

A tapadó hóteher mennyiségi előrejelzése

Bevezetés

Hazánkban esetenként komoly problémákat okoznak a tereptárgyakon nagyobb tömegben jelentkező, különféle típusú jeges lerakódások. Ónos eső alkalmával a fák ágain, vagy a távvezetékeken kialakuló nagyobb súlyú teher jól ismert és rendszeresen előforduló jelenség. Az északi országokban és a magashegységekben gyakrabban tapasztalható, hogy a zúzmara, vagy a nedves hó is képes kritikus mértékű, káreseményeket eredményező tömegben lerakódni. Hazánk klímáján ez utóbbi típusú veszélyes jelenségek ugyan ritkábbak, de fontosságuk nem elhanyagolható. A 2009. január 27–28-án Vas és Zala megyében, majd nem sokkal később február 8–9-én a Dunántúli-középhegységben az elektromos távvezeték-hálózatban bekövetkező üzemzavarok újból felhívták a figyelmet arra, hogy a tapadó hó esetenként hazánkban is súlyos következményekkel járhat. A januári eset kapcsán a BME részéről tanulmány készült a távvezeték-szakadások, oszlopdőlések műszaki körülményeiről, az OMSZ pedig a meteorológiai, klimatológiai háttérrel készített elemzést. Az említett januári és februári szituáció nemcsak a szakmai körök, hanem a széles közönség érdeklődését is felkeltette. A „nedves, tapadó hó”, mint fogalom igen gyakran szerepelt ez idő tájt a médiában.

A hazai gyakorlatban az OMSZ a tapadó hóra vonatkozóan az áramszolgáltatók felé készít előrejelzést, illetve riasztást. Ezen produktumok jelenleg legtöbbször egy egyszerű, csak a jelenség egzisztenciájára, esetleg annak valószínűségére vonatkozó jelzéseket takarnak. Nagyon sok olyan időjárási helyzet adódik, amikor szigorúan véve nedves, tapadó hóról beszélhetünk, ugyanakkor ezek közül csak egy-két esetben alakul ki említésre méltó hóteher. Időjárási helyzettől függően a hóteher várható mértékének szubjektív megítélése igen körülményes. Célul tűztük ki, hogy az előrejelző gyakorlatban jól használható objektív módszereket találjunk a tapadó hó lerakódásának mennyiségi előrejelzéséhez. Munkánk során a nemzetközi szakirodalom alapján adaptáltunk néhány algoritmust az OMSZ-ban használt többféle operatív és kísérleti fázisban lévő numerikus modell háttérrel.

A tapadó hó fizikája és tipikus meteorológiai háttere

Tapadó hó gyakorlatilag minden esetben magassággal csökkenő hőmérsékleti rétegződés mellett alakul ki. Ekkor a hópelyhek a magasban még negatív hőmérséklet mellett, „száraz” hóként vannak jelen. A felszín közeli pozitív tartományba érve a hópelyhek részben megolvadnak, felületükön vékony vizes réteg keletkezik, teljes olvadást azonban nem szenvednek el. Telítetlen légállapot esetén az olvadni készülő hópelyhek hőmérséklete hason-

lóképp alakul, mint a szellőztetett, nedves hőmérő, ekkor tehát a hópelyhek hőmérséklete kissé alacsonyabb környezeténél. Előfordulhat tehát, hogy a környezet hőmérséklete pozitív, a hópelyhek viszont még nem „nedvesednek”. Mindezekből következik, hogy a pozitív száraz hőmérséklet helyett a pozitív nedves hőmérsékletet (T_w) szokás a tapadó hó kritériumaként megadni. Míg a „száraz” hópelyhek a tereptárgyról lepereregnek, a részben olvadt hópelyhek megtapadnak rajta. A túlságosan vizes hó, vagyis a nagy részben megolvadt hópelyhek alkotta csapadék azonban már „lefolyik” a tereptárgyokról. Nem teljesen ismert, hogy ideálisan a hópelyhek milyen arányú folyékonyvíz tartalmához tartozik a maximális adhéziós erő, de a szakirodalom szerint 15 és 40 % közötti értéknél a hó még biztosan jól tapad a tárgyakhoz (Farzaneh, 2008).

