

HIDROLÓGIAI CÉLÚ MENNYISÉGI CSAPADÉK-ELŐREJELZÉS HAZÁNKBAN

Bonta Imre

PhD, osztályvezető,
Országos Meteorológiai Szolgálat
Időjárás-előrejelző Osztály
bonta.i@met.hu

Ujváry Katalin

meteorológus, vezető főtanácsos,
Országos Meteorológiai Szolgálat
Időjárás-előrejelző Osztály

Az emlékezetes 1970-es tiszai árvíz után lépett fel az igény a két fő folyó, a Duna és a Tisza árhullámainak meteorológiai és hidrológiai tanulmányozására. Az 1974-ben az Országos Vízügyi Hivatal (OVH) által támogatott kutatások az árhullámkeltő csapadéktevékenység időjárási típusait vizsgálták. A kutatások kitértek a típusok éven belüli eloszlásának várható valószínűségére és 24 órás maximális csapadékhozamaira. Már ekkor felmerült a várható csapadékmennyiség előrejelzésének igénye, hiszen a vízhozam és vízállás előrejelzéséhez igen fontos információ a mennyiségi csapadék-előrejelzés. A nagy meteorológiai központok dinamikai modelljeinek csapadék-előrejelzési produktumai inkább csak a 80-as évek elejétől álltak rendelkezésre, így az 1978-ban megindult mennyiségi csapadék-előrejelzés kombinált módszereken alapult; a csapadékfolyamatok egyszerűsített közelítéseit szinoptikai feltételekkel, statisztikai eljárásokkal kombinálták. Az előrejelzés alapját az ún. *találkozási modell* képezte. A következőkben röviden bemutatjuk a találkozási modellt, az arra alapozott előrejelzési technikát, majd a jelenlegi gyakorlat fő irányvonalait vázoljuk fel.

Találkozási modell

A hidrológiai célú mennyiségi csapadék-előrejelzés operatív bevezetésére 1978. július 1-jén került sor. Az előrejelzés alapját a *csapadékfolyamatok találkozási modelljének* nevezett eljárás szolgáltatta (Bodolainé Jakus, 1976). A modell közelítése szerint a csapadékmennyiséget a légkörben potenciálisan rendelkezésre álló kihullható vízmennyiség, a vertikális mozgás és a telítési viszonyok határozzák meg.

A potenciálisan rendelkezésre álló vízmennyiség egy adott légoszlopon belül az a vízmennyiség, amely kihullna, ha a légoszlopban lévő összes vízgőz kondenzálna. A valóságban azonban annak csak egy része kondenzálódik. A légkör potenciális vízgőzkészletéből az emelő mozgások a kondenzációs folyamatok során attól függően realizálnak többet vagy kevesebbet, hogy az adott kihullható vízmennyiség mellett a légkör milyen közel van a telített állapothoz. A telítési állapot mértékét az ún. dinamikus telítési hiány fejezi ki. A csapadék kialakulásában, valamint mennyiségének eloszlásában fontos szerepet játszanak a vertikális mozgások. Meghatározásuk igen nehéz feladat, mivel a kü-

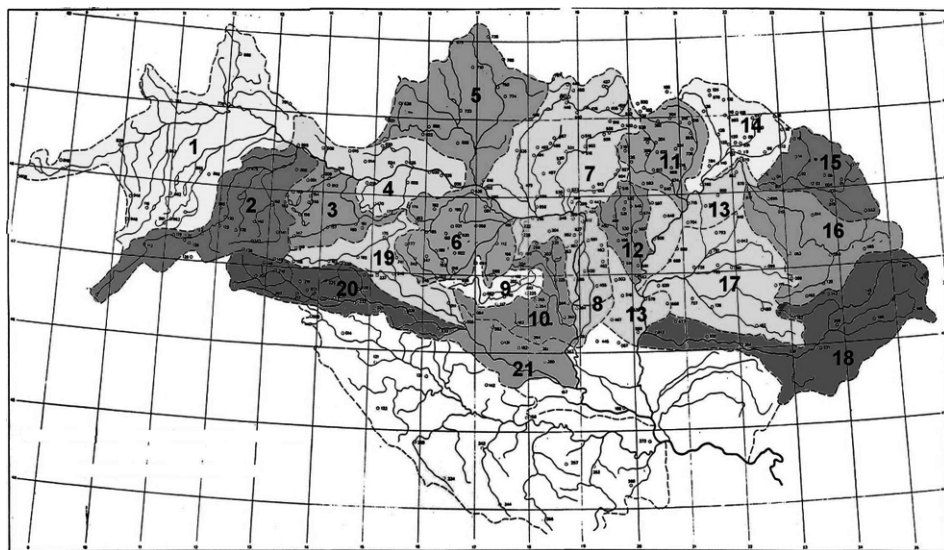
lönféle nagyságrendű függőleges mozgások mérése a gyakorlatban megoldhatatlan. Változékonyságukat az őket létrehozó időjárási rendszerek léptékének különbözősége okozza. A feláramlás változékonysága a csapadék intenzitásának térbeli és időbeli változékonyságát vonja maga után. A modellben használt vertikális sebesség a 850 hPa-os felületre vonatkozott. A p csapadékmennyiséget meghatározó általános egyenlet

$$p = \frac{w_p w}{RT - RT_t}$$

ahol w_p a potenciálisan kihullható vízmenyiség, w a vertikális sebesség, $RT - RT_t$ pedig a dinamikus telítési hiány. Ez a modell a csapadék létrehozásában legfontosabb három fizikai mennyiség térbeli és időbeli találkozásán alapul, erre utal az elnevezése is.

