

L É G K Ö R

51. évfolyam

2006. 3. szám



L É G K Ö R

51. évfolyam
3. szám

Felelős szerkesztő:
Dr. Ambrózy Pál
a szerkesztőbizottság
elnöke

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

ISSN 0133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Dunkel Zoltán
az OMSZ elnöke

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

Felelős vezető:
Modla Lászlóné

Évi előfizetési díja 1380 Ft

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

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI
SZOLGÁLAT ÉS A MAGYAR
METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

TARTALOM

A címlapon: Szegedi Observatorium, 2006. július 13.
A felvételt Haszpra Tímea készítette

Unger János, Gál Tamás, Kovács Péter: A városi felszín és hősziget kapcsolata Szegeden	2
Gyuró György: Faludy György recski emlékei Tóth Gézaról	9
Szinyei Dalma, Vincze Csilla: Talajnedvesség-becslő modell tesztelése és alkalmazása magyarországi adatsorokon	10
Kitüntetés	12
Dr. Koppány György: Az előrejelzés fogalmáról és az előrejelezhetőségről	13
Szalai Sándor: Az Európai Meteorológiai Társaság 8. közgyűlése Ljubljánában	15
Horváth Ákos: Pusztító zivatarláncok	16
KISLEXIKON	19
Seres András, Ács Ferenc: A szinoptikus helyzetek és a felszín közeli légkör stabilitási viszonyainak párhuzamos elemzése	20
Balogh Miklós: Repülőgépes mérések felhasználása az ALADIN számszerű időjárás-előrejelzési modellben	24
Hegyfokya Kabos hamvai a Nemzeti Sírkertben	26
Bartók Blanka, Csákerényi - Nagy Gergely: A napenergia hasznosítás meteorológiai adottságai Debrecen térségében	27
Dr. Domonkos Péter: Zivatarfelhők szokatlan fényjelenségei	32
Hidy Dóra, Barcza Zoltán, Haszpra László, Galina Churkina: Gyeppek szén-dioxid forgalmának modellezése	33
KISLEXIKON	36
A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI	37
HUNGEO 2006	37
Az Országos Meteorológiai Szolgálat Közleménye	38
Schlanger Vera: 2006 nyarának időjárása	39

A VÁROSI FELSZÍN ÉS A HŐSZIGET KAPCSOLATA SZEGEDEN

1. rész: Térinformatikai eljárás a felszíngeometria számszerűsítésére

1. Bevezetés

Települési környezetben a megváltozott felszínborított-ság jelentősen befolyásolja a terület energia- és víz-egyenlegét, ami lokális léptékű klímamódosuláshoz vezet. A változások közül a városok hőmérsékleti többlete jelenik meg a legmarkánsabban (*Landsberg 1981, Kuttler 2005*). A kialakuló városi hősziget (urban heat island – UHI) három szinten lehet világosan megfigyelni és elkülöníteni: a felszínen (e.g. *Voogt and Oke 1997, Dezső et al. 2005*), a jelen tanulmányban is vizsgált felszínközeli (házak közötti) néhány méteres légrétegben (e.g. *Unger 1996*) és a városi tetőszint feletti légtérben (e.g. *Rotach et al.*).

A felszínközeli UHI elsősorban az urbanizált részek és a külterületek között jelentkező eltérő hűlési és felmelegedési ütem következménye. Nagysága (intenzitása) amellet, hogy jellegzetes napi járást mutat, a városon belül meglehetősen eltérő mértékű. A hősziget kialakulására és intenzitására hatással lévő faktoroknak, illetve azok nagyságrendi szerepének meghatározása, modellezése bonyolult, részben a város összetett vertikális és horizontális tagoltsága, részben pedig a mesterséges hő- és szennyezőanyag-kibocsátás miatt.

A témával foglalkozó kutatások számos lehetséges kiváltó tényezőt vizsgáltak meg. Már a kezdeti lépéseknél nyilvánvalónak látszott, hogy a hősziget maximális erőssége a város méretétől függ. A különböző kontinensek városait összehasonlító vizsgálatok rámutattak arra, hogy az egyes földrészekeken tapasztalható városi hőszigetek jellege, erőssége más és más, melyre legkézenfekvőbb magyarázatként az adódik, hogy a különbséget az eltérő építési anyagok és szokások okozzák (*Park 1987*).

Az éjszakai hősziget elsősorban a városi felszínnek a külterülettől eltérő hosszuhullámú kisugárzása miatt alakul ki. A nappal eltárolt hőmennyiség a tagolt felszíngeometria miatt csak korlátozottan tud a sugárzás révén eltávozni, hiszen annak egy része az égbolt helyett az épületek falában nyelődik el és részben onnan visszasugárzódik a felszín felé. Így a városi felszín módosítja a sugárzási viszonyokat, ezzel a város sugárzási mérlegét és energiaegyenlegét is, amelynek következtében a város légtere melegebbé válik környezeténél, vagyis kialakul a hősziget.

A városi hősziget kifejlődésének vizsgálatához tehát fontos a városi felszín geometriáját jellemezni. Ennek a felszíni tagoltságnak a számszerűsítésére az *égboltláthatósági index* (sky view factor – SVF) az egyik megfe-

lelő paraméter (*Oke 1988*). E paraméter fizikai megmondolásból származtatható, részletesebb kifejtését a következő fejezet tartalmazza.

A geometriai szerkezet feltárásában nagy segítséget jelenthet a térinformatikai megoldások alkalmazása. A városi geometria ugyanis nagyon jól modellezhető 3D-s adatbázis segítségével, amely azután térinformatikai alapokra helyezett elemzések adatforrásként szolgálhat.

E cikkben célunk egy olyan eljárás bemutatása, amely képes megoldani a városi geometria jellemzését és számszerűsítését egy 3D-s épület-adatbázis alapján. Így lehetővé válik, hogy az összetett városi felszín szerkezete teljes egészében feltérképezhető legyen időigényes terepi mérések nélkül. A cikk 2. részében (amely a *Légkör* folyóirat következő számában jelenik majd meg) az új eljárással kapott eredmények segítségével elemezzük a városi hősziget és a városi geometria kapcsolatát Szegeden (a város területének egyharmadát lefedő mintaterületen), valamint, hogy az eredményeket összevetjük a korábbi kutatásokból származó terepi mérések eredményével.

2. Az SVF megközelítése, értékének számítása

A *láthatósági index* (view factor – VF) egy arányszám, amely azt fejezi ki, hogy egy adott felületről kisugárzott energiamennyiség mekkora része nyelődik el egy másik felület által (*Oke 1987*). Tehát ez egy dimenzió nélküli mennyiség, melynek minimális értéke 0, maximális értéke pedig 1 lehet (ekkor az összes kisugárzott energia elnyelődik). A VF értékek összege az adott, 1-lel jelölt felületről „látható” összes felületre természetesen 1 lesz, azaz:

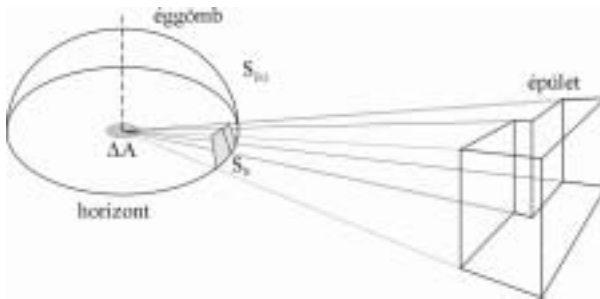
$$VF_{1-2} + VF_{1-3} + \dots + VF_{1-n} = 1$$

Tekintsük a felszín egy pontját, amelyből az égboltnak valamely része látható, valamint tegyük fel, hogy ez a pont a hosszuhullámú tartományban sugároz. A pontból kiinduló sugárzás egy része a pont körüli felületeken elnyelődik (épületek, növényzet, stb.), a maradék része viszont az égbolt irányába távozik. Így kiszámíthatjuk, hogy a felszín egy pontjából származó sugárzás mekkora része nem nyelődik el a pont környezetében. Ez az arány az *égboltláthatósági index* (SVF). Értelemeszerű tehát, hogy az SVF kiszámítható, ha az 1 értékből levonjuk az összes, a földfelszíni pontból „látható” felületekre számított VF-t.

Városi felszín esetében az épületek – hiszen ezek a felszín legfontosabb építőelemei – befolyásolják legin-

kább az SVF értékét. A továbbiakban, leegyszerűsítve, városi felszínen szigorúan csak a legjellemzőbb városi objektumok, az épületek együttesének felszínét értjük.

Az égbolt egy részét tehát az épületek eltakarják, a maradék része pedig látható marad. Az adott – végtelen kicsinek tekintett – felületelemből (ΔA) nézve az égbolt épületek által eltakart részét úgy kapjuk meg, hogy az egyes épületeket vetítősugarakkal leképezzük az éggömböt reprezentáló félgömbre (1. ábra).

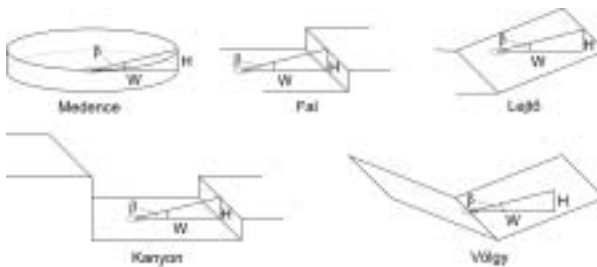


1. ábra Egy adott épület által korlátozott égboltláthatóság meghatározása

Az éggömbön keletkezett S_B -vel jelölt rész azt mutatja, hogy milyen részt takar ki az épület a ΔA -ra vonatkoztatva az égboltból, azaz milyen alakúnak „látszik” az épület az adott földfelszíni pontból. Ebben az esetben tehát az égboltláthatósági index nem más, mint:

$$SVF = 1 - VF_{\Delta A-\text{épület}} = 1 - VF_{\Delta A-SB}$$

Néhány tipizált és leegyszerűsített geometriai elrendezés esetében viszonylag egyszerű feladat meghatározni az SVF értékét. A 2. ábra ezeket az eseteket szemlélteti.



2. ábra Néhány egyszerű geometriai konfiguráció (a jelek magyarázata a szövegben) (Oke 1987)

A medence, a fal, valamint a kanyon esetében a függőleges kiterjedés mértékét H jelöli (mélység, magasság), az adott földfelszíni ponttól való távolságukat pedig W . A medencét teljesen zártnak kell tekinteni, a falat, lejtőt, kanyont és a völgyet pedig végtelen hosszúságúnak. A β -val jelölt szög a lejtő és a völgy esetében azok meredekségét jelzi ($\beta = \arctg(H/W)$), a többi esetben pedig emelkedési szög. Az égboltláthatósági index – az ellipszisekkel jelölt felületekre vonatkoztatva a 2. ábrán – ezekben a speciális esetekben a következő (Oke 1987):

$$SVF_{\text{medence}} = \cos^2\beta \quad (1)$$

$$SVF_{\text{fal}} = SVF_{\text{lejtő}} = (1 + \cos\beta)/2$$

$$SVF_{\text{kanyon}} = SVF_{\text{völgy}} = \cos\beta$$

A későbbiekben (ld. 4.2. szakasz) a medencére vonatkozó SVF értéket használjuk majd fel a kifejlesztett algoritmusban.

3. Az SVF értékének meghatározása városi felszín esetén (irodalmi áttekintés)

A városi környezetre alkalmazott SVF becslési módszereket a következőképpen lehet csoportosítani, címszavakban kiemelve a módszerek lényegét, a megközelítés módját:

- méretarányosan kicsinyített modell,
- analitikus módszer (terepi felmérés – távolság és szögmérés, H/W arány), grafikus becslés,
- halszemoptikával készült fotó manuális és szoftveres kiértékelése,
- GPS* vevő jeleinek kiértékelése,
- geometriai attribútumokat leíró adatbázis (3D) elemzése számítógépes algoritmusokkal.

Oke (1981) egy $0,5 \times 0,5$ m alapterületű makettet épített fából annak demonstrálására, hogy nyugodt, tiszta időjárás esetén a sugárzási veszteség kisebb volta a városi felszín esetén hőmérsékleti többletet eredményez a vidéki környezethez képest. A modellben különböző H/W (utcamagasság/szélesség = 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4) értékekkel kísérletezett, amely azt mutatta, hogy a maximális intenzitás időben annál később következik be, minél nagyobb a H/W érték (minél szűkebbek az „utcák”). A továbbiakban becslést adott a VF és az SVF kiszámítására a H/W hányados segítségével, a városi utcákat végtelen hosszú, állandó magasságú „kanyonként” kezelve.

Az Oke (1981) által megállapított, egyszerűsített utcákra érvényes H/W -SVF kapcsolatot a valós környezetben fekvő utcákra is ki lehet terjeszteni. Ugyanis az utca valamely pontján felállított, s annak irányára merőlegesen mindkét oldalra végrehajtott épületmagasság mérés (pl. teodolit segítségével), valamint az utca szélességének ismerete elegendő a VF, így az SVF értékének megbecsléséhez (Bottyán and Unger 2003). Különálló ház láthatósági faktorának meghatározására Johnson and Watson (1984) adott egy módszert. Később kifejlesztettek egy grafikus megoldást is, melyről leolvasható a keresett SVF érték, ha az adott épület emelkedési és az épület szélességét kifejező azimut szögei rendelkezésre állnak (Watson and Johnson 1987).

Steyn (1980) az SVF értékét halszemoptikával készült fotók alapján közelítette meg (a halszemoptika a középponti szöggel arányos leképezést valósít meg).

A becslés egy integrálközelítő összegben, valamint a kép koncentrikus körgyűrűre való felosztásán alapult. Gondosan megválasztott közelítés segítségével a hiba alacsony értéken tartható. A papírképeket manuálisan értékelték ki, amely igen időigényes eljárás volt. *Barring et al.* (1985) kísérelték meg először a módszer automatizálását videokamerával készített képek digitalizálásával. *Holmer* (1992) a képeket egy számítógéppel összekötött digitalizáló táblán értékelt ki. Az eljárás pontossága és időigénye nagymértékben a körgyűrűk szélességén múlott. A felvételek készítésekor *Grimmond et al.* (2001) alkalmaztak először digitális kamerát, majd a kiértékelést egy erre a célra írt Fortran programmal végezték el. Az autóra szerelt kamera gyors és részletes geometriai információt szolgáltatott egy egész városrészről. Ezt a képanalízist a fényesség és a kontraszt változtatásával *Brown and Grimmond* (2001) fejlesztette tovább. *Chapman et al.* (2002) egy teljesen automatizált eljárást alkalmaztak az égbolt elkülönítésére a sötét skála digitális színfokozatait elemezve az átalakított képeken.

Érdekes annak vizsgálata, hogy hogyan becsülhetők ismeretlen városi területekre az SVF értékek. Arra ugyanis nincs kapacitás, hogy a városi felszín minden egyes pontjáról halszemoptikával készített fotók álljanak rendelkezésre. Lehetséges viszont a városi felszín területhasznosítási klasszifikációja, majd az egyes osztályokhoz tartozó SVF értékek statisztikai elemzése (szórás, variancia, stb.). Az osztályozás alapján lehetséges a módszer további területekre történő kiterjesztése (*Bradley et al.* 2001).

Egy újabb megközelítés az SVF értékének becslésére a helymeghatározó műholdak bevonása a mindenki által elérhető GPS hálózat segítségével. A GPS vevőt ugyanis zavarják az épületek, amelyek a műholdtól érkező jeleket leárnyékolják, valamint a csökkentik a műholdláthatóságot, amiből az SVF közelítő értéke számíthatóvá válik (*Chapman et al.* 2002, *Chapman and Thornes* 2004). A legjobb eredményeket belvárosi területeken mutatták ki, ahol sokkal erősebb a korreláció a GPS készülékkel becsült, valamint a halszemoptikával készített fotók kiértékeléséből származó SVF értékek között, mint a külvárosi és vidéki területeken.

Pontos digitális térképek, valamint a hozzájuk kapcsolódó térbeli adatbázis alapján szintén lehetséges az SVF értékének a kiszámítása (*Souza* 2003, 2004). Az így kapott érték természetesen sosem lesz olyan pontos (hiszen egyfajta modelltől van szó), mint a halszemoptikával készített felvétel kiértékelésekor kapott, ezt viszont elég jól ellensúlyozza, hogy tetszőleges földfelszíni pontra számítható az érték, amennyiben rendelkezésre áll a területre vonatkozó 3D-s adatbázis.

Egy alternatív lehetőség, hogy raszteres állományt alakítunk ki (akár a rendelkezésre álló 3D-s adatokból), amely lefedi a vizsgált területet és e raszteres állomány alapján becsüljük az SVF-t. Természetesen ebben az

esetben olyan algoritmust kell használni, amely a raszteres állománnyal képes dolgozni. A kapott eredmény pontosságát növeli, ha rendelkezésre áll az egyes épületek tetőszerkezetét leíró állomány is (*Brown et al.* 2001, *Lindberg* 2005).

4. Algoritmus az SVF számításához

4.1. A 3D-s adatbázis

A város szerkezetére vonatkozó 3D-s adatbázis tartalma erősen befolyásolja az SVF meghatározására irányuló algoritmus számítási lehetőségeit, pontosságát. Ez az adatbázis gyakorlatilag a valós világ egyfajta modellje, mely egy ideális (kissé leegyszerűsített) városi felszínt reprezentál.

A Szegedre vonatkozó adatbázis tartalmazza az egyes épületek magasságát, valamint a tető típusát (lapos, sátor, donga, stb.), azonban a tető maga grafikusan nincs reprezentálva. Az adatbázis által leírt városi felszín legfontosabb, az épületek alakját érintő egyszerűsítései a következők: minden épület lapos tetős és egy épület minden fala azonos magasságú.

Az egyes épületeknek az égboltra vetülő képét (ld. *1. ábra*) kezelhetjük az őt alkotó, az adott felszíni (ΔA) felületelemből látható falainak a vetületével. A fal egy élének a képét úgy kapjuk meg, hogy ΔA középpontja és az épület látható éle által meghatározott síkkal elmetsszük az éggömböt. Tehát idealizált városi felszín esetén egy tetszőleges fal képe főkörív szakaszok által határolt gömbnégyszög lesz. Ezek összessége adja meg az épületek vetületét az éggömbön.

4.1.1. A 3D-s adatbázis felépítése

Az adatbázis felépítése térinformatikai szoftverekkel és eljárásokkal történt. A magassági adatok mérését a digitális fotogrammetria eszköztára tette lehetővé. A kiértékelés különböző lépéseihez több adatforrást is felhasználtunk:

- Raszteres alap: A Szeged várost lefedő 1992-es légifelvételek eredeti negatívjait, melyek kb. 60%-osan fedik egymást, szkennelvel digitalizáltuk 14 mikron felbontásban. Pontos mérés csak a kiváló minőségű digitalizált negatívok felhasználásával lehetséges, ugyanis szembevető minőségbeli különbség tapasztalható az alkalmazott negatív szkennelése és a gyakran használt papírfotó szkennelése között.

- Vektoros alap: Az épületek alaprajza DXF formátumban áll rendelkezésünkre. A vektoros állomány közepehibája 10 cm, tehát geodéziai pontosságúnak tekinthető. Az állomány konvertálása után erre illesztettük rá a teljes vizsgált terület cella-hálóját.

- Térképek: A feldolgozás során felhasználtuk a Szeged területéről rendelkezésre álló 1:10.000 méretarányú EOTR földmérési-topográfiai térképszelvényeket. A térképek szintvonalait digitalizálva állítottuk elő a Digi-

tális Domborzatmodell (DDM), amely a tereptárgyak nélküli lecsupaszított földfelületet jelenti.

Az OrthoBASE modullal végeztük el a légifotók tájolását (légi-háromszögelést) és összeillesztését egy olyan rendszerbe, amiből a magassági adatok mérhetővé válnak. A 3D-s mérés az elkészített sztereó képpárokon az ERDAS IMAGINE Stereo Analyst moduljával történt, lebegő kurzor segítségével, ami nemcsak x és y, hanem z irányban is mozgatható. Így a mérőjelek egyszerre láthatóak térben, valamint külön-külön is a sztereopárokhoz tartozó képeken is. Ezt követően a szoftver a x-parallaxis alapján kiszámítja a pont x, y és z koordinátáit.

Az épületek magassági adatait és a tetőtípust az ArcView-ban rögzítettük. Ehhez felhasználtuk az épületek alaprajzát, amit az eredeti DXF formátumból *shapefile* formátumba konvertáltuk. Az épületek adatait az attribútum táblázat tartalmazza külön-külön oszlopokban. További oszlopokban egyéb értékeket is rögzítettünk (pl.: épületkód, alapterület, térfogat) a későbbi elemzések megkönnyítése végett.

Az adatok rögzítése közben a könnyebb tájékozódás érdekében az épület-alaprajzok alá az IMG formátumú ortofotókat helyeztünk, amiket a több lépcsős munkafolyamatból álló ortokorrekció eredményeként kaptunk meg. Ezekre a képeken a földfelszíni objektumok már a síkrajzi helyükön találhatóak. Mind a vektoros, mind a raszteres adatok EOVS (Egységes Országos Vetület) koordinátákkal rendelkeztek, így ezek pontosan átfedték egymást.

Az adatokról leolvasható információk korlátozott volta miatt – a kis méretű épületek nem mindig képződnek le – a 15 négyzetméternél kisebb területű épületek kimaradtak a további vizsgálatokból. Ezeknek az apró épületeknek a hőfelvétele és hőleadása igen kicsi, így a városi környezet klímamódosító hatása szempontjából elhanyagolhatók.

Az eredményül kapott 3D-s épület-adatbázis egy részletének térbeli megjelenítése a 3. ábrán látható.



3. ábra Az épület-adatokból generált kép a város egy részéről

4.1.2. Az adatbázis frissítése és pontosság

Az 1992-es légifelvételre a jelenlegi nagy bevásárlóközpontok még nem jelentek meg, viszont az épület-alaprajzos állományon már rajta vannak. Mivel ezek az óriási épületek a hozzájuk tartozó nagy parkolókkal je-

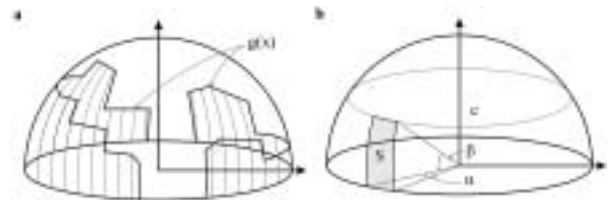
lentősen befolyásolhatják környezetük termikus viszonyait, fontos volt az adatok frissítése, amihez a 2003. augusztus 5-én készült légifotókat használtuk fel. Ezáltal a jelenlegi legújabb és legmegbízhatóbb felszínparaméter adatokhoz jutottunk, amelyek így már időben szorosan kapcsolódnak a városi hőmérsékletmérések periódusához (2002. április – 2003. március).

A vizsgált terület szélén elhelyezkedő cellákban teodolitos mérésekkel ellenőriztük az ERDAS-szal mért épületmagassági adatokat. Itt, ahol a légi-háromszögelésből adódó hiba várhatóan a legnagyobb, az értékek differenciájának az épület teljes magasságához viszonyított részaránya átlagosan 5% körülnek bizonyult, és az átlagos eltérés közel 100 elem alapján csak 58 cm-nek adódott.

4.2. Az SVF számítás/becslés algoritmizálása idealizált városi felszín esetén, programfelépítés

Az alkalmazott eljárás hasonló a közelítő integrálás módszeréhez, amely többek között egyváltozós függvények görbéje alatti terület meghatározására alkalmas, gyakorlatilag annak átültetése félgömb esetére. A félgömbön kapott területekhez fogunk SVF értékeket rendelni, felhasználva azt, hogy a medencére vonatkozó SVF számítási képlet ismert.

A $g(x)$ poligon a látható égbolt határa, az alatta lévő területen az égbolt már takarva van az épületek miatt (4a. ábra). Felosztjuk a félgömböt α szögenként félgömbcikkre, majd berajzoljuk a „téglalapokat” úgy, hogy azok magassága egyenlő legyen a $g(x)$ -nek az intervallum felezőpontjában felvett értékével. Meg kell jegyezni, hogy $g(x)$ nem egy függvény, csak egy egyszerű görbe. A kapott felületelemek VF értékeinek összegének felhasználásával közelítjük a $g(x)$ görbéhez tartozó SVF-et.



4. ábra (a) A látható égbolt határa ($g(x)$ görbe) alatti terület egyenletes felosztása szeletekre (egy szelet magassága egyenlő a $g(x)$ által a felezőpontban felvett értékkel), (b) a medence egy α szélességű és β magasságú szelete (S)

A kérdés tehát az marad, hogy hogyan számítható ki az S -el jelölt felületelemhez tartozó VF (4b. ábra)? Felhasználva a medencéhez tartozó (1) egyenlet szerint a β látószögű medence égboltláthatósági indexe $\cos^2\beta$, tehát magának a medencének a láthatósági indexe $1 - \cos^2\beta = \sin^2\beta$, tehát egy α „szélességű” darabjára ennek az $\alpha/360$ szorosa. Ezt kell összegezni a cikkekre, majd az értéket 1-ből kivonni, hogy az SVF értéket megkapjuk. Látható tehát, hogy az eljárás pontosságát nagyban befolyásolja,

hogy milyen nagyságúnak választjuk az α értéket. Minél kisebb ez a szög, annál jobb a becslés, de ez azt is jelenti, hogy jelentősen megnövekedhet a számítási igény.

Egy adott pontra vonatkozó SVF érték meghatározását a következőképpen végzi el az algoritmus. Az adott α szögenként egyeneseket rajzol a pontból. Megkeresi az adott irányba eső azon épületet, amely a legnagyobb mértékben takarja az égboltot, és megállapítja a hozzá tartozó β szöget. Az egyes épületek magasságát az adatbázis megfelelő oszlopából olvassa ki. Kiszámítja az S értéket, majd ezeket a megfelelő módon összegzi. Azt, hogy a ponttól milyen távolsáig vegye az algoritmus figyelembe az épületeket, a felhasználónak kell eldönteni. A kapott SVF értékek egy táblázatban kerülnek rögzítésre.

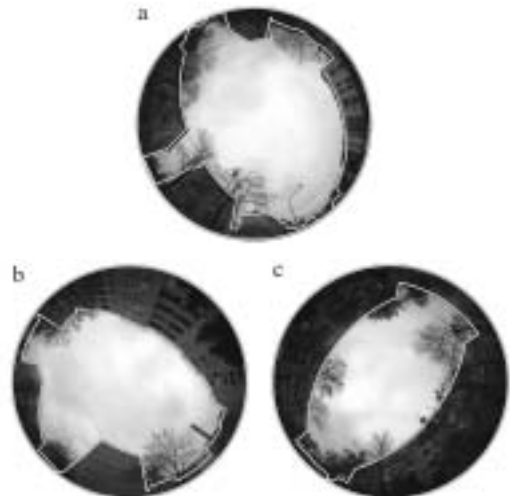
Először azt a térinformatikai szoftvert kellett kiválasztani, amely rendelkezik azokkal a lehetőségekkel, amelyekre a feladat megoldásához szükségünk van. Magas fokú programozhatósága, valamint széles körű felhasználása miatt kézenfekvő volt az ESRI által forgalmazott ArcView szoftvercsalád 3.2-es verziójának használata (www.esri.com), amit Souza et al. (2003) és (2004) által tárgyalt hasonló algoritmus is alátámaszt. Az ArcView 3.2 saját beépített *szkript*-nyelvvvel rendelkezik (Avenue), amellyel a szoftver teljes egészében programozható, azaz bármely eleméhez hozzáférhetünk általa.

Az elkészített algoritmus összesen 9 *szkriptből* épül fel. Mindegyik *szkript* egy részfeladat végrehajtásáért felelős (grafikus felület, paraméterek ellenőrzése, SVF számítás, stb.). Például az egyik legszemléletesebb eredmény az, amely a kijelölt pont körül megrajzolja az égbolt és az épületek látszólagos képét. A vetítés a

Postel-féle síkvetülethez hasonlóan történik, ami a gömbnek egy kiválasztott pontjából kiinduló irányok mentén hossztorzulásmentes ábrázolást tesz lehetővé. Ez a vetítési eljárás megegyezik az SVF meghatározásánál széleskörűen felhasznált halszemoptika leképezésével, így egy adott pontról készült fényképpel vizuálisan is összevethető az algoritmus eredménye (ld. 4.3. szakasz). Az 5. ábra a kifejlesztett algoritmus folyamatábráját mutatja be.