Csapadékos időjárás esetén megfelelő – az alsó néhány száz méterben viszonylag labilis – rétegződés kialakulása többnyire az alsó rétegekben zajló hideg advekciónal párosul (a bevezetőben említett mindkét szituáció északi áramlás mellett, hátoldali helyzetben alakult ki). A nappali órákban kialakuló hózárporok esetén is gyakran tapasztalható nedves hó, ekkor azonban ritkábban hullik olyan mennyiségű csapadék, ami végül komolyabb hóteherként jelentkezhetne.

A tapadó hó tömege természetesen függ magától a tereptárgytól, amire rakódik. Fontos megemlíteni, hogy a nagyobb távolságban kifeszített szabadvezetékek jegesedése eltér a fixen rögzített tárgyakétól. A tengelye körül elcsavarodni képes vezetékeken ugyanis körszimmetrikusan rakódhat le, illetve hatékonyabban tömörödhet a nedves hó (1. kép) (Poots and Skelton, 1995). A tapasztalatok szerint az ilyen vezetékeken méterenként megjelenő hóteher nagysága lényegesen nagyobb, mint amit a hazai gyakorlatban használt zúzmaramérő műszer – egyébként hasonló keresztmetszetű – vezetékmináján mérhetünk.



1. kép: Szabadvezetéken kialakult, körszimmetrikusan lerakódott tapadó hó.

Forrás: E.ON Észak-dunántúli áramhálózati Zrt.
2009. február 9. Bakony

A lerakódás mennyiségi becslése

A tapadó hó, illetve általában a jeges lerakódások fizikai folyamata meglehetősen komplex ahhoz, hogy jelenleg, a mindennapi előrejelző gyakorlatban valóban egzakt módszerekkel számolhassuk. A légkörre, illetve a csapadék-elemekre vonatkozó több – egyébként a fizikai leírás szempontjából alapvető – paraméterre (pl. a vízcseppek, hópolyhek koncentrációja, méret szerinti eloszlása) vonatkozó információk nagymértékben bizonytalanok. A szakirodalomban általában viszonylag egyszerű, empirikus módszereket találunk.

A tapadó hóra vonatkozóan az egyik legismertebb módszer használatához elegendő két paraméter, a hó formájában hulló csapadék mennyisége és a nedves hőmérséklet (Sundin and Makkonen, 1998). A szerzők eredeti célkitűzése a hagyományos szinoptikus állomásokon mért csapadékmennyiség és hőmérséklet, illetve a megfigyelt csapadéktípus hosszabb idősorai alapján a tapadó hóra vonatkozó klimatológiai feltérképezés volt. A módszer a lerakódást úgy becsüli, mintha egy vezeték teljes keresztmetszetére eső hó szimmetrikusan rátapadna a tereptárgyra

$$\text{mass} = \text{prec_rate} * \text{time} * \text{radius}$$

ahol a *mass* az akkumulált hó mennyisége kg/m-ben, a *prec_rate* a csapadék intenzitása mm/h-ban, a *time* az eltelt idő órában, a *radius* pedig a vezeték keresztmetszete m-ben, ami a lerakódás tömegével párhuzamosan növekszik (a hó sűrűségét egy állandó értéknek, 500 kg/m³-nek vesszük). A vezeték kezdeti keresztmetszete beállítható (pl. 3 cm).

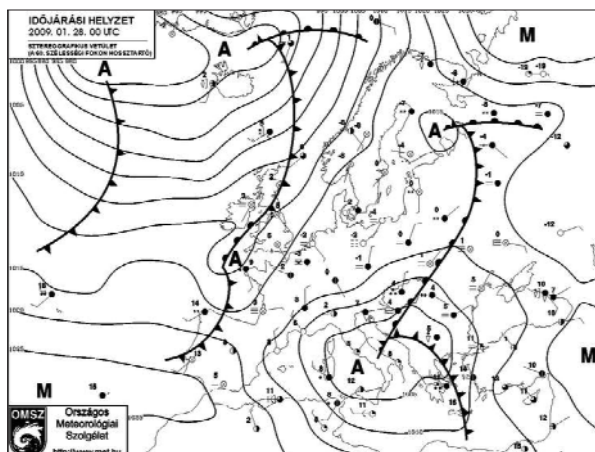
Az észlelt havazást akkor tekinti tapadó hó típusúnak, amikor a nedves hőmérséklet 0 °C fok felett alakul. Ha a száraz hőmérséklet több mint 3 órán keresztül eléri a 4 °C fokot, akkor feltételezzük, hogy az addig akkumulált hőtömeg teljesen leolvad a vezetékről.

