

Statisztikai módszer a téli csapadék állapotának valószínűségi előrejelzésére

Az elmúlt 10-15 évben kevesebb, mint egymillióról több mint hárommillióra növekedett a személygépkocsi száma Magyarországon, és csaknem ugyanilyen mértékben növekedett a VFR (Visual Flight Rules) repülések száma is. Ennek következtében a korábbinál sokkal több embert érint, ha komoly havazás vagy ónos eső okoz nehézségeket a légi vagy szárazföldi közlekedésben. A legfőbb probléma, hogy ezek az új sofőrök és pilóták sokkal kevesebb gyakorlattal rendelkeznek, ezért sokkal több baleset (bár a gépkocsi törési tulajdonságai miatt kevésbé súlyos) történik, mint korábban. Szerencsére a modellek adatai is sokat javultak ebben az időszakban, így rájuk alapozva kidolgozhattunk egy PPM* módszert, amellyel előre jelezhetjük a szilárd vagy ónos csapadékot.

Csapadék állapot előrejelző módszerünket az 1975 és 1996 közötti 22 éves budapesti és ferihegyi észlelésekre és a budapesti rádiószondás adatsorra alapoztuk. A statisztika elkészítéséhez a 00, 06, 12, 18 UTC-s rádiószondás felszállások vertikális hőmérsékleti profilját használtuk talaj és a talaj+3000 méteres szint között. Ezen kívül felhasználtuk a környező órák (23, 01, 05, 07 UTC stb.) Budapest-Pestszentlőrincen és Ferihegyen mért 2 méteres hőmérséklet adatait és csapadék észleléseit.

A statisztikához a november, december, január, február, március és április havi adatokat használtuk, hiszen csak ezekben a hónapokban fordult elő hó, ónos eső, havas eső vagy fagyott eső Budapesten (azóta egyszer már volt októberben is). A csapadék események száma 00, 06, 12, 18 UTC-kor nem volt túl sok, ezért a következő módszerrel növeltük az események számát. Felhasználtuk a környező órák (23, 01 UTC, stb.) észleléseit, a rádiószondás ada-

tokat pedig módosítottuk, úgy, hogy az észlelt 2 méteres hőmérséklettel kicseréltük a TEMP távirat azonos adatát, vagyis a talaj és az első töréspont között módosítottuk a felszállási görbét. Amennyiben Budapest-Pestszentlőrincen nem észleltek csapadékot, de Ferihegyen igen, akkor a ferihegyi adatokat vettük figyelembe.

Ezzel az adatnövelő eljárással az esős esetek számát 1524-re, a fagyott esősekét 13-ra, a havas esősekét 103-ra, a havazásosokét 1092-re, az ónos esős esetek számát pedig 61-re növeltük. A záporos csapadékok az adott állapothoz kerültek (pl. hózápor a havazáshoz), az ónos szitálást, szitálást, szemcsés havat viszont nem tekintettük csapadéknak.

Az esetek számából látható, hogy a óra és az esőre vonatkozóan elég adat állt rendelkezésünkre a megbízható statisztikai számításhoz, kevésbé megbízhatóak a havas esőre és az ónos esőre vonatkozó számításaink, míg a fagyott esőre vonatkozó statisztikai adatok elméletiek, hiszen az esetek csak arra voltak elegendőek, hogy megállapíthassuk, hogy milyen légrétegződés mellett fordulhat elő ilyen csapadék egyáltalán. A statisztikai számítások elvégzése után a valószínűségi egyenleteket adaptáltuk az ALADIN/HU mezoléptékű NWP modell vertikális hőmérsékleti profiljához. Ezek alapján meghatározhattuk, hogy az adott viszonyok között milyen valószínűséggel hullik folyékony (eső), szilárd (hó), vegyes (havas eső), túlhűlt (ónos eső) vagy újrafagyott (fagyott eső) állapotú csapadék.

A csapadék keletkezése télen

A csapadék típusát, végső állapotát több, különböző hatás alakítja ki. Ezek egyrészt felhőfizikai folyamatok, amelyek a hullani kezdő csapa-

dékelem sugarát, alakját, tömegét meghatározzák, másrészt a hullás közben fellépő hatások, amelyek megolvasztják, újrafagyasztják, megnagyobbítják a hulló részecskét. Ez utóbbiakat vizsgáltuk mi, amelyek főként a hőmérsékleti légrétegződéstől függenek.

A mérsékelt égövön a csapadék szinte kizárólag vegyes halmazállapotú felhőkben keletkezik (Young, 1993). Ezek a halmazállapotok a gőz, a folyékony (ez télen hiányozhat), a túlhűlt és a szilárd. Télen a felhőkben szinte kizárólag hókristályok keletkeznek, amelyeknek sugara és alakja a felhőben uralkodó hőmérséklettel, a túltelítettség mértékétől, az áramlás sebességétől függ elsősorban. Néhány esetben azonban jégdara, hódara (zivatarfelhők) vagy alacsony szintű rétegfelhő (sztratusz) esetén apró vízcseppek vagy túlhűlt vízcseppek vagy szemcsés hó keletkeznek. A feláramlás sokáig akadályozhatja a lefelé történő mozgást, ezért a felhőben található túlhűlt vízcseppekről a víz átpárolog a hókristályokra, és megnöveli a méretüket (Young, 1993). Ez az átpárolgás a -10, -13 °C környékén a leggyorsabb, hiszen itt a legnagyobb a különbség a vízre és a jégre vonatkoztatott telítési gőznyomás között (Young, 1993).