A csapadék mennyiségét meghatározó paramétereket eleinte az európai rádiószondás állomások mérési adataiból állapították meg. A karakterisztikák előre jelzett értékeinek számítása a 700 hPa-os felület (kb. 3000 m magasság) előre jelzett trajektóriáival, tehát advektív technikával történt.

A jelenlegi és a várt szinoptikus helyzet, a kiszámított, kézzel térképre vitt, majd analízis mezők elemzése, valamint a trajektória módszer felhasználásával vízgyűjtőként kiszámított csapadékmennyiségek együttes értelmezésével született meg az elkövetkező 24 órára várt csapadékmennyiség előrejelzése 12 órás bontásban. Az 1. ábrán annak a huszonegy részvízgyűjtőnek az elhelyezkedése és megnevezése látható, amelyekre az előrejelzés szól. Az egyes vízgyűjtőkön a számított és a tényleges területi csapadékatlagok mene-



1. ábra • A Duna és a Tisza részvízgyűjtőinek elnevezése és elhelyezkedése

(1 – Felső-Duna; 2 – Inn; 3 – Traun, Enns; 4 – Bécsi-medence; 5 – Morava; 6 – Mosoni-Duna, Rába; 7 – Vág, Garam, Ipoly; 8 – Közép-Dunavölgy; 9 – Zala, Balaton; 10 – Kapos, Sió; 11 – Sajó, Hernád; 12 – Zagyva; 13 – Közép-Tiszavölgy; 14 – Bodrog; 15 – Felső-Tisza; 16 – Szamos, Túr, Kraszna; 17 – Körösök, Berettyó; 18 – Maros; 19 – Mura; 20 – Dráva felső; 21 – Dráva alsó)

te általában párhuzamosan haladt, tehát a folyamat közelítése jó volt, és a köztük lévő eltérés sem volt jelentős. 10 mm-nél nagyobb területi átlagok esetén az alábecslések száma jelentősebben nőtt, ami a modell szinoptikus léptékéből következett, hiszen nagy csapadékmennyiségek rendszerint mezoléptékű (50–100 km méretskálával jellemezhető) folyamatokkal magyarázhatók, amelyeket a modell nem tudott figyelembe venni. Az alkalmazott közelítésből kimaradtak a csapadékfolyamatokban fontos olyan mechanizmusok is, mint a konvekció, a sűrűlódási réteg mechanizmusai, az *orográfia*¹ hatása.

Több kísérlet történt e folyamatok figyelembevételére is (pl.: Bodolainé Jakus, 1977, 1985). Ezek közül a vízgyűjtő terület nagyobb hegységeinek csapadékmódosító hatása körében szerzett tapasztalatokat foglaljuk össze röviden (Bodolainé Jakus – Homokiné Ujváry, 1984). Az Alpok és a Kárpátok térségében végzett vizsgálatok a csapadékmennyiség magassággal való eloszlását kutatták, illetve meghatározták azokat a szinoptikus helyzeteket, amelyekben az orográfia hatása maximálisan érvényesül. Az Alpok térségében posztfonális, ciklon hátoldali, vagy anticiklon előoldali helyzetekben még kicsi nagytérségű feláramlás és kevés nedvesség esetén is jelentős lehet az orografikus csapadékképződés, ha a légállapot telített és az alsó troposzférában erős az északi-északnyugati szél. Az Alpok a szervezett rendszerek csapadékhatékonyágát is jelentősen növeli, különösen, ha az alsó troposzférában az áramlásnak északnyugati

komponense van. Igen intenzív az orografikus hatás abban az esetben is, ha a ciklon okklúziója² során a meleg, nedves szállítószalag a ciklon hátoldalára visszahajlik. Az Északi- és Északkeleti-Kárpátok, valamint a Bihar-hegység orografikus csapadéktöbbletét a meleg, nedves szállítószalag iránya szabályozza. A Kárpátok gyűrűje az előoldali csapadékhozadó rendszereket erősíti. A hegységekben megjelenő nagyobb csapadék a nyári időszakban az instabilitás növekedésével is kapcsolatban van, az orográfia a potenciális instabilitás realizálásához, erősítéséhez járul hozzá.

Az orografikus csapadéktöbblet jobbra tartós csapadékfolyamat során alakul ki. Ez valósul meg a regionális ciklonok, a hosszan elnyúló meleg- és hidegfrontok és a rajtuk kialakuló mezoörvények esetében is, amelyek állandósítják a tartós csapadékképződés feltételeit. Ez esetekben az orografikus csapadék a meleg szektorban képződik.