A szél hatását a módszer nem veszi figyelembe, feltételezi, hogy erősebb szél esetén a tereptárggyal egyébként nagyobb mennyiségben ütköző hópolyhek egyidejűleg nagyobb arányban pattannak vissza a felületről, így a két ellentétes hatás kb. kompenzálhatja egymást. (Megjegyezzük, hogy vannak módszerek, melyek a szél hatását komplexebben is figyelembe veszik.)

Ez előbb bemutatott módszert eredetileg a ténylegesen mért és észlelt adatokra alkalmazták. A numerikus modellekkel történő előrejelzés esetén a csapadéokra vonatkozó megfigyelés helyett valahogyan a modelltől szükséges a csapadék típusát meghatározni. Kísérleteink során fejlett mikrofizikai sémákkal futtatott MM5, WRF és AROME modelleket használtunk. Az alkalmazott mikrofizikai leírásokban mindegyik esetben 5 féle hidrometeor, mint prognosztikai változó különült el. Az előző fejezetben említett szakirodalmi hivatkozás alapján akkor tekinthetjük havazásnak (és nem túlságosan vizes hónak) a csapadékot, amikor a modellben lévő hó hidrometeorok keverési aránya legalább másfélszer akkora, mint az eső hidrometeorok mennyisége (60%:40%).

A január 27–28-i időjárási helyzet

2009. január 27-én egy mediterrán ciklon okozott többnyire borult, csapadékos időjárást. A ciklon – melynek centruma az Adriai-tenger fölött helyezkedett el (1. ábra) – áramlási rendszerében kelet felől melegebb levegő érkezett fölé, melynek következményeként az ország nagy részén eső formájában hullott a csapadék. A Dunántúl nyugati részén, illetve a hegyvidéki területeken azonban a nap folyamán a csapadék intenzívebbé válásával egy időben több helyen fokozatosan havaseső, havazás vált uralkodó csapadékformává.

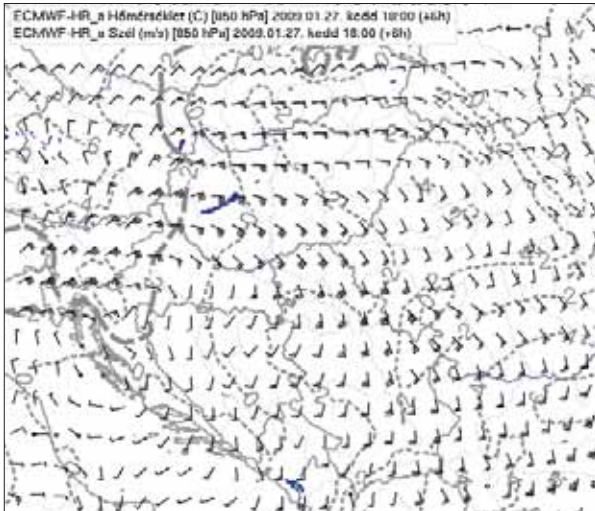


1. ábra: Talajanalízis 2009. január 28-án 00 UTC időpontban.

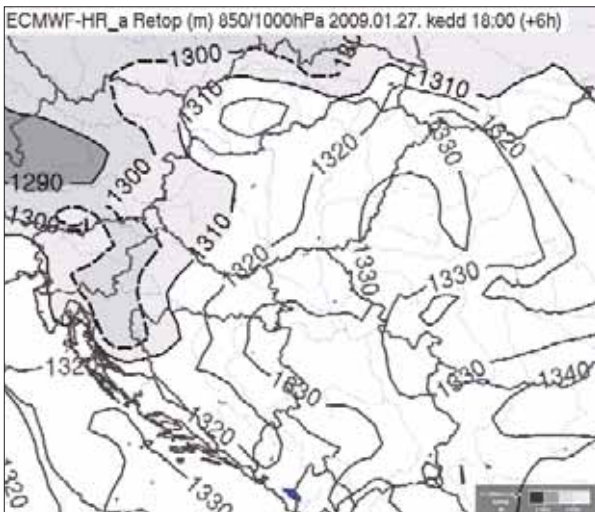
A mediterrán ciklon középpontja az Adriai-tenger fölött helyezkedik el.