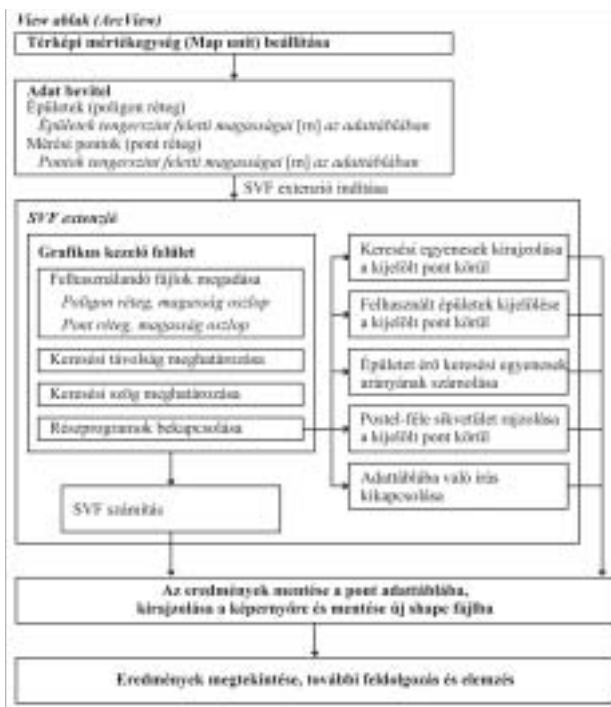
4.3. Az algoritmus ellenőrzése, tesztfuttatás „városi felszín” esetében

Magának a kész algoritmusnak az ellenőrzése során először halszemoptikával felszerelt digitális kamerával képeket készítettünk a város számos, beépítettség szempontjából jellegzetes pontján. Ezeket a fényképeket összevetettük az algoritmus által a 3D-s épületadatokból generált, az adott pontok 180°-os térbeli környezetét bemutató vetületekkel. Illusztrációként a 6. ábra bemutat néhány ilyen összehasonlítást, amelyek szerint az épületek körvonalait tekintve igen jó az egyezés a helyszínek körüli „valóságos” és a „virtuális” környezet között. Természetesen a növényzetet az algoritmus nem vehette figyelembe.

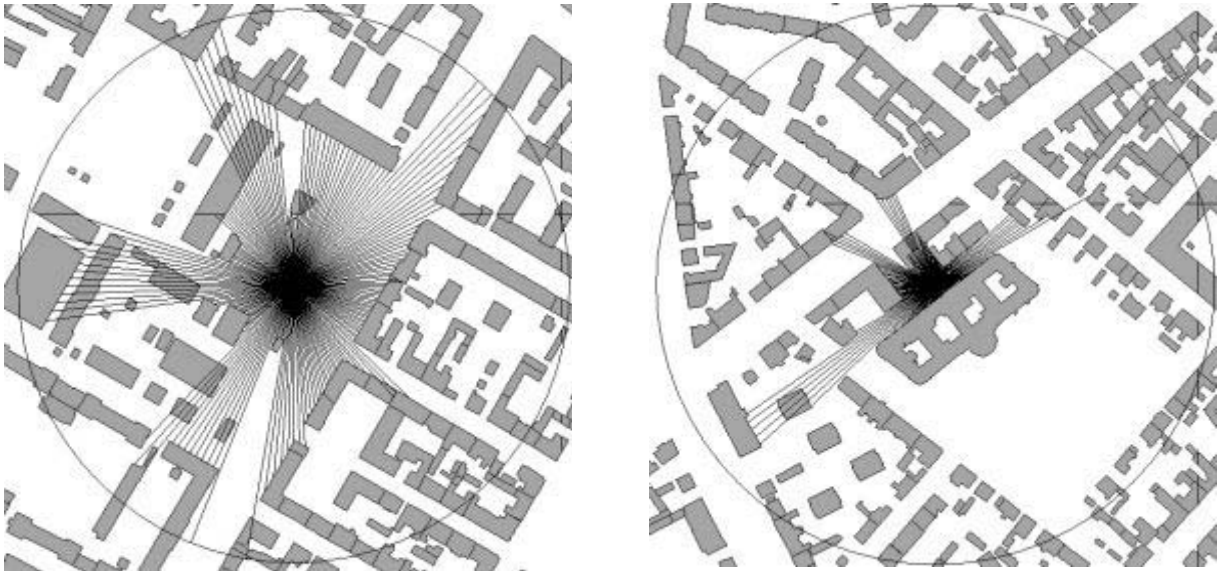


6. ábra Halszemoptikával készült és az algoritmus által generált (fehér vonal) 180°-os térbeli környezet három kiválasztott városi helyszín körül Szegeden (Nikon Coolpix 4500 digitális kamera FC-E8 halszemoptikával)

Az ellenőrzés második lépését két speciális SVF érték kiszámolásával – medence és „végtelen” hosszú kanyon – valósítottuk meg (2000 m, 1 fok). Először egy medencét reprezentáló poligonon futtattuk le az algoritmust, a poligon magasságát véletlenszerűen megválasztva. A számított és a program által adott érték közötti különbség 0,4% volt, ami abból származik, hogy a pontot nem sikerült tökéletesen a medence középpontjába helyezni. A végtelen kanyont két véges hosszúságú poligonon helyettesítve, a kapott érték 0,01%-os pontosságú volt.



5. ábra Az algoritmus lépéseinek áttekintése



7. ábra Az algoritmus futtatásának grafikus eredménye (az első tesztpont a szegedi Mars-térnél, a második a Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karának bejáratánál található)

„Városi” felszín esetén némileg hosszabb futási időre lehet számítani. Két különböző elhelyezkedésű tesztpontot választottunk. Az első pont egy viszonylag nyitott helyen, a szegedi Mars-térnél helyezkedett el (7a. ábra), míg a másik egy zártabb városi környezetben, az egyetem BTK-épületénél (7b. ábra). A tesztpontokra az algoritmus kb. 10-10 másodperc alatt futott le. Mindkét esetben 200 méter sugarú környezetben térképezte fel az épületeket, a forgatási szög 2 fokos volt (hogy az ábrákon ne folyjanak nagyon össze a „letapogató” egyenesek). A kapott SVF értékek: 0,9795 vagy 97,95%, és 0,5758 vagy 57,58 % (az algoritmus százalékban kifejezve rögzíti az SVF értékeket). Az eltérő SVF értéket magyarázata jól látható a 7. ábrán. A Mars-térnél viszonylag nyitottabb a terület, főképp a körút irányában és a teret határoló épületek sem túl magasak. A BTK mellett már egészen más a helyzet, a szűk utca oldalait viszonylag magas épületek alkotják, tehát az SVF érték ennek megfelelően sokkal kisebb lesz, mint az előző esetben.

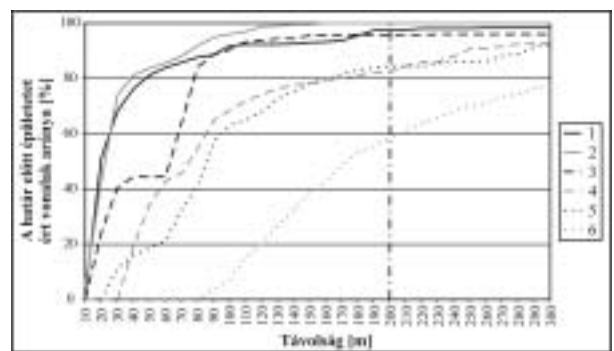
Az előzőeket figyelembe véve, az eljárás alkalmaznak tűnik a megfelelő pontosságú SVF értékek kiszámítására. Az értékek az igényeknek megfelelő sűrűségben állíthatók elő, kiváltva ezzel az idő- és költségigényes terepi mérést vagy fényképelemzést.

5. Az algoritmus paramétereinek meghatározása

Az algoritmus bemutatásánál már szerepelt, hogy két fontos paramétert a felhasználónak kell megadnia: (1) az adott pont körüli sugár, (2) hány fokozként kövessék egymást az egyenesek.

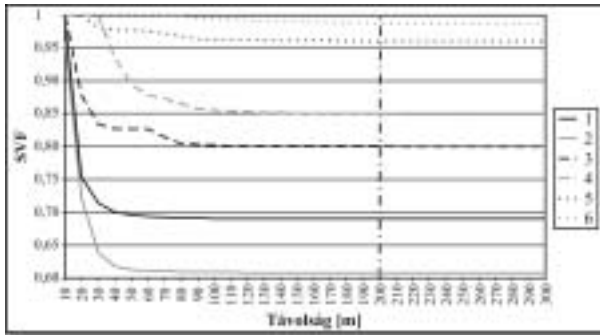
Szeged esetében a 200 m-es sugarú környezet tűnt kézenfekvőnek. Ennek alátámasztására kiválasztottunk

hat helyszínt, amelyek különböző beépítettségű területeket reprezentálnak. A 8. ábra a keresési távolságon belül az épületet ért vonalak arányának változását mutatja a távolság függvényében, míg a 9. ábra az SVF értékének változását szemlélteti a keresési távolság függvényében. Látható, hogy a sűrűbben beépített részeken (1-3. pont) már a 100 m körüli sugár is megfelelő lenne, míg a 4-6. pontok esetében inkább a 300 m-es sugár javasolható a 8. ábra alapján. Ha azt nézzük azonban, hogy az SVF értéke hogyan változik a kör sugarát növelve (9. ábra), egyértelműen adódik, hogy már a ritkább beépítésű részekben sincs lényeges értékváltozás a 200 m-es értéket túllépve.



8. ábra A keresési távolságon belül épületet ért vonalak arányának változása a keresési távolság függvényében. (1: belváros, két utca kereszteződése, 2: belváros, szűk utca, 3: lakótelep, házak között, 4: lakótelep, egy széles sugarút kereszteződése, 5: családi házakkal beépített terület, széles útkereszteződés, 6: kis beépítettségű terület)

A sugár megadásánál még azt is figyelembe kell venni, hogy az nem növelhető bármekkora, mivel távolság növelésével egy felületelem hatása hatványozottan csökken az adott pontra jellemző sugárzási viszonyok-



9. ábra Az SVF értékének változása a keresési távolság függvényében. (1: belváros, két utca kereszteződése, 2: belváros, szűk utca, 3: lakótelep, házak között, 4: lakótelep, egy széles sugárút kereszteződése, 5: családi házakkal beépített terület, széles útkereszteződés, 6: kis beépítettségű terület)

ra. Mindezeket mérlegelve a 200 m-es keresési távolságot találtuk megfelelőnek a számításokhoz.

A letapogató egyenesek egymással bezárt szögénél az 1 fokos értékre két ok miatt esett a választás. Egyrészt az algoritmus számítási idejének optimális szinten belüli tartása volt a cél. A szög értékének csökkentésével a számítási idő jelentősen nő. Az 1. táblázat bemutatja a számítási idő és az SVF értékének változását a keresési szög függvényében. Látható, hogy – négy tizedes pontosság esetén – az 1°-nál kisebb érték megadása már nem változtat a számítás végeredményén. Másrészt, ilyen paraméter mellett 200 m-es távolságban már csupán a 3,5 m-nél keskenyebb épületek képesek elsiklani a letapogató egyenesek között, egy ekkora épületnek viszont már elenyésző a sugárzási viszonyokra gyakorolt hatása.

1. táblázat

Keresési szög	30°	10°	5°	2°	1°	0,5°	0,25°
Számítási idő	< 1s	~ 1s	~ 2s	~ 4s	~ 9s	~ 20s	~ 42s
SVF értéke	0,9837	0,9826	0,9812	0,9810	0,9808	0,9808	0,9808

Az egyes keresési szög értékekhez tartozó számítási idő és az SVF értéke

6. Összegzés, további lépések

Ebben a cikkben felvázoltuk a városi felszíngeometria jelentőségét a város légtérében kialakuló termikus viszonyok szempontjából. Bemutattuk a Szeged épületeit leíró 3D-s épület-adatbázis létrehozását, majd ennek az adatbázisnak a felhasználását az összetett városi felszíngeometriát jellemző mérőszám, az égboltláthatóság (SVF) meghatározására egy általunk kifejlesztett eljárás alapján. Ez az eljárás nagy területre képes nagy sűrűséggel és viszonylag gyorsan SVF értékeket szolgáltatni, amennyiben a 3D-s adatbázis rendelkezésre áll az adott területre.

A cikk 2. részében, amely a Légekör folyóirat következő számában jelenik majd meg, az új eljárással kapott

SVF értékek segítségével elemezzük a városi hősziget és a városi geometria kapcsolatát Szegeden, valamint a kapott eredményeket összevetjük a korábbi kutatásokból származó terepi mérések eredményével. Végetetül bemutatunk még egy alkalmazási lehetőséget is.

Köszönetnyilvánítás: A kutatást az OTKA (T049573) támogatta. Külön köszönet illeti a Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium Földügyi és Térképészeti Főosztályát a légifelvétel negatívjaiért, Szeged Megyei Jogú Város Önkormányzatát a szegedi digitális épület-alaprajz adatbázisért, valamint Zboray Zoltán kiértékelő mérnököt a térinformatikai feldolgozás során nyújtott hasznos tanácsaiért.

Unger János – Gál Tamás – Kovács Péter
Szegedi Tudományegyetem

Irodalom

- Brring L, Mattsson JO and Lindqvist S, 1985: Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmö, Sweden. *J Climatol* 5, 433-444
- Blankenstein S and Kuttler W, 2004: Impact of street geometry on downward longwave radiation and air temperature in an urban environment. *Meteorol Zeitschrift* 15, 373-379
- Bottyán Z and Unger J, 2003: A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theor Appl Climatol* 75, 233-243
- Bradley AV, Thornes JE and Chapman L, 2001: A method to assess the variation of urban canyon geometry from sky view factor transects. *Atmos Science Letters* 2, 155-165
- Brown MJ, Grimmond CSB and Ratti C, 2001: Comparison of methodologies for computing sky view factor in urban environment. Internal Report Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, LA-UR-01-4107, 6 p
- Brown MJ and Grimmond CSB, 2001: Sky view factor measurements in downtown Salt Lake City – Data report for the DOE CBNP Experiment, October 2000. Internal Report Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, LA-UR-01-1424, 16 p
- Chapman L, Thornes JE and Bradley AV, 2001: Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets. *Theor Appl Climatol* 69, 81-89
- Chapman L, Thornes JE and Bradley AV, 2002: Sky-view factor approximation using GPS receivers. *Int J Climatol* 22, 615-621
- Chapman L, Thornes JE, 2004: Real-time sky-view factor calculation and approximation. *J Atmos Oceanic Technol* 21, 730-741
- Dezső Zs, Bartholy J and Pongrácz R, 2005: Satellite-based analysis of the urban heat island effect. *Időjárás* 109, 217-232
- Grimmond CSB, Potter SK, Zutter HN and Souch C, 2001: Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas. *Int J Climatol* 21, 903-913
- Holmer B, 1992: A simple operative method for determination of sky view factors in complex urban canyons from fisheye photographs. *Meteorol Zeitschrift* 1, 236-239
- Johnson GT and Watson JD, 1984: The determination of view-factors in urban canyons. *J Climate Appl Meteorol* 23, 329-335
- Kuttler W, 2005: Stadtklima. In Hupfer P und Kuttler W (eds): *Witterung und Klima*. Teubner, Stuttgart-Leipzig-Wiesbaden, 371-432
- Landsberg HE, 1981: *The urban climate*. Academic Press, New York, 275 p
- Lindberg F, 2005: Towards the use of local governmental 3-D data within urban climatology studies. *Mapping and Image Science, Swedish Cartographic Society*

Oke TR, 1981: Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *J Climatol* 1, 237-254

Oke TR, 1987: *Bounary layer climates*. Routledge, London and New York, 405 p

Oke TR, 1988: Street design and urban canopy layer climate. *Energy Buildings* 11, 103-113

Park H-S, 1987: Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments. *Environmental Research Center Papers* 11, The University of Tsukuba, Ibaraki, Japan, 79 p

Rotach MW, Vogt R, Bernhofer C, Batchvarova E, Christen A, Clappier A, Feddersen B, Gryning S-E, Martucci G, Mayer H, Mitev V, Oke TR, Parlow E, Richner H, Roth M, Roulet Y-A, Ruffieux D, Salmond JA, Schatzmann M and Voogt JA, 2005: BUBBLE – an Urban Boundary Layer Meteorology Project. *Theor Appl Climatol* 81, 231-261

Souza LCL, Rodrigues DS and Mendes JFG, 2003: The 3DSkyView

extension: an urban geometry access tool in a geographical information system. In Klysis K, Oke TR, Fortuniak K, Grimmond CSB and Wibig J: *Proceed Fifth Int Conf on Urban Climate* Vol. 2, University of Lodz, Lodz, Poland, 413-416

Souza LCL, Pedrotti FS and Leme FT, 2004: Urban geometry and electric energy consumption in a tropical city. *Proceed 5th Conf on Urban Environment, AMS Meeting, Vancouver*, CD 4.10

Steyn DG, 1980: The calculation of view factors from fisheye-lens photographs. *Atmosphere-Ocean* 18, 254-258

Unger J, 1996: Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary. *Theor Appl Climatol* 54, 147-151

Voogt JA and Oke TR, 1997: Complete urban surface temperatures. *J Appl Meteorol* 36, 1117-1132

Watson ID and Johnson GT, 1987: Graphical estimation of sky view-factors in urban environments. *J Climatol* 7, 193-197

Faludy György recski emlékei Tóth Gézaról

2006. szeptember 1-jén meghalt Faludy György író, költő, műfordító, a Meteorológiai Intézet igazgatójának egykori fogolytársa. A – többek között – Villon-fordításairól híressé vált Faludyról, József Attila kortársáról kevesen tudják, hogy az Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézet igazgatójának, dr. Tóth Gézanak* volt rabtársa a recski internálótáborban. Közös éveikről a Pokolbéli víg napjaim** című önéletrajzi regényében a következőképpen emlékezik meg:

„Az Északkeleti Betörés az első sorban állt, Egri Gyurka mellett. Nyájás és jóindulatú férfiúnak ismertük, óriási fejével és hatalmas állával, mely elfedte nyakát, sőt melle egy részét is, ő volt a tábor legkisebb embere; az egyetlen, aki az alsó ágyisorban egyenesen ülni tudott, anélkül, hogy beverte volna fejét. Polgári nevén Tóth Gézanak hívták; szemtől szembe Géza bácsinak szólítottuk, de háta mögött mindenki Északkeleti Betörésnek mondta. Az öregúr a Meteorológiai Intézet egyik vezetője volt. Letartóztatását és csúfnevét annak köszönhettem, hogy az általa szerkesztett meteorológiai jelentésben másnapra "lágny nyugati szellőket" ígért, a következő két napra pedig "északkeletről, a Szovjetunió irányából közelgő fagyos légrétegek betörését" jósolta. Ha jósolta, kétségtelenül így volt, mert az öregúr millibár fokokban, szélsébségben és hasonlókban nem ismer tréfát. A következő napon elvitte az ÁVO, "a meteorológiai jelentésbe csempészett imperialista propaganda- és kémtevékenység" címén. Czebe Valér vezérkari százados, aki a katonapolitikai osztályon dolgozott, s akút rögtön Géza bácsi után tartóztattak le, azt állította, hogy a nevezett két napon, a fagyos légrétegekkel együtt, egy-egy szovjet hadosztály érkezett Magyarországra. E kínos coincidência okozta, nézete szerint, Géza bácsi vesztét; de azért óvakodott, hogy e feltevését – mely az öregot végső kétségbeesésbe kergette volna – közölje vele.

Az Északkeleti Betörés derűsen viselte sorsát. A Mátra vidéke Magyarország klimatikusan legérdekesebb pontja: a legtöbb csapadékkal, váratlan felhőátvonulásokkal és egyéb meteorológiai fenoménnel, melyek újabb és újabb gyönyörűséget szereztek neki. Aprócska testének a sovány

koszt elegendő táplálékot biztosított; a munkánál erdei manóhoz hasonlított, vagy kerti törpe szobrához, mely megelevenedett, és gigantikus szerszámot – fűrész, ácsbárdot, baltát – emelget. Közben-közben gyors és átható pillantásokat vetett a felhőkre. A barakkban is folyton tett-vett, fúrt-faragott: polcot gyalult fekhelye mögé, libellával egyenesre szintezte, zöldre festette: mindenféle tárgyakat gyűjtött, melyeket gondos elrendezésben rakott ki, hogy – mint mondani szokta "mentől otthonosabban érezhessem magamat". Csak éjjel ült néha ágyán, hatalmas állát kezébe temetve. Egyszer megkérdeztem, min töri a fejét. Elmondta, hogy ötszobás, rendkívül drága házbéru lakásban hagyta feleségét. Kétségtelen, barátai álltak össze, és fizetik a lakbérét. A kérdés, mely nem hagyja nyugodni, a következő: ha majd 10-15 év múlva szabadon engedik, miből fizeti vissza barátainak horribilis tartozását?

Felszólítottam, magyarázza el a különféle felhőalakzatokat. Az Északkeleti Betörés megbiccintette lőfejét, és elmosolyodott örömeiben. Szárazon, elég körülményesen beszélt, de rövidesen vagy harmincan tolongtak körötte: az időjárás mindenkit érdekelt. Már jó háromnegyed órája beszélt, amikor az ajtónál kukucskáló volt vezérkari főnök jelentette: jönnek...

Forrás: <http://www.irodalmiakademia.hu/dia/diat/muvek/html/FALUDY/faludy00690/faludy00690.html>

* Tóth Gézával interjú olvashatunk a Légekör 1993-as 2. számában. Meteorológiai működéséről az 1994-es 2. számban és a Simon Antal által összeállított Magyarországi meteorológusok életrajzi lexikonában találunk részletes adatokat.

** Heitere Tage in der Hölle. Rütten und Loening Verlag, München, 1964; Myne lykkelige Dage i Helvede. Forlaget Fremad, Koppenhága, 1964; Les beaux jours de l'enfer. John Didier, Párizs, 1965; Pokolbéli víg napjaim. AB Függelven Kiadó (szamizdat), Budapest, 1987; Magyar Világ Kiadó, Budapest, 1989.

Gyuró György

Talajnedvesség-becslő modell tesztelése és alkalmazása magyarországi adatsorokon

A Léggör szerkesztőbizottságának célja fiatal, még az egyetemeken padjaiban ülő hallgatók kezdeti tudományos szárnypróbálgatásainak támogatása. Ezek sorába tartoznak a Tudományos Diákköri Konferenciákra benyújtott és elfogadott tanulmányok. Esetükben még nem várható el az érett kutatókkal szemben támasztható szigorúbb követelmények. Mindazonáltal, e tanulmányok a témavezető ill. konzulens tanároknak köszönhetően korszerű, aktuális kérdések megoldására irányulnak. Az alábbiakban is egy ilyen dolgozatot adunk közre. (A szerk.)

Bevezetés

Magyarországon, a kontinentális éghajlatnak köszönhetően a nyári hónapokban erős az aszályra való hajlam. Magas hőmérséklet, alacsony légnedvesség-tartalom mellett, valamint csapadék hiányában a talaj nedvességtartalma lecsökken, ami kihat a növények vízellátottságára is. Ez befolyásolja a levelek gázcsere-nyílásainak állapotát. E gázcsere-nyílásokon (sztómákon) keresztül történik a növényzet és légkör közti vízgőz- és nyomgázcsere. Alacsony talajnedvesség-tartalom esetén a sztómák nyitottsága csökken, ami gátolja a kicserélődési folyamatokat. E mechanizmusok vizsgálatánál ezért kiemelkedő fontosságú a talajnedvesség meghatározása, illetve hatásának elemzése.

Munkánk során a következő célkitűzéseket valósítottuk meg: (1) magyarországi viszonyokra adaptáltunk egy egyszerű talajnedvesség-becslő modellt, (2) mért talajnedvességi adatok felhasználásával pontosítottuk a modellparaméterek értékeit, (3) érzékenységi vizsgálatokat végeztünk, (4) kiszámítottuk a talajnedvesség térbeli eloszlását egy magyarországi szabályos rácsra.

A számított talajnedvességi mező felhasználásával a különböző növényállományok sztómán keresztül történő nyomgáz-áramát pontosítottuk. Eredményeinket egy kutatási programhoz, a troposzférikus ózon száraz ülepedésének becsléséhez használják az Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizikai és Kémiai, valamint Meteorológiai Tanszékén fejlesztett terjedési-ülepedési modellben.

Az alkalmazott modell

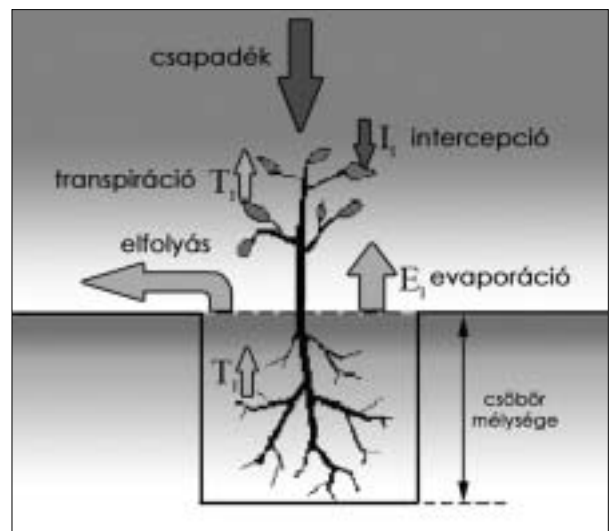
A talajnedvesség-becslő modellek kiindulási alapja a talaj vízháztartásának alapegyenlete. A különböző modellek más-más parametризációt alkalmaznak, több-kevesebb egyszerűsítéssel. Ebből adódóan egy adott modell eredményei pontosabbak, megbízhatóbbak lehetnek egy

másiknál, a modell összetettségétől függően. Ugyanakkor a sok bemenő adat hibáiból származó eltérések jelentősen torzíthatják a számított értékeket.

A talajnedvesség becsléséhez Mintz and Walker (1993) alapján egy egyszerű, ún. csöbör-modellt használunk (1. ábra), ami prognosztikus egyenletrendszer segítségével, napi bontásban becsli a talajnedvesség értékét egy meghatározott talajrétegben, az ún. csöbörben. A csöbör mélységének a gyökérszóna tartományát vettük. A talajban az oldalirányú, valamint a mélyebb rétegek felé történő vízmozgásokat elhanyagoltuk, feltételezve, hogy a csöbör telítődése után a víz csak a felszínen folyhat el. A modellben alkalmazott egyszerűsített vízháztartás-egyenleg szerint a talajvíztartalom napi átlaga az i -edik napon (θ_i) megadható az $i-1$ -edik napi érték (θ_{i-1}) és a felszín és a légkör közötti, előző napi vízmérleg összegeként:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + (P_{i-1} - I_{i-1}) - (T_{i-1} + E_{i-1})$$

ahol P_{i-1} a napi csapadékösszeg, I_{i-1} az intercepciós veszteség, T_{i-1} a növényzet transpirációja, E_{i-1} pedig a talaj evaporációja az $i-1$ -edik napon (minden tag mértékegysége mm). A modell bemenő adatai a referenciamagasságban (2 m) mért előző napi átlagos léghőmérséklet és relatív nedvesség értékei, valamint az előző napi csapadékösszeg.



1. ábra A csöbör-modell folyamatábrája

A számításokhoz szükséges a gyökérszóna mélységének, valamint az adott talajtípusra vonatkozó fizikai állandóknak az ismerete. A modell előnye, hogy kevés bemenő adatot igényel, ami megkönnyíti a rutinszerű

alkalmazást. Hátránya, hogy egyes modellparaméterek értéke bizonytalan, ezáltal azok rossz megválasztása hibás eredményt szolgáltat.

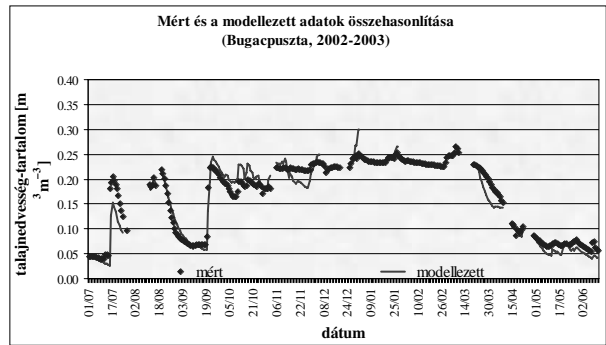
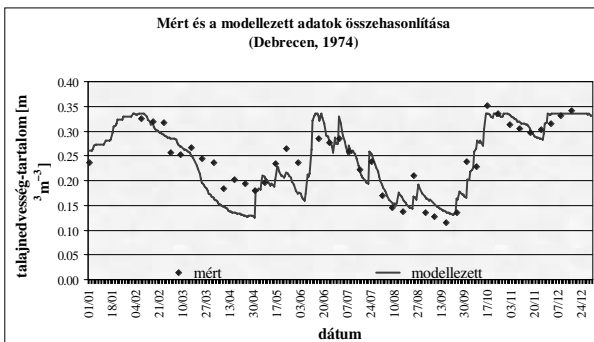
A rendelkezésünkre álló két magyarországi adatsoron teszteltük, hogy mennyire befolyásolja a modellezés eredményét a különböző paraméterek megváltoztatása. Elvégeztük a csöbör-modell érzékenységi vizsgálatát is. A bemenő meteorológiai állapotjelzők értékeit megváltoztatva azt vizsgáltuk, mekkora eltérés adódik a modellezett talajnedvességi értékekben.