Az árhullámkeltő időjárási típusok alapos elemzése, típusok ismerete szintén segítette a későbbi mennyiségi csapadék-előrejelzést, illetve az árvizeket okozó csapadékfolyamatok jobb megértését. Az árhullámokat kiváltó csapadékos periódusok időjárási rendszereinek tipizálására Bodolainé Jakus Emma (1983) hét típust határozott meg (zonális, west, west-peremháborgási, vonuló mediterrán, centrum, hideg légcsepp és nyugati ciklon típus), és megadta e típusok éven belüli gyakorisági eloszlását, csapadékhatékonyágát is. A nagy csapadékos típusok közül különösen a vonuló mediterrán, west-peremháborgási,³

¹ Orografia: hegyrajz, a földrajznak a föld felszíni formáit leíró ága; a cikkben az orografikus hatások alatt a hegyek áramlasmódosító és így a csapadékeloszlást befolyásoló szerepét emeltük ki.

² Okklúziós front: két front összezáródásával jön létre, amikor a hidegfront utoléri a melegfrontot. A frontok

cikloncentrumhoz közelebbi felén alakul ki, és legtöbbször jelentős csapadékot okoz. Mögötte általában hidegfrontszerű hideg beáramlás kezdődik.

³ A nyugatról közeledő hidegfront déli részén önálló ciklonális hullám jön létre, a csapadékképződésnek kedvező áramlási és nedvességi viszonyokkal.

centrum típusok esetén számolni lehet a Kárpátok mentén jelentősebb csapadéktöbblettel. A kutatási eredmények egyik fő haszna mindenesetre az a felhalmozódott tapasztalat, amelyeket a feldolgozások során a szinoptikusok nyertek.

Numerikus modellek

A numerikus modellek elterjedéséig a csapadék-előrejelzés szinte egyedüli eszköze a csapadékfolyamatok empirikus, szinoptikai közelítése volt. A 80-as évektől azonban egyre nagyobb számban jelentek meg numerikus előrejelzések, amelyek minőségi változást hoztak az előrejelzési munkában. 1979-től rendelkezésre állt a Svéd Hidrometeorológiai Intézet 24 órára előre jelzett csapadékképe 12 órás bontásban, amely facsimile térképen érkezett. 1982-től a Frankfurti Regionális Időjárás Központ három napra előre 24 órás bontásban, 1983-tól pedig az angol szolgálat hatórás bontásban 36 órára előre adott csapadékmennyiséget. A kiadott csapadékmennyiség-előrejelzések a csapadék-előrejelző szinoptikus döntésén alapultak, aki a szinoptikus és mezoléptékű időjárás folyamatok diagnózisa után hozta meg döntését, figyelembe véve a modellek által szolgáltatott numerikus értékeket, és felhasználva a szinoptikus tapasztalatait. E technikában egészen a 90-es évek végéig nem történt minőségi változás.

Fordulópontot jelentett 1995, amikortól már rendelkezésre állt az ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), az Európai Középtávú Időjárás-előrejelző Központ determinisztikus modellje. Az előre jelzett csapadékmennyiséget kezdetben csak hét, majd tíz napra előre, 12, majd 6 és 3 órás bontásban adta a modell. A modell alkalmazása szolgálatunknál kezdetben „csak” annyit jelentett, hogy egy megbízható, jó beválású

modellre alapozhattuk akár tíz napra előre a csapadékfolyamatok megítélését. A vízügyi ágazatok részére azonban ekkor is még csak 24 órára készült mennyiségi csapadék-előrejelzés. Jelentős technikai és tartalmi változást 2002 hozott, amikortól kezdve már a modellből táblázatos formátumú mennyiségi csapadék-előrejelzést továbbítottunk a vízügyi felhasználónak, amely ma már naponta kétszer frissül a modell 00 UTC-s és 12 UTC-s⁴ futtatásából. A csapadék mennyisége 48 óráig 6 órás, azután egészen 240 óráig 12 órás bontásban áll rendelkezésre. A vízügyi ágazatok részére készített mennyiségi csapadék-előrejelzések alapját tehát az az ECMWF-modell szolgáltatja, amelynek beválása jelenleg a világon a legjobb. Ennek ellenére az előrejelző szakember a modell előrejelzéseit időnként korrigálja, főleg az első 24 órás mennyiségeket, a sok év alatt szerzett szinoptikus tapasztalat és az OMSZ által használt más modellek alapján. Az ECMWF-modell determinisztikus változatának horizontális felbontása jelenleg 16 km, és 91 vertikális szintet tartalmaz. Az OMSZ által használt másik alapmodell, a korlátos tartományú ALADIN-modell peremfeltételeit az ECMWF-modellből kapja, horizontális felbontása az ECMWF-modellnél is finomabb, jelenleg 8 km. Miközben az ALADIN-modell csak két napig szolgáltat előrejelzéseket, az ECMWF-modellből ma már tíz napig rendelkezésre állnak az előrejelzések. Az ötödik napot követően azonban a determinisztikus modell helyett célszerű inkább az *ensemble előrejelzésekre* alapozni.

⁴ UTC: a greenwichi középídiót (GMT) felváltó koordinált világidő (*Universal Time Coordinated*), amelyhez a földi időzónákban mért időt viszonyítják. Az UTC-t a nemzetközi atomidőből (TAI) származtatják, de a Föld forgásának lassulása miatt időnként szökőmásodpercet iktatnak be.

