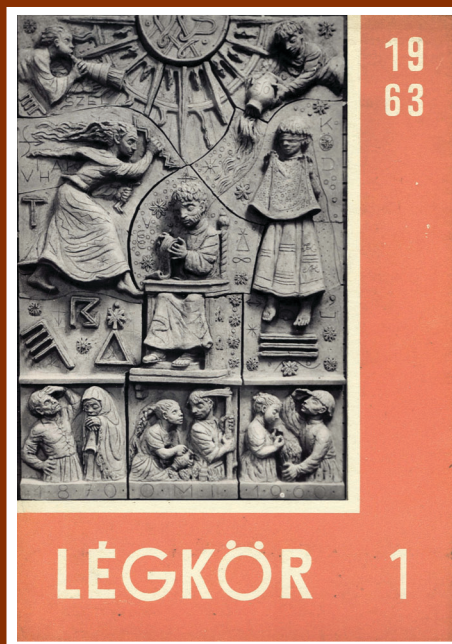
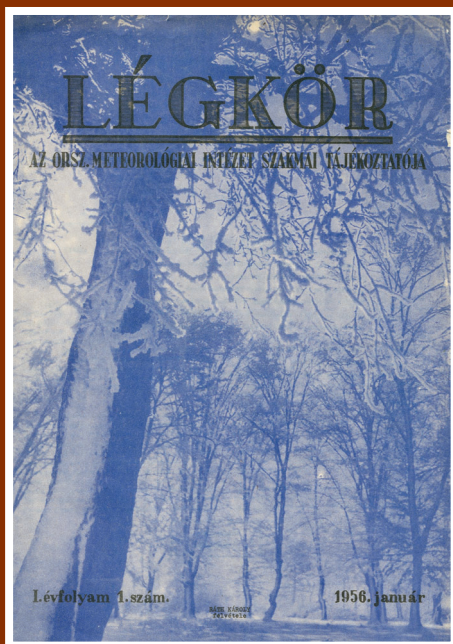


L É G K Ö R

51. évfolyam

2006. Különszám



50 éves a Léggkör

51. évfolyam
Különszám

Felelős szerkesztő:
Dr. Ambrózy Pál
a szerkesztőbizottság
elnöke

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

ISSN 0133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Dunkel Zoltán
az OMSZ elnöke

Készült:
Az FHM Kft.
nyomdájában
800 példányban

Felelős vezető:
Modla Lászlóné

Évi előfizetési díja 1380 Ft

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

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI
SZOLGÁLAT ÉS A MAGYAR
METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

TARTALOM

A címlapon: Válogatás a Léggör néhány
régí és újabb címlapjából.

Dunkel Zoltán: Bevezető.....	1
Mészáros Ernő: Az újkor tudományos forradalma: A meteorológiai születése.....	2
KISLEXIKON	7
Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti éveí – történeti visszapillantás	8
Czelnai Rudolf: Megemlékezés a Meteorológiai Világszervezet (első) Éghajlati Világkonferenciájáról	16
Major György: A Milankovics-Bacsák elmélet és az éghajlatváltozások	20
Bihari Zita, Lakatos Mónika, Mika János, Szalai Sándor: Hazánk éghajlatának néhány jellemzője az 1956–2005 időszakban, kitekintéssel a globális tendenciákra	24
KISLEXIKON	28
Juhász Ágota, Mészáros Róbert, Szinyei Dalma Fatima, Lagzi István, Horváth László: Az ózonterhelés becslése modellszámítások alapján	29
Ambrózy Pál: Az 50 éves Léggör a (jelenlegi) szerkesztő szemével	32
Kajtárné Lovas Katalin: Az Országos Meteorológiai Szolgálat publikációs tevékenysége és kiadványai	33
Dunkel Zoltán: Ami az útíjelentéseimből kimaradt!	36

Bevezető

A könyvespolcomon hatvan centimétert foglalnak el a *Légkör* bekötött számai. Leemelem az első kötetet, amely az 1956-1959-es számokat tartalmazza és fellapozom a megsárgult lapokat. A rövid beköszöntő arról szól, hogy az *Időjárás* egyre bővülő nemzetközi *elterjedettsége* arra kötelezi az Intézetet, hogy elsősorban tudományos kutató munkánk eredményeit tegyük közzé. Ez a szándék nem jelenti azt, hogy az időjárás tudománya, a meteorológia iránt érdeklődőkkel, vagy a nálunk dolgozó észlelőkkel lazítsuk a kapcsolatot. A *Légkör* megjelentetésével az Intézet teret kíván nyitni olyan tanulmányok és cikkek közlésének, amelyek tárgya főként munkatársaink érdeklődési körébe vág. Az ötven évvel ezelőtt útjára indított szakmai tájékoztató elsősorban az észlelőknek szólt, az ő munkájukat kívánta segíteni, javítani. A kitűzött cél, az észlelők tájékoztatása, a népszerűsítés mellett, a *Légkör* arra is törekedett mindig, hogy hiteles szakmai folyóirat legyen.

Miről is szól az első szám? Többek között bemutatja a Marczell György Obszervatóriumot, közli Czelnai Rudolf tudományos segédmunkatárs rövid írását a téli mennydörgésről és villámlásról. Tovább lapozva megtudhatjuk, hogy a beszállított rádiószondáért a megtaláló egy összegben 20, azaz húsz forintot kaphatott akkoriban. Végre elkészült a Steiner Lajos emlékérem, s hogy kollégánk tanulmányúton járt a Német Demokratikus Köztársaságban.

Hamarosan megjelenik az elmúlt évszak időjárását összegző rovat, s a szakmai rendezvényekről szóló tudósítások sora. S most vegyünk elő egy nemrég megjelent számot. A forma és a tartalom kissé más, de sok szempontból mégis ugyanaz. Igényes szakmai cikk, irodalmi hivatkozásokkal, a meteorológus közélet eseményei, a Társaság hírei, beszámoló egy egzotikus utazásról (1956-ban még az NDK számított annak!), s természetesen az elmaradhatatlan időjárási összefoglaló. A *Légkör* népszerűsítő kiadványnak indult, ma is az, de akkor is, most is, mintha mindig egy kicsivel többet akarna nyújtani az olvasónak. S lehet, hogy talán tudományosabbra sikerül néha, mint amennyire egy népszerűsítő folyóiratnak lenni szabad. Az is

lehet, hogy nem mindent ért a kedves olvasó! Azt hiszem ez a gondolat a szerkesztők fejében is megfordulhatott, mivel már régóta állandó rovata a lapnak a *Kislexikon*, kedvenc rovatom, amelynek szócikkeit összefésülve, akár elő is állna egy meteorológiai (szakmai) lexikon.

Amikor még kezdő voltam, s bizony voltak dolgok, amikről nem hallottam az egyetemen, s némi szégyenkezés után megkérdeztem idősebb kollégáimat, sokszor kaptam azt a feleletet, elsősorban Csomor Mihálytól, aki sajnos már nincs közöttünk, nézd csak meg, hogy erről mit írt a *Légkör*! A tanácson kívül rögvest kezembe is nyomta a megfelelő számot, mivel neki, mint a szerkesztőbizottság tagjának szépen ott sorakoztak a szekrényében, bekötve, a *Légkör* megjelent számai. Nem tagadom, irigykedve néztem sorozatát, s ez az irigykedés is benne volt abban, hogy magam is elkezdem gyűjteni számaikat, s most büszke vagyok rá, hogy mára megvan a teljes sorozat!

A *Légkör* szakmai színvonalát mindig megtartva, vagy ha lehet növelve, előbb kisebb, aztán nagyobb, végül színesebb lett, de végig megtartotta népszerűségét a szerzők és az olvasók között, akik mind mi vagyunk, meteorológusok vagy a meteorológia iránt így vagy úgy érdeklődők. Az ünnepi évfordulóra bibliográfia is készül, ahogy a 30. és a 40. évfordulóra, amely a címjegyzéken túl tárgymutatót is tartalmaz, hogy az olvasók újabb és régebbi generációja sikeresen búvárkodhasson.

Reméljük, hogy ez az ötven év csak az első a lap történetében. Kívánok neki a magam és az olvasók nevében még hosszú sikeres és hasznos pályafutást, a meteorológusok és a meteorológiát kedvelők, vagy az iránt érdeklődők örömére! Jobbal én sem tudom befejezni a bevezető köszöntést, mint Dési Frigyes tette 1956-ban. Szeretettel nyújtjuk át nemcsak az észlelőknek, hanem minden kedves olvasónknak a *Légkör* 201. számát, s boldog új esztendőt kívánva reméljük, hogy ők is szeretettel fogadják. Boldog születésnapot kedves *Légkör*; csak így tovább!

Dunkel Zoltán
elnök

Országos Meteorológiai Szolgálat

AZ ÚJKOR TUDOMÁNYOS FORRADALMA: A METEOROLÓGIA SZÜLETÉSE

„Csaknem minden, ami a modern világot megkülönbözteti az előző századoktól a tudománynak köszönhető...”
(Bertrand Russel: History of Western Philosophy)

A 15. évszázad kezdetén, a reneszánsz gondolkodás hajnalán Európa szellemvilágában nagy változások kezdődnek. Az Itáliában induló reneszánsz a 15. évszázadban a görög kultúra fénykorát idézi. A 16. század némi visszaesése után, a 17. és 18. század forradalmasítja a filozófiát és a tudományokat (Russel, 2004). A tudományos gondolkodás egyre jobban eltávolodik az egyháztól: a tudományt nem csak szerzetesek művelik, a véleménynyilvánítás lassan szabadabbá válik, ami fejlődésnek hatalmas lendületet ad. „Gondolkodom, tehát vagyok” mondja a nagy francia filozófus, René Descartes (1596–1650), ami a racionális tudomány előretörését jelzi.

Megszületnek azok a tudományos módszerek, amelyek a kutatásban ma is vezérfonálul szolgálnak. Így a 16. és 17. század fordulóján élt Francis Bacon (1561–1626) véglegesen megfogalmazza a kísérleti kutatás alapelvét, az indukciót. A harmincöt évvel fiatalabb Descartes az elméleti kutatás módszerét, a dedukciót dolgozza ki. A szellemi világot megrengető első nagy gondolat már a 16. század elején napvilágot lát. Ptolemaiosz Föld központú világképével szemben, Mikolaj Kopernik (Nicolaus Copernicus; 1473–1543) lengyel csillagász heliocentrikus modellt javasol. Kopernik nem gyakorlati ember. Elvi úton egyszerűsíti és elegánsabbá teszi a Naprendszer leírását. Elképzelését mintegy száz év múlva Johann Kepler (1571–1630) törvényei teszik igazán közismertté.

A megfigyelési eszközök is jelentősen fejlődnek. Az új műszerek kitágítják a megfigyelések lehetőségeit. Galileo Galilei (1564–1642) itáliai polihisztor feltalálja a távcsövet és felfedezi a Jupiter négy holdját, illetve a Szaturnusz gyűrűjét. Úgy gondolja, hogy a csillagok olyanok, mint a mi Napunk, ami arra utal, hogy nem csak a bolygók, hanem a Napunk sem különleges égitest. Galilei megalapozza a korszerű fizikát, amelyet három törvényével és gravitációs elméletével Isaac Newton (1642–1727) tesz teljessé.

Newton optikai munkáival a színek természetének magyarázatát is jelentősen előbbre viszi: kísérletei alapján kimondja, hogy a színeket az optikai prizmban különböző szögben megtört napsugarak okozzák. Véleménye szerint a fény kicsiny részecskékből áll, amelyek

egyenes vonalban terjednek. A diffrakció¹ felfedezése (Francesco Maria Grimaldi; 1618–1663) azonban nem magyarázható ezzel a feltételezéssel: Christian Huygens (1629–1695) holland tudós kidolgozza a fény hullámelméletét.

Ebben a tudományos forrongásban a korszerű légkörtudomány is megszületik és fejlődésnek indul. A tizenhetedik század, a felvilágosodás korának végére a légkör számos tulajdonsága ismertté válik. Jelen tanulmány a meteorológiai ismeretek születését és bővülését foglalja röviden össze² a felvilágosodás végéig. Időnként azonban utalunk a későbbi eseményekre, mintegy hangsúlyozva egy-egy felismerés jelentőségét. A felvilágosodás korának egyik érdekessége, hogy a légkörrel foglalkozó kutatók nem meteorológusok a szó mai értelmében. Vizsgálataikat részben a fizika, részben a kémia, esetleg más tudományág keretében végézik. Ez azért meglepő, mivel a meteorológiát már Arisztotelész is különálló tudománynak tekinti (Mészáros, 2006a). Mindenesetre a 16–18. században kapott eredmények megalapozzák azt a látványos fejlődést, amely a meteorológiában a 19., de főleg a 20. században végbement.

Műszerek, megfigyelések, mérőhálózatok

Légköri ismeretek kibontakozásához és fejlődéséhez természetesen mérőműszerekre volt szükség. A késő reneszánsz és a felvilágosodás kora ezen a területen forradalmi változásokat hozott: megszülettek az első meteorológiai műszerek. A hőmérő elvét Galilei gondolja ki. Az alapvető változás azonban Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736), Hollandiában élő német fizikus nevéhez fűződik, aki a 18. század elején először alkalmazott higanyos hőmérőt, majd megalkotta a róla elnevezett hőmérsékleti skálát. A beosztással ellátott higanyos hőmérők gyorsan terjedtek, lehetővé téve a hőmérséklet megfigyelését. Végül Aders Celsius (1701–1744), svéd csillagász a víz fagyási, illetve forrási hőmérséklete közötti skálát 100 egységre osztja fel (1742).

A barométert, mint ismeretes, Evangelista Torricelli (1608–1647), olasz fizikus és matematikus találta fel. A korai halála miatt az első híres légköri légnyomásméréseket elsősorban francia kutatók (Pascal, Périer) hajtották végre (lásd Mészáros, 2005). A műszer lehetővé tette, hogy meghatározzák a légnyomás vízszintes és függőleges változásait, ami megalapozta a légkör szerkezetének és a szelek kialakulásának értelmezését. Az első szélmérőt (anemométert) Leon Battista Alberti

¹ Diffrakció: hullámok terjedési irányának megváltozása kis akadályon, illetve résen való áthaladásakor.

² Nem térünk ki azonban a légkör összetételével kapcsolatos vizsgálatokra, amelyeket előző tanulmányunkban vázoltunk fel (Mészáros, 2005).

(1404–1472) olasz építész szerkesztette 1450-ben³ (lásd *Bellis, 2005*). A műszer érzékelője lényegében egy szélre merőleges korong volt, amelyet a szél sebességének megfelelően forgatott. Hasonló anemométert talált fel két évszázad múltán (1667) *Robert Hooke* (1635–1703), angol fizikus, akit az angol Leonardo da Vincinek is neveztek, és akit sokan a szélmérő megalkotójának tartanak⁴. Ha az anemométert szélzászlóval is ellátták, akkor a szél irányát is meg lehetett határozni.

Európában az első korszerű billenő edényes csapadékmérőt *Christofer Wren* (1632–1723) angol építész alkotja meg 1662-ben. Nedvességmérőt elsőként *Leonardo da Vinci* szerkesztett. Az általa használt szárított gyapjuszálat a sokkal érzékenyebb állati bélből készített fonállal a már említett *Hooke* helyettesítette 1664-ben (*La Cotardière, 2004*). Így tulajdonképpen minden készen állt a legfontosabb meteorológiai elemek mérésére. Hamar kiderült, hogy a légkör állapotát csak nagyobb területre kiterjedő megfigyelések segítségével lehet kielégítően jellemezni. Így a felvilágosodás évszázadaiban az első meteorológiai mérőhálózatok is megjelentek.

Az első ismert európai hálózatot az *Accademia del Cimento* hozta létre az 1660-as években. Az akadémiát *Galilei* és *Torricelli* tanítványai alapították 1657-ben Firenzében. Céljuk az volt, hogy a kísérleti tudományok elterjedését elősegítsék. Az elődök érdeklődési körének megfelelően néhány mérőállomásból álló meteorológiai hálózatot szerveztek, amely azonban csak rövid ideig működött. Tíz éves fennállás után az akadémia is megszűnt. A jövőt tekintve sokkal nagyobb jelentősége volt a *Societas Meteorologica Palatina* hálózatának. A hálózatot *Johann Jacob Hemmer* (1733–1790) a pfalzi választófejedelem kezdeményezésére hozta létre 1780-ban. A 40 állomásból (ezek egyike Budán volt) álló hálózat 12 évig működött és sok későbbi nemzeti meteorológiai hálózat mintájául szolgált.

A mérési lehetőségektől felbuzdulva 1765-ben *Antoine-Laurent de Lavoisier* (1743–1794) a nagy francia kémikus már arról értekezik, hogy a légnyomás, a hőmérséklet, a szélsébség és szélirány, valamint a légnedvesség rendszeres mérése lehetővé teszi az időjárás egy-két napos előrejelzését (*Potter, 2002*). Szórványosan, de megindulnak azok a vizsgálatok, amelyek az egyik legnyilvánvalóbb kérdésre keresték a választ: miért vannak felhők és miért esik az eső.

Felhőfizika

A felhők és csapadékok keletkezésével foglalkozó felhőfizika tipikusan a 20. század második felének tudománya. Ennek ellenére nem érdektelen azoknak a vizsgálatoknak az összefoglalása, amelyet az érdeklődő kutatók a felvilágosodás korában végeztek.

Már a 18. században nyilvánvaló volt, hogy a felhők keletkezése összefügg a nedves levegő kiterjedésével, illetve hűlésével (*Pruppacher és Klett, 1998*). A kiterjedés és hűlés viszont a levegő felemelkedésének a következménye. Így mások mellett *Benjamin Franklin* (1706–1790) 1751-ben utalt arra, hogy a felmelegedés a levegő feláramlásához vezet. *Horace-Bénédict de Saussure* (1740–1799) elméletileg kimutatta, hogy a felemelkedő nedves levegő lehűl, benne csapadék keletkezik, amelynek mennyisége arányos az emelkedés sebességével. Összefüggés van tehát a feláramlás, a lehűlés és a kondenzáció között.

A felhőelemek keletkezésének mikrofizikája azonban teljesen ismeretlen maradt, hiszen még a kondenzációs magvak jelenlétével sem voltak tisztában, nem beszélve a cseppkeletkezés termodinamikájáról. Az mindenesetre nyilvánvaló volt, hogy a felhőcseppek gömb alakúak, létrejöttüket azonban csak meglehetősen elnagyoltan foglalmazták meg. Ezt jól jellemzi *Descartes* következő két mondata, amelyek a „Meteorok” c. művének a felhőkről szóló 5. értekezéséből származnak (*Descartes, 1966*). „Vízcseppek akkor keletkeznek, amikor a kicsiny párárszerekből álló finom anyagban nincs elég erő ahhoz, hogy kiterjedjen..., ezért részei találkoznak, összeállnak és egy golyóban halmozódnak fel. És a felülete a golyónak... pontosan gömb formájú lesz”.

A csapadékkeletkezés egyik ma is elfogadott elméletét viszont már a 18. században elég világosan megfogalmazták. *Petrus van Musschenbroek* (1692–1761) holland fizikus 1739-ben azt javasolta, hogy a csapadék keletkezésének oka a cseppek összeütközése és egyesülése. Ezt persze már *Arisztotelész* is így gondolta (lásd *Mészáros, 2006a*). Az említett kutató azonban azt is korrektül megfogalmazta, hogy az ütközés oka a cseppek különböző esési sebessége. *Musschenbroek* arra is rámutatott, hogy 6 mm-nél nagyobb esőcseppek nem fordulhatnak elő, mivel ezek instabilak és esésük során szétesnek (*Pruppacher és Klett, 1998*). Ez a kritikus cseppméret nagyon közel van a ma elfogadott 8 mm-hez.

A szilárd csapadék formája már régen felkeltette az érdeklődést. A hópolyhek hatágú formáját Kínában már az i.e. második évezredben dokumentálták. Európában mindez csak jóval később következett be. Így fennmaradt egy 1555-ben készült fametszet, amelyet *Olas Magnus* Uppsala érseke készített. *Keplert* szintén izgatja a kérdést és feltette azt a nyilvánvaló kérdést, hogy vajon miért hat oldalúak a hókristályok. *Descartes* volt valószínűleg az első, aki a hókristályokat helyesen tipizálta. Sőt nem zárta ki, hogy a kristályok formája a meteorológiai viszonyoktól függ. *Descartes* a jég szemek morfológiájával is foglalkozott. Egyebek között feltételezte, hogy a jég szemek számos hókristály egyesülése útján keletkeznek, amelyeket a szél egyesít. Ma már

³ Hasonló szélmérőt évszázadokkal korábban már a középkor-amerikai maják is használtak.

⁴ A ma is ismert szélkanalas szélmérőt *Thomas Romney* már a 19. században hozta létre.

tudjuk, hogy a jég szemek kialakulásában sokkal inkább a függőleges mozgások játszanak meghatározó szerepet. Végül *Marcellin Ducarla Bonifas* (1738–1816) 1780-ban nagy előrelátással azt javasolta, hogy azokon a helyeken, ahol a levegő sokkal melegebb, mint a környezete, olyan magasságokig emelkedik, ahol a hőmérséklet megfelelően alacsony ahhoz, hogy a vízcseppek megfagyjanak és kicsiny jéggömböket képezzenek, amelyek a túlhűlt vízcseppekkel egyesülve növekednek tovább.

A felhők elektromosságának keletkezéséről a felvilágosodás korában nem sokat tudtak. Mindenesetre a 18. század közepén *Franklin* helyesen állapította meg, hogy a villámok elektromos kisülések. Ez nyilvánvalóvá tette, hogy a zivatarfelhőkben jelentős töltés-szétválasztódás történik. Ennek pontos magyarázatára ma már számos elmélet van. Nincs közöttük azonban olyan, amelyet a kutatók általánosan elfogadnak.

A hulló csapadékelemek hozzák létre az egyik legfeltehetőbb légköri jelenséget a szivárványt is. A szivárvány optikai magyarázatát azonban érdemes külön fejezetben tárgyalni. Már csak azért is, mivel a felvilágosodás legnagyobb tudósai foglalkoztak vele.

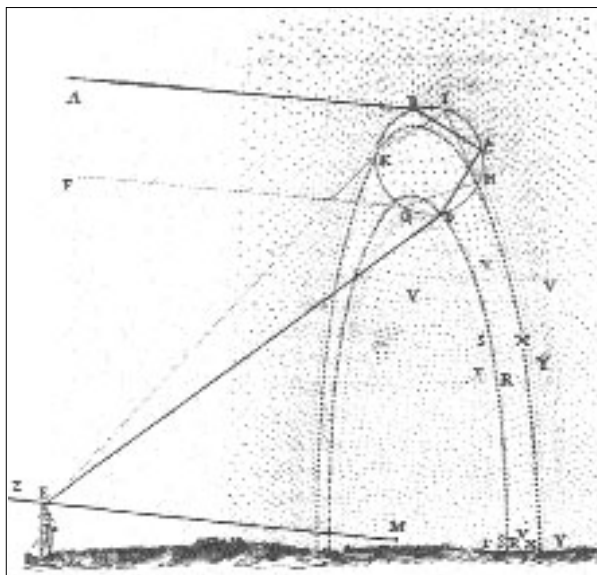
Optikai vizsgálatok: a légköri szivárvány

A szivárvány magyarázata minden időszakban a fénytán akkori fejlettségével függ össze. Az összefüggés azonban kölcsönös. Az optikával foglalkozó tudósok sokszor a szivárvány jelenségéből merítik a problémákat. A 17. század elején a fénytán tudományát lényegében három nagy kérdés foglalkoztatja (*Maitte, 1981*). Ezek egyike a fénysebesség kérdése: végtelen-e a fénysebesség, mint *Kepler* gondolta, vagy véges, mint azt *Bacon* és *Galilei* feltételezte⁵. A másik nagy kérdés: hogyan függ össze a beesési szög a törési szöggel, amikor a fény két különböző közeg határához érkezik. Végül a középkori kutatások után továbbra is megválaszolatlan a fény természetének problémája. A második és harmadik kérdés összefügg a légköri szivárvány értelmezésével. Ezért a szivárvány színeinek magyarázata továbbra is az érdeklődés középpontjában áll. Sőt egyesek (pl. *Newton*), a középkori skolasztikusokhoz hasonlóan, a szivárványt Isten, az isteni tökéletesség csodálatos megnyilvánulásának tartják.

A beesési szög és a törésszög szinuszos összefüggésének⁶ felfedezése tudománytörténeti érdekesség. A törvényt a holland *Willebrord Snell* (1581–1626) fedezte fel 1618-ban. Eredményét már nem tette közzé, mivel meghalt. Halála előtt azonban megmutatta az összefüggést *Descartes*nak, aki azt az 1647-ben megjelent

„*La Dioptrique*” c. művében publikálta és elfelejtette megemlíteni, hogy kitől származik (lehet, hogy a hivatkozás akkor még nem volt divatban?). Mindenesetre a törvényt azonnal felhasználta a szivárvány megmagyarázására. Így sokkal pontosabb eredményeket kapott, mint *Freibergi Dietrich* középkori szerzetes (lásd *Mészáros, 2006b*).

Az 1. ábra *Descartes* híres rajzát mutatja, amelyet a „*Meteorok*” c. művében publikált (lásd *Descartes, 1966*). Az ábra legfontosabb vonása, hogy a francia polihisztor mind az elsődleges, mint a másodlagos szivárvány keletkezését megmagyarázta. Az elsődleges szivárvány (az ábrán *X* ív) akkor jön létre, amikor a cseppekben a napsugarak (*AFZ*) egyszer törnek meg (*BCD*), és így érkeznek a megfigyelő szemébe (*E*). Az elsődleges szivárvány piros színe (e fölött helyezkedik el a többi szín, egészen az ibolyáig) az észlelő számára (*DE*) a napsugarakhoz, azaz az *EM* egyeneshez képest 42° szögben látható. A másodlagos szivárványt (*Y* ív) a kettős fénytörés hozza létre (*GHIK*). A másodlagos szivárvány mindig magasabban van, mint az elsődleges: ilyenkor a halványabb piros szín a megfigyelőhöz képest 52° -os szögben helyezkedik el. Bár a szögek némileg változhatnak, az ábrán lévő rajz mai elképzeléseinkkel is egyezik. Maradt azonban egy fontos probléma: a színek természete. *Descartes* úgy vélte, hogy a színeket valamilyen módon a törő felület hozza létre. *Newton*ra várt az a feladat, hogy a színek természetét tisztázza.



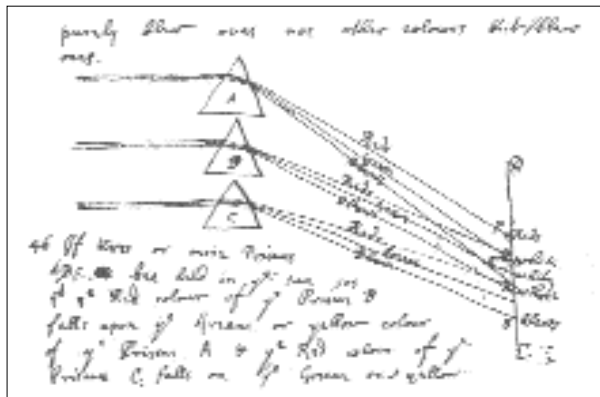
1. ábra Az elsődleges (egyszeri törés) és másodlagos (kettős törés) szivárvány keletkezése René Descartes „*Les Météores*” (1636) c. munkája szerint. Az ábrán a kör egyetlen kinagyított cseppét ábrázol. Az ábra részletei a szövegben megtalálhatók.

⁵ Ole Christiansen Römer (1644–1710) dán csillagász a Jupiter és holdjainak keringése alapján először számítja ki a fény sebességét 1676-ban. Véges, de igen nagy értéket kap: $2,15 \cdot 10^8$ km/s, ami alacsonyabb, mint a jelenleg elfogadott érték.

⁶ A két szög szinuszáinak aránya állandó.

⁷ Ezen a szón Descartes légköri jelenségeket értett.