A 2–6. ábrákon bemutatott meteorológiai mezők a helyzet főbb jellemzőinek áttekintését segítik. Elmondhatjuk, hogy egy főbb jellemvonásaiban viszonylag gyakran előforduló téli időjárási helyzetet láthatunk. 27-én este a hazánktól délnyugatra lévő mediterrán ciklon okklúziós pontja és egyben a ciklonhoz tartozó futóáramlás bal-kilépő zónája hozzávetőlegesen hazánk nyugati része fölött helyezkedik el. A konfigurációból fakadó legnagyobb feláramlások és a legintenzívebb csapadék területe értelemszerűen körülbelül ebben a térségben helyezkedik el. Ilyen helyzetekben az is megszokott, hogy a talaj közeli rétegekben hazánk nyugati részére már jóval hidegebb levegő áramlik. Az esetek nagy részében azonban a csapadék formája egy viszonylagosan rövidebb idő alatt vált át esőből vizes hóba, majd „száraz” hóba. A szóban forgó helyzetben azonban a nyugat-dunántúli régió egyes részein a feltételek tartósan egy olyan szűk tartományban maradtak, amikor az intenzív havazás mellett a felszínen a hőmérséklet kevéssel 0 °C fok fölött, vagy a körül alakult.

A 7. ábra a radar és szinoptikus megfigyelések alapján egy jellemző helyzetképet mutat az esti órákból. A hó formájában hulló csapadék legnagyobb intenzitásának területe ebben az időpontban Vas megye déli és Zala megye északi részén található. Ezen a területen 25–30 dBZ körüli reflektivitás értékeket is láthatunk, amihez igen intenzív havazást lehet társítani. Szentgotthárdon ebben az



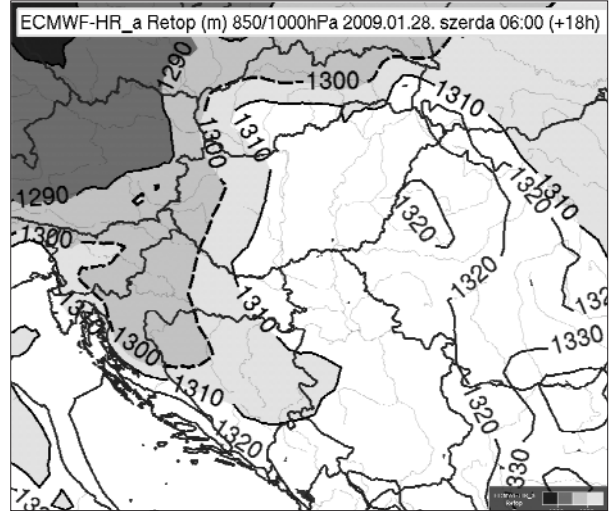
2. ábra: Hőmérsékleti és szélmező Közép-Európa fölött január 27-én 18 UTC időpontban a 850 hPa-os nyomási szinten (ECMWF). A kérdéses terület feletti -2°C -os izotermát kiemelve láthatjuk. Napközben a Dunántúl nyugati része fölött a kelet felől advektálódó melegebb levegő ellenére a csapadék hűtő hatása miatt lényegesen nem változik a hőmérsékleti rétegződés (eső, havaseső, havazás egyaránt előfordul). A későbbiekben az alsó 1 km-es rétegben már az észak felől érkező hidegebb levegő is érezteti hatását.