Ensemble előrejelzések

1972-ben Edward Lorenz a figyelemfelkeltő *Kivált-e egy braziliai pillangó szárnycsapása tornádót Texasban?* címmel tartott előadást. Óvakodott a kérdésre feleletet adni, azt azonban hangsúlyozta, hogy amennyiben a válasz igen, akkor egy lepke szárnybillentése ugyanígy meg is akadályozhatja egy tornádó kialakulását. Lorenz metaforikus gondolatfelvetése *pillangóhatás* néven vált közismertté (és sokak szemében egy szkeptikus nézet, a „minden mindennel összefügg, tehát semmi nem lehet biztos” állítás bizonyítékává), míg számunkra a meteorológiai prognosztikának azt a bizonytalanságát szimbolizálja, hogy két igen hasonló időjárási helyzet, amely mindössze egyetlen pillangó közvetlen hatásában különbözik egymástól, elegendően hosszú idő elteltével lényegesen eltérő időjárási helyzetté fejlődhet.⁵

E tény elismerését fejezte ki 1986-ban az ECMWF-ben három holland kutató, Henk Tennekes, Fons Baede és Theo Opsteegh a következő találó szavakkal: egyetlen prognózis sem tekinthető teljesnek a prognózis bevalási valószínűségének egyidejű prognosztizálása nélkül. A bizonytalanság objektív előrejelzésének lehetőségét az ún. együttes előrejelzések módszere (*ensemble* prognosztika) teremtette meg. Bár bevezetése az operatív gyakorlatba a számítástechnika fejlődésével csak 1992 végére vált lehetővé, elméleti alapját Lorenz évtizedekkel korábban felvázolta.

A számszerű előrejelzések alapjait a légkör hidro-termodinamikai egyenletrendszerei jelentik. Ezeket az egyenletrendszereket azonban nem tudjuk pontosan megoldani, azo-

⁵ Lorenz munkásságával a *káoszelmélet* egyik megalapozója, róla nevezték el a Lorenz-attraktort is (*a szerk. megjegyzése*).

kon különböző közelítéseket kell alkalmaznunk. A legfőbb gond azonban az, hogy a számszerű előrejelző modellek legfontosabb részét, a modell kiindulási állapotát sem tudjuk pontosan meghatározni. Ennek oka elsősorban az, hogy a rendelkezésre álló információk száma (elsősorban a ritka mérőhálózat következtében) kisebb, mint a modellváltozókra vonatkozó rácsponti értékek száma. Európában és részben az USA területén, valamint Ázsia egyes fejlettebb részén viszonylag sűrű a hálózat, de például Afrikában közel Európa nagyságú területen alig van egy-két megfigyelőállomás. A műholdadatok ugyan egyre nagyobb mértékben kerülnek be a modellekbe, de a radarinformációk továbbra is csak korlátozott mértékben alkalmazhatók. Az adathiány, a hibás vagy nem reprezentatív adat alkalmazása, a kerekítések, a közelítések a középtávú előrejelzések esetén már igen jelentős bizonytalanságot okoznak a kiindulási mezőkben. E problémákra megoldást jelenthet az ensemble előrejelzés, amelynek lényege szerint a különböző kezdeti feltételekkel többször futtatják le a modellt úgy, hogy szimulálják a kezdeti (analízis) hibákat, és ezáltal módosítják a kezdeti mezőket. Ha a módosítás után az egyes futtatások között az eltérés többé-kevésbé kicsi marad, akkor nagy lesz az előrejelzés megbízhatósága. Ha pedig az eltérés nagy lesz, vagyis az eredmények teljesen szétartóvá válnak, kicsi lesz az előrejelzés megbízhatósága.

Ensemble előrejelzések használata az operatív munkában

A középtávú előrejelzések készítésénél évről évre nagyobb figyelmet fordítunk az ensemble előrejelzésekre, különösen azokban az esetekben, amikor a determinisztikus modell eredményei jelentősen eltérnek az ensemble

előrejelzések átlagától (EPS-átlag). A Magyarország több körzetére vonatkozó *fáklyadiagramok* és a csapadékvalószínűségi mezők ma már elengedhetetlen kellékei a többnapos előrejelzéseknek. (A fáklyadiagramon egy adott rácsponton, egy kiválasztott elem előrejelzéseinek időbeli menete látható.) A külföldi tapasztalatok szerint is a 4–6. napot követően a prognózisokat célszerű az ensemble átlagra alapozni, annak ellenére, hogy a determinisztikus modell felbontása jelenleg finomabb, mint az ensemble tagoké.

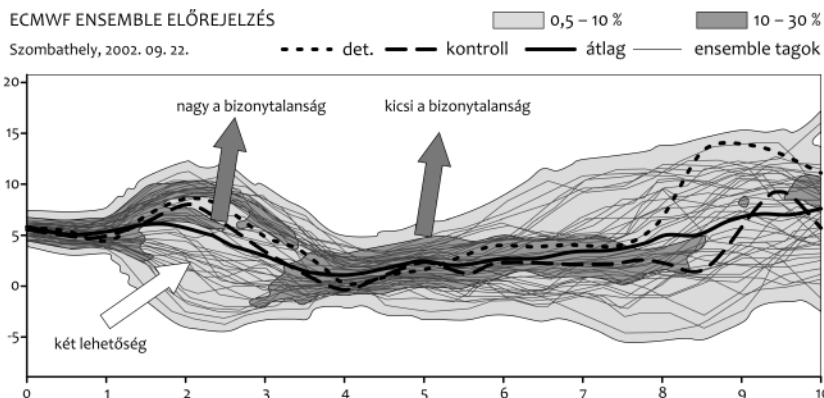
Az ECMWF-nél az EPS- (*ensemble prediction system*) rendszer összesen ötvenkét tagból áll. Ebből ötven az ún. *ensemble tag*, ezek felbontása jelenleg 25 km. Ezeket különböző kezdeti feltételekkel futtatják. Az ötvenegyedik tagnak, a determinisztikus modellnek a horizontális felbontása finomabb (16 km), mint a többi EPS tagé, a modell kezdeti feltétele ugyancsak különbözik az EPS-tagoktól. Az ensemble átlagot az EPS-tagokból számolják.

Az EPS-előrejelzések halmaza alapján előre jelezhető a prognózisok megbízhatósága, figyelembe véve a fáklya szélességét, valamint a determinisztikus modell és az EPS-átlag viszonyát.

Általában véve igaz, hogy a rövid távú előrejelzéseknél – leszámítva azokat az eseteket, amikor már a néhány napos előrejelzésnél is nagy a bizonytalanság – a kiemelt, determinisztikus futtatás eredményeit célszerű elfogadni, mivel ennek finomabb a felbontása. A középtávú előrejelzéseknél azonban ma már nélkülözhetetlen az ensemble produktumok figyelembevétele. Az ensemble előrejelzések használatának egyik legnagyobb problémája, hogy nehéz ötvözni az ensemble előrejelzések által nyújtott információkat a determinisztikus szemlélettel.

Az ensemble technika alkalmazása teljesen új szemléletet nyitott, főként a középtávú előrejelzések készítésében. Segítségével nemcsak megbízhatóbb előrejelzések készíthetők, hanem előre jelezhető prognózisaink megbízhatósága is, ami ugyanis nemcsak attól függ, hogy hányadik napra vonatkozik az előrejelzés. A különböző EPS-produktumok szemléletesen mutatják be, hogy mely időszaktól és milyen térségben, vagy melyik elemre vonatkozóan válik bizonytalaná az előrejelzés. Az EPS-technika további alkalmazási területe az extrém időjárási helyzetek (például heves csapadéktevékenység) előrejelzése.

Az EPS-produktumok közül ki kell emelnünk a fáklyadiagramot (2. ábra), amely szemléletesen mutatja, hogy mely időszaktól, melyik elemre vonatkozóan, illetve az előrejelzési tartomány melyik részén válik különösen bizonytalaná az előrejelzés. A 2. ábrán a 850 hPa-os szint hőmérsékletének előrejelzése követhető nyomon mind az ötven ensemble tag (vékony vonalak), valamint a determinisztikus modell (vastag, pontozott görbe) esetén. A bemutatott fáklyadiagram arra példa, hogy az előrejelzések megbízhatósága nem csökken egyenes arányban az előrejelzés hosszával. A konkrét esetben látható, hogy már a második napon nagy az eltérés az egyes futtatások között, jelen esetben van olyan ensemble tag, amely a térségre 12, és van olyan, amely mindössze -4 fokot prognosztizál erre a szintre. Az ábrán jól megfigyelhető, hogy a második napra vonatkozóan két lehetőséget (klaszter) ad a modell, a futtatások többsége (beleértve a determinisztikus modellt) a melegebb változatot támogatja, de az ensemble tagok jelentős része az alacsonyabb hőmérsékletet prognosztizálja. A nagy bizonytalanságot az okozta, hogy a Kárpát-medence térségében egy markáns frontzóna húzódott, amelynek hideg és



2. ábra • Fáklyadiagram: A vastag pontozott vonal a determinisztikus tagokat, a vékony vonalak az ensemble tagokat mutatják.

meleg oldalán igen eltérő hőmérsékletű levegő halmozódott fel. A front lassan helyeződött délkelet felé, bizonytalan volt, hogy Szombathely térsége két nap múlva a front hideg vagy meleg oldalára kerül. A harmadik naptól kb. a hatodik napig azután a front átvonulását követően a fákladiagram szerint csökken az előrejelzések bizonytalansága, mivel minden futtatás jelentős hideg advekciónál⁶ számol. A hatodik napot követően természetesen ismét növekszik az eltérés az egyes futtatások között, vagyis csökken a 850 hPa-os szint hőmérséklet-előrejelzésének megbízhatósága. Az összes elem közül talán a csapadékmenyiség előrejelzése a legérzékenyebb a kiindulási feltételekre. A 2010. májusi Zsófia-ciklont bemutató részben erre is látunk példát.