Newton úgy gondolta, hogy ha a színeket a törő felület hozza létre, akkor a fénytörést előidéző prizma forgatásával változtatható a jelenség. Ennek vizsgálatára a fénytörést két egymásra merőleges, illetve több prizma hozta létre. Azt az eredményt kapta, hogy a fénytörés független a prizma elhelyezkedésétől. Teljesen azonos módon a piros mindig kevésbé, az ibolya szín minden esetben sokkal jobban eltérül. Olyan kísérletet is végzett, amikor a megtört fényből kis rés segítségével kiválasztott egy színt, és azt egy másik prizma bocsátotta. A második prizma azonban már nem változtatott a kiválasztott színén. Végül, ha a több prizmával létrehozott színeket egy ernyőn egyesítette, akkor ismét fehér fényt kapott (2. ábra). Kísérletei alapján azt a következtetést vonta le, hogy a szín a napfény tulajdonsága, amely hét színből áll. Ezek meghatározott törő közegben a különböző mértékben megtört fényre vonatkoznak. Tisztázódott tehát, hogy a szivárvány színei miért jönnek létre.



2. ábra Isaac Newton több prizmával végzett fénytörési kísérlete, melyet az 1704-ben megjelenő „Opticks” c. művében publikált.

Az angol gondolkodó továbbá a szivárvány megmagyarázására elméleti vizsgálatokat is végzett (Maitte, 2005). A fénytörés jelenségét nem szerkesztéssel határozta meg mint Descartes (lásd 1. ábra), hanem a sugarak útját az általa kidolgozott differenciálszámításokkal írta le. Ez hatalmas előrelépés volt Baruch Spinoza (1632–1677) eljárásához képest is, aki a fénytörést, a szivárvány színeinek kialakulását, trigonometrikus számításokkal próbálta jellemezni. A differenciálszámítások jelentősége Newton dinamikai vizsgálatainál bontakozott ki igazán (lásd később).

A felvilágosodás időszakának (és a középkornak) légköri optikai vizsgálati lényegében egyetlen kérdésre, a szivárvány kialakulására összpontosultak (Mészáros, 2006b). Ez részben a jelenség feltűnő szépségének volt köszönhető. Tökéletessége sokak számára Isten dicsőségét hirdette. Tanulmányozásának jelentősége abban áll, hogy tisztázódott a fénytörés, illetve a színek természete. A vizsgálatok ugyanakkor nem terjedtek ki olyan

fontos problémákra, mint a légkör és a napsugárzás általános kölcsönhatása, amelynek a szivárvány csak egy speciális és messze nem a legfontosabb megnyilvánulása. Ilyen jellegű kutatásokra elsősorban csak a 20. században került sor.

Általános légkörzés

Amerika 1492-es felfedezése az újkor, és ezzel együtt a földrajzi felfedezések kezdete. Így nem meglepő, hogy az újkorban a meteorológiai információk iránti igény egyre nagyobb lett. A helyi szelek mellett szükségessé vált, főleg az óceánok fölött, az egész bolygó szélrendszerének, az általános légkörzésnek a megismerése. Különösen fontos volt az Egyenlítő környéki keleties szelek övének vizsgálata, amelyben Európából az Újvilágba lehetett vitorlázni, és amelyet Kolumbusz Kristóf (1451–1506) ismert fel első útja alkalmából. Ezzel párhuzamosan a tengeráramlatok ismerete is felértékelődött. A jövő szempontjából is felbecsülhetetlen jelentőségű volt, amikor Juan Ponce de León (1460–1521) spanyol hajós 1513-ban a Golf-áramot felfedezte (La Cotardière, 2004).

A kérdés jelentőségét jelzi, hogy a csillagász és matematikus Edmond Halley (1656–1742), a Halley-üstökös névadója, 1686-ban olyan térképet készített, amely az akkori ismeretek alapján az óceánok fölött uralkodó szélirányokat mutatta be. Hiányosságai ellenére térképét az első meteorológiai térképnek tekinthetjük. A térképen természetesen szerepeltek az Egyenlítő menti keleties, ún. *passzát szelek* (angolul stílszerűen „trade-winds”), de kialakulásukról Szerző nem adott magyarázatot. Helyesen szögezte le viszont, hogy a passzát szelek arra utalnak, hogy a légköri változásokat a napenergia hozza létre.

A problémára mintegy ötven évvel később George Hadley (1685–1768) angol meteorológus (ő már így nevezte magát) tért vissza. Coriolis (lásd később) előtt 100 évvel leszögezi, hogy mai nézeteinkkel egyezően, a passzát szeleket a Föld forgása hozza létre. Véleménye szerint a jelenséget az okozza, hogy az Egyenlítő felé mozgó levegő kisebb szélességű vidékekről érkezik. Az Egyenlítő felé haladva azonban egyre jobban felgyorsul, iránya keletiesé válik. Hadley nevéhez fűződik annak felfedezése, hogy az Egyenlítő környékén a felmelegedett levegő felszáll és a magasban elindul a sarkok felé, ahol leáramlik (helyére a felszín közelében visszaáramlik a levegő). Ma már tudjuk, elsősorban William Ferrel (1817–1891) munkássága nyomán, hogy az általános légkörzés nem egy, hanem három cellából tevődik össze (az általános légkörzésre vonatkozó nézetek fejlődése Lorenz, 1967, munkájában található meg).

A légáramlásokkal kapcsolatos elképzelések akkor tisztázódtak, amikor sikerült azonosítani azokat az erőket, amelyek a levegőt mozgatják, és az erőket és gyor-

sulásokat az ún. mozgásegyenletekben sikerült matematikailag összekapcsolni. Ezek a vizsgálatok még a 18. században kezdődtek meg és a 19. században fejeződtek be. Érdekes ezért ebben a témában a felvilágosodás korát túllépni és a 19. század fontosabb, a meteorológusok között sem mindig közismert eseményeit is felvázolni.

Légköri dinamika: mozgásegyenletek

Newton valószínűleg sohasem gondolta hogy második törvénye teszi lehetővé az elméleti, ún. *dinamikus meteorológia* alapjainak kidolgozását. Newton második törvényét az 1687-ben Londonban publikált latin nyelvű „*Philosophiae naturalis principia mathematica*” c. munkájában írta le. A törvény kimondásának jelentősége felbecsülhetetlen annak ellenére, hogy ma már egyszerűnek és evidensnek tartjuk: a testek gyorsulása (és nem a sebessége, mint régebben gondolták) a testre ható erővel arányos, ahol az arányossági tényező az illető test tömege.

Légköri szempontból a következő fontos lépést *Leonhard Euler* (1707–1783) tette meg (lásd *Lorenz, 1967*), aki a Newton törvényt fluidumokra (folyadékok és gázok) alkalmazta. A nagy svájci matematikus egyenlete felírásakor szintén nem a légkörre gondolt. Célja az volt, hogy a szökőkutak tervezési munkáját elősegítse! Ebben az un. Euler-féle egyenletben először szerepel az a ma már közismert tétel, hogy a gyorsulás a nyomási gradiens (távolságegységre jutó nyomásváltozás) értékével arányos (magyarul lásd *Simonyi, 1981*). Ha egyenletét konkrét számításokra használta, akkor mindig túl nagy gyorsulások jöttek ki, így a gyakorlatban az egyenlet használhatatlan volt. Ennek okára 1827-ben a francia *Claude Louis Marie Navier* (1785–1836) és később (1845) az angol *Sir George Gabriel Stokes* (1819–1903) jött rá, akik kimutatták, hogy a nyomási gradiens erő mellett a súrlódási erőt is figyelembe kell venni. Így született a híres Navier-Stokes egyenlet. Ebben, szemben az Euler-féle egyenlettel, a kinetikus energia nem őrződik meg, hanem részben hővé alakul.

Gaspard Gustave de Coriolis (1792–1843) francia mérnök, amikor híres munkáját („*Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps*”) 1835-ben a francia Akadémián bemutatta, a légkört meg sem említi. A később eltérítő erőnek nevezett erőt vízkerekekre alkalmazta (úgy látszik a tudományos munka jelentőségét már akkor is gyakorlati hivatkozásokkal kellett alátámasztani). Ennek ellenére a légköri mozgásegyenletekben szereplő eltérítő erőt ma is sokszor Coriolis erőnek nevezzük, ami azért kicsit igazságtalan, mivel a légköri mozgásegyenletekbe ezt az erőt a már említett amerikai meteorológus, *Ferrel* vezette be (*Ferrel, 1858*). Ez az erő a forgó Földön a felszínhez rögzített koordináta-rendszerben azért lép föl, mivel a mozgó levegő alatt a bolygó elfordul. A Föld nyugat-keleti forgását

figyelembe véve az Északi-félgömbön minden mozgás jobbra térül el. Így lesz az Egyenlítő felé tartó felszíni légáramlásból keleties passzát szél, illetve így jön létre a mérsékelt szélességeken a nyugatias szelek zónája. A két erő egyensúlya esetén a magasabb légrétegekben, ahol a súrlódás elhanyagolható, mint ez ma már jól ismert, a szél az izobárokra nem merőlegesen, hanem azokkal párhuzamosan, egyenletes sebességgel fúj.

Az eltérítő erő a hurrikánok (a Csendes-óceán keleti részén: tájfunok) keletkezésében is fontos szerepet játszik: a felmelegedett tenger fölött a vízgőzben gazdag levegő felemelkedik, és az odaáramló erős szeleket az eltérítő erő⁸ jobbra forgatja (az Északi-félgömbön). A hurrikánok első, többé-kevésbé tudományos leírását *William Dampier* (1652–1715) angol hajósnak (és kálóznak) köszönhetjük (lásd *Götz, 2001*), aki Kína partjainál 1687-ben figyelte meg ezt a félelmetes, hatalmas örvényszerű mozgásból és felhőzetből álló légköri jelenséget. Az említett szerző írásában egyebek között megemlíti, hogy a képződmény középső részén kis szélsebességű, felhőtlen terület található, amelyet ma a hurrikán „szemének” nevezünk.

A mozgásegyenletek hatalmas jelentőségére igazából már a 20. században derült fény. Ezek az egyenletek az időjárás számszerű előrejelzésében (lásd *Götz, 2001*) alapvető fontosságúak. A gyorsulás ugyanis a sebesség időszerinti deriválva. A már említett erők viszont a különböző paraméterek (pl. nyomás) térbeli eloszlásától függenek. Így az egyenletek idő szerinti integrálása lehetővé teszi az időbeli változások kiszámítását a pillanatnyi meteorológiai helyzet függvényében. Ide vettettek azok a tudományos vizsgálatok, amelyeket a felvilágosodás korában *Newton* és *Euler* végzett, valószínűleg anélkül, hogy a légkör eszükbe jutott volna.

Befejezés: a további fejlődés irányai

A 19. és 20. században a meteorológia hatalmasat fejlődött. Az elméleti, dinamikus meteorológia látványos kibontakozása megalapozta az időjárás előrejelzésének korszerűsödését, pontosságának növelését (*Vissy, 2004*). Az éghajlati modellekkel végzett vizsgálatok elvezettek a kaosz elmélet (*Götz, 2001*) felfedezéséig. Kiderült, hogy a légkör hatalmas komplex rendszer. Állapotának előrejelzése csak meghatározott időtartamra lehetséges. Kialakultak a meteorológia alkalmazott ágai, mint a mezőgazdasági termelést elősegítő agrometeorológia, a vízgazdálkodást, így az árvízveszélyes helyzetek előrejelzését lehetővé tevő hidrometeorológia, vagy a légszennyeződés légköri sorsát leíró légszennyeződési meteorológia. Kifejlődött a légkörfizika, ezen belül a felhőfizika. Végül rájöttünk arra, hogy a légkör összeté-

⁸ Az eltérítő erő a szélesebbéssel és a földrajzi szélesség szinuszával arányos. Ez utóbbi miatt nem keletkeznek az Egyenlítő környékén hurrikánok (tájfunok).

tele (Mészáros, 2005), kémiai folyamatai a fizikai paramétereket, így végső soron az éghajlatot is alapvetően befolyásolják. Kevesünknek jut eszébe, hogy ez a csodálatos fejlődés azokra az eredményekre alapozódik, amelyeket nagy nevű elődeink a felvilágosodás korában elértek. Nem gondolunk arra, hogy az ő munkájuknak köszönhető, hogy a korszerű meteorológia megszületett.

Mészáros Ernő

IRODALOM

- Bellis, Mary (2005): *Weather Sensor Instruments*. <http://inventors.about.com/library/inventors/blweather.htm>
- Descartes, René (1966): *Discours de la Méthode* suivi d'extraits de la *Dioptrique*, des *Météores*, du *Monde*, de l'*Homme* et de *Lettres*. Garnier-Flammarion, Paris.
- Ferrel, William (1858): Influences of Earth's Rotation on the Motion of Bodies. *Gould's Astronomical Journal* **97**, 113.
- Götz Gusztáv (2001): *Káosz és prognosztika*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
- La Cotardière, Philippe de (2004)(ed.): *Histoire des Sciences de la Préhistoire à nos Jours*. Tallandier, Paris.
- Lorenz, Edward N. (1967): *The Nature and Theory of*

the General Circulation of the Atmosphere. World Meteorological Organization, Geneva.

Maitte, Bernard (1981): *La lumière*. Édition du Seuil, Paris.

Maitte, Bernard (2005): *Histoire de l'arc-en-ciel*. Édition de Seuil, Paris.

Mészáros Ernő (2005): *Hogyan fedezték föl a levegőt*. Adalékok a légkör kutatásának történetéhez. *Magyar Tudomány*, Új évfolyam **50**, 426-437.

Mészáros Ernő (2006a): Ókori meteorológia: ahogy Arisztotelész gondolta. *Magyar Tudomány*, Új évfolyam **51**,

Mészáros Ernő (2006b): *Fény és sötétség: légköri optika a középkorban*. Elküldve a *História* c. folyóiratba.

Potter, Rose (2002): *Meteorology History*.

Pruppacher, Hans R.-Klett, James D. (1998): *Microphysics of Clouds and Precipitation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston and London.

Russel, Bertrand (2004): *History of the Western Philosophy*. The Folio Society, London.

Simonyi Károly (1981): *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat, Budapest.

Vissy Károly (2004): *Az időjárás előrejelzése: jóslás vagy tudomány?* Mindentudás Egyeteme (Második kötet: 187-210). Kossuth Kiadó, Budapest.

KISLEXIKON

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

nemlineáris probléma

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti évei

Olyan feladat, amelyben az ismeretlen függvény nem elsőfokú polinomként, azaz $a \cdot f(x) + b$ alakban szerepel (a és b ismert számok /állandók/).

diszkretizált egyenlet

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti évei

Egy folytonos függvényekből álló egyenlet olyan alakja, amely elemi függvényekből (rácsponti függvényekből vagy ortogonális függvények sorából) áll.

numerikus integrálás

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti évei

Egy differenciálegyenlet megoldásának keresése közelítő számítási eljárások segítségével.

instabilis perturbáció

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti évei

Egy közel állandó paraméterekkel jellemezhető áramlás olyan jellegű befolyásolása, amelynek következtében a módosító hatás időben növekszik.

barotrop diszturbáció

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti évei

Egy kétdimenziós áramlás olyan jellegű változékonysága, amely csak az alapáramlás örvényességétől (egységnyi felület körüli cirkulációjától) és a földforgás helyi függőleges összetevőjétől függ (más szóval Rossby-hullám).

szolenoid

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti évei

Két különböző skalár (nem vektor) jellegű meteorológiai paraméter (például a nyomás és a sűrűség) ekvivaláris felületei által határolt hasáb.

Folytatás a 28. oldalon

* * *

A klímadinamika megszületése és kezdeti évei – történeti visszapillantás

Neumann János kezdeményezésére 1955 őszén a világ harminc eminens kutatója ült össze Princetonban, hogy megvizsgálja az általános légkörzés numerikus modellezésének lehetőségeit. A tanácskozás anyagát tartalmazó könyv *Dynamics of Climate* címmel jelent meg. Ma ezzel a konferenciával azonosítjuk a klímadinamika megszületését. Az új tudományág tehát egyidős folyóiratunkkal, a *Légkörrel*.

Előzmények

A klímadinamikai kutatások elindítása, a numerikus időjárás-prognosztika megalapozásához hasonlóan, szorosan kapcsolódott Neumann János sokrétű tevékenységéhez. A meteorológus közösség gyakran idézi fel, hogy a légkör dinamikája egyike volt azoknak az összetett, nemlineáris* problémáknak, amelyeket Neumann a második világháború befejeződését követően különösen termékeny területnek tekintett a matematikai kutatások számára. „Sok fontos probléma van a hidrodinamika, aerodinamika, égi mechanika terén, és különböző más területeken..., amelyek kizárólag olyan belső sebességgel rendelkező gépekkel kezelhetők, ami csak elektronikus úton érhető el... Egy befejezett gép használata... merőben új lehetőségeket fog megnyitni az égi mechanikában, a dinamikus meteorológiában és a statisztika különböző területein, valamint a matematikai gazdaságtan bizonyos részeiben, hogy csak a legnyilvánvalóbb területeket említsem” írta 1945 szeptemberében Frank Aydelotte-nak, a princetoni Institute for Advanced Study (IAS) akkori igazgatójának, igyekezvén rávenni őt egy elektronikus számítógépes projekt támogatására.

Az IAS 1933-ban történt létrehozásához az alapítványi javadalmat a Bamberger és Fuld családok biztosították, akik New Jersey állam északi részén az áruházi üzletágban alapozták meg vagyonukat, és akiknek deklarált szándékuk volt, hogy a kutatóintézet neves tudósok csendes szellemi alkotó munkájához teremtsen meg a feltételeket. Neumann az IAS megalapítása óta volt egyike a kinevezett matematikaprofesszoroknak. Tudnia kellett ezért, hogy új keletű kezdeményezése egyáltalán nem áll összhangban az intézet kutatási hagyományaival, ahol nem voltak laboratóriumok, a matematikát és a fizikát pedig kizárólag elméleti síkon tanulmányozták. Norbert Wiener, a kibernetika megalapozója, meg is jegyezte ezt a problémát, megkísérelve, hogy maga mellé, a cambridge-i Massachusetts Institute of Technology (MIT) professzori állásába csábítsa át Neumann: „Mindez hogyan illeszkedik bele a Princetintute-

ba? Olyan helyzetbe rohansz, ahol labor kell hogy legyen a kezéd ügyében, márpedig elefántcsonttornyokban nem nőnek laborok.”

Neumann tekintélye révén az elgondolást mégis siker koronázta. A szervezési és finanszírozási kérdések tisztázása után igen hamar, már 1945. november 6-án jóváhagyták az IAS Electronic Computer Projectjét. A terv végrehajtása négy csoportba volt szervezve, Neumann felügyelete és Herman H. Goldstine napi irányítása alatt. Arthur Burks, Goldstine és Neumann feleltek egy belső programvezérlésű, párhuzamos rendszerű elektronikus, digitális, univerzális számítógép a végül ünnepélyesen 1952. június 10-én felavatott IAS-gép logikai tervezéséért. Kezdetben Julian Bigelow, majd 1951-től James Pomerene vezette a műszaki fejlesztésen dolgozó mérnökök és technikusok csoportját. Goldstine és Neumann, alkalmanként más matematikusokkal együttműködve, végezték a matematikai analízis és a programozás tervezését. Végül a negyedik csoport feladata egy meteorológiai programon belül az időjárás számítógépes előrejelzésének gyakorlati megvalósítása volt, 1956 közepéig tartó fennállásának legnagyobb része alatt Jule G. Charney irányításával.

Kísérletek az időjárás numerikus előrejelzésére

Nem teljesen világos, hogy miként keltette fel a prognosztikai probléma Neumann érdeklődését, de bizonyosan nagy hatással volt rá a chicagói egyetem meteorológus professzora, Carl-Gustaf Rossby. Ők ketten 1942 nyarán, egy tudományos ülésszakon találkoztak először Chicagóban, és Neumann ekkor értesült azokról a manuális próbálkozásokról, amelyeket Lewis F. Richardson hajtott végre még az első világháború során és azt követően. Mivel egy elektronikus számítógép alkalmasnak látszott a prognosztikai feladat numerikus megoldásához szükséges hatalmas mennyiségű számítás elvégzésére, Neumann később ezt a problémát szemelte ki az új számítógépes technológia tudományos hasznosságának döntő próbájához. Rossby pártolta az elképzelést, és 1946 áprilisában többször is megbeszélést folytatott Harry Wexlerrel, a U.S. Weather Bureau kutatási igazgatójával, valamint Luis de Florez kapitánnyal, a Navy's Office of Research and Invention parancsnokával, akik ígéretet tettek egy ilyen jellegű kutatás támogatására. A cél az írta Rossby Neumannnak, hogy „megvizsgáljuk a légkör általános cirkulációjára vonatkozó elgondolásaink megalapozottságát, azzal a szándékkal, hogy meghatározzuk a cirkuláció állandósult állapotát, és annak reagálását önkényesen alkalma-

zott külső kényszerekre”, remélve, hogy az „némi fényt deríthet az éghajlat ingadozásainak természetére”.

A haditengerészet anyagi támogatásával az IAS meteorológiai programja 1946. július 1-jén indult. A Charney által vezetett csoport amelynek tagjai közül Ragnar Fjörtoft, John Freeman, George W. Platzman és Joseph Smagorinsky személyét kell kiemelnünk az elméleti kérdések tisztázását követően, 1949 októberétől kezdve már az ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) gépen elvégzendő számítások előkészületeire összpontosíthatta figyelmét, miután kiderült, hogy az IAS-gép még legalább egy évig nem éri el az üzemképes állapotot. Az első nagy sikert 1950 tavaszán könyvelhették el, amikor megfigyelt kezdeti feltételekből kiindulva, egy kétdimenziós barotrop modell alkalmazásával megszületett az 500 hPa-os szint topográfiájának két 12 órás és négy 24 órás numerikus előrejelzése. Neumann maga mindenekelőtt azzal járult hozzá az elméleti munkához, hogy a feladathoz igazította a diszkretizált* kormányzó egyenletek numerikus integrálásának* számítási stabilitását biztosító feltételt, amelyet még 1928-ban vezetett le három göttingeni matematikus, Richard Courant, Karl Friedrichs és Hans Lewy.



Az IAS meteorológiai programjának néhány tagja 1952-ben. Balról jobbra: J. Charney, N. Phillips, G. Lewis, N. Gilbarg és G. Platzman

Az IAS meteorológiai programja által felmutatott haladás 1952 nyarán arra ösztönözte Francis W. Reichelderfert, a Weather Bureau vezetőjét, valamint a légierő és a haditengerészet időjárási szolgálatainak parancsnokait, hogy megvizsgálják a közösen elvégzendő operatív numerikus előrejelzési munka lehetőségeit a Princetonban kidolgozott, egyre fejlettebb modellek alkalmazásával. Ennek a gondolatnak az eredményeként

alakult meg a Maryland állambeli Suitlandben, 1954 júliusában a mai National Centers for Environmental Prediction (NCEP) elődje, a Joint Numerical Weather Prediction Unit (JNWPU), amelynek állományát és anyagi fedezetét a három időjárási szolgálat biztosította. Igazgatónak George P. Cressmant, a fejlesztési részleg irányítójának Philip D. Thompson, a légierő őrnagyát, a számítástechnikai részleg vezetőjének Joseph Smagorinskyt, az operatív és elemző részleg főnökének pedig Edwin Fawcettet nevezték ki. Nem sokkal a JNWPU megalakítása után elkezdték annak a háromszintes baroklin modellnek a kódolását, amelyet 1953-ban Cressman dolgozott ki Princetonban. Az operatív előrejelzések kiadása 1955. május 15-én indult el az egység új, IBM 701-es számítógépén. Mindazonáltal nem ezek voltak a világ első rendszeres numerikus időjárási prognózisai: a stockholmi egyetemen Rossby meteorológiai tanszékének három munkatársa Philip Thompson, valamint az IAS-tól Norman Phillips, továbbá két izlandi kutató segítségével valamivel korábban, már 1954 decemberének elején hozzákezdhetett az IAS-gép tervei felhasználásával 1953-ban felépült svéd BESK (Binar Elektronisk Sekvens Kalkylator) gépen a 48 órás rutin számszerű előrejelzések kibocsátásához.

Időközben az IAS-ben a figyelem fokozatosan egy új, a rövid távra szóló numerikus prognózisok metodikájának fejlesztésénél nagyobb kihívást jelentő kérdés, nevezetesen a légkör általános cirkulációjának szimulálása felé fordult. A problémán a munka komolyabb intenzitással 1953-ban kezdődött el, és ennek során átgondolásra érdemes elméleti és számítási kérdések egyaránt felmerültek. Foglaljuk össze vázlatosan azt az ismeretanyagot, amelyre a kutatók az új kihívással való megbirkózáshoz abban az időben rendelkeztek.

Az általános légkörzés modellezésének megalapozása

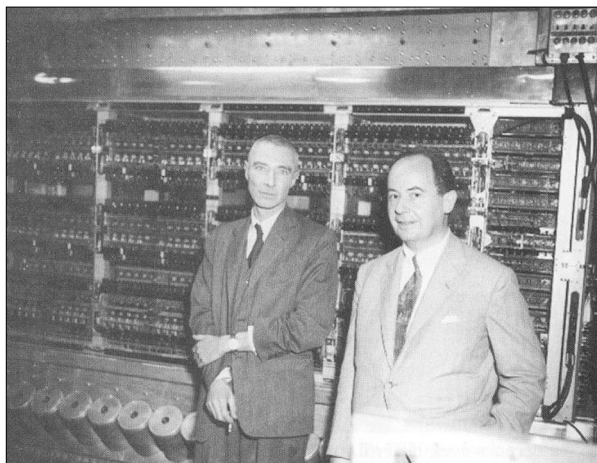
Az idő kerekét az 1910-es évekig visszaforgatva, az első világháború okozta elszigeteltség a skandináv államokat egy rendkívül sűrű meteorológiai megfigyelő hálózat kiépítésére készítette. Az így nyert adatok elemzése vezetett el a polárfront és a polárfronthoz kapcsolódó hullámciklon felfedezéséhez, továbbá ahhoz a gondolathoz, hogy a hullámciklon a polárfront felületét érő instabilis perturbáció* növekedésének a következménye. Ezek a fejlemények ösztönözték Vilhelm Bjerknes és az általa alapított bergeni iskolát a meteorológia szilárd fizikai alapokra helyezésére. A numerikus prognosztika számára mindez két lényeges következményt vont maga után: Jakob Bjerknes és Erik Palmén 1937-ben a felső-troposzféra hosszúhullámait az időjárási helyzet fontos elemeként azonosították, Rossby pedig 1939-ben ezeket a (ma róla elnevezett) planetáris hullámokat az analitikus formában történő matematikai kezelhetőség érdekében

barotrop diszturbációként* elemezte. Később, a második világháború során horizontális és vertikális irányban egyaránt jelentősen megszaporodott észlelések birtokában, a kutatók figyelme mindinkább a magas-légkörre, a polárfronton kialakuló hullámról pedig a felső-troposferikus hullámra mint a nagytérségű légköri mozgások energiájának „letéteményesére” terelődött. Jakob Bjerknes 1948-ban írt munkájával a dinamikai instabilitás új formájának létezésére derült fény, amelynél a perturbáció az energiáját nem a polárfront által elválasztott, nyíródo levegőrészecskék kinetikus energiájából nyeri, hanem a felső légkör általános szolenoid* mezejéből. Kiderült az is, hogy a magassági hosszuhullámok számos jellemvonása válik megmagyarázhatóvá, ha feltételezik, hogy a hullámok az átlagos zonális áramlás instabilis perturbációiból erednek.

De hogy egy ilyen teória alkalmazhatóvá váljék, új elméleti háttérrel kellett konstruálni. Jakob Bjerknes és Rossby munkájában implicite már ott rejtett az elképzelés csírája, hogy a légkör nagytérségű áramlási rendszerét a többi mozgásformától annak kvázi-geosztrofikus* (vagy kvázi-divergenciamentes) karaktere különbözteti meg. Ezt a koncepciót azonban először explicit, tudatos szintre kellett emelni, hogy aztán a baroklin légkörre dinamikailag konzisztens módon alkalmazni lehessen. Jule Charney és Arnt Eliassen munkája nyomán vált fokozatosan mind világosabbá, hogy a légkör planetáris áramlási rendszerét a horizontális szél- és nyomási mezők közötti kvázi-egyensúly állapota jellemzi. Ennek felismerése a numerikus időjárás-prognosztikai probléma eredményes közelítésének kulcsa lett.

A baroklin hosszuhullámok kvázi-geosztrofikus kezelésének mintegy a mellékterméke volt az a felfedezés, hogy a légkör a közepes magasságban (az 5000 m-es szint tájékán) jó közelítéssel barotrop közegként viselkedik. Az IAS meteorológiai csoportja számára ezért önként adódott, hogy az első numerikus integrációhoz barotrop modellt válasszon. Természetesen a team mindegyik tagja tudta, hogy a nagytérségű légköri mozgások rövid távon disszipációtól mentes jellegűnek tekinthetők fel, tehát van értelme a sűrűlódás és a termikus aktivitás elhanyagolásának. De ha a légkör mégsem így viselkedne, Charney szerint akkor is a barotrop modellre esett volna az első választásuk, bár ekkor hamarabb kellett volna szembesülniük az energia betáplálódásának és disszipációjának problémájával.

A ciklonok keletkezésének kérdése szintén olyan ügy volt, amelynél lehetett némi igazolást találni a termikusan inaktív modellek használatának javára, és mindenképpen a soron következő megoldandó feladatot jelentette. Egy kétszintes baroklin modell alkalmatlannak bizonyult a ciklogenezis előrejelzésére, de nem azért, mert nem tartalmazta a potenciális energia szükséges forrását, hanem mivel a vertikális mentén bevezetett két szabadsági fokkal* nyilvánvalóan képtelenség volt



Robert Oppenheimer, az IAS igazgatója és Neumann János az IAS-számítógép előtt

helyesen meghatározni a valós ciklogenetikus helyzetekben fellépő alsó szintű aszimmetriákat. Az a tény, hogy a ciklogenezis folyamatát végül egy háromszintes kvázi-geosztrofikus modell helyesen prognosztizálta, újólag megerősítette, hogy a nagytérségű légköri áramlás még a gyors fejlődés periódusaiban is a kvázi-geosztrofikus egyensúlyhoz közeli állapotban van.

Az IAS kutatói tehát eddig a pontig a légkört konzervatív rendszerként kezelték – mondhatjuk úgy is, hogy azt vizsgálták, miként mozog a légkör a maga tehetetlensége révén. A baroklin modellek integrálását ugyan öt napos távig folytatták, de nem azért, mintha a tényleges folyamatokkal mutatott közeli hasonlóságot várták volna, hanem mert kíváncsiak voltak a reális áramlási kép szétrombolódásának menetére. Tisztán látták, hogy az előrejelzések hosszabb időtávra szóló kiterjesztése megköveteli mind az energia betáplálódásának, mind az energia disszipációjának a figyelembe vételét, és ezzel párhuzamosan a modellnek azt a képességét, hogy egy áramlási képződmény teljes életciklusát szimulálni tudja. Ennek a feladatnak a vizsgálata a legegyszerűbb módon, nevezetesen egy kétszintes modellel indult, amely felszíni sűrűlódást és földrajzilag rögzített hőforrást egyaránt tartalmazott.

Miközben az IAS munkatársai közvetlen célként egy diszturbáció életciklusának az előrejelzését tűzték ki, egyidejűleg figyelemmel kísérték azt is, hogy más kutatók miként igyekeznek közelebről megérteni az általános légkörzés problémáját. Harold Jeffreysnek a még 1926-ban tett (és annak idején kétséggel fogadott) alapvető feltételezését, amely szerint a légkör átlagos zonális mozgását nagymértékben az impulzusmomentum meridionális irányú, nagytérségű örvényes átvitele tartja fenn, V. P. Starr, J. Bjerknes és C. H. B. Priestley az 1940-es évek végén ismét vizsgálat alá vonta, és a lényegesen több információ birtokában megalapozott ténnyé léptette elő. 1951-ben R. Fjörtoft és H.-L. Kuo egy forgó szferikus burokból kialakuló barotrop mozgás

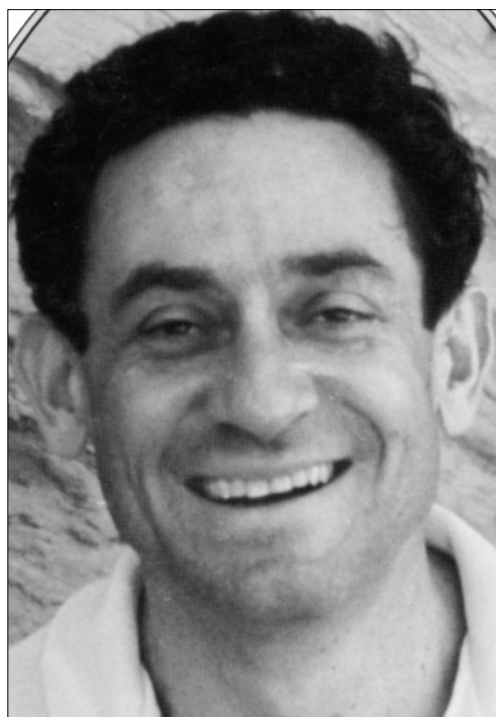
stabilitásának feltételét elemezték, és leírtak egy olyan mechanizmust, amelynek eredményeként a stabilis barotrop hullám átadja kinetikus energiáját a zonális áramlás kinetikus energiájának. Ekkor már csak egy lépés választott el a felismeréstől, hogy az instabilis baroklin hullám, a horizontális örvényes átvitel tekintetében a maga kvázi-barotrop viselkedésével, a szó szoros értelmében az a „turbulencia-elem”, amely az impulzus megfigyelt fluxusáért felelős. Ugyancsak a 20. század közepén derült fény azokra a mechanizmusokra, amelyek révén egy alapáramlás átadhatja energiáját egy diszturbációnak. A különböző mechanizmusokból származó feltételeket ma a dinamikai instabilitás különböző típusainak tekintjük. Az általános légkörzés szempontjából a két legfontosabb típust a barotrop instabilitás és a baroklin instabilitás képviseli. Barotrop instabilitás esetében amelyet először Hsiao-Lan Kuo tanulmányozott az örvények az energiájukat az alapáramlás kinetikus energiájából nyerik, míg baroklin instabilitás esetében Charney és Eric T. Eady kimutatása szerint a diszturbációk energiája az alapáramlás hasznosítható potenciális energiájából* származik. Mindezen ismeretek birtokában már szinte teljesen világossá vált az út az általános légkörzés dinamikai elméletének megalkotása felé.

De ha Harold Jeffreys feltételezése negyed század múltán igaznak bizonyult, akkor mi a helyzet azzal a korábbi nézettel, miszerint a zonális cirkulációt rendezett meridionális cirkulációk tartják fenn? A chicagói egyetemen Dave Fultz, a cambridge-i egyetemen pedig

Raymond Hide az 1950-es évek elején forgókádas laboratóriumi kísérletek sorozatát végezték el, és kvalitatív kritériumokat találtak arra az esetre, amikor a folyadékban a tengelyszimmetrikus Hadley-rezsimet a forgástengelyre nézve aszimmetrikus Rossby-rezsim váltja fel. Felmerült a kérdés: ez a két rezsim kölcsönösen kizárja egymást? Eliassen, miközben azon dolgozott, hogy Rossby 1938-ban írt alapvető munkáját amelyben egyszerű áramlási rendszerekre vonatkozóan megadta a nyomás és a szélvektor kölcsönös igazodásának folyamatát szimmetrikus örvényre általánosítsa, 1952-ben olyan mechanizmus javaslatával állt elő, amelynek révén az impulzus vagy a hő örvényes fluxusának divergenciája szimmetrikus meridionális cirkulációt kelthet. Eliassen elképzelése szerint heves tehetetlenségi-gravitációs oszcillációk hiányában az áramlás átlagos zonális komponenséhez kapcsolódó Coriolis-erőt a zonálisan átlagolt bárikus erőnek kell kiegyensúlyoznia, továbbá elegáns matematikai gondolatmenettel kimutatta, hogy bármiféle kiegyensúlyozatlanságnak, amit akár a nagy- vagy kistérségű örvényes sűrűlódási forgatónyomaték, akár a hőnek a nagy- vagy kistérségű örvényes átvitele kivált, azonnal az egyensúlyt visszaállító kényszerített meridionális cirkulációként kell manifesztálódnia. Ezért a légkör kvázi-geosztrofikus modellje nem zárja ki eleve az átlagos meridionális cirkulációk létezését. Így nem egy Hadley-típusú tengelyszimmetrikus cirkuláció és egy Rossby-féle aszimmetrikus cirkuláció között kell különbséget tenni, hanem a Hadley-rezsimet kell megkülönböztetni egy Hadley-rezsim és egy Rossby-rezsim együttesétől. Mindebből pedig az következik, hogy egy egyszerű kényszerített-disszipatív (termikusan gerjesztett és a sűrűlódás által csillapított) kétszintes kvázi-geosztrofikus rendszerrel leírható mind a horizontális örvényes cirkuláció, mind a meridionális cirkuláció folyamata.

Az általános légkörzés első sikeres modellje

Az első ilyen általános cirkulációs modellt 1955 közepére az IAS meteorológiai programjának megvalósításába 1951-ben bekapcsolódott Norman A. Phillips állította össze. A modell a légkör horizontális áramlási viszonyait a 750 és a 250 hPa-os szintre vonatkozóan szimulálta. Az előírás szerint a mozgás egy $0 \leq X \leq A$, $-B \leq Y \leq +B$ formában definiált derékszögű tartományban alakult ki, amelyet $Y = \pm B = \pm 5000$ km-nél merev függőleges falak határoltak, és amely $X = 0$ -nál és $X = A = 6000$ km-nél ciklikus folytonossággal rendelkezett (itt X a kelet, Y pedig az észak felé irányuló távolság koordináta). A kormányzó egyenletek, nevezetesen a két mozgásegyenlet,



Jule G. Charney (1917–1981)

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v}_1 \cdot \nabla \right) (\beta Y + \zeta_1) - \frac{f_0 \omega_2}{p_2} = D \nabla^2 \zeta_1 \quad (1)$$

és

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v}_3 \cdot \nabla \right) (\beta Y + \zeta_3) + \frac{f_0 \omega_2}{p_2} = D \nabla^2 \zeta_3 - k \zeta_4, \quad (2)$$

valamint a termodinamikai energiaegyenlet

$$\frac{f_0}{p_2} \omega_2 = \Lambda^2 \left[\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \right) (\psi_1 - \psi_3) - \frac{R}{f_0 c_p} q \right] \quad (3)$$

alakúak voltak, ahol

$$q = -2h \frac{Y}{B} + D c_p \nabla^2 T_2. \quad (4)$$

Ezekben az egyenletekben $\mathbf{v} = (u, v)$ a horizontális sebességvektor, $\omega = dp/dt$ a vertikális koordinátaként a p nyomást alkalmazó rendszerben az általánosított vertikális sebesség, ζ az örvényesség vertikális komponense, ∇ az izobárfelületen alkalmazott horizontális gradiens-operátor, f a Coriolis-paraméter, $\beta = df/dY$ a Rossby-paraméter, $\psi = \Phi/f_0$ (ahol Φ a geopotenciál, f_0 pedig f egy állandónak megválasztott értéke), $D = 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ az alkalmazott oldalsó örvényes diffúziós együttható, k egy felületi sűrűlátsági együttható, $R = c_p - c_v$ a levegő állandó nyomáson és állandó térfogaton vett specifikus hőjének különbsége (tehát a specifikus gázállandó), q a tömeg egységgel közölt hő intenzitása, $h = 2 \times 10^{-3} \text{ kJ tonna}^{-1} \text{ s}^{-1}$ a tömeg egységgel történő sugárzásos hőközlés alkalmazott intenzitása, T a hőmérséklet, továbbá

$$\Lambda^2 = \frac{f_0^2 \theta}{(\Phi_1 - \Phi_3)(\theta_1 - \theta_3)} = \text{const},$$

ahol Φ a potenciális hőmérséklet. Az 1, 2, 3 és 4 alsó indexek rendre a 250, 500, 750 és 1000 hPa-os szintre vonatkozó mennyiségeket jelölik. A modellben az ω_2 általánosított vertikális sebesség a légkör felső és alsó felében fellépő divergencia egyszerű mérőszáma, míg

$$\frac{f_0 (\psi_1 - \psi_3)}{R} \equiv T_2$$

az 500 hPa-os szint hőmérsékletének eltérése a standard légkörnek ehhez a szinthez tartozó hőmérsékletétől. A (4) egyenlet szerint a tömeg egységgel történő q hőközlés két részből áll. Az egyik egyszerűen az oldalsó dif-

fúziós folyamat eredménye, a másik pedig nettó sugárzásként értelmezhető, amely a magas szélességeken ($Y > 0$) hűlést, az alacsony szélességeken ($Y < 0$) melegedést okoz.

Ha valamelyik x változóra alkalmazzuk az $(\bar{x}) = \frac{1}{A} \int_A (x) dX$ zonális irányú átlagolást, akkor az (1)–(3) prognosztikai egyenletek a rendszerben végbe menő energiaátalakulásokra vonatkozó állításokká transzformálhatók. Az energia a rendszerben kinetikus energia és hasznosítható potenciális energia formájában jelenik meg. A hasznosítható potenciális energia az 500 hPa-os szint hőmérsékletének változásával arányos, és ezért két rész összegére bontható: az átlagos zonális áramlás hasznosítható potenciális energiájára, amely a $\bar{T}_2$ hőmérséklet Y irány menti (meridionális) változásának a következménye, valamint a diszturbált áramlás hasznosítható potenciális energiájára, amely viszont a T_2 hőmérséklet X irány menti (zonális) változásából ered. A kinetikus energia ugyancsak felbontható az átlagos zonális áramlás kinetikus energiájának és a diszturbáció kinetikus energiájának összegére. A modellszámítások szépen igazolták a már említett, és Phillips kísérletével egyidejűleg az MIT-ben Lorenz által matematikailag is bizonyított tényt, hogy az átlagos zonális áramlás kinetikus energiáját a nagytérű örvények szolgáltatják.

Noha Phillips geosztrofikus közelítést alkalmazott, az egyenletek megengedik meridionális cirkuláció kifejlődését. Ebben a kvázi-geosztrofikus rendszerben a vertikális mozgás úgy alakul, hogy biztosítsa az áramlási, nyomási és hőmérsékleti mezők geosztrofikus és hidrosztatikus egyensúlyi állapotának a fennmaradását. A (3) termodinamikai energiaegyenletből látható, hogy $\bar{\omega}_2$ nem szükségszerűen nulla, és $\frac{\partial (\psi_1 - \psi_3)}{\partial t}$ ismeretében kiszámítható. Ha pedig $\bar{\omega}_2$ ismert, akkor a kontinuitási egyenlet felhasználásával a meridionális cirkuláció meghatározható:

$$\frac{\partial \bar{v}_1}{\partial Y} = - \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial p} \sim - \frac{\bar{\omega}_2}{p_2}.$$

A numerikus kísérlet kiinduló állapota a nyugvó légkör volt, amelyben a differenciált hőközlés lassan felépítette a meridionális hőmérsékleti gradienst és a hozzá tartozó zonális áramlást. 130 nap elteltével 60,2 fokos lineáris hőmérséklet-különbség alakult ki az $Y = -B$ és $Y = +B$ szélességi kör között, ami nagyjából azt a kritikus meridionális hőmérsékleti gradienst jelentette, amelynek ebben a kétszintes modellben az X irány mentén változó kis perturbációk instabilissá válhatnak. Phillips ekkor az X -szel változó, igen csekély véletlen perturbációt alkalmazott, az időlépcsőt pedig a folyamatok részleteinek elemzése érdekében $\Delta t \leq 2$ órára redukálta, és ezzel kezdetét vette az általános cirkuláció szimulálásának tényleges szakasza.



Norman A. Phillips

A kísérlet előzetes, igazodási fázisát lezáró 130. napon egyetlen gyenge direkt meridionális cirkuláció jelent meg, amelynek maximális sebessége $0,03 \text{ m s}^{-1}$ volt. Ez a cirkuláció az átlagos zonális potenciális energiának átlagos zonális kinetikus energiává történő átalakulását szolgálta. A zonális áramlás eloszlása ezen a kezdő napon még nagyon szabályos volt: a 250 hPa-os szinten igen széles övben nyugati szél fújt, amelynek a maximális sebessége 36 m s^{-1} volt, míg a felszínnél (az 1000 hPa-os szinten) mindenütt gyenge, legfeljebb $1,1 \text{ m s}^{-1}$ -os keleti áramlás uralkodott. A valós légkör zonális áramlási mezejének jet-szerű karaktere ekkor még teljesen hiányzott.

A véletlen kis perturbációt követően az áramlási képben a következő események zajlottak le: (1) Először egy nagy, hullámszerű diszturbáció fejlődött ki, amelynek a hullámhossza az X irányban elérte a 6000 km-t. A hullámban az áramlás szerkezete a magassággal nyugat felé dőlt; a teknők és gerincek a kelet felé irányuló maximális előrehaladásukat az összes szinten a tartomány középső részén érték el. Az áramlási kép teknői az 1000 hPa-os szinten közeli hasonlóságot mutattak a szinoptikus térképekről jól ismert frontális teknőkkel. A diszturbáció meleg magvú ciklonként indult, és okkludált ciklonra emlékeztető képződményként zárta le életét. A hullám kelet felé 1800 km nap^{-1} sebességgel helyeződött át. Bebizonyosodott, hogy az időjárási frontok a ciklogenezis eredményeként jönnek létre, ellentétben a bergeni iskola tradicionális elméletével, amely szerint a ciklonok egy már létező polárfront instabilitásának a szülöttei. (2) A horizontális örvények zonális impulzust transzportáltak a tartomány középső részé-

be. Ennek eredményeként a 250 hPa-os szinten 80 m s^{-1} -os sebességet elérő jet alakult ki, és ezzel egyidejűleg az 1000 hPa-os szinten a zonális áramlás egymást váltakozva követő, keleti→nyugati→keleti irányítottaságú képe jött létre. (3) Felépült egy háromcellás meridionális cirkulációs rendszer, amelyet a közepes szélességeken indirekt cella, attól északra és délre pedig egy-egy direkt cella alkotott.

A szimuláció elemzését röviddel a 26. napot követően sajnos le kellett zárni, mivel a véges differenciák számításával bevezetett csonkítási hibák gyorsan annyira tolerálhatatlanná váltak, hogy a 30. napon az áramlás elvesztette a valósággal mutatott minden hasonlóságot. Ennek ellenére az IAS-gépen lefuttatott kísérlet több szempontból is sikeresnek volt mondható. A modell helyesen szimulálta a felszíni zonális áramlás irányának váltakozását, a jet megjelenését, továbbá az energia pólus felé irányuló átvitelét, és az eredményül kapott kép feltűnően hasonló volt ahhoz, amit empirikus úton talált Victor P. Starr és Edward N. Lorenz az MIT-ben, valamint Jakob Bjerknes a munkatársaival a kaliforniai egyetem Los Angeles-i tagozatán. A részleteket tekintve természetesen voltak hiányosságok; így például a modell nem adta vissza a szubtrópusi keleti szeleknek a poláris keleti szélzónához viszonyított erősségét, az átlagos meridionális hőmérsékleti gradiens túl nagy, bizonyult, és a diszturbációk bizonyos jellegzetességei sem voltak eléggé reálisak. Mindez azonban indokolható volt a kormányzó egyenletek nagymérvű leegyszerűsítésével.

Phillips a kísérletét azon a nemzetközi konferencián mutatta be, amelyet Neumann János kezdeményezésére 1955. október 26–28-án rendeztek meg az Institute for Advanced Studyban, azzal a kifejezett céllal, hogy megtárgyalják a numerikus integrációs technikák alkalmazásának lehetőségeit az általános cirkuláció problematikájának kezelésében. A világ harminc élenjáró kutatója jelenlétében az ülést az intézet igazgatója, J. Robert Oppenheimer nyitotta meg, párhuzamba állítva a konferenciát azzal a tanácskozással, amelyet annak idején Los Alamosban rendeztek a Manhattan Terv keretében előállítandó atombombával összefüggő teendők megvitatására, és kifejtette, hogy véleménye szerint a légköri mozgások nemlineáris dinamikájával foglalkozó kutatók most egy annál lényegesen bonyolultabb problémával szembesülnek.

Norman Phillips úttörő munkáját 1956-ban a Royal Meteorological Society a Napier Shaw Memorial Prize odaítélésével honorálta.

Nyitva maradt kérdések

A princetoni konferencia egyik középponti témáját természetesen a „hogyan tovább?” kérdése alkotta, amelyet Neumann és Charney egyaránt a teljes nume-

rikus prognosztikai feladatkör osztályozásával igyekezett megválaszolni. Más-más megközelítésben mindketten rámutattak arra, hogy adott (a) a rövid távú előrejelzések problémája, (b) a hosszú távú előrejelzések problémája, és (c) a klimatológia problémája. Az első olyan távra szóló prognózisként definiálható, amely egy tipikus légköri diszturbáció disszipációs (vagy relaxációs) idejénél rövidebb, vagy azzal összevethető, a második a disszipációs idő többszörösének távjára vonatkozik, míg a harmadik a $t \rightarrow \infty$ prognózis, vagy ahogy ők fogalmaztak, „egyetlen légkör vagy a légkörök sokasága időbeli és térbeli változásai statisztikájának az előrejelzése”. És mindkét kutató nézete megegyezett abban a később sokszor idézett megállapításban, miszerint „az első és az utolsó probléma messze a legegyszerűbben megoldhatónak látszik, míg a második csaknem megoldhatatlannak”. Charney ehhez hozzáfűzte, hogy azért a hosszú távú előrejelzések esetében is lehetnek enyhítő körülmények. Ha például a légkör ismert gerjesztéssel rendelkező, lineáris disszipatív rendszer lenne, akkor elegendő idő elteltével bármely létező szabad mozgás kioltódna, és az áramlás egy tiszta kényszerített oszcilláció képét venné fel. Ezért ebben az esetben a kezdeti feltételek előírásánál, vagy a folytonos mozgásegyenletek diszkretizációs módszerrel történő megoldásánál elkövetett hibák nem akkumulálódnának az előrejelzés pontosságát lenullázó mértékig, hanem a pontosság lényegében állandó maradna, és csak az áramlás matematikai leírásának egzaktságától függne. Ez az eset természetesen kizárólag olyan rendszerre példa, amely el tudja felejtetni a múltját. A légkör azonban nemlineáris rendszer, ezért nem rendelkezik ezzel a szerencsés tulajdonsággal: a légkör emlékezik viszont a disszipáció révén felejt is. A döntő kérdés így az, hogy ténylegesen mire emlékszik vissza. Ha például csak egy térben vagy időben átlagolt állapotra tud emlékezni, akkor legalább ennek az átlagolt állapotnak prognosztizálhatónak kell lennie. Charney szerint éppen ez a hosszú távú előrejelzés problémája.

Ami pedig az általános légkörzés szimulálásának fejlesztési perspektíváit illeti, a konferencia résztvevői leszögezték, hogy egy teljesen generalizált modellben a légkörnek magának kell meghatároznia az energiaforrásait. Phillips modellje ezt a követelményt nem teljesítette; abban a hőforrás földrajzilag rögzített volt. Charney az általános cirkuláció energetikai problémájával összefüggésben nyolc kérdést fogalmazott meg: (1) Hogyan kell egyszerű modellekbe a rövid- és hosszúhullámú sugárzásátvitelt egyszerűen beépíteni? (2) Miként lehet a konvektív hőátvitelt numerikusan kezelni? (3) Hogyan lehet a vízgáz párolgását és kondenzációját számításba venni? (4) Mivel a felszínlégkör rendszer által ab-

szorbeált szoláris energia mennyisége az albedótól függ, képeseknek kell lennünk a felhőzet eloszlásának az előrejelzésére. Hogyan tegyük ezt? (5) Milyen a légkörben a különböző energiaforrások és energianyelők átlagos elrendeződése? (6) Hogyan hat vissza az óceán két alapvető mozgásformája, nevezetesen a légáramlás által keltett Ekman-sodrás és a termohalin cirkuláció a légköri folyamatokra? (7) Laboratóriumi kísérletek bizonyítják, hogy a légkör áramlási rendszere bizonyos mértékig független a hőforrások eloszlásának részleteitől, és miután az összes hőforrás nem játszik egyformán lényeges szerepet, ezért mi az energiaforrások fontossági sorrendje az általános légkörzés dinamikájában? (8) Hogyan tevődik át az energia egyik mozgásrendszerből a másikra, létrehozva a planetáris hullámok között megfigyelhető szoros kapcsolatot?

Charney ehhez a nyolc, energetikát érintő kérdéshez még két, statisztikus mechanikai jellegű kérdést is fűzött: (1) Hogyan kell a klíma-statisztikákat meghatározni? Helyettesíthetők-e az időátlagok a sokaságátlagokkal, és ha igen, tehát a rendszer ergodikus, akkor miként kell a sokaságot megválasztani? (2) Laboratóriumi kísérletek alapján tudjuk, hogy adott külső határfeltételhez egynél több olyan stabilis állandósult állapot tartozik, amelyben a folyadék létezhet. Ennek a ténynek a fényében milyen kezdeti állapotot választunk meg, ha az időátlag módszerét alkalmazzuk, illetve hogyan jelöljük ki a sokaság tagjait, hogy azok a fázistér kölcsönösen elérhető tartományában helyezkedjenek el?

Szervezeti változások

Ezekre a klímadinamikai kérdésekre a választ a kutatók már nem az Institute for Advanced Study meteorológiai programja keretében keresték. A konferencia idején Neumann János már nem tartozott az IAS kötelékébe; őt Eisenhower elnök 1955 márciusában igen magas pozícióba, az Atomic Energy Commission tagjává nevezte ki. Rajta kívül az IAS-ban nem akadt más kari tag, aki érdeklődést mutatott volna a program iránt. „Erősen hangot kapott az a vélemény sok olyan ember részéről, akik egyébként Neumann barátai voltak az intézetnél, hogy semmi kísérleti dolgot nem kellene vállalni... Ez meglehetősen mélyen belegázolt az önérzetembe, és valószínűleg ez volt a legfontosabb oka annak, hogy ott hagytam az Institute for Advanced Studyt” írta később Charney az IAS-ból a chicagói egyetemre korábban már visszatért George Platzmannek. Charney és Phillips számos ajánlat közül az MIT állásajánlatát fogadták el; távozásukkal az IAS-ban 1956 közepén a meteorológiai program lezárult. Öröksége azonban jelen maradt a JNWPU által folytatott



Joseph Smagorinsky (1924-2005)

projektekben, valamint a világ számos neves kutatóhelyén elkezdett általános cirkulációs és egyéb programokban.

1955 júliusának végén, azt követően, hogy a Phillips-féle modell értéke belső körökben már nyilvánvaló volt, de még azelőtt, hogy Princetonban megtartották az általános légköri szimulálásával foglalkozó konferenciát (amelynek teljes anyaga *Dynamics of Climate* címmel 1960-ban, a Pergamon Press gondozásában, könyv alakban is megjelent), Charney és Neumann, valamint a Weather Bureau részéről Wexler javaslatot fogalmaztak meg az általános cirkuláció dinamikáját elemző projekt létrehozására. Az előterjesztésben felkérték a Weather Bureau-t, a légierőt és a haditengerészetet, hogy együttesen alakítsanak meg Suitlandben egy kutatócsoportot, amelynek hozzáférést biztosítanak a JNWPU IBM 701-es számítógépéhez, hogy a princetoni irányvonalak mentén folytassa az általános légköri tanulmányozását. Javasolták egy tudományos tanácsadó bizottság létrehozását is Charney, Phillips, Neumann és Wexler részvételével.

A Weather Bureau, a légierő és a haditengerészet lényegi módosítás nélkül beleegyezett, hogy finanszírozzák a tervet. Az 1955 októberében megalakult General Circulation Research Section vezetésére Wexler kapott megbízást, de még abban a hónapban ezt a tisztséget Joseph Smagorinsky vette át. A csoport gyorsan gyarapodott: 1959-ben a General Circulation Research Laboratory nevet vette fel, majd 1962-ben, amikor megkapta saját IBM 7030-as számítógépét, Washington belvárosába költözött. 1963 óta működik a ma ismert Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) elnevezéssel, és 1968-ban települt át végleges helyére, a

princetoni egyetem Forrestal Campusára. Az ezt megelőző év is fontos mérföldkő volt az intézmény életében. Jelenleg is aktív két munkatársa, Syukuro Manabe és Richard T. Wetherald 1967-ben publikálta azt a tanulmányt, amelyet a folyamatosan növekedő légköri széndioxid koncentráció termikus hatásának első hiteles kiszámításaként tartunk számon. A két kutató egyváltozós energiaegyensúlyi modellje egy megduplázódott CO₂-koncentrációra a relatív nedvesség adott eloszlása esetén 2,3 fokos, az abszolút nedvesség rögzített eloszlása mellett pedig 1,3 fokos globális melegedést eredményezett.

Epilógus

Az éghajlati folyamatok egzakt tanulmányozása hátterének a megteremtéséhez fontos eseményt jelentett az emberi környezet állapotának megóvása érdekében 1972 júniusában, Stockholmban összeült ENSZ-konferencia. A résztvevők határozatot hoztak egy környezetvédelemmel foglalkozó program, a UNEP elindításáról. Javasolták továbbá, hogy a Meteorológiai Világszervezet (WMO) és a Tudományos Uniók Nemzetközi Tanácsa (ICSU) égisze alatt működő Globális Légkörkutató Program (GARP) keretében a légkör tranziens viselkedésének vizsgálata mellett kapjon a korábbinál lényegesen nagyobb hangsúlyt az általános légköri dinamikájának elemzése. A GARP közös, WMO/ICSU szervező bizottsága (a JOC) ezért 1974 nyarán, közel hetven neves elméleti kutató bevonásával, kéthetes szakmai tanácskozást rendezett a Stockholm melletti Wijkben, majd a JOC még annak az évnek a novemberében, Budapesten tartott ülésén döntött egy klímadinamikai alprogram létrehozásáról.

Az évek során az antropogén kényszerek várható éghajlati hatásának projektálását (az ún. feltételes prognózisok készítését) jelentő szellemi kihívás, karöltve a társadalmi elvárásokkal, mind több légkördinamikával foglalkozó szakembert ösztönzött egyre komplexebb klímamodellek megalkotására. Az előrehaladás, köszönhetően a számítástechnikai háttér fejlődésének is, valóban rohamos volt. Amikor 1983-ban Joseph Smagorinsky leköszönt a GFDL igazgatói posztjáról, és a nyugalomba vonulás mellett döntött, már joggal állíthatta, hogy „a klimatológia a leíró geográfia tiszteletre méltó ágából a fizika tudományának kvantitatív diszciplínájává alakult át”.

Götz Gusztáv

* * *

Megemlékezés a Meteorológiai Világszervezet (első)¹ Éghajlati Világkonferenciájáról

Amikor a „Légkör” c. folyóirat 50-évvvel ezelőtti megindítására emlékezünk, gondolataink önkéntelenül is abba az irányba fordulnak, hogy szakmánk területén mi minden történt e fél évszázad folyamán, és milyen fejlemények határozták meg e periódus mérlegét. Az egyik, sőt valószínűleg a legfontosabb ilyen fejlemény az ember okozta klímaváltozás kérdésének előtérbe kerülése volt.

Az (első) Éghajlati Világkonferenciát, melyet a Meteorológiai Világszervezet 1979. február 12. és 23. között rendezett Genfben, ma már mi meteorológusok is kezdjük méltatlanul elfelejteni. A társtudományok szakemberei meg lehet, hogy nem is hallottak róla, és ez sajnálatos, mert olyan eseményről van szó, mely – ha az összefüggéseket számításba vesszük – az összes klíma-változással kapcsolatos konferencia és csúcstekezet között mind a mai napig valószínűleg a legfontosabb volt. Ez volt az a konferencia, mely az antropogén klímaváltozás kockázatáról először adott bámulatosan korrekt, átfogó képet a világ számára. Igaz, hogy a politikai közeg és a média-világ erre alig reagált, de mégis ezen a konferencián történt meg a probléma első precíz megfogalmazása, és itt került sínre az „Éghajlati Világprogram”.

E kritikusan fontos konferencia emlékének felidézését kicsit személyes ügyemnek is tekintem. A WMO Globális Megfigyelő Rendszer Munkacsoportja elnökeként, majd az Európai Regionális Asszociáció Elnökeként módomban volt a konferencia előkészületeiben és lebonyolításában folyamatosan részt venni. Ennek folytán belülről láttam az események menetét. Ma már sajnos világszerte kevesen élnek azok közül, akik ebben a munkában – szervezői szinten – akkor részt vettek. Ez a visszaemlékezés ezért kötelességem is.

Ehhez hozzáteszem, hogy 1979 áprilisában, az Éghajlati Világkonferenciát követő WMO Kongresszuson felkérést kaptam a Világszervezet tudományos programjainak főigazgatói posztjára. Ennek folytán további 11 éven át volt módom a Világkonferencia utóéletét, vagyis az Éghajlati Világprogram sorsát figyelemmel kísérni.

A világkonferencia előzményei

Az antropogén klímaváltozás problémájának nemzetközi síkra vitelét a Meteorológiai Világszervezet (továbbiakban WMO) kezdte szorgalmazni az 1960-as években. Ennek természetesen voltak előzményei. Általában arra szokás hivatkozni, hogy Svante Arrhenius svéd kémikus már 1896-ban elméletet és számításokat közölt arról, hogy a széndioxid légköri koncentrációjának változásai hogyan befolyásolhatják a globális klímát. De jól tudjuk, hogy Arrhenius felvetése nem vert fel nagy port.



Neumann János (1903–1957), „a számítógép atyja”, feleségével, Karival, és Inverz nevű kutyájukkal. Közreműködésével hajtották végre az első sikeres számítógépes időjárás előrejelző modellkísérletet. Ugyancsak ő vetette fel az Általános Légkörzés modellezésének gondolatát, és ő teremtette meg a klíma nagyskálájú modellezésének előfeltételeit. Ma is idézni szoktuk a feladattal kapcsolatban adott kristály tiszta megfogalmazását: „az időjárás előrejelzése kezdeti-érték feladat, a klíma előrejelzése viszont peremfeltétel feladat”.

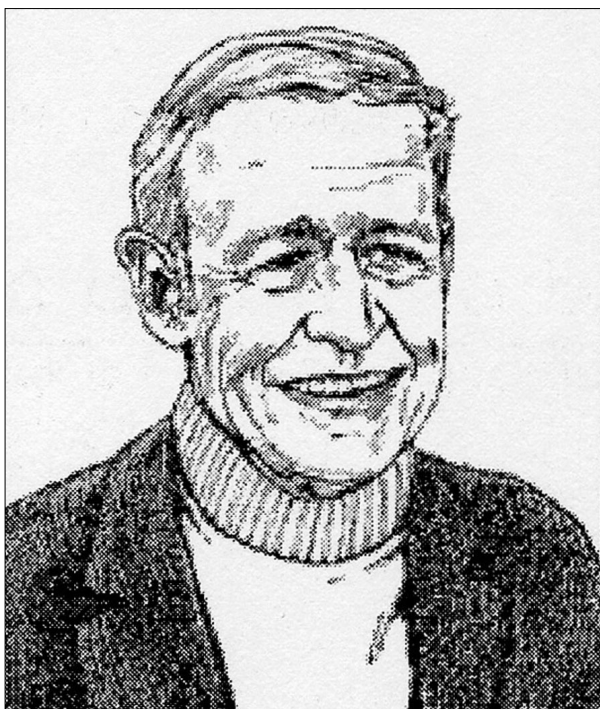
Kevesen reagáltak rá, és akik reagáltak, azok többnyire kétségbe vonták a következtetéseit.

Ezen a téren az első nagy fordulat 1955-ben következett be, amikor Neumann János publikálta azt a bizonyos híres cikkét, melyben felhívta a figyelmet arra, hogy az emberiség szaporodik, a technika fejlődik, és

¹ Az 1979-évi Éghajlati Világkonferencia megrendezésekor, még fel sem merült, hogy lesz „második”, sőt esetleg több ilyen konferencia. Ezért a konferencia nevében akkor nem szerepelt az „első” megjelölés. Csak a második éghajlati világkonferencia megrendezése után kezdtük visszamenőleg használni ezt a számozást az elsőre vonatkozóan is.

ezzel szemben a földi erőforrások végesek. Ebben a cikkben írta le azt, hogy ha lehetségessé válik a globális éghajlat ember általi módosítása, akkor ebből minden eddiginél súlyosabb biztonságpolitikai válság származhat. Ezen túlmenően ugyancsak ő szorgalmazta, és *Joe Smagorinsky* helyzetbe hozásával ő tette lehetővé, az Általános Légkörzés számítógépes modellezésére vonatkozó kutatások és kísérletek megindítását.

Neumann János kezdeményezésével majdnem pontosan egy időben, *Roger Revelle*, aki akkor a Scripps Oceanográfiai Intézet igazgatója volt, minden követ megmozgatott, hogy a Mauna Loa csúcsán 1957-től megindulhasson a légköri széndioxid koncentráció mérése. Ha ezt nem tette volna meg, akkor az 1970-es évekre nem gyűlhetett volna össze az a bizonyító megfigyelési anyag, amiből kitűnt, hogy a széndioxid légköri koncentrációja folyamatosan növekszik.



Roger Revelle (1909–1991), a Scripps Oceanográfiai Intézet Igazgatója (1951–1964). Ő kezdeményezte a Mauna Loa Obszervatórium létrehozását és ott a légköri szén-dioxid koncentráció rendszeres mérésének megindítását. Elsőként körvonalazta az antropogén klímaváltozás tudományos és társadalmi jelentőségét és lehetséges következményeit.

Amerikában tehát az antropogén klímaváltozás ügyével már az 1950-es évek közepétől kezdve nagyon komolyan foglalkoztak. Ez más országokban alig keltett érdeklődést, és ezért a klíma probléma még az 1960-as években is szinte kizárólag „amerikai téma” maradt. A WMO volt az a fórum, ahol az első kezdeményezések

megtörténtek a téma iránti nemzetközi érdeklődés felkeltése érdekében.

Akkoriban a WMO (ellentétben az ENSZ többi szakosított szervezetével) következetesen törekedett arra, hogy megőrizze tisztán tudományos és technikai, vagyis politikamentes arculatát. Ez a WMO-nak nagy erőssége volt, melyből hitelt meríthetett (de egyúttal nagy gyengesége is volt, amire még visszatérek). A politikamentesség elvi alapról kiindulva a WMO-nak módjában volt 1960-ban kutatási együttműködési megállapodást kötni a Tudományos Uniók Nemzetközi Tanácsával (továbbiakban ICSU²).

Az első műholdak pályára kerülése nyomán az ENSZ Közgyűlése több fontos határozatot hozott a világűr békés felhasználása tárgyában. Ezek között kettő is volt melyek felhívták a WMO-t, illetőleg az ICSU-t, hogy tegyenek megfelelő lépéseket az űrtechnika meteorológiai tudományos hasznosítása érdekében. Ez vezetett oda, hogy 1967 októberében az ICSU és a WMO közösen létrehozta a Globális Légkörkutató Programot (továbbiakban GARP³). A program alapvető tudományos céljait 1968-ban rögzítették, és a megjelölt célok között már akkor ott volt azon folyamatok vizsgálata, melyek



Robert M. White,
1979-ben az USA Óceáni és Légköri Hivatalának vezetője, az első Éghajlati Világkonferencia tudományos elnöke. Döntő szerepe volt a meteorológiai műhold-rendszer létrehozásával és a globális meteorológiai megfigyelő rendszer egészének kiépítésével kapcsolatos USA programok sínre tételében.

² ICSU = International Council of Scientific Unions. Ez az együttműködés azóta is alapjául szolgál több kulcsfontosságú kutatási programnak

³ GARP = Global Atmospheric Research Program

szükségesek a klímaváltozás fizikai alapjainak megértéséhez.

A WMO és ICSU már 1968-ban megkezdte a klímaváltozással kapcsolatos kutatási világprogram tervezését. Ebben akkor mi magyarok is részt vettünk. Meghívásunkra, 1974 novemberében Budapesten ülésezett a GARP (ICSU – WMO) szervező bizottsága. Ennek az ülésnek fontos szerepe volt abban, hogy a WMO Végrehajtó Bizottsága 1975-ben formálisan létrehozta a „WMO Panel of Experts on Climatic Change” elnevezésű testületet, mely már konkrét feladatul kapta egy „Éghajlati Világkonferencia” összehívásának előkészítését, és (az előbbivel összefüggésben) az „Éghajlati Világprogram” létrehozására vonatkozó részletes javaslat kidolgozását.

A Világkonferencia előkészületei és megrendezése

Az (első) „Éghajlati Világkonferencia” előkészületei 1978 áprilisában fordultak komolyra, amikor Luxemburgban összehívtuk azoknak az előadónak a koordinációs találkozóját, akiket felkértünk, hogy a következő év elejére kitűzött világkonferencián tartsanak előadásokat. E szűk körű ülés színvonala rendkívül imponáló volt (sokak szerint felülmúlta magát a világkonferenciát).

A konferenciára 1979. február, 12–23 között Genfben került sor. Az első héten 50 ország 350 képviselője volt jelen, a második héten 120 meghívott szakértő folytatta a munkát négy szekcióban. Az elhangzott előadásokat és vitákat egy közel 800 oldalas impozáns kiadvány örökölte meg [WMO – No. 537, 1979]. Tudományos szempontból teljes volt a siker. Ugyanezt már nem lehetne elmondani a konferencia sajtóvisszhangjáról és politikai hatásáról.

A világkonferencia utolsó napján tartott sajtótájékoztatónk kudarcba fulladt. Tudományos konferencia-direktorunk *Robert M. White* (USA) bevezetőben tartott egy rövid, és tudományos szempontból korrekt bevezetőt, melyben erősen hangsúlyozta a bizonytalan pontokat. Ezzel a nemzetközi sajtó képviselőinek érdeklődését nem sikerült felkeltenie. Nekik fenyegető beszéd, konfliktus és blöff kellett volna, hogy „híryanag” legyen belőle. Ilyennel nem szolgálhattunk. Kiderült, hogy a WMO politikamentes magatartásának vannak hátrányai is.

Az „Éghajlati Világprogram” létrehozása

Röviddel a konferencia után, 1979 májusában összeült Genfben a WMO Nyolcadik Kongresszusa, ahol azonnal napirendre került, és az alapos előkészítésnek

köszönhetően megtörtént az Éghajlati Világprogram létrehozása. Hangsúlyozni szeretném, hogy a februárban tartott (első) Éghajlati Világkonferencia témaköreinek csoportosítása már pontosan tükrözte azt a programstruktúrát, amely az Éghajlati Világprogram kereteit is meghatározta. Négy fő területet jelöltünk ki: a klíma adatok témakörét, a klíma alkalmazások témakörét, az éghajlati hatástanulmányok (impact studies) témakörét, és a klímakutatás és modellezés témakörét. Ezekből alakítottuk ki a teljes program négy fő komponensét. A programban való részvételre meghívtunk más nemzetközi szervezeteket is.

A tervezés egyik szempontja az volt, hogy megoszthassuk a feladatokat az ENSZ Környezet-védelmi Programjával (UNEP)⁴, ezzel az akkor még egészen új ENSZ szakosított szervezettel, melynek székháza Nairobi-ban épült fel. A UNEP az 1972-ben tartott stockholmi környezeti ENSZ Konferencia nyomán jött létre, és Musztafa Tolba úr, a UNEP akkori főigazgatója nagyon szeretett volna szerepet kapni a globális klímával kapcsolatos ügyekben. A klíma-hatástanulmányok programjára tartott igényt és azt meg is kapta. Ami annyiból okozott bizonyos nehézséget, hogy a Laxenburgban működő IIASA⁵ már évek óta végezte ezt a munkát, mégpedig figyelemre méltó sikerrel, és most ezt a témát el kellett tőlük venni.

Végül az lett a tárgyalások vége, hogy a WMO önálló gazdája maradt a klíma-adat-, és klíma-alkalmazási programnak, továbbá az ICSU-val közösen megtartotta a már sokkal korábban megindított klíma-kutatási programot. (Megjegyzem, hogy az Unesco⁶ ugyancsak érdekelt volt a klímaváltozás hidrológiai és oceanográfiai vonatkozásaiban, de nem volt olyan igényük, hogy a fő program komponensek bármelyikét önállóan átvegyék.)

A mi számunkra az volt a legfontosabb, hogy egyik fő program komponensként intakt maradt az „Éghajlatkutatási Világprogram” (továbbiakban WCRP⁷). Ez a program komponens a GARP keretében akkor már évek óta működött, és már jól kidolgozott munkaterve volt, melyben hosszú időre le voltak fektetve a legfontosabb teendők körvonalai. A WMO fentebb említett Nyolcadik Kongresszusa haladék nélkül jóváhagyta ezeket a célkitűzéseket, továbbá a hosszútávú tervezést igénylő nagy nemzetközi kísérletek menetrendjét.

Az (első) Éghajlati Világkonferencia negatív tanulságai közé tartozott annak a felismerése, hogy nem értjük a sajtó nyelvét. Ma azt mondanám, hogy ez nem volt igazán nagy baj. Akkor azonban az volt a klíma ügyeket háttérből erősen befolyásoló nagyhatalmak álláspontja, hogy a klímaváltozás politikai kérdés. Mi magunk is úgy éreztük, hogy jobb, ha a nemzetközi közvélemény

⁴ UNEP = United Nations Environment Programme

⁵ IIASA = International Institute for Applied System Analysis

⁶ Unesco = United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

⁷ WCRP = Global Climate Research Programme

klíma-ügy iránti érdeklődésének felrázását olyanok vezetik kézbe, akik ehhez nálunk jobban értenek. (Ezzel kissé ingoványos talajra tévedtünk.)

Az (első) Éghajlati Világkonferencia utóélete és mérlege

Ha az (első) Éghajlati Világkonferencia eredményei közül csak annyit emelhetnék ki, hogy e konferenciának volt köszönhető az Éghajlati Világprogram megszületése, akkor is olyan jelentős dologra hivatkozhatnék, mely indokolná, hogy e konferencia emlékét a legnagyobb becsben tartsuk. De ennél sokkal többről van szó.

Ez a konferencia volt az első nagy seregszemléje azoknak a kutatóknak, akik érdemben tudtak valami fontosat a témához hozzátenni. Ennek érzékeltetésére említtem, hogy ott és akkor hallottam először arról a fontos szerepről, melyet az El Niño anomáliák játszanak a szezonális klíma-ingadozásokkal kapcsolatban. Nem sokkal a Konferencia után ez a téma hirtelen újra figyelmet keltett az 1982–83 körüli El Niño esemény következtében, mely sokkal intenzívebb volt, mint bármelyik, melyet az előző száz év alatt észleltek. Ezzel az El Niño probléma, és az azzal szorosan összefüggő „Déli Oszcilláció” a legprominensebb klímával összefüggő kutatási témák sorába került.

Ezen a konferencián kerültek szembe egymással a klímaingadozással kapcsolatos kutatások különböző iskolái. A két legprominensebb tábor a klíma modellezőké és a paleoklíma kutatóké volt. Ha az ott elhangzott 27 előadást, ami kerekén 750 oldal (nem sok) végigolvassuk, legjobban azon csodálkozhatunk, hogy milyen jól sikerült ez a válogatás. Az előadások jól reprezentálták a klíma tudomány akkori helyzetét, és minden fontos kutatási irányban megtörtént a sínek lerakása.

Bár meglepően hangozhat, még a mostanság oly gyakran emlegetett „Kormányközi Éghajlatváltozási Testület” (IPCC⁸) struktúrája is az (első) Éghajlati Világkonferencia kapcsán kialakult gondolkodást tükrözi. Egész sor szakkifejezés ugyancsak akkor és ott került bele a tudományos szaknyelvbe. Mindez persze azért nem nagyon meglepő, mert az a csapat, mely ott összejött, azután még évekig prominens szerepet játszott a téma kutatásában és az ezzel kapcsolatos tudomány-szervezésben.

Ugyancsak az (első) Éghajlati Világkonferencia kapcsán merült fel, az akkor szerzett tapasztalatok nyomán, a Második Éghajlati Világkonferencia terve. Ezt a tervet a magam részéről már 1982-ben belevettem a WMO 10-éves tervének első fogalmazványába. Hosszú ideig vitáztunk arról, hogy ez a pont a jóváhagyásra előterjesz-

tett tervben tényleg szerepeljen-e. Ahogy azonban haladtunk előre az 1980-as években, egyre jobban szelődültek ezek a viták.

1988 derekán jellemző epizód történt. Málta kormány „A globális klíma védelme a jelen és jövő generációk számára” cím alatt határozati javaslatot kívánt az ENSZ Közgyűlése elé terjeszteni. Patrick Obasi főtitkár távollétében a máltaai nagykövet hozzám fordult azt kérve, hogy nyújtsak segítséget a javaslat szakszerű kidolgozásához. Habozás nélkül pozitívan reagáltam, és bevonva a WMO titkárság tudományos divízióit nagyon alaposan átfésültük a javaslatához készített háttéranyagot és szakmai indoklást. Arra gondoltam ugyanis, hogy a máltaai javaslat frontáttörést eredményezhet, mert egy „fejlődő ország” részéről jön, és nem kell attól félni, hogy az észak-dél ellentét miatt felkorbácsolt hangulatban majd nagy támadás indul ellene. Az anyag elkészült, a nagykövet a segítséget megköszönte és boldogan elment a kész dokumentummal. A főnököm nem sokkal ezután érkezett vissza Nigériából, és valaki azonnal feljelentett nála, hogy szabálytalanul jártam el (ami persze tökéletesen igaz volt). Meg is kaptam a nagy fejmosást (11 év alatt ez volt az egyetlen), és eléggé el is szontyolodtam.

Azonban két nappal később a máltaai javaslatot az ENSZ Közgyűlése ellenszavazat nélkül elfogadta, és meghozta a 43/53 számú határozatát. Ezzel a határozattal történt meg, többek között az IPCC létrehozásának formális megerősítése is.

Ilyen előzmények után került sorra a Második Éghajlati Világkonferencia (1990. október. 29.–november. 7.), mely két részből állt: A „tudományos” rész október 29. és november 3. között zajlott le, az ún. „miniszeri ülésekre” november 6. és 7. folyamán került sor. Az utóbbi üléseken 137 ország 908 küldötte volt jelen. Margaret Thatcher is egyike volt a vezérszónokoknak. A Green Peace aktivistái hatalmas kötött léggömböt eresztettek a magasba a konferencia központ mellett, „Climate Criminals” felirattal. Majd odaláncolták magukat az út menti oszlopokhoz. Mindezzel már a riói Környezet és Fejlődés Világkonferencia (UNCED)⁹ előkészületeit ko-reografálták. Jelentősen hozzájárultak a sajtó figyelmének felkeltéséhez.

Mindezt azzal szeretném zárni, hogy az (első) Éghajlati Világkonferencia légköre összehasonlíthatatlanul kellemesebb, és szakmailag korrektebb volt, mint a másodiké. A különbség kb. ugyanaz, mint kenyérrel vásárolni egy kis péküzletben, vagy egy szupermarketben. Az utóbbiban több a kenyér, az előbbiben viszont sokkal jobb.

Czelnai Rudolf

⁸ IPCC = Intergovernmental Panel On Climate Change

⁹ UNCED = United Nations Conference on Environment and Development

A MILANKOVICS-BACSÁK ELMÉLET ÉS AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSOK

A címről

A Milankovics-Bacsák elmélet a legutóbbi 600 000 évben lejátszódott glaciálisokról (eljegesedésekről) és a köztes interglaciálisokról szól. A világban ezt az elméletet Milankovics-elmélet néven ismerik és ezen a néven hivatkoznak rá. (Ha nagyon szigorúan vesszük a szó jelentését, akkor talán nem is igazán elmélet. Ez az elfogadott neve azonban és maguk a nevek a tudományban sem mindig pontos kifejezői a tartalomnak.) Bacsák György nem vett részt az elmélet kidolgozásában, ő a legelső értője, magyarázója és alkalmazója volt. A világon Milankovicsnak sok híve van, ők Bacsákot az interglaciálisok vizsgálatáról ismerik és tisztelik. Magyarországon a Milankovics-Bacsák elmélet elnevezést használjuk, így fejezzük ki elismerésünket és megbecsülésünket Bacsák Györgynek ebben a témakörben kifejtett munkássága iránt. A magyar szóhasználatban van nemzeti túlzás, alaptalannak azonban semmiképpen nem mondhatjuk.

A cím második része éghajlatváltozásokat említ. Amióta csak létezik a Föld, éghajlata folyamatosan változik, természetesen a változás iránya és sebessége nem állandó. Ebben a kis írásban mindössze a legutóbbi 2,5 millió év több fokot kitevő hőmérséklet-ingással járó változásait érintjük.

Az elmélet előzményei

A XIX. század elején a geológusok kezdték felismerni, hogy az elmúlt évezredekben több eljegesedés történt Euráziában. Az eljegesedések Skandináviából indultak, kiterjedtek a kontinens északi részének nagy területeire és megmutatkoztak az Alpok gleccsereinek hosszában is. Az Alpokban a különböző eljegesedések (jégkorszakok) nyomai jobban elkülönülnek, mint az északi síkvidéki tájakon, így a jégkorszakok megkülön-

böztetése és nevei az ottani jelekből származnak. Az elmúlt 600 000 év alatti négy nagy jégkorszak mindegyikében több eljegesedési csúcs volt. Az összesen 9 eljegesedési csúcs (az időben visszafelé haladva és az időszakot ezer években kifejezve) a mellékelt táblázatban található. A legnagyobb kiterjedésű eljegesedéskor a jégtakaró a Föld felszínének 9%-át foglalta el. Ma az állandó jégtakaró 3%-nyi.

A talált eljegesedések zavarba hozták az éghajlat szakembereit, mert korábban az éghajlat állandóságáról voltak meggyőződve: az írott történelemből ez utóbbi volt nyilvánvaló. Ennek megfelelően jelent meg a napálldó fogalma, hiszen a stabil földi éghajlathoz a termodinamika szerint időben egyenletes teljesítményű energiaforrásra van szükség. A XX. század elejére az eljegesedések okain töprengve oda jutottak, hogy a sok köbkilométer jég felhalmozódásához nem általános lehűlés, hanem enyhe telek és hűvös nyarak évezredek át folyamatos előfordulása, azaz az évszakok közötti különbség csökkenése, vezetett. Mivel az évszakokat a Föld forgástengelye és a nap körüli keringés síkja által bezárt szögnek a merőlegetől való eltérése okozza, ezért a forgástengely állásszögének változásában lehetett keresni az eljegesedések magyarázatát. A Föld nap körüli keringése pályaelemeinek egyike ez a hajlásszög. A pályaelemek változásait a többi bolygó zavaró gravitációs hatása okozza. Ezeket a változásokat a csillagászok akkor már 150 éve egyre pontosabban számítani tudták. Itt tartottak 1912-ben, amikor Milankovics bekapcsolódott az okok keresésébe (Bacsák, 1940).

Milutin Milankovics

1879-ben született Eszék közelében, a Duna partján lévő Dálya községben. A halál Belgrádban érte 1958-ban. Egyetemi tanulmányait Bécsben, a Technische Hochschule építész szakán végezte, ahol 1904-ben doktorált. A Monarchia számos nagy építkezésében vett részt, mint a vasbeton szerkezetek szakértője. 1909-ben meghívták a Belgrádi Egyetem alkalmazott matematika tanszékére.

Egyetemi munkája mellett a gyakorló építészeti tevékenységét is folytatta a Monarchia területén. Itt érte az I. Világháború kitörése, amikor a Monarchia hatóságai, mint szerb állampolgárt, internálták feleségével együtt. Internáltként hamarosan Budapestre került. Felkereste a Magyar Tudományos Akadémia könyvtárát és a matematikai osztály titkárát, aki segítette abban, hogy zavartalanul folytathassa 1912-ben megkezdett

Név	Időszak
Würm III	17 – 27
Würm II	66 – 78
Würm I	110 – 122
Riss II	182 – 193
Riss I	226 – 238
Mindel II	428 – 439
Mindel I	470 – 480
Günz II	545 – 554
Günz I	586 – 595

tudományos munkáját. (Meg kell jegyezni, hogy ez annyira természetesnek tűnt az Akadémia akkori vezetői számára, hogy az 1990-es években történt megkeresés szerint semmilyen hivatalos dokumentum erről nem maradt fenn az Akadémia irattárában, tehát nem volt „ügy” egy internált rendszeres megjelenése az Akadémia könyvtárában.) 1915. végére már nagyjából elkészült egy monográfia kéziratával. Arra számított, hogy a háború hamarosan véget ér és publikálhatja a munkáját. A könyv csak 1920-ban jelent meg francia nyelven. Milankovics anyanyelvi szinten írt németül, a kézírata is német nyelvű volt, de a háború után, a létrejött nagy Szerb Királyságban a közhangulat a Párizsban történő publikációt várta el. Az internálás jellemzőeként még megemlíthetjük, hogy az 1915-ben Budapesten született fiával gyarapodott család jobb megélhetése érdekében munkát vállalt egy a Tátrában építendő, többemeletes kórház tervezésében. 1919. márciusában tért vissza a család Belgrádba.

Milankovics tovább dolgozott az elmélete részletein. A lényege megjelent az 1920-as években az éghajlatban és a geofizika átfogó kézikönyveiben, így világhírré tett szert. A jégkorszakokról szóló eredményeit egy nagy (626 oldal terjedelmű) könyvben foglalta össze 1941-ben (*Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*), amit a Szerb Királyi Akadémia adott ki Belgrádban. Foglalkozott általános tudománytörténettel is. A NASA honlapja a tudomány óriásai között tartja számon (<http://earthobservatory.nasa.gov/Library/Giants/Milankovitch>).

Bacsák György

1870-ben született Pozsonyban, 1970-ben halt meg Fonyódon. Korán megmutatkozó matematikai érdeklődése ellenére ezen képességét csak nyugdíjas korában kamatoztatta igazán, amikor Milankovics eredményeit megismerve elkezdte azok alkalmazását, megmagyarázását és az ellenük felhozott kifogások cáfolatát. Idős korát meghazudtolva óriási munkát végzett nemcsak ezen a tudományterületen, hanem kiválóan ismerte pl. az ásványok bonyolult világát. A művészetek több ágában, valamint a mindennapi élet munkáiban is otthonosan mozgott.

Miért kellett Milankovics eredményeit magyarázni? Egyrészt azért, mert a többszörös és hosszú időre elnyúló publikálás ellenére Milankovics soha nem írta le kellő részletességgel az elmélet csillagászati, égitmechanikai alapjait. Ezeket a számításokat nem is ő, hanem egy Miskovics nevű munkatársa (aki Budapesten járt egyetemre) végezte. Másrészt azért, mert általában elég nehézkesen fogalmazott, ezért lehetőséget adott a félreértésekre. A félreértések és félremagyarázások világos cáfolatát Bacsák György adta



Dr. Bacsák György a polihisztor, a jogász, csillagász, régész, festő, a földtani tudományok doktora 1938-ban

meg, ebben nagy szerepet játszott kiváló kommunikációs készsége.

Miért kellett Milankovics eredményeit kiegészíteni? Azért, mert munkájában csak a fentebbi táblázatunkban felsorolt 9 eljegesedési csúcsra koncentrált, amelyek összes ideje a 600 000 éves időszaknak hatodát sem tette ki, a nagyobb részt kitöltő interglaciálisokra nem fordított figyelmet.

A témába vágó első munkája az IDŐJÁRÁS folyóiratban jelent meg 3 részben (*Bacsák, 1940.*)

Ebben elvégzi a csillagászati alapozást és bemutatja az interglaciális időszakok jellegzetességeit. Az első feladathoz nagyon jól jött kiváló matematikai érzéke. A második feladat megoldásához meg kellett ismételnie Miskovics és Milankovics számításait az elmúlt 600 000 évre vonatkozóan. (Családjának emlékezet szerint a szögfüggvények sorfejtéseihez és a szorzataik előállításához nem használt mechanikus számológépet, hanem nagy ív papírosokon, kézzel írva végezte a számolást!!!) Ezen eredményeit a világban ma is számon tartják!

Bacsák György 1938. és 1955. között élvezte Milankovics elvi támogatását rendszeres levelezés formájában. Belgrádban az Akadémia levéltára Milankovics hagyatékában 29 levelet őriz Bacsák Györgytől. 2002-ben ezek másolatát megszereztük a budapesti Akadémia kéziratára számára. Ugyanebben az évben

Bacsák családja 16 Milankovicstól érkezett levelet adott át a kéziratának, ezek másolatát természetesen eljuttattuk Belgrádba. Így most mindkét helyen megvan a fellelt levelezés teljes anyaga.

TABLE 2. BACSÁK CHRONOLOGY OF CLIMATIC TYPES FOR THE LAST 600.000 YEARS

Beginning year	Solar climate type	Duration	Amplitude in caenotic units
-5,700	Subtropical, ice-free	5,700	+136
-11,300	Antiglacial, ice-free	5,600	+428
-16,300	Antiglacial, ice-covered	5,000	+45
-17,300	Subarctic, ice-covered	1,200	+456
-26,900	Glacial W ₁ , ice-covered	9,400	+46
-39,700	Subarctic, ice-covered	12,800	0
-40,300	Glacial, ice-covered	600	+107
-53,900	Subtropical, ice-covered	13,600	0
-57,200	Antiglacial, ice-covered	3,300	-109
-66,500	Subarctic, ice-covered	9,300	-546
-72,700	Glacial W ₁ , ice-covered	6,200	0
-77,900	Glacial W ₂ , ice-free	5,200	+468
-80,800	Subarctic, ice-free	2,900	+187
-82,800	Antiglacial, ice-free	2,000	-187
-88,200	Antiglacial, ice-covered	5,400	-644
-99,700	Subtropical, ice-covered	11,500	0
-100,400	Antiglacial, ice-covered	700	+529
-110,400	Subarctic, ice-covered	10,200	+190
-117,000	Glacial W ₁ , ice-covered	6,400	-234
-122,000	Glacial W ₁ , ice-free	5,000	-138
-122,600	Subarctic, ice-free	600	0
-133,800	Antiglacial, ice-free	11,200	+248
-140,500	Subtropical, ice-free	6,700	+528
-146,000	Glacial RW, ice-free	5,500	0
-158,300	Subarctic, ice-free	12,300	-643
-159,800	Glacial, ice-free	1,500	-399
-170,200	Subtropical, ice-free	10,400	+170
-179,200	Antiglacial, ice-covered	9,000	+344
-182,000	Subarctic, ice-covered	2,800	+518
-192,800	Glacial R ₁ , ice-covered	10,800	-170
-201,900	Subarctic, ice-covered	9,100	-676
-203,800	Antiglacial, ice-covered	1,900	-60
-215,800	Subtropical, ice-covered	12,000	+230
-221,300	Antiglacial, ice-covered	5,500	+200
-226,500	Subarctic, ice-covered	5,200	0
-232,000	Glacial R ₁ , ice-covered	5,500	+150
-237,500	Glacial R ₁ , ice-free	5,500	+200
-243,200	Subarctic, ice-free	5,700	-387
-249,200	Antiglacial, ice-free	6,000	-139
-261,600	Subtropical, ice-free	12,400	-339
-263,700	Glacial, ice-free	2,100	0
-276,200	Subarctic, ice-free	12,500	+413
-284,500	Glacial MR ₁ , ice-free	8,300	-50
-287,500	Subtropical, ice-free	3,000	-100
-297,900	Antiglacial, ice-free	10,400	-300
-303,800	Subtropical, ice-free	5,900	0
-308,000	Glacial, ice-free	4,200	+214
-318,300	Subarctic, ice-free	10,300	+200
-325,800	Glacial MR ₁ , ice-free	7,500	+235
-328,700	Subtropical, ice-free	2,900	0
-337,500	Antiglacial, ice-free	8,800	-529
-342,500	Subtropical, ice-free	5,000	-207
-346,700	Glacial, ice-free	4,200	+216
-355,300	Subarctic, ice-free	8,600	+481
-362,600	Glacial MR ₁ = M ₁ , ice-covered	7,300	-50
-364,700	Subtropical, ice-covered	2,100	-601
-370,800	Antiglacial, ice-covered	6,100	-339
-374,700	Antiglacial, ice-covered	3,900	+100
-382,600	Subtropical, ice-covered	7,900	+145
-384,700	Glacial, ice-covered	2,100	+150
-394,600	Subarctic, ice-covered	9,900	-200
-404,000	Glacial MR ₁ = M ₁ , ice-covered	9,400	+409
-405,800	Subarctic, ice-covered	1,800	0
-411,300	Antiglacial, ice-covered	5,500	-365
-419,200	Subtropical, ice-covered	7,900	-460
-426,200	Antiglacial, ice-covered	7,000	+498
-428,500	Subarctic, ice-covered	2,300	+715
-438,800	Glacial M ₁ , ice-covered	10,300	0
-447,600	Subarctic, ice-covered	8,800	-479
-449,000	Antiglacial, ice-covered	1,400	0
-460,700	Subtropical, ice-covered	11,700	-365
-466,400	Antiglacial, ice-covered	5,700	-460
-470,300	Subarctic, ice-covered	3,900	+498
-476,700	Glacial M ₁ , ice-covered	6,400	-50
-480,700	Glacial M ₁ , ice-free	4,000	-601
-488,500	Subarctic, ice-free	7,800	-339
-491,800	Antiglacial, ice-free	3,300	+100
-502,900	Subtropical, ice-free	11,100	+145
-507,800	Antiglacial, ice-free	4,900	+150
-517,500	Subarctic, ice-free	9,700	-200
-528,400	Glacial G ₁ , ice-free	10,900	+409
-531,000	Subtropical, ice-free	2,600	0
-538,000	Antiglacial, ice-free	7,000	+409
-543,000	Antiglacial, ice-covered	5,000	0
-546,100	Subtropical, ice-covered	3,100	-479
-548,100	Glacial G ₁ , ice-covered	2,000	0
-553,700	Glacial G ₁ , ice-free	5,600	-365
-564,200	Subarctic, ice-free	10,500	-460
-567,400	Glacial, ice-free	3,200	+498
-574,900	Subtropical, ice-free	7,500	+715
-579,700	Antiglacial, ice-free	4,800	0
-585,000	Antiglacial, ice-covered	5,300	+100
-587,500	Subtropical, ice-covered	2,500	0
-590,100	Glacial G ₁ , ice-covered	2,600	-350
-595,100	Glacial G ₁ , ice-free	5,000	-200
-600,000	Subarctic, ice-free	4,900	-200

A hatszázézer évre visszanyúló Bacsák-féle jégkorszaki kalendárium a Columbia Egyetem (New York) enciklopédiájában 1967.

Bacsák Györgyre nagy tisztelettel emlékeznek a hazai földtudományi kutató közösség. Temetésén a Magyarhoni Földtani Társulat és a Magyar Földrajzi Társaság tisztségviselői búcsúztatták. Tíz évvel később ez a két szervezet emléktáblát helyezett el fonyódi háza falán. Az Akadémia Földtudományi Osztálya 1997-ben emlékülést rendezett tiszteletére, amelyen a tudósok mellett megemlékezett a Fonyódi Városvédő és Szépítő Egyesület titkára is szeretett Gyuri bácsijukról. 2002-ben a Magyar Meteorológiai Társaság Fonyódon tartotta vándorgyűlését, amely tisztelt Bacsák emléke előtt.

Az elmélet lényege

Láttuk, hogy az eljegesedésekhez a földtörténet azon időszakait kell keresni, amelyekben a Föld forgástengelye közelebb állt a merőleges helyzetéhez, mint a jelen időkben. A Föld nap körüli keringésének további pályaelemei egyrészt a keringési ellipszis-pálya excentricitása*, másrészt a forgástengely iránya (ugyanis a Föld forgástengelye úgynevezett precessziós mozgást* végez, hasonlóan a bűgőcsiga tengelyéhez). Akkoriban a 3 pályaelemet csak 600 000 évre visszamenőleg lehetett kielégítő pontossággal kiszámítani. A korábbi számításokat Miskovics pontosította Milankovics kérésére.

A Föld pályájának excentricitása elvben 0 és 0,067 között változhat. A vizsgálati időkben előforduló értékek 0,0051 és 0,0475 közé estek. Az előbbi 157 millió km Nap-Föld távolságnak, az utóbbi pedig 143 millió km-nek felel meg. Az excentricitás szabályos 100 000 éves periodicitást mutat. A Föld forgástengelyének átlagos eltérése a merőlegestől 23,2 fok volt a vizsgálati időkben, ezen érték körül 1,3 fokos amplitúdóval ingadozott szabályos 40 000 éves ciklusban. A forgástengely precessziója 15 200 és 29 600 éves periódusokat mutatott, tehát ennek ciklusai különböző hosszúságúak. Átlagos értéke 21 800 év volt.

A pályaelemek ismeretében kiszámítható, hogy a Föld légkörének külső határára mennyi napsugárzási energia érkezik az egyes földrajzi szélességeken és napokon. (Természetes volt a feltételezés, hogy a napállandó valóban állandó a teljes időkben.) Milankovics előtt a témával foglalkozók nem végezték el a számításokat, mert tudták, hogy a felső határra érkező napsugárzás adataiból nem tudják kiszámítani a felszíni hőmérséklet értékeit (mai szóhasználatnál élve nem létezett megfelelő éghajlati modell). Milankovics érdeme az, hogy ezt az akadályt kikerülte, mondván a felső határra jutó energia térbeli és időbeli eloszlásában történő változások meg kell mutatkozzanak a felszíni hőmérséklet eloszlásában, tehát mindenképpen érdemes „a szoláris klímát” kiszámolni a különböző pályaelem együttesekre.

A számítások eredménye az, hogy az egész Földre, egy teljes év alatt érkező napenergia mennyisége nem változik a pályaelemek változásával, ami változik, az a

földrajzi szélesség szerinti eloszlás (különösen erősen a sarkvidékek körzetében), valamint a téli és nyári félév közötti különbség. A változások alapján Milankovics klímagörbét szerkesztett és kereste a kapcsolatot az általa definiált paraméter és a fenti táblázatban leírt eljegesedési időpontok és tartamok között. Azt találta, hogy amikor az 1800. évre érvényes eloszlásból kiindulva ez a görbe olyan csökkenést mutat, amely a 67. vagy magasabb szélességre jutó sugárzásnak felel meg, akkor történtek az eljegesedések. A meteorológusok azonnal úgy vélekedtek, hogy ilyen kismértékű változás a bejövő energiában nem okozhat ekkora változást a felszíni hőmérsékletben. *Bacsák (1940)* cáfolatának egy mondatát idézzük: „Az elméleti számítások tehát olyan jól vágnak a természetmegfigyelés eredményeivel, hogy Milankovitch elméletében kételkedni nem lehet”.

Az elmélet utóélete

Az 1950-es és 60-as éveket az előzőekben vázolt helyzet jellemezte: néhányan elfogadták az elméletet az utóbbi 600 000 év jégkorszakainak magyarázatául, a többség azonban a „dinamikailag elfogadhatatlan” álláspontjára helyezkedett. Nem változtatott a helyzeten az, hogy a bolygók tömegére és pályájára egyre pontosabb adatok álltak rendelkezésre, így a pályaelemeket már néhány millió évre lehetett elegendő pontosan számítani. Ami változást hozott, az a tengeri üledékekből és a grönlandi valamint antarktiszi jégfúrásokból származó hőmérsékleti rekonstrukciók megjelenése volt (pl. *Petit 1999, Ravelo 2004, EPICA 2004*). Ezek a rekonstrukciók részben felülírták a táblázatunkban feltüntetett eljegesedési jellemzőket, másrészt óriási mértékben megnövelték a megfigyelési adatmennyiséget, lényegében folyamatos hőmérsékleti idősorok jelentek meg. Ezen idősorokban a 100 000 éves és a 40 000 éves Milankovics ciklusok határozottan megmutatkoztak, ezért az elmélet feléledt és a számítástechnikai lehetőségek számos Milankovics nyomán konstruált paraméter idősorának (klímagörbének) és a hőmérsékleti idősornak az összevetését tették lehetővé. Az eredmény a következőkben foglalható össze:

- 2,5 millió évvel ezelőtől 750 000 évvel ezelőttig folytatódott a felszín korábban megkezdődött lassú lehülése, és erre a lehülésre végig ráakódott egy szabályos 41 ezer éves hullám (41 ezer éves világ),
- 750 ezer évvel ezelőtt a lehülés eredményeként megkezdődött az Antarktiszi jégtakarójának a kialakulása, a lehülés nem folytatódott és bizonytalan periódusú hullámok jelentek meg 400 000 évvel ezelőttig,

- az utolsó 400 000 évben szabályos 100 000 éves ciklusok jelentek meg (100 000 éves világ),
- a legutóbbi 10 000 évben a 100 000 éves ciklusok megszakadni látszanak, a korábbi időszakhoz képest példátlanul stabil hőmérséklet alakult ki,
- a hőmérsékleti idősorokban a Milankovics-ciklusok nem játszanak meghatározó szerepet, de a szerepük jelentős, ezért vizsgálatuk teljesen indokolt.

Záró megjegyzések

1. A tudomány jelenlegi állása szerint Bacsák György fentebb idézett mondata részben igaz: a megfigyelések nem teljesen, hanem csak jelentős részben igazolják Milankovics számításait. A hatásmechanizmust ma sem ismerjük.
2. Ha a Föld jövőbeni éghajlatát akarjuk kiszámítani, akkor, ha nem is teljesen, de, döntő mértékben dinamikailag értenünk kell a múlt éghajlatát. Múlton itt nem a teljes földtörténetre gondolunk, hanem mondjuk az utóbbi néhány százezer évre, így nem kell számolnunk pl. a kontinensvándorlásokkal.
3. Ezen közelebbi múlt éghajlatának változásaiban számos ok játszott akár külön-külön, akár egyidejűleg meghatározó szerepet: a Milankovics-ciklusok, a Nap aktivitásának ciklusai, a hegységképződés, az óceáni cirkuláció változásai, a bioszféra hatásai, a légkör összetételének különböző eredetű változásai, az emberi tevékenység hatásának megnövekedése és még ki tudja milyen más hatások. Ha ezeket valaki dinamikai rendszerbe foglalja, megérdemli a fizikai Nobel-díjat!

Irodalom

- Bacsák, Gy. 1940.: *Az interglaciális korszakok értelmezése I, II, III*. Időjárás.
- EPICA community members 2004.: *Eight glacial cycles from an Antarctic ice core*. Nature, vol. 429, pp. 623-628.
- Petit, J.R. et al. 1999.: *Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica*. Nature, vol. 399, pp. 429-435.
- Ravelo, A.C., Andreassen, D.H., Lyle, M., Lyle, A. O., Wara, M.W. 2004.: *Regional climate shifts caused by gradual global cooling in the holocene epoch*. Nature, vol. 429, pp.263-267.

Major György

Hazánk éghajlatának néhány jellemzője az 1956–2005 időszakban, kitekintéssel a globális tendenciákra

Fél évszázad nemcsak egy folyóirat életében hosszú idő, tele szakma- és nemzet-történeti érdekességekkel, hanem maga a légkör (ezúttal kis betűvel) is mutatott egyértelmű tendenciákat és emlékezetes szélsőségeket. Ezekből nyújtunk áttekintést az alábbi hasábkon.

A feldolgozás szerkezetében és tartalmában követi a „Magyarország éghajlatának néhány jellemzője 1901-től napjainkig” címen, az OMSZ gondozásában 2005 végén megjelentetett kiadványt, de értelem-szerűen csak az elmúlt 50 év éghajlatát elemzi. (Az említett kiadvány teljes egészében, színesben megtekinthető az OMSZ honlapján: www.met.hu ÉGHAJLAT/ Magyarország éghajlata/ Néhány éghajlati jellemző 1901-től).

A hazai tendenciákon, átlagos és szélsőértékeken kívül röviden bemutatjuk az ebben az időszakban globális átlagban megfigyelt változásokat is.

A felhasznált adatok és módszerek

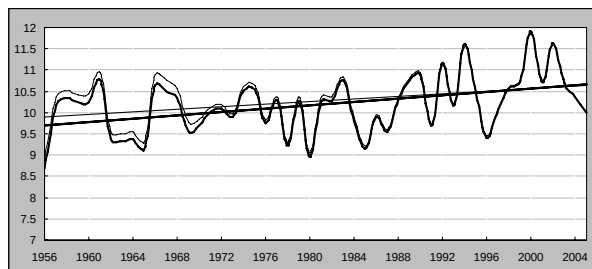
A klimatológiai leírásban a két alapvető meteorológiai elem, a hőmérséklet és a csapadék jellemzőit vizsgáltuk. A hőmérsékleti idősorok 15, a csapadék hosszú adatsorok 37 állomás homogenizált adataiból készültek (1956–2005). A hőmérsékleti térképek 57, a csapadék térképek 137 állomás homogenizált adatain alapulnak (csapadék sorok: 1951–2004; hőmérsékleti sorok: 1971–2004). A homogenizálás a változó mérési körülmények (például állomások helyének, mérési időnek, mérési módszernek stb. megváltozása) hatásának kiszűrését jelenti. A felderített inhomogenitások mértéke a nullától („homogén” adatsor) akár a tényleges változásokat felismerhetetlenné tevő hatásokig terjedhet (1. ábra).

Az anomália értékeket minden esetben a WMO által jelenleg is ajánlott „éghajlati norma” („éghajlati törzsérték”), az 1961–90-es időszak átlagaihoz viszonyítottuk. A területi átlagok a felhasznált állomások számától és helyzetétől kissé függhetnek, ez azonban a tendenciák jellegét a tapasztalat szerint nem befolyásolja.

A vizsgálatokhoz az Országos Meteorológiai Szolgálat által mért adatokat használtuk fel. A homogenizálást és a térképezéshez szükséges interpolációt a Szolgálatnál kifejlesztett MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization) (Szentimrey, 1999), illetve MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis) (Szentimrey, Bihari, 2006) statisztikai eljárásokkal végeztük el.

Az országos átlaghőmérséklet alakulása az elmúlt 50 évben

Az éves középhőmérsékletek sorozata tendenciájában jól követi a globális hőmérséklet alakulásának ismert hullámát. Magyarország átlagos évi középhőmérséklete az 1961–90-es normál időszakban $9,96^{\circ}\text{C}$. Az éves középhőmérsékletek idősorának lineáris közelítése szerint az 1956–2005 homogenizált adatsor $0,96^{\circ}\text{C}$ -os, míg az eredeti adatsor kisebb, $0,73^{\circ}\text{C}$ -os emelkedést mutat 50 évre (1. ábra). A homogén idősor becsült trendmeredeksége 90%-os megbízhatósági szinten a (0,46; 1,45) konfidencia intervallumba esik, tehát még a 90%-os megbízhatósági szintet figyelembe véve is legalább $0,46^{\circ}\text{C}$.



1. ábra Magyarország évi középhőmérsékletének alakulása az 1956–2005 közötti időszakban. Szürke: eredeti adatsor, fekete: homogenizált adatok

Évszakai bontást tekintve a tavaszok sokéves átlaghőmérséklete 1961–1990 között $10,33^{\circ}\text{C}$. Az utóbbi évek jelentős pozitív eltérései miatt a tavasz melege mintegy $1,3^{\circ}\text{C}$ az 50 év alatt.

A melegedési tendenciát legjobban a nyarak hőmérséklete tükrözi. A vizsgált időszakban, 1956-tól napjainkig, a melegedés körülbelül $1,4^{\circ}\text{C}$ erre az évszakra. Az 1961–1990-es időszakban a nyarak átlagos hőmérséklete $19,61^{\circ}\text{C}$. Az elmúlt 15 évben sok, jelentősen átlag feletti hőmérsékletű nyár volt.

Az őszi hőmérsékletének növekedése lassabb a többi évszakéhoz képest, $0,1^{\circ}\text{C}$ -ot ér el az 50 év alatt. Ennek fő oka a XX. század közepén fellépő meleg őszi. Az 1961–1990-es időszak ezen időszakainak átlaghőmérséklete $10,28^{\circ}\text{C}$.

Az 1961–90-es időszakban a telek átlagos hőmérséklete országos átlagban $-0,38^{\circ}\text{C}$. Bár az elmúlt évtizedre nem jellemzőek az enyhe telek, a téli időszakban is mintegy 1°C -ot emelkedett az évszakai átlag az elmúlt fél évszázadban.

Az 1. táblázatban feltüntetjük az 50 éves időszak szélsőséges periódusait.

1. a táblázat

év	2000 (1,90)	2002 (1,63)	1994 (1,61)
tavaszi	2000 (2,21)	2002 (1,96)	1983 (1,75)
nyári	2003 (3,30)	1992 (2,61)	1994 (2,12)
ősz	2000 (2,14)	1963 (1,66)	1961 (1,62)
téli	1974 (3,14)	1988 (2,63)	1994 (2,11)

Az 1956–2005 közötti legmelegebb időszakok.

Az évszám utáni zárójelben az 1961–90-es normálértéktől való eltérés szerepel °C-ban

1. b táblázat

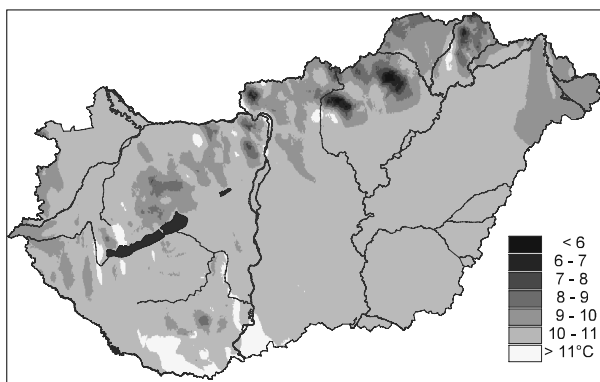
év	1956 (-1,31)	1980 (-1,03)	1965 (-0,85)
tavaszi	1987 (-2,27)	1980 (-1,92)	1956 (-1,56)
nyári	1978 (-1,36)	1984 (-1,07)	1965 (-0,95)
oszi	1988 (-1,91)	1972 (-1,54)	1978 (-1,42)
téli	1963 (-5,25)	1964 (-2,66)	1956 (-2,46)

Az 1956–2005 közötti leghidegebb időszakok.

Az évszám utáni zárójelben az 1961–90-es normálértéktől való eltérés szerepel °C-ban

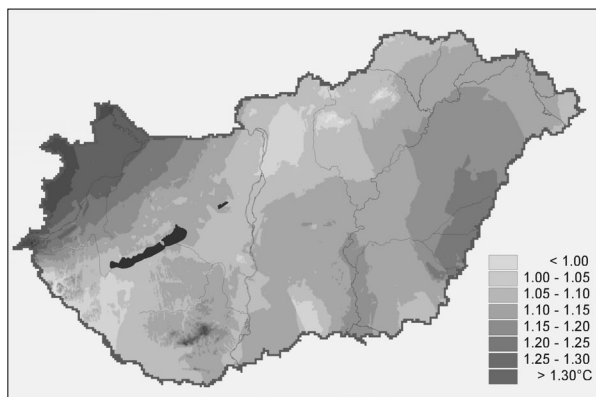
Az elmúlt három évtized melegedésének területi eloszlása

Magyarország jelenlegi átlaghőmérsékletét az elmúlt évtized értékeivel jellemezzük. Az ország területén a hőmérséklet eloszlása elsősorban a zonalitás jezeit hordozza, amit a domborzati hatások módosítanak. Az 1995–2004 időszak középhőmérsékleti térképén (2. ábra) jól látszik, hogy az ország legnagyobb része a 10–10,5°C-os tartományba esik, de a déli területeken, illetve a délies, délnyugati lejtőkön a 11°C-ot meghaladó átlag is előfordulhat.



2. ábra Magyarország aktuális éves átlaghőmérsékletének területi eloszlása, 1995–2004

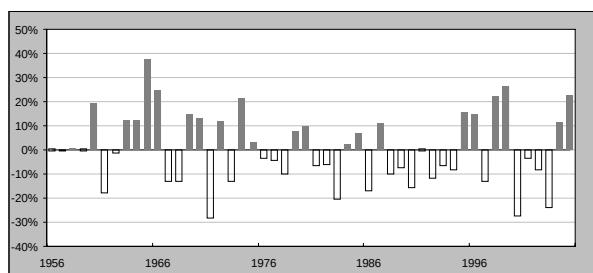
Az elmúlt 30 évben az ország egész területén emelkedett az éves középhőmérséklet, értéke – a Mátra és a Bükk csúcsaitól eltekintve – mindenhol meghaladta az 1,0°C-ot. A 3. ábrán látható, hogy a melegedés mértéke az északnyugati határ mentén volt a legjelentősebb, itt több, mint 1,3°C volt a 30 évre vonatkoztatott érték. Ugyancsak jelentős emelkedés figyelhető meg a Mecsek déli lejtőin és az ország keleti részein.



3. ábra Az éves átlaghőmérséklet változása Magyarországon 1975–2004. A becslés a lineáris trendvizsgálati modell alapján történt, a megadott értékek a 30 éves időszakra vonatkoznak.

Az országos csapadéktendenciák változásai az utóbbi 50 évben

Az országos éves csapadékmennyiség 1961–1990-es átlaga 612 mm, az ettől való eltéréseket mutatja a 4. ábra. A múlt század második felére nem jellemzőek a csapadékos évek, a csapadék csökkenése az 1956–2005-ös időszak alatt exponenciális trenddel közelítve több mint 6%.



4. ábra Az éves csapadékösszegek országos átlagának anomáliái 1956–2005

A tavaszi csapadék 1961–1990-es átlaga 145 mm, csökkenése a múlt század közepén fellépő csapadékos tavaszoknak köszönhetően 5%. Több száraz tavasz alakult ki az elemzett 50 éves időszak végén.

A nyarak csapadékmennyiségének 1961–1990-es átlaga 208 mm. A száraz nyári hónapok viszonylag egyenletes eloszlásúak, ami azt mutatja, hogy hazánkban az aszály (a nyári meleg és a szárazság) az éghajlat rendszeresen megjelenő tulajdonsága. A nyári csapadékösszeg mintegy 11%-os csökkenést mutat 1956–2005 között.

Az 1961–1990-es őszi átlag 143 mm. Az őszi csapadékösszegek idősorát 7%-os emelkedés jellemzi 1956–2005 között.

A tél a legszárazabb évszakunk, az 1961–1990-es átlag 115 mm, ugyanakkor a téli csapadék rendkívül fontos a növények számára, így a negatív eltérések

nagy károkat okozhatnak. A legnagyobb csapadécsökkenés az évszakok közül télen volt az elmúlt 50 évben, összességében mintegy 12%. A csökkenő tendencia a legszélsőségesebb telek előfordulásában nem mutatkozik.

A 2. táblázatban feltüntetjük az 50 éves időszak szélsőséges periódusait.

2.a táblázat

év	1965 (38)	1999 (27)	1966 (25)
tavaszi	1987 (60)	1965 (54)	1972 (28)
nyári	2005 (62)	1999 (54)	1975 (47)
őszi	1998 (87)	1974 (67)	1960 (64)
téli	1969 (88)	1995 (54)	1979 (52)

Az 1956-2005 közötti legcsapadékosabb időszakok. Az évszám utáni zárójelben az 1961–90-es normálértéktől való relatív eltérés szerepel %-ban.

2. b táblázat

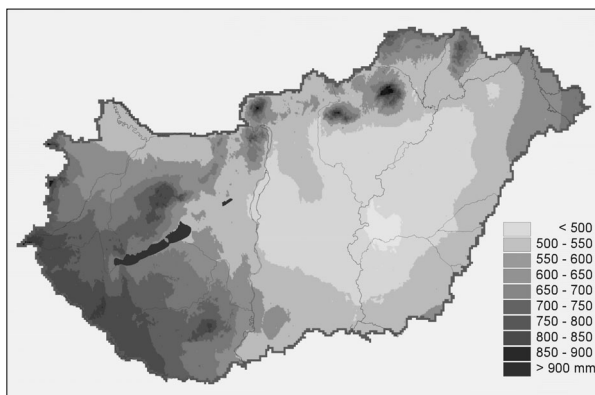
év	1971 (-28)	2000 (-28)	2003 (-24)
tavaszi	2003 (-52)	1968 (-42)	1993 (-42)
nyári	2000 (-46)	1967 (-40)	1983 (-37)
őszi	1986 (-61)	1959 (-54)	1978 (-47)
téli	1989 (-61)	1975 (-60)	1991 (-45)

Az 1956-2005 közötti legszárazabb időszakok. Az évszám utáni zárójelben az 1961–90-es normálértéktől való relatív eltérés szerepel %-ban.

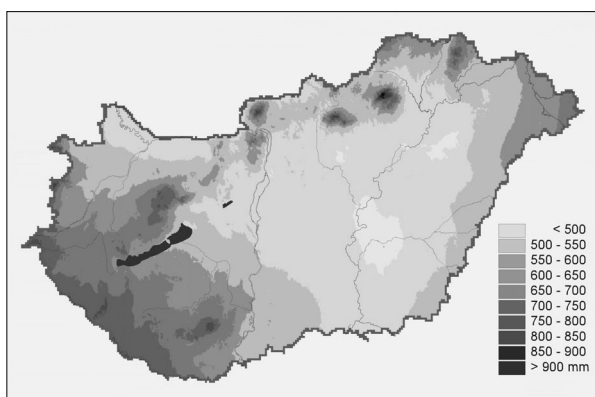
Az éves csapadékösszegek sokéves átlagának térbeli változékonysága

A csapadék nagy tér- és időbeli változékonysága miatt a tízéves átlagok jellemzően az ingadozásokat fejezik ki, kevésbé a trend jelleget, ezért a csapadékok esetében nem az utóbbi tíz év, hanem a harmincéves átlagok térképeit mutatjuk be (5.a és 5.b ábra). Napjainkra a nagy éves csapadéku területek (legalább 700 mm/év) részaránya csökkent, sőt, az utóbbi harminc év átlagában 750 mm/év feletti csapadéku területet alig találunk hazánk térképén. A két térképet összehasonlítva látható ezzel szemben, hogy az alacsony csapadéku (500 mm/év alatti) területek növekedtek, amiben nagyban közrejátszottak az 1983 és 1994 közötti aszályos évek. A csapadék eloszlására egyre inkább a DNY-ÉK-i (a Földközi-tengertől távolodva csökkenő) irányultság és a domborzat, elsősorban a tengerszint feletti magasság (magassággal növekvő) módosító hatása jellemző. Az országban a legalacsonyabb értékek a Tiszaúgy környékén alakulnak ki, ezért itt a csapadékmennyiség csökkenő tendenciája még súlyosabb következményekkel jár.

A XX. század második felétől bekövetkezett változást a 6. ábrán láthatjuk. Az Atlanti-óceán felől érkező nedvesség csökkenő mennyiségét jól mutatja a Kisalföld és az Alpokalja szárazodása, bár bizonyos mértékig lokális tényezők is szerepet játszhatnak ebben.

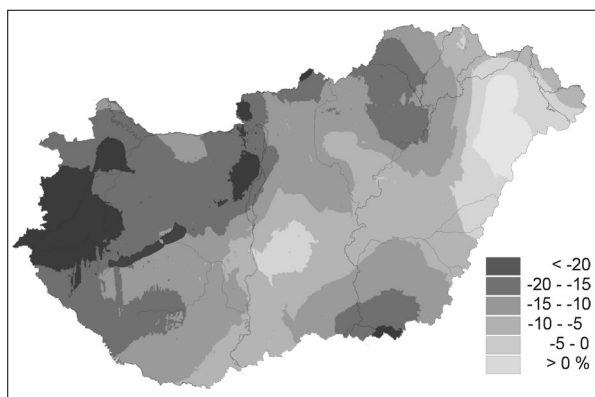


5.a ábra Az éves csapadékösszegek átlaga 1955–1984



5.b ábra Az éves csapadékösszegek átlaga 1975–2004

Kisebbs mértékű a szárazodás az ötvenéves időszakban a Nagyalföldön, sőt, az ország ÉK-i területein néhol még növekszik is az éves csapadékösszeg.



6. ábra Az éves csapadékösszeg százalékos változása Magyarországon 1951–2004. A becslés során az 54 évre legjobban illeszkedő exponenciális trendet határoztuk meg, s a megadott értékek is erre az időszakra vonatkoznak.

Szélsőséges hőmérsékleti viszonyok, napi hőségindexek jellemzői

A hideg telek elsősorban a XX. század első felében voltak jellemzőek, az utóbbi 50 évben hosszabb hideg periódus ritkábban fordult elő. Az 1970 utáni

időszak leghidegebb hónapja 1985 januárja volt. Ekkor a viszonylag enyhébb Dunántúlon a havi átlaghőmérséklet -6°C -ig süllyedt, de igazán hideg a hegyekben és a Tiszántúlon volt, -9°C körüli havi átlaghőmérséklettel.

1901-től napjainkig a legmelegebb hónapunk 1992 augusztusa volt, amikor hazánk délkeleti területein a havi középhőmérséklet elérte a 26°C -ot. E területeken a maximumhőmérséklet szinte minden nap meghaladta 35°C -ot.

Magyarország éghajlatának velejárói a nyaranta gyakran előforduló hőhullámok, melyeknek jelentős egészségkárosító hatása lehet. Ha éjszaka nem csökken a hőmérséklet 20°C alá, akkor az már a nyugodt éjszakai pihenést zavarja. Mindkét bemutatott hőmérsékleti karakterisztikában (7. ábra) növekedést tapasztalunk 1956 óta Budapest napi maximum és napi minimumhőmérsékleti sora alapján. A nyári napok száma mintegy húsz nappal, a meleg éjszakák száma (Klein Tank, 2003) pedig mintegy tíz nappal emelkedett országos átlagban az elmúlt 50 évben.



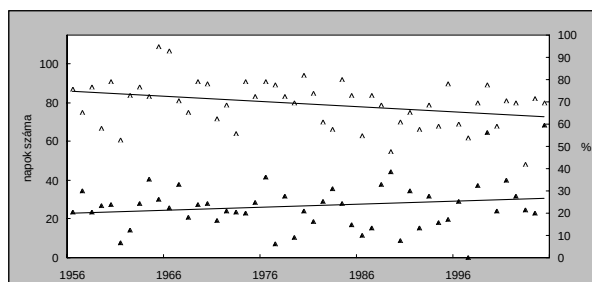
7. ábra A nyári napok (amikor a maximumhőmérséklet eléri a 25°C -ot) és a meleg éjszakák (amikor a minimumhőmérséklet legalább 20°C) tendenciája Budapesten, 1956–2005. A körök a nyári napokat, a teli karikák pedig a meleg éjszakák számát mutatják évente.

Szélsőséges csapadékvizonyok, napi csapadékindexek érdekességei

1901 óta a legnagyobb csapadéku hónap 2005 augusztusa volt, ekkor a csapadékösszeg mindenhol meghaladta a sokéves átlagot, de az ország jelentős részén a 200 mm-t is, ami már ritkábban előforduló jelenség, különösen nagyobb területen. Bár hazánkban a becsült 24 órás napi csapadékösszeg abszolút maximuma 260 mm (Dad, 1953. június 9.), továbbá esetenként a napi maximumok is meghaladják a 100 mm-t, a statisztikák alapján már a 200 mm feletti havi csapadékösszeg is nagyon magasnak minősül.

Az elemzett 50 év során a csapadékos napok száma csökken, Budapesten például mintegy 13 nappal lett kevesebb. Ugyanakkor az intenzív csapadék szerepe megnövekedett az éves csapadékösszegben (8. ábra). Budapesten 2005-ben például az összes

lehullott csapadék mintegy 60%-át a csapadékok legintenzívebb 5%-a adja. Ettől alig marad el az 1999-es év, amikor az öt százaléknyi legintenzívebb csapadék az éves mennyiség mintegy 56%-át teszi ki. A múlt század első felében jellemzően ezek az értékek 20 % körül alakultak.



8. ábra A csapadékos napok (amikor a lehullott csapadék legalább 1 mm) számának alakulása (üres háromszögek, bal oldali tengely) és a 95%-os percentilist meghaladó csapadékok hányada az éves összegben (teli háromszögek, jobb oldali tengely) Budapesten 1956–2005

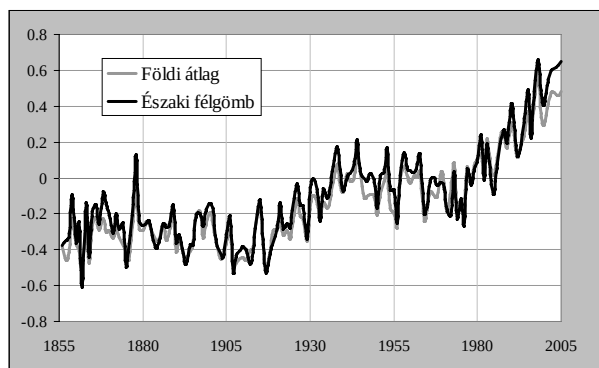
Globális tendenciák

A fentiekben megmutattuk, hogy hazánk éghajlata nem volt szigorúan állandó az elmúlt ötven évben. A változások és ingadozások természetesen nem egyszerűen a múlt idővel, hanem az éghajlatot formáló helyi és nagytérű fizikai tényezők alakulásával függnek össze. Lineáris trendet a helyi idősorokban akkor remélhetünk, ha ezek a kormányzó folyamatok maguk is monoton módon, egy irányban alakulnak.

Régóta tudjuk azonban, hogy az éghajlat egyike a legbonyolultabb rendszereknek, amelyben bármilyen szóbeli magyarázat csak kiragadni tud valamit (jobb esetben a lényegét) a légkörben, sőt az óceánban és más földi szférákban lejátszódó fontos folyamatokból. A szükséges tudás teljességét egyszer majd egy olyan számítógépben fogjuk tárolni és alkalmazni, amelynek megvalósulásáig talán egy másik fél évszázadot is várunk kell (Czelnai, 2004).

Amíg e téren pályatársaink a klímadinamika eszköztárával szerte a világban, és néhány éve immár hazánkban is, nagy erővel kutatnak (Lábó et al., 2004; Bartholy és Schlanger, 2004), e hasábkon be kell érniünk azzal, hogy a hazai trendek mellé felmutatjuk, miként alakult a Föld és ezen belül az északi félgömb átlaghőmérséklete (9. ábra).

Természetesen ebből az összevetésből csak az olvasható le, hogy miközben a háromszor fél évszázad során (ameddig visszatekintve a kutatók bátorkodnak ilyen sorokat közreadni) a hőmérséklet kisebb-nagyobb ingadozások mellett, emelkedő tendenciát mutat. Ezen belül azonban pont a bennünket érdeklő időszak első két évtizedében megtorpant a melegedés, sőt kisebb visszaesés mutatkozott. 1956



9. ábra A Föld és az északi félgömb felszín közeli lég hőmérséklete az 1961-1990-es időszak átlagához viszonyítva. Adatforrás:

<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> (Climate Research Unit, University of East Anglia, Norwich)

és 2005 között egyértelmű globális, illetve félgömbi melegedésről csak az utolsó harminc évben beszélhetünk.

Ennek fényében talán érdemes még egyszer sziszteketintünk a fenti hazai tendenciákra.

Irodalom

Bartholy J. és Schlanger V., 2004: Az éghajlat regionális modellezése, *Klíma változás – hazai hatások. Természet Világa, 2004. évi II. Különszám, 40-44*

Czelnai R., 2004: Mai kutatásaink – kemény döntési helyzetek, *Klíma változás – hazai hatások. Természet Világa, 2004. évi II. Különszám, 5-8*

Klein Tank, A.M.G, Konnen G.P., 2003: Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *J. Climate., 16, 3665-3680.*

Lábó E., Radnóti G., Horányi A. és Szépszó G., 2004: Regionális modellek éghajlati vizsgálatok, *Klíma változás – hazai hatások. Természet Világa, 2004. évi II. Különszám, 45-47*

Szalai S., Konkolyiné Bihari Z., Lakatos M., Szentimrey T., 2005: Magyarország éghajlatának néhány jellemzője 1901-től napjainkig, Országos Meteorológiai Szolgálat.

Szentimrey, T., 1999: „Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH)”, *Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary; WMO, WCDMP-No. 41, pp. 27-46.*

Szentimrey, T., Bihari, Z., 2006: „Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis)”, *Proceedings of the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology, Budapest, Hungary, 24-29 October 2004 (in print)*

Bihari Zita

Lakatos Mónika

Mika János

Szalai Sándor

Szentimrey Tamás

Országos Meteorológiai Szolgálat

KISLEXIKON

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

kvázi-geosztrofikus modell

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti éve
Olyan légkörmodell, amelyben a tulajdonságok (pl. impulzus, örvényesség, hőenergia) szállítását a geosztrofikus szél, azaz a horizontális nyomáskülönbségből származó erő és a Föld forgása miatt fellépő eltérítő erő egyensúlyával jellemezhető áramlás végzi.

szabadsági fok

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti éve
Azoknak a független változóknak (függvényeknek) a száma, amelyekkel egy dinamikai rendszer pillanatnyi állapota pontosan leírható.

hasznosítható potenciális energia

Götz Gusztáv: A klímadinamika megszületése és kezdeti éve
A teljes potenciális energia, azaz a helyzeti és a belső energia összegének az a része, amely egy adiabatikus (a

környezettel folytatott hőforgalom szempontjából zárt) rendszerben mozgási energiává alakítható.

pálya excentricitás

Major György: A Milankovics-Bacsák-elmélet és az éghajlatváltozások

Az égitestek ellipszis alakú pályájának a körpályához viszonyított lapultsága, azaz az ellipszis középpontjának és fókuszpontjának távolsága.

precessziós mozgás

Major György: A Milankovics-Bacsák-elmélet ...

A pörgettyűként viselkedő bolygók forgástengelyének állandó változása egy olyan kúppalást mentén, amelynek csúcspontja a bolygó tömegközéppontja, tengelye pedig merőleges a bolygó egyenlítőjére. Két hatás hozza létre együttesen: a környező égitestek garvitációs vonzása és a forgástengely megtartásának fizikai törvényszerűsége.

Folytatás a 31. oldalon

AZ ÓZONTERHELÉS BECSLÉSE MODELLSZÁMÍTÁSOK ALAPJÁN

A troposzférikus ózon (O_3) káros hatása évtizedek óta ismert. E háromatomos oxigénmolekula létrejöttében szerepet játszó prekursor vegyületek* növekvő emissziója miatt a felszín közeli ózonkoncentráció Európa nagy részén növekszik (*Hjellbrekke and Solberg, 2002*). Az időjárási helyzet függvényében az ózonkoncentráció menetében rövid, kiugró értékű epizódok, vagy hosszabb ideig fennmaradó magas értékek alakulnak ki Magyarország területén is. Ez mind a mezőgazdasági, mind a természetes növényzetre veszélyes lehet. Az extrém magas értékek látható károsodást okoznak az állományban, míg a magas ózonkoncentráció hosszabb idejű megléte a vegetációs időszak elhúzódtásához, anyagcserezavarhoz, levélhaláshoz, korai levélhulláshoz, a termés hozam csökkenéséhez vezethet (*Krupa and Manning, 1988*). E hatás jellemzéséként elterjedten használják azokat az indexeket, melyek az ózonkoncentráció egy adott küszöbérték fölötti összegét adják meg (*Fuhrer et al., 1997*). Az utóbbi években azonban számos tanulmány rámutatott, hogy az ózon tényleges károsító hatása a koncentráció helyett sokkal pontosabban leírható a légkörből a felszínre irányuló fluxussal (*Fuhrer et al., 1997*). Az ózonfluxusnak az a része károsítja a növényzetet, ami a levelek gázcsere nyílásain (sztómákon) keresztül jut el a sejtekig. Miután az ózon keletkezéséhez napfény szükséges, a legmagasabb ózonkoncentrációk egybeesnek a legtöbb fénykedvelő növény vegetációs időszakával. A növényi testbe a gázcsere nyílásokon jut be a háromatomos oxigén, és mivel vízben nem oldódik, más anyagokkal lép kapcsolatba, így számos probléma okozója. Erős reagens hatása révén kilyukasztja a sejtfalakat, a fehérjékkel és a lipidekkel történő reakciók folytán. A fotoszintézis lelassul, ezáltal a növény nem növekszik olyan gyors ütemben. A virág- és termés hozam csökken. Az ózon által legyengített növények kevésbé tudnak védekezni a kártevők, vagy az aszály ellen.

Kutatásunk célja az ózon teljes és sztómákon keresztüli fluxusának meghatározása, ezáltal a tényleges ózonterhelés becslése különböző növényállományok felett Magyarországra, valamint az ülepedést befolyásoló meteorológiai elemek hatásainak elemzése. Összehasonlítjuk a korábban használt AOT40 és a tényleges ózonterhelést pontosabban becslő sztómafluxus térképeket.

Az 1990-től 2004-ig K-pusztán mért ózonkoncentráció adatsor feldolgozásának eredményei azt mutatják, hogy a nemzetközi megszorító intézke-

dések ellenére nem történt jelentős változás az ózonkoncentráció trendjében. A mérőhelyen még mindig változatlanul magas értékeket regisztrálnak, és a határérték túllépések is gyakoriak. Az ózon koncentrációja a nyári hónapokban éri el a maximumát (60 ppb) a kora délutáni órákban, télen pedig a minimumát (15 ppb) a kora reggeli órákban. Az átmeneti évszakok (tavasz, ősz) ózonkoncentrációja átlagosan 40 ppb. Vizsgálatok azt bizonyítják, hogy magas ózonkoncentráció, illetve határérték túllépések elsősorban anticiklonális időjárási helyzetekben fordulnak elő (*Debreczeni, 2006*). A troposzférikus ózonnál szerzett ismereteink rávilágítanak arra, hogy környezeti és egészségügyi szempontból is fontos légszennyezőről van szó, melynek mennyiségét, időbeli változását nem szabad figyelmen kívül hagyni. Ezért is válik hasznossá az ózonterhelés becslése.

Kutatásunk során a felszín közeli ózon ülepedését, valamint a különböző felszíntípusokat ért ózonterhelés tér- és időbeli változását határoztuk meg. Az Eötvös Loránd Tudományegyetemen fejlesztett csatolt terjedési-ülepedési modellt, mellyel a számításokat végeztük, tetszőleges helyen és időpontban képes becsülni az ózon koncentrációját és a tényleges ózonterhelést (*Lagzi et al., 2004*). A meteorológiai állapothatározókat az ALADIN numerikus előrejelző modell szolgáltatta (*Horányi et al., 1996*). A száraz ülepedés során a nyomgázt a felszín közelében kialakuló turbulens áramlás szállítja a légkörből a különböző felszínre. Az egyes felszínek ózonfelfogó képessége azonban eltérő. Az ülepedést a meteorológiai elemek, a vizsgált nyomanyag mennyisége, fizikai és kémiai tulajdonságai, valamint a felszín is befolyásolja. Az ózonfluxust ($\mu g\ m^{-2}\ s^{-1}$) az ülepedési sebesség ($m\ s^{-1}$) és az ózonkoncentráció ($mg\ m^{-3}$) szorzataként számítja a modell:

$$F = v_d \cdot c, \quad (1)$$

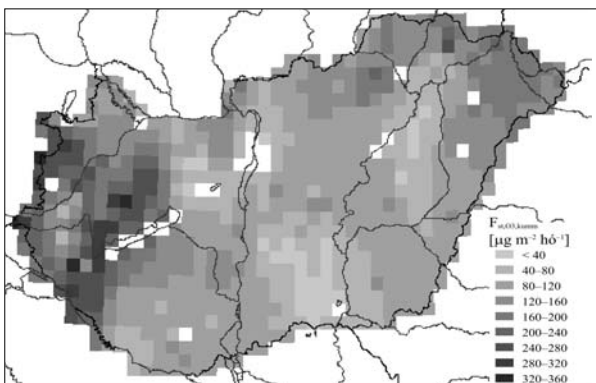
ahol F az ózonfluxus, v_d az ülepedési sebesség, c az ózonkoncentráció. Az ülepedési sebességet az ülepedést akadályozó ellenállások eredőjének reciproka adja meg. Ezek az ellenállások az aerodinamikai ellenállás (R_a), a kvázi-lamináris határreteg* ellenállása (R_b), valamint a felszíni ellenállás (R_c). Az aerodinamikai ellenállás a turbulencia és a molekuláris diffúzió által végzett szállítást gátolja az állomány feletti légtérben. A kvázi-lamináris határreteg ellenállás a momentum és a szennyezőanyag transzportjának* különbségét fejezi ki, a felszín feletti vékony réteg ellenállása. Számításukat *Mészáros (2002)* alapján végeztük.

A felszíni ellenállás a következő formában írható le:

$$R_c = \frac{1}{(R_{st} + R_{mes})^{-1} + (R_s)^{-1} + (R_{cut})^{-1}}, \quad (2)$$

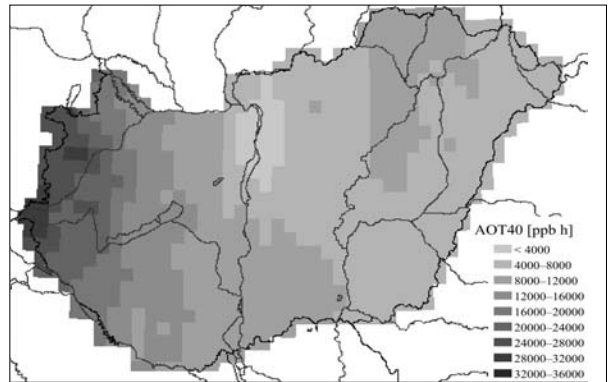
ahol R_{st} a sztóma ellenállás ($s\ m^{-1}$), R_{mes} a mezofill réteg* ellenállása ($s\ m^{-1}$), R_{cut} a kutikula ellenállása ($s\ m^{-1}$), R_s a talaj ellenállása ($s\ m^{-1}$). Ózonra $R_{mes} = 0$, R_{cut} és R_s fajtafüggő állandók, értékeiket szakirodalmi hivatkozásokból vettük (Wesely, 1989; Brook et al., 1999; Zhang et al., 2002).

A 1. ábrán a kumulatív sztómafluxus térbeli eloszlása látható a vizsgált hónapra. A 2. ábrán az ózonterhelés becslésére használt küszöbérték, az AOT40, ugyanezen időszakra vonatkozó értékeit tüntettük föl. Ez a mérőszám az órás 40 ppb koncentráció fölötti értékeket összegzi egy megadott időszakra. Minkét ábrán a vizsgált hónap azon órás értékeit vettük figyelembe, amikor a globálsugárzás meghaladta az $50\ W\ m^{-2}$ -t, mert ez az időszak, amikor a növényzet anyagcsere folyamata a legaktívabb. A 1. és 2. ábra közti különbség rávilágít arra, hogy a korábban elterjedten használt AOT40 és a sztómafluxus – vagyis a ténylegesen a növénybe jutó károsító ózon mennyisége – eltérhet. A tényleges terhelést az az ózonmennyiség feje ki a növényre, amely a légcserenyílásokon keresztül bejutva károsítja a sejteket. A kétféle mérőszám eltérésére az ország északkeleti részén, a Hajdúság és Nyírség területén látjuk a legszembetűnőbb példát. Itt az AOT40 térkép alapján nem következettünk nagy terhelésre, de a sztómafluxus térképe már jelentős ózonülepedést mutat ($160\text{--}200\ \mu g\ m^{-2}\ h^{-1}$). Ez esetben az alacsonyabb koncentráció



1. ábra. A kumulatív sztómafluxus eloszlása Magyarországra területére 1998. július (amikor a globálsugárzás, nagyobb, mint $50\ W\ m^{-2}$)

mellé magas ülepedési sebesség jártult. A sztómafluxus legalacsonyabb értékeit a Hortobágy és a Kiskunság területein kaptuk. Előbbi esetben az alacsony növényzet (fű) az utóbbiban pedig a talajtípus

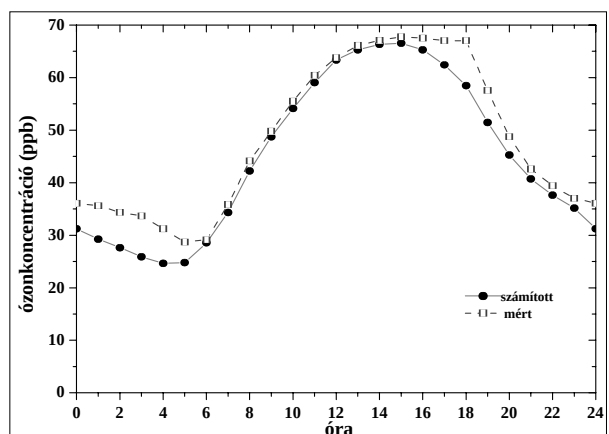


2. ábra. Az AOT40 eloszlása Magyarországra területére 1998. júliusában (amikor a globálsugárzás, nagyobb, mint $50\ W\ m^{-2}$)

(homok) miatt kapott alacsony ülepedési sebességgel magyarázható a kis mértékű ózonterhelés.

A becsült ózonterhelés bizonytalansága a bemenő adatok és a modell parametrizációk bizonytalanságából származik. A modellszámítások eredményét a rendelkezésünkre álló adatbázisok alapján verifikáltuk. Az ülepedési fluxus verifikációja nehéz, mert az bonyolult mikrometeorológiai méréseket igényel, s a vizsgált időszakra ilyen adatsor az ózon fluxusára nem állt rendelkezésünkre. Ehelyett a modell által számított ülepedési sebesség értékeket hasonlítottuk össze a szakirodalomban közölt mért adatokkal, jó egyezést kapva (Juhász, 2006).

A becsült ózonkoncentrációt összevetettük a K-pusztai mérőállomáson mért adatokkal 1998. júliusára. Az eredményeket a 3. ábra mutatja. Látható, hogy a számított és a mért görbék menete jó egyezést mutat. Az ózonkoncentráció maximális mért értéke 14 UTC környékén tapasztalható (68 ppb). Az éjszakai órákban a napsugárzás hiánya miatt az ózonkoncentrációja lecsökkent (30 ppb). A modell kis mértékben alulbecsli az ózonkoncentráció értékeit.



3. ábra. A mért és számított ózonkoncentráció átlagos napi menete a K-pusztai mérőállomáson 1998. július

A legfontosabb eredményünk, hogy a szótmafluxus és a terhelés becslésére korábban használt AOT40 érték az időjárási helyzet, a felszín- és talajtípus, valamint a növény fiziológiai állapotának függvényében akár jelentősen is eltérhet. Mivel a tényleges terhelést jobban kifejezi a szótmafluxon keresztüli nyomgázfluxus, ezért ennek tér- és időbeli eloszlása pontosabb becslést ad a növények károsításának tekintetében.

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

Irodalomjegyzék

- Brook, J.R., Zhang, L., Di-Giovanni, F., Padro, J., 1999. Description and evaluation of a model of deposition velocities for routine estimates of air pollutant dry deposition over North America. Part I: model development. *Atmospheric Environment* 33, 5037–5051.
- Debreczeni, V., 2006. A felszínközeli háttér-ózonkoncentráció trendje Magyarországon. *Diplomamunka*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, Budapest.
- Fuhrer, J., Skärby, L., Ashmore, M. R., 1997. Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. *Environmental Pollution* 97, 91–106.
- Hjellbrekke, A.-G., Solberg, S., 2002. Ozone measurements 2000. *EMEP/CCC-Report 5/2002*.
- Horányi, A., Ihász, I., Radnóti, G., 1996. ARPEGE/ALADIN: A numerical Weather predic-

tion model for Central-Europe with the participation of the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás* 100, 277–301.

Juhász, Á., 2006. Az ózonerhelés becslése csatolt terjedési-üledési modellel. *Diplomamunka*. Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék, Budapest.

Krupa, S. V., Manning, W. J., 1988. Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation. *Environmental Pollution* 50, 101–137.

Lagzi, I., Mészáros, R., Horváth, L., Tomlin, A., Weidinger, T., Turányi, T., Ács, F., Haszpra, L., 2004. Modelling ozone fluxes over Hungary. *Atmospheric Environment* 38, 6211–6222.

Mészáros R., 2002. A felszínközeli ózon száraz üledésének meghatározása különböző felszíntípusok felett. *Doktori értekezés*. ELTE TTK, Meteorológiai Könyvtár, Budapest.

Wesely, M. L., 1989. Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. *Atmospheric Environment* 23, 1293–1304.

Zhang, L., Moran, M. D., Makar, P. A., Brook, R., Gong, S., 2002. Modelling gaseous dry deposition in AURAMS: a unified regional air-quality modelling system. *Atmospheric Environment* 36, 537–560.

**Juhász Ágota, Mészáros Róbert,
Szinyei Dalma Fatima
ELTE Meteorológiai Tanszék
Lagzi István
ELTE Kémiai Intézet
Horváth László
OMSZ**

KISLEXIKON

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

prekursor vegyület

Juhász Ágota és társai: Az ózonerhelés becslése modell-számítások alapján

Az a reagáló vegyület, amely részt vesz egy másik vegyület bármely módszerrel történő előállításának bármely szakaszában. Szó szerint: előfutár vegyület.

kvázi-lamináris határréteg

Juhász Ágota és társai: Az ózonerhelés becslése modell-számítások alapján

A földfelszín és a folyamatosan keveredő (mozgalmas, azaz turbulens) áramlás zónája határán megfigyelhető olyan igen vékony köztes réteg, amelyben az áramlás sebessége egyenesen arányos a felszíntől vett távolsággal.

momentum-transzport

Juhász Ágota és társai: Az ózonerhelés becslése modell-számítások alapján

Az impulzus, azaz a tömeg és a sebesség szorzatával jellemezhető mennyiség szállítása.

mezofill réteg

Juhász Ágota és társai: Az ózonerhelés becslése modell-számítások alapján

Növényi vagy állati szervezetekben a bőrszövet felszíne alatti réteg.

Összeállította: Gyuró György

Az 50 éves Légekör a (jelenlegi) szerkesztő szemével

„*Légekör* néven új folyóirat indul meg az 1956-os esztendőben. Ez a tény újabb és konkrét jele tudományunk és meteorológiai szolgálatunk fejlődésének.” E mondatokkal kezdődik *Dési Frigyes* igazgató „beköszöntője” az I. évfolyam 1. számának 1. oldalán. Bár szívéhez mindig közelebb állt az Intézet tudományos lapja, az *Időjárás*, elérkezettnek látta az időt, hogy egy olyan belső tájékoztató szülessen, amely eljut mindazokhoz, akik akár észlelőként, akár technikusként, vagy munkatársként hivatásuknak tekintik a meteorológiát.

Az első években évi hat füzet látott napvilágot A/4 méretben, 10–20 oldal terjedelemben, elég szerény kivitelben. Előállítója az OMI házi nyomdája volt. A példányszám kezdetől fogva 1400 (!), így minden észlelő és az Intézet összes dolgozója megkapta. A cikkek szerzői elsősorban az akkor aktív korban lévő, azóta „nagy öregeknek” nevezett meteorológusok voltak (*Aujeszký László, Berkes Zoltán, Béll Béla, Hille Alfréd, Kulín István, Hajósy Ferenc, Takács Lajos, Zách Alfréd* és még többen mások), de hamarosan megjelentek az 1954–1958 között végzett fiatal szakemberek első írásai is.

1960-ban áttérés történt kisebb alakú (A/5 méretű), de jobb kivitelű változatra. Ekkortól a terjedelem 20–30 oldal, az évi füzettség hatról négyre változott. 1962-ben lépett a szerkesztőbizottságba *Csomor Mihály*, aki hamarosan átvette a technikai szerkesztői posztot, és hosszú időn keresztül fő teherviselője volt a lapnak. A *LÉGKÖR* még ekkor is belső kiadványként jelent meg. Ez abban is tükröződött, hogy az első 25 évben alig több mint egy tucat „külső” szerző neve jelent meg a cikkek alatt.

1978-ban *Czelnai Rudolf* az OMSZ akkori elnöke újíttott: az 1979/1 számtól ismét A/4-es a formátum, sok ábra és kép jelenik meg, mutatósabb a borító, sőt a belső ívek alappapírra különböző színű – az újság magazin jellegét öltött. A házi nyomda is jobb felszereléssel működött, megjelentek a fél-automata IBM írógépek, a nyomdavezető (*Máthé Gyuláné*) és munkatársai lelkesen vettek részt a technikai kivitelezésben. A terjedelem 40 oldalra nőtt, a példányszám 1350. Egyetlen gond volt a nyomda nagy leterheltsége, így a lap időnként több hónap késéssel látott napvilágot, sőt néha füzetek összevonására is kényszerültünk.

A 90-es évek eleje több változást – jót és rosszat – hozott a lap életében. 1992-től kezdve számítógépes szövegszerkesztéssel készül a *LÉGKÖR*, ami kezdetben további minőségi javulást hozott, ám a házi nyomda privatizálása, elköltöztetése, majd a romló technikai kivitelezés oda vezetett, hogy nyomdát kellett változtatni. Az OMSZ karcsúsítása a példányszámban is megmutatkozott: csaknem felével, 750-re kellett csökkenteni a

példányszámot. Igény volna színes ábrák megjelenítésére, főleg a műholdas és radarképek közlése esetében, ám ennek anyagi akadályai vannak.

Az elmúlt évtizedek folyamán többször felmerült, nem lehetne-e a *LÉGKÖR*-t utcai árusítású folyóirattá alakítani. A vele szemben fennálló belső igény (egyre több nívós szakkikk elhelyezése vált szükségessé) nem volt összeegyeztethető az „utca emberének” elvárásaival. A többi ilyen jellegű folyóirat (pl. a *Hidrológiai Közlöny, Földrajzi Közlemények, Magyar Geofizika*) sem utcai terjesztésű. Ugyanakkor a *Természet Világa* (főleg a meteorológiai tárgyú különszámaival), vagy az *Élet és Tudomány* jobbra ellátja ezt a feladatot.

Az utóbbi tíz évben a szerzők majd harmada nem az OMSZ alkalmazottja – ők elsősorban éghajlati tan-székkal rendelkező egyetemek oktatói vagy doktoranduszai – így a *LÉGKÖR* folyamatosan az egész hazai meteorológus közösség lapjává vált.

Folyóiratunk tartalmi és formai kialakításában, a cikkek lektorálásában mindig nagy szerepet játszottak a szerkesztőbizottság tagjai. Többen közülük a *LÉGKÖR* csaknem egész eddigi történetének alakítói voltak vagy még most is azok. *Mezősi Miklós* 1965-től, *Dunay Sándor* 1972-től napjainkig járult hozzá sok-sok munkával a lap sikeréhez.



Ülésezik a szerkesztőbizottság (néhányan hiányoztak)

A *LÉGKÖR* az elmúlt évtizedek során – különböző riportok, beszámolók, kis hírek közlésével – eredményesen hozzájárult az OMSZ 125 éves történelmének feldolgozásához. E cél a jövőben is a szerkesztőbizottság szeme előtt lebeg, ezért folyamatban van a folyóirat teljes 50 évének bibliográfiai feldolgozása. Újdonság az is, hogy az OMSZ honlapjára már nem csak a füzetek tartalomjegyzéke, hanem a teljes szövege és ábraanyaga is felkerült. Mindemellét bízunk abban, hogy a *LÉGKÖR* a jövőben is változatlanul megjelenik nyomtatott formában, hiszen az olvasóközönség jelentős része ma még nem részesül az információs forradalom szolgáltatásaiban.

Ambrozy Pál

Az Országos Meteorológiai Szolgálat publikációs tevékenysége és kiadványai

Az Országos Meteorológiai Szolgálat tevékenységének megismertetése, népszerűsítése, a munkatársaink által elért szakmai eredmények közzététele nemcsak PR szempontból fontos feladatunk, hanem mint állami költségvetésből gazdálkodó intézménynek kötelességünk is. Tevékenységünk rendszeres bemutatásának, eredményeink közzétételének hosszú múltra tekintő hagyománya van. Az Országos Meteorológiai Szolgálat rendszeresen 4 kiadványt ad ki ebből a célból. Ezek a kiadványok az alábbiak:

- Az Országos Meteorológiai Szolgálat beszámolókötet,
- Meteorológiai Tudományos Napok (összefoglaló kötet),
- Légkör (Az Országos Meteorológiai Szolgálat és a Magyar Meteorológiai Társaság negyedévente megjelenő szakmai tájékoztatója. Felelős szerkesztő: Dr. Ambrózy Pál),
- Időjárás (Negyedévente megjelenő angol nyelvű szaklap, a szerkesztőbizottság vezetője: Dr. Bozó László).

A beszámolókötet évente, többnyire tavasszal jelenik meg, arculata 10 éve változott meg, korábban kizárólag az OMSZ kutatási tevékenységének bemutatására korlátozódott, az elmúlt években azonban már az OMSZ teljes tevékenységének ismertetését tartalmazza, sőt az utóbbi néhány évben a kötelező részvételű szakmai továbbképzések anyagai is helyet kaptak benne.

Az egyes főosztályok beszámolóit kiegészítik még a Szolgálat munkatársai tudományos munkájának bemutatásával, beleértve az előző évben született innovációk rövid ismertetését, ill. a publikációs jegyzéket.

A kötet átfogóan, magyar és angol nyelven mutatja be a Szolgálat tevékenységét, aki szeretne képet kapni rólunk, ebből a kötetből hozzájuthat a szükséges információkhoz, vagy pedig elérhetőségeket találhat, további információ reményében.

A Meteorológiai Tudományos Napok összefoglaló kötete szintén évente jelenik meg, a Meteorológiai Társaság és az OMSZ közös kiadványaként, bemutatva a rendezvényen elhangzott előadások rövid, illusztrált, írásos változatát.

Az OMSZ rendszeresen, negyedévente kiad még két folyóiratot is: „Légkör”, illetve „Időjárás” címmel.

A „Légkör” az OMSZ Meteorológiai Társasággal közös folyóirata, „szakmai tájékoztató”, amelyet az MMT minden tagja, az észlelőhálózat közel 200 munkatársa és számos előfizető kézhez kap. A folyóirat

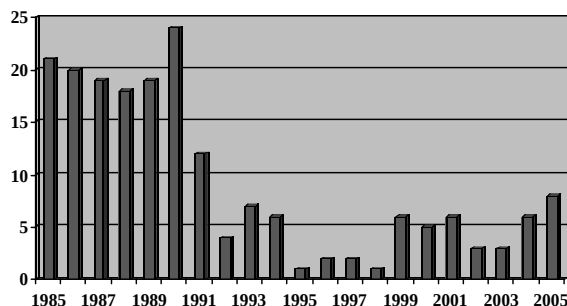
nagy múltra tekint vissza, idén már 51 éve jelenik meg rendszeresen. Munkatársaink körében igen népszerű, nemcsak az olvasó tábora széles, de sokan szívesen írnak is, így a közlendő anyagok hiánya sohasem okoz gondot. A folyóirat sokrétű: a szakmai cikkek, elemzések mellett útleírásokat, a meteorológiához kapcsolódó eseményekről szóló beszámolókat egyaránt tartalmaz.

Az „Időjárás” című folyóirat még a „Légkör”-nél is régebb, 108 éve jelenik meg rendszeresen. A hosszú időn át magyar, illetve angol nyelvű közléseket egyaránt elfogadó lap 1991-ben komoly arculatváltozáson ment át. Ezt megelőzően gyakran jelentek meg tematikus számok, meteorológiához kapcsolódó életrajzi, és más jellegű cikkeket is közölt a folyóirat. Külföldi szerzők munkája pedig csak kis számban került közlésre. Az 1991-es változtatást követően azonban kizárólag angol nyelvű írásokat jelentet meg, és csak a legújabb kutatási eredményekről beszámoló publikációk kapnak benne helyet. A korábbiaknál több cikk szerzője külföldi, és már nemcsak a környező országok szakemberei küldik el közlésre cikkeiket.

A kutató helyeken folyó szakmai tevékenység színvonalának megítélésére, mérésére gyakran alkalmazott mérőszám az intézmény kutatóinak adott évben megjelent publikációinak a száma. Érdekes tehát megvizsgálnunk, hogy az OMSZ-nál az elmúlt években, hogyan alakultak ezek az adatok, különös tekintettel a Szolgálat saját folyóirataira.

Az 1. ábrán 1985 és 2005 között az OMSZ munkatársainak az „Időjárás”-ban közölt publikációi számának alakulását követhetjük figyelemmel.

publik./évi k sz./évi

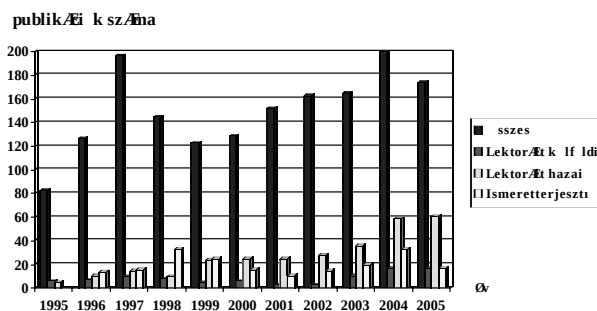


1. ábra. Az OMSZ munkatársai „Időjárás”-ban megjelent publikációinak alakulása 1985–2005.

A diagram jól mutatja az OMSZ, illetve a folyóirat életében bekövetkezett változásokat. Az 1991-ben bekövetkezett arculatváltást követően drasztikusan csökkent a folyóiratban a Szolgálat munkatársainak

asztaláról kikerült publikációk száma: az addigi, évi 20 körüli 5 körültre, sőt, 1995 és 1998 között 1–2-re csökkent. Ezekben az években a lap a közlésre leadott publikációk kevés száma miatt komoly gondokkal küszködött, tehát nemcsak a Szolgálat munkatársai jutatták kevesebb közlendő dolgozathoz a szerkesztőséget, hanem a folyóirat terjedelme is kisebb lett, a korábbi évekhez képest. Nem szabad azonban megfedkezünk arról a tényről sem, hogy az elmúlt 20 évben az OMSZ-nál nagy mértékű létszámcsökkenés is bekövetkezett. Az 1985-ben még 923, 1994-ben már csak 390, és 2004-ben pedig 284 dolgozója volt a Szolgálatnak, ezzel együtt a kutatói létszám is folyamatosan csökkent, és a kutatási területek is folyamatosan szűkültek. Ez a folyamat szintén hozzájárult a publikációk számának folyamatos csökkenéséhez.

A Szolgálat munkatársai összes közlésének, elmúlt 10 évi változását követhetjük figyelemmel a 2. ábrán.



2. ábra. Az OMSZ munkatársai publikációinak alakulása 1995–2005. Külön kiemelve a hazai, illetve külföldi lektorált folyóiratokban megjelent publikációk, illetve az ismeretterjesztő díkkeit.

Az összes publikációk számának alakulása, illetve a létszám csökkenés közötti összefüggés az elmúlt 10 évben már nem mutatható ki egyértelműen. Az összes publikációba azonban beleértjük a különféle konferenciák, workshopok kiadványaiban megjelent írásokat, valamint a newsletterek, projekt jelentések anyagait is, ami minden évben a megjelent cikkek jelentős hányadát képezi. Az ábrán azonnal szembetűnő, a különféle formában megjelent publikációk megoszlásának rendkívül kedvezőtlen aránya. Nagyon kevés a lektorált folyóiratokban megjelent cikk, illetve az ismeretterjesztő írás. Ez utóbbi felismerés, ill. az „Időjárás” közlésre alkalmas anyagainak 1995 és 1998 közötti kevés száma vezette 1998-ban az OMSZ elnökét ahhoz a lépéshez, hogy az „Időjárás”-ban, illetve a hazai és külföldi folyóiratokban megjelentethető cikkek írásának jutalmazásáról Utasítást alkosson.

A 2/1998. (II. 01.) számú, a publikációs tevékenység és tudományos fokozatok elismeréséről szóló Elnöki Utasítás szerint, jutalmazásra kerülhet a lektorált folyóiratban megjelent tudományos cikk, a

lektorált szak-könyv, vagy könyvrészlet, vagy népszerűsítő kiadványban megjelent írás. A jutalom mértéke az illetményalap 0,2–1,5-szöröse, a publikáció jelentőségétől, a nyilvánosságra hozatal helyétől és nyelvétől függően. 1,0-nél nagyobb impact faktorú folyóiratokban közölt cikkek esetén egyedi elbírálás alkalmazható. (A kialakult gyakorlat szerint a jutalom mértéke ebben az esetben az illetményalap 2–3-szorosa. A munkatársakra való hivatkozás – szintén a kialakult gyakorlat szerint – növelni szokta a jutalom mértékét.)

Az ábra alapján megfigyelhető, hogy az Utasításnak valóban ösztönző hatása volt. Az is megfigyelhető azonban, hogy főként az utóbbi három évben feltűnő a változás. Ezt magyarázhatnánk azzal is, hogy ennyi időre volt szükség ahhoz, hogy az ösztönzés bekerüljön a köztudatba, véleményem szerint, ennek a késleltetett hatásnak az oka inkább az egyéb jutalmak csökkenése. Amíg az egyéb jutalmak mértéke magasabb, ez a lehetőség kevésbé vonzó. Ezt a véleményt alátámasztja az is, hogy az innovációk jutalmazásánál szintén hasonló jelenség figyelhető meg: 2003-ban, illetve 2004-ben ugrásszerűen megnőtt a leadott innovációs pályázatok száma.

Tekintettel arra, hogy az 1998 és 2002 közötti időszakban a 2/1998. (II. 01.) számú Elnöki Utasítás nem hozta meg a várt hatást, a hazai lektorált folyóiratokban megjelent publikációk száma ugyan kismértékben emelkedett, de a külföldi lektorált folyóiratokban nem jelent meg több cikk. Így 2002-ben az OMSZ elnöke a 2/1998. (II. 01.) számú Elnöki Utasítás módosítása mellett döntött, annak érdekében, hogy még vonzóbbá tegye a lektorált külföldi folyóiratokban való publikálást. A 23/2002. (VI. 20.) számú Elnöki Utasítás szerint a mellékletben felsorolt „kiemelt”, illetve „jelentős” kategóriába (ez utóbbi tartalmazza az „Időjárás”-t is!) tartozó meteorológiai folyóiratokban megjelent 1 illetve 3 publikáció után a szerző részére egy saját kezdeményezésű szakmai konferencián való részvételt finanszíroz az OMSZ, 300 000 Ft értékben. Ez a lehetőség csábító hat, ill. hathatott, tekintettel arra, hogy a saját kezdeményezésű külföldi, szakmai konferencia részvételre vonatkozó szabályok igen szigorúak voltak (lásd: 20/1997. (XI. 04.), valamint 2/2004. (I. 16.) számú Elnöki Utasítások). Ez a módosítás mégis csak igen kevesek számára volt kedvező, életbe lépése óta csupán hárman tettek eleget ezeknek a feltételeknek: dr. Bozó László, dr. Horváth László, illetve dr. Haszpra László. Hogy mennyire kevesen publikálnak lektorált külföldi folyóiratokban az OMSZ munkatársai közül, azt az is mutatja, hogy például a 2004-ben összesen 17 ilyen publikáció jelent meg, amely közül 14 dr. Horváth László, illetve dr. Haszpra László nevéhez fűződik.

A publikációs tevékenység ösztönzésére hozott

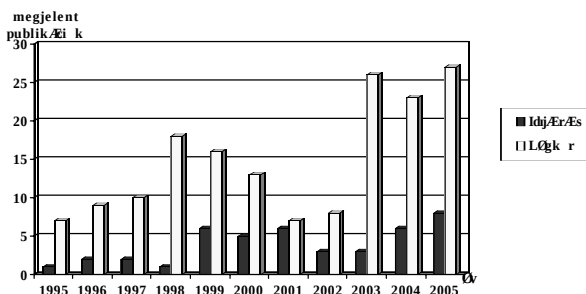
Utasítások hatása tehát felemás. Bár valóban növekedett az összes publikációk száma, leginkább a hazai folyóiratokban publikáltak többet munkatársaink, illetve nagyon sok a hazai konferencia kiadványokban megjelenő dolgozat. (A hazai konferenciákon munkatársaink jelentős részben saját költségükön vesznek részt, amint az a hazai ill. külföldi konferencia, valamint a továbbképzési főosztályi keretek felhasználásának 2004. évi vizsgálatából kiderült.) Csekély mértékben nőtt ugyan az „Időjárás”-ban, illetve a külföldi lektorált folyóiratokban megjelent anyagok száma, de ezeket az adatokat önmagukban nézve még mindig kevés az igazán színvonalas szakmai publikáció.

A folyamatos létszám csökkenés, a kutatási területek szűkítése bizonyára hozzájárult ehhez a kedvezőtlen arányhoz. A műholdas laboratórium fokozatos felszámolása, az agrometeorológiai kutatások megszüntetése egyaránt oka a kevés számú, színvonalas publikáció születésének, hiszen ha 15-20 évre tekintünk vissza, ez a két kutató laboratórium évente több referált nemzetközi folyóiratban publikált. 1996-ban például Csiszár Iván az akkori Műholdas Laboratóriumunk munkatársa publikációjával a nemzetközi meteorológus társadalom figyelmét is felhívta és elnyerte a WMO, „WMO-Young” elnevezésű díját.

A következőkben érdemes megnéznünk azt is, hogy az OMSZ saját folyóirataira hogyan hatott a korábban említett Elnöki Utasítás, illetve annak módosítása. Ennek tanulmányozására a következő ábrán az „Időjárás” ill. a „Légkör” című folyóiratban megjelent publikációk számát tüntettem föl (1995–2005). A „Légkör”-t tekintve egyértelmű ösztönző hatásról 2001-ig nem beszélhetünk, az elmúlt 2–3 évben azonban ugrásszerűen megnőtt az itt megjelentetett cikkek száma. Ennek a kiugrásnak vélhetően ugyanaz az oka, mint amit a publikációk összes számának elemzésekor leírtam, azaz ekkorra lett jelentősége ezeknek a jutalmaknak a többi jutalomhoz képest. Az „Időjárás” esetén egyértelmű tendencia nem állapítható meg, annyit mondhatunk csupán, hogy 1998 óta átlagosan csekély mértékben nőtt az itt megjelentetett publikációk száma.

A 3. ábra alapján következtethetünk arra is, hogy milyen hatással van a két folyóirat egymásra. A 2003-as, illetve 2004-es adatok azt sugallják, hogy aki a pénzjutalom reményében ír cikket inkább választja a „Légkört”, ugyanis lényegesen könnyebb egy ott megjelentethető cikket megírni, mint angol nyelven az „Időjárás”-ban elfogadtatni ugyanazt a szakmai tartalmat. Vegyük figyelembe azt is, hogy a többszerzős cikkek esetén az Utasítás szerint kiszámolt jutalmat osztani kell a szerzők számával, így gyakran fennáll az a helyzet, hogy egy „Légkör”-ben közölt egyszemélyes cikk magasabb jutalmat kap, mint például egy 3-nál többszerzős „Időjárás”-ban, vagy más referált nemzetközi

folyóiratban megjelentetett cikk. (A „Légkör” cikkek többnyire 0,2-0,5-szeres szorzót kapnak a jutalom kiszámításakor, az „Időjárás” cikkek 1,2-1,5-szerest). Ilyen értelemben tehát, akit a jutalom ösztönöz az írásra, inkább ír egyedül több „Légkör” cikket, mint belevágjon egy többszerzős lektorált nemzetközi folyóiratban közölhető cikk megírásába.



3. ábra. Az OMSZ munkatársainak az „Időjárás”, illetve a „Légkör” című folyóiratokban publikált cikkeinek száma az elmúlt 10 évben.

Némi optimizmusra ad azonban okot, hogy az elmúlt két évben örvendetesen, csekély mértékben emelkedett az „Időjárás”-ban megjelent publikációk száma, amiben fontos szerepe van annak a ténynek, hogy az Eötvös Loránd Tudományi Egyetem Doktori Iskolája elfogadja az itt megjelenő publikációkat is a doktoranduszok részéről, a Phd minősítéshez kötelezően előírt publikációs tevékenység részeként. Az elmúlt években egyre több munkatársunk lett a Doktori Iskola hallgatója, 2004 óta évente 10-12 várományosa van Szolgáltatunknál a Phd minősítésnek, ez a tény mindenképpen hozzájárul ehhez az emelkedéshez.

A 136 éves OMSZ évszázados nagyságrendben mérhető múlttal rendelkező folyóiratokat megjeleníthető intézmény, ahol a publikációs tevékenységnek kialakult, mélyen gyökerező hagyományai vannak. Amint az elemzésből kiderült az anyagi ösztönzés pozitív hatása kétségtelen, de az igazán színvonalas cikkek születésére, hogy mennyiben vannak hatással ezek az intézkedések az már vitatható. A megfelelő és állandó kutatói létszám, a stabilan működő kutatói laboratóriumok azonban egyértelműen kedvezően hatnak a magas színvonalú tudományos munkára. Reméljük, az OMSZ, 2006. januárjában kialakított struktúrája ilyen stabil környezetet nyújt munkatársaink számára a magas színvonalú kutatáshoz, ami lehetőséget teremt az eredmények színvonalas közvételéhez is.

Kajtárné Lovas Katalin

AMI AZ ÚTIJELENTÉSEIMBŐL KIMARADT!

Akik már utaztak velem, tudják, hogy utazásaimra mindig viszek magammal egy kis kockás füzetet, amelybe az utazás során jegyzetek. Némi nagyképűséggel azt is mondhatnám, hogy utazási naplót vezetek. Ebbe a kis füzetbe írok az értekezletek vagy az előadások alatt, s ide kerülnek olyan feljegyzések is, mint a repülőjárat száma, vagy, hogy láttam-e valami érdekeset. Kezdő éveimben sok-sok utat tettem az ország keleti felébe, s némi irigykedéssel gondoltam azokra a kollégáimra, akiknek volt határővezet igazolványuk, amellyel nappal (!) kimehettek a Fertő-tóra. Ma, amikor személyi igazolványunk felmutatásával közlekedünk az Európai Unión belül, furcsa arra gondolni, hogy 30 évvel ezelőtt még egy ausztriai kiruccanás is egzotikus kalandnak számított. Azt hiszem, ha ma olyan útról szeretnék beszámolni, ami igazán felkelti az olvasó érdeklődését, messzebbre kell vezetnem fantáziáját, mint az osztrák-magyar határ túloldala. A szekrényemben sok-sok kockás füzet sorakozik, már 191-nél tartok, s talán van közöttük olyan, amely nemcsak nekem érdekes. Szárazföldi ország lévén, azt hiszem, kevés olyan honfitársunk van, akinek fantáziáját ne ragadná meg a tenger. Sokunknak már az Adria is maga a csoda, de igazán izgalmas az óceán. S az élmény talán még magával ragadóbb, ha egyszerre van tenger is, óceán is.

Barbados

Első beszámolómm egy olyan útról szól, ahol szinte egyszerre láthattam mindkettőt, s tapasztalhattam a különbséget közöttük. Szűkebb szakterületem az agrometeorológia. Természetesen adódik, hogy szakmai útjaim így vagy úgy elsősorban az agrometeorológiához kapcsolódnak. Első hallásra ez olyan szárazföldi dolognak hangzik. Ha egy pályakezdő egzotikus tengerentúli szakmai utakra vágyódik, talán ne ilyen száraz dologra szakosodjék. Amikor hosszú kilométereket róttam magányosan a Nyírségben, sose gondoltam volna, hogy *agrometeorológus* mivoltom majd nem egyszer repít át az óceánon. Laposabb közhelyet már nem is mondhatnék annál, hogy a Meteorológiai Világszervezet (WMO), világszervezet. Ha egyszer beindul, akkor globális méretekben gondolkodik. Ha létrehoz egy munkacsoportot, abba minden egyes régióból meghív valakit, s az értekezletet valahol a „nagyvilág”ban tartja, sokszor a tengeren túl. Így jutottam én el Barbadosra a *Improving Agrometeorological Bulletins Inter-regional Workshopra* (Bridgetown, Barbados, 2001 október 15-19) tagjaként. Aki tagja a munkacsoportnak, meghívást kap az értekezletre, s azt is el kell mondani, hogy az utazás és az ott-tartózkodás költségeit a WMO állja.



A Mexikói-öböl Barbados szigetéről

Talán felmerül a kedves olvasóban, hogy miként csöppentem bele ebbe a csapatba. Még 1990-ben, az akkori vezetőim, *dr. Ambrózy Pál* és *dr. Kozma Ferencné* beneveztek az RA VI Agrometeorológiai Munkacsoportjába tagnak, ahol egészen 2006-ig működtem, 1994 és 2002 között a munkacsoport elnökeként. Ebben a minőségemben szinte természetesen adódott, hogy én legyek az egyik, aki Európát, pontosabban az RA VI-ot képviseljem. A másik képviselő *Giampiero Maracchi* professzor volt Firenzéből, aki többek között a COST 718 (Meteorology for Agriculture) elnökeként ebben a témakörben is széles látókörrrel rendelkezett. A benevezésen túl, némi munkával is ki kellett érdemelni a részvételt. Az én feladatom a régióban kiadott agrometeorológiai tájékoztatók értékelése volt. A dolog első fele könnyen ment. „Csak” be kellett gyűjtenem a különböző kiadványokat, a kiértékelés aztán már simán ment. Ahogy ez már egy ilyen WMO kérdőív esetében lenni szokott, a 49 tagállam közül 31 helyről kaptam választ, de az innen begyűjtött anyag meghaladta az 500 oldalt. Az angol nyelven megírt jelentések mellett kaptam bemutató példányokat mindenféle nyelven. A meteorológia ezen a területen is nemzetközi, különösebb nyelvtudás nélkül is érthető egy-egy nemzeti agrometeorológiai jelentés. Már csak az összesítés elkészítése maradt hátra, s felkészülve az előadásra már el is lehetett repülni Bridgetownba. Meg kell vallanom, hogy amikor megkaptam az értesítést arról, hogy hol lesz az összejövetel, nem sok elképzelésem volt arról, hogy hol található ez az ország. A WMO ugyan fizeti az utat, de ahol lehet, arra ösztönzi a résztvevőket, hogy az olcsóbb lehetőséget válasszák. Így saját magamnak kellett olcsó és gyors megoldást találnom, már csak azért is, mert a barbadosi összejövetellel csaknem egy időben volt egy COST értekezletem is, szinte a szomszédban, csak az óceán in-

nenső oldalán, Madeirán. A feladat roppant egyszerű volt, időben odaérni, és időben távozni, nehogy lemaradjak a jegyzőkönyv-vezetésről Funchalban, ahol, mint az közismert, utolsó „szent királyunk”, Ausztriai-házi Boldog Károly (*Beatus Carolus e Domo Austriae*) van eltemetve, akit a történelemben jártasak röviden csak *IV. Károlyként* ismernek. Akkoriban a COST tudományos titkára voltam Brüsszelben, s az út így egy egyszerű Brüsszel-London-Bridgetown-London-Brüsszel-Lisszabon-Funchal-Lisszabon-Brüsszel kombinációval volt megoldható, amiből a WMO fizette a Brüsszel-Bridgetown oda-vissza utat, a többi maradt az EU-ra. Az út mindjárt az elején majdnem elmaradt. London ködöt jelentett, s a British Airways nem tervezett felszállást. A szinte teljesen üres brüsszeli repülőtérre megszántak a jegykezelők, s áttettek a British Midland légitársaság járatára, ami némi késéssel mégis nekivágott a csatornának. Örööm határtalan volt, már csak azért is, mert felfedeztem, hogy a BM gépein nem kockáztatnak. A 12-es sor után a 14-es következett. Képzelje el a ked-



Az utolsó magyar király, IV. Károly sírja Madeira szigetén még boldoggá avatása előtt (Az előtérben a szerző koszorúja)

ves olvasó, mi történik azzal az utassal, aki a 13. sorba kap helyet! A rohanásról, London Heathrow-ról Gatwickre már ne is beszéljünk.

Mondanom se kell, hogy én voltam az utolsó utas, akit felvettek a járatra. Barbados ragyogó trópusi napsütéssel és 30 fokkal köszöntött. Az októberi brüsszeli időjáráshoz illő öltözékemben nem mondhatom, hogy nagyon fáztam volna. Ezzel szemben az a megtiszteltetés ért, hogy a helyi igazgató, *Tyron Sutherland*, aki nemcsak a barbadosi, hanem az összes Brit Karibi Területek meteorológiai intézményeinek az igazgatója, s mellékállásban a WMO második elnökhelyettese, személyesen fogadott, egy szál kopott, helyenként foltozott farmerban, tornacipőben, s fuvarozott el a szállodába. A szálloda a szigetet megkerülő út egyik oldalán volt, míg a másik oldalon a tenger. Ledobtam a csomagot, s lerohantam a csodálatos szőke főenyre, a pálmafák alá. Sajnos hamar sötétedett, s közel az Egyenlítőhöz rövid

az átmenet a nappali világosság és az éjjeli sötét között. Egy darabig csodáltam a karibi éjszakát, aztán visszavonultam a szobámba, ahol elalvás előtt még gondosan át tanulmányoztam a „Mi a teendő hurrikán esetén?” című kiadványt, ami gondolom a békés turisták megnyugtatót szolgálja. Nem volt nyugodt éjszakám. Ha bekapcsoltam a légkondicionálást, akkor majd megfagytam, ha kikapcsoltam, percekben belül dőlt rólam a víz. A probléma aztán gyorsan megoldódott. Egy trópusi zápor némileg lehűtötte a levegőt. Amikor eleredt az eső, meglepve tapasztaltam, hogy felettem nincs tetőtér vagy padlás, csak a bádogtető. A trópusi eső cseppjei úgy záporoztak a tetőn, mintha géppuska tűzben álltam volna. Alvásról szó sem lehetett. Jobban megfigyelve a szállodát, a kivitelezés színvonala erősen emlékeztetett a 70-es évek magyar lakótelepeire, kivéve persze a több mint 100 dolláros éjszakánkénti árat. Ez az út azon ritka WMO fizette utak közé tartozott, ahol többbe került a szállás, mint a WMO ellátmány. Másnap, vasárnap lévén, a sziget teljes lakossága jó protestánszhoz illően egy emberként munkaszünetet tartott, így a prospektusokban kínált csábító programok közül egy se működött. Végül az izraeli kollégával, *Zvi Zemellel* találtunk egy taxisofőrt, akinek őseit még Afrikából hurcolták ide a brit gyarmatosítók, s akiről nem lehetett eldönteni, hogy ő vagy a kocsija öregebb. Néhány órá, nem túl megerőltető autózással, amit többször szakítottunk meg a világ legjobb koktéljának megköstölésére, bejártuk az egész szigetet. S a túra során megértettem, hogy mi a különbség tenger és óceán között. Míg az óceáni oldalon hullámok, viharos szél, sziklás part, vad vidék köszöntötte a vándort, addig a tengerparton (Mexikói-öböl) csendes, csodásan áttetsző, majd zöld, messzebb tekintve kék víz, némi enyhe fodrozódással, lágy hullámokkal ejtette rabul a nézelődő tekintetét. Az egésznapos kemény túrázás után a megéhezett vándorok mi másat ehetek volna, mint a sziget specialitását, repülő halat, amit minden étterem úgy hirdetett, hogy jöjjön be hozzánk, itt garantáltan nem repül a hal. Leöblítettük a halat még egy koktéllal, aztán véget is ért a paradicsomi idill, mert megérkezett Mr. Sivakumar, s munkára fogott minket, össze kellett állítani a másnapi programot.

Hétfőn már csak vágyódva nézhettem ki a tengerre, mert a WMO Agrometeorológiai értekezletek szigorú etikettje szerint előbb a megnyitó ünnepséget kellett végigülni öltöny-nyakkendőben, majd, szekcielnökként és előadóként közreműködni a rendezvény sikeres lebonyolításában. A hivatalos megnyitóra mind a karibi igazgató, mind a kollégák talpig sötét öltönyben jelentek meg, ami kétségtelenül emelte a rendezvény színvonalát, de a légkondicionálás ellenére elég kényelmetlen is tette. Szerencsére nemcsak én feszengtem, s így délutánra Mr. Sivakumar megkegyelmezett nekünk, s javasolta a zakó és nyakkendő levételét. Ez határozottan javított a tárgyalás menetén. Életem egyik legjobb szak-

mai összejövetele volt, ahol a hat WMO régióból érkezett küldöttek és a meghívott szakértők sok érdekeset és okosat mondtak egymásnak, nem kendőzve gondjaikat vagy hiányosságaikat szakmai tájékozottságukban. Nehéz szívvel hagytam el az értekezletet, bár vigasztalt a tudat, hogy egy másik, érdekesnek ígérkező találkozóra megyek, Madeira rám váró csodáiról nem is beszélve. Lehet, hogy csodálatos dolog az agrometeorológia?

Fülöp-szigetek

Második beszámolómm is a tengerhez kapcsolódik. Akik jártak már arra, azok esküsznek rá, hogy egy naplemente igazán a manilai öbölben szép. Ezt a vélekedést én is meg tudom erősíteni. Március 23-a nekünk, meteorológusoknak külön ünnep. Ez a nap a Meteorológiai Világnap. A Világszervezet mindig kéri a tagországokat, hogy ezen a napon rendezzenek ünnepségeket, ragadják meg az alkalmat a szakma és a nemzeti szolgálat népszerűsítésére. Aki már volt világnapi ünnepségen a Szolgálat székházában, elmondhatja, hogy mi is többé-kevésbé sikerrel igyekszünk eleget tenni a WMO elvárásainak. A magunkon érzett büszkeségem némileg lehangyatlott, amikor ott lehettem azon a világnapi összejövetelen, amit a PAGASA (*Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration*), a fülöp-szigeteki meteorológiai, geofizikai és csillagászati intézet rendezett a Világnap tiszteletére.

Hogy kerültem oda? A szokásos módon. Ezúttal is, mint agrometeorológus szakértőt, meginvitáltak egy, a barbadosihoz hasonló értekezletre. A szervező, s talán ezzel nem okozok meglepetést a kedves olvasónak, *Mr. Sivakumar*, a WMO hihetetlen munkabírású, elnyúlhatatlan, indiai származású, az Egyesült Államokban doktorált csoportvezetője, aki amellet, hogy harmadmagával viszi a Világszervezet összes agrometeorológiai dolgát, amióta Genfben van, megtanult franciául és spanyolul is olyan szinten, hogy a szakmai előadásokat fordítja. Eme képességét a munkacsoport értekezleten is gyakorolhatta, ahol a latin-amerikai küldöttek nem beszéltek az angolt. Az eredeti terv szerint a Világnap ünneplése nem szerepelt a munkacsoport programjában, de a vendéglátók úgy érezték, hogy a hat régióból oda-sereglett szakértőknek meg kell mutatni, hogy ünnepel egy igazi filippínó. Már megérkezésünkkel mindenki kapott egy, az erre a napra készült, világnapi pólót, aminek viselésére némi szelíd erőszakkal aztán mindenkit rávettek. Az ünnepségek helyszíne a meteorológiai intézet volt, ahol ezen a napon szakmai kiállítást rendeztek, amelyen poszterekkel és számítógépes bemutatókkal minden részleg szerepelt. A kiállítás ünnepélyes megnyitására az Agrometeorológiai Bizottság (CAGM) elnökét, *Ray Motha*-t kérték fel, aki feladata ellátásához még egy virágfüzért is kapott a nyakába. Miután kellően megcsodáltuk a kiállítást, az egész társaság kivonult a kosárlabda pályára, ahol az ünnepséget tartották. Az



Világnapi kiállítás megnyitása a filippínó meteorológiai intézetben (2004. március 23.)

ilyenkor szokásos beszédek hangzottak el, ami szemmel láthatóan itt sem hozta lázba a dolgozókat. Majd a himnusz következett, aztán valami mást is énekeltek, állva, ahogy a himnusznál illik, lelkesen a kollégák. Ennek a szövegét, meglepetésemre, többé-kevésbé értettem. A „második himnusz”, ami úgy látszik, itt hozzátartozik egy hivatalos ünnepséghez, a Miatyánk volt, angolul. Az ország hivatalos nyelve a filippínó (tagalog), de gyakorlatilag kétnyelvűek, szinte mindenki van írva angolul is. A beszélt angolságuk sajnos nem mindig követhető az európai kiejtéshez szokott fülnek. Egy ország, amely nagyrészt katolikus, mert spanyol gyarmat volt, s szinte folyékony angol, mert amerikai gyarmat is volt! Az ünnepséget az intézeti dolgozók kórusának koncertje zárta, de ezzel még nem értek véget az ünnepség eseményei. Már benn az épületben még meghallgathattuk az intézeti dalverseny győztesének saját szerzésű dalának bemutatóját is. Az ünnepség kerti partival folytatódott, a munkacsoport tagjainak még egy esti fogadást is rendeztek, ahol csoportos énekléssel (*karaoké*) fejeztük be a napot, s megállapíthattam, hogy a trópusoknak is van előnye, mert a kellemesen meleg éjszakát pont a kellő mértékben enyhítette a jól behűtött sör. A *workshop*ról szinte ugyanazt mondhatom el, amit a barbadosiról. Akit a szakmai részletek, az elhangzott előadások, a levont következtetések, s ajánlások érdekelnek, az megtalálhatja azokat a WMO/TD No. 1277 (*Inter-regional Workshop on Strengthening Operational Agrometeorological Services, March 22-26, 2004, Manila, Philippines*) kiadványban. A vendéglátók mindenben nagyon segítőkészek és barátságosak voltak, igyekeztek mindig a sziget legszebb arcát mutatni. A szállodánk és közvetlen környéke szinte európai képet mutatott, bár az elrobogó jeepney-ken utazók tömege mutatott, hogy azért itt szép számmal akad szegény ember. Ami nem volt európai, az az, hogy nincs közvilágítás. Ami úgy-ahogy segítette a közlekedést napnyugta után, az a boltokból vagy házakból kiszűrődő fény volt, már ahol egyáltalán volt ilyen. Átszelve a várost, a repülő-

térre menet, vagy amikor meglátogattuk az intézetet, a mi fogalmaink szerint borzalmas körülményeket, valóságos bádögvárosokat láttunk. A meteorológiai intézet kerítéséhez is hozzáépítettek néhány nyomorúságos viskót. Sajnos ez a látvány akkor is elkísért, amikor az értekezlet befejezésekor egy kis kultúrprogram keretében a történelmi belvárost, a spanyol időkből megmaradt *Intramuros* erődöt tekintettük meg, amelynek II. Fülöp címerével ékesített kapuját a felszabadító amerikai tankok döntötték romba 1945-ben. Ma egy hevenyészetten helyreállított kapu fogadja a látogatókat. Vendéglátóink büszkén mutogatták a filippínó emlékeket, a spanyolok által 1896. december 29-én kivégzett nemzeti hős, *dr. Jose Rizal* utolsó útját mutató köveket. A program befejezéseként lassan kísértünk az öböl partjára, ahonnan remekül lehet látni a naplementét. Derült időnk volt, s az időzítés is jól sikerült. A Nap még fenn ragyogott az égen, de már megkezdte lenyugvását, s mi megcsodálhattuk, ahogy az öböl vizében méltóságteljesen elmerül, a szivárvány színeire festve az égboltot.

Hazafelé sajnos már nem volt ennyire kegyes hozzám az időjárás. A csatlakozó járatra várva beugrottam Hong Kong-ba, de az egész város előbb enyhe, majd szinte átláthatatlan ködbe veszett. Egy másik öböl, de itt nem a naplementét volt szerencsém megcsodálni, hanem azt, hogy egy kis motoros bárkával is lehet szágul-



Naplemente a Manilai-öbölben, 2004. március 26.

dozni, ahogy azt maláj kalózra emlékeztető csónakmesterünk tette az aberdeeni öbölben. Az előre be nem jelentett fejenkénti 50 hong kong-i dollár borraivalót a kikötőtől tisztes távolban szedte be, éreztetve, hogy aki esetleg vonakodna ettől, annak lehetőséget biztosít az öböl vizével való közvetlen megismerkedésre. Ezzel együtt csodás élmény volt, ahogy a naplomba feljegyeztem: „a XXI. századi toronyházak és a halászbárkák flottája együtt fantasztikus látvány. Az ember kiszalad térből és időből, és csak tája a száját...” Szerencsére volt nálam annyi készpénz, így ezt a kalandot szárazon úsztam meg. Lehet, hogy csodálatos dolog az agrometeorológia?

Kourou

Harmadik utam, amiről szeretnék beszámolni, csak annyiban kötődik az óceánhoz, hogy az élményhez át kellett repülni az Atlanti-óceán túlsó oldalára, s maga a nagy élmény nem tartott tovább egy percnél. S ezért érdemes átrepülni az óceánt? Igen, hiszen nem mindennap láthat az ember műhold fellövését. Az EUMETSAT hosszas előkészületek, s többszöri halasztás után végre felbocsátotta az MSG-2 műholdat. A kilövésre Kourouban a guayana-i űrközpontban Európa űrkikötőjében (*Centre Spatial Guyanais – Port spatial de l'Europe*) került sor az Arianespace űrügynökség szervezésében. Az EUMETSAT sok-sok újságíró mellett a kilövésre meghívta a tagországok meteorológiai intézeteinek vezetőit is. Különgép vitte a meghívottakat Párizsból Cayenne-ba. Amennyire egzotikus utazásnak számított 30 évvel ezelőtt kijutni a Fertő-tóra magyar oldalról, annyira nem külföldi út ma Francia Guayanába menni. Ez a terület Franciaország tengerentúli megyéje, s mint ilyen, jogilag Franciaországhoz tartozik, azaz a Párizs-Cayenne repülés belföldi járat, amire az EU tagállamok állampolgárai személyi igazolvánnyal szállhatnak fel. Na, ezt se gondoltam volna, amikor beléptem a Szolgálathoz, hogy egyszer elég lesz a személyim ahhoz, hogy elutazzam Dél-Amerikába.

A kilövés megnézésére gondosan felkészültem testen és lélekben egyaránt. Ehhez a kis „belföldi úthoz” először is védőoltásokra volt szükség. Belövettem magam hepatitisz, sárgaláz, és ha már ott vagyok, influenza ellen. A malária ellen azt mondták, ha nem megyek őserdőbe, elég csak a szúnyogriasztó kenőcs. Ez hatásosnak bizonyult, kivéve azokat a helyeket, ahol nem voltam bekenve. Azokat a szúnyogok rendre megtalálták, s az egészben az volt a szép, hogy szúnyogot nem is láttam. Az ilyen helyre utazóknak azt tudom ajánlani, hogy inkább spray-t vigyenek, lehet, hogy az hatásosabb. Nem tudom mennyi a malária lappangási ideje, eddig még nem tört ki rajtam. Aztán úgy gondoltam, hogy egy ilyen eseményt feltétlenül meg kell örökíteni, így nemcsak fényképezőgépet cipeltem magammal, ha-



Az ARIANE5 rakéta fellövésre készen, 2005. december 21.

nem még beszereztem egy sokszorozó előtét lensét is, hogy még messzebbre lásson a gépem.

Nem egyenesen a kilövésre rohantunk, hanem először bemutatták a bázisát, megtekinthettük a termet, ahonnan a fellövést irányítják. Üvegfal mögött ülnek a kezelők, s a nézők nagy kivetítőkön követhetik az eseményeket. Szépszámu előadás végighallgatásával azt hiszem, mindent megtudtunk az Ariespace-ről, a kilövés helyszínéről, az előkészületekről, s persze a kilövést megrendelő EUMETSAT-ról és ISRO-ról, az INSAT-4A-t fellövető indiai űrkutatási szervezetről. Ezután te-repszemle következett. Elvittek minket a szerelőcsarnokba, ahol megcsodálhattuk az *ARIANE 5 G* rakéta hűlt helyét, ami már akkor fellövésre készen állt, hogy az *MSG-2* mellett az *INSAT-4A* indiai telekommunikációs műholdat is pályájára vigye. Hiába, a rakétával se lehet csak úgy pazarolni! Az előadások után végre a rakétát is megtekinthettük, de csak tisztos távoból, kb. 1 kilométerről. S még ehhez a távoli szemléhez is védőmaszkot osztottak ki, arra az esetre, ha netán robbanás következne be. Sajnos ezt a távoli szemlést megnehezítette a váratlanul lezúduló trópusi zápor. A szervezők megnyugtatták a jelenlévőket, hogy eső nem, csak viharos szél késleltetheti a kilövést. Nagyon remélték, hogy erre nem kerül sor, mert ebben az esetben az üzemanyagot még arra a 24 órára is le kell szívni, s egy ilyen leszívás, újratöltés akár 15-20 % veszteséget is jelenhet!

Szerencsére az eső elállt, s szél sem fújt a fellövésnél. A résztvevők választhattak, hogy a központi irányító teremből vagy a szabadból figyelik az eseményeket. Én a szabad megfigyelőt választottam. Bár a megfigyelő hely 5 kilométerre volt a kilövés helyétől, még ezen a távolságon belül is lehetséges, hogy a szemlélőket gáz vagy savaseső „támadás” éri nem megfelelő időjárás, vagy nem várt robbanás esetén. Kaptunk is biztonsági tájékoztatót, s gázálcok is voltak kéznél a minket szállító buszon. Buszra szállás előtt mindenki kapott névki-tűzőt, busz számot, amit szigorúan meg kellett jegyezni, ha baleset történne, mindenki azonnal megtalálja a buszát, s álljon készen arra, hogy felvegye a gázálcot. A megfigyelőhelyhez vezető út végig le volt zárva. Mi is vagy négy ellenőrző ponton áthaladva jutottunk el a kijelölt helyünkre. Lassan sötétedett, s hiába a gép nagy fényérzékenysége, ilyen távolságról, már nem sok esélyem volt elfogadható fényképet készíteni, annak ellenére, hogy az állványon álló rakétát reflektorokkal világították meg. Egy kivetítő időnként a rakétát, időnként a kilövőt mutatta, aztán már csak a kilövőt, megkezdődött a visszaszámlálás: *dix, neuf, ...trois, deux, une, zero....* (Naná hogy franciául, majd angolul, már csak az hiányozna!)

A rakéta alól lassan füst hömpölyög elő, majd láng is kicsap, az eddig mozdulatlanul álló szerkezet megre-meg, majd lassan, méltóságteljesen elindul az ég felé. Az első pillanatokban úgy tűnik, hogy sose fog felemel-

kedni, aztán már ott van a látóhatár közepén, lövellnek ki belőle a lángok. És már nem is egyenesen halad föl-felé, hanem elfordul, mi is fordítjuk felfelé a tekintetünket, csavarjuk hátra a nyakunkat. Már csak egy fénycsó-va, ami egyre kisebb, aztán eltűnik a horizontról. Már csak a csillagok világítanak. Csodás éjszaka. A 169. kilövés erről a bázisról a terveknek megfelelően úgy tűnik rendben lezajlott. Aztán hirtelen rádöbbenünk, hogy nemcsak mi néztük a kilövést, hanem a szú-nyogok is. S úgy tűnik, hogy az ő érdeklődésüket in-kább a nézők kötötték le. Újból előkerülnek a szúnyog-riasztók. Az izgalom még nem ért véget. Meg kell vár-ni, amíg leválik az első, majd a második fokozat, s a műholdak pályájukra állnak. A kivetítő mutatja, hogy hogyan állunk, persze csak rajzok formájában. A köz-pont jelenti, hogy minden rendben! Örömteli arcok az irányítóból, összeölelések, hátha veregetések. Jöhet-nek a vezetői köszöntők, s aztán minket is buszra tesz-nek, s irány a tengerpart, ahol egy pazar fogadás vár ránk. De ki tud enni hajnali négykor?



A börtön-sziget az Ördög-szigeteken

S egy szakmai út akkor sikeres igazán, ha csatlakozik hozzá némi turisztikai élmény. Gondolom vendéglátó-ink is így gondolták, mert másnap elvittek minket az Ördög-szigetekre, a legendás fegyenctelepre, ami ma már nem az, vagy mégis, mivel a névadó sziget a turis-táknak ma sem látogatható. S ha már annyit áradoztam a tengerről, el kell mondanom, hogy a nem különöse-ben hullámozó óceánon volt szerencsém hajónyi méretű hullámokat látni egyórás utunk során, ami persze a ha-jónk személyzetét nem hatotta meg, csak nekem okozott némi gyomorszorítást. A szigeten meg hétágra sütött a trópusi nap. Félttem is, hogy esetleg napszúrást kapok, de eme aggodalmam hamar elmúlt, mert egy hirtelen jött zápor bőrig áztatott. Mire visszaértünk a kikötőbe, újból sütött a Nap, s a vízen szinte egy hullám se volt. Ideje elköszönni, irány a repülőtér. Megyünk vissza Eu-rópába, a hidegbe és sötétségbe. Búcsúzóul még van al-kalmam csodálni a napkeltét az óceán felett. Tényleg csodálatos dolog az agrometeorológia!

Dunkel Zoltán