Számításainkat összevetettük más modellek eredményeivel is. Az összehasonlítás során – a számos modellbeli egyszerűsítés ellenére – a csöbör-modellel történt számítások pontosabbnak bizonyultak (Szinyei és Vincze, 2004).

A pontbeli számítások után modellünket kiterjesztettük egy szabályos rácsra. Az egyes rácspontokban a modell bemenő adatait részben az Országos Meteorológiai Szolgálatnál operatíván futtatott ALADIN előrejelzési modell szolgáltatta, részben szakirodalmi hivatkozásokból vettük. Számításaink során öt fizikai talajféleséget különböztettünk meg. A magyarországi talajnedvességi mező meghatározásához a talajtípusokat Várallyay *et al.* (1980) alapján határoztuk meg egy 0.15×0.10 fokos, szabályos rácsra. Az egyes rácspontokban a domináns talajtípust vettük figyelembe. A talaj-karakterisztikákat Ács (2003) számításai alapján vettük figyelembe.

Eredmények

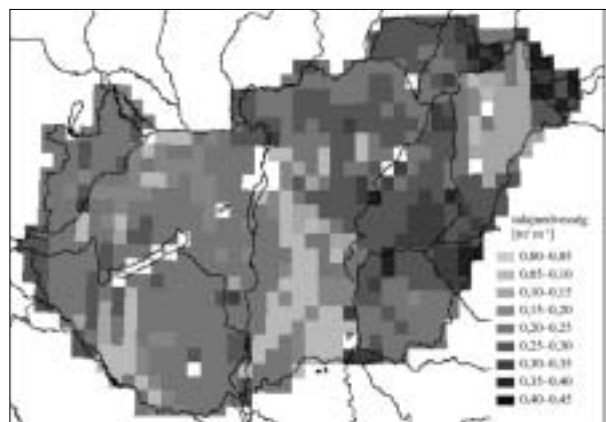
A csöbör-modell magyarországi adatsorokon, egy debreceni és egy bugaci állomás méréseit felhasználva teszteltük. Számításainkhoz a Debreceni Agrometeorológiai Observatóriumban 1974-ben, valamint a GREENGRASS EU5 program keretében Bugacpusztán, 2002–2003-ban mért talajnedvességi értékek és meteorológiai állapotjelzők álltak rendelkezésünkre. A gyökérszóna mélységének azt az értéket választottuk, melyre a mért és modellezett talajnedvességi adatok a legjobb egyezést mutatták. A mért és modellezett napi talajnedvességi értékek görbéit a 2.a és a 2.b ábra szemlélteti. A modell jól követi a mérési eredményeket mindkét esetben, azonban az adatsorokban néhol



2. ábra A mért adatok és a csöbör-modellel számolt talajnedvességi értékek összehasonlítása, (a.) Debrecen, (b.) Bugacpuszta.

időbeli eltolódást tapasztaltunk. Ez feltételezhetően a modell által elhanyagolt vízforgalmi tagokból, valamint a talajparaméterek bizonytalanságából ered.

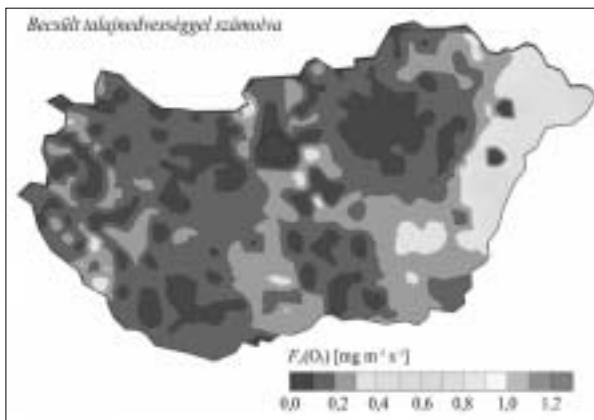
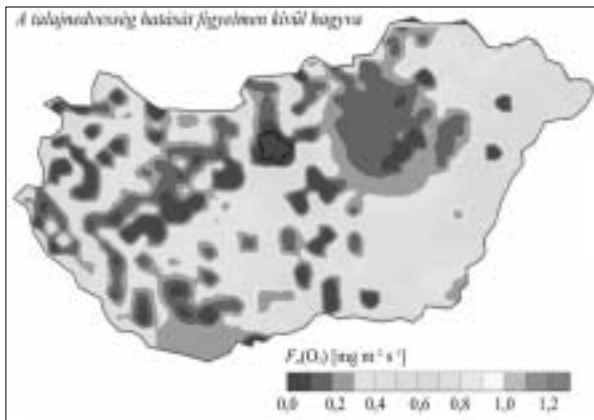
A pontbeli számítások, tesztelés és érzékenységi vizsgálat után 1998. július 23-án meghatároztuk a talajnedvesség térbeli eloszlását is Magyarország területére. Mivel a kezdeti talajnedvességi mezőt nem ismertük, ezért a modellszámításokat 1998. május 1-ével kezdtük, feltételezve, hogy a második hónap elteltével a modell már a reális állapotot tükrözi. Az eredményként kapott talajnedvességi mezőt a 3. ábra mutatja.



3. ábra A becsült talajnedvesség térbeli eloszlása Magyarországon 1998. július. 23-án

A modell alkalmazása

Az általunk számított talajnedvességi mezőt egy kutatási program keretében használják fel, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékén kidolgozott ózonüledési modell (Mészáros, 2002) egyik bemenő adataként. E modellt összekapcsolták az ELTE Fizikai Kémiai Tanszékén fejlesztett transzport modellel (Lagzi, 2003), ezáltal az ózon légrétegből való kiülepedése, vagyis a különböző növénytakarókat érő szennyezőanyag-terhelés az egész ország területére szimulálható. A terjedési-üledési modellt eddig csak fiktív talajnedvességi mezőkre futtatták (Lagzi *et al.*, 2004), de a dolgozatunkban bemutatott eredmények



4. ábra A talajnedvességi modell alkalmazása. Az ózon sztómán keresztül történő ülepedése Magyarország területére 1998. július 23-án, 12 UTC-kor; (a.) a talajnedvesség figyelembe vétele nélkül, (b.) becsült talajnedvességgel

alapján lehetőség nyílik a becsült talajnedvességgel való számolásra is.

A 4.a és 4.b ábrákon látható térképek az ózon sztómákon keresztüli ülepedését mutatják Magyarország területére két esetben. (A modellszámításokat az ELTE Fizikai Kémiai, ill. Meteorológiai Tanszékén végezték.) Az első térkép megfelelő vízellátottságot feltételezve (a talajnedvesség hatását figyelmen kívül hagyva), míg a második az általunk számított talajnedvességi mezőt figyelembe véve ábrázolja az ózon ún. sztóma-fluxusát.

A talajnedvesség nélkül, illetve a talajnedvességgel számított ózon fluxusok közötti eltérés erre a konkrét nyári idopontra jelentősnek bizonyult. A különbség a talajnedvesség nyomgáz-ülepedést gátló hatását tükrözi. Emiatt különösen a nyári, aszályra hajlamos időszakban indokolt a talajnedvesség minél pontosabb megadása, hiszen ezáltal jelentősen pontosítható a szennyezőanyag-terhelés becslése is.

Összefoglalás

Kutatásaink során egy egyszerű talajnedvesség-becslő modellel végeztünk pontbeli számításokat, majd a modell tesztelése, érzékenysége és bizonytalanságának

vizsgálata után meghatároztuk a talajnedvesség térbeli eloszlását is. Eredményeink felhasználhatók a felszín-légkör közötti kölcsönhatások elemzése során. A talajnedvesség-tartalom ismeretében pontosítható a növényzet ún. állomány-ellenállása, ami a skalármennyiségek fluxusát erősen befolyásoló tényező.

A talajnedvesség térbeli eloszlása megfelelő adatbázis esetén akár folyamatosan, rutinszerűen is számítható. Az alkalmazott modell azonban még számos bizonytalanságot hordoz. A becslés pontosítása elsősorban a talajtípusok térbeli eloszlásának finomításával, illetve az egyes talajtípusokra vonatkozó talajparaméterek pontosabb megadásával érhető el.

Köszönetnyilvánítás Köszönet mondunk dr. Ács Ferencnek, dr. Weidinger Tamásnak, Pintér Krisztina és Druzsa Miklós doktorandusoknak, valamint témavezetőnket, dr. Mészáros Róbertnek.

Hivatkozások

- Ács, F., 2003: On the relationship between the spatial variability of soil properties and transpiration. *Időjárás*, 107, 257-272.
- Lagzi, I., 2003: Magyarország levegőszennyezettségének modellezése adaptív térbeli rács alkalmazásával. Doktori értekezés. ELTE TTK, Kémiai Könyvtár, Budapest.
- Lagzi, I., Mészáros, R., Horváth, L., Tomlin, A., Weidinger, T., Turányi, T., Ács, F., Haszpra, L., 2004: Modelling ozone fluxes over Hungary. *Atmospheric Environment* 38, 6211-6222.
- Mészáros, R., 2002: A felszínközeli ózon száraz ülepedésének meghatározása különböző felszín típusok felett. Doktori értekezés. ELTE TTK, Meteorológiai Könyvtár, Budapest.
- Mintz, Y., Walker, G. K., 1993: Global Fields of soil Moisture and Land Surface Evapotranspiration Derived from Observed Precipitation and Surface Air Temperature, *Journal of Applied Meteorology*, August 1993.
- Szinyei, D., Vincze, Cs., 2004: Talajnedvesség-becslő modell tesztelése és alkalmazása magyarországi adatsorokon. TDK dolgozat. XXVII. OTDK FiFöMa Szekció, ELTE TTK, Budapest.
- Várallyay, Gy., Szucs, L., Murányi, A., Rajkai, K., Zilahy, P., 1980: Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe II. *Agrokémia és Talajtan* 29, 35-76.

**Szinyei Dalma és Vincze Csilla
V. éves meteorológus szakos
hallgatók, ELTE TTK**

KITÜNTETÉS

A Debreceni Egyetem Természettudományi Kari Tanácsa *Dr. Justyák Jánosnak* a Meteorológiai Tanszék professzor emeritusának, az MTA Doktorának a Karon kifejtett több évtizedes eredményes nevelő, oktató és kutató munkájáért a *Gyémánt Katedra díjat* adományozta. A díj átadására a TTK tanévnyitó ünnepségén került sor.

AZ ELŐREJELZÉS FOGALMÁRÓL ÉS AZ ELŐREJELEZHETŐSÉGRŐL

Vannak szavak, fogalmak, amelyekkel naponta találkozunk, talán éppen ezért természetesnek tarjuk, hogy mindenki ugyanazt érti alattuk, tehát nem is kell definiálni. Ilyen szó az *előrejelzés*. Vannak hidrológiai előrejelzések, főleg akkor, amikor valamelyik folyón ár-hullám vonul végig, vannak politikai előrejelzések, például választások előtt, vannak népesedési előrejelzések, gazdasági előrejelzések és végül vannak meteorológiai előrejelzések, de lehetnek még más, ritkábban előforduló előrejelzések is. Ezek hallatán mindenki ugyanarra gondol, és nem jut eszébe azon töprengeni: *mit nevezünk előrejelzésnek?*

Ha azonban válaszolnunk kellene erre a kérdésre, zavarba jönnénk. Az bizonyos, hogy *az előrejelzés valamit állít, ami a jövőben fog megtörténni*. De a MÁV évente készít vasúti menetrendet, ami általában egy évre előre jelzi, hogy honnan hova mikor indul vonat, vagy mikor érkezik. A MÁV menetrendet mégsem tartjuk előrejelzésnek. Előfordul, hogy a hatóság bejelenti, hogy valamelyik hidat javítás miatt egy adott időben lezárják, s a forgalmat más útvonalra terelik. Ezt az illetékes hatóság eldönti, és előre bejelenti, ezért nem állíthatjuk, hogy előrejelzés. A csillagászok napra, órára, percre kiszámítják, hogy mikor lesz napfogyatkozás, sőt azt is kiszámítják, hogy hol lesz teljes, hol lesz részleges a napfogyatkozás. A napfogyatkozás évét és napját már az ókori csillagászok közül is néhányan ki tudták előre számítani. Nevezhetnénk előrejelzésnek, de mégis tudjuk, hogy itt valami előre determinált eseményről van szó, amihez csak egy megbízható számítási módszert kell ismerni, és az esemény időpontja előre kiszámítható. Ugyanígy a

naprendszer bolygóinak égi koordináták szerinti elhelyezkedését is egész évre kiszámítják és közlik, például a Csillagászati Évkönyvekben. Ezek mind jövőre vonatkozó állítások. Mégsem nevezük előrejelzéseknek.

Vannak azonban soktényezős, bonyolult események, amelyek kimenetele kisebb-nagyobb mértékben bizonytalan. Ilyenek a társadalmi változások, de egyes természeti jelenségek is. Ide tartoznak az időjárás események, a légkör állapotváltozásai is. Ezen jelenségek jövőjéről állítani valamit kockázatos, az állítás megbízhatósága bizonytalan. Ezt a *bizonytalanságot* egy egyszerű példán jól megérthetjük. Kérésünk választ arra a kérdésre, hogy jövő év december havi középhőmérséklete hogyan alakul Budapesten, és határoljuk be ezt a hőmérsékletet egy- fokos intervallumba. Budapesten 1780 óta végzett műszeres mérések szerint a legalacsonyabb decemberi középhőmérséklet -10 fok (1879), legmagasabb érték +5,6 fok (1825) volt (*Réthly A.* 1947). A kérdésünkre tehát 16 féle választ adhatunk, hiszen éghajlati ismereteink szerint a december havi középhőmérséklet Budapesten 16 egy-fokos intervallumban fordulhat elő. Ha mind a 16 válasznak egyenlő valószínűsége volna, akkor a bizonytalanságunk pontosan 4 bit lenne, ami azt jelenti, hogy négy „felező” kérdésre adott „igen – nem” válasszal eljuthatnánk a pontos válaszhoz. A valóságban az egyes hőmérsékleti érték-közök valószínűségei nagyon különböznek, ezért a bizonytalanság valamivel kisebb 4-nél, a Shannon-entrópiával számolva 3,3 bit. Ahhoz, hogy ezt a bizonytalanságot ki tudjuk számolni, jól definiált kérdésre van szükség: 1. pontosan mit szeretnénk tudni az időjárásról (egy-fo-

kos érték-közben a havi középhőmérsékletet); 2. mely időpontra (jövő év december); 3. hol (Budapest). Ismernünk kell továbbá az adott kérdésre adható válaszokat és az egyes válaszok valószínűségét. Ekkor a Shannon-entrópia a következő formában felírható:

$$S(Q/X) = 1/\log 2 \sum p_i \cdot \log 1/p_i,$$

ahol Q egy jól definiált kérdés, X a kérdéstről szerzett korábbi ismereteink, p_i az i -dik válasz valószínűsége, S a Shannon-entrópia bitekben kifejezve.

Itt találkozunk a bizonytalanság mérésével. Ha a jövőre vonatkozó kérdésünk nem jól definiált, inkább csak általánosságokra vonatkozik, akkor is lehet a választ illetően bizonytalanság, csak nem tudjuk kiszámítani a mértékét. *Az előrejelzéstől azt várjuk, hogy a jövőt illető bizonytalanságunkat csökkentse*. Például kiszámíthatjuk, hogy az inercia-prognózisnak adott helyen és adott évszakban mekkora a várható hibája. (A gyakorlatban is előfordult, hogy egy szinoptikus gyakran az előző napi hőmérsékleteket „jelezte előre”). Ezeknek a „prognózisoknak” kiszámítható a várható hibája. Elvárjuk, hogy az előrejelző módszerrel készített előrejelzések hibája ennél kisebb legyen. De „előrejelezhetjük” az éghajlati normál értékeket, ekkor az éghajlati előrejelzéseink közepes hibája megközelíti a normáltól vett eltérések várható értékét. Elvárjuk, hogy a módszeres előrejelzéseink hibája kisebb legyen ennél.

A meteorológiai események *előrejelezhetőségének* vizsgálatakor újabb kérdés merül fel. Mit akarunk előrejelezni? Erre a kérdésre válaszolhatjuk azt, hogy *a légkör állapotának folyamatos változását egy bizonyos jövőbeli idő-*

pontig. De válaszolhatjuk azt is, hogy *egy hosszabb időszak, 5 vagy 10 nap, hónap, évszak átlagos hőmérsékletét vagy csapadék összegét egy adott helyre*, mert számunkra ennek van jelentősége, a folyamatos változásnak nincs. A kettő között lényeges különbség van az előrejelezhetőség szempontjából.

Számos kutató foglalkozott számos helyen az előrejelezhetőség kérdésével kezdve *E.N. Lorenz, J. Smagorinsky* nevével és a névsort nehéz lenne befejezni anélkül, hogy valakit ki ne hagynánk belőle. A magyarok közül megemlíthetjük *Pálvölgyi Tamást (Pálvölgyi, 2004)*, és itt is lehetne sorolni a kutatókat. Bár a személyek különbözőek, a probléma ugyanaz. Legtöbb kutató a légkör folyamatos állapotváltozásának előrejelzését tekinti előrejelzésnek.

Az USA-ban az 1960-as évek végén Joseph Smagorinsky vezetése alatt működő Geofizikai Folyadék-dinamikai Laboratóriumban (GFDL) készítettek két 15 napos globális előrejelzést egy adott rács-hálózatra azzal a céllal, hogy ezeket az előrejelzéseket összehasonlítsák a 15 nap alatt bekövetkezett valóságos légköri állapotokkal. A számítógép 5 perces időlépésekben végezte az előrejelzést, egy órás előrejelzésre tehát 12-szer kellett értékeket kiszámítani a több ezer rácspontra; egy napra $12 \times 24 = 288$ -szor; 15 napra 4320-szor. A két kísérleti előrejelzés kiértékelése ugyancsak óriási munkát jelentett. Az eredmény: az egyik próba szerint kb. 8 napig volt elfogadható hibája az előrejelzésnek, a másik próba szerint még ennél is rövidebb ideig (*Smagorinsky, 1967*).

Európában 1978-79-ben alakult meg az Európai Középtávú Időjárás-előrejelző Központ (ECMWF), induláskor 15 ország, később további országok közreműködésével. Helyét Angliában, Readingben jelölték ki, ahol az egyetemen meteorológusképzés is folyik, így együtt tudnak dolgozni az egyetem meteo-

rológiai tanszékével. Először 10 napos előrejelzések készítésével foglalkoztak a GFDL-éhez hasonló módszerrel, és tanulva Smagorinskyék tapasztalatából, nem is tervezték hosszabb távra kiterjeszteni a prognózisokat. A módszerek állandó továbbfejlesztésével később lehetőség nyílt az előrejelzések tartamának meghosszabbítására.

A numerikus prevízió, a számszerű előrejelzés többnyire a légköri történések folyamatos előrejelzését célozza meg. Az egyik problémája az, hogy a térbeli felbontása száz km-ekben mérhető, bár finomabb felbontással is kísérleteznek, de a helyi jelenségekig nem tudnak eljutni. Ilyen kistérségű jelenség például a vízgőz kondenzációja, ködképződés, felhőképződés vagy a felhőcseppecskék növekedése, helyi záporok kialakulása, a szélesség rövididejű változásai, a hirtelen felerősödő szél maximumának előrejelzése. *Hogy a vízgőz kondenzációja milyen nüansznyi különbségeken múlik arra jó példa, amikor hűvös éjszakák után a szabadban parkoló autók egyik oldalát sűrű harmat, esetleg zúzmara borítja, a másik oldal teljesen száraz, a két oldal között alig másfél méter távolság van.* Az egyik legnehezebb feladat a meteorológia számára a felhőzet és a csapadék előrejelzése. Hasonlóan nehéz a köd lokális előrejelzése.

A számszerű előrejelzés másik problémája a légköri változások nemlineáris volta, ennek eredményeképpen lehetetlen hosszabb időre pontosan kiszámítani a légkör állapotváltozásait. A meteorológiai adatsorok vizsgálatakor megkülönböztetik a véletlenszerű rendszeretlen változásokat – amelyeket *zajoknak* neveznek – a nagytehetetlenségű, lassú változásoktól, amelyeket gyakran *hasznos jelekként* kezelnek. Ilyen hasznos jel például a mérsékelt és magas szélességeken a hőmérséklet évszakos ingadozása, de lehet a tengeráramlás lassú változása is, amely ugyancsak a

hőmérséklet lassú, több évtizedes változását vonja maga után. Lassú folyamat ezen kívül a hó- és jégta-
karó elolvadása, amennyiben nagy térségre terjedt ki és szokatlanul nagy vastagságot ért el. Az olvadás és az olvadt hóból származó víz elpárologtatása a szárazföldeken sok hőt von el a légkörből, tehát hűtő hatása van, amely hosszabb időre hőmérséklet csökkenést okoz. A lassú változások közé tartozik a napsugárzás évtizedes, évszázados ingadozása is; ilyen volt például az 1500 körüli *Spörer-* illetve az 1600-1700-as években jelentkező *Maunder-minimum*. Ezekben az években gyengült a naptevékenység, csökkent a napsugárzás, és egyes kutatók ezt összefüggésbe hozzák az úgynevezett „kis jégkorszak” kialakulásával. Erősíteni látszik a föltételezést, hogy 1000 és 1200 között a naptevékenység intenzív szakasza egybeesett az ún. „középkori maximummal”, vagyis egy melegebb időszakkal.

Nagy jelentősége van a Föld-légkör rendszer albedójának, sugárzás-visszaverő képességének. Ha egy százalékkal nő az albedó, akkor a Föld egyensúlyi hőmérséklete egy fokkal csökken és fordítva, ha csökken az albedó, növekszik az egyensúlyi hőmérséklet, persze föltéve, hogy minden más tényező állandó marad.

A hosszabb távra, például egy hónapra vagy évszakra szóló előrejelzés sikere függ attól, hogy mekkora a „hasznos jel”/”zaj” aránya. A lassú változások előrejelezhetősége hasonlít ahhoz, amit a zene- vagy beszédközvetítéskor ugyancsak a jel/zaj aránnyal mérnek. Találkozunk olyan előírással, hogy élvezhető egy hangfelvétel hallgatása, ha a jel/zaj arány legalább 15-szörös, tehát a készülék sistergése, recsegése alig észrevehető a közvetített hang erősségéhez képest. A széles körben elterjedt „bécsi” vagy „nyíregyházi” előrejelzés népszerűségét annak köszönheti, hogy a nagytehetetlenségű évszakos válto-

zásokra épült. Télen fagyponthoz közelebbi vagy alatti, nyáron 20 fok fölötti hőmérsékleteket „jelzett előre”, nyáron zivatarokat, télen hóesést jövendölt, ami nagyjából be is következett, a pár napos lehűlések vagy melegedések váltakozásai pedig zajok, tehát időpontjukra „nem kell szigorúan odafigyelni”.

A Budapesten mért napi középhőmérsékletek sorára egyes évekre végzett számítások szerint a sokévi átlagok évi menete a napi értékek teljes varianciájának 75–83%-át magyarázza (Hunkár és Koppány, 1979). Az évi menet által magyarázott variancia a légnyomásra és a felhőzetre már korántsem ennyire biztató, sőt egyes években akár negatív is lehet, ami azt jelenti, hogy a normális évi menettel többé-kevésbé ellentétesen alakul. Ilyenkor a jel/zaj arány lehet akár egynél kisebb, a bizonytalanság a prognózisok után nagyobb, mint akkor, ha csak éghajlati ismeretekkel rendelkezünk. Lényegesen javítható ezekre az elemekre számított magyarázott variancia, ha 3–20 napos természetes időjárási periódusok átlagát és nem az évszakos átlagokat tekintjük jelnek.

Megállapíthatjuk tehát, hogy a légkör állapotváltozásait csak korlátozott időre, néhány napra vagy egy-két hétre tudjuk tűrhető hibával előrejelezni. Hosszabb időre, hónapokra vagy évszakokra legfeljebb átlagokat vagy tendenciákat lehet

korlátozott pontossággal prognosztizálni. A „korlátozott pontosság” azonban homályos fogalom. Éppen ezért az USA-ban a közép- és hosszútávú prognózisokban meghatározott éghajlati valószínűségű kategóriákat használnak. Például a csapadék mennyiségét három 1/3-1/3 valószínűségű kategóriában jelzik előre; az alsó terciliszt „kevés”, a középső terciliszt „mértékelt”, a felső terciliszt „sok” csapadék elnevezéssel jelzik. A hőmérsékleti átlagot 1/4 illetve 1/8 valószínűségű kategóriákban adják meg, „erősen normál alatt”, „normál alatt”, „normál körül”, „normál fölött”, „erősen normál fölött” elnevezéssel. A két szélső kategória éghajlati valószínűsége 1/8, a három középsőé 1/4. Természetesen ehhez ki kell számítani valamennyi érintett régióra a csapadék terciliszeit és a hőmérséklet kvartiliszait illetve oktiliszait. Előnye viszont, hogy pontosan kiszámítható az éghajlati ismereteken alapuló bizonytalanság, hiszen adva vannak az egyes lehetőségek valószínűségei, és kellő számú prognózis esetén a prognózisok utáni bizonytalanság.

Az éghajlati valószínűségi kategóriákban történő előrejelzések, amelyek meghatározott helyre vonatkoznak „jól definiált kérdésekre” adnak választ, ezért kiszámítható a prognózisok utáni információnyereség. Kiszámítható az éghajlati valószínűségek ismeretében fennál-

ló bizonytalanság: $S(Q/X)$ és a prognózisok utáni bizonytalanság a prognózisok hibáinak valószínűségei alapján: S' (Koppány, 1986). Az információnyereség ekkor:

$$I = S - S'$$

Elvárjuk, hogy $I > 0$ legyen, vagyis a prognózisok utáni bizonytalanság csökkenjen.

Nem várjuk el, hogy valamennyi olvasónk megértse a Shannon-entrópia itt említett változatainak kiszámítási módját, ez a verifikációt végző szakemberek dolga, de meteorológusoknak és a meteorológiai előrejelzések felhasználóinak is meg kell elégedni azzal, hogy a tudomány nem tehet többet, mint azt, hogy törekszik a jövőt illető bizonytalanság csökkentésére.

Dr. Koppány György

Irodalom

- Hunkár M. és Koppány Gy., 1979: Meteorológiai adatsorok varianciája. Időjárás, 83. 121–127. o.
- Koppány Gy., 1986: Az időjárás hosszabb-tartamú előrejelzése. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Pálvölgyi T., 2004: A globális éghajlatváltozás kilátásai. Természet Világa, 135. II. Különkiadás. 13–18. o.
- Réthly A., 1947: Budapest éghajlata. Reuma és Fürdőkutató Intézet kiadványa.
- Smagorinsky, J., 1967 (Szóbeli közlés).

* * *

Az Európai Meteorológiai Társaság (EMS) 8. közgyűlése Ljubljánában

A szokásokhoz híven, az Európai Alkalmazott Klimatológiai Konferenciát (ECAC) az EMS közgyűlés előzte meg 2006. szeptember 3-án délután, a Szlovén Környezetvédelmi Hivatalban. Az ülés csak egy délután tartott, de fontos döntések születtek. Új tagként felvették az Andorrai Meteorológiai Társaságot, társult tagként pedig a spanyol, a román és a finn meteorológiai intézetet (az OMSZ már asszociatív tag). Így összesen 34

Társaság 27 európai országból tagja az EMS-nek, továbbá 26 társult tagja is van. A tagsági díj emelését is elhatározták, mivel az elmúlt 7 év alatt a tagdíj 1 EUR/fő volt stabilan, míg az infláció mintegy 13 %-ot tett ki. A növekedés értékét nem szám szerint adták meg, hanem az európai inflációs rátához kötötték (Eurostat jelentés). Érdemes kiemelni a Támogatásokról Döntő Bizottság jelentését. Az EMS viszonylag kis költségvetése el-

lenére egy év alatt (2005. szeptember – 2006. augusztus) összesen 5600 eurót osztottak szét utazási támogatásokra, illetve díjakra. Ezzel a lehetőséggel érdemes élni a konferenciák magyar résztvevőinek is.

A következő összejevetel az Európai Alkalmazott Meteorológiai Konferenciához kötődően rendezik meg El Escorialban, Spanyolországban.