Gyakorlati példa az alkalmazott módszerekre

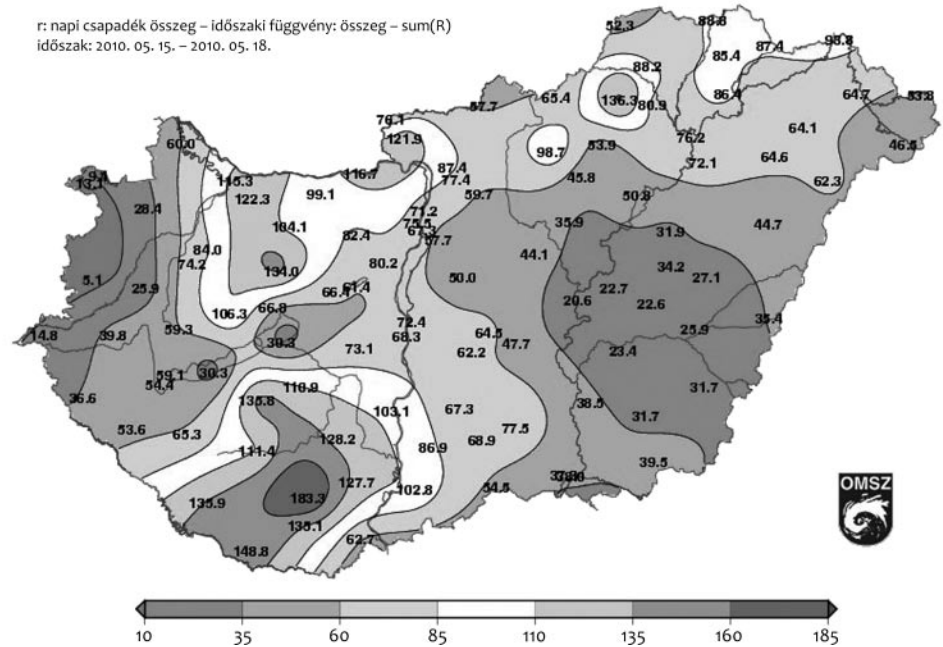
2010. május 15–18. között egy lassan mozgó mediterrán ciklon alakította a Kárpát-medence időjárását. Május 15. 06 UTC-től 18. 06 UTC-ig jelentős mennyiségű csapadék hullott (3. ábra), a Dunántúlon nagy terüle-

ten a 100 mm-t is meghaladta. Májusban az átlagos országos csapadékösszeg egyébként 62 mm, így e napokban egyes területeken a havi csapadékhözam két-háromszorosát is mérték. A háromnapos csapadékhözam rekordot hozott: a Bakonyban több helyen mérték 200 mm feletti mennyiséget.

A háromnapos időszak időjárási helyzete egy intenzív mediterrán ciklonhoz köthető. A nagy csapadékokat okozó időjárási helyzetek tipizálása alapján (Bodolainé Jakus, 1983) M (vonuló mediterrán ciklon), majd C típusba (cikloncentrum Magyarország felett) sorolható, amelyek bizonyítottan térségünk legcsapadékosabb időjárási helyzetei. M típus jelentette a kiindulást (máj. 15.), a ciklon május 16-ára már a Kárpát-medence fölé helyeződött, C centrum helyzet, és még napokig meghatározta hazánk időjárását.

A rendkívül gyorsan kialakuló mediterrán ciklon középpontja május 15-én 00 UTC-kor Olaszország déli része felett helyezkedett el, majd az intenzíven mélyülő ciklon centruma 12 órával később már az Adriai-tenger fölé került. A csapadékhullás a Dunántúlon már 15-én délelőtt megkezdődött. Május 16. 00 UTC-re a ciklon centruma Magyarország

⁶ Advekciónál: légtömegek túlnyomórészt vízszintes áramlása, például a térség fölé magasabb hőmérsékletű levegő áramlása a meleg advekciónál.



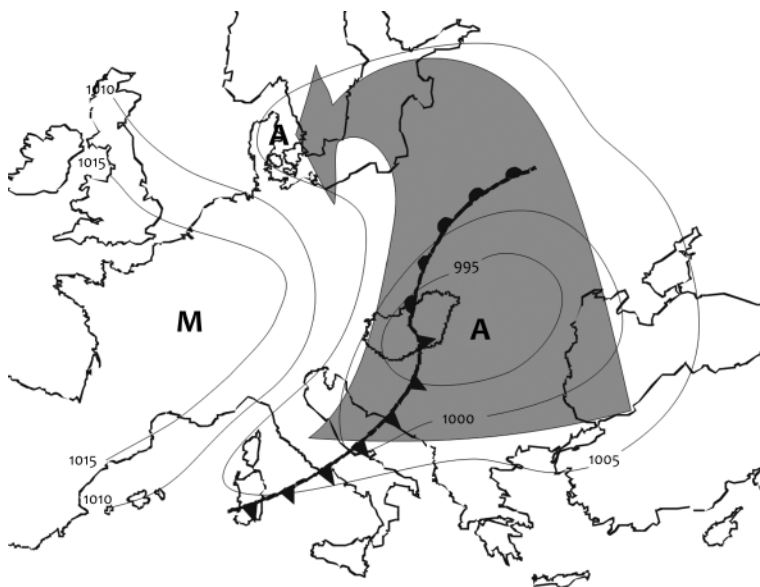
3. ábra • A 2010. május 15. 06 UTC és május 18. 06 UTC között lehullott csapadék összege

főle helyeződött át, tovább mélyült, de az át-helyeződés lelassult. A szinoptikus helyzet sematikus képét a 4. ábra mutatja. A ciklon a Földközi-tenger medencéjéből nagyon nedves levegőt szállított északi irányba. A nagy nedvesség ellenére hazánkban a 15-én estefelé keleten kialakuló egy-két zivatartól eltekintve nem volt zivatar, ami részben a konvektív szempontból nem túlságosan instabil rétegződésnek, részben pedig a mély ciklonban a talajközben uralkodó igen erős szélnek tudható be. A csapadék intenzitása ugyanakkor hosszabb időszakon keresztül „felhőszakadás” méretű volt. A csapadékfolyamatok erősödéséhez vezetett, hogy a ciklon központi részén az alacsony szinteken tartós volt az összeáramlás. A jelentős csapadékmennyiségek kialakulásához a Bakonyban, a Mecsekben és az Északi-középhegység területén az orográfia csapadéknövelő szerepe is

hozzájárult; nem véletlen például Bakonybél vagy Kőröshegy kiugró csapadéértéke. Ám hangsúlyozni kell, hogy az erőteljes ciklogenezis keltette szinoptikus léptékű folyamatok erőssége volt ebben az esetben a meghatározó, ehhez az orográfia csak hozzájárult.

Előrejelzések a Zsófia-ciklon esetén

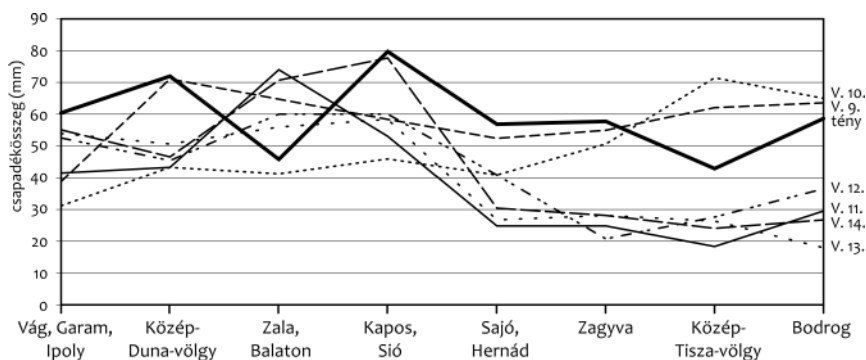
A különböző nyomás- és csapadékmező-előrejelzések a ciklon kialakulása előtt már négyöt nappal meglepően egyöntetűen és viszonylag stabilan számoltak a mediterrán ciklon megjelenésével és jelentős csapadékaival. Természetesen a csapadék maximális tengelynek megadásában mutatkoztak eltérések, hiszen a ciklon pályájának igen kis módosulása csapadék mennyiségének egy adott területen való akár jelentős megváltozását is okozhatja, de a nagy csapadék, a dunántúli viharos szél mindegyik futtatásban szerepelt.



4. ábra • A május 16. 00 UTC-s időjárási helyzet sematikus képe

A mennyiségi csapadék-előrejelzésektől természetesen teljesen pontos egyezést nem várhatunk el. Az ECMWF-modellnek a vízgyűjtőkre vonatkozó, a vízügyi ágazatoknak naponta továbbított előrejelzései már a május 9. 12 UTC-s anyagból jelentős mennyiséggel számoltak több vízgyűjtőre. A dunántúli nagy csapadékot napokon keresztül viszonylag stabilan adták az előrejelzések. A vízügyi szempontból kritikusnak tartott észak-magyaror-

szági vízgyűjtők esetén sajnos jóval nagyobb volt az ingadozás. A május 15-i csapadékot a Sajó, Hernád, Zagyva térségére a május 14. 12 UTC-s, a 16-i csapadékot pedig a május 15. 12 UTC-s futtatás adta a legjobban, ami nem meglepő, hiszen a csapadékfolyamatok természete miatt a 24 órás mennyiségi csapadék-előrejelzések a legmegbízhatóbbak. Érdekes, hogy a május 16-i csapadékot a május 9. 12 UTC-s futtatás is jobban közelítette, mint



5. ábra • A 2010. május 15–16-ra szóló csapadék-előrejelzés és a tényleges csapadékátlag

több, az eseményhez közelebbi előrejelzés. Az 5. ábrán a május 9–14. között naponta készült csapadék-előrejelzéseket láthatjuk néhány vízgyűjtőre (12 UTC-s futtatások alapján). A kétnapos előrejelzett csapadékösszegek a dunántúli területekre többnyire 40–70 mm között változtak, ami figyelemreméltó. Ha belegondolunk, hogy 20 mm feletti napi csapadékátlag az esetek elenyésző százalékában fordul elő, akkor a napokon keresztül stabilan prognosztizált 40 mm feletti előrejelzésnek

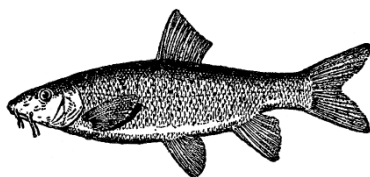
nagy a jelentősége. A tiszai területekre előrejelzett kisebb csapadékmennyiségek okát valószínűleg abban is kereshetjük, hogy a modell az orográfia hatását alábecsülte. Az ECMWF május 14. 00 UTC-s futtatása alapján előállított összegzett (78 órás időtartamra szóló) csapadékmező a vízgyűjtők nagyobb részén már szép egyezést mutat a ténylegessel.

Kulcsszavak: *előzmények, numerikus modellek, ensemble előrejelzések, esettanulmányok*

IRODALOM

- Bodolainé Jakus Emma (1976): *Mennyiségi csapadék-előrejelzés a Duna és a Tisza vízgyűjtő területére a csapadékot létrehozó folyamatok találkozási modellje alapján*. Az OVH számára benyújtott kutatási jelentés. Kézirat. OMSZ Könyvtár
- Bodolainé Jakus Emma (1977): *A találkozási modellel előrejelzett csapadékmennyiség módosítása konvekciós paraméterrel*. Az OVH számára benyújtott kutatási jelentés. Kézirat. OMSZ Könyvtár
- Bodolainé Jakus Emma (1983): *Ár hullámok szinoptikai feltételei a Duna és a Tisza vízgyűjtő területén*. OMSZ Hivatalos Kiadványai LVI. Budapest
- Bodolainé Jakus Emma (1985): *A sűrűlési réteg vertikális vízgőzátvitelének hatása a csapadékmennyiség eloszlására*. *Időjárás*. 89, 208–218.

- Bodolainé Jakus Emma – Homokiné Ujváry Katalin (1984): *A csapadékmennyiség előrejelzése az orográfikus többlet figyelembevételével*. OMSZ Kiseb Kiadványai 57. Budapest. 45.
- Bonta Imre (2010): *A rövid- és középtávú időjárás-előrejelzés gyakorlati módszertana*. 34. *Meteorológiai Tudományos Napok*. • http://www.met.hu/pages/seminars/metnapok/34.2008/10_bonta.pdf
- Ujváry Katalin (2008): 30 éves a hazai hidrológiai célú mennyiségi csapadék-előrejelzés. *Léggör*. 53, 4. • <http://www.met.hu/legkot/legkor200804.pdf>
- Ujváry Katalin (2010): *Zsófia-Angéla-ciklon csapadék-szinoptikai közelítése és előrejelezhetősége*. • <http://www.met.hu>



A VÍZ FIZIKAI KÉMIÁJA

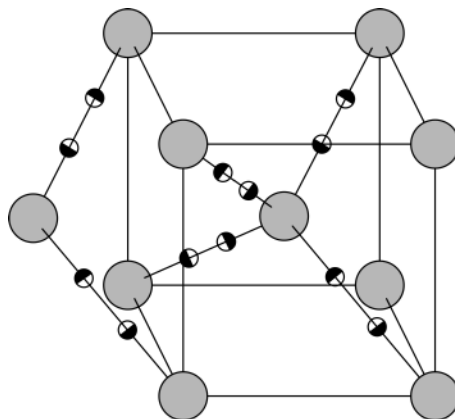
Baranyai András

egyetemi tanár, a kémiai tudomány doktora,
Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Kémiai Intézet
bajtony@chem.elte.hu

Nincs még egy kémiai anyag, amely annyira jelen lenne hétköznapi életünkben, mint a víz. Ezért nem is gondolunk arra, hogy mennyi különleges tulajdonsága van ennek az egyszerű molekulának, illetve a belőle felépülő gáz, folyékony vagy szilárd halmazállapotú fázisoknak.

A vízmolekula különlegessége néhány viszonylag egyszerű tulajdonságára vezethető vissza. A kovalens kötésben lévő hidrogén kapcsolódni képes nagy elektronegativitású atomokhoz (ilyen például a nitrogén, az oxigén és a fluor atomja). Ez a kölcsönhatás a kovalens kötésnél jóval gyengébb, de a különálló molekulák elektronfelhőjének kölcsönös polarizálhatósága miatt keletkező van der Waals-erőknél jóval erősebb. A vízben található hidrogénkötések erőssége optimális abból a szempontból, hogy nagy kohézióval tartják össze a szilárd- vagy folyadékfázisokat, mégis, szobahőmérsékleten a hidrogénkötések felszakadnak, és újraképződnek. Fontos sajáttság, hogy a molekula elektronszerkezete a tetraéderes elrendezést preferálja, azaz, ha lehetséges, minden vízmolekula négy hidrogénkötésben vesz részt, kettőben mint hidrogénion, azaz protondonor, kettőben mint protonakceptor (1. ábra). Ez következik a molekula geometriájából. Gázfázisban a HOH szög $104,52^\circ$, amely alig kisebb a tetraéderes elrendeződés szögénél, $109,47^\circ$ -nál.

A víz további kedvező tulajdonsága, hogy a molekula kismértékű disszociációra képes. Szobahőmérsékleten minden tízmilliomodik molekula van disszociált állapotban, azaz felszakadt O-H kötéssel. Így a víz protonok átadásával, illetve elvételével is részt vehet a hidratációban. A protonátadási folyamat több molekulára is kiterjedhet, lehetővé téve a töltésvándorlást a vízben anélkül, hogy a levált proton érdemben elhagyná molekuláris környezetét. Ezért a hidrogén-, illetve a hidroxidionok mozgékonyasága vízben egy nagyságrenddel nagyobb, mint a hasonló méretű, egységnyi töltésű ionoké (2. ábra).



1. ábra • A diagram a jég VII fázis tércentrált köbös szerkezetét mutatja. Jól látszik rajta a tökéletes tetraéder megszerkesztése.