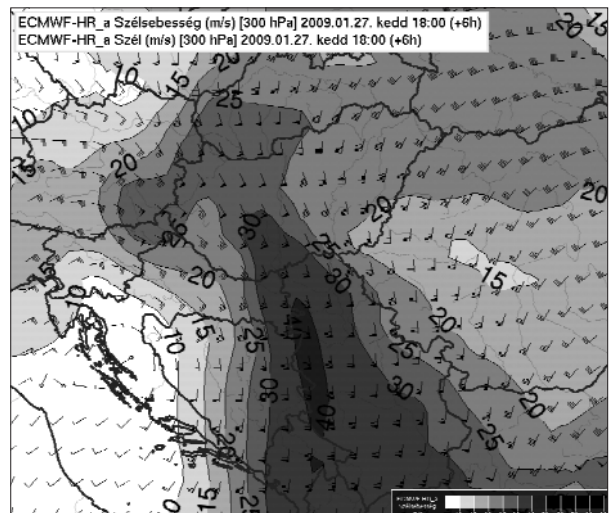
3. ábra: 850/1000-es relatív topográfia (a két nyomási szint geopotenciáljának különbsége, ami réteg átlagos hőmérsékletével arányos) 2009.01.27 18 UTC időpontban (ECMWF). Ebben az időpontban a térség fölött 1300-1310 m látható, ami kissé magasabb az eső és hó határát általában jellemző 1300 m-től.

időpontban közepes intenzitású havazást, Sármelléken gyenge esőt észlelnek. A térképen bejelöltük a havazás és az eső becsült, jellemző határát erre az időpontra vonatkozóan. A kérdéses területen élénk (30–40 km/h) lökésekkel kísért északkeleti szél fúj.

A tapadó hóteher mennyiségi előrejelzésére tett kísérleteinkből az egyik legsikeresebbet mutatjuk be. Többek között a még fejlesztési fázisban lévő AROME numerikus modell január 27-i 12 UTC kezdeti időpontból készült futtatását alkalmaztuk. A vizsgált egyéb nume-



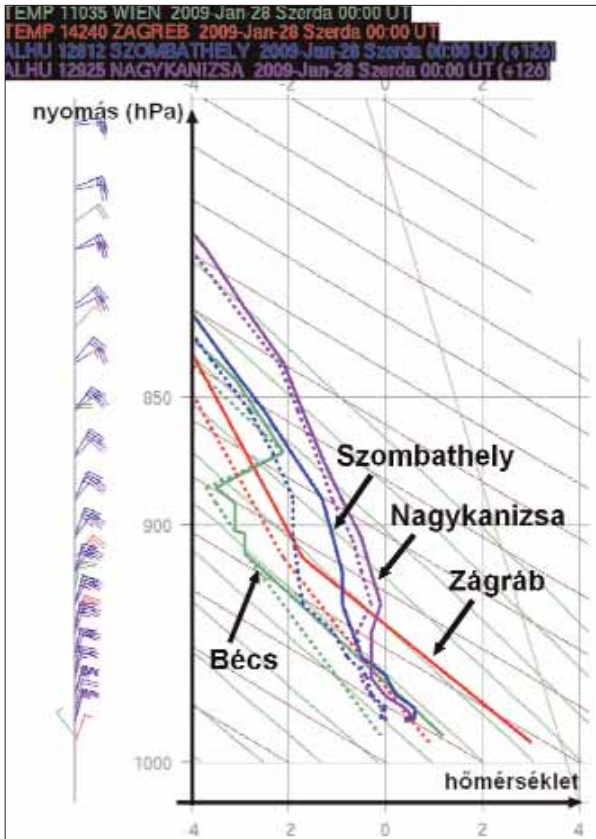
4. ábra: 850/1000-es relatív topográfia (január 27. 18 UTC). (ECMWF + 18 óras előrejelzés). Reggel 06 UTC-re a nyugat-dunántúli régió nagy része már az 1300 m-es izotermá alatt található.



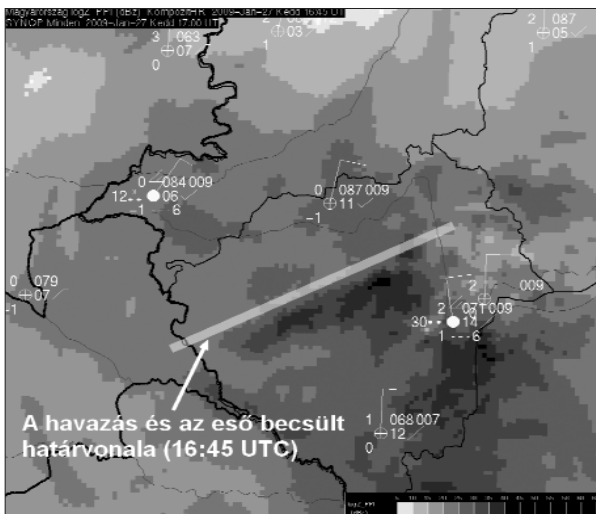
5. ábra: 300 hPa-os áramlás (január 27. 18 UTC). A Dunántúl nyugati része a mediterrán ciklon frontrendszerének okklúziós pontja közelében és egyben a futóáramlás bal-kilépő zónája alatt helyezkedik el. A futóáramlás magjában hazánkhoz közel a 40 m/s-os izotachák is megjelennek.