Szalai Sándor

PUSZTÍTÓ ZIVATARLÁNCOK

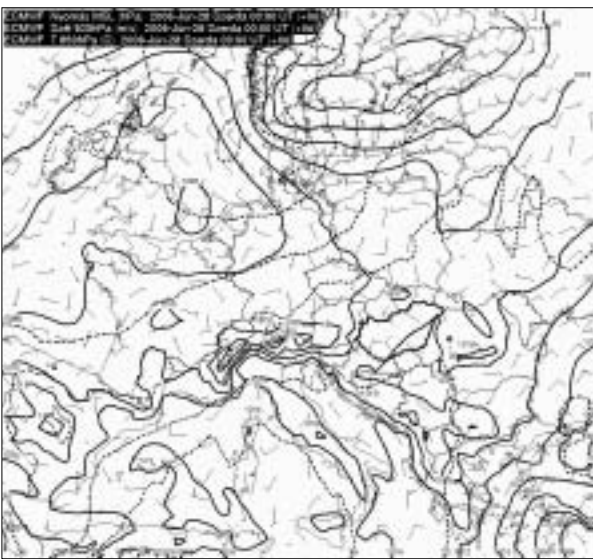
2006. június 29-én

Bevezetés

2006. június 29-én északnyugat felől hatalmas vihar söpört végig az országon. A délelőtti órákban a Dunántúlon, majd délutántól az ország többi részén is orkán erejű szél, felhőszakadás, sokfelé pusztító jégeső kísérte a zivatarvonal átvonulását. Alig hagyta el az országot a vihar, délnyugatról újabb hatalmas zivatarfelhők keletkeztek és az esti órákban egy második zivatar rendszer tört rá a Dunántúlra, elsősorban a Balatonnál okozva ismét 100 km/ó-t meghaladó szelet. A zivatar sorozatnak azonban ezzel még mindig nem volt vége: másnap hajnalban újabb rendszer alakult ki és bár az előző kettőnél jóval gyengébb volt, de átvonulását így is sokfelé kísérték felhőszakadások és viharos szelek. A károk mindenfelé tetemesek voltak: utakra és vasutakra dőlt fák, leszakadt felső vezetékek, hirtelen megáradt és kiöntött patakok illetve a jég által szétvert kertek és földek kísérték a rendszer útját. Becslések szerint a károk milliárdosok voltak. Ebben az írásban a vihar kialakulásának és áthaladásának meteorológiai hátterét mutatjuk be.

A meteorológiai előzmények

Meglehetősen ritka az, hogy 24 órán belül két heves zivatarlanc is áthaladjon a Kárpát-medencén. Az ilyen jelenségek általában az ún. prefrontális instabilitási vonalokhoz kötődnek, amikor a front előtt heves zivatarok alakulnak ki, majd később a front átvonulásával

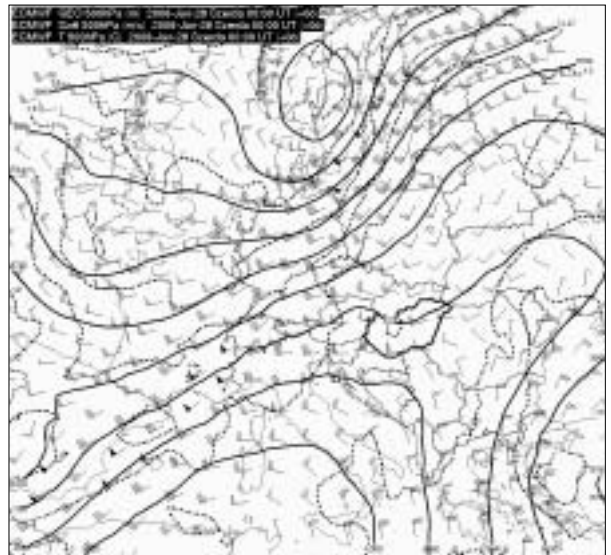


1. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 28-án 00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján a tengerszintű légnyomás (2 hPa sűrűséggel), a 850 hPa szintű hőmérséklet és a 925 hPa szintű szélmező segítségével ábrázolva.

a front mentén ismét kialakulhatnak zivatarok. A 2006. június 29-i esemény azonban nem ilyen klasszikus eset volt.

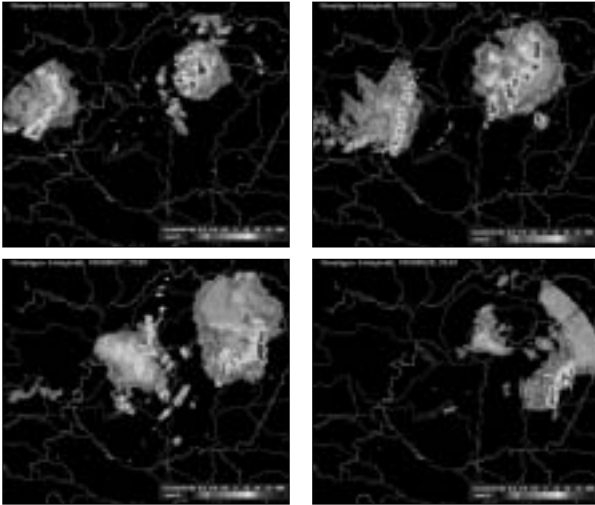
A nagytérségű folyamatok szempontjából tekintve tőlünk nyugati irányban egy több napja veszteglő hidegfront helyezkedett el. A front két oldalán a 850 hPa-os nyomás felületen mintegy 10 fok hőmérséklet különbség alakult ki 24 órával a vihar kitörése előtt (1. ábra).

A középső troposzférában ugyanebben az időben az 500 hPa-os szinten (2. ábra) ugyancsak jelentős volt a hőmérséklet különbség, és a hazánk fölött mérsékelt hideg beáramlás is kialakult, növelve a Kárpát-medencében lévő légtömegek labilitását.



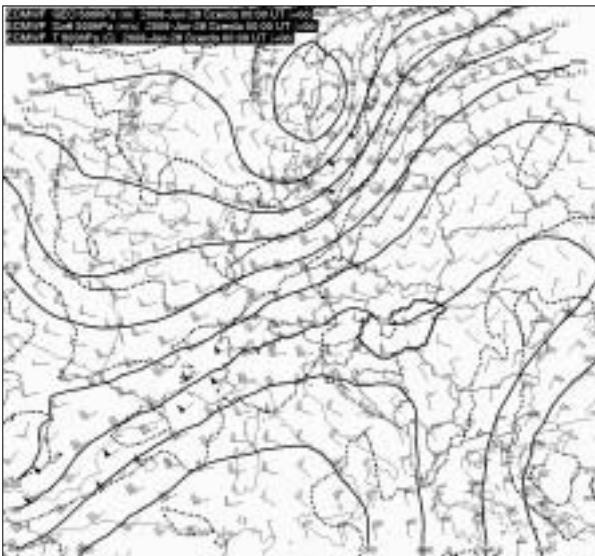
2. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 28-án 00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján az 500 hPa magasság (40 m sűrűséggel), az 500 hPa szintű hőmérséklet és a 500 hPa szintű szélmező segítségével ábrázolva.

Érdeemes észrevenni, hogy bár a front termikusan minden szinten éles volt, azonban mind a felszínen, mind nagyobb magasságokban dinamikusan meglehetősen inaktívnak tűnt, azaz nem alakultak ki nagy nyomás különbségek, illetve térségünkben a szélmezőben sem található szignifikáns erősödés vagy jet stream. A rendkívül nagy labilitás, illetve a dinamikai rendezettség hiánya miatt a vizsgált esetet megelőzően már több napja kialakultak rendkívül heves zivatarok, amelyek főleg a front mentén jöttek létre és messze betörték a meleg szektorba. Ilyen „figyelmeztetés” volt a június 27–28 éjszakáján betörő zivatarlanc is (3. ábra). A rendkívül száraz és forró Dunántúlra besodródó zivatarok gyorsan kiszáradtak, míg a nagyobb nedvességű északi és északkeleti országrészekben az erős zivatarok tovább fennmaradtak.



3. ábra. Radarral mért csapadék intenzitás
(a) 2006.06.27, 18:30 (b) 2006.06.27, 20:15 (c) 2006.06.27, 22:30
(d) 2006.06.28.01:00 UTC-kor.

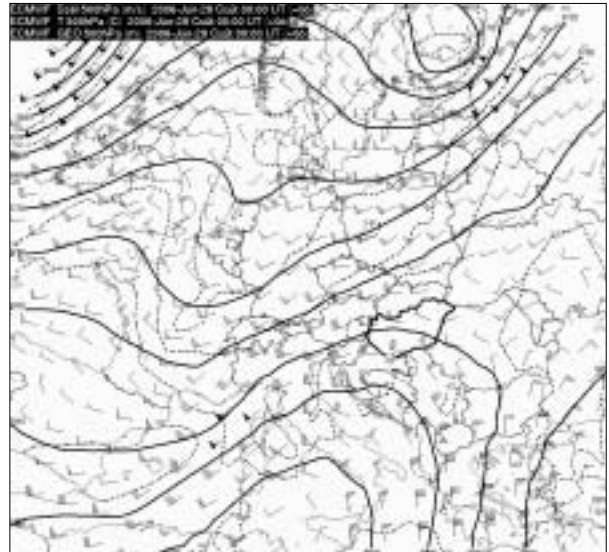
Még labilisabbá vált a helyzet a vihart megelőző hajnalra, amikor a talajközeli front még jobban megközelítette az országot és dinamikusan továbbra is meglehetősen inaktív maradt (4. ábra).



4. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 29-én 00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján a tengerszinti légnyomás (2 hPa sűrűséggel), a 850 hPa szintű hőmérséklet és a 925 hPa szintű szélmező segítségével ábrázolva.

Ugyanakkor az 500 hPa-os szinten egyértelmű hidegadvекció figyelhető meg, fokozatosan erősödő széllel növelve a konvektív instabilitás valamennyi formáját (5. ábra).

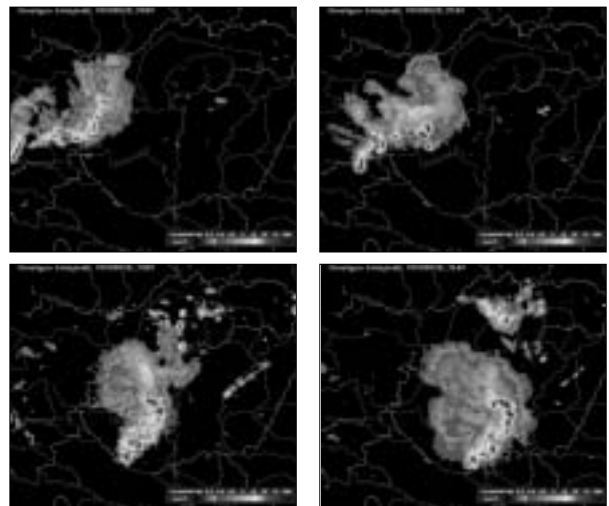
A nagy vihar előestéjén még egy „utolsó figyelmeztetést” adott a léggör. 28-án az esti órákban ismét nyugati irányból megjelent egy zivatargócc, azonban a Dunántúl fölé érve rövidesen szétesett. Feltűnő volt, hogy ezt követően a vihart megelőző éjszaka – több nap óta először – nem voltak zivatark az országban.



5. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 29-án 00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján az 500 hPa magasság (40 m sűrűséggel), az 500 hPa szintű hőmérséklet és a 500 hPa szintű szélmező segítségével ábrázolva.

Az északnyugati zivatarlánc

2006. június 29-én a kora reggeli órákban a radarméréseken már megjelentek az északnyugatról jövő zivatarlánc cellái. Maga a zivatarrendszer már előző nap kialakult a közeledő hidegfront mentén és az időjárási térképek alapján úgy tűnt, hogy maga a front közeledik az országhatárhoz. A zivatark azonban jóval gyorsabban mozogtak mint a front, így rövidesen láthatóvá vált, hogy egy újabb, de a korábbiaknál jóval erősebb instabilitási vonalról van szó (6. ábra). A rendszert rendkívül erős villámlás is kísérte, óránként több tízezer felhőfelhő villámot számolt a villám detektor. A rendszer 06 UTC-kor érte el a nyugati országhatárt. Az első hullám a Balatontól északra vonult el és kissé legyengült, azon-

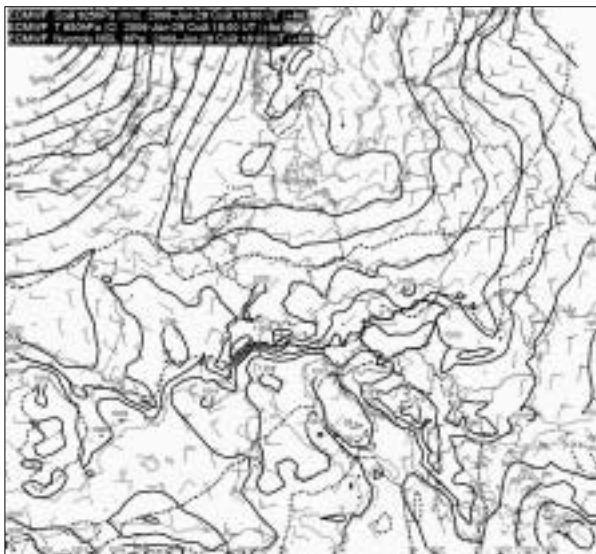


6. ábra. Radarral mért csapadék intenzitás (a) 2006.06.29, 06:30
(b) 2006.06.29, 07:45 (c) 2006.06.29, 10:30
(d) 2006.06.29, 11:45 UTC-kor.

ban a második hullám annál jobban felerősödve csapott le a Balatonra. A legerősebb szellőkést Balatonaligán mérték, 32 m/s-t. A vízre lecsapó orkánerejű szél létrehozta a vízfüggőnyt, azaz a tó felett kialakuló 10-20 m magas vízcseppekkel teli szinte átlátszatlan réteget. Bár a viharjelzés egy órával a vihar előtt kiadásra került, mégis maradtak a vízén vitorlás hajók amelyek jelentős sérüléseket szenvedtek, illetve a partra vetette őket a víz. A Balaton keleti medencéjében különösen erős cellák jöttek létre amelyek zivataros kifutósíél frontja látványos arcus felhőket hozott létre. A zivatarvonal áthaladását esti sötétség kísérte. A Siófoktól kissé délre átvonuló legerősebb cellából 12:30 UTC körül dió nagyságú jég hullott letarolva a kerteket, termőföldeket. A rendszer a Kiskunságon is nagyon erős volt, majd a Tisza vonalát átlépve kezdett gyengülni.

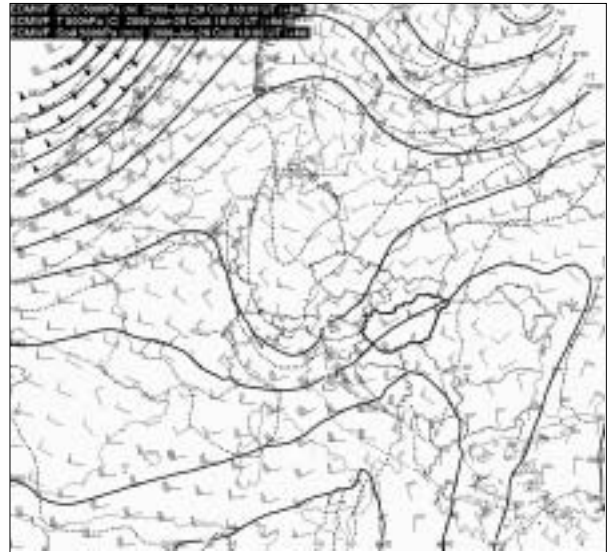
A délnyugati zivatarlánc

Az első zivatarlánc gyors mozgásánál fogva elszakadt a hidegfronttól, illetve a mögötte felépülő mező skálájú zivataros magasznyomás még kissé vissza is vethette a frontot és az alsó szintekben még átmenetileg vissza tudott melegedni a levegő, illetve az eddig rendkívül száraz planetáris határreteg benedvesedett. Az alacsony szinteken tőlünk délnyugatra ismét felmelegedett a levegő (7. ábra), míg az 500 hPa-os szinten kimélyülő teknő ezúttal délnyugatról biztosította a hidegadvékcíót illetve az erősödő magassági szelet (8. ábra) ismét megnövelve az instabilitást, illetve biztosítva a feltételt egy klasszikus délnyugati instabilitási vonal kialakulásához.



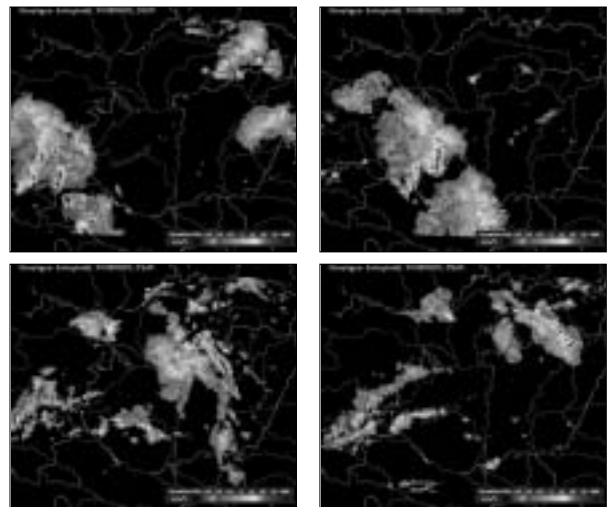
7. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 29-én 18 UTC-kor az ECMWF analízise alapján a tengerszinti légnyomás (2.5 hPa sűrűséggel), a 850 hPa szintű hőmérséklet és a 925 hPa szintű szélmező alapján.

A délnyugati zivatarlánc késő délutánra már megközelítette az országhatárt és nagy sebességgel vonult dél-



8. ábra. Időjárási helyzet 2006. június 29-én 18 UTC-kor az ECMWF analízise alapján az 500 hPa magasság (40 m sűrűséggel), az 500 hPa szintű hőmérséklet és a 500 hPa szintű szélmező alapján.

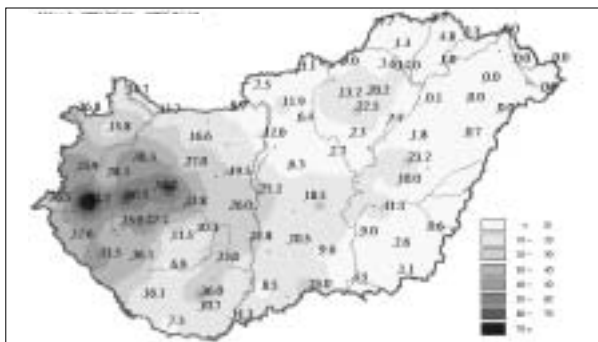
nyugatról északkeleti irányba (9. ábra). A Balatont már sötétedéskor érte el, ismételen 100 km/ó körüli szellőkéseket okozva. A Balatontól keletre a zivatarcellák reflektivitása valamelyest csökkent azonban így is több fele okoztak jelentős mennyiségű csapadékot. Az északkeleti országrészhez közeledve még egyszer éles vonalas szerkezet alakult ki, majd valamivel gyengébb intenzitással elhagyta az országot.



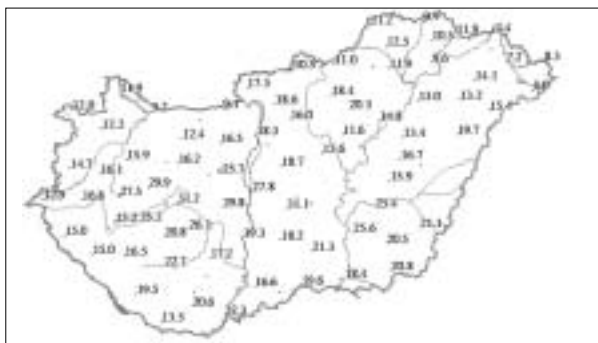
9. ábra. Radarral mért csapadék intenzitás (a) 2006.06.29, 16:00 (b) 2006.06.29, 18:30 (c) 2006.06.29, 21:45 (d) 2006.06.29, 23:45 UTC-kor.

A rendkívül aktív zivataros periódus záró akkordjaként a lassan mozgó hidegfront is elérte az országot. A front mentén az előzőknél jóval gyengébb de még így is jelentős csapadékot adó zivatarok alakultak ki amelyek mögött végül stabilizálódott a levegő.

A 2006. június 29-i zivatarok mérlege: helyenként hatalmas mennyiségű csapadék (10. ábra) és a velük járó lokális árvizek, az országsszerte pusztító orkánerejű szél (11. ábra) és egy-egy körzetet letaroló jégeső.



10. ábra. 2006.06.30. 06 UTC-ig lehullott 24 órás csapadékösszeg



11. ábra. 2006.06.29-én mért legerősebb széltekercsek

Összefoglalás

A fentiekben leírt viharok több tanulsága is van. Szinoptikai szempontból érdemes megfigyelni, hogy a zivatarok valamilyen módon a közelben levő hidegfrontokhoz kötődtek, legtöbbször azok mentén alakultak ki. Mivel a front termikusan fejlett volt, dinamikus azonban inaktív, így a zivatarláncok, zivatargócok mozgását a nagytérségű folyamatok nem befolyásolták jelentősebben, azok a saját csapadék hűtötte magasságú rendszereik által tolva behatoltak a melegszektorba, messze a front elé. A numerikus modellek nyilvánvalóan nehezen tudták kezelni az ilyen, alapvetően lokális skálájú folyamatokat. Az első (északnyugati) zivatarláncot nem is jelezték előre. A második (délnyugati) rendszer illetve a hidegfront előrejelzése már sikeresebb volt, azt bizonyítva, hogy az utóbbi kettő inkább a nagytérségű folyamatok által meghatározott jelenség volt.

Végül ki kell emelni a meteorológiai riasztások főként a Balatoni Viharjelzés jelentőségét. Azzal hogy a viharjelző szinoptikus jó előre felismerte a jelenség veszélyességét és minden érintett szervezetnek, hatóságnak nyomatékosan elküldte a riasztásokat, életet mentett meg. Ez a legtöbb, amit a meteorológia az emberekért tehet.

Horváth Ákos

KISLEXIKON

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

Sztóma vezetőképesség

Hidy Dóra et al.: Gyepek szén-dioxid forgalmának modellezése

A sztóma két zárósejttel körülvett nyílás a levélen, melyen keresztül a vízgőz, illetve a szén-dioxid diffúziója végbemegy. A levélen való elhelyezkedésük és számuk nagyon változó.

A növényi levelek többféleképpen respirálnak (respiráció = légzés – CO₂ és vízgőz áramlása a növényi test és környezete között). A gázcsere nagy része a sztómákon keresztül bonyolódik (a maradék csekély hányad (csupán 1–5%) a növényi levelek viaszos rétegén, az ún. kutikulán keresztül, a gázok átrézelődésével történik). A sztómák, azaz a gázcsere nyílások a leveleken szétszórva találhatók, feladatuk a növényen kívül és belül lévő víz szabályozása – kinyitják vagy elzárják a nyílást a növény vízigényétől és a megváltozó környezeti hatásoktól függően.

A sztóma vezetőképessége azt jelenti, hogy egységnyi idő alatt a nyílás keresztmetszetén mekkora mennyiségű gáz tud átáramlani. Azaz a növényi levelek gázvezető

képessége egyenesen arányos a respirációjuk intenzitásával, így a sztóma vezetőképessége erősen befolyásolja a növényi produktivitást, és ezen keresztül az ökológiai rendszerek szénháztartását.

GPS (Global Positioning System)

Unger J. és társai: A városi felszín és a hősziget kapcsolata Szegeden

Olyan földi helymeghatározó rendszer, amely 24 mesterséges hold órajelei alapján, háromszögelési eljárással adja meg a földrajzi szélesség, hosszúság, valamint a tengerszint feletti magasság értékét.

adatasszimiláció

Balogh M.: Repülőgépes mérések felhasználása...

A különböző meteorológiai megfigyelőrendszerek eltérő módszerrel, térben és időben szórványosan végzett méréseinek átdolgozása olyan egységes, konzisztens rendszerbe, amelyből mint kiinduló adatbázisból a legjobb előrejelzés készíthető.

Folytatás a 36. oldalon

A szinoptikus helyzetek és a felszín közeli légkör stabilitási viszonyainak párhuzamos elemzése

Bevezetés

A felszín közeli turbulenciát a felszíni karakterisztikák (pl. albedo, érdeség, sztómavezetés, a talaj fizikai félesége, levélfelületi index) és a felszín közeli légkör állapota határozza meg. A *Légkör* hasábjain a felszíni karakterisztikáknak az átviteli folyamatokra gyakorolt hatásairól több cikkben is értekeztünk. *Cúcz és Ács (1999)* tanulmányában a labilis rétegződés modellezésével kapcsolatos iteratív eljárás alkalmazhatóságáról kaptunk betekintést. A stabilis rétegződésre vonatkozó hasonló vizsgálat tanulságai *Hágel és Ács (2003)* tanulmányában vannak bemutatva. *Ács és Lőke (2001)*, *Márffy és Ács (2002)* valamint *Ács és mtsai (2005)* a talaj fizikai féleségének az átviteli folyamatokra gyakorolt hatását elemezték. *Ács és Drucza (2003)* a felszín típusok és a felszín vízellátottságának a meghatározó szerepére utaltak. E vizsgálatok nem foglalkoztak a felszín közeli légkör állapotának a turbulenciára, a légköri rétegződésre kifejtett hatásaival.

E tanulmányban a turbulenciával, a légköri rétegződéssel kapcsolatos témakört e 'légköri' szempontból fogjuk megközelíteni úgy, hogy nem fedelkezünk meg a szinoptikus skálájú folyamatokról sem. Ugyanis a makroskálájú örvények, melyek meghatározzák időjárásunkat, *Richardson (1922)* kaskadikus elve* alapján meghatározzák a felszín közeli légkör állapotát is. Ezen állapot viszont meghatározó a felszín közeli turbulencia és rétegződési viszonyokra. Eddigi tanulmányaink az 'alulról-felfelé' irányuló hatást, e tanulmányunk viszont a 'felülről-lefelé' irányuló hatást szemlélteti és vizsgálja. A hatást a Monin-Obukhov-féle hosszznak (*Monin és Obukhov, 1954*) azaz az L_{mon} kulcsparaméternek – ami a felszín közeli légkör rétegződésének típusát és intenzitását jellemzi – és az

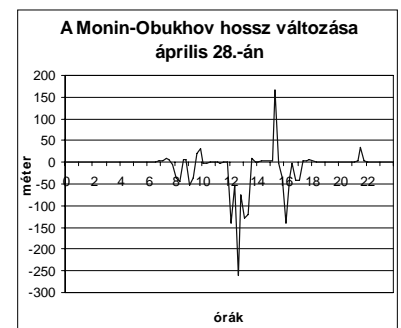
időjárás helyzetkép változásainak párhuzamos elemzésével vizsgáljuk.

Az elemzést a braunschweigi (Németország) szinoptikus meteorológiai állomás 6 napos (1992. április 28.-tól 1992. május 3.-ig) és 15 perces időléptékű adatsorán végeztük. Az adatsort, azaz a légköri határfeltételeket a léghőmérséklet, a párányomás, a szélesebbesség, a globálsugárzás, a légköri visszasugárzás és a csapadék mért értékei alkotják. Az adott térség és időszak időjárását meghatározó légköri képződményeit (ciklonok, anticiklonok, frontok stb.) a weboldalon megtalálható archív térképek (NCEP reanalízisek) alapján mutatjuk be és elemezzük. E tanulmányban a felszíni karakterisztikák a következők: csupasz talaj a felszín típusa, a felszín pedig száraz és sima. Az elemzést mindegyik napra külön-külön elvégezzük. A legvégén összegezzük eredményeinket más eredmények ismerete alapján is, majd a lehetséges alkalmazásokról is szót ejtünk.

A szinoptikus helyzetek, az észlelt adatok és a légköri rétegződés kapcsolattrendszerének elemzése

Április 28.: Ezen a napon a térség egy Skandinávia közelében örvénylő ciklon előoldalán, illetve egy magasnyomású gerinc hátoldalán (*1a. ábra*) helyezkedett el. Ez az áramlási rendszer enyhe levegőt sodort a térségbe, azonban a napsütést gyakran zavarták felhők, ez jól mutatkozik az adatsor globálsugárzás értékeiben. Csapadékot ezen a napon nem észleltek. A légmozgás általában gyengémsékel volt. Az éjszakai órákban az extrém stabilis értékek a jellemzők, a lehülés miatt. A késő esti órákban, az L_{mon} hirtelenszerű növekedését egy rövid, átmeneti szélerősödés okozhatta. Napközben változóan felhős idő lehetett, ezért stabilis és labi-

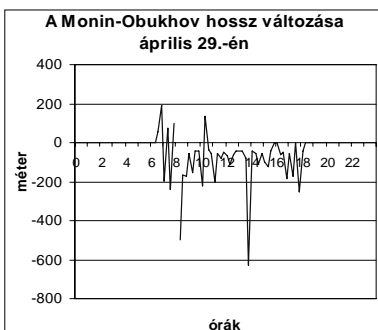
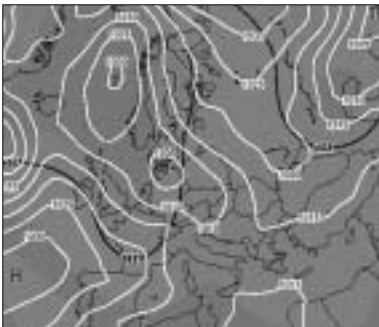
lis értékek egyaránt jelentkeztek, hiszen a besugárzás nagyon gyorsan és hirtelen változott. Amikor előbukkant a Nap a felhők közül, hirtelen megnövekedett a globálsugárzás értéke, ez az L_{mon} negatív értékű csúcsaiban mutatkozott meg. Amikor felhőzet eltakarta a Napot, a besugárzás lecsökkent, az L_{mon} értékek pedig megnöttek, sőt, gyakran pozitív értékek lettek (*1b. ábra*).