Amennyiben a hókristályok tömege elég nagy lesz ahhoz, hogy legyőzzék a felhőben uralkodó feláramlást, elkezdnek lefelé mozogni. Mozgás közben ütköznek más részecskével (túlhűlt víz, hókristály), így általában tovább növekednek, de túl erős ütközés esetén összetapadás helyett széttörhetnek a hulló pelyhek. Míg a kristályok a felszín felé mozognak, újabb hatások érik őket. Amennyiben a felhő alatt a levegő száraz (ez záporos jellegű csapadékok esetében fordul elő leginkább), a kristályok elpárologhatnak, elszublimálhatnak, mielőtt elérik a talajt. Ez télen nagyon ritkán fordul elő, hiszen

hideg levegőben gyenge a párolgás, de a kristályok mérete így is csökkenhet. Ha a felhő alatt erős a légáramlás, a hópelyhek méretüktől függően tovább szóródhatnak, és esetenként a felhőtől nagyon távol érnek talajt. Amennyiben a felhő alatt a hőmérséklet pozitív, a pozitív hőmérsékletű réteg vastagságától és átlaghőmérsékletétől függően a kristályok részben vagy egészében elolvadhatnak. Ha az olvadás után újra negatív hőmérsékletű rétegbe ér a csapadék, már nem hókristály, hanem fagyott eső vagy ónos eső keletkezik belőle.

Mint az előzőekben láthattuk, a téli csapadék állapotát rendkívül sok tényező befolyásolja. Ezek egy részére vonatkozóan csak találgatásokra vagy laboratóriumi kísérletekre vagyunk utalva, hiszen a felhőn belüli folyamatokat senki sem vizsgálhatta zavartalan környezetben, mivel a radarok felbontása véges, a felhőbe repülő repülőgépek, szondák, léggömbök pedig megváltoztatják maguk körül a levegő állapotát. A felhőfizikai folyamatokat ezért csak laboratóriumi kísérletekből (Young, 1993) illetve felhőfizikai modellek alapján tudjuk megbecsülni, valamilyen módon előrejelezni. A felhő alatt bekövetkező folyamatokat viszont mérések és szinoptikus ismeretek alapján is elemezhetjük, előre tudjuk jelezni.

A téli csapadék állapotának, elsősorban a havazás határának előrejelzése sok országnak létfonosságú (Ausztria, Olaszország, Svájc, stb.), hiszen a téli turizmusból a gazdaságunk rendkívül sokat profitál. Más országokban, ahol rendkívül nagymértékű a közúti közlekedés (Németország, Franciaország, Hollandia, Magyarország, USA, stb.) egy ónos eső vagy egy nagyobb havazás totális közlekedési káoszt okozhat. Ezek azok az okok, ami miatt az elmúlt évtizedekben sok helyen megpróbálták a téli csapadék állapotát előrejelezni. A legtöbb helyen statisztikai összefüggéseket próbáltak felállítani a havazás, illetve a havazás határának meghatározására, az ónos eső keletkezésére (Wakonigg, 1991,

Wehry és tsai., 1997, Mokori és IvanŁan-Picek, 1997, Mohnl és Sobitschka, 1988, Matyasovszki és tsai., 1993, Hirsch 2000, 2001). Ezeknek a módszereknek több hibája is volt. Egyesek csak egy pontra határozták meg az ónos eső kialakulását (Mokori és IvanŁan-Picek, 1997), márpedig a szinoptikusnak nincs arra ideje, hogy a modell minden rácsponjtára megnézze a pszeudó tempeket. Ezt az módszert pontszerű előrejelzéseknél (például egy repterre szóló előrejelzésnél) érdemes használni. Megint mások azt határozták meg, hogy hol várható havazás, de a többi állapotot nem vették figyelembe (Wakonigg 1991, Wehry és tsai., 1997). Magyarországon Hirsch Tamás (Hirsch, 2000, 2001) végzett komoly vizsgálatokat a téli csapadék állapotának előrejelzésére, módszerével jól elkülöníthető a havazás és az eső, de az ónos eső már nem. Módszere, amely a relatív topográfia értékeket használja, csak az alföldi területekre (tengerszint feletti magasság kisebb, mint 300 m) adja meg a csapadék állapotát, hegyvidéki területekre már nem.