rikus modellek is jól jelezték a dunántúli nagyobb mennyiségű csapadék területét és annak mennyiségét. Általában elmondható, hogy a csapadékmezőt a nagytérségű szinoptikus folyamatok igen jól behatárolták, így ezen a téren nem is adódott nagy eltérés az előrejelzések és a valóság között. A problémák forrása elsősorban az alsó légkör hőmérsékleti rétegződésének nem megfelelő előrejelzése volt. A bemutatandó AROME futtatásban a kérdéses területen (Vas és Zala megye) és időben a felszín közeli hőmérséklet szinte végig 0 és 1°C között volt (8. ábra), miközben a valósághoz hasonló intenzitású és típusú csapadék tükröződött a megfelelő paraméterekben (felszínközeli hó és eső keverési arányok).

A korábbiakban leírt módszer szerint előállítottuk a 3 cm

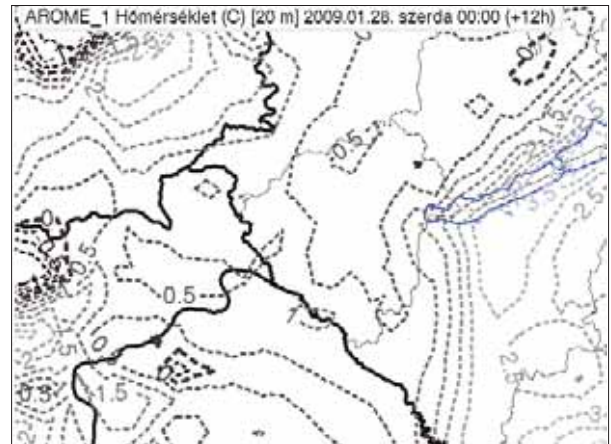


6. ábra: Hőmérsékleti rétegződés január 28-án 00 UTC (01 CET) időpontban a tényleges mérések alapján Bécs és Zágráb, illetve numerikus modelledmények (ALADIN operatív futtatása) alapján Szombathely és Nagykanizsa fölött. A 0 C magassága a felszín fölött: Bécs: 450 m, Zágráb: 1150 m, Szombathely: 160 m, Nagykanizsa: 80 m.

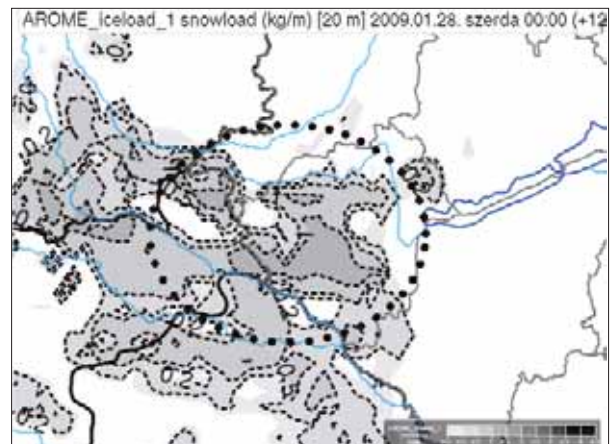


7. ábra: Egy jellemző helyzetkép a nagy mennyiségű tapadó havat produkáló kritikus órákban (17:45, 16:45 UTC). A térképen szinoptikus mérések és megfigyelések mellett a radarképet láthatjuk.