1. ábra: április 28. a) Tengerszinti légnyomás értékek (fehér izobárok) illetve az 500 hPa-os légnyomási szint (fekete vonalak, illetve szürke árnyalatok) gpm-d-ben, UTC 0 órákor
T=alacsony nyomás, H=magas nyomás
b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása április 28.-án

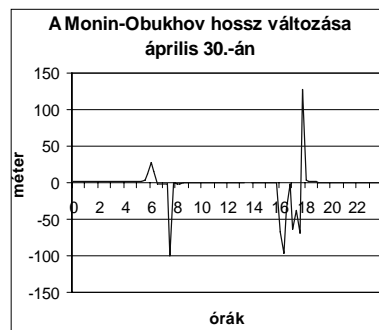
Április 29.-én a térség egy peremciklon területén helyezkedett el. (*2a. ábra*). Ez a peremciklon az 1. ábrán látható, Dél-Anglia felett lévő, hidegfront behullámozásából alakult ki. A behullámozást jelzi a lokális alacsony nyomás, illetve ciklonális görbület. Állomásunk felett e peremciklon gyenge hidegfrontja vonult át a kora reggeli órákban. Ezt jelzi a szélerősödés, a hőmérséklet-csökkenés, illetve

a relatív nedvesség hosszabb ideig tartó magas értéke, majd hirtelen csökkenése. A front felhőzetéből csapadék is hullott (összesen 0,4 mm). A front mögött hamar felszakadozott a felhőzet, de a felhőátvonulások gyakran zavarták a napsütést. Emiatt nagy időbeli változékonyságot mutatott mind a szél, mind a napsugárzás, mind a hőmérséklet. Ez az L_{mon} értékekben is megmutatkozott, melyek a nap folyamán rendkívül nagy ingadozást tanúsítottak. Sőt, amikor csapadék is volt (valószínűleg a front nem sokkal ezelőtt vonult át), neutrális volt a rétegződés. Ekkor igen nagy L_{mon} értékek is előfordultak ($L_{mon} \gg 800$ m), ezeket kiszűrtük. Emiatt reggel 8 óra körül szakad a görbe a 2b. ábrán. Ettől eltekintve az L_{mon} értékek többnyire negatívak maradtak a nappali órákban, viszont a front mögött is gyakran felhős volt az égbolt, ezért az L_{mon} értékek nagyon fluktuáltak. Érdekes, hogy ezen a napon ritka volt az erősen labilis helyzet. Estére a szél is gyengült, és kisebb volt a besugárzás is, ezért beállt a szokásos éjszakai, extrém stabilis rétegződés ($L_{mon} < +10$).



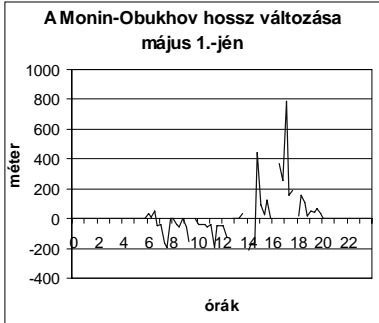
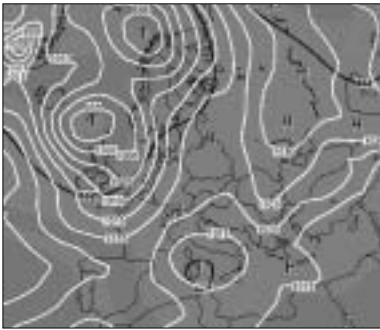
2. ábra: április 29. a) Magyarázat az 1. ábránál
b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása április 29.-én

Április 30.-án a tegnapi peremciklon egyesült a Skandinávia felett örvénylő gyengülő ciklonnal és északabbra távozott, helyébe pedig az Atlanti-óceán felett elhelyezkedő anticiklon magasnyomású nyelve (gerince) nyúlt be. (3a. ábra) Az adatsor túlnyomórészt napos és igen kellemes tavaszi időről tanúskodik. A hajnali órákra erősen lehűlt a levegő, és mivel a szél is gyenge maradt, párássá vált a levegő, sőt köd is képződhetett. Azonban, ahogy kisütött a nap és melegedett a levegő, az szárazabbá vált, és a köd is feloszlott. Ezen a napon süthetett a Nap a legtöbbet. Csapadék nem volt és a légmozgás is gyengémsékelte maradt. Az L_{mon} értékek a napkeltét követően rövid stabilis rétegződésre utalnak, de a nappali órákban végig negatívak. A kora délelőtti illetve a kora esti órákban feltűnő negatív értékek is jelentkeznek, míg a nappali órákban -1 körüli (tehát erős labilitás) értékek a tipikusak (3b. ábra). Naplemente után a labilitás csökken (nagyobb $|L_{mon}|$ értékek), sőt stabilissá vált a rétegződés, ami végül extrém stabilissá alakult az éjszakai órákban.



3. ábra: április 30. a) Magyarázat az 1. ábránál
b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása április 30.-án

Május 1.-jén a térség egy Skandináviától nyugatra örvénylő ciklon áramlási rendszerébe került, a nappal első felében még a ciklon előoldalán volt az állomás (4a. ábra). Nagyon szépen kirajzolódnak az egymásalatti ciklonális görbületek az izobárokban a Brit-szigetek felett. Ez egy hidegfront, ami ezen a napon a délutáni órákban elérte Németországot és így állomásunkat is. Ezért a délelőtti folyamán még enyhe és többnyire napos az időjárás (ekkor az L_{mon} értékek többnyire negatívak). Ahogy a front és felhőzete elérte a térséget, megnövekedett a felhőzet, melyből délután 2 óra körül csapadékot észleltek. A csapadékhullás két órán keresztül tartott. Este hat körül azonban ismételen (körülbelül egy órás időtartalmú) csapadék hullott. Összesen 3,6 milliméter csapadékot regisztráltak. A front délután 4 óra körül vonult át, hirtelen változás jelentkezett a párányomásban, a relatív nedvességben, a hőmérsékletben és a szélben. Ennek oka egyértelmű, a frontok diszkontinuitási, „szakadási” felületek, ahol a meteorológiai elemek ugrásszerű változásokat szenvednek. A csapadékhullás átmenetileg telítette a levegőt. A front áthaladását rendkívül nagy L_{mon} értékek kísérték, azaz ilyenkor a rétegződés közömbös volt. Ilyenre már láttunk példát, április 29.-én a reggeli órákban. Mivel a front sokkal erősebb volt, mint a 29.-ei, az L_{mon} értékek növekedése sokkal szembetűnőbb. A Monin-Obukov hossz előjelét is érdemes vizsgálni. A kezdeti, front előtti időszakra jellemző negatív értékekről délután 1 óra körül hirtelen pozitívba vált, majd kis idő múlva újra negatív, majd délután 3-tól újra pozitív értékű lett és aznap már végig pozitív, azaz stabilis maradt. Ez érthető is, hiszen délután 4-től a talajon (is) beáramló hideg levegő stabilizálta a rétegződést. Amikor előjelet váltott az L_{mon} , akkor jelentkeztek az igen nagy ($L_{mon} \gg 800$ m), azaz neutrális értékek (ezekben a pontokban szakad a függvény) (4b. ábra). A hidegfront átvonulását lehűlés követte, a szél viszont hamar gyengült.

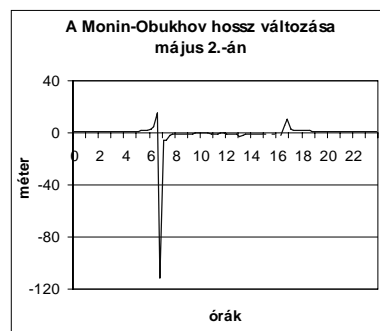


4. ábra: május 1. a) Magyarázat az 1. ábránál

b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása május 1.-jén

Május 2.-án a Norvégia közelében örvénylő ciklon középpontjával kelet felé mozdult. Ennek a ciklonnak a hidegfrontja haladt át állomásunk felett az előző napon. A hidegfront északi része már Dél-Svédország felett, míg a déli, egyre jobban elgyengülő része Közép-Európa felett található (5a. ábra). Azonban a frontot hordozó ciklon is gyengül, töltődik, hisz középpontjában növekszik a légnyomás. Emiatt a front hatása sem túlzottan erős, tartós, ezért állomásunkon a szél már az éjszakai órákban gyenge volt. A léghőmérsékleti értékekben átlagosan 2-3 fokos csökkenés következett be. Ezen a napon viszonylag kevés lehetett a felhő. Ezért hajnalra erősen lehűlt a levegő. Csapadékot nem észleltek, a légmozgás is gyenge maradt. Mivel a szél is legyengült a hajnali órákra, és a front se szárította ki a talaj feletti légrétegeket (illetve a lehullott csapadék is párologott), ismételen erősen párás, sőt ködös lett a levegő. A köd a napsütés megjelenésével hamar megszűnt, mert a levegő szárazabbá vált (gyorsan csökkent a relatív nedvesség). Ezen a napon szembetűnő, hogy többnyire kicsi

L_{mon} értékek voltak: éjjel +1 körül, nappal viszont -1 körül. Az éjjeli stabilis értékek okait már leírtuk, a napali extrém labilis értékek okai a hosszabb és erőteljesebb besugárzási időszaknak köszönhető (5b. ábra).

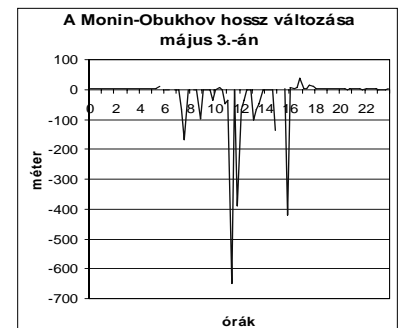


5. ábra: május 2. a) Magyarázat az 1. ábránál

b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása május 2.-án

Május 3.-án állomásunk egy átmeneti zónában helyezkedett el. (6a. ábra) A Skandinávia felett örvénylő ciklon már eltávolodott, az Atlanti-óceán feletti anticiklon tengelye (gerince) pedig keletebbre mozdult. Ezért egyre inkább ez a magasnyomású képződmény alakította állomásunk térségének időjárását. A következő napokban a fent említett anticiklon tovább mozdult kelet felé, terebélyesedett, és egy másik anticiklont épített ki Németország felett. Azonban az anticiklon előoldalán továbbra is hűvös levegő áramlott a térségbe észak felől (gyenge-mérsékelt szél kíséretében), a melegedés csak később következett be. Ez a levegő száraz, ezért csapadékot az állomáson ezen a napon se észleltek, habár a napsütést gyakran megzavarta a felhőzet. A napos időszakok hossza

azonban nagyobb lehetett. Ezért a besugárzás ingadozása (napsütéses-felhős időszakok váltakozása) nagy volt. (akárcsak április 29.-én). A napali órákban az L_{mon} szinte mindig negatív, az ingadozás azonban a tegnapinál sokkal nagyobb. Nagyobb pozitív értékek – hasonlóan a tegnapi naphoz-, napkelte és napnyugta idején jelentkeztek (6b. ábra). Ezek az L_{mon} értékek azonban nem voltak olyan nagyok, mint ápr. 30.-án vagy máj. 2.-án. Ezekon a napokon csendesebb, kevésbé szeles időjárás uralkodott, a hőmérsékletnek jellegzetes és szabályos napi menete volt. Hajnalra erősen lehűlt a levegő és megnőtt a relatív nedvesség, emiatt a levegő erősen párás lett, sőt köd is képződhetett (mindhárom nap 5 °C körüli vagy az alatti a minimum hőmérséklet, sőt, a talajon ennél alacsonyabb, illetve a hajnali órákban 90-95% feletti relatív nedvesség értékek). A köd képződésével hő szabadul fel, ezért a levegő átmenetileg melegebb lesz, mint a talajfelszín. Ez stabilizálja a légrétegződést. Az esti stabilis értékek megjelenése a besugárzás hirtelen csökkenésének köszönhető.



6. ábra: május 3. a) Magyarázat az 1. ábránál

b) Monin-Obukhov hossz időbeli változása május 3.-án

Mindhárom napon gyakori volt az extrém labilis rétegződés, azonban május 3-án jóval többször volt abszolút értékben nagy, de negatív L_{mon} érték.

Összefoglalás

Tanulmányunkban a légköri képződmények és a felszín közeli légköri rétegződés közötti kapcsolatot elemeztük. A szinoptikus helyzetekhez kapcsolódó időjárást az NCEP reanalízis képek alapján, míg a légköri rétegződést a mért légköri határfeltételek alapján becsültük. Elemzésünkben az alábbi konklúziókra jutottunk:

- A tipikus kisugárzási időszakban (éjjel és télen anticiklonális helyzetben) extrém stabilis a légrétegződés.
- A tipikus besugárzási időszakban (nappal és nyáron), nyugodt, csendes (nincs vagy gyenge a légmozgás) időjárás esetén extrém labilis a rétegződés.
- Szeles, csapadékos időjárással kísért frontátvonulásnál a légrétegzö-

dés egy bizonyos ideig neutrális. Tehát a neutrális légrétegződés nemcsak az átmeneti időszakokban (kora reggel napfelkelte tájékán, és késő délután, naplemente idejében) fordulhat elő, hanem a frontátvonulás időszakában is jellemző, ilyenkor nagyobb a megjelenési gyakorisága.

- Ha a napsütéses és napsütés nélküli időszakok gyorsan váltakoznak, a légrétegződés típusa gyorsan változhat.

Ezen eredmények és a légköri rétegződéssel kapcsolatos ismeretek sikeresen hasznosíthatók az alkalmazott meteorológia tárgykörében, pl. a repülésmeteorológiában vagy a légszennyezés-transzport modellezésében. Ez utóbbira – érdekessége és jelentősége miatt – kicsit részletesebben is kitérünk. A légszennyezés-transzport és a stabilitási viszonyok kapcsolatának részletes leírása megtalálható pl. *Arya (1999)* és *Blackadar (1997)* munkáiban. Ezen elméleti taglalásokban fontos szempont a légköri állapothatározók és a stabilitási viszonyok kapcsolatának jellemzése. A gyakorlati alkalmazá-

sok miatt e kapcsolatokat sokszor empirikusan taglalják. Egy ilyen leírás látható az *1. táblázatban (Blackadar, 1997; Foken, 2003)* is. Ezen eredmények nyilván összevetethetők e tanulmány eredményeivel. Látható, hogy az általunk felsorolt tendenciákat és kapcsolatokat az *1. táblázat* is igazolja.

Seres András egyet. hallgató
Ács Ferenc egyet. docens
ELTE Meteorológiai Tanszék

Irodalomjegyzék

- Ács, F., 2004: A talaj-növény-légkör rendszer modellezése a meteorológiában: A növényi párolgás és a talaj kapcsolata. ELTE-TTK, Egyetemi jegyzet, 117 pp.
- Ács, F. és Druca, M., 2003: A rétegződés hatása a szárazföldi felszín turbulens áramok intenzitására. *Léggör*, **XLVIII. évf.** 2. szám, 9-16.
- Ács, F. és Lőke, Zs., 2001: Biofizikai modellezés az agrometeorológiában. *Léggör*, **XLVI. évf.** 3. szám, 2-7
- Ács, F., Geresdi, I. és Horváth, Á. 2005: Numerikus vizsgálatok a talaj szerepéről a meteorológiában. *Léggör*, **50. évf.** 3. szám, 27-32
- Arya, S. P., 1999: Air pollution meteorology and dispersion. Oxford University Press, New York, Oxford, 310 pp.
- Blackadar, A. K., 1997: Turbulence and Diffusion in Atmosphere. Springer, Berlin, Heidelberg, 185 pp.
- Czucz, B. és Ács, F., 1999: A labilis rétegződés parametrizálása a PMSURF növénytakaró modellben: konvergencia vizsgálat empirikus módszerekkel. *Léggör*, **XLIV. évf.** 2. szám, 2-6.
- Foken, T., 2003: Angewandte Meteorologie. Mikrometeorologische Methoden. Springer, Berlin, Heidelberg, 289 pp.
- Hágel E. és Ács F., 2003: A számítógépek alkalmazása az agrometeorológia oktatásában. *Léggör*, **XLVIII. évf.** 1.szám, 35-37
- Márfy, J. és Ács, F., 2002: A csupasz talajfelszín közeli réteg nedvességi viszonyainak modellezése a Penman-Monteith-féle képlet alapján. *Léggör*, **XLVII évf.**, 3. szám, 23-26
- Monin, A. S., Obukhov, A. M., 1954: Basic Laws of Turbulent Mixing in the Atmosphere Near The Ground (Translation in Aerophysics of Air Pollution edited by J.A. Fay and D. O. Hoult, American Institute of Aeronautics and Astronautics, New York, 90-119, 1969) Akademia Nauk SSSR, Leningrad, Trudy Geofizicheskowo Instituta 151 (No. 24), 163-187.
- Richardson, L. F., 1922: *Weather Prediction by Numerical Process*, Cambridge
- A weboldalon közzétett NCEP reanalízis térképek.

1. táblázat

Légköri állapothatározók			Légköri rétegz. és		
Szél (m s ⁻¹)	Besugárzás	Éjjeli felh. zet	Pasquill kategóriák	L _{mon} (m)	z/L _{mon} (z= 10 m)
< 2	er s	-	A	-30	-0,33
< 2	közepes	-	A - B	-	-
< 2	gyenge	-	B	-100	-0,1
2	er s	-	A - B	-	-
2	közepes	-	B	-100	-0,1
2	gyenge	-	C	-300	-0,033
2	-	×4/8	E	250	0,04
2	-	Ö8/8	F	60	0,17
4	er s	-	B	-100	-0,1
4	közepes	-	B - C	-	-
4	gyenge	-	C	-300	-0,033
4	-	×4/8	D	5000	0,002
4	-	Ö8/8	E	250	0,04
6	er s	-	C	-300	-0,033
6	közepes	-	C - D	5000	0,002
6	gyenge	-	D	5000	0,002
6	-	×4/8	D	5000	0,002
6	-	Ö8/8	D	5000	0,002
> 6	er s	-	C	-300	-0,033
> 6	közepes	-	D	5000	0,002
> 6	gyenge	-	D	5000	0,002
> 6	-	×4/8	D	5000	0,002
> 6	-	Ö8/8	D	5000	0,002

A légköri állapothatározók és a különbözőképpen jellemzett stabilitási kategóriák egymás közötti kapcsolata. A pasquilli kategóriák leírása: A = erősen labilis, B = labilis, C = gyengén labilis, D = közömbös, E = gyengén stabilis és F = stabilis.

Repülőgépes mérések felhasználása az ALADIN számszerű időjárás-előrejelzési modellben

Vilhelm Bjerknes norvég meteorológus 1904-ben megállapította, hogy a légkörben lejátszódó folyamatok előre jelezhetők, ha az áramló gázok mozgását és termikus folyamatait leíró egyenleteket a légkörre alkalmazzuk. Ezek alkotják a légköri hidro-termodinamikai egyenletrendszert, melynek megoldására elsőként Lewis Richardson tett kísérletet az 1910-es években, akkor még sikertelenül. Próbálkozása azért fulladt kudarcba, mivel az alkalmazott matematikai közelítő módszerek, és a ritka mérőhálózat által szolgáltatott adatok nem voltak megfelelőek, és az óriási mennyiségű számítás-hoz csupán mechanikus számológépeket használhatott. Bár az egyenletrendszer pontos megoldására ma sincs lehetőség, a számítógépek megjelenésével, a matematikai módszerek fejlődésével, és a nagy sűrűségű adatok gyarapodásával – ilyenek a repülőgépes mérések is – megvalósult Richardson álma, az időjárás számszerű előrejelzése. Az előrejelzési feladat még így sem egyszerű, amit jól mutat, hogy az egyenletrendszer részét képező, a légköri áramlásokat leíró ún. Navier-Stokes egyenletek szerepelnek azon hét matematikai probléma között, amelyek megoldásáért az amerikai Clay Institute fejenként 1 millió dollárt ajánlott fel.

A számszerű időjárás előrejelzési modellek és az adatasszimiláció*

Richardson úgy gondolta, hogy az egész világot vagy egy kisebb területet behálózó pontokban – az ún. rácspontokban – rögzített magasságokon, más néven szinteken, a légkörben mérhető állapotváltozók (pl. szél, hőmérséklet, légnyomás, páratartalom) értékeiből kiindulva meg lehet határozni a későbbi időjárást. A napjainkban használt számszerű előrejelzési modellek működése is ezen alapul, csak nagyobb sűrűségben állnak rendelkezésre mérési és megfigyelési adatok (felszíni mérések, rádiószondás, műholdas és repülőgépes mérésekből), és a számításokat szuper-számítógépek végzik. A globális modellek – melyek az egész Földet lefedik rácshálózatukkal – több mérési adatot és nagyobb számítási kapacitást igényelnek, mint a kisebb területeket, kontinenseket, illetve országokat lefedő korlátos tartományú modellek. Ez utóbbiak előnye a kisebb számítási kapacitás mellett is megvalósítható nagyobb pontosság, részletesség. Korlátos tartományú az Országos Meteorológiai Szolgálatnál használt ALADIN/HU előrejelzési modell is, amely majdnem egész Európát lefedi, tartományának közepe pedig Magyarországra esik. A modell fejlesztése 16 partner-ország – köztük Magyarország – részvételével folyik az ALADIN (Aire Limitee

Adaptation Dynamique developpment International) projekt keretein belül.

Akár globális, akár korlátos tartományú modellel dolgozunk, a sikeres előrejelzés elkészítéséhez szükségünk van a légkör valós állapotának ismeretére, a kiindulási időpontban, a modell tartományát behálózó rácspontokban. A valós állapot leírása a modell számára az ún. kezdeti- és peremfeltételek megadásával lehetséges. A modellek eredményei annál megbízhatóbbak lesznek, minél pontosabbak a kezdeti- és peremfeltételek, hiszen a megoldandó egyenletrendszer nem lineáris, így egy kezdetben kicsiny hiba az előrejelzésben nagy pontatlanságokat eredményezhet. Nehézséget jelent a feltételek megadásakor, hogy a megfigyelések, és mérések – amelyek a légkör állapotát reprezentálják – nem a rácspontokban történnek, hanem térben és időben szabálytalanul elhelyezkedő pontokban.

Az adatasszimiláció az a folyamat, amely létrehozza a rácspontokban a kezdeti feltételeket a különböző forrásokból származó, eltérő térbeli és időbeli felbontású megfigyelési adatokból, és a modell által szolgáltatott háttér-információkból. Az adatok rácspontra illesztése – az ún. objektív analízis – az adatasszimiláció egyik legfontosabb feladata, amit a modell kiindulási időpontjára, az ún. analízis időpontra vonatkozóan végzünk. A megfigyelések valódi időpontja nem feltétlenül esik egybe az analízis-időponttal, mivel legtöbbször egy tágabb időintervallumból, az analízis idő körüli ún. analízisablakból vesszük azokat. Az objektív analízis lehet folytonos és ciklikus az analízisablakba eső megfigyelések kezelésétől függően. Folytonos adatasszimilációs eljárásokban a megfigyelési adatokat azok valós mérési idejében használjuk fel az analízis során, ciklikus eljárásokban az adatokat az analízis-időpontra vonatkoztatva vesszük figyelembe. Az objektív analízist megelőzően fontos az adatok szűrése és ritkítása is, mivel csak jó minőségű, megbízható adatokból kaphatunk megfelelő kezdeti feltételeket. Az ALADIN/HU modell adatasszimilációs eljárása ciklikusan végzi az analízist, az analízisablak sugara pedig 3 óra, ezért különösen fontos a sajátos időbeli eloszlással rendelkező megfigyelési adatok (repülőgépes, műholdas adatok) megfelelő szűrése és ritkítása.

A repülőgépes adatok sajátosságai

A polgári légiközlekedésben használt repülőgépek által mért ún. AMDAR (Aircraft Meteorological DATA Relay system) megfigyelési adatok tér- és időbeli eloszlásukból adódóan értékes információval rendelkeznek. Számos vizsgálat szerint, globális modellekben ezek az

adatok pozitív hatást gyakorolnak a kezdeti feltételek létrehozására, és ezen keresztül a rövid-távú előrejelzés eredményeire is. Az előbbieket motiválták abbéli törekvéseinket, hogy az AMDAR adatok felhasználásával pontosítsuk az Országos Meteorológiai Szolgálatnál operatíván használt ALADIN/HU finom felbontású, korlátos tartományú modell kezdeti feltételeit és előrejelzését.

Az időben kvázi-folytonos repülőgépes mérések esetén (repülésük folyamán a kereskedelmi repülőgépek néhány másodpercenként vagy percenként mérnek) különös figyelmet kell szentelnünk az adatok megbízhatóságának. Célszerű időben folytonos objektív analízist alkalmaznunk az asszimilációs eljárás során, mert az adatok időbeli eloszlása is kvázi-folytonos. Ciklikus analízis alkalmazásakor a szűrés és ritkítás során figyelembe kell venni a megfigyelési és az analízis-időpont távolságát is, hiszen ekkor az analízis-időpontra vonatkoztatjuk a mérést. A probléma megértéséhez végezzük el a következő gondolatkísérletet annak tudatában, hogy mi az AMDAR adatokat az ALADIN/HU modellbe, az ebben működő ciklikus objektív analízissel szeretnénk asszimilálni.

Gondatkísérlet a problémák szemléltetésére

Heathrow Európa egyik legforgalmasabb repülőtere, ahol egy repülőgép 9 óra 30 perckor leszáll, ereszkedése közben folyamatosan szondázza a légköri állapotváltozókat, és továbbítja az adatokat. Tegyük fel, hogy a repülőgép 12 óra 30 perckor felszáll, és ugyanazon az útvonalon halad visszafelé, miközben folyamatosan mér. Három és fél óra telt el, és ez alatt a légkörben, de főleg a földfelszín közelében lévő rétegben, az ún. planetáris hátrétegben markáns változások zajlottak le. Ha a gép a legkiválóbb műszerekkel rendelkezik, az AMDAR adatbázisba minden mérése bekerül, ahol így egy adott földrajzi helyre több, nem egy időben mért érték is vonatkozhat. Ha nem-folytonos, ciklikus adatasszimilációs eljárással végezzük az analízist, akkor ezek az értékek egyformán az analízis-időpontra – jelen esetben 12 órára – vonatkoznak. Fontos kérdés, hogy mennyire megbízhatóak az AMDAR adatbázisok, és miként kezeli az ALADIN/HU modell eredeti szűrő és ritkító eljárása az AMDAR megfigyeléseket, így azok mennyire jól írják le a légkör valós állapotát az analízis-időpontban.

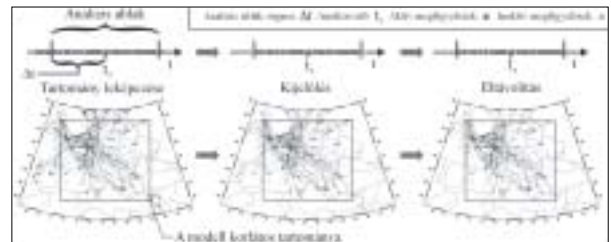
Kísérletek térben egymáshoz közeli mérésekkel

A gondatkísérletben felvetett kérdések tisztázása és a kezelendő problémák minél jobb megismerése volt az első lépés a hatékony módszer kidolgozása felé. Mivel az eredeti szűrőeljárás folytonos objektív analízisre lett optimalizálva, meg kellett vizsgálni az ALADIN/HU modell meglévő adatszűrő eljárásának működését AMDAR adatokat is tartalmazó adatbázisokkal. A kísérletek során létező, és manuálisan változtatott adatokat is használ-

tunk, amelyeket úgy választottunk és módosítottunk, hogy a gondatkísérletben részletezethez hasonló eseteket is tartalmazzanak. Az így futtatott szűrőeljárás eredményeinek vizsgálata és kiértékelése után került sor egy új adatszűrő séma kialakítására. A kísérletek alapján – az új sémával szemben – fontos követelmény volt, hogy csak az analízisablakba eső megfigyeléseket tartsuk meg, mivel előfordultak olyan esetek, amikor a szűrés után az analízisablakon kívül eső megfigyelések is benne maradtak az adatbázisban. Lehetőséget kellett teremteni az analízisablak sugarának változtatására is az AMDAR adatok esetében, hiszen a gondatkísérletben vázolt okok miatt az analízisablak sugarának csökkentése javíthatja a modelleredményeket. Mivel az eredeti ritkító eljárás járatonként ritkította a megfigyeléseket, és nem kezelte a térben közeli, de időben távoli (ezáltal eltérő értékű) adatokat, gondoskodni kellett a mérések megfelelő térbeli ritkításáról is, amit egy teljesen új algoritmus kifejlesztésével valósítottunk meg.

A kidolgozott szűrő és ritkító eljárások

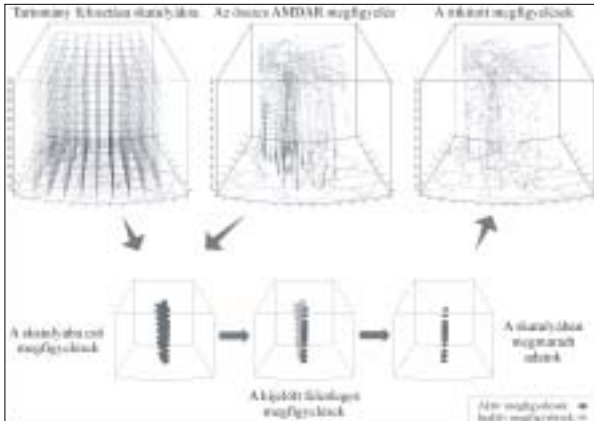
Az analízisablakon kívüli mérések kiválogatására alkotott szűrőprogram egy létező algoritmusba ágyazva készült el. Ez a program eredetileg az ALADIN modell-tartományába eső megfigyelések kiválogatását végezte. Az eljárás ebben a formájában biztosítja a modell szempontjából időben és térben is korrekt adatok használatát (1. ábra).



1. ábra: Az analízis ablakon és korlátos tartományon kívül eső mérések kiválogatása

A 2. ábrán a térbeli és időbeli ritkításért felelős, saját fejlesztésű algoritmus leegyszerűsített működése látható. Ez a skatulyázó eljárás nevet kapta, hiszen az analízis tartományt térrészekre (rácsdobozokra, vagy skatulyákra) bontva, az egyes dobozokon belül végzi a ritkítást. A modelltartományt horizontálisan változtatható rácsávolsággal, egy térképező leképezéssel osztja fel a program, míg vertikálisan a modellszinteket veszi alapul. A skatulyákba eső megfigyelések közül, az analízis időpontjához legközelebb eső megfigyeléssorozatot kiválasztva ritkít. A megfigyelés sorozat a kiválasztott járat azon megfigyeléseit takarja, amik időben közel vannak egymáshoz. A programok integrációját, és helyes működését egy új, de az eredetire épülő adatasszimilációs séma biztosítja. A sémával

folytatott működési tesztek és kísérletek elvégzése után kezdődtek meg az analízis, és az abból kiinduló előrejelzések eredményességét vizsgáló futtatássorozatok, és hatásvizsgálatok.

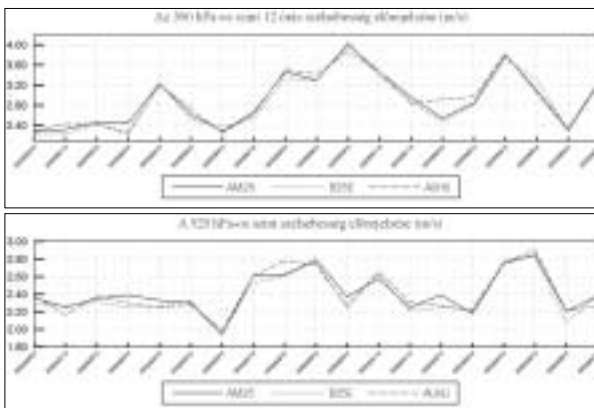


2. ábra: A saját fejlesztésű ritkító (skatulyázó) eljárás vázlatos működése

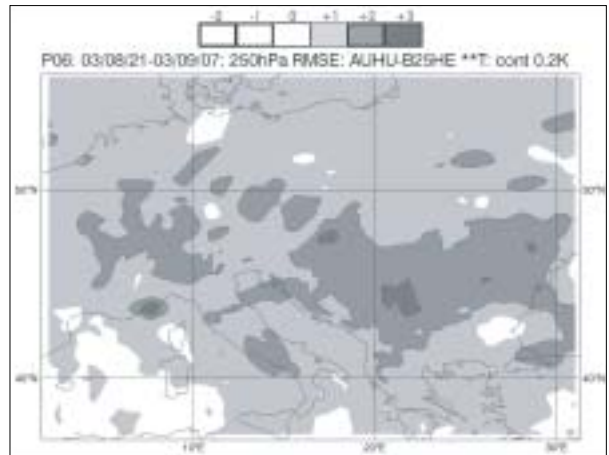
A fejlesztések eredményei

A hatásvizsgálatok, mind az analízis, mind az előrejelzés szempontjából biztató eredményeket hoztak, főleg a hőmérséklet, a szél, és a relatív nedvesség értékeit tekintve. Elmondható, hogy az AMDAR adatok megfelelő előszűréssel és ritkítással alkalmasak – még nem folytonos, azaz ciklikus objektív analízissel dolgozó asszimilációs eljárás alkalmazása esetén is – a korlátos tartományú modell rövidtávú előrejelzésének pontosítására. Az AMDAR adatok és az új szűrőeljárások hatását az 1. diagram és a 3. ábra példázza.

A módszer sikerét az bizonyítja leginkább, hogy e sorok írásakor az OMSZ ALADIN/HU modelljének



1. diagram: A 925 hPa-os és az 500 hPa-os szint szélességének 12 órás előrejelzéseinek négyzetes hibái, egy hosszabb időszakban. Az ALADIN modell AMDAR adatok nélkül készült előrejelzését (AUHU) a szaggatott vonal, az AMDAR adatokat is felhasználó eredeti szűrőeljárásával készült előrejelzést (AM25) a folytonos vonal, míg az új szűrőeljárással készült előrejelzést a pontozott vonal jelöli. Az új szűrőeljárás majdnem az egész időszakban kisebb hibát mutat.



3. ábra: A 6 órás hőmérséklet előrejelzések négyzetes hibáinak különbsége a 250 hPa-os szinten, az AMDAR adatok nélkül készült (AUHU), ill. az AMDAR adatokat az új adatszűrő eljárással, 25 km-es ritkítási rács távolsággal, 1 órás analízisablakkal (B25HE) készült előrejelzések esetén. A szürke területeken pozitív a különbség, azaz a skálának megfelelő mértékben jobb az előrejelzés.

operatív előrejelzése már az új adatszűrő és ritkító eljárással működik, és az ALADIN projekt együttműködő partnerei is érdeklődnek az eljárások iránt. A további fejlesztési céljaink között szerepel az új séma gyorsítása és az alkalmazott eljárások modellbe illesztése, mivel ezek jelenleg külső programként futnak. A tervek megvalósításán jelenleg is dolgozunk, így nemsokára a nemzetközi partnerek számára is lehetővé válhat az AMDAR adatok hatékony felhasználása, és így az időjárás pontosabb előrejelzése az ALADIN modellel.

Köszönettel tartozom Randriamampianina Rogernek, Kertész Sándornak, Weidinger Tamásnak és Havasi Ágnesnek az írással kapcsolatos építő észrevételeikért. Külön köszönet az Országos Tudományos Kutatási Alapnak (OTKA, T049579) a munka támogatásáért.

Balogh Miklós
egyet. hallgató, ELTE

Hegyfokya Kabos hamvai a Nemzeti Sírkertben

A Nemzeti Emlékhely és Kegyeleti Bizottság 2006. március 1-jén hozott határozatával a Nemzeti Sírkert részévé nyilvánította Hegyfokya Kabos (1847–1919) túrkevei plébános, klimatológus sírját, amely a túrkevei római katolikus templom kertjében található. A magyar meteorológia hőskorának kiemelkedő tudósáról a Léggör 1992. 3., 1994. 3. és 4. számában találhatunk megemlékezéseket.

Ambrózy Pál

A napenergia-hasznosítás meteorológiai adottságai Debrecen térségében

Bevezetés

A napenergia hatékony felhasználásának elsődleges feltétele, hogy pontosan ismerjük a földfelszín egy pontjára, adott időegység alatt érkező energia mennyiségét. Ezen túl a napenergia-hasznosításban meghatározó szerepet kapnak a technikai feltételek, pénzügyi-gazdasági konstrukciós lehetőségek és az energiaforrás társadalmi elfogadottsága. Az alábbi tanulmányban Magyarország északkeleti részén, Debrecen térségében vizsgáltuk a napenergia hasznosításának meteorológiai adottságait, mely kiindulópont lehet az ez irányú döntéshozók, felhasználók számára.

A napenergia-hasznosításhoz közvetlenül kapcsolódó éghajlati elemek, mint a globálisugárzás, a napsütés órák száma, a borultság és a köd alakulásának rövid áttekintése után meghatároztuk a vízszintes, illetve jellegzetes dőlésszögű, déli tájolású felszín napenergia-bevételét. Ugyanakkor egy becslést is adtunk, hogy bizonyos technikai feltételek mellett a rendelkezésre álló napenergiából mennyi villamos energia nyerhető.

Sugárzási viszonyok Debrecen térségében

Globálisugárzás

Az energetikai felhasználás szempontjából a Napból kiinduló és a felfogó felszínre érkező rövidhullámú sugárzás, a globálisugárzás mennyisége (a meteorológiában 0,29 és 4 μm hullámhossz közötti spektrális tartomány), illetve ennek térbeli, időbeli eloszlása a döntő. Magyarország területére átlagosan beérkező napenergia 138 W/m^2 (Weinberg-Williams 1990), ami az ország villamos energiatermelését egy 21 km^2 -nyi területről tudná fedezni (Kacz-Neményi 1998).

Debrecen térségében a csillagá-

1. táblázat

	Jan.	Feb.	Már.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Év
Lehetséges	197	285	481	678	883	959	971	837	607	431	247	176	6753
Tényleges	108	174	324	460	595	622	662	557	410	273	120	80	4385

Globálisugárzás (MJ/m^2) havi és évi átlagos összegei Debrecenben (Justyák-Tar 1994)

szatilag lehetséges globálisugárzásnak mintegy 65%-a érkezik a felszínre (Justyák-Tar 1994). Ez egy éves ingást mutat, a legkevesebb sugárzás a téli évszakban, a legtöbb pedig nyáron van, ami egyértelműen a napenergia nyári alkalmazását helyezi előtérbe, például medencefűtésre, kempingek fűtésére stb. A tavaszi és az őszi energiaösszeg között is nagy az eltérés, tavasszal sokéves átlagban $575 \text{ MJ}/\text{m}^2$ – rel több energia érkezik, mint ősszel (1. táblázat).

Napfénytartam

Egy másik meteorológiai tényező, mely a napenergia alkalmazhatóságának hatékonyságát, illetve ennek időbeli eloszlását alapvetően befolyásolja, a napsugárzás időtartama. A csillagászatilag lehetséges és a tényleges napfénytartam aránya tulajdonképpen a direkt sugárzás mennyiségét jellemzi.

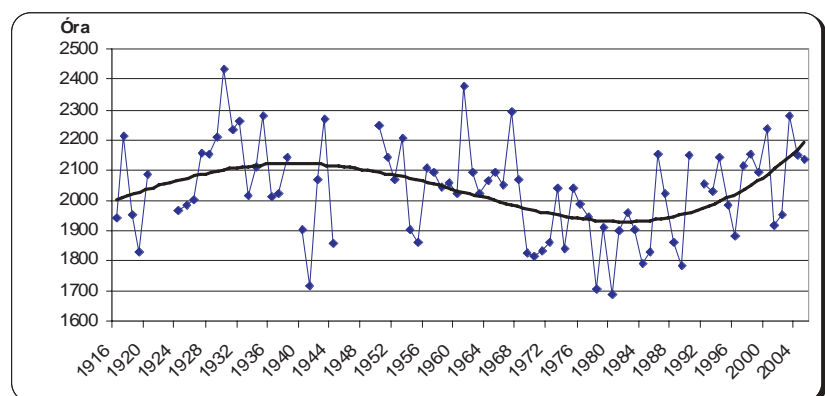
Debrecen sokéves átlagban 2045 óra napsütést kap évente, a lehetségesnek mintegy 46%-át (ld. később az 5. táblázatban). Hónapos bontásban a legtöbb napfény, 296 óra, júli-

usban van, ami napi 9,5 órás napsütést jelent, a legkevesebb, 47 óra, pedig decemberben jellemző, napi mintegy 1,5 órás napsütéssel.

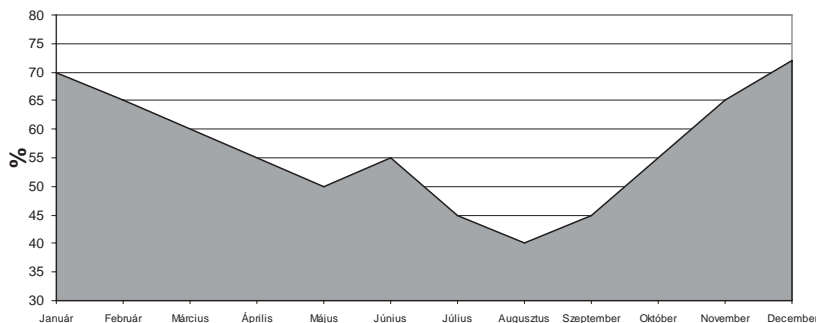
Az utóbbi 89 évben jelentős mértékben változott az egymást követő évek napsütéses óráinak száma, és ezzel együtt a beérkező napenergia. Az általunk vizsgált mérőállomáson (Debrecen) a napsütéses órák számában 1944-ig egy egyenletes, lassú emelkedés figyelhető meg. Ekkor egy csökkenő trenddel évi 350 napsütéses órával alacsonyabb szinten stabilizálódik a napfénytartam, majd 1990 után ismét egy fokozatos növekedés tapasztalható (1. ábra).

Borultság

Az energiahasznosítás hatékonysága szempontjából lényeges a napsütés nélküli napok alakulása is, amikor egész nap a globálisugárzásnak csak a szórt sugárzási komponense érvényesül. Bár a mai napenergiát átalakító rendszerek már a szórt sugárzást is tudják hasznosítani, de mivel annak intenzitása sokkal alacsonyabb, mint a direkt sugárzásé,



1. ábra: A napsütéses órák számának változása Debrecenben 1916 és 2005 között.



2. ábra: Átlagos borultság Debrecenben az 1927–1978 időszakban (Justyák-Tar 1994)

így ez kevésbé hatékony. Debrecenben a sokéves statisztikák alapján (1927–1978) a május-augusztusi időszakban csak fél vagy egy-egy napsütés nélküli nap fordul elő, április–szeptemberben is csak két-három nap adódik. Ellenben télen 12 felett van a teljesen borult napok száma. A legtöbb ilyen nap decemberben alakul ki, átlagosan 16,6. Ilyenkor a felhőzet mellett a köd is fontos szerepet kap a direkt sugárzás kimaradásában (Justyák-Tar 1994).

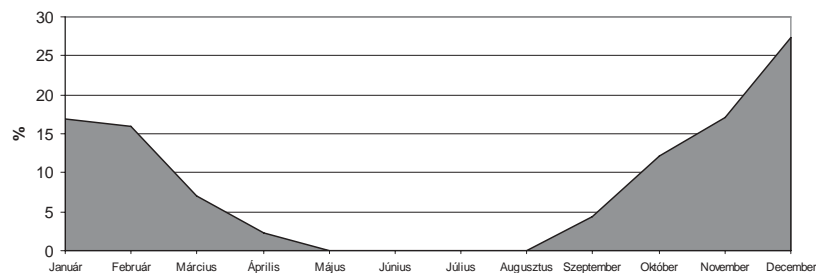
A borultság sokéves aránya télen 70% körüli, míg nyáron kevesebb, mint 50% (2. ábra). Míg télen az alacsonyan elhelyezkedő réteges (stratus) felhőzet alakul ki nagyobb gyakorisággal, addig nyáron a magasabban elhelyezkedő gomolyos felhőzet (cumulus) a jellemző (Justyák-Tar 1994). Így télen a zárt, egyenletes felhőzet szinte teljesen kizárja a napsütést, nyáron a felhődarabokból álló cumulus felhőzet megszakításokkal, de összességében mégis jelentős nagyságú tényleges napütést eredményez.

A borultság napi menetére jellemző, hogy az év folyamán a minimum általában a késő esti órákban és éjjel körül áll be. A maximum télen általában reggel jelentkezik, ősszel inkább a délelőtti órákban jellemző, kora tavasszal eltolódik délutánra, mely hasonlóan alakul nyáron is. (Justyák-Tar 1994).

Köd

Amint a 3. ábráról is leolvasható, a ködös napok száma Debrecenben a

borultsághoz hasonló évi eloszlást mutat. A téli hónapok 1/6-a ködös, amely jelentősen csökkenti a besugárzást, viszont a nyári hónapok gyakorlatilag ködmentesek, ami kedvező lehetőséget biztosít a napenergia energetikai célú felhasználására ebben az évszakban (Dobosi-Felméry 1971).



3. ábra: Ködös napok alakulása Debrecenben, az 1929–1978 időszakban (Justyák-Tar 1994)

A különböző kiettségű és hajlásszögű felszínre érkező direkt sugárzás mennyiségének meghatározása

A felszínre érkező napenergia mennyisége az adott időjárási viszonyok mellett a felfogó felszín geometriai tulajdonságainak függvénye. A lejtőtulajdonságok sugárzásbevitel-módosító hatása elsősorban a direkt sugárzás mennyiségi eloszlásában nyilvánul meg.

A vízszintes síkra eső közvetlen sugárzás intenzitása (I)

$$I = I_0 q^{Tz} \sin h \quad (1)$$

ahol I_0 – a napállandó, q – a tiszta légkör átbecsátási együtthatója, T – a Linke-féle homályossági tényező, z – a sugárzás légkörben megtett útjának a hossza, h – a napmagasság.

A potenciális napenergia megha-

tározásánál azonban a gyakorlatban előforduló vízszintestől eltérő, különböző lejtésszögű és tájolású felfogó felszínek energia-bevitelének elemzése válik szükségesszerűvé.

A vízszintes felületre érkező globálsugárzás értékekből ismert lejtőtulajdonságok alapján geometriai összefüggésekkel kiszámítható a különböző lejtőkre jutó közvetlen napenergia (Kaempfert-Morgen 1952, Kondratyev 1954, Justyák-Tar 1973).

Ha a besugárzásra merőleges felszínre a légkörön keresztül I energia jut, akkor a lejtő felszínére érkező energia (I_L):

$$I_L = I [\cos\beta \sinh + \sin\beta \cosh \cos(\alpha_N - \alpha_L)] \quad (2)$$

Itt I a napsugarakra merőleges síkra vonatkoztatott sugárzás intenzitása, β – a lejtő hajlásszöge, h – a napmagasság, α_N – a lejtő normálisának azimutja, α_L – a Nap azimutja. (Kondratyev 1954).

Tehát a lejtős felszínre érkező közvetlen sugárzás mennyisége függ a napmagasságtól, a napsugarak beesési szögétől, a lejtő hajlásszögétől, a lejtő irányától.

Vizsgálatunkban a vízszintes és ettől eltérő tulajdonságú felületek energia bevitelének összefüggését a vízszintes felületre jutó közvetlen sugárzás értékekből egy szorzószám (q_β) segítségével határoztuk meg:

$$I_L = q_\beta I_V \quad (3)$$

ahol, I_L – a lejtő felszínére jutó sugárzásmennyiség, I_V – a vízszintesen mért direkt sugárzás mennyisége.

A módszert *Justyák-Tar (1973)* dolgozta ki, mely felhőtlen égbolt esetén, vagyis a direkt sugárzás meghatározására használható.

A számítás egyszerűsítése céljából a q_{β} értékek csak a déli lejtőkre határoztuk meg, mivel a déli irány éves átlagban kiemelkedően jellegzetes a besugárzást illetően. Az év folyamán a maximális sugárzást kapó felszín szempontjából optimális lejtőirány energia-bevételére a szakirodalomban találunk értékeket (*Major 1985*).

Déli lejtőn a különböző hajlásszögű és a vízszintes felületre érkező közvetlen sugárzás napi összegének aránya a következőképpen számítható ki (*Justyák-Tar 1973*):

$$q_{\beta} = \frac{\omega_1 \sin \delta \sin(\varphi - \beta) + \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_1}{\omega_1 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_1} \quad (4)$$

ahol q_{β} – vízszintes és déli lejtő közvetlen besugárzása közti arányszám, δ – Nap deklinációja, β – a lejtő hajlásszöge, φ – a hely földrajzi szélességi köre, ω_1 – a vízszintes felszín napkeltének óraszöge, ω_1' – a lejtő napkeltének óraszöge.

Egy adott pont esetében a vízszintes felszín napkeltének óraszöge (radiánban) az alábbi összefüggés alapján határozható meg:

$$\cos \omega_1 = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \quad (5)$$

Mivel a fenti összefüggés alapján kapott értékeket még korrigálni kell az adott pont földrajzi hosszúságával, ezért a ω_1 értékét a

$$t = 12 + \omega_1/15 \quad (6)$$

alapján határoztuk meg, ahol t az adott hely (Debrecen, $\delta = 47,3^\circ$, $\lambda = 21,3^\circ$) napkeltének időpontja órában, melyet a Csillagászati Évkönyvből néztünk ki.

Ahhoz, hogy meghatározhassuk a vízszintes és ettől eltérő felület sugárzásbevételének eltérését, ismernünk kell az adott pontban a különböző hajlásszögű lejtőre eső besugárzás kezdetének (lejtőnap-

kelte) és végének (lejtőnapnyugta) időpontját vagy óraszögét is. Ez a déli lejtők esetében a következőképpen határozható meg (*Justyák-Tar 1973*):

$$\cos \omega_1' = \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \beta)}{\operatorname{tg} \varphi} \cos \omega_1 \quad (7)$$

A 0, illetve negatív előjelű deklinációk esetében $\omega_1' = \omega_1$.

Debrecen térségében az év minden hónapjának 21. napjára meghatároztuk a q_{β} szorzószámot, amely megadja a vízszintes és déli felszínre érkező direkt sugárzás közti arányát (2. táblázat).

A napelemek felállításánál ajánlott átlagos 30° lejtésszögű felszínek (a térség településein átlagosan 30 fokos ferdeségű tetőszerkezetek a jellemzőek) mellett meghatároztuk a vízszintes és az adott hónap optimális lejtésszögű felületének (*Suri 2005*) energia-bevétele közötti eltérést is.

A $47^\circ 30'$ északi földrajzi szélességi körön, a nyári hónapokban átlagosan 25° lejtésszögű déli felületek kapják a legnagyobb besugárzást, télen az optimális lejtésszög 59° (4. ábra).

Annak függvényében, hogy az év folyamán milyen jellegű kihasználtságot akarunk elérni, megválasztható a felfogó felszín dőlésszöge. A nyári időszakban maximális hatásfokot 25° – lejtésszöggel érhetünk el, ha viszont a téli és nyári hónapokban kiegyenlítettebb energiatermelést tervezünk, akkor ez egy éves átlagos 42° -os dőlésszöggel valósítható meg (4. ábra).

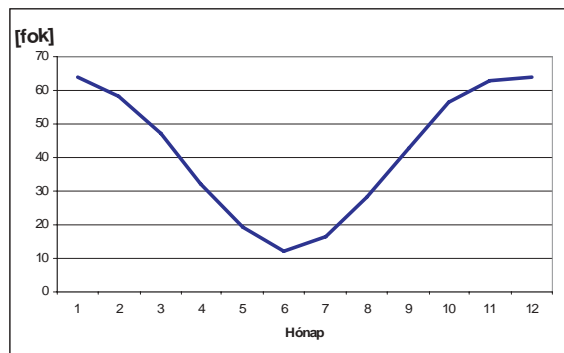
A továbbiakban a déli, 30° -os hajlásszögű, illetve az adott hónapban maximális besugárzást kapó ferde felületekre végezett számítások eredményeit ismertetjük.

Az alkalmazott módszerrel a vízszintes és ferde felszín közötti közvetlen sugárzás kapcsolata az év minden napjára meghatározható. A minden hónap 21-dik napjára meghatározott q_{β} értéket beszorozva az adott hónap átlagos sugárzási értékével, jó megközelítéssel kiszámítható egy adott hajlásszögű déli lejtő átlagos hónapos sugárzásbevétele. Mivel a módszer felhőtlen égbolt esetére vonatkozik, vagyis csak közvetlen sugárzási adatokkal használható, elsőként meghatároztuk azt a lehetséges maximum ener-

2. táblázat

Id pont	Jan.21	Feb.21	Márc.21	Ápr.21	Máj.21	Jún.21	Júl.21	Aug.21	Szept.21	Okt.21	Nov.21	Dec.21
	-19.58	-10.41	0.05	11.37	20.06	23.26	20.32	12.13	0.5	-10.34	-19.49	-23.26
q_{30°	2,47	1,83	1,43	1,15	1,00	0,94	0,99	1,13	1,42	1,86	2,68	3,02
q_{max}	3,32	2,17	1,49	1,15	1,03	1,00	1,02	1,13	1,45	2,21	3,69	4,32

Az év hónapjainak 21. napján a Nap deklinációja (δ), és az adott napra vonatkozó vízszintes és déli, 30° -os (q_{30}), illetve a hónapos optimális lejtésszögű (q_{max}) felület közötti sugárzás aránya ($\varphi = 47,3^\circ$)



4. ábra: A maximális sugárzást kapó déli lejtők hajlásszöge az év folyamán Debrecenben (*Suri, 2005*)

3. táblázat

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.
$G_{\text{lehetséges}}$	197	285	481	678	883	959	971	837	607	431	247	176
G_{30}	457	487	649	753	865	892	961	921	850	819	655	495
G_{max}	655	619	718	780	906	960	994	948	878	951	912	760

Az elméletileg lehetséges globálisugárzás vízszintes síkon ($G_{\text{lehetséges}}$), illetve a 30° lejtésű (G_{30}) és a maximális napenergiát kapó felületre (G_{max}) Debrecenben, MJ/m²-ben ($G_{\text{lehetséges}}$ forrása Justyák-Tar 1994)

gia-bevételt, mely egy hónapban az adott lejtőre érkező, ha a vízszintes felületre a csillagászatilag lehetséges maximális besugárzás jut (3. táblázat).

A legnagyobb eltérések a vízszintes és déli lejtők energia-bevétele között a téli hónapokban vannak, amikor a Nap deklinációja negatív előjelű, ekkor ugyanis a vízszintes felszínre érkező közvetlen sugárzáshoz viszonyítva szinte kétszeres mennyiség jut a déli 30° -os lejtőkre, a hónapos optimális lejtőszögű felszínre (66°) pedig több mint háromszoros. Ez alapján a lejtő hajlásszögének befolyásoló szerepe az alacsony deklinációjú napállás idején kihangsúlyozottabb. A 3. táblázatban természetesen csak egy elméleti megközelítést kapunk a rendelkezésre álló napenergia mennyiségéről, a valóságban a tényleges besugárzási értékekkel kell számolnunk. A vízszintes felületre számított tényleges globálisugárzás értékeket a kapott szorzószámokkal (minden hónap 21. napján) beszorozva meghatároztuk a hónapos átlag

energiamennyiséget (MJ), mely egy déli irányú, 30 fokos (G_{30}), illetve a legtöbb sugárzást felfogó felszín (G_{max}) 1 m^2 - es felületre átlagosan jut (4. táblázat).

A bemutatott számítás azonban tartalmaz pontatlanságot, mivel a globálisugárzás adatok tartalmazzák a szórt sugárzást is, azonban a fenti módszer csak a felhőtlen égbolt, vagyis a direkt sugárzási komponensre alkalmazható.

A levegő, vízgőz és szennyező anyagok molekuláin, valamint a felhők által szórt sugárzás nagyjából egyenletesen érkezik az égbolt minden pontjából, és csak a lejtő hajlásától függ, irányától független (Justyák-Martonné 1979). Magyarországon a vízszintes síkra érkező napenergiának éves átlagban fele diffúz formában érkezik, tehát a diffúz sugárzás szerepe nem hanyagolható el (Major 1985). Mivel a felszín geometriai tulajdonságai a globálisugárzás két komponensét eltérő arányban befolyásolják, ezért válik szükségszerűvé olyan számítási algoritmus kidolgozása, mely lehetővé teszi a két komponens külön vizsgálatát.

4. táblázat

Id pont		G	G 30°	Gmax
Jan	-19.6	108	266.83	358,9
Febr	-10.4	174	319.24	378,1
Márc	0.1	324	461.72	484,0
Ápr	11.4	460	529.37	528,9
Máj	20.1	595	592.12	610,3
Jún	23.3	622	584.73	622,9
Júl	20.3	662	654.03	677,5
Aug	12.1	557	630.52	630,8
Szept	0.5	410	582.24	593,3
Okt	-10.3	273	507.73	602,5
Nov	-19.5	120	321.86	442,8
Dec	-23.3	80	241.93	345,4

A tényleges globálisugárzás értéke vízszintes felületre (G), illetve a déli 30° -os és a hónapos maximális sugárzást kapó felületre a Justyák-Tar féle szorzószám alapján MJ/m²-ben

A direkt és szórt sugárzás arányának meghatározása

A felszínen mért globálisugárzás direkt és szórt komponensei arányának meghatározására, változóan felhős időszakokra, mérési adatok hiányában elméleti számítást alkalmaztunk.

Elsőként meghatároztuk a hónapos borultság (B) százalékát a nap-sütéses órák függvényében:

$$B = \frac{N_0 - N}{N_0} 100 \quad (8)$$

ahol N_0 – csillagászatilag lehetséges napfénytartam, N – tényleges napfénytartam.

Feltételezve, hogy a borult időszakban a globálisugárzás csak szórt sugárzásként érkezik a felszínre, így a B% arány a szórt ($G_{\text{szórt}}$) és direkt (G_{dir}) sugárzás között is fennáll:

$$G_{\text{szórt}} = \frac{GB}{100} \quad (9)$$

$$G_{\text{dir}} = G - G_{\text{szórt}} \quad (10)$$

ahol G a globálisugárzás.

Ha a lejtőszög nem nagy ($\beta < 40^\circ$), a szórt sugárzás a lejtő tulajdonságaitól függetlennek tekinthető (Muhenberg 1965). Mivel a különböző lejtésű felszínek a direkt sugárzás mennyiségét befolyásolják, a beérkező globálisugárzás mennyiségét a következő összefüggéssel határoztuk meg:

$$G_{\text{lejtő}} = (G_{\text{dir}} q_\beta) + G_{\text{szórt}} \quad (11)$$

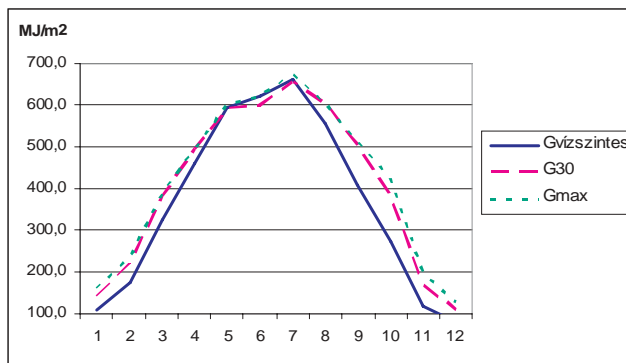
Hasonló számítás a szakirodalomban Justyák-Martonné (1979) tanulmányában található.

A (11) képlet alapján a vízszintes felülethez viszonyítva a ferde síkok alkalmazásával egész évben nagyobb energia-bevétel érhető el (5. ábra). A 30° dőlésszögű felszín a nyári hónapokban kevesebb energiát kap, mint a vízszintes, mivel ekkor az optimális hajlásszög is kisebb ennél. A nyári hónapokban nem nagy az a különbség, amelyet a vízszintes és ferde felszínek energia-bevétele mutat, viszont a téli

5. táblázat

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.
N_0 (óra)	275	285	367	407	466	475	480	440	377	336	279	262
N (óra)	57	85	149	192	249	268	296	273	206	156	67	47
G (MJ/m ²)	108	174	324	460	595	622	662	557	410	273	120	80
B (óra)	218	200	218	215	217	207	184	167	171	180	212	215
$B\%$	79.3	70.2	59.4	52.8	46.6	43.6	38.3	38.0	45.4	53.6	76.0	82.1
$G_{szórt}$ (MJ/m ²)	85.6	122.1	192.5	243.0	277.1	271.1	253.8	211.4	186.0	146.3	91.2	65.6
G_{direkt} (MJ/m ²)	22.4	51.9	131.5	217.0	317.9	350.9	408.2	345.6	224.0	126.8	28.8	14.4

A direkt és szórt sugárzás közti arány meghatározása vízszintes felületen; N_0 – csillagászati-
lag lehetséges napfénytartam (Debrecen), N – tényleges napfénytartam
(Debrecen 1927-1991), G – globálsugárzás (Debrecen, 1961-1990), B – borultság(N_0-N), $B\%$ –
a borultság százaléka a N_0 -hoz viszonyítva, $G_{szórt}$ – a szórt sugárzás, G_{direkt} – direkt sugárzás



5. ábra: Havi globálsugárzás mennyisége a különböző hajlásszögű déli lejtőkön Debrecenben

hónapokban ez 140% (30° esetében), és 164% (maximális szög esetében).

Az adott területre érkező napenergia villamos energiává való átalakítása az alkalmazott napelemek technikai adottságaitól függenek. A napelemek első generációját képviselő amorf kristályos rendszerek hatásfoka 8-10%. A polikristályos szilícium napelemek 10-14%-os hatásfokkal működnek, míg a legfejlettebb monokristályos rendszerek hatásfoka is mindössze 16-18%.

Debrecen térségében a vízszintes, illetve ferde felszínre érkező sugárzás mennyiségét kWh-ban a 6. táblázat tartalmazza.

Ha egy 150 Wp napelemet (8%-os hatásfokkal) alkalmazunk, adott

meteorológiai feltételek mellett a vízszintes felületen éves összegben 182,7 kWh, a 30° lejtésszögű felületről 202,0 kWh villamos energiát nyernénk, míg a minden hónapban optimális lejtésszögbe állított napelemről 209,9 kWh energia nyerhető (az utóbbi megoldás technikai okok miatt még kevésbé elterjedt). Ismerve a jelenlegi árszintet a napelem piacon, kijelenthető, hogy a befektetés megtérülési ideje 10-12 év (23,87 Ft/kWh áramátvételi értékkel számolva). A megtérülési idő lényegesen javítható támogatásokkal, vagy az átvételi ár emelésével. Példaként hozható fel Ausztria, ahol jelenleg 60 cent/kWh az átvétel értéke, ezzel 5 év alá csökkentve a megtérülési időt.

6. táblázat

	Jan.	Feb.	Már.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Év
$G_{vzszintes}$	30,0	48,3	90,0	127,8	165,3	172,8	183,9	154,7	113,9	75,8	33,3	22,2	1218,1
G_{30°	39,1	60,4	105,5	136,9	164,9	166,9	182,5	167,4	140,0	106,1	46,8	30,3	1346,8
G_{Max}	44,4	65,2	108,0	136,8	167,5	172,9	186,5	167,4	141,7	118,3	54,9	35,4	1399,3

6. táblázat: A Justyák-Tar féle formulával meghatározott globálsugárzás értékek (kWh/m²) Debrecenre vonatkoztatva, a vízszintes, 30°-os és a hónapos maximális sugárzást kapó felszíneken

Összegzés

Debrecen térségben a napenergia adottságok kiaknázásában jó hatásfok érhető el. Ennek maximalizálását a technikai berendezések mellett az általunk vizsgált déli tájolású felfogó felület dőlésszögének változtatásával érhetjük el. A számított paraméterű felfogó felszínre (déli, 30 fokos, illetve hónapos maximális sugárzást kapó hajlásszög) a vízszinteshez képest a téli hónapokban akár 40%-kal magasabb energia-bevételt is eredményeznek.

A napenergia-hasznosítás nagyfokú elterjedésének gátját a másik három alappillér között kell keresnünk. A technikai háttér jelenleg mindössze 10-18 %-os hatásfokot biztosít. A támogatási-hitelezési rendszer is fejlesztésre szorul Magyarországon, de jó alapot biztosíthat a külföldi, már jól működő minták átvétele. A harmadik pillér a lakosság hozzáállása, amely az oktatóssal és a média segítségével már középtávon jelentős eredmények érhetőek el.

Igazán komoly változások azonban csak összehangolt Európai Unió, állami és regionális politikával valósíthatóak meg, amelyben az oktatás, a K + F és a média játssza a főszerepet, minthogy ezeknek van a legnagyobb tudatformáló és fejlesztéseket segítő potenciálja.

Hivatkozások

Dobosi Z. - Felméry L. /1971/: Klimatológia. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 35.p.
 Justyák J. /1998/: Magyarország éghajlata – Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen 52-53.p.
 Justyák J. - Martoné E. K. /1979/: A domborzatnak és a napsugárzásnak, mint termőhelyi tényezőnek alakulása a Bodrogkeresztúri-félmedencében. Földrajzi Értesítő, 18. 3-4 füzet, 249-266
 Justyák J. - Tar K. /1994/: Debrecen éghajlata – KLTE Kiadó, Debrecen, 44-76.p.
 Justyák J. - Tar K. /1973/: A déli lejtőre és a vízszintes felszínre jutó közvetlen sugárzás kapcsolata. Időjárás, 77. 3. 164-174
 Kacz K. - Neményi M. /1998/: Megújuló energiaforrások – Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 11.o.

Kaempfert W. - Morgen A. /1952/: Die Bessnung, Diagramme der solaren Bestrahlung verschiedener Lagen, Zs. F. Met. 6. 138-146

Kondratyev K. /1954/: Lucsisztaja energija szolnca. Leningrad

Major Gy. (szerk) /1985/: A Napenergia hasznosítás meteorológiai megalapozása Magyarországon, ÉTI, Budapest

Muhenberg V. /1965/: Nyekotoriie oszobennosztyi prihoda szolnyecsnoj radiacii na naklonnuije povernosztyi. G. G. O. Trudü Vp. 179. 108-117

Šúri M. - Huld T.A. - Dunlop E.D. /2005/: PVGIS a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe. International Journal of Sustainable Energy, 24, 2, 55-67

Weinberg C. J. - Williams R. H. /1990/:

Energia a Naptól, Tudomány 1990 November 105-108.p.

**Bartók Blanka¹,
Csákerényi - Nagy Gergely²
Debreceni Egyetem
¹Meteorológiai Tanszék
²Társadalomföldrajzi és
Területfejlesztési Tanszék**

Zivatarfelhők szokatlan fényjelenségei

Amiről írok, az 15 évvel ezelőtt, 1991 nyarán történt. A pontos dátumra nem emlékszem, de az évszám az bizonyos, mert az volt az egyetlen nyár, amikor a budaörsi repülőtér mellett teljesíttem észlelő és diszpécser szolgálatot.

Este 21.00h és 21.30h között többször is kimentem a szolgálati helyiség erkélyére, hogy ránézzek a megfigyelőállomás térségét érintő, tőle zömében északra elvonuló zivatar alakulására. Negyed tíz után néhány perccel tűnt fel először, hogy a villámok között van egy olyan jelsorozat, amely helyét és fényintenzitását tekintve azonos felvillanásokból áll. E villanások északi irányban, alacsony magassági szögben mutatkoztak, sűrűn, szabálytalan időközönként, átlagosan fél- vagy egy percenként. Fél tíz körül már folyamatosan kémleltem az eget, mert a rejtélyes villódzás nem hagyott nyugodni. Rájöttem, hogy a villanások fészket irányból tekintve alacsony felhők takarják, és amit látok, az egy magasabb szintű felhőzetről történő visszaverődés, onnan, ahol hégag van az alacsony felhőzetben. A visszfény kb. 10° magassági szögben tükröződött, tehát a villanások tényleges helye tőlem igencsak messze lehetett. A fény szín- és intenzitáseloszlása alapján a földi reflektor eredetet kizárhatónak véltem (akkoriban a magánkezdeményezésű tűzijáték még számításba sem jöhetett). Jó darabig nem akartam hinni a szememnek, és csak sokára törődtem bele, hogy a felvillanások teljesen azonos

jelsorozatból állnak. (Eközben „normális” villámok is előfordultak, változatos irányból és fényerővel.) ¾10 körül 10-15 percre meg kellett szakítanom az égbolt folyamatos figyelését, hogy teljesítem SYNOP távirat adási kötelezettségemet. A villódzás azonban még ekkor sem maradt abba.

Néhány perccel 22 óra előtt megcsörrent a telefonom. A hívó fél azt közölte velem, hogy Újpesten, egy sokemeletes ház erkélyén állva, szokatlan fényjelenséget látott, tőle északnyugatra, kb. 50° magasságban. (Ez összhangban volt azzal, amit magam láttam Budaörsről.) Állítása szerint az ismétlődő fényes villanásokat sokan bámulták az erkélyekről. A bejelentést a telefonáló fogalmazása és hanghordozása alapján komolynak ítéltam. Azt válaszoltam neki, hogy véleményem szerint egy ismeretlen eredetű elektromos jelenséget látunk, amelynél a feszültségkülönbség azonos légtér részben folyamatosan újraképződik. Majd tréfásan azzal búcsúztam, hogy ha később a fényes valamiből esetleg kis zöld emberkéket látna kiszállni, akkor telefonáljon újra. (Az illető nem telefonált újra, tehát kis zöld emberkéket nem értek.)

Másnap figyeltem kollégáim arcát, a rádió híreit, és mindent, ami elárulhatta, hogy okozott-e feltűnést az előző esti fényjelenség. Úgy tapasztaltam, hogy általában nem vettük észre a szokatlan égi jelenséget, illetve aki mégis, az

másnapra kialudta. Akkoriban úgy döntöttem, hogy a furcsa élményemről nem számolok be, mert sokan nem hinnének nekem, ráadásul magam sem voltam teljes bizonyossággal meggyőződve arról, hogy amit láttam, az természeti eredetű. Tudom, a kedves Olvasó okkal csodálkozhat azon, hogy miért meséltem most mégis el ezt a régen látott tüneményt. A magyarázat az, hogy a közelmúltban került a kezembe (jóllehet több mint egy éve megjelent) Kósa-Kiss Attilának „Változó méretű égővörös fény – zivatarfelhőben” c. írása (Kósa-Kiss, 2004). Kósa-Kiss nem ugyanazt a tüneményt látta, mint amit én 1991-ben, de írása mégis rádöbbenett arra, hogy a légkörben nem csak ott és akkor történt zivatarhoz kapcsolódó szokatlan fényjelenség, amiről a fentiekben beszámoltam.

A 15 évvel ezelőtt átélt élménynek és Kósa-Kiss cikkének az az együttes tanulsága a számomra, hogy a modern kor embere általában nem nagyon figyel az őt körülvevő természetre, másrészt, ha olyasmit lát vagy hall, ami az általa korábban tanultakkal nem látszik harmonizálni, akkor hajlamos nem hinni sem a saját szemének, sem a szakmáját féltőn szerető tudósító szavainak.

Dr. Domonkos Péter

Irodalom

Kósa-Kiss A. 2004: Változó méretű égővörös fény – zivatarfelhőben. Légkör, 49/4, 25. és 32.

GYEPEK SZÉN-DIOXID FORGALMÁNAK MODELLEZÉSE

Bevezetés

A meteorológia feladata a légköri folyamatok megismerése, míg az élő és élettelen környezet közötti kölcsönhatások vizsgálatával az ökológia foglalkozik. A két tudományágnak látszólag kevés köze van egymáshoz. Van azonban egy fontos érintkezési területük: a talaj-növény rendszer kölcsönhatása a légkörrel. A folyamatok sokrétűek és összetettek, fizikai, kémiai és biológiai jellegűek.

A számítógépes numerikus modellezés forradalmasította a meteorológiát: lehetővé tette az időjárás és az éghajlat számszerű előrejelzését. A talaj-növény-légkör rendszer meteorológiai vonatkozású modellezésében az energia-, a momentum- és a vízháztartási folyamatokon van a hangsúly. E modelleket biofizikai modelleknek is nevezik. A talaj-növény-légkör rendszer ökológiai alkalmazású modellezésében a momentumátvitel kevésbé érdekes, ugyanakkor az energia- és vízháztartás folyamatainak leírása kiegészül a szén- és a nitrogénforgalom teljes vagy részleges taglalásával. E modelleket már nem biofizikai, hanem bio-geokémiai modelleknek nevezik.

A meteorológiai és az ökológiai vizsgálatok legfontosabb kapcsolódási pontja a növényállomány és a légkör közötti anyagcsere, ezen belül a párolgási és szén-dioxid csere folyamatának modellezése. Míg a múltban elsősorban a vegetáció vízháztartása érdekelte a szakembereket, napjainkra a szén-dioxid forgalom alakulása is az érdeklődés homlokterébe került. A légkör szén-dioxid háztartásában, és így a légköri üvegházhatás alakulásában ugyanis a bioszféra meghatározó szerepet játszik. Az ökológiai modellekben a vízgőz és a szén-dioxid

csere együtt vizsgálendő, mert a vízgőzcsere intenzitása meghatározza a szén-dioxid csere intenzitását is.

A légkör szén-dioxid (CO_2) koncentrációja az ipari forradalom előtti 280 ppm-es értékről (ppm: milliomod térfogatrész) mostanra elérte a 380 ppm-et. Napjainkban az emberiség a fosszilis tüzelőanyagok (szén, kőolaj, földgáz) elégetésével évi kb. 6,3 milliárd tonna szenet juttat szén-dioxid formájában a légkörbe, ami a teljes légköri CO_2 mennyiség közel 1%-a. Az erdőirtások során, amellet, hogy évente újabb 1,7 milliárd tonna szén kerül a légkörbe, egyúttal pusztul a CO_2 egyik fő nyelője, a vegetáció (IPCC, 2001). Az antropogén források által kibocsátott szén-dioxidnak csak egy része marad a légkörben, a többit felveszik az óceánok és a bioszféra.

A mérések és a modellszámítások szerint az utóbbi évtizedekben a szárazföldi ökológiai rendszerek növekvő szerepet játszanak a globális szén-dioxid körforgalomban, az antropogén eredetű légköri szén-dioxid felvételében, elsősorban az északi félgömb mérsékelt éghajlati övében (IPCC, 2001).

A bioszféra-talaj rendszer érzékeny széntároló (rezervoár): az éghajlat megváltozására (csapadék, hőmérséklet, besugárzás, stb.) a bioszféra szénforgalma gyorsan és jelentősen megváltozhat, ami az üvegházhatáson keresztül visszahat magára az éghajlatra. Amíg az elmúlt tízezer évben a bioszféra által respirációval leadott és fotoszintézise révén felvett szén mennyisége kiegyenlített volt, addig az utóbbi két-három évtizedben a bioszféra nettó szénfelvevővé vált (McGuire et al., 2001; Cao et al., 2002). Így mérsékli a növekvő szén-dioxid kibocsátással együtt járó légköri kon-

centráció-növekedés ütemét, ezzel az üvegházhatás gyorsabb erősödését, ezen keresztül pedig az éghajlatváltozást. Kérdéses azonban, hogy e labilis szén-rezervoár a hőmérséklet további emelkedésével nem válik-e nettó szén-dioxid forrássá már a közeljövőben? Erre utaló jeleket látunk az 1997 óta folyó hazai mérésekben (Haszpra et al., 2005), de ennek a veszélynek a reális és közeli voltát jelzi a globális légköri szén-dioxid koncentráció növekedésének utóbbi években tapasztalt szokatlanul magas üteme is (<http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg/trends/>), amelyet nem az antropogén kibocsátás növekedése generál.

Amíg nem ismerjük pontosan a bioszféra viselkedését, addig nem tudjuk megbízhatóan előre jelezni a szén-dioxid légköri koncentrációjának változását, és ezen keresztül az éghajlatváltozást. A bioszféra viselkedésének megértéséhez először az ökoszisztémák szintjén bekövetkező szén-dioxid forgalom változás lehetséges okait kell tisztáznunk. Mivel az ökológiai rendszerek szénforgalma számos tényezőtől függ, a működésük megértéséhez fizikai, kémiai és biológiai folyamataik minél pontosabb ismerete szükséges. Ehhez a mérések mellett a legmegfelelőbb eszközként a folyamatok matematikai leírását felhasználó, számítógépes ökoszisztéma modellek kínálóznak.

Jelen tanulmányban egy ökológiai modell hazai viszonyokra való adaptálásának első eredményeit mutatjuk be.

A talaj-növény-légkör rendszer ökológiai modellezése

Már az 1970-es években megjelentek az ökológiai rendszerek működését szimuláló, közvetlenül a növények fiziológiai folyamatainak

matematikai leírásán alapuló modellek, melyeket elsősorban a legnagyobb széntárolóknak feltételezett erdőségek szénforgalmának leírására fejlesztettek ki. Ezek képesek voltak hozzávetőleg megadni a növények reakcióját a változó környezeti feltételekre. Az utóbbi évek egyik fontos felismerése volt, hogy az erdők mellett az Eurázsiai és Észak-Amerikában jelentős területet borító gyepek ugyancsak fontos szerepet játszanak a globális szén-dioxid körforgalom alakításában, így ezek vizsgálata is nélkülözhetetlen (Suyker and Verma, 2001).

A modellezés nélkülözhetetlen része a számítási eredmények verifikálása, azaz összevetése a megfigyelésekkel. A modellek különböző környezeti feltételekhez, különböző ökológiai rendszerekre való adaptálásához szükség van minél pontosabb helyi mérési adatokra. A nyugat-magyarországi gyepek területek vizsgálatához a hegyhátsági (Vas megye, 46°57'N, 16°39'E, 248 m – Barcza et al., 2003) mérőállomásról állnak rendelkezésre adatok. Itt két éven keresztül (1999–2000) folytak nagy pontosságú, közvetlen anyagáram mérésen alapuló (ún. eddy-kovariancia elven működő) felszín-légkör szén-dioxid csere mérések kvázi-természetes fajösszetételű gyepek felett. Ezek a mérések lehetővé teszik, hogy a világon rendelkezésre álló ökológiai modellek valamelyikét a hazai viszonyokhoz igazítsuk.

A Biome-BGC

Részletes dokumentáltsága és a széleskörű használat során nyert kedvező tapasztalatok miatt hazai célokra a Biome-BGC modellt választottuk. Ezt a modellt az 1990-es években az Amerikai Egyesült Államokban, a Montanai Egyetemen fejlesztették ki (Running and Hunt, 1993; White et al., 2000). Felépítése folytán, megfelelő paramétere-

zés mellett, különböző ökológiai rendszerek működésének leírására is alkalmas. Bár a modell nitrogén- és vízforgalmat is kezel, elsősorban a növényi szénforgalom legfontosabb paramétereinek, az ökológiai rendszer nettó szén-cseréjének (Net Ecosystem Exchange – NEE), a bruttó elsődleges terméknek (Gross Primary Product – GPP) és az ökológiai rendszer teljes respirációjának (Total Ecosystem Respiration – TR) meghatározására használatos.

Az ökológiai modellek adaptációja során komoly probléma, a gyakorta hiányos dokumentáció mellett, hogy a modell által igényelt bemenő paraméterek kisebb vagy nagyobb részének a vizsgált helyszínre vonatkozó értékeit nem ismerjük (White et al., 2000). Ennek a problémának a részbeni kiküszöbölését szolgálja a Biome-BGC ún. spin-up („felfutási”, kiegyenlítő) futási módja. A spin-up futás során a modell szimulálja a vizsgált ökológiai rendszer fejlődését. Az ismert adatok és hosszú távú (valós vagy szimulált) meteorológiai adatsorok felhasználásával meghatározza a helyileg nem ismert környezeti és növényélettani paraméterek egyensúlyi értékeit (pl. a talaj szervesanyag-tartalma, a vizsgált ökológiai rendszer szén- és nitrogéntartalma, stb.). Az így kapott értékek feltehetően megközelítőleg jól tükrözik a valóságban is kialakult állapotokat. Az ismert és a spin-up futás során meghatározott paraméterértékeket használja aztán a modell kiindulási adatokként a második, ún. normál futási fázis során, az ökológiai rendszer működésének napi léptékű szimulálásához.



Füf felszín fölötti eddy kovariancia mérés Hegyhátsálon (Kern Anikó felv.)

A Biome-BGC magyarországi alkalmazása

A hegyhátsági gyepekre vonatkozóan nem álltak rendelkezésünkre részletes talajtani és növénytani adatok. A tényleges számítások megkezdéséhez ezért nem nélkülözhetjük a Biome-BGC modellt spin-up fázisát. Ez a vizsgált ökológiai rendszer több évtizedes, egyensúlyra törekvő fejlődését szimulálja, amelyhez meteorológiai adatok is szükségesek. Hegyhátsárra ilyen hosszú meteorológiai adatsorok sem állnak rendelkezésre, ezért a szimulációhoz a Kelet Anglia Egyetem Klímakutató Csoportjának (Climate Research Unit [CRU], University of East Anglia, Norwich, Egyesült Királyság) hosszútávú, rácsponos éghajlati adatállományának Hegyhátsál körzetére vonatkozó adatait használtuk (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/>; New et al., 2002). A CRU adatbázisa havi átlagértékeket tartalmaz, míg a Biome-BGC használatához napi adatokra van szükség. Virtuális napi adatok előállítására a C2W időjárás-generátort alkalmaztuk,

amely egy sztochasztikus modell révén, Hegyhátsál földrajzi helyzete és a CRU adatbázisából ismert éghajlati jellemzők (átlaghőmérséklet, csapadékösszeg, stb.) ismeretében a havi adatokból virtuális napi adatokat generált (Bürger, 1997).

A *spin-up* fázis során a növényélettani paramétereket még nem módosítottuk, a modell-dokumentáció ajánlásait alkalmaztuk (White et al., 2000). Az eredeti növényélettani paraméterekkel és a *spin-up* futtatás során kapott környezeti paraméterek felhasználásával a modell már hozzátétőlegesen jól adta vissza a terepi mérések értékeit, de a korreláció a mért és számított anyagáramok (NEE, GPP, TR) között még a kívánatosnál gyengébb volt. Szembetűnő volt a produktivitás és a téli respiráció túlbecslése. A modell még további finomhangolásra szorult, amit a szaknyelv kalibrációnak nevez.

A kalibráció során a paraméterek értékeinek változtatásával keressük azt a paraméterérték-együttest, amely mellett a modell a leghívőbban adja vissza a tesztidőszak mérési eredményeit. Feltételezhető, hogy az így meghatározott paraméterértékekkel a mérések által már le nem fedett időszakokra is jó közelítéssel a valóságnak megfelelő eredményeket kapunk, azaz a modell alkalmas a vizsgált ökológiai rendszer viselkedésének elfogadható pontosságú szimulálására.

A Biome-BGC, más folyamat-orientált ökológiai modellekhez hasonlóan, sokparaméteres, erősen nemlineáris rendszer. A paraméterek értékeinek egyenkénti, egymás utáni behangolása jó eséllyel nem vezet el az optimális paraméterérték készlethez. A számításokat tehát elvben minden ésszerű paraméterérték-kombinációra el kellene végezni, ami egy ilyen sokparaméteres rendszer esetében irreális feladat lenne.

Első lépésként az egyes paraméterek értékeit külön-külön mó-

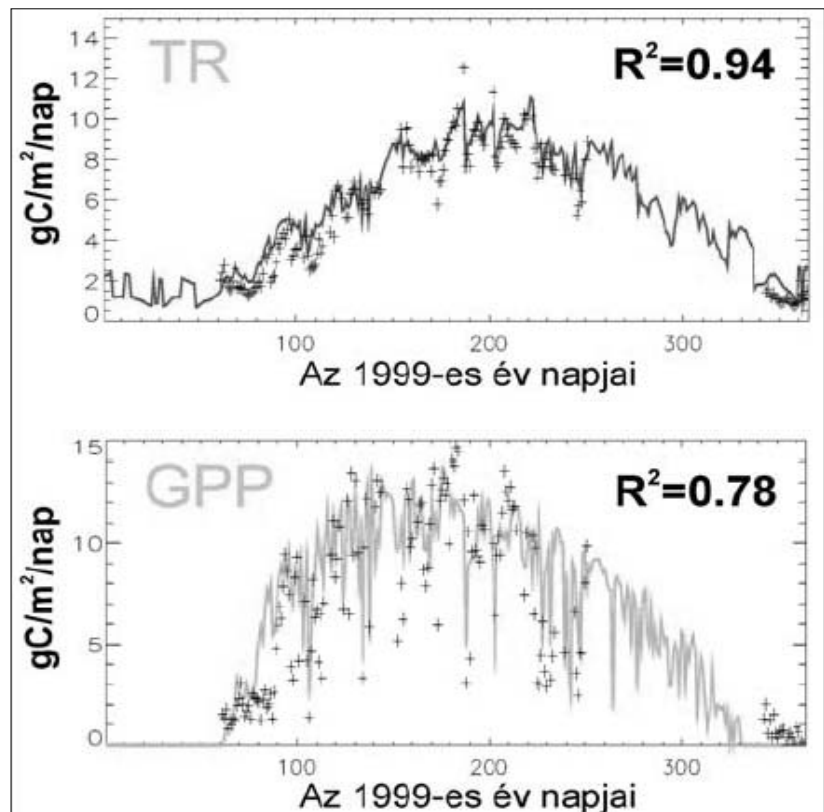
dosítottuk, és kiválasztottuk azokat a paramétereket, amelyek módosítására a modell-eredmény lényegesen megváltozott (érzékenység-analízis). A kalibrációt a továbbiakban csak ezekre a paraméterekre végeztük. A többi paraméter értékére a modell nem érzékeny, az értékek esetleges pontatlansága az eredményeket lényegesen nem befolyásolja. A Biome-BGC növényélettani paraméterei közül a modell a sztóma vezetőképességére* bizonyult a legérzékenyebbnek. Ennek magyarázata abban rejlik, hogy a sztóma vezetőképessége erősen befolyásolja a növényi produktivitást, és ezen keresztül az ökológiai rendszerek szénháztartását.

A modell-kalibráció egyik lehetséges matematikai megvalósítási módja a Bayes-féle statisztikai közelítés (Mosegaard and Tarantola, 1995; Kennedy and O'Hagan, 2001). A Bayes-féle kalibráció bár-

milyen matematikai modellre alkalmazható, de előnyei igazán az olyan erősen nemlineáris, sok paraméterrel használó, komplex modellek esetén érvényesülnek, mint amilyenek a folyamat-orientált ökológiai rendszer modellek is.

A Bayes-féle kalibráció során az érzékenység analízissel kiválasztott paraméterek értékeit – az ésszerű tartományokon belül – véletlenszerűen kombináljuk, és az ezekkel a kiindulási értékekkel végzett modellszámítások eredményeit összevetjük a mérési adatokkal.

A kalibrációs eljárás nyomán lényegesen megnőtt a számított és a mért adatok közti korreláció (1. ábra), csökkent a produktivitás téli túlbecslése. A kalibrált modell meglehetősen pontossággal visszaadja a vegetációs periódus kezdetén megfigyelhető hirtelen produktivitás-növekedés. A kalibrációt követően a Biome-BGC modell lényegében alkalmassá vált arra,



1. ábra: A hegyhátsáli kvázitermészetes fajösszetételű gyepről mért (+) és a Biome-BGC modell kalibrált változatával számított (folytonos vonal) teljes respirációja (TR - fent), valamint bruttó elsődleges terméke (GPP - lent) 1999-re vonatkozóan

hogy segítségével megvizsgálhasuk a környezeti tényezőkben bekövetkező esetleges változásoknak (pl. éghajlatváltozás, változás a tápanyag-ellátottságban, stb.) az ökológiai rendszerekre, illetve azok szénháztartására gyakorolt hatását.

Összefoglalás

Az éghajlat-modellezés az ökológiai visszacsatolások figyelembevételével, azaz a fizikai folyamatok mellett a biológiai és kémiai folyamatok számszerűsítésével, pontosabbá válik. Ugyancsak nem elhanyagolható szempont, hogy az ökológiai rendszerek folyamatainak modellezése révén közvetlen gazdasági jelentőségű információkhoz is juthatunk. Vizsgálhatjuk a növényi produktivitás változását a környezeti tényezők változásának függvényében, beleértve ez utóbbiba mind az éghajlati változásokat, mind pedig a közvetlen emberi beavatkozást (öntözés, trágyázás, stb.). A hazai viszonyokra adaptált, bekalibrált Biome-BGC modell már ma is alkalmas a nyugat-dunántúli gyepes területek viselkedésének kielégítő pontosságú szimulálására. A hazai környezetpolitikai döntések megalapozásához, illetve a regionális/globális szén-dioxid forgalom alaposabb megértéséhez a továbbiakban a modellt igyekszünk kiterjeszteni a Magyarországot, és általában a közép-európai régiót jellemző vegyes vegetációjú területek (mezőgazdasági területek, rétek, erdők, stb.) eredő szénforgalmának leírására. Ehhez jó alapot adnak a Hegyhátsálon 1997 óta folyó regionális skálájú felszín-légkör szén-dioxid forgalom mérések (Haszpra et al., 2005; Haszpra és Barcza, 2005).

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a Numerical Terradynamics Simulation Groupnak, a Montanai Egyetem fejlesztőinek, hogy rendelkezésünkre bocsátották

a Biome-BGC és a MTCLIM modelleket (<http://www.ntsg.umt.edu>), illetve Gerd Bürgernek, hogy elérhetővé tette számunkra a C2W program forráskódját. Köszönjük Ács Ferencnek (ELTE Meteorológiai Tanszék) értékes tanácsait.

Hidy Dóra, Barcza Zoltán
ELTE Meteorológiai Tanszék
Haszpra László OMSZ
Galina Churkina
Max Planck Institute for
Biogeochemistry, Jena

Irodalomjegyzék

- Barcza, Z., Haszpra, L., Kondo, H., Saigusa, N., Yamamoto, S. and Bartholy, J., 2003: Carbon exchange of grass in Hungary. *Tellus*, 55B: 187-196.
- Bürger, G., 1997: On the disaggregation of climatological means and anomalies. *Climate Research* 8, 183-194.
- Cao, M., Prince, S. D., and Shugart, H. H., 2002: Increasing terrestrial carbon uptake from the 1980s to the 1990s with changes in climate and atmospheric CO₂. *Global Biogeochemical Cycles* 16, 1069-1082
- Haszpra L. és Barcza Z., 2005: Légköri szén-dioxid mérések Magyarországon. *Magyar Tudomány* 50/1, 104-112.
- Haszpra, L., Barcza, Z., Davis, K. and Tarczay, K., 2005: Long term tall tower carbon dioxide flux monitoring over an area of mixed vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology* 132, 58-77.
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. (eds. J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson). Cambridge University Press, Cambridge, U.K. and New York, U.S.A.

Kennedy, M. and O'Hagan, A., 2001: Bayesian calibration of computer models. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*. 63, 425-464.

McGuire, A. D., Sitch, S., Clein, J. S., Dargaville, R., Esser, G., Foley, J., Heimann, M., Joos, F., Kaplan, J., Kicklighter, D. W., Meier, R. A., Melillo, J. M., Moore, B. I., Prentice, I. C., Ramankutty, N., Reichenau, T., Schloss, A., Tian, H., Williams, L. J., and Wittenberg, U., 2001: Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of CO₂, climate and land use effects with four process-based ecosystem models. *Global Biogeochemical Cycles* 15, 183-206.

Mosegaard, K., and Tarantola, A., 1995: Monte Carlo sampling of solutions to inverse problems.

Journal of Geophysical Research 100B, 12431-12447.

New, M., Lister, D., Hulme, M. and Makin, I., 2002: A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*, 21, 1-25.

Running, S. W. and Hunt, E. R. J., 1993: Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, Biome-BGC, and an application for global-scale models. In: *Scaling physiological processes: leaf to globe* (eds.: Ehleringer, J. R. and Field, C. B.). Academic Press, San Diego (CA), 141-158.

Suyker, A. E. and Verma, S. B., 2001: Year-round observations of the net ecosystem exchange of carbon dioxide in a native tall grass prairie. *Global Change Biology* 3, 279-290.

White, M. A., Thornton, P. E., Running, S. W. and Nemani, R. R., 2000: Parameterization and sensitivity analysis of the Biome-BGC terrestrial ecosystem model: net primary production controls. *Earth Interactions* Vol. 4, 1-85.

KISLEXIKON

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

Folytatás a 19. oldalról

Richardson kaszkadikus elve

Seres A. és Ács F.: *A szinoptikus helyzetek...*

A légkörben, mint egymással súrlódó, különböző méretű örvények összességével jellemezhető

közegben a mozgási energia folyamatos átalakulása a nagyobb kiterjedésű mozgásformáktól a hierarchia alacsonyabb lépcsőjén elhelyezkedő kisebb örvények irányába, egészen a molekuláris skáláig.

Összeállította: Gyuró György

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

Rovatvezető: Maller Aranka

Rendezvényeink 2006. július 1–október 31 között

Választmányi ülés: 2006. október 5.

Napirend:

1. A Vándorgyűlés, valamint az Erdő és klíma konferencia programjának véglegesítése
2. Kapcsolat az Amator Meteorológusok Egyesületével
3. Kapcsolat a magánmeteorológusokkal
4. Javaslattevő bizottságok felkérése (Steiner, Nívódíj, Róna, Berényi)
5. Folyó ügyek
6. Tagfelvétel

Felvett tagok: Dombai Ferenc, Énekes Nóra Andrea, Hollósi Brigitta, Juhász Ágota, Pomázi István, Teleki Valter

Előadó ülések, rendezvények: 2006. október 25-27.

A Magyar Meteorológiai Társaság XXXI. Vándorgyűlése és az V. Erdő és klíma konferencia rendezvényre Mátrafüreden került sor.

A rendezvényről bővebben a következő számban olvashatnak.

Köszönet az 1%-ért!

Az 1996. évi CXXVI. törvény feljogosította az adózó állampolgárokat, hogy személyi jövedelemadójuk 1%-át az általuk megjelölt közcélú intézmény javára átutaltathassák az APEH-hel.

Örömmel jelentjük, hogy a 2005. évi bevallásaikban a Társaságunknak ajánlott 1%-ok összesen **374.196.- Ft**-ot tettek ki, amit az APEH át is utalt számunkra.

Ezúton fejezzük ki köszönetünket a támogatásért.

Elszámolás a 2004. évi SZJA-ból felajánlott 1%-ról

A 2004. évi adóbevallásban újból lehetett felajánlani a befizetendő SZJA 1%-át azon társadalmi szervezetek részére, akik megfeleltek a törvény által előírt követelményeknek. Örömmel tudatjuk kedves tagtársainkkal, hogy társaságunk megfelelt az előírásoknak és meg is kapta az Önök által felajánlott, összesen **329.215.- Ft**-ot. A felajánlott összeget a 2005. évi postaköltségekre és az Internet előfizetésre használtuk fel.

Mégegyszer nagyon köszönjük a felajánlást és reméljük, hogy ebben az évben is sokan nekünk adják személyi jövedelemadójuk 1%-át, ennyivel is könnyítve nehéz anyagi helyzetünkön.

Az MMT Elnöksége

HUNGEO 2006

Augusztus 21. és 25. között nyolcadszorra került megrendezésre a magyar földtudományi szakemberek világtalálkozója „Energiahordozók nyomában – Pannon tájakon” címmel. A helyszín ezúttal Pécs, a Pécsi Tudományegyetem volt. Nagy megtiszteltetés, hogy Sólyom László, a Magyar Köztársaság elnöke elvállalta a konferencia fővédnökségét.

A konferenciát hagyományosan a Magyarhoni Földtani Társulat rendezte, de szervezésében több, földtudományokban érdekelt tudományos társaság (így a meteorológiai) is részt vett. Az OMSZ anyagi támogatással járult hozzá a lebonyolításhoz.

A találkozó 140 résztvevője közül legtöbben a határokon belüli szakemberek voltak, de közel harmincan érkeztek Erdélyből, Kárpátaljáról, a Délvidékről és más országokból is.

Az első napon a plenáris előadások zajlottak. Közülük kettő volt meteorológiai témájú. Geresdi István, a Pécsi Tudományegyetem Környezettudományi Intézetének tanszékvezető docense „Az aeroszolrészecskék hatása a Föld éghajlatára” címmel tartott előadást, míg Horváth Ákos, az OMSZ Siófoki

Viharelőrejelző Observatóriumának munkatársa a „Pusztító légköri energiákról” beszélt. Előadásának szomorú aktualitást adott az előző esti (augusztus 20-i) budapesti vihar, ezért korábbi terveit kiegészítve erről az eseményről is tartott nagyon érdekes, látványos beszámolót.

A következő napon, augusztus 22-én a szekció ülésekre került sor. Az összesen hat szekció között jelentős súllyal szerepelt a meteorológia, 11 előadás hangzott el, és 7 poszter készült. Az előadások témája részben a címadó energiahordozókkal (elsősorban a szélenergiával) vagy az energiatermelés kapcsán a levegőtisztasággal volt kapcsolatos, de voltak olyanok is, melyek az éghajlatváltozással vagy különböző meteorológiai paraméterek elemzésével foglalkoztak.

Az elhangzott előadások:

Bihari Zita, Szentimrey Tamás, Birszki Bálint: Széltérképek készítése a MISH interpolációs rendszerrel

Dobi Ildikó, Németh Ákos, Varga Bálint, Tarjányi Zsuzsanna: A szélenergia hazai hasznosításának elősegítése meteorológiai információkkal

Radics Kornélia, Bartholy Judit: A hazai szélklíma szélsőségeinek elemzése

Lakatos Mónika: A fűtési energiaigényt befolyásoló hőmérsékleti paraméterek alakulása 1901–2005 között

Labancz Krisztina: Az energiahordozók környezeti hatásai: a hazai levegőminőségi alapterhelés meghatározása

Horváth László, Weidinger Tamás: A bioszféra-légkör közti nyomanyag-kicserélődéssel kapcsolatos kutatások az Országos Meteorológiai Szolgálatnál; összefoglaló az utóbbi húsz év eredményeiről

Mika János: Az éghajlat múltjának és jövőjének kutatása: mit tanulhatunk egymástól?

Bartholy Judit, Pongrácz Rita, Hunyady Adrienn, Torma Csaba: A PRECIS és a RegCM regionális klímamodellek adaptálása Közép- Kelet-Európa térségére

Pongrácz Rita, Bartholy Judit, Pattantyús-Ábrahám Margit, Pátkai Zsolt: Az Atlanti-Európai térség cirkulációs viszonyainak elemzése 1957-2002 között

Molnár József, Kakas Mónika, Marguca Viola: A hősziget sajátosságai egy kisvárosban – beregszászi vizsgálatok alapján

Péliné Németh Csilla, Radics Kornélia: Magyarországi ködviszonyok statisztikai elemzése

A bemutatott poszterek:

Drüszler Áron, Csirmaz Kálmán, Mika János: A felszínhasználat dokumentált magyarországi változásainak hatása az éghajlatra az MM5 finom felbontású modell alapján

Kern Anikó, Bartholy Judit, Pongrácz Rita, Barcza Zoltán, Gelybó Györgyi, Ferencz Csaba: A légköri vízgőz származtatása NOAA AVHRR, ATOVS és MODIS adatok alapján

Mika János, Máthé Csongor, Schlanger Vera: Az éghajlati átlagok és a változékonyság várható változásai 17 GCM eredményei alapján

Pongrácz Rita, Bartholy Judit: Detektálható éghajlati trendek a hazai növénytermesztést befolyásoló klímaparaméterek alapján

Radics Kornélia, Bartholy Judit: A potenciális szélenergia változékonysága Magyarországon

Szalai Sándor, Bihari Zita, Lakatos Mónika, Szentimrey Tamás: Magyarország éghajlata néhány jellemzőjének bemutatása új matematikai statisztikai eszközök alkalmazásával

Schlanger Vera, Bella Szabolcs, Szalay Sándor: Az ESPERE internetes Éghajlati Enciklopédia

A meteorológiai előadásokat általában nagy létszámú közönség hallgatta, többen jöttek más szekciók résztvevői közül is.

A találkozó további három napján szakmai terepbejárást szerveztek Baranyában és Horvátországban.

Bihari Zita

* * *

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT KÖZLEMÉNYE

Az Országos Meteorológiai Szolgálat Elnöksége – a 6/2003. (IV.28.) KvVM rendelet alapján – a *Meteorológiai Világnap* alkalmából, (2007. március hó 23.) **miniszeri elismerések** adományozására kíván előterjesztést tenni.

Ennek megfelelően a hazai és a nemzetközi meteorológia területén kimagasló tudományos kutatások és szakmai eredmények elismeréséül két *Schenzl Guidó-díj*, valamint négy *Pro Meteorologia Emlékplakett* adományozására kerülhet sor.

A Szolgálat Elnöksége felhívja a szakmai, tudományos és társadalmi szervezeteket, egyesületeket, kamarákat, gazdálkodó szervezeteket, intézményeket, önkormányzatokat, valamint a meteorológia iránt érdeklődést tanúsító magánszemélyeket, hogy az elismerésekre tegyék meg javaslataikat.

A javaslatokat **2007. január hó 23.** napjáig kell, az Országos Meteorológiai Szolgálat Elnöki Irodájára, a személyügyi referensnek eljuttatni. **(1024 Budapest, Kítaibel Pál u. 1).**

A javaslatnak tartalmaznia kell a jelölt *nevét, személyi adatait*, munkahelyét, beosztását, tudományos fokozatát, korábbi kitüntetéseit, továbbá szükséges ismertetni az *indítványt megalapozó eredményeket* is.

Az elismerések adományozására beérkezett javaslatokat az erre a célra alakult bizottság értékeli, amelyben a Szolgálaton kívül képviselteti magát a Magyar Honvédség Meteorológiai Hivatala, a Magyar Tudományos Akadémia, az ELTE Meteorológiai Tanszéke, valamint a Magyar Meteorológiai Társaság.

Az elismeréseket a *miniszter* vagy megbízottja a Meteorológiai Világnapon ünnepélyes keretek közt adja át.

**Országos Meteorológiai Szolgálat
Elnöki Iroda**

* * *

2006 NYARÁNAK IDŐJÁRÁSA

Június időjárására kettősség volt jellemző: a hónap első felében az átlagnál 5-6 fokkal hidegebb, 14-től kezdve azonban a megszokottnál esetenként 6-8 fokkal is melegebb volt az idő. Június végén nagy viharokkal érkezett a lehűlés, a hónap középhőmérséklete azonban összességében az átlagnál 0,9 fokkal magasabb volt, 19°C-nak adódott.

A hónap végi kánikula miatt 22-től kezdve közel egy hétig hőségriadó volt érvényben az ország területén, de nappali csúcshőmérsékleti rekord nem született. 26-án éjszaka megdőlt a július 26-ára vonatkozó éjszakai melegrekord: Budapesten 23,1 °C-os éjszakai minimum-hőmérsékletet regisztráltak (a korábbi rekord 21,5°C volt).

Országszerte 15-19 nap volt nyári; hőségnap a középső-déli országrészben 10-14, a hegyvidéki területeken 0-3 alkalommal fordult elő. Forró napot csak hazánk középső területein regisztráltak, 1-2 alkalommal.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 36,7 °C Fülöpháza (Bács-Kiskun megye) június 27.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: 0,1 °C Zabar (Nógrád megye) június 1.

Június, folytatva az év eleje óta tartó tendenciát, közel 30%-kal csapadékosabb volt mint a sokévi átlag. Amíg azonban az ország középső részén a szokásos csapadékmennyiség 150–230%-a hullott le, az északkeleti valamint északnyugati vidékeken helyenként a normálértéket sem érte el a csapadékhozam.

A hónap eleji nagy esőzések, valamint a május végi nagy csapadékok június első felében komoly áradásokat okoztak országszerte, a hónap végén pedig hirtelen lezúduló, nagy mennyiségű csapadékot szállító lokális esőzések változtatnak sártengerré egész városrészeket Budapesten.

Június 22-én Miskolcon tornádót észleltek, a június végi viharos időjárás következtében pedig több patak kilépett a medréből, a szél fákat tépett ki, tetőket rongált meg.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 260 mm Rákoscaba (Budapest)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 38 mm Üröm (Pest megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 107 mm Nógrádszék (Nógrád megye) június 27.

107 mm Rákoscaba (Budapest) június 22.

Július mintegy 3 fokkal melegebb volt a sokévi átlagnál, középhőmérséklete országos átlagban 22,8°C-nak adódott. Legtöbb helyen a hónapnak mindössze 4 napján csökkent átlag alá a napi középhőmérséklet, július túlnyomó többségében a szokásos napi középértéket 3-6 fokkal meghaladó hőmérsékleteket regisztráltak. A hónap során a kánikula miatt többször rendeltek el hőségriadót, mégis mindössze egy melegrekord született: Budapesten július 22-én 36,9 Celsius fokot mértek (a korábbi rekordot, 36 °C-ot 1998. július 22-én regisztrálták).

Júliusban a hegyvidékek kivételével 26-28 nap volt nyári, és 15-22 nap volt hőségnap. Forró napot az országban csak néhány pontján regisztráltak, 1-5 alkalommal.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 36,9 °C Budapest július 22.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: 5,3 °C Zabar (Nógrád megye) július 16.

Július, megszakítva az éve eleje óta tartó tendenciát, csapadékszegényebb volt mint az átlag: az ilyenkor szokásos csapadékmennyiségnek csak a fele hullott le a hónap folyamán. Az ország nyugati felében volt nagyobb a szárazság, ott a havi csapadékmennyiség helyenként mindössze 30%-a volt a sokévi átlagnak, míg a legcsapadékosabbnak a keleti országrész bizonyult, ahol a normál 70%-a is lehullott.

A hőséget néhol jégeső és heves vihar váltotta. Július 22-én egy ember meghalt és három megsebesült, amikor a viharos szél leszakított egy világító transzparenst. Júliusban többször fordult elő jégzápor is, de hirtelen lezúduló nagy csapadékok is komoly károkat okoztak. Július 24-én egy heves záport követően 70 tonna iszapot kellett a budai utakról eltávolítani.

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 95 mm Penc (Pest megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 5 mm Pátyod (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 54 mm Kecskemét (Bács-Kiskun megye) július 24.

Augusztus középhőmérséklete elmaradt a sokévi átlagértéktől, az anomália ugyanakkor országon belül nem volt egyenletes. Az északkeleti országrészben a hónap csak 0,3-1 fokkal, a délnyugati régióban viszont helyenként 1,6 fokkal is hűvösebb volt az ilyenkor megszokottnál.

Augusztus nagy részében átlag alatt alakultak a napi középhőmérséklet értékek, több napig tartó meleg időszakra csak a 20-át megelőző héten volt példa. 20-án este aztán komoly viharral érkezett meg a lehűlés, Budapesten a 120 km/órát meghaladó (orkán erejű) széllel járó széllelőkeések következtében 5 ember vesztette életét, az anyagi kár milliárdos volt.

Augusztusban forró nap nem volt, ahogy a hegyvidéki területeken és a nyugati régióban hőség nap sem fordult elő. Az ország középső és keleti területein 3-5 hőség napot, és 10-20 nyári napot regisztráltak augusztusban, a nyugati vidékeken 5-10 nap volt nyári.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet: 34,3 °C Körösszakál (Hajdú-Bihar megye) augusztus 20.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet: 4,0 °C Zabar (Nógrád megye) augusztus 30.

Augusztus csapadékhozama több mint másfélszerese volt a sokévi átlagnak, jórészt nagy csapadékot adó lokális zivataroknak köszönhetően. Ennek megfelelően a csapadékhozam átlagtól való eltérése igen változatosan alakult az országon belül: egyes területeken a normálérték kevesebb mint 150%-a, máshol közel 300%-a hullott le a hónap folyamán.

A hónap legnagyobb napi csapadékhozamát augusztus 1-jén regisztrálták, amikor Budapesten és vonzáskörzetében egy nap alatt 70–90 mm csapadék hullott (az augusztus havi átlagos csapadékhozam 76 mm).

A hónap legnagyobb csapadékösszege: 220 mm Záhony (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege: 52 mm Drégelypalánk (Nógrád megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék: 93 mm Isaszeg (Pest megye) augusztus 1.

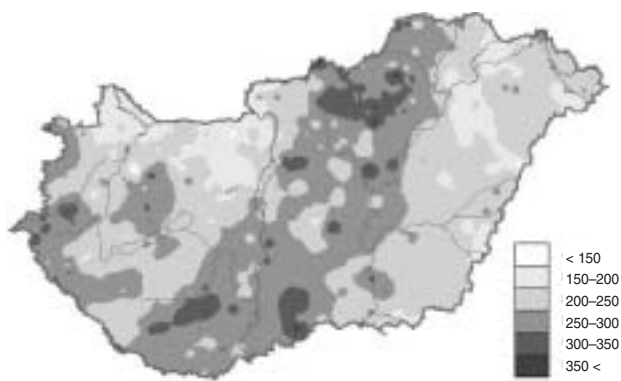
Schlanger Vera

2006. nyár

állomások	napsütés (óra)		hőmérséklet (°C)						csapadék (mm)			szél
	évsz.össz.	eltérés	évsz.közép	eltérés	absz.max.	napja	absz.min	napja	évsz.	összátlag%-ában	1mm-<napok sz.	viharos napok
Szombathely	744	26	19,6	1,2	34,6	2006.07.22	2,7	2006.06.01	236	104	30	7
Nagykanizsa	788	38	19,4	0,5	34,6	2006.06.27	2,2	2006.06.01	275	113	28	5
Győr	795	25	20,6	1,2	35,3	2006.07.21	6,6	2006.06.01	175	97	24	3
Siófok	862	64	21,5	1,3	34,6	2006.06.26	9,7	2006.06.06	211	111	20	18
Pécs	789	-31	20,6	0,8	34,0	2006.06.27	7,0	2006.06.11	245	118	24	6
Budapest	865	88	21,3	1,3	36,5	2006.07.22	5,8	2006.06.01	344	207	21	8
Miskolc	795	80	19,9	0,8	32,6	2006.07.21	5,2	2006.06.01	247	118	31	7
Kékestető	742	-9	15,0	0,9	26,6	2006.07.22	3,1	2006.06.01	344	129	32	6
Szolnok	762	-41	21,4	1,3	35,4	2006.07.22	7,0	2006.06.01	345	202	31	-
Szeged	813	4	20,7	0,6	34,3	2006.07.21	3,7	2006.06.01	217	121	24	8
Nyíregyháza	-	-	20,1	0,6	34,1	2006.07.21	7,2	2006.06.01	268	130	26	11
Debrecen	831	38	20,5	1,0	33,6	2006.07.21	6,3	2006.06.01	192	93	28	7
Békéscsaba	852	44	20,7	0,6	34,6	2006.06.27	4,9	2006.06.01	231	129	32	5



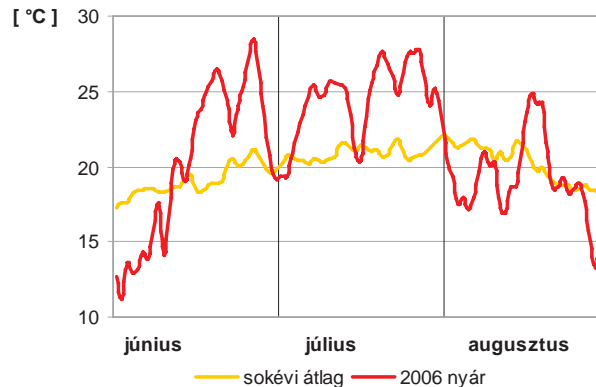
1.ábra: A nyár középhőmérséklete °C-ban



2.ábra: A nyár csapadékösszege mm-ben



3.ábra: A nyár globálsugárzás összege MJ/cm²-ben



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

EXNER, Felix, Max

(Bécs, 1876. augusztus 23. – Bécs, 1930. február 7.)



Szülvárosában járt gimnáziumba és egyetemre, 1900-ban avatták doktorrá matematika-fizika szakból, egy-egy félévet hallgatott Berlinben és Göttingenben, 1901-ben mint asszisztens belépett a bécsi meteorológiai intézetbe, 1902-ben lett adjunktus és 1904-ben a meteorológia magántanára az egyetemen. 1904–05-ben egyévi szabadságot kapott és tanulmányútra ment az USA-ba és Indiába, 1907-ben a meteorológiai intézet titkára lett, 1910-ben az innsbrucki egyetemen a kozmikus fizika rendkívüli tanárává és a ZAMG igazgatójává nevezték ki. A bécsi Tudományos Akadémia 1920-ban levelező tagjává, 1922-ben rendes tagjává választotta. A ZAMG 75 évi fennállásának ünnepén udvari tanácsosi címet kapott. Exner kiváló elméleti kutató volt, jelentős irodalmi tevékenységet fejtett ki. 1916-ban jelentette meg egyik legjelentősebb munkáját a „Dynamische Meteorologie”-t. E művében a légkör dinamikájának elméleti fizikai alapokon nyugvó összefoglalását adta, kiemelve Margules alapvető eredményeit. Könyvének második kiadásában, 1925-ben már vázolta a Bjerknes nevéhez fűződő, bergeni iskola frontológiai elméleti megállapításait és eredményeit. Második nagy munkája a „Meteorologische Optik”, amelyet Pertnerrel közös néven jelentetett meg, aki betegsége miatt a kötetet már nem fejezhette be. Richardson angol meteorológus 6 órás időközökre vonatkozó numerikus időprognózis kísérleteivel kapcsolatosan idézte fel 16 évvel korábbi saját próbálkozásait, illetve a kényszerű egyszerűsítések miatti eredménytelenségét. 1910-ben az angol meteorológusok eredményei alapján kezdte meg a korreláció számítások alkalmazását és 1913-ban már meg is jelentette első nagyobb tanulmányát „Monatliche Witterungsanomalien auf der nördlichen Erdhälfte in Winter” címmel. Életének utolsó 20 évében figyelmét leginkább a ciklonok származása és az általános légkörzésre vonatkozó vizsgálatok kötötték le.