

# L É G K Ö R

51. évfolyam

2006. 2. szám



# LÉGKÖR

51. évfolyam  
2. szám

Felelős szerkesztő:  
**Dr. Ambrózy Pál**  
a szerkesztőbizottság  
elnöke

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

ISSN 0133-3666

A kiadásért felel:  
Dr. Dunkel Zoltán  
az OMSZ elnöke

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

Felelős vezető:  
**Modla Lászlóné**

Évi előfizetési díja 1380 Ft

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

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI  
SZOLGÁLAT ÉS A MAGYAR  
METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG  
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

## TARTALOM

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

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

# TAVASZI ÁR A DUNÁN ÉS A TISZÁN

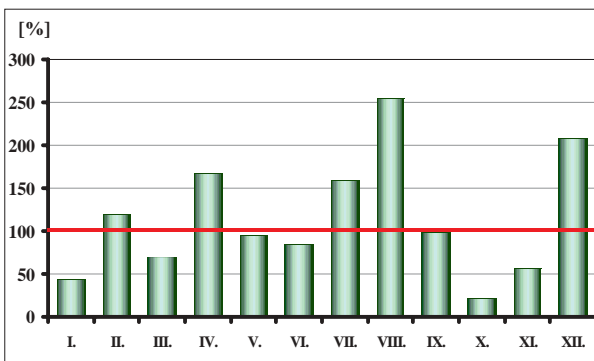
Volt már rá példa folyóink „árvi történelmében” arra, hogy a Duna és a Tisza egyszerre áradt. 80%-ot elérő illetve meghaladó mederteltséggel definiált árhullámot a Dunán és a Tiszán egyidejűleg 1940, 1952, 1958, 1962, 1970, 1971, 1975-ben is megfigyeltek (Bodolainé, 1983).

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

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

## 2005-2006 telének és tavaszának csapadékviszonyai

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

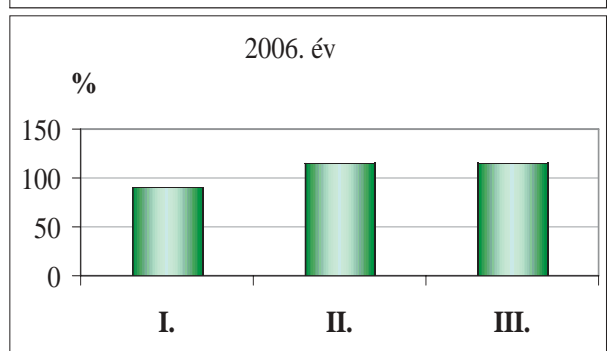
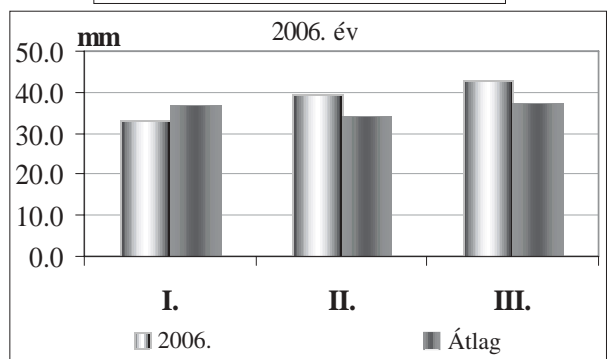
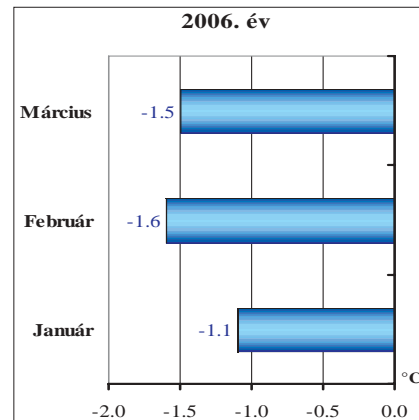


1. ábra: 2005. év havi csapadékösszegei a sokévi átlag %-ában

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

Röviden a téli hónapok időjárásáról:

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



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

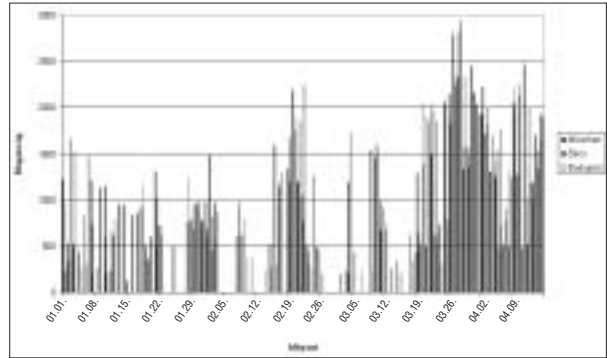
el, többfelé esett az eső. December 5-én és 6-án ebben az alacsony nyomású mezőben egy mediterrán ciklon is átvonult délnyugatról északkelet felé. A csapadékperiódus végén, elsősorban a magasabban fekvő területeken már havazott. December 10. és 26. között csak néhány csapadékos nap volt, érintőleges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

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

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

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

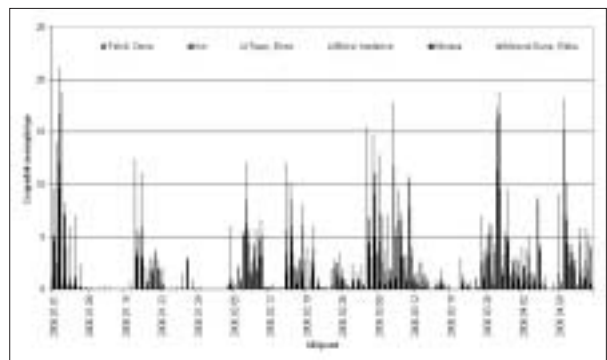
Januárban 3, februárban 5 olyan nap fordult elő, amikor az Alpok és a Kárpátok térségében elérte vagy meghaladta a lehulló csapadék mennyisége területi átlagban a 10 mm-t, márciusban már több, 12 nagycsapadékos nap volt. Március elején és a hónap utolsó harmadában hullott több csapadék, amelynek mennyisége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



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

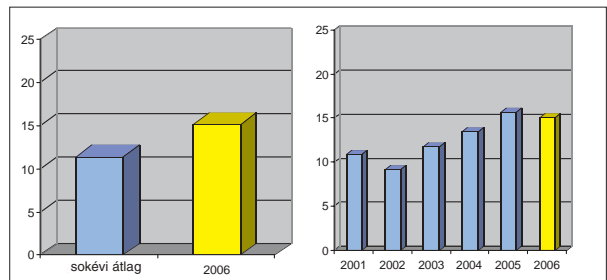
### Árhullám a Dunán

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



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

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

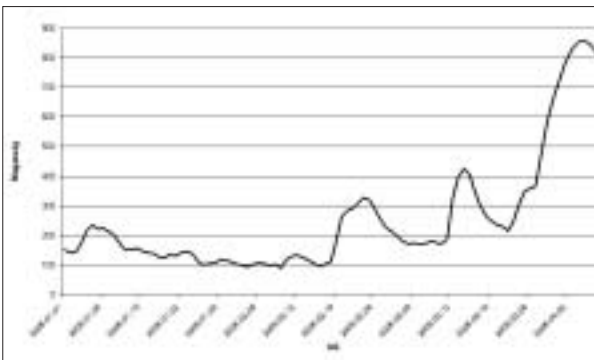


5. ábra: A hóban tárolt vízkészlet értéke 2006-ban és a sokéves átlag, valamint az elmúlt évek hóban tárolt vízkészlet értékei. Duna-Nagymaros



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

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



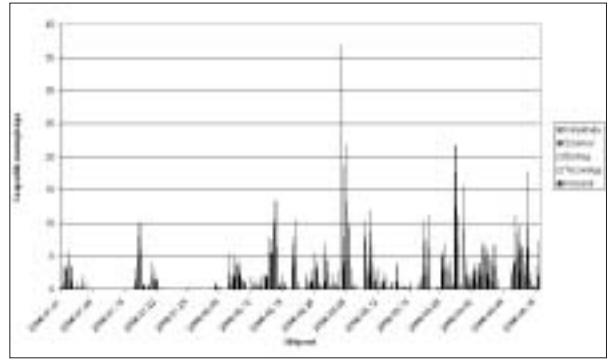
6. ábra: A Duna vízállásának alakulása Budapesten 2006. január 1. és április 8. között

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

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

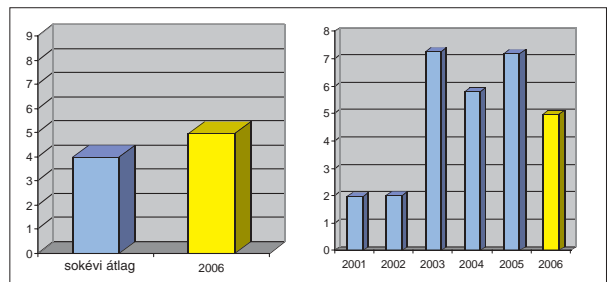
## Árhullám a Tiszán

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



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

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



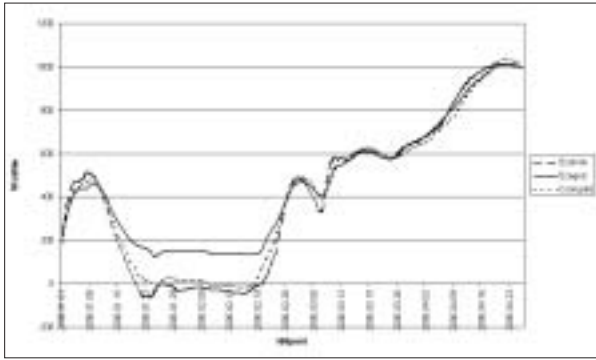
8. ábra: A hóban tárolt vízkészlet értéke 2006-ban és a sokéves átlag, valamint az elmúlt évek hóban tárolt vízkészlet értékei. Tisza-Szeged

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

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

## Összefoglalás

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



9. ábra: Vízállások alakulása a Tiszán

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

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

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

**Homokiné Újváry Katalin**

### Irodalom

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

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

Dr. Gauzer Balázs – Bartha Péter, 2006: Tájékoztató a Dunán és a Tiszán 2006. tavaszán várható lefolyási viszonyokról [www.vituki.h](http://www.vituki.h)

## KISLEXIKON

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

### β-hatás

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

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

### e-szereződés

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

A természetes logaritmus alapszámának ( $e$ ) értékével jellemezhető növekedés.

### fraktál alakzat

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

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

### Ljapunov-exponens

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

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

### Rossby-hullám

Gyüre B. és társai: Környezeti áramlások

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

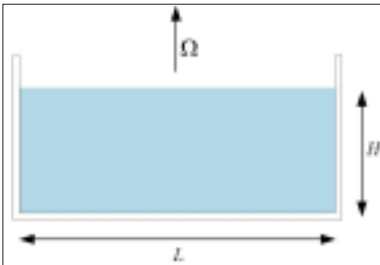
Folytatás a 33. oldalon.

# KÖRNYEZETI ÁRAMLÁSOK SZEMELVÉNYEK A KÁRMÁN LABORATÓRIUM KÍSÉRLETEIBŐL\*

## 2. rész: Kísérletek forgatott folyadékokkal

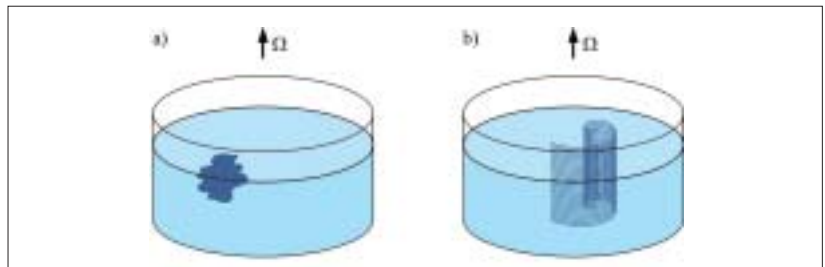
### Az áramlások két-dimenziós jellege: a Taylor-oszlop

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



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

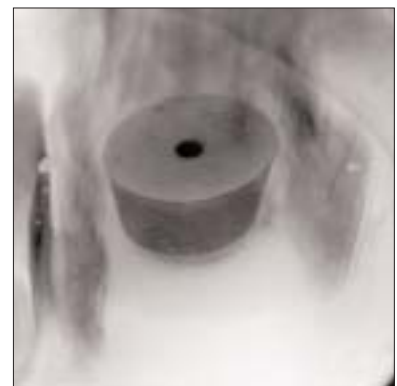
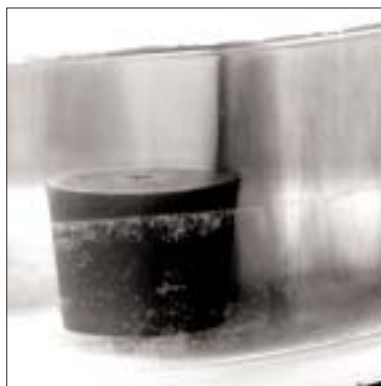
A forgatás (csakúgy, mint a rétegzettség) már önmagában is két-dimenzióssá igyekszik tenni az áramlást. Geosztrofikus egyensúlyban a Coriolis-erő és az azt kompenzáló nyomási gradiens erő a vízszintes síkban hatnak, nincs függőleges (a forgástengellyel párhuzamos) összetevőjük. Az egymás alatti vízszintes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



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



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



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

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

Egy másik kísérletben egy, a

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

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

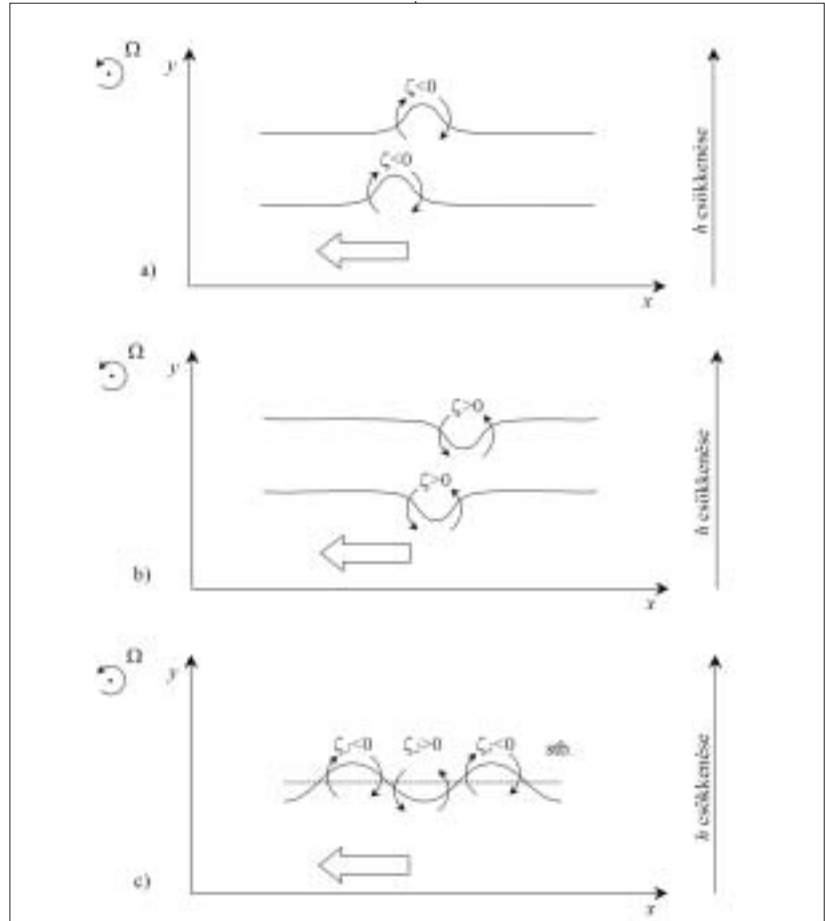
csak az edény alján, hanem a víz teljes mélységében, hiszen az áramlás minden szinten azonos. A henger feletti folyadékoszlop áll a hengerhez (és az edényhez) képest (28, 29 ábra). Ezt az ún. Taylor-oszlopot áramolja körbe a környező folyadék, ami festéssel jól láthatóvá tehető.

### A Rossby-hullám

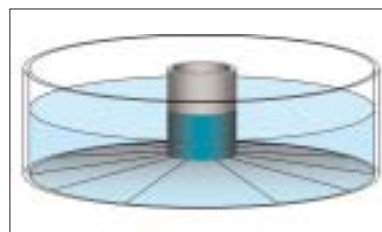
A geosztrofikus áramláshoz a kis pozitív Rossby-szám esetén hozzáadódó, gyengén időfüggő mozgást közelgeosztrofikusnak, kvázigeosztrofikusnak nevezünk. Ennek egyik legfontosabb fajtája, az ún. Rossby-hullám\*, amely a forgatott közegek leglassúbb periodikus mozgása.

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

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



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

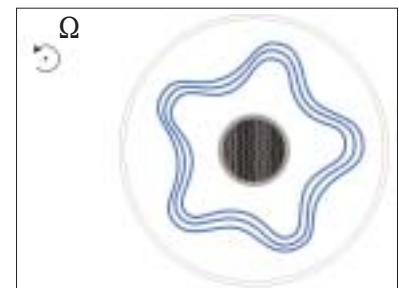


31. ábra: Enyhén kúpos aljú edény, mellyel a  $\beta$ -hatás laboratóriumban létrehozható

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

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

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



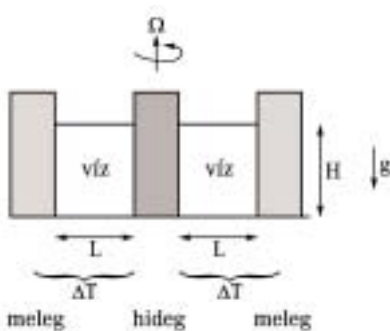
32. ábra: Laboratóriumban demonstrált Rossby-hullám felülnézetben



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

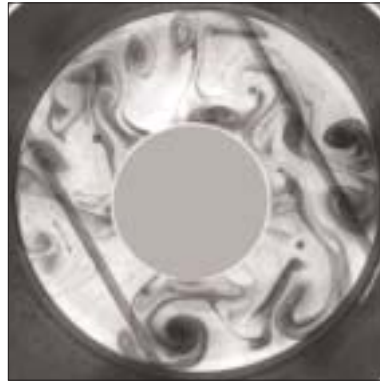
### A baroklin instabilitás kísérleti kimutatása

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



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

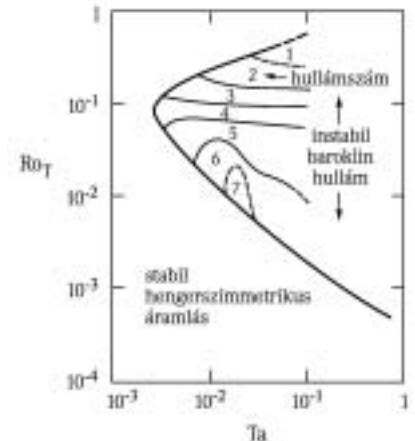
Az áramlást ismét a vízbe juttatott kis mennyiségű festékkel tesszük láthatóvá. A paraméterek változtatásával a hőmérsékletkülönbség hatására kialakuló, eredetileg forgásszimmetrikus termikus áramlás instabillá válik, ez a baroklin instabilitás. Az instabilitás hatására kialakuló baroklin hullámok a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



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

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

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



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

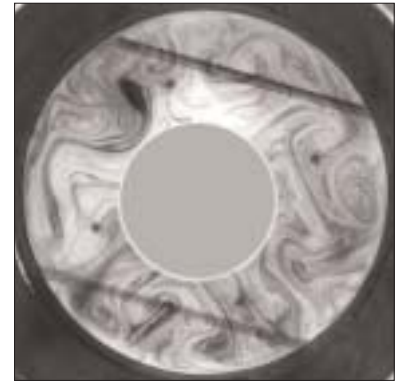
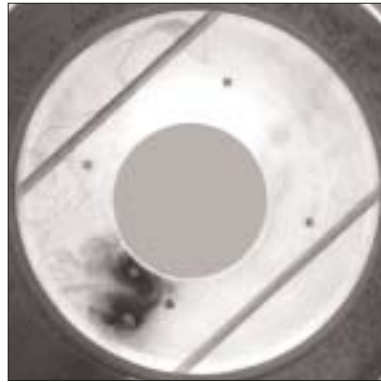
Adott hőmérsékletkülönbség mellett a forgatási sebesség növelése a 35. ábrán egy -1 meredekségű egyenesen lefelé történő elmozdulásnak felel meg. Az egyenes annál feljebb fut, minél nagyobb  $\Delta T$ . Azt látjuk, hogy a létrejövő instabilitás során leggyorsabban növekvő hullámok hossza (azaz a megfigyelt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

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

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

### **Szennyezések nagyskálájú terjedése**

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



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

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

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

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

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

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

### **Irodalom**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Dr. Starosolszky Ödön

(1931–2006)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Dunkel Zoltán**

## Hús év történet a csernobili katasztrófa: baleseti kibocsátás modellezése

### 1. BEVEZETÉS

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

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

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

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

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

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

### 2. BALESETI KIBOCSÁTÁS MODELLEZÉSE

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

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

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



### 3. RADIOAKTÍV SZENNYEZŐANYAG TERJEDÉSI MODELLEK

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

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

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

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

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

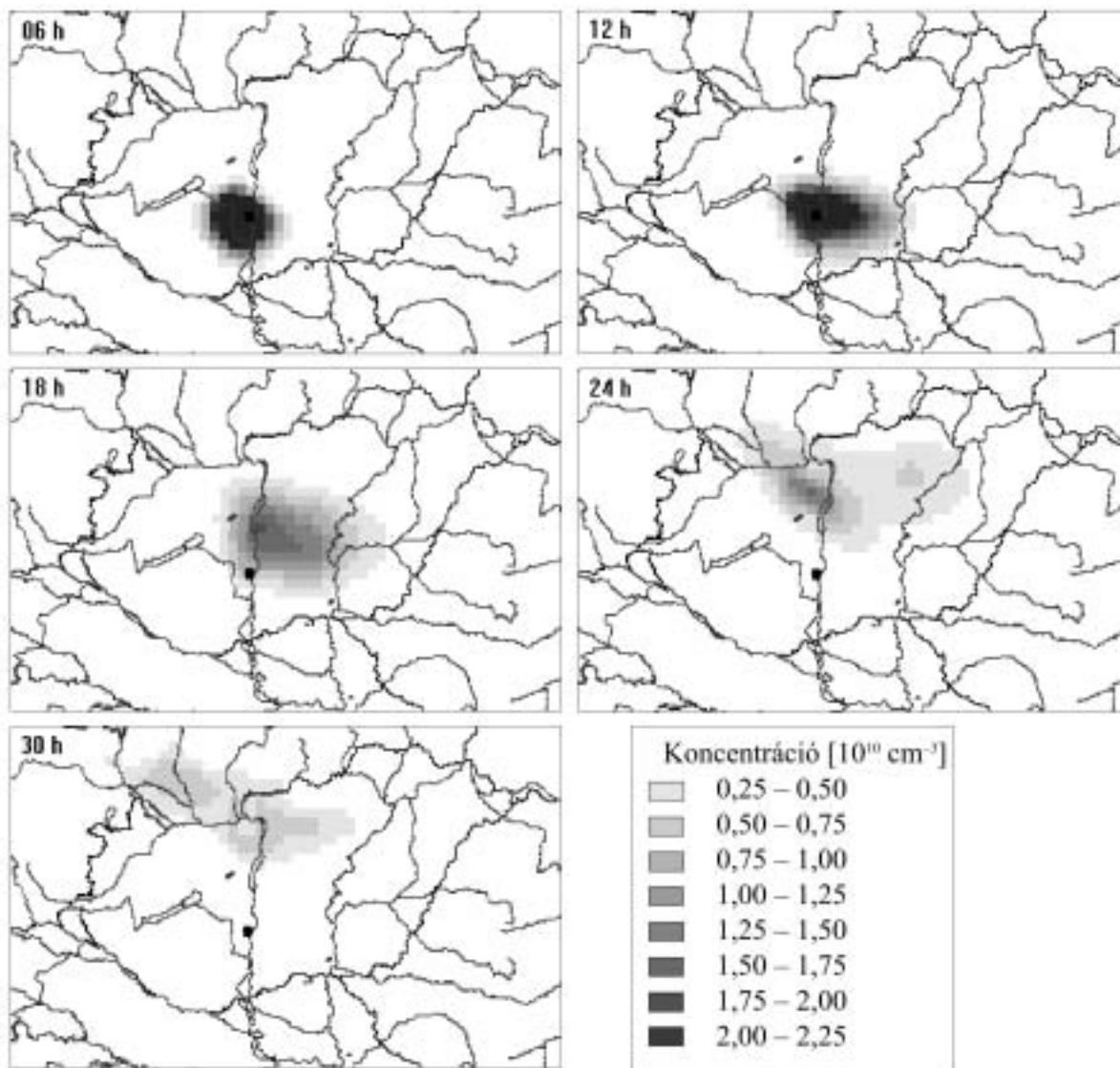
### 4. A TREX MODELL

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

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

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

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



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

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

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

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

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

**Köszönetnyilvánítás.** Kutatásainkat az OTKA D048673 (Posztdoktori Pályázat), OTKA F047242 (kutatói pályázat) és a Békésy György Posztdoktori Kutatói Ösztöndíj támogatták.

**Vincze Csilla<sup>a</sup>, Lagzi István<sup>b</sup>, Mészáros Róbert<sup>a</sup>  
a ELTE Meteorológiai Tanszék  
b ELTE Kémiai Intézet**

### *Irodalomjegyzék*

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

## IDŐJÁRÁSI TÍPUSOK LÉGSZENNYEZETTSÉG CENTRIKUS OBJEKTÍV OSZTÁLYOZÁSA SZEGEDRE

### ÖSSZEFOGLALÓ

A dolgozat meghatározza a Kárpát-medence fölött előforduló jellegzetes időjárási típusokat a téli (december, január és február), valamint a nyári (június, július és augusztus) hónapokban, majd feltárja, hogy ezen időjárási típusok milyen szerepet játszanak a hagyományos fő légszennyező anyagok feldúsulásában/felhígulásában. Az ECMWF adatbázisára alapozva elkészítettük a 00 órákor UTC mért napi tengersizinti légnomási mezőket minden egyes időjárási típusra (clusterre) azon célból, hogy kiderítsük a tengersizinti légnomási mezők és a légszennyező anyagok koncentrációi közötti kapcsolatot Szegeden. A dolgozat adatbázisa 12 meteorológiai elem és 8 légszennyező paraméter napi értékeit tartalmazza az 1997-2001 közötti ötéves periódusra vonatkozóan. A jellegzetes időjárási típusok objektív definiálása a faktoranalízis és a clusteranalízis módszereinek alkalmazásával történt. Eredményeink szerint a téli hónapokban az elsődleges légszennyező anyagok koncentrációit tekintve öt időjárási típust (clustert) különítettünk el, melyek magasabb koncentrációkat jeleznek abban az esetben, ha magas a besugárzás, valamint alacsony a szélsébség. Ez akkor fordul elő, amikor egy anticiklon található centrumával a Kárpát-medence fölött, továbbá akkor, amikor egy anticiklon figyelhető meg a Kárpát-medencétől délre, mely befolyásolja Magyarország időjárását. Alacsony légszennyezőanyag koncentrációk pedig akkor fordulnak elő, amikor zonális légáramlások határozzák meg a Magyarország fölötti időjárási folyamatokat. A nyári hónapok során az anticiklon-centrum helyzet, illetve az anticiklon peremhelyzetek a leggyakoribbak a Kárpát-medence fölött. (Anticiklon peremhelyzet fennállásakor a Kárpát-medence egy magas nyomású légköri képződmény peremén található.) Nyáron a magas besugárzás és a rendkívül alacsony NO<sub>x</sub> koncentrációk miatt a másodlagos légszennyező anyagok erősen feldúsulnak.

### 1. BEVEZETÉS

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

## 2. SZEGED ÉGHAJLATA ÉS LEVEGŐMINŐSÉGE

### 2.1. Éghajlat

A Köppen-féle klímaosztályozás szerint Magyarország területének legnagyobb része – Csongrád megyével és a szegedi agglomerációval együtt – a Cf klímazónába tartozik (*Köppen, 1931*), melyet meleg-mérséklet éghajlat jellemez csaknem egyenletes évi csapadékeloszlással („C” az abc szerinti felsorolásban a harmadik klímátípust jelöli, míg az „f” jelentése: állandóan nedves, minden hónapban hullik csapadék, száraz időszak nincs), illetve *Trewartha* (1943) szerint a D.1 klímazóna része, melyre kontinentális éghajlat a jellemző hosszabb meleg évszakkal („D” az abc szerinti felsorolásban a negyedik klímátípust jelöli, míg az „1” azon belül az első altípusra utal).

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

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

### 2.2. Levegőminőség

Egy részletesebb analízis a környezetminőséget és a környezeti tudatosságot alapul véve Szegedet a vizsgált 88 magyarországi város közül a 32. helyre rangsorolta. [Az 1. helyre rangsorolt város rendelkezett a legjobb környezeti feltételekkel (*Makra et al., 2002*)]. A magyarországi Regionális Immisszió Vizsgáló (RIV) állomásokon 2001-ben mért – a levegőminőségi küszöbértéket meghaladó – szennyezőanyag koncentrációk alapján Szeged levegőminősége egy háromkategóriás osztályozási rendszert (megfelelő, közepesen szennyezett, szennyezett) figyelembe véve a „szennyezett” kategóriába tartozott (*Mohl et al, 2002*). Szegeden a nitrogén-oxidok (NO<sub>x</sub>), az ózon, valamint a 10 m-nél kisebb átmérőjű részecskék (PM<sub>10</sub>) koncentrációi túllépek az EU levegőminőségi küszöbértékeit. [A PM<sub>10</sub> napi (24-órás) koncentrációja 11-19-szer magasabb, míg évi koncentrációja kétszer magasabb, mint a 2005. január 1.-től érvényes EU-küszöbérték!]

## 3. ADATBÁZIS

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

### 3.1. Légszennyező anyagok

A figyelembe vett 8 légszennyező paraméter a következő légszennyezők átlagos napi tömegkoncentrációi: CO (mg m<sup>-3</sup>); NO (g m<sup>-3</sup>), NO<sub>2</sub> (g m<sup>-3</sup>), SO<sub>2</sub> (g m<sup>-3</sup>), O<sub>3</sub> (g m<sup>-3</sup>) és PM<sub>10</sub> (g m<sup>-3</sup>), valamint az NO<sub>2</sub>/NO napi arányai és az O<sub>3</sub> (g m<sup>-3</sup>) napi maximális tömegkoncentrációi.

### 3.2. Meteorológiai paraméterek

A tekintett 12 meteorológiai paraméter napi adatai a következők: középhőmérséklet (T<sub>mean</sub>, °C), maximum hőmérséklet (T<sub>max</sub>, °C), minimum hőmérséklet (T<sub>min</sub>, °C), napi hőmérsékleti terjedeleme (T = T<sub>max</sub> – T<sub>min</sub>, °C), szélesség (WS, m s<sup>-1</sup>), relatív nedvesség (RH, %), globális sugárzás (I, MJ m<sup>-2</sup> nap<sup>-1</sup>), telítettségi gőznyomás (E, hPa), gőznyomás (VP, hPa), potenciális párolgás (PE, mm), harmatpont hőmérséklet (Td, °C) és légnyomás (P, hPa).

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

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

#### 4. MÓDSZEREK

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

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

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

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

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

#### 5. EREDMÉNYEK

##### 5.1. Téli hónapok

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. Cluster: Ezt nevezhetjük úgy is, mint „anticiklon a Kárpát-medence fölött”. Ezt a légnomási rendszert magas légnomás jellemzi Közép-Európa fölött. Ez az időjárási típus az összes vizsgált nap 12,5%-ra jellemző és a következő időjárási paramétereknek hozzá: magas globális sugárzás (középtértéke = 5,4 MJ m<sup>-2</sup>), a hőmérsékleti paraméterek (napi középhőmérséklet, maximum- és minimum-hőmérséklet) legalacsonyabb értékei, a légnedvesség paraméterek (gőznyomás, telítettség gőznyomás, potenciális párolgás és harmatpont hőmérséklet) legalacsonyabb értékei, továbbá igen alacsony szélsebesség (0,3 m s<sup>-1</sup>). Ilyen időjárási feltételek esetén az elsődleges légszennyező anyagok (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> és a PM<sub>10</sub>, az NO kivételével) erősen feldúsulnak a belvárosban a csekély átszellőzés, valamint az éjszaka során kialakult hőmérsékleti inverziók következtében (Horváth et al., 2002). Ezen időjárási típus fennállásakor – a csekély borultsággal összhangban – a másodlagos légszennyező anyagok koncentrációi (O<sub>3</sub> és O<sub>3max</sub>) viszonylag magasak.

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

3. Cluster: Az Azori-szigetek felől magas nyomású nyelv húzódik Közép-Európa fölé. Ez a helyzet azonban csak februárban jellegzetes. Fennállásakor egy anticiklon elérheti Közép-, sőt Kelet-Európát is, csendes, napos időjárást okozva, magas hőmérsékletekkel és erős szelekkel. A CO, SO<sub>2</sub> és a PM<sub>10</sub> alacsony koncentrációi az 1. Clusterben tapasztalható értékekhez képest azzal magyarázhatók, hogy az öt cluster közül ebben a clusterben a legnagyobb az átlagos szélsebesség. Mivel az NO átlagos koncentrációja az 1. és a 3. Clusterben megegyezik, az ózon nagyobb feldúsulása a 3. Clusterben az 1. Clusterbeli értékéhez képest a csekélyebb borultsággal magyarázható. (Ez azonban csak abban az esetben igaz, ha nincs advekció.)

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

fölötti magas nyomású képződmény ebben a clusterben kiterjed a Mediterráneum keleti része fölé. A nagyon alacsony szélsőségek miatt az elsődleges légszennyező anyagok koncentrációi (az SO<sub>2</sub> kivételével) rendkívül magasak (CO = 0,93 mg m<sup>-3</sup>; NO = 44,0 µg m<sup>-3</sup>; NO<sub>2</sub> = 47,2 µg m<sup>-3</sup>; PM<sub>10</sub> = 61,4 µg m<sup>-3</sup>). Egyidejűleg a globális sugárzás is magas. Az ózon koncentrációja azonban mégsem magas. Ennek oka az NO legmagasabb koncentrációi, beleértve az NO<sub>2</sub>/NO arány legalacsonyabb értékeit, melyek a következő lebomlási folyamat révén megakadályozzák az ózonképződést: NO + O<sub>3</sub> → NO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>.

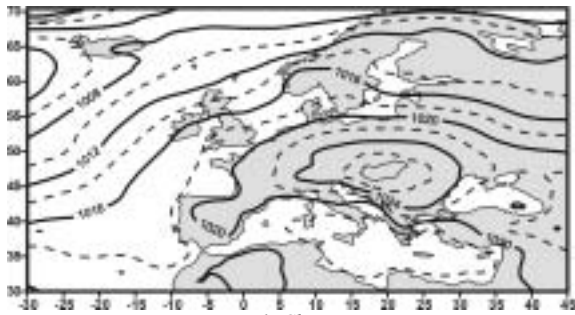
5. Cluster: Intenzív zonális áramlás figyelhető meg Európa fölött. Ez az időjárási típus az összes napok 20,1%-át teszi ki, s decemberben a leggyakoribb. Fennállásakor erős szelek tapasztalható Szegeden. Légnomási rendszere zonális áramlást jelez a Kárpát-medence fölött, mely az elsődleges légszennyezők viszonylag alacsony koncentrációit vonja maga után. Különösen igaz ez az SO<sub>2</sub>-re és a PM<sub>10</sub>-re, melyek ebben a típusban veszik föl a legalacsonyabb koncentrációikat. Másrészt a legnagyobb borultság (I = 2,7 MJ m<sup>-2</sup>, csakúgy, mint a 2. Clusterben), közepes NO-koncentrációval az ózonparaméterek legalacsonyabb koncentrációit eredményezik (O<sub>3</sub> = 20,2 µg m<sup>-3</sup>; O<sub>3max</sub> = 39,0 µg m<sup>-3</sup>).

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

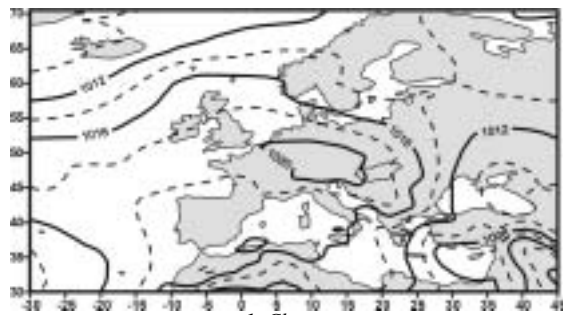
1. táblázat

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

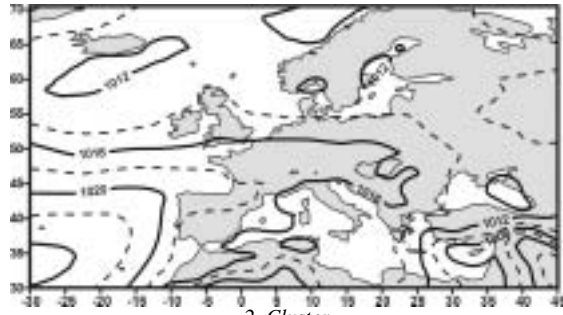
ANOVA-statisztikák a légszennyező koncentrációk időjárási típusok közötti összehasonlítására  
(december, január és február)



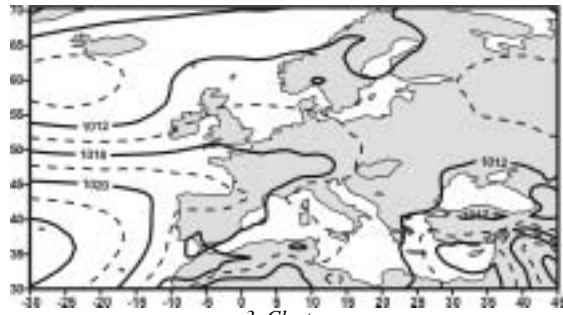




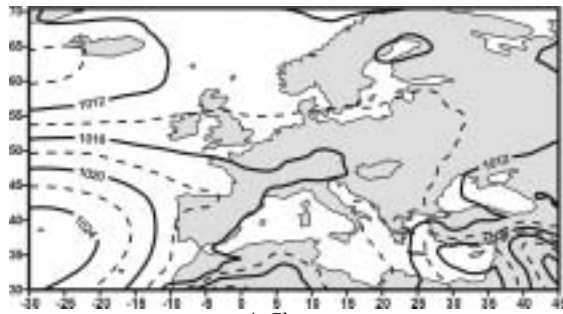
1. Cluster



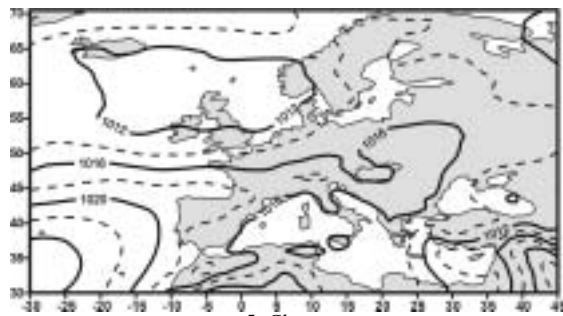
2. Cluster



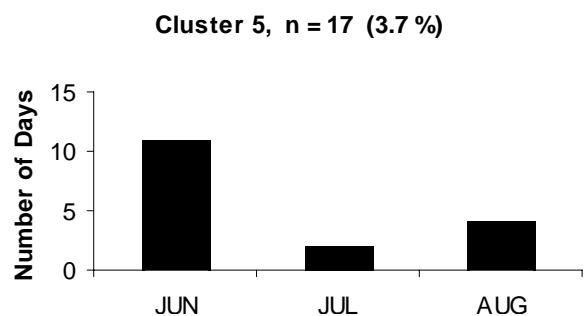
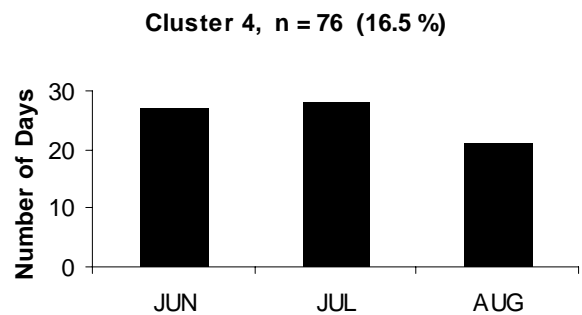
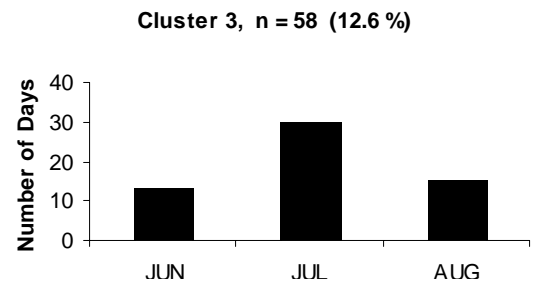
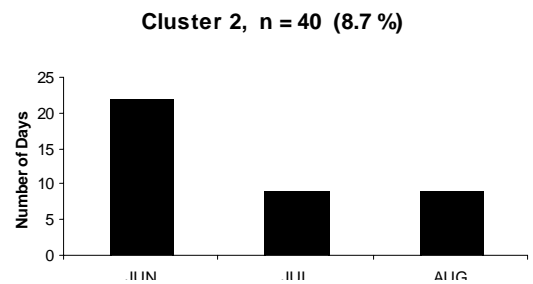
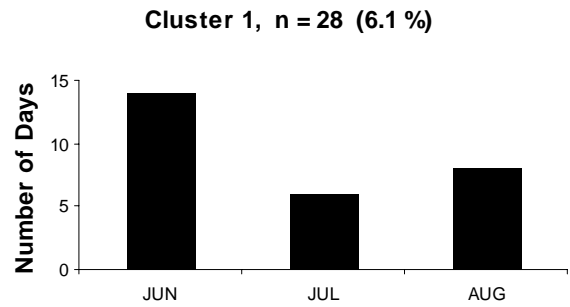
3. Cluster



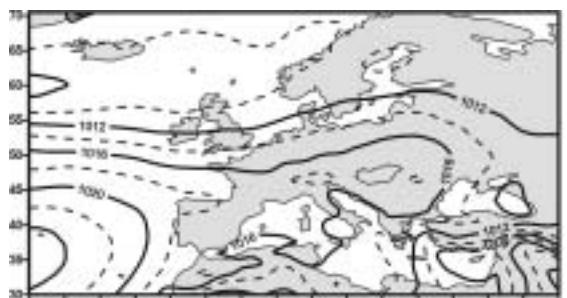
4. Cluster



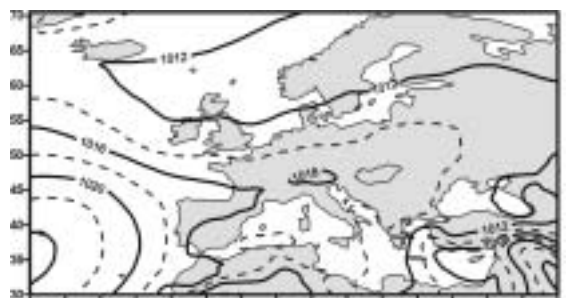
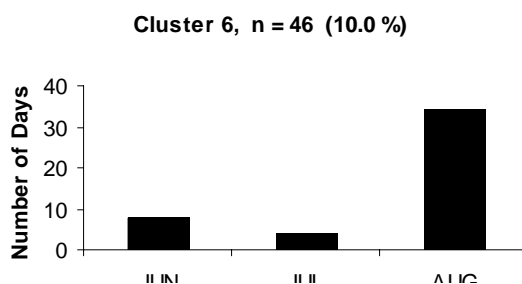
5. Cluster



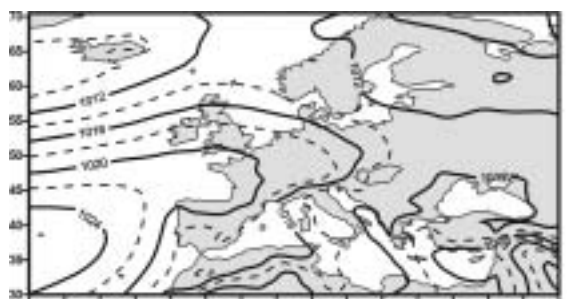
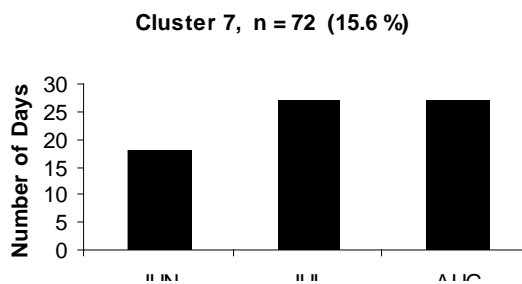
2. ábra Az egyes időjárás típusok (clusterek) közepes tengerszinti légnyomási mezői, valamint a vizsgált napok számának havi változásai, Észak-atlanti – Európai térség, nyári hónapok (június, július és augusztus)



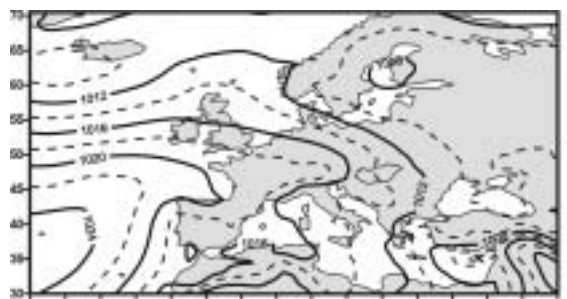
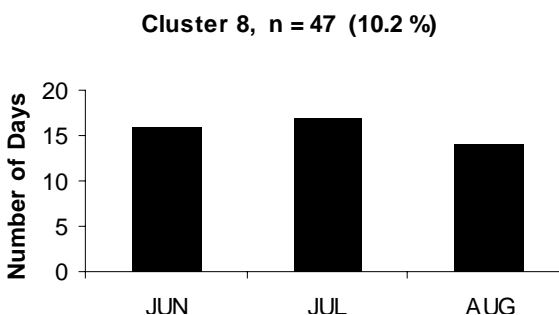
6. Cluster



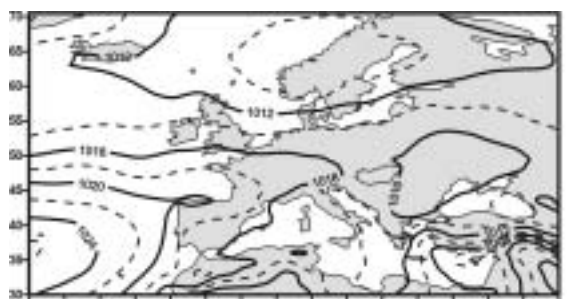
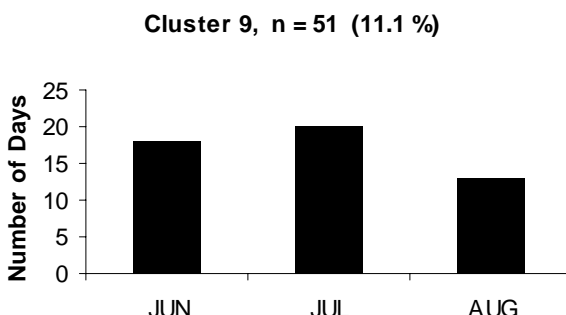
7. Cluster



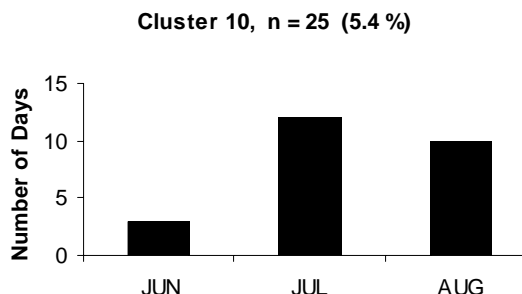
8. Cluster



9. Cluster



10. Cluster



2. ábra folytatása

2. táblázat

1				
2	NO <sub>2</sub> O <sub>3</sub> max SO <sub>2</sub> PM <sub>10</sub>	2		
3	CO SO <sub>2</sub> PM <sub>10</sub>	CO NO <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	
4	NO SO <sub>2</sub>	NO NO <sub>2</sub> PM <sub>10</sub>	CO NO O <sub>3</sub> max PM <sub>10</sub>	4
5	O <sub>3</sub> max SO <sub>2</sub> PM <sub>10</sub>		CO O <sub>3</sub> max O <sub>3</sub>	NO NO <sub>2</sub> PM <sub>10</sub>

Időjárási típus – légszennyezettség differencia mátrix (téli hónapok). Minden egyes mátrix cellában két időjárási típust hasonlítottunk össze.

A mátrix cellákban található légszennyező anyagok koncentrációi szignifikánsan eltérnek egymástól az adott két időjárási típus között a Tukey-féle differencia-tesztet alapján (normál karakter: az eltérés a 95%-os valószínűségi szinten szignifikáns, bold karakter: az eltérés a 99%-os valószínűségi szinten szignifikáns).

## 5.2. Nyári hónapok

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

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

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

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

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

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

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

1. Cluster: Az összes vizsgált nap 6,1%-át tartalmazza. Egy Nyugat-Európa felől Skandináviát kivéve Európa belseje fölé kiterjedő magas nyomású rendszer jellemzi, mely magába foglalja a Kárpát-medencét is. Együttal Délnyugat-Ázsia felől DK-Európa fölé egy fejlett termikus alacsony légnyomású rendszer húzódik. Ebben az időjárási helyzetben a léghőmérséklet az összes clustert tekintve a legalacsonyabb. Ez azzal magyarázható, hogy ebbe a clusterbe többségében júniusi napok tartoznak. Következésképpen, az elsődleges (CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>/NO és PM<sub>10</sub>, kivéve az SO<sub>2</sub>-t), valamint a másodlagos (O<sub>3</sub> és O<sub>3</sub>max) légszennyező anyagoknak ebben a clusterben a legalacsonyabbak a koncentrációi.

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

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

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

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

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

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

3. táblázat

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

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

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

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

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

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

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

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

## 6. ELEMZÉS

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

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





jelentős szerepet játszanak a szennyezőanyagoknak Szeged belvárosában történő feldúsulásában. A téli hónapokra kapott eredmények azt mutatják, hogy az elsődleges légszennyező anyagok nagyobb koncentrációban fordulnak elő, amikor mind a felhőzet, mind a szélesség csekély (1. és 4. típusok; 1. ábra). Ez az eset fordul elő, amikor egy anticiklon található a Kárpát-medence fölött (1. Cluster), továbbá amikor a Magyarországtól délre eső térség egy anticiklon hatása alatt áll, mely befolyásolja hazánk időjárását (4. Cluster). Az elsődleges légszennyezők koncentrációi akkor alacsonyak, amikor Magyarország fölött zonális áramlások uralkodnak (a szélesség ekkor a legnagyobb) (3. Cluster, átmeneti típus és 5. Cluster). A nyári hónapok légnyomási rendszere nehezebben kategorizálható, mivel ekkor a légnyomási mezők változékonysága és a gradiensek kisebbek, mint télen. Ez elsősorban az anticiklon-centrum helyzet, valamint az anticiklon peremhelyzetek túlsúlyának tulajdonítható. Az alacsony felhőzet és a rendkívül, alacsony NO-koncentrációk hatására ekkor a másodlagos légszennyezők meglehetősen fődúsulnak. Megjegyzendő, hogy nyáron az O<sub>3</sub>-koncentrációk a télen mért értékek dupláját mutatják.

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

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

## HIVATKOZÁSOK

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

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

**Makra László, Bécsi Rita, Sümegey Zoltán,  
SZTE Égh. és Tájf. Tsz.  
Mika János OMSZ,  
Motika Gábor ATVKTVE,  
Szentpéteri Mária SZTE Tanítóképző Int.**

\*\*\*

## Helyreigazítás

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

## NÉHÁNY SZÓ A TAVASZRÓL

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



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

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

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

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

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

1. táblázat

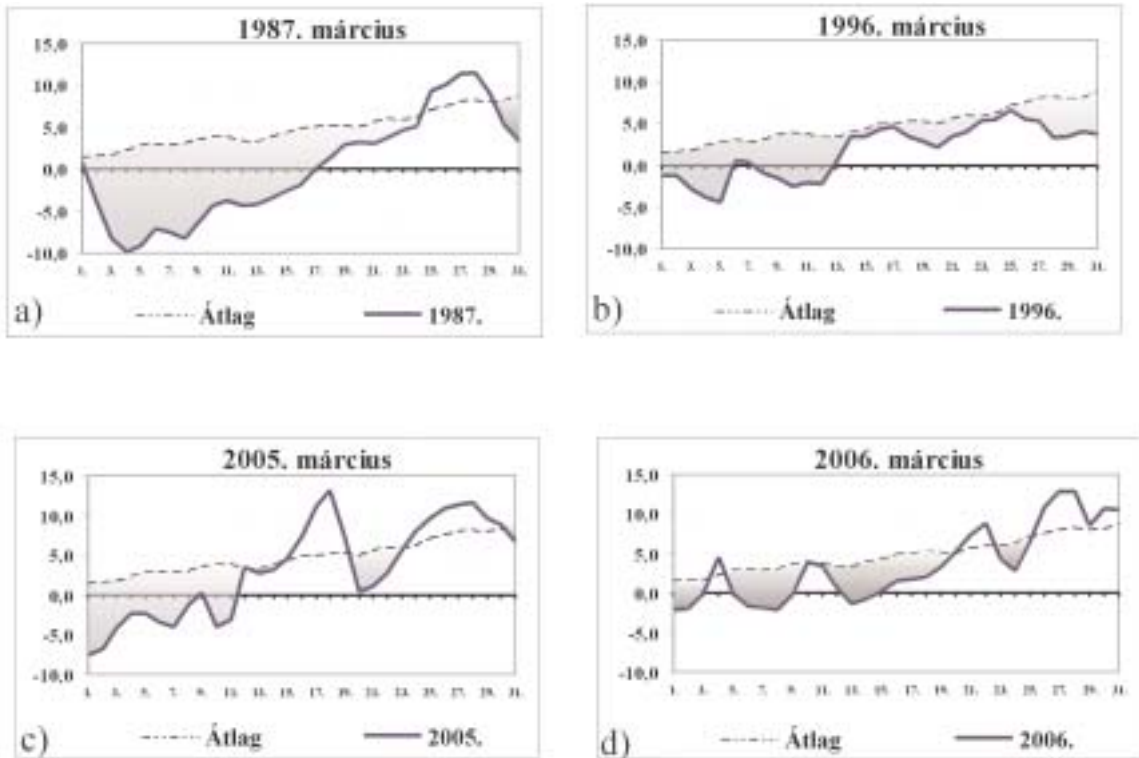
Év	1987.	1932.	1958.	1931.	1962.	1996.
Havi középhőmérséklet, °C	0,0	0,4	0,9	1,3	1,5	1,7

Márciusi középhőmérsékletek alakulása a leghidegebb márciusokban

2. táblázat

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

Márciusi középhőmérsékletek alakulása a legmelegebb márciusokban



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

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

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

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

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

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

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

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

**Kalmár Györgyné**

## A szélenergia hasznosításának környezeti hatása

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

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

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

Mindezek a problémák szükség-szerűvé teszik, hogy az emberiség kifejlészen olyan olcsó, bőséges

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

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

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

### A szél energiája

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

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

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

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

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

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

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

Azt hiszem, hogy a fentiek kelően meggyőző érveket szolgáltatnak arra, hogy érdemes és szükséges valóban komolyan foglalkozni a szélenergia termelés környezeti hatásaival, hiszen az iparág megakadályozhatatlan lendülettel fejlődik hazánkban is.

## A szélérőművek környezeti hatása

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

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

Zaj 0,018 – 0,275 Ft/KWh

Globális melegedés 0,038 Ft/KWh

Savasodás 0,18 Ft/KWh

Terület használat 0,065 Ft/KWh

Balesetveszély 0,023 Ft/KWh

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

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

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

## Árnyék és árnyék-vibrálás

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

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

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

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

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

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

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

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

## Baleseti kockázat

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

### **Beavatkozás a légköri áramlási rendszerbe**

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

A nagy kiterjedésű szélfarmok esetén a kérdés nem csak elméleti,

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

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

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

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

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

Milyen következményei lehetnek?

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

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

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

### **Elektromágneses interferencia**

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

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

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

## Erózió

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

## Madár- és denevérpusztulás, biológiai sokszínűség sérülése

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

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

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

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

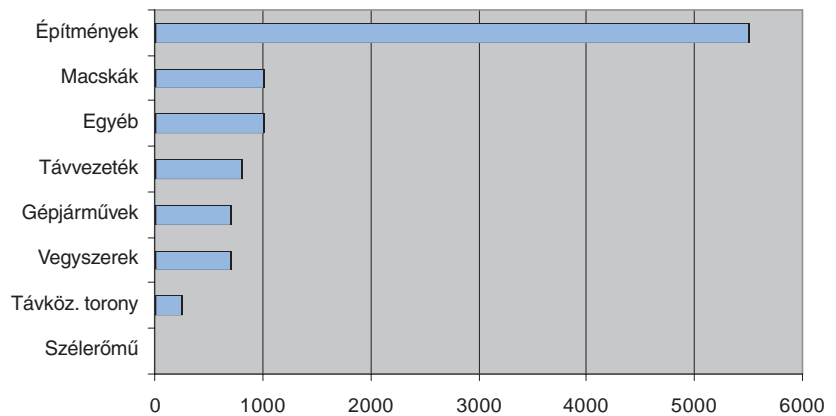
A javaslatok szerint az erőművek telepítésénél kerüendő a védett madarak tartózkodási területei, a vándorlási útvonalak, az az élettér ahol sok madár tartózkodik, továbbá a költőhelyek környezete (*Chapman*, 2003.).

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

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

Áthidaló megoldásként az újabb

Madárpusztulás oka 10000 esetből



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

## Táj-terhelés (látvány)

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

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

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

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

Összefoglalóan mondhatjuk, hogy e tárgykörben nincs általános-

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

### Terület-foglalás

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

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

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

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

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

### Zaj kibocsátás

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. táblázat

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

Összehasonlító zaj adatok

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

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

### Infra- és alacsonyfrekvenciás zaj kibocsátás

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

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

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

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

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

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

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

**Mersich Iván**

#### Irodalom

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

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

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

Christiansen, M.B. and Hasager C.B. 2006 Wind farm wake mapping from SAR

Risoe National Laboratory, Frederiksbergvej 399, DK - 4000 Roskilde, Denmark

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

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

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

Shadow Flicker Briefing Wind Farm Measurements and Modeling 2003 [www.efsec.wa.gov/wildhorse/deis/appendices](http://www.efsec.wa.gov/wildhorse/deis/appendices)

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

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

Tempest W. and Leventhall H.G. 2004 Proceedings, 11th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control Maastricht, Netherlands,

20-MW Wind Farm and Associated Energy Storage Facility Environmental Assessment, 2002

[www.tva.gov/environment/reports/windfarm](http://www.tva.gov/environment/reports/windfarm)

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

[www.nationalwind.org](http://www.nationalwind.org)

## KISLEXIKON

Folytatás az 5. oldalról.

### Bq aktivitás

Vincze Cs. és társai: Húsz éve ...

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

alatt, vagyis  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ . A mértékegységet a radioaktivitás egyik felfedezőjéről, a francia Henri Becquerelről (1852–1908) nevezték el.

### K-elmélet

Vincze Cs. és társai: Húsz éve ...

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

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

**Összeállította: Gyuró György**

# A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

Rovatvezető: Maller Aranka

## Rendezvényeink 2006. április 1-június 30 között

### Előadó ülések, rendezvények:

**Május 25.**

#### a Magyar Meteorológiai Társaság Tisztújító Közgyűlése.

Program:

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

### Június 1.

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

### A 2006. évi TÁRSASÁGI DÍJAKKAL kitüntetettek névsora

#### STEINER LAJOS EMLÉKÉREM

Haszpra László

#### SZAKIRODALMI NÍVÓDÍJ

Matyasovszky István: Statisztikus klimatológia. Idősorok elemzése.

#### RÓNA ZSIGMOND ALAPÍTVÁNY 2005. ÉVI KAMATAI

Radics Kornélia

#### BERÉNYI DÉNES EMLÉKDÍJ

Galló Vilmos

## Közhasznúsági jelentés a Magyar Meteorológiai Társaság 2005. évi tevékenységéről

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

Az MMT hatályos Alapszabálya értelmében az alábbi közhasznú tevékenységeket végzi:

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

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

### 1. Költségvetési támogatás felhasználása

Közvetlenül az állami költségvetésből támogatást nem kaptunk.

#### 1.1 Egyéb támogatás

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

#### 1.2 Kapott közhasznú támogatások kimutatása:

Országos Meteorológiai Szolgálat jogi tagdíja 780e Ft, az

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

### 2. A vagyon felhasználásával kapcsolatos kimutatás:

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

### 3. Cél szerinti juttatások kimutatása:

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

### 4. Vezető tisztségviselőknek nyújtott juttatások:

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



## 5. Szakmai tevékenységünket a főtítkári beszámoló tartalmazza

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Az MMT hatályos Alapszabálya értelmében az alábbi közhasznú tevékenységeket végzi:

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

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

Társaságunk közhasznú szervezetként működik. Ennek jegyében

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

## 6. Számviteli beszámoló:

Statisztikai számjel: 19815826-9112-529-41

A szervezet megnevezése: *Magyar Meteorológiai Társaság*

A szervezet címe: *1027 Budapest, Fő u 68.*

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

adatok E Ft-ban

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

A beszámolót Pusztainé H. Magdolna bejegyzett mérlegképes könyvelő készítette.

Nyilvántartási száma: PM 168451

A mérleg könyvvizsgálattal nincs aláíratva.

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

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

adatok E Ft-ban

### Tájékoztató adatok (E Ft-ban)

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

## 7. Az Ellenőrző Bizottság jelentése

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

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

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

Bevételi oldalon a jogi tagdíj és az NCA pályázati összeg, csökkent a kamat, az egyéni tagdíj és a bértámogatás.

A működési költségek közül mint várható volt, az anyag- és szolgáltatási tételek emelkedtek. Viszont a kiadási oldalt két évi EMS tagdíj terheli, a 2006. évi is előre ki lett fizetve. Az 1.877e Ft hiány a korábbi évek tartalékából fedezhető volt, de így a gondos gazdálkodás mellett is fogy a vagyon. (Részletes kimutatás alább.)

Az MMT szakmai tevékenysége az előző évekhez hasonlóan alakult, megfelelt az Alapszabályban lefektetett elveknek. A központi rendezvényeket a főtitkári beszámoló értékelte, emellett aktívan működik továbbra is a Róna Zsigmond Kör.

Az EB a könyvelési bizonylatokat és a leltári nyilván tartást rendben levőnek találta.

Bevételek:	2004 tény	2005 terv	2005 tény	2006 terv
<i>Működés:</i>				
Egyéni tagdíj	401	350	309	500
Jogi tagdíj	780	1.000	1.395	1.300
SZJA 1%	357	350	329	350
MTESZ támogatás	0	0	0	0
Mecenatúra tám. működésre	0	500	500	500
NKÖM bértámogatás	157	157	92	157
Mecenatúra tám. tagdíjra	95	0	200	0
Kamat	833	500	578	400
Egyéb KH bevétel	537	2.000	887	2.000
<i>Működés összesen:</i>	<i>3.160</i>	<i>4.857</i>	<i>4.290</i>	<i>5.207</i>
<i>Rendezvény</i>	<i>230</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>750</i>
<b>Összes bevétel:</b>	<b>3.390</b>	<b>4.857</b>	<b>4.290</b>	<b>5.957</b>

Kiadások:				
<i>Működés</i>				
anyag ktg.	46	100	85	100
posta	274	300	465	400
pénzügyi, számviteli szolg.	440	440	0	520
egyéb szolg.ktg.	105	150	192	192
belf.kiküld.	6	10	0	20
bér	1.776	2.041	1.865	1.920
bérráulékok	610	650	635	640
megbízási díj	0	0	165	0
megb.díj járuléka	0	0	28	0
könyvtalványok, díjak	220	200	198	200
utazási támogatás	270	0	0	0
reprezentáció	30	40	28	40
étk. ktg.tér.	42	48	46	72
BKV bérlet	0	0	64	75
ÉCS	180	200	169	100
MTESZ tagdíj m <sup>2</sup>	682	1.000	800	750
bank ktg.	106	120	79	80
egyebek	396	130	273	150
EMS tagdíj	90	100	191	0
nem visszaig. ÁFA	0	0	306	0
<i>Összes működési ktg.</i>	<i>5.273</i>	<i>5.539</i>	<i>6.167</i>	<i>5.257</i>
<i>Rendezvényi kiadások</i>	<i>300</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>700</i>
<b>Összes kiadás</b>	<b>5.573</b>	<b>5.539</b>	<b>6.167</b>	<b>5.957</b>
<i>Működési eredmény:</i>	<i>-2.113</i>	<i>-682</i>	<i>-1.877</i>	<i>-50</i>
<i>Rendezvényi eredmény:</i>	<i>-70</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>50</i>
<b>Tárgyévi összeredmény:</b>	<b>-2.183</b>	<b>-682</b>	<b>-1.877</b>	<b>0</b>

## 8. Jelen közhasznúsági jelentést az MMT Közgyűlése 2006. május 25.-én elfogadta.

\*

### A Magyar Meteorológiai Társaság 2006. évi tisztújító közgyűlésén megválasztott új vezetőség

*Tiszteletbeli elnök:* Szász Gábor

*Elnök:* Major György

*Társelnökök:* Ambrózy Pál

Dunkel Zoltán

*Főtitkár:* Gyuró György

*Titkárok:* Maller Aranka

Zemankovicsné Hunkár Márta

*Szerkesztő:* Tünczer Tibor

*Jegyző:* Pusztainé H. Magdolna

*Tudományos Tanács:*

Antal Emánuel

Bartholy Judit

Bozó László

Götz Gusztáv

Tóth Pál

Mészáros Ernő

Probáld Ferenc

Szepesi Dezső

Haszpra László

Weidinger Tamás

*Ellenőrző Bizottság:*

*elnök:* Gajzágó László

*tagok:* Buránszkiné Sallai Márta

Hirling György

Horányi András

*Fegyelmi Bizottság:*

*elnök:* Sándor Valéria

*tagok:* Tar Károly

Tölgyesi László

*Tudománytörténeti Bizottság:*

*elnök:* Mezősi Miklós

*tagok:* Bodolai Istvánné

Bereczky László

*Választmány:* Ács Ferenc

Bálint Gábor

Bóna Márta

Domonkos Péter

Faragó Tibor

Geresdi István

Homokiné Ujváry Katalin  
 Horváth Ákos  
 Horváth Csaba  
 Ihász István  
 Ináncsi László  
 Károssy Csaba  
 Kerényi Judit  
 Kapitány Ervinné  
 Lőrincz Andrea  
 Makra László  
 Mersich Iván  
 Mika János  
 Nagy Sándor  
 Práger Tamás  
 Szalai Sándor  
 Szegedi Sándor  
 Tóth Róbert  
 Tőkei László  
 Varga Miklós  
 Varga Zoltán  
 Vig Péter

Tóth Zoltán  
 Unger János  
 Wantuchné Dobi Ildikó

*Választmányi póttagok:*

Rimócziné P.A.  
 Varga László  
 Zsoldos Erzsébet  
 Wantuch Ferenc

*Tiszteleti tagok:*

Barát József  
 Bodolai Istvánné  
 Czelnai Rudolf  
 Dobosi Zoltán  
 Hallamáné Lépp Ildikó  
 Justyák János  
 Kéri Menyhért  
 Kőrösi György  
 Koppány György  
 Szász Gábor  
 Vissy Károl

## OLVASTUK...

### Gyorsul a grönlendi jég olvadása

A grönlendi gleccserek, amelyek az utolsó jégkorszak vége óta lomhán vánszorognak az óceán felé, az utóbbi években felgyorsultak. Egyre több jéghegy szakad le róluk, amelyek elolvadva hozzájárulnak a világtenger további szintemelkedéséhez. A globális felmelegedés következtében bolygónk minden részén megfigyelhető a tengeri és a szárazföldi jégtakaró visszahúzódása. A folyamat nem kíméli sem a magashegységek gleccsereit, sem a grönlendi jégárakat.

Grönland Földünk legnagyobb szigete, közel 20 magyarországnyi (1 833 900 négyzetkilométer) összefüggő jégtakaróval rendelkezik, amely 2.85 millió köbkilométer jeget zár magába. Ha ez a hatalmas mennyiség elolvadna, 7 méterrel emelné meg a világtenger szintjét. Az utóbbi években több tudományos kutatás is foglalkozott a grönlendi jéggel. Ezek megállapították, hogy miközben a jégmező a peremvidéken fogyatkozik, addig a sziget középső részén és az 1500 m feletti régiókban vastagodik a sziget jégtakarója. A napokban újabb eredményt közöltek Eric Rignot (JPL) és Pannir Kanagaratnam (Kansas Egyetem) kutatók a Science-ben. Méréseik szerint a grönlendi gleccserek egyre nagyobb sebességgel haladnak a tenger felé. Akad olyan, amely évente 14 kilométert is megtesz. A kutatók 30 grönlendi gleccser mozgását vizsgálták műholdas adatokat felhasználva. A legjelentősebb sebességnövekedést a sziget déli részének jégárainál

tapasztalták. Kutatásuk azt is alátámasztotta, hogy a jégtakaró bizonyos részei időnként valóban vastagabbá válnak. A sziget középső részén 2003-ban 78 köbkilométerrel gyarapodott a jég, melyet a hó megnövekedett mennyisége okozott. Ugyanakkor ez az időszakos növekedés sem tudja ellensúlyozni a jégmező peremvidéken megfigyelhető olvadást. Számításaik szerint Grönland 220 köbkilométernyi jeget veszít évente. Ez éppen kétszer akkora mennyiség, mint egy évtizeddel ezelőtt.

Az olvadás következtében a gleccserek talpazata síkosabbá válik és a jégárak mozgása felgyorsul. Ennek következtében egyre több jéghegy szakad le róluk a partokon (ún. borjadzás), melyek elolvadva hozzájárulnak a világtenger szintemelkedéséhez. A kutatók szerint Grönland déli részén a felszíni hőmérséklet emelkedése, míg az északon az ideáramló melegebb légtömegek okozzák a gleccserek sebességnövekedését. Az elmúlt 20 évben a levegő hőmérséklete a sziget délkeleti részén 3 fokkal emelkedett és 2350-re akár 8 fokkal is magasabb lehet az átlaghőmérséklet.

A kutatást műholdradar-interferometriás módszerrel végezték, felhasználva az ESA ERS-1, ERS-2 és Envisat holdjainak, valamint a kanadai Radarsat-1 mesterséges holdnak különböző időpontokban, hosszú éveken át rendszeresen gyűjtött adatait.

**Úrkaleidoszkóp XX. évfolyam, 3. szám**

**Közreadta: H. Bóna Márta**

## 2006 TAVASZÁNAK IDŐJÁRÁSA

Az év első két hónapjához hasonlóan **március** is több mint 1 fokkal hidegebb volt a sokévi átlagnál, a hónap középhőmérséklete országos átlagban 3,6 °C-nak adódott. A negatív anomália túlnyomórészt a március első felében uralkodó, az átlagosnál 3-5 fokkal hidegebb időszaknak volt köszönhető: március 20-ig mindössze két napon haladta meg a normálértéket a napi középhőmérséklet. A hónap végén aztán beköszöntött a tavasz, március 27-én az északnyugati ország részben a 25 °C-ot is meghaladta a nappali felmelegedés.

Márciusban országsszerte 15-20 nap volt fagyos, téli nap valamint zord nap azonban – a hegyvidéki területeket kivéve – már csak 0-2 nap fordult elő.

*A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 25,6 °C Sopron (Győr-Moson-Sopron megye) március 27.*

*A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: -18,8 °C Vásárosnamény (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye) március 9.*

Január és február csapadékviszonyaihoz hasonlóan március is csapadékosabb volt az átlagnál, országos átlagban a hónap csapadékösszege mintegy 20%-kal haladta meg az ilyenkor szokásos értéket. A csapadékhozam területi eloszlásában azonban markáns különbségek mutatkoztak: míg az ország középső és nyugati vidékein a normálnak 70-120%-a hullott le, az északkeleti ország rész csapadékhozama egyes területeken az átlag kétszeresét is elérte.

A hónap első felének jellemző csapadéka még a hó volt, az országos havazások, orkán erejű széllel párosulva komoly fennakadásokat okoztak. Március 20-át követően csapadék már csak eső formájában hullott, a hónap végére pedig az Északi-középhegységet kivéve a hó mindenütt elolvadt.

*A hónap legnagyobb csapadékösszege: 120 mm Kocsord (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)*

*A hónap legkisebb csapadékösszege: 21 mm Derekegyház-Kétkő (Csongrád megye)*

*24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 28 mm Vízvár (Somogy megye) március 10.*

**Április** közel 2 fokkal melegebb volt a szokásosnál, középhőmérséklete országos átlagban 11,9 foknak adódott. A hónap első felében még sűrűn váltogatták egymást a normálnál melegebb és hidegebb időszakok (áprilisban mindössze 6 nap középhőmérséklete maradt el a sokévi átlagtól), 14-től kezdve aztán egészen a hónap végéig kellemes, késő tavaszi, az átlagnál esetenként 6-8 fokkal melegebb időben volt részünk.

Áprilisban az Északi-középhegység területét kivéve fagy már csak 1-4 napon fordult elő, április végén pedig már nyári napot is regisztráltak, országsszerte 1-3 alkalommal.

*A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 27,2 °C Pápa (Veszprém megye) április 26.*

*A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: -6,0 °C Zabar (Nógrád megye) április 8.*

Április az árvizek jegyében telt, először a Duna, majd a Tisza és a Körösök mentén kellett elrendelni a legmagasabb, rendkívüli fokozatú árvíz-védekezési készültséget. A védeke-

zést nehezítette, hogy április országos átlagban a szokásosnál közel 40%-kal csapadékosabb volt, bár a csapadék időbeli és térbeli eloszlása nem volt egyenletes. A havi csapadékmennyiség közel fele a hónap utolsó hetében hullott, és míg az ország nagy részén átlag feletti volt a csapadékhozam, addig az északi-középső régióban a szokásos mennyiségnek csupán 40-80%-a hullott. A legtöbb csapadékos napot (11-14) az ország keleti szélén regisztrálták, máshol 5-10 nap volt csapadékos. Havazás áprilisban 1 napon fordult elő az ország területén.

*A hónap legnagyobb csapadékösszege: 162 mm Debrecen (Hajdú-Bihar megye)*

*A hónap legkisebb csapadékösszege: 13 mm Tiszaújváros (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)*

*24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 65 mm Debrecen (Hajdú-Bihar megye) április 20.*

2006 **májusban** elkerültek minket az elmúlt években már megszokottá vált kora nyári nagy melegek. A napi középhőmérsékletek a hónap folyamán átlag körül ingadoztak, sem rendkívüli hidegre, sem nagy melegre nem volt példa: országos átlagban május középhőmérséklete a pontosan sokévi átlagnak megfelelően alakult, 14,9°C-nak adódott. A hónap lehidegebb napja 1-je volt, amikor a legnagyobb nappali felmelegedés az ország nagy részén nem haladta meg a 12-15 fokot. Május legmelegebb napján (23-án) ezzel szemben országsszerte 26-32°C-os maximumhőmérsékletet regisztráltak.

Fagy már csak a hegyvidéki területeken fordult elő, május 2 napján, nyári napot ezzel szemben 2-8 alkalommal regisztráltak. A déli ország részben 1 hőségnap is előfordult.

*A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 31,7 °C Sátorhely (Baranya megye) május 23.*

*A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: -0,8 °C Zabar (Nógrád megye) május 5.*

Május csapadékosabb volt a sokévi átlagnál, folytatva így a havi csapadékösszegekben tapasztalható, év eleje óta tartó tendenciát. A csapadékhozam országon belüli megoszlása ezzel együtt megint nem volt egyenletes. A Dunántúl középső területein valamint a nyugati határszélen átlag körül (valamivel alatta) alakult a havi csapadékösszeg, míg az Északi-középhegység területén illetve a délnyugati országhatár mentén helyenként az ilyenkor szokásos összeg kétszeresét is meghaladta a havi csapadékhozam. Májusban átlagosan 15-20 napon fordult elő csapadék hullás – a déli ország részben csak 10-15 nap volt csapadékos. Az évszaknak megfelelően a havi csapadékmennyiség döntő többsége zivatartevékenységből származott, csendes, áztató eső május folyamán csak egy-két napon fordult elő.

*A hónap legnagyobb csapadékösszege: 185 mm Iklódbördöce (Zala megye)*

*A hónap legkisebb csapadékösszege: 30 mm Szentes-Nagytóke (Csongrád megye)*

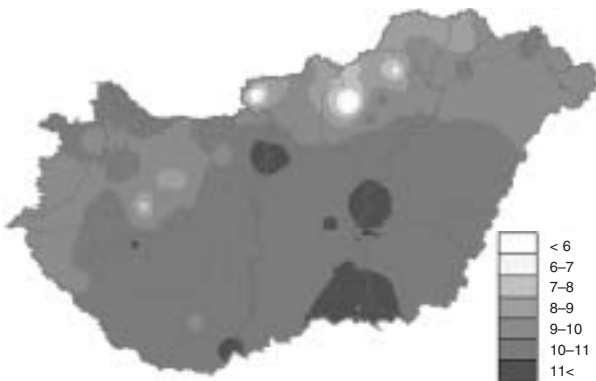
*24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 55 mm Szakály (Tolna megye) május 14.*

Schlanger Vera



## 2006. tavasz

állomások	napsütés (óra)		hőmérséklet (°C)					csapadék (mm)			szél	
	évsz.össz.	eltérés	évsz.közép	eltérés	absz.max.	napja	absz.min	napja	évsz.	összátlag%-ában	Imm-<napok sz.	viharos napok
Szombathely	517	-22	9,7	0,3	25,6	2006.05.16	-10,0	2006.03.06	143	98	26	10
Nagykanizsa	548	14	9,9	-0,2	28,1	2006.05.28	-9,3	2006.03.07	223	130	25	6
Győr	527	-31	10,4	-0,1	26,6	2006.04.25	-6,2	2006.03.02	185	153	29	11
Siófok	564	-21	10,9	0,2	28,1	2006.05.22	-4,7	2006.03.01	119	90	22	16
Pécs	529	-42	10,9	0,3	29,7	2006.05.23	-8,4	2006.03.01	192	123	24	8
Budapest	546	-4	11,3	0,4	26,9	2006.05.16	-7,4	2006.03.01	151	124	31	5
Miskolc	480	-49	9,8	-0,2	28,1	2006.05.23	-7,6	2006.03.09	229	168	34	7
Kékestető	446	-92	4,8	-0,3	22,0	2006.05.23	-11,3	2006.03.01	294	138	35	19
Szolnok	486	-89	11,6	0,7	29,8	2006.05.23	-6,3	2006.03.08	145	117	28	-
Szeged	543	-13	10,8	-0,2	30,8	2006.05.23	-11,3	2006.03.03	149	124	25	10
Nyíregyháza	-	-	9,9	-0,5	28,6	2006.05.23	-12,9	2006.03.09	212	175	35	18
Debrecen	520	-56	10,4	-0,2	29,0	2006.05.23	-9,8	2006.03.03	290	215	36	6
Békéscsaba	523	-41	10,8	0,0	30,1	2006.05.23	-7,4	2006.03.02	163	119	28	7



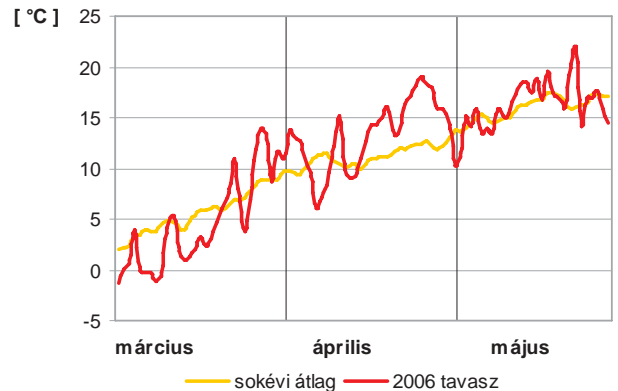
1.ábra: A tavasz középhőmérséklete °C-ban



2.ábra: A tavasz csapadékösszege mm-ben



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



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

# TÖRTÉNELMI ARCKÉPEK

## MARGULES, Max

(Brody /Galícia/, 1856. április 23. – Perchtolds /Bécs mellett/, 1920. október 4.)



Osztrák fizikus, kémikus és meteorológus. 1880-ban bécsi főiskolai magántanár, 1882-től 1906-ig az osztrák meteorológiai intézet titkára. Munkái az aerodinamika elméleti területén jelentősek. A róla elnevezett Margules-féle egyenlet összefüggést állapít meg a frontfelület hajlásszöge, a front vonalával párhuzamos tengelyek sebességkomponensei és a légtömegek sűrűsége (hőmérséklete) között. Sz.P. Hromov tankönyve: A dinamikus meteorológia alapjai, egy fejezete (41.§.) részletesen foglalkozik frontokkal kapcsolatos megállapításaival. Margules elméleti vizsgálatai a maga korában úttörő jellegűek voltak, melyek a viharokkal, zivatarokkal és szélroham vonalakkal (bőékkal) foglalkoztak. A fizika és kémia területén is kiválót alkotott. A világtól való elidegenedése akadályozta meg abban, hogy mint főiskolai tanár elméleti eredményeinek megfelelő állást foglaljon el. Korán nyugdíjba vonult, magányosan, az első világháború végén már nyomorogva nem tudta magát elhatározni, hogy külső, anyagi segítséget vegyen igénybe. Exner, az osztrák intézet igazgatója a remete módjára teljes visszavonultságban és a háború után roppant szegénységben élő tudóst falusi magányában többször fölkereste, de segítséget tőle sem fogadott el. Az elszegényedett tudós végzetét 1920-ban már az orvosok sem tudták befolyásolni, nagy nyomorban éhenhalt.

S.A.