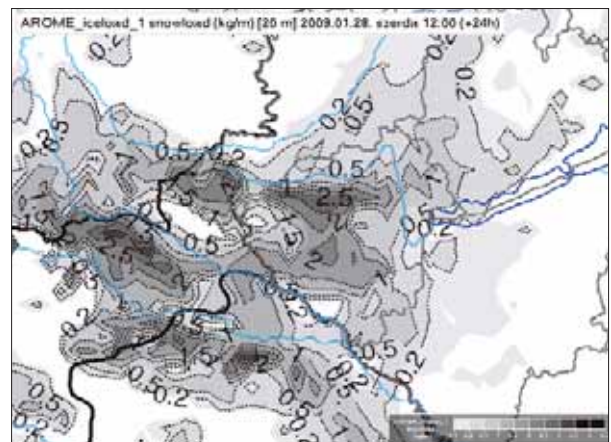
átmérőjű légvetéseken a modell szerint várhatóan lera-kódó tapadó hó mennyiségét kg/m-ben (9.–10. ábra). A relatíve nagyobb mennyiségű akkumulált hó területe jó egyezést mutat a bekövetkezett káresemények helyszí-



8. ábra: Hőmérsékleti mező az AROME modellben január 28. 00 UTC időpontra vonatkozóan (20 m). Vas és Zala megyében 0 és 1°C közötti értékeket látunk.



9. ábra: Várható akkumulált hóteher az AROME 12 UTC-s futtatásának 12. órájában (január 28. 00 UTC). A maximális értékek 1 kg/m körül adódnak. A tapadó hóhoz köthető 27-i esti káresemények helyszínei hozzávetőlegesen a pontozott ellipszisen belülre esnek.



10. ábra: Várható akkumulált hóteher az AROME 12 UTC-s futtatásának 24. órájában (január 28. 12 UTC). A maximális értékek 2,5 kg/m körül adódnak.

neivel. Látjuk, hogy hazánk területén kívül Szlovéniában is nagyobb hóteher jelez a modell. Külföldi hírforrások alapján a nyugat-dunántúlihoz hasonló üzemzavarok ott is jelentkeztek.

Fölmerül a kérdés, hogy a szentgotthárdi zúzmaramérés, a szabadvezetékeken lerakódott hó tömege és a szimulált hóteher nagysága milyen kapcsolatban áll egymással. Szentgotthárdon az 1m-es vezetékmentán mért maximális és egyben az adott állomás 20 éves adatsora alapján rekord nagyságú víztartalom 24,3 mm volt ami átszámítva 486 gramm, tehát kevesebb mint 0,5 kg (a csapadékmérő hengerben 1 mm, 20 g víznek felel meg). A bemutatott szimuláció 2,5 kg-os maximális lerakódásokat jelzett. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem vizsgálata szerint a lerakódások becsült tömege a 12,5 mm-es keresztmetszetű sodronyokon 2,7 és 7,7 kg volt méterenként (Szabó és Farkas, 2009).

Bízunk benne, hogy a kritikus tömegű tapadó hóteher kialakulását a jövőben elérhető fejlett mikrofizikai leírást alkalmazó és nagyobb megbízhatóságú numerikus modellek, illetve a bemutatott módszerek alapján jobb sikerrel jelezhetjük előre.

Köszönettel tartozunk *Fehér Balázsnak* a programozási feladatokban nyújtott segítségével, *Kullmann Lászlónak* és *Horváth Ákosnak* a kísérleti modellfuttatások elkészítéséért, *Simon Andrénak* szakmai tanácsaiért és *Rajnai Márknak* a produktumok megjelenítéséhez szükséges munkájáért. Az EON-Hungária részéről *Fülöp Róbert* volt segítségünkre.

Kolláth Kornél, Tóth Katalin

Irodalom

- Farzaneh, M. (Editor), 2008:* Atmospheric Icing of Power Networks, Springer, 1 edition (September 26, 2008)
- Krómer, I., 1995:* Hungarian icing activity survey, Atmospheric Research, Volume 36, Issues 3-4, May 1995, Pages 311-319
- Lakatos M., Bihari Z., 2009:* Hóteher a távvezetékeken. A 2009. január 27-28-án kialakult időjárási helyzet elemzése Vas és Zala megye területén, Léggör 2009. évf. 2. szám
- Mika, J., Szentimrey, T., Csomor M., Kövér, Z., Nemes, C., Domonkos, P. 1995:* Correlation of ice load with large-scale and local meteorological conditions in Hungary, Atmospheric Research, Volume 36, Issues 3-4, May 1995, Pages 261-276
- Poots G., 1996:* Ice and Snow Accretion on Structures, Research Studies Press LTD., Tauton, England, 1996.
- Poots, G. and Skelton, P. L. I., 1995:* The effect of aerodynamic torque on the rotation of an overhead line conductor during snow accretion, Atmospheric Research, Volume 36, Issues 3-4, May 1995, Pages 251-260
- Szabó Gy., Farkas Gy.: 2009.* 2009.01.27-30. közötti időszakban, Vas és Zala megyében tömeges üzemzavart okozó középfeszültségű (KÖF) oszlopok kitérés okainak, vezetékek szakadásának feltáró elemzése, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar. Hidak és Szerkezetek Tanszéke
- Sundin, E. and Makkonen, L., 1998:* Ice loads on a lattice tower estimated by weather station data, Journal of Applied Meteorology, Volume 37, Issue 5, May 1998, Pages 523-529

COST 719 - Térinformatikai rendszerek használata a meteorológiában és a klimatológiában

Előzmények

A 90-es évek közepén világszerte egyre elterjedtebbé vált az un. térinformatikai* rendszerek használata a különböző földtudományokban, így a meteorológiában is. E rendszerek sajátossága, hogy olyan adatokkal foglalkoznak, amelyek térbelileg a Földhöz kötöttek. Ilyenformán természetesen a meteorológiai adatok térbeli eloszlásának kezelésére, megjelenítésére is alkalmasak.

Az évek folyamán egyre több térinformatikai szoftver (**GIS – Geographical Information System**)* jelent meg, egy részükbe belekerült a térbeli interpoláció lehetősége is. A meteorológia különösen ennek a fejlesztésnek örült, hiszen korábban a térképeket főként kézzel rajzolták. Rövid időn belül kiderült azonban, hogy a beépített interpolációs módszerek (leggyakrabban inverz távolság*, spline, kriging*) önmagukban nem elegendőek a meteorológiai mezők térképezésére, mert például nem tudják visszaadni a meteorológiai adatokban meglévő térbeli trendeket.

A különböző meteorológiai szolgálatoknál, egyetemeken számos kutatás indult, hogy hogyan lehetne ezt a feladatot a lehető legjobban megoldani. Az interpoláció mellett fontos volt a digitális térképkészítés lehetősége is, ami e szoftverek segítségével könnyen, szépen megvalósítható.

A COST 719 Akció megalakulása

A probléma fontosságát jelzi, hogy 2001-ben létrejött egy nemzetközi együttműködés, a COST 719, melynek célja éppen ezeknek a problémáknak a megfogalmazása, megoldása és az eredmények alkalmazása volt.

Magyarország az OMSZ-on keresztül a kezdetektől fogva kép-

viselte magát. A kezdeti időkben az akkori éghajlati osztályok vezetői, *Dobi Ildikó* és *Szalai Sándor* voltak a résztvevők, de később az interpolációval foglalkozó *Szentimrey Tamás* és *Bihari Zita* is bekerült a küldöttek közé, és *Dobi Ildikó* lemondott a tagságáról.

Munkacsoportok

A COST akcióknak megfelelően ez a COST is munkacsoportokból épült fel. A munkacsoportok kitűzött feladata a következő volt.

1. Munkacsoport – Adathozzáférés

Az Akció időtartama alatt a munkacsoport feltérképezte és rendszerezte:

- a résztvevők által használt GIS szoftvereket,
- a hozzájuk kapcsolódó adatbázis rendszereket,
- annak kérdését, hogy a meteorológiai adatokon kívül milyen egyéb adatbázisokat használnak (topográfia, talaj, felszínborítás stb.)
- a metaadatok állapotát
- az adatpolitikát.

Ajánlásokat tettek a hiányok betöltésére, szoftvereket és ingyenesen használható adatbázisokat javasoltak.

2. Munkacsoport – Térbeli interpoláció

Az Akció időtartama alatt a munkacsoport összegyűjtötte, kipróbálta és elemezte a GIS rendszereken belül és azokon kívül létező interpolációs módszereket. A legtöbb résztvevő ország több meteorológiai elemre készített térképeket saját országa területére. A munkacsoport kimondottan az összehasonlításra egy részletes

A cikk folytatása a 19. oldalon