

ÖSSZEFOGLALÓ A TAPADÓ HÓ ELŐREJELZÉSÉRŐL AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLATNÁL

Somfalvi-Tóth Katalin(1), Simon André(1), Kolláth Kornél(1), Mészáros Róbert(2)

(1) Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.
(2) ELTE, Meteorológia Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

Bevezetés

Magyarországon éghajlati adottságaiból eredően évente visszatérő jelenség a tapadó hó, egy téli félév alatt akár 35 regisztrált tapadó havas nap is előfordulhat (Gulyás et al., 2012). Kis mennyiségben nem jelent gondot, egy jelentősebb havazás azonban szélesebb körben érintheti a társadalom szereplőit mind térben, mind időben. Egy-egy ilyen időjárási esemény akár nagyobb területre is kiterjedhet, illetve hatása akár jóval az esemény időtartamán is túlmutathat. Gondoljunk például az áramellátásban keletkező zavarokra, áramszünetekre. Ez utóbbiaknak gazdasági következményei is felmerülhetnek, ha tartósan fennmaradnak. Ezen kárelhárítási időszak rövidítésében és gazdaságosabbá tételében nyújt segítséget, ha az áramszolgáltató cégek időelőnybe kerülnek, és lehetőleg minél előbb minél pontosabb előrejelzéseket kapnak a közelgő időjárási eseményekről.

Munkánk során a nemzetközi szakirodalomban jól ismert és használt módszerek segítségével numerikus modellek alkalmazásával készítünk előrejelzéseket a tapadó hó egzisztenciájára és várható mennyiségére vonatkozóan. Már a 2013/2014 téli féléve óta operatívan elérhetők ezek az előrejelzések az Országos Meteorológiai Szolgálatnál, emellett folyamatosan vizsgáljuk, esettanulmányokon keresztül teszteljük a módszerek megbízhatóságát, hogy tovább finomíthassuk, javíthassuk a tapadó hóra vonatkozó mennyiségi előrejelzéseket.

A tapadó hó kialakulása és főbb jellemzői

Általános jellemzés

Ha a hókristályban folyékony víz jelenik meg, tapadó hóról beszélünk. Ennek kialakulásához a talaj közelében egy enyhe pozitív hőmérsékletű tartománynak kell létrejönnie ($0 - +3\text{ °C}$) (ISO. 2001), ugyanakkor Makkonen (1989) szerint egyetlen kritériumot elegendő figyelembe venni, miszerint a nedves hőmérséklet, $T_{\text{nedves}} > 0\text{ °C}$, ezáltal a levegő nedvességtartalmát is bevonjuk a vizsgálatba. Wakahama et al. (1977) felhívta a figyelmet, hogy a hulló hópelyhekben a folyékony víz aránya más lehet, mint a már felhalmozódott hógyűrűben a vezetéken. A párolgás és a szél okozta hőtranszfer miatt a vezetéken felhalmozott hóban nagyobb a víztartalom, az elérheti a 18–37%-ot is, de általában 5–40 % között alakul (Admirat, 2008). A hulló hópelyhek tapadása akkor ideális, ha azok víztartalma 15% körül mozog (Sakakibara et al., 2007). Ekkor a jégkristály felszínét vékony vízréteg borítja, miközben a kristályszerkezet fennmaradó részét levegő tölti ki (Colbeck, 1973). A vezetéken felhalmozódó hóra 3 erő hat: a gravitációs erővel szemben az adhéziós erő és/vagy a szél nyomóereje.

A szél szerepe a hó felhalmozódásában

Rendkívül fontos tényező a szél, hiszen első lépésként meghatározza, hogy megkezdődik-e a felhalmozódás a vezetéken, vagy sem. Ha nem kvázi-stacionárius az áramlás, hanem hirtelen változások vannak a szél sebességében, azaz erős szellőkések lépnek fel, vagy hirtelen leáll a légmozgás, a már felhalmozódott hó leesik a vezetékről. Ekkor a gravitációs erő kerül túlsúlyba, hiszen a szél nyomóereje hirtelen megváltozik vagy megszűnik. A szél sebessége

továbbá befolyásolja a hópelyhek fluxusát, ezáltal a hógyűrű növekedésének sebességét, valamint a felhalmozódott hógyűrű sűrűségét. Szélcsatorna kísérletek bizonyították, hogy 20 m/s-ig bármely szélesség mellett megindulhat a felhalmozódás (Wakahama et al, 1977).

Az adhéziós erő szerepe a hó felhalmozódásában

A szél mellett a másik kulcsfontosságú tényező a hópelyhekben megjelenő folyékony víz, hiszen ez biztosítja azt az adhéziós erőt, amivel a hópelyhek a vezetékhez tapadnak, illetve meghatározza, hogy a már felhalmozott hóréteg milyen erővel tapad a vezetékhez. Ha a szél hatását figyelmen kívül hagyjuk a felhalmozódás során (szélcsend), akkor két erővel kell számolni: a gravitációs erővel és az adhéziós erővel. Vizsgálatokkal bizonyították, hogy a legerősebb adhéziós erő akkor lép fel, amikor a felhalmozódott hóréteg víztartalma 20% körül mozog. Ekkor az adhéziós erő nagysága kb. 2 mbar (Wakahama et al, 1977).

Tapadó hó modellezése

Több, tapadó hóra vonatkozó előrejelzési módszer is megtalálható a szakirodalomban (Finstad et al., 1988; Sakamoto & Minura, 1993; Admirat, 2008; Makkonen & Wichura, 2010). Az általunk alkalmazott módszert Admirat (2008) írta le. A következő összefüggés adja meg a kapcsolatot a felsővezetéken megjelenő hógyűrű átmérője és tömege között:

$$\Phi \frac{d\Phi}{dt} = \frac{2}{\rho_{\text{hó}} \pi} \frac{dM}{dt} ,$$

ahol Φ (m) a felhalmozódó hó átmérője, $\rho_{\text{hó}}$ (kg/m^3) a felhalmozódó hó sűrűsége.

A tömeg időbeli változása arányos az egységnyi felületen áthaladó hó R fluxusával. Ha feltételezzük, hogy az áramlás merőleges erre a felületre, akkor

$$R = c \sqrt{u^2 + w^2} * S ,$$

ahol c a hópelyhek tömegkoncentrációja a levegőben, u (m/s) a szél horizontális komponense, w (m/s) a hópelyhek esési sebessége. A gyakorlatban a hópelyhek tömegkoncentrációját nem mérik, ezért parametrizációra van szükség, amihez a csapadék intenzitását használjuk fel, tehát

$$c = \frac{P}{3600w} ,$$

ahol P (mm/h) és $w = 1,5$ m/s a hópelyhek esési sebessége (Lacavalla et al., 2015).

Ekkor a tömegnövekedés felírható a következő képlettel:

$$\frac{dM}{dt} = \beta P = \frac{\beta P}{3600} \sqrt{1 + \frac{u^2}{w^2}} \Phi ,$$

ahol β az ún. tapadási együttható, ami megadja, hogy az adott egységnyi felületen áthaladó hópelyhek hányad része tapad meg a vezetéken, értéke 0 és 1 közé eső szám. Nygaard et al., (2013) nyomán az általunk használt parametrizáció:

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{u}} .$$

A hópelyhek tapadási hatékonysága fordítottan arányos a horizontális szélkomponens négyzetgyökével. Minél erősebb a szél, annál kisebb hatékonysággal tapadnak meg a hópelyhek a vezetéken. Ha 1 m/s alatt van a szélesség, a β -t 1-nek tekinthetjük. A tapadó hó átmérőjének időbeli változása (Admirat, 2008) tehát

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{2K}{\rho_{hó}\pi}, \text{ ahol } K = \frac{\beta P}{3600} \sqrt{1 + \frac{u^2}{w^2}} .$$

A hósűrűség ($\rho_{hó}$) 100 és 800 kg/m³ között mozog (Admirat, 2008). Habár Wakahama et al. (1977) kimutatta, hogy a csapadék intenzitásától is függ a felhalmozódó hó sűrűsége, munkánk során Admirat (2008) formuláját követve a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$\delta_{hó} = 200 + 20U .$$

Tapadó hó operatív előrejelzése az Országos Meteorológiai Szolgálatnál

2013/2014 téli félév óta áll rendelkezésre az operatív használatban tapadó hó előrejelzés az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. Ezen kívül archív eseteket vizsgálunk és elemzünk ki az előbb bemutatott számítási módszerrel. A tapadó hó előrejelzések elérhetők az ECMWF, AROME, WRF, ALADIN numerikus modellekre.

A modellekben a tapadó hó, mint változó nem szerepel, ezért kritériumokat adunk meg. Tapadó hó alakul ki, ha a 2 m-es léghőmérséklet [0, +3] °C között van, és közben havazik. A hó csapadékforma megjelenését a modellben a következő módszerek egyikével állapíthatjuk meg (Kolláth & Simon, 2015):

- o 850/1000 RETOP értéke < 1300 m (Cantin & Bachand, 1993)
- o BH-index (Babolcsai & Hirsch, 2006a; 2006b) alapján a hó valószínűsége > 50%
- o Hó valószínűség > 50% (Fövényi, 2001)
- o Modellek saját felhőfizikai paraméterezésén alapuló hócsapadék aránya > 70% (későbbiekben FR-módszer) (Thomson et al., 2004; Nygaard et al., 2013). Ebben az esetben kiválaszthatjuk a modell parametrizációjából származtatott hócsapadék és összcsapadék arányát. Ez gyakorlatilag a legalsó modell szint hó és eső hidrometeorjainak mennyiségétől függ.

1. táblázat: Egyes veszélyességi fokozathoz tartozó küszöbértékek a hó folyóméterre eső tömegére (kg/m), a hógyűrűs átmérőjére (cm) és a lehulló csapadék mennyiségére (mm) vonatkozóan (Kolláth and Simon, 2015). A vezeték átmérője 3,1 cm.

Veszélyességi fok	Hó folyóméterre eső tömege a vezetéken (kg/m)	Hógyűrű átmérője (cm)	Lehulló csapadék mennyisége (mm)
Sárga	1,5	5,5	26
Narancssárga	3	8,6	41
Piros	5	11,8	56

Ha minden feltétel teljesül, akkor az előző részben bemutatott számítási módszert (Admirat, 2008) alkalmazva az előrejelzők információt kapnak a felsővezetésekre rakódó tapadó hó átmérőjéről, illetve egy egyszerű számítási módszer és táblázat segítségével meg tudják hatá-

rozni, hogy mely veszélyességi fokozatba tartozik az adott esemény. Ha konstans hősűrűséget feltételezünk (300 kg/m^3), akkor az *1. táblázatban* felsorolt határértékeket kapjuk.

Esettanulmányok

Tapadó havas esetek az utóbbi években, amelyből egyet részletesen bemutatunk:

2009. január 27–28., Vas és Zala megye. Az utóbbi 10 év legkomolyabb tapadó havas esete.

2009. február 8–9., Bakony

2012. október 29., Vas megye

2013. január 15–16., Mátra és Somogy megye

2013. február 6–7., Pilis-Visegrádi hegység, Szlovákia keleti része

2014. január 24–25., Somogy megye déli része

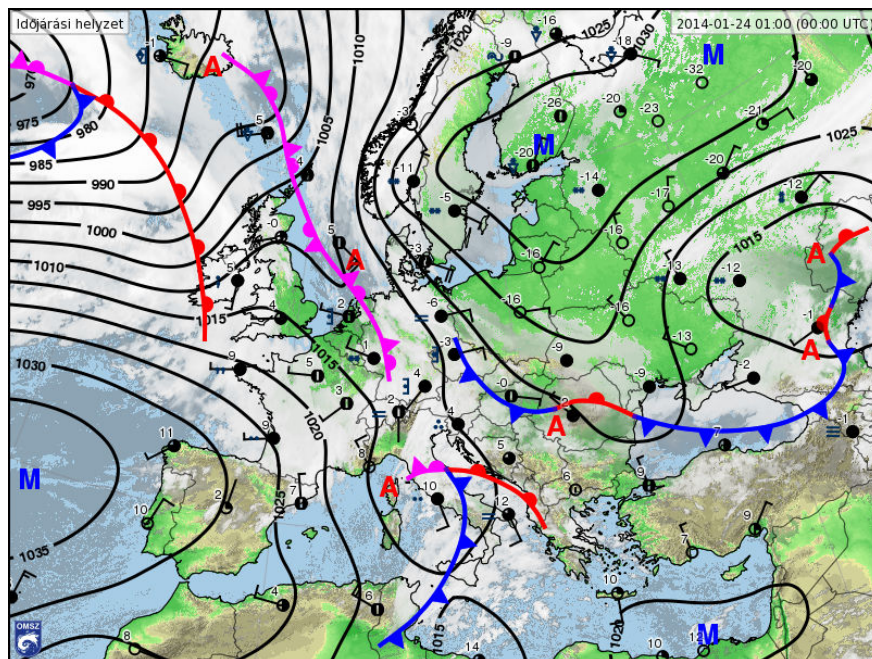
2015. január 30., Borsod-Abaúj-Zemplén megye

2015. február 1., Somogy megye

2016. január 6., Baranya, Somogy, Tolna, Bács-Kiskun és Pest megye déli része

Esettanulmány a 2014. január 24-25-i havazásról

Az időjárást Magyarországon egy mediterrán ciklon befolyásolta, amely többfelé okozott havazást, illetve hófúvást (*1. ábra*).