A csapadék állapot előrejelzésének másik módszere a felhőfizikai modell. Ezzel több országban is próbálkoztak, próbálkoznak. Németországban a LOKAL modellbe építettek be egy felhőfizikai modellt, amely megpróbálja meghatározni a csapadék állapotát (Dorns és Schöttler, 1999). Magyarországon Geresdi István és Horváth Ákos próbálkozott meg egy felhőfizikai modell adaptálásával (Geresdi, Horváth, 2000) meghatározni a téli csapadék állapotát. Első alkalommal a modell nagyon rossz eredményeket produkált, ezért meg kellett változtatni benne néhány paramétert (esési sebesség, feláramlás parametrizációja, stb.). Ezeknek a modelleknek a hátránya, hogy a csapadék állapotot csak azokra a területekre jelzik előre, ahova csapadékot is. Természetesen megoldható, hogy azokra a területekre is legyen csapadék állapot előrejelzés, ahol nem várható csapadék, de így nagyon meg-

növekszik a futásidő, ami az elmúlt években hidegpárnás helyzetekben elő is fordult, és jelentősen lelassította, esetenként akadályozta a modell futását. Jelenleg tehát ez a módszer nem mindig használható megbízhatóan, habár fizikailag elvileg jobban leírja a folyamatokat, mint a mi statisztikai módszerünk. A szinoptikus gyakorlatban ezért a Geresdi-Horváth-féle módszert kevésbé használjuk, inkább a Hirsch Tamás és a Fövényi Attila által kidolgozott eljárásokat részesítjük előnyben (Fövényi, 1997/1, 1997/2, 1999/1, 1999/2, 2001, Hirsch, 2000, 2001).

Mivel Németországban a LOKAL modell felhőfizikai része rendkívüli módon alulbecsülte a havazásos területek nagyságát (Damrath 2001, Jaeneke 2001/1, Quarterly Report of the DWD, No. 24), ezért MOS technikát (model output statistics) alkalmaztak ennek kijavítására (Jaeneke, 2001/2). Ebben a csapadék halmazállapotát mindig óra változtatták, ha a 2 méteres hőmérséklet 2 °C alatt volt. Ezzel a módszerrel viszont túl nagy területre adott havat a modell, míg a havas eső teljesen eltűnt belőle. Végül 1 °C-ban határozták meg a küszöbértéket, így többé-kevésbé pontos lett a havazás határának a meghatározása, de a havas eső területét továbbra is alulbecsli a modell.

Tekintve, hogy a felhőfizikai modellek futtatása rendkívül nagy számítógépes kapacitást és gépidőt igényel, valamint sok esetben nem jól adja meg a csapadék helyét, ezért megpróbáltunk egy olyan PPM módszert kidolgozni, amelyik töredék annyi gépidőt használ fel, mint a felhőfizikai modell, közel olyan pontos, mint az, és a szinoptikus számára legalább annyi (vagy több) információt szolgáltat, mint az. A következőkben ezt az eljárást ismertetjük.

A téli csapadék állapotának valószínűségi előrejelzése

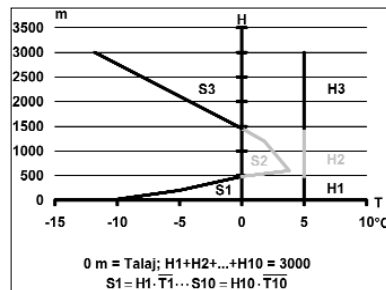
PPM módszerünkben megpróbáltuk az összes létező téli csapadék állapotot előrejelezni. Ez az öt állapot a hó

(szilárd), havas eső (vegyes), eső (folyékony), ónos eső (túlhűlt) és a fagyott eső (újrafagyott). Vizsgálataink során feltételeztük, hogy a felhőből elinduló csapadék állapota hó, amely az esetek jelentős részében igaz is. Ez alól kivétel az erősen fejlett zivatarfelhő, hiszen abban nemcsak hókristályok, hanem hódara, jégdara is található. Ilyen, erősen fejlett zivatarfelhő a téli hónapokban szerencsére csak ritkán fordul elő hazánkban, bár márciusban és áprilisban már nem szokatlan. A másik, nem hókristályokból álló felhőzet, az a hidegpárnás rétegfelhő, amelyből a hőmérséklettől függően szitálásként, ónos szitálásként vagy szemcsés hóként kezd hullani a csapadék. Azokat az eseteket, amikor ilyen csapadék hullott, kizártuk a vizsgálatainkból.

Vizsgálataink során feltételeztük, hogy a csapadék végső állapota a talaj és a talaj+3000m közötti légrétegben alakul ki. Ez az esetek egy jelentős részében igaz, hiszen a jelentősebb (2 mm feletti) csapadékot adó felhők teteje a téli hónapokban a felszállások alapján általában 3–5 km közötti magasságban van. Természetesen, főleg kisebb csapadékok esetén, a csapadék sokkal vékonyabb felhőkből is hullhat, amelyeknek a teteje csak 1800–2500 m között van, de mint vizsgálati módszerünk ismeretésekor ki fog derülni, a csapadék végső állapota (elsősorban az ónos eső és a fagyott eső kivételével) az alsó 1000 méteres rétegben alakul ki.

Vizsgálataink során a talajtól számított alsó 3000 méteres rétegben megvizsgáltuk a pozitív és negatív hőmérsékletű rétegek egymáshoz viszonyított elhelyezkedését, vastagságukat és átlaghőmérsékletüket (1. ábra). Feltételezéseink alapján maximum 10 egymást követő pozitív-negatív réteg helyezkedhet el egymás fölött a talajtól számított alsó 3000 méteres rétegben. A gyakorlat igazolta várakozásainkat, hiszen a 22 év alatt mindössze háromszor fordult elő, hogy a pesti felszállásokban 5 db egymást váltó réteg lett volna, és az

1996-2006 közötti időszakban az ALADIN/HU modell pszeudó tempjeiben sem fordult elő hatnál (egy esetet kivéve, amikor egy erdélyi rácspontban 7 darab volt) több ilyen váltás.



1. ábra - A vertikális hőmérsékleti profil, az olvadási (S2) és az újrafagyási (S1) réteg

Ezek alapján 14 különböző vertikális rétegződési típust határoztunk meg, és ezekhez a típusokhoz 9 fajta csapadék állapot számítási algoritmust dolgoztunk ki. Itt a konkrét egyenleteket, együtthatókat nem közöljük, de érdeklődés esetén rendelkezésre tudjuk bocsátani. (A rétegződési típusok, az együtthatók és a számítási algoritmusok megtalálhatók pl. Fövényi 1999/1, 2001). A következőkben csak a rétegződési típusok leírását adjuk meg, és azt, hogy milyen csapadék hullhat az adott esetekben.

Az 1. vertikális rétegződési típus esetén az alsó 3000 méteres légrétegben a hőmérséklet mindenütt negatív, így a felhőből kihulló hópelyhek nem olvadnak el, csak szilárd (hó) halmazállapotú csapadék hullhat.

A 2. rétegződési típus esetén a talaj közelében (esetleg egészen 3000 méterig) pozitív a hőmérséklet (a továbbiakban meleg), fölötté pedig legfeljebb egy negatív hőmérsékletű (a továbbiakban hideg) légréteg található. Ilyenkor a hulló csapadék a meleg réteg vastagságától függően vagy nem olvad meg, vagy részben, vagy teljes egészében elolvad, tehát összesen háromféle állapota lehet a csapadéknak, a hó, a havas eső és az eső. Az összes vizsgált eset valamivel több, mint 91%-a ebbe a két rétegződési típusba tartozott, ezért

ezek az összefüggések nagyon pontosak és megbízhatóak. A havas eső valószínűségét nem számoltuk ki külön, feltételeztük, hogy a havazás és az eső görbéje közötti területen csak havas eső eshet.

A 3. esetben a talaj közeli légréteg viszonylag vastag rétegben hideg, fölötté pedig 3000 méterig pozitív a hőmérséklet. Ilyenkor csak ónos eső, hó vagy fagyott eső eshet, de ilyen eset nem fordult elő az adatbázisban, úgyhogy ezek az egyenletek elméleti alapokon nyugszanak, és azonosak a negyedik légrétegződési típus egyenleteivel.

A 4. esetben a viszonylag vastag hideg légréteg fölött egy meleg, fölötté újra egy negatív hőmérsékletű légréteg található. Ezen okból, az elinduló csapadék részben vagy egészben megolvad, majd túlhűl, esetleg újrafagy, ezért ugyanazok a csapadékok fordulhatnak elő benne, mint a harmadik légrétegződés esetén. Az általunk vizsgált ónos esők közül összesen 5 eset nem tartozott ide, a fagyott esők közül pedig 2 esett más légrétegződési típusba. A hátra vonatkozó egyenletek részben eltérnek a második típusban kiszámoltaktól, vagy a kevesebb esetszám vagy a magassággal változó légsűrűség miatt (a sűrűbb levegőnek nagyobb a fajhője, így több havat tud megolvasztani). Az ónos esők esetén is viszonylag megbízhatóak az egyenletek, de a fagyott esőre vonatkozó egyenletet nem statisztikai adatok alapján, hanem elméletileg határoztuk meg (az ónos eső és a havazás mellett megmaradó rész). Az összes vizsgált csapadék esemény csaknem 8%-a ebbe a légrétegződési típusba esett, úgyhogy a maradék többi típusba kevesebb, mint 1% tartozott, ezért az ezt követő egyenletrendszer és együtthatók elméleti megfontolásokon alapulnak, statisztikai számítások nem támasztják alá őket.

Az 5. légrétegződési típus esetén a viszonylag vastag hideg légréteg fölött egy meleg, afelett megint egy hideg, fölötté még egy meleg, a fölötté még egy hideg réteg található. Össze-

sen kettő ilyen eset fordult elő, a 22 év alatt egy ónos eső és egy fagyott eső. A számítási módszer az elméleti megfontolások alapján azonos az előző típus egyenleteivel.

A 6. típus esetén a viszonylag vékony negatív hőmérsékletű légréteg fölött 3000 méterig pozitív a hőmérséklet. Ez az eset derült tavaszi vagy őszi éjszakákon fordul elő, a 22 év alatt egyetlen csapadék esemény sem tartozott hozzá. Ebben az esetben eső (a vékony légrétegben nem tud túlhűlni), ónos eső (ha hideg a talaj), hó vagy havas eső eshet, a pozitív hőmérsékletű rész átlaghőmérsékletétől függően.

A 7. légrétegződés típus esetén az alsó légréteg hasonló az előzőhöz, de fölöttük még egy hideg réteg is elhelyezkedik. Ugyanazok a csapadékok fordulhatnak elő, mint az előző esetben. Az összes ónos esős eset közül három, a havas esők közül öt fordult elő ebben a helyzetben.

A 8. típus esetén még egy pozitív és egy negatív hőmérsékletű réteg helyezkedik el az előzőek fölött. A számítás módja azonos az előzővel, de ilyen eset szintén nem fordult elő a 22 év folyamán.

A 9. légrétegződés esetén az alsó meleg levegő felett egy vékony rétegben hideg, majd fölötté megint meleg és újra egy hideg légréteg helyezkedik el. Ilyen esetben a pozitív hőmérsékletű légrétegek vastagságától függően hó, havas eső vagy eső eshet. Az összes vizsgált eset közül egy havazásos, egy havas esős és kettő esős esemény tartozott ebbe a csoportba.

A 10. légrétegződési típus esetén a vastag meleg légréteg fölött egy vastag hideg légréteg, fölötté egy pozitív, afölötté egy negatív hőmérsékletű réteg helyezkedik el. Bár a vastag hideg légrétegben a csapadék újrafagyhat, viszont alatta újra elolvad, ezért csak eső eshet ebben a szituációban. A számítási módszer mégis azonos az előző esetével, de ha az egyenleteket megoldjuk, akkor a havazás és a havas eső valószínűségére 0%-ot kapunk. Ilyen eset összesen egy fordult elő.

A 11. vertikális hőmérsékleti profil annyiban különbözik az előzőtől, hogy az alsó meleg légréteg vékonyabb, tehát az újrafagyott csapadék, vagy az el nem olvadt hó is leérhet a talajra, ezért ebben az esetben hó, havas eső, eső és fagyott eső is eshet. A maradék egy fagyott esős eset ilyen profil esetén fordult elő.

A 12. légrétegződésben alul egy nagyon vékony meleg légréteg fölött egy vastag hideg légréteg, fölötté egy meleg, afölötté egy hideg réteg található. Ebben a szituációban mindefféle állapotú csapadék előfordulhat, hiszen a túlhűlt vagy újrafagyott víz nem tud felmelegedni, elolvadni, de ha a talaj meleg, akkor a túlhűlt víz nem képes ónos bevonatot képezni. A maradék egy ónos esős eset ilyen helyzetben fordult elő.

A 13. hőmérsékleti profil esetén az alsó hideg légréteg fölött váltakozva meleg, vastag hideg, meleg majd újra hideg rétegek helyezkednek el. Mivel az alsó hideg légréteg vastag, ezért az eső vagy havas eső ónos esőbe megy át, ezért ebben az esetben csak hó, ónos eső vagy fagyott eső eshet.

A 14. típus annyiban különbözik az előzőtől, hogy az alsó hideg légréteg vékony, így meleg talajfelszín esetén az eső, havas eső nem képes ónos bevonatot képezni, így ebben az esetben megint mind az ötféle állapot előfordulhat.

Felmerülhet, vajon miért számoltunk 14 különféle légrétegződési típusból csapadék állapotot, hiszen az első négy típus lefedi az összes eset 99 százalékát. Ennek az oka, hogy a maradék 10 típus ugyan statisztikailag nem számítható, de elméleti módon kikövetkeztethető, hogy milyen csapadék hullhat ezekben az esetekben. Ha ezzel az egy százalékkal nem számolnánk, akkor az ALADIN/HU térképeken egyes rácpontokban nem lenne értelmezhető a függvény, így viszont ezeken a területeken is kapunk értelmezhető eredményt, így a valószínűségi térkép folytonos marad, nem lesznek rajta szakadások.

Az általunk a téli csapadék állapotának előrejelzésére kifej-

lesztett PPM módszert többféle próbának is alávettük. Egyrészt korrelációt számoltunk a kapott értékekre, másrészt tényleges adatokon is teszteltük.

A módszer tesztelése

A kapott együtthatókat és egyenleteket leteszteltük a statisztikai adatbázisunkon, hogy megkaphassuk, milyen korrelációjúak az egyenletek. A korrelációs együtthatókat a teljes értelmezési tartományra is kiszámoltuk, és arra a tartományra is, ahol vegyes állapotú csapadék (hó, eső, ónos eső, havas eső, fagyott eső) is előfordulhat. Természetesen ez utóbbi korreláció értékek kisebbek, mint az összes esetre vonatkozó adatok. Az egyenleteket megoldva a korrelációs együtthatókra (előjel nélkül) a következő értékeket kaptuk. Eső esetén a vegyes tartományban 0.906, a teljes tartományra vonatkoztatva 0.978, hóra vonatkoztatva 0.919 és 0.981. A másik három állapot esetén az együtthatók lényegesen rosszabbak, ami érthető is, hiszen sokkal kevesebb esetből lettek kiszámolva, illetve több alkalommal csak elméleti módon határozhattuk meg az együtthatókat. Ha az általunk számolt értékeket az összes esetre vonatkoztatjuk, akkor az együtthatók 0.95 és 0.97 között voltak, de ha csak azokra a tartományokra, amikor ezek a fázisok előfordulnak, lényegesen rosszabb a korrelációs együttható, 0.57 havas esőre, 0.59 fagyott esőre és 0.79 ónos esőre.

Miután a korrelációs együtthatókat kiszámoltuk, elkezdtük a módszert tényleges adatokon tesztelni. Ehhez a teszteléshez az 1996–97-es tél adatai voltak az elsők, amelyeket felhasználtunk, és azóta is ellenőrizzük a beválást a statisztikai adatbázistól független budapesti adatokon. Sajnos jelenleg a Budapest-Pestszentlőrinc SYNOP állomás napjában csak kétszer végez rádiószondás mérést, 00 és 12 UTC-kor. Ezért csak azokat a csapadék eseményeket tudjuk vizsgálni, amelyek ezekben az időpontban (1 óra) következtek be. Ezekben az esetekben már nemcsak azokat a

csapadék fajtákat használtuk, amelyekből a statisztika készült, hanem azokat is, amelyek hidegpárnás rétegfelhőből vagy zivatarfelhőből hullottak. Ennek következtében esetenként nem olyan állapotú csapadék hullott, mint amelyet előrejeleztünk. Amennyiben hidegpárnás helyzetben az előrejelzett állapot ónos eső, többnyire ónos szitálás hullik, amikor viszont havat vagy fagyott esőt jelez előre a módszerünk, a valóságban szemcsés hó vagy ónos szitálás fordul elő. Zivatarfelhő esetén (főleg márciusban, áprilisban) eső helyett hózápor vagy jégdara zápor esik, a felhő alatti hidegleáramlás és a párolgó csapadék hűtő hatása miatt.

Az elmúlt telek (1996/97-2006/07) folyamán a módszerünk beválása 94 és 98% között változott, ami véleményünk szerint meglepően jó eredmény, főként, hogy a statisztikai feldolgozásban nem szereplő hidegpárnás csapadékokra is sok esetben jó előrejelzést adott az általunk kifejlesztett PPM módszer. Konkrét adatokon tehát a téli félévi (október-április) 90-110 csapadék eseményt tekintve (ha 23, 00 és 01 UTC-kor is esett, akkor az 3 eseménynek számított) évente 2-8 esetben volt más állapotú csapadék, mint amit előrejeleztünk, szinte kizárólag hidegpárnás szitálás, szemcsés hó, illetve tavaszi hózápor, jégdara zápor esetén.

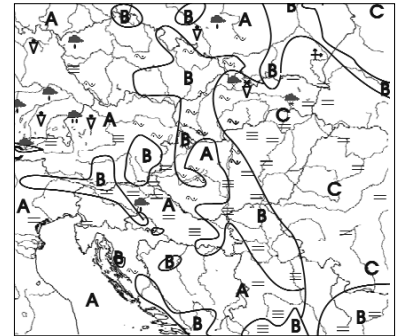
A módszer használata modell adatokon

Egy módszer csak akkor jó, ha a szinoptikus gyakorlatban is alkalmazhatónak bizonyul. Ezért az eljárást megpróbáltuk az ALADIN/HU modellhez adaptálni. Ennek segítségével 1998 óta készülnek az OMSZ-ban csapadék állapot előrejelzések. A HAWK rendszerben szerencsére négy különböző állapot valószínűségeit is ábrázolhatjuk egyszerre. Amennyiben az ALADIN/HU modell hőmérsékleti profil előrejelzései pontosak, a csapadék állapotának meghatározása is pontos lesz. Sajnos főként hidegpárnás helyzetben az ALADIN/HU modell vertikális profilja

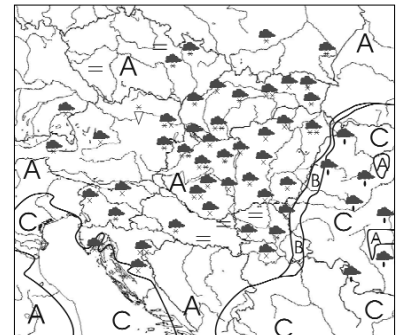
esetenként rendkívül rossz volt, bár az utóbbi két évben lényegesen kisebb a hiba mint korábban (Fövényi, 2006). Szerencsére a veszélyes csapadék eseményeknek csak egy kis része kapcsolódik hidegpárnás időjárási szituációhoz, de ezek többsége ónos esőt okoz, ami rendkívül veszélyes mind a közúti, mind a légi közlekedésre. Tapasztalataink alapján a csapadék állapot váltás határát melegfrontok esetén 50-100 km pontossággal jelzi előre a modell, hidegfrontok vagy okklúziós frontok esetén ez az eltérés csak 10-20 km. Megfigyeléseink szerint az ALADIN/HU modell lényegesen hamarabb melegíti a légkör alsó részét téli melegfrontok esetén, mint az a valóságban bekövetkezik (Fövényi, 2006), ezért az ónos eső vagy a havazás területe kisebb lesz a ténylegesnél. A modell másik hibája, hogy a modellmagasság és a tényleges topográfiai magasság esetenként lényegesen eltér egymástól. Ilyen eltérés a magyarországi hegyeknél is előfordul, például korábban a modellben 500 m, jelenleg 650 m magas a Mátra, ezért havas esőt vagy esőt jelez előre a modell, míg Kékestetőn vagy Galyatetőn 10-20 cm hó esik le. Ugyanez a hibajelenség a környező országok hegyeinél is előfordul. A Balatonnál a modell a klímaátlatot használja a hőmérséklet számítására, ezért a tó környékén télen melegebb a levegő a ténylegesnél, és ezért sokszor esőt jelez előre hó vagy ónos eső helyett. A következő ábrákon néhány nagyon pontos, és néhány kevésbé pontos előrejelzést láthatunk (1. táblázat, 2-5. ábra).

Jel	Jelenség
	Gyenge intenzitású eső
	Közepes vagy erős intenzitású eső
	Gyenge, közepes vagy erős intenzitású havas eső
	Hószállingózás, gyenge havazás
	Közepes vagy erős intenzitású havazás
	Gyenge, közepes vagy erős intenzitású ónos eső
	Gyenge, közepes vagy erős intenzitású fagyott eső
	Gyenge, közepes vagy erős intenzitású záporos eső
	Gyenge, közepes vagy erős intenzitású hózápor
	Gyenge, közepes vagy erős intenzitású zivatar esővel
	Alacsony vagy magas szintű hófúvás
	Párásosság
	Kód vagy zúzmárás kód

1. táblázat A térképen használt jelek és magyarázatuk

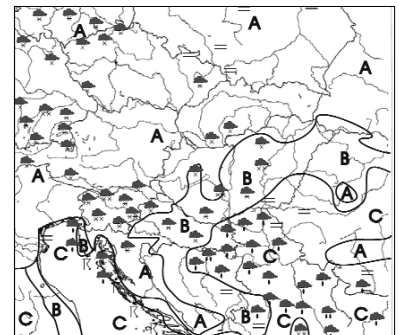


2. ábra - Előrejelzett és tényleges csapadék – 1998. 12. 12. 09 UTC "A" terület: eső, "B" terület: ónos eső, "C" terület: hó



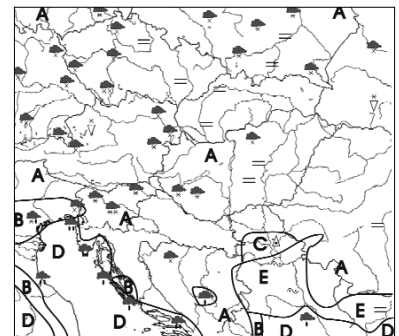
3. ábra - Előrejelzett és tényleges csapadék – 1999. 02. 11. 06 UTC

"A" terület: hó, "B" terület: ónos eső, eső, havas eső vagy hó, "C" terület: eső



4. ábra - Előrejelzett és tényleges csapadék - 2003. 01. 05. 12 UTC "A" terület: hó,

"B" terület: eső, havas eső vagy hó, "C" terület: eső



5. ábra - Előrejelzett és tényleges csapadék – 2003. 01. 07. 00 UTC "A" terület: hó,

"B" terület: eső, havas eső vagy hó, "C" terület: fagyott eső, "D" terület: eső, "E" terület: ónos eső

Eredmények, hiányosságok, összefoglalás

Módszerünk a gyakorlatban rendkívül jól vizsgázott, több országból is elkérték az algoritmusát, amelyet több proceeding kiadványban is leközöltünk (lásd korábban), illetve több munkaértekezleten (ALADIN workshop, ECAM konferencia) is bemutattunk. Magyarországon a módszer beépült az ALADIN/HU modell utófeldolgozási (post-processing) eljárásai közé, és eredményei a HAWK megjelenítő rendszerben megtekinthetők. A módszert az ECMWF modell utófeldolgozásához Tóth Helga igazította hozzá, így az automatikus-prognózis készítő eljárásba is beépülhetett. Felhasználásával a világ számos városára készült teljesen automatikus csapadék állapot előrejelzés a modellekből.

A módszer, statisztikai jellegénél fogva, nem tud kezelni egyes felhőhöz kapcsolódó fizikai folyamatokat, ezért tévesen számol. Ilyen típusú hiba az, hogy nem számol a zivatarfelhőből lezúduló hideg levegővel, és a csapadék párolgásából vagy olvadásából származó hűtő hatással, így zivatarfelhő esetén fölülbecsli a folyékony vagy vegyes halmazállapot valószínűségét a szilárdal szemben. Ez a hiba főként a márciusi, áprilisi hózáporok, hózivatarok esetén jelentkezik.

Az alacsony szintű rétegfelhőből (hidegpárna) hulló csapadék nem hókristályként indul el, hanem gyakran folyékony vagy túlhűlt vízcseppként, ezért ilyenkor a szilárd állapot (hó, fagyott eső) túlsúlyban van a módszer alapján a tényleges szítálással, ónos szítálással szemben.

Mivel az általunk használt PPM eljárás tényleges méréseken alapszik, ezért rendkívül érzékeny a határreteg hőmérsékleti rétegződésének modell hibáira. Ezek a hibák esetenként igen komolyan befolyásolhatják a módszer hatékonyságát. Ezeket az ALADIN.HU modell esetén rendszeresen előforduló hibákat, és a hozzájuk tartozó hibás csapadék állapotokat korábban már ismertettük (modell topográfia, Balaton, Adriai-

tenger, hidegpárna), ezért itt nem mutatjuk be újra.

A módszer előnye, hogy egyes esetekben egyszerre több lehetséges állapot valószínűségét is megadja, (pl. 40% hó, 25% eső, 35% havas eső) így a szinoptikus tudhatja, hogy intenzív csapadék esetén inkább hó, míg gyenge intenzitás esetén inkább eső fog hullani.

Az általunk használt eljárás a Hirsch Tamás, illetve a Geresdi-Horváth féle módszerrel együtt használva sok segítséget nyújt az operatív gyakorlatban, hiszen ha mindhárom havazást vagy esőt ad, akkor biztosak lehetünk abban, hogy hó vagy eső esik, de ha különböznek egymástól, akkor érdemes elgondolkozni azon, hogy vajon milyen csapadék is fog esni.

Fövényi Attila

Irodalom jegyzék

- Damrath, U., 2001:* Verification of the operational NWP models at DWD, Proceedings of International Training Seminar - Design, Products and Operational Use of the NWP Model-Chain of the DWD, 23-27 April 2001, 33 pages
- Doms, G., Schättler, U., 1999:* The Nonhydrostatic Limited-Area Model (Lokal-Modell) of DWD. Part I: Scientific Documentation, Deutscher Wetterdienst, Geschäftsbereich Forschung und Entwicklung, Offenbach am Main, Germany, 1999.
- Fövényi, A., 1997/1:* Making low level significant weather chart in the Hungarian Meteorological Service, Annalen der Meteorologie No. 35. pp. 308-310, 1997.
- Fövényi, A., 1997/2:* Making low level significant weather charts in the Hungarian Meteorological Service, RC LACE Bulletin No. 3., 6 pages, Budapest, 1997.
- Fövényi, A., 1999/1:* Probability Forecasting of Different States of precipitation Using ALADIN Data, RC LACE Bulletin No. 7, 4 pages, Ljubljana, Slovenia, 1999.
- Fövényi, A., 1999/2:* Short and Ultra Short Range Forecasting of Hazardous Precipitation for VFR Flights, Proceedings of Fourth European Conference on Applications of Meteorology, ECAM 99, 13-17 September 1999, P-043/pp. 1-3, Norrköping, Sweden, 1999.
- Fövényi, A., 2001:* Probability forecast of state of winter precipitation using NWP model data, Proceedings of Fifth European Conference on Applications of Meteorology, ECAM 2001, 24-28 September 2001, Budapest, Hungary, Theme 1 P-01 pp. 1-7
- Fövényi A., 2006:* Egy szokatlan időjárási jelenség Budapesten, Légekör, 51. évf. 2006/4, pp. 32-34, Budapest, 2006
- Geresdi, I., Horváth, Á 2000:* Nowcasting of precipitation type. Part I.: Winter precipitation, Időjárás, Vol. 104, pp. 241-252, Budapest, 2000.
- Hirsch, T., 2000:* Synoptic-climatological investigation of weather systems causing heavy precipitation in winter in Hungary, Időjárás Vol. 104 No. 3., pp. 173-196
- Hirsch, T., 2001:* Forecasting the State of Heavy Precipitation in Winter Considering the Demands of Traffic Authorities, Proceedings of Fifth European Conference on Applications of Meteorology, ECAM 2001, 24-28 September 2001, Budapest, Hungary, Theme 2 16 pp. 1-4
- Jaeneke, M., 2001/1:* Synoptic Verification Case-studies, Proceedings of International Training Seminar - Design, Products and Operational Use of the NWP Model-Chain of the DWD, 23-27 April 2001, pp. 4/1-13
- Jaeneke M., 2001/2:* Operational products of GME and LM - Local products (Meteo-grams, DMO, Kalman-filter, MOS, PPM), Proceedings of International Training Seminar - Design, Products and Operational Use of the NWP Model-Chain of the DWD, 23-27 April 2001
- Matyasovszky I., Németh L., Németh P., Takács Á., 1993:* A téli csapadék halmazállapotának előrejelzése, Beszámoló az 1990-ben végzett tudományos kutatásokról, OMSz, Budapest, 1993
- Mohl, H., Sobitschka W., 1988:* Die beiden Schneekatastrophen in Südbösterreich zwischen 31. Januar und 10. Februar 1986, Wetter und Leben 40, Heft 3.
- Mokori M., Ivančan-Picek, B., 1997:* The use of ALADIN/LACE pseudotemps in forecasting freezing rain, Annalen der Meteorologie No. 35, pp. 290-292, Offenbach am Main, Germany, 1997.
- Performance Statistics, verification and diagnostics, Quarterly Report of the Operational NWP-Models of the Deutscher Wetterdienst, No. 24, pp. 15-41
- Young, K. C., 1993:* Microphysical Processes in Clouds, pp 23-107, Oxford University Press, New York, 1993
- Wakonigg H., 1991:* Typen der Niederschlagsverteilung im österreichischem Alpenraum, Wetter und Leben 43, Heft 1-3.
- Wehry, W., Enke, W., Gerech, C., Langer, I., Lesch, L., Wohlfart, U., 1997:* Nowcasting mit empirischen Verfahren und numerischer Guidance, Zusammenfassung des Zwischenberichtes vom Juni 1997., 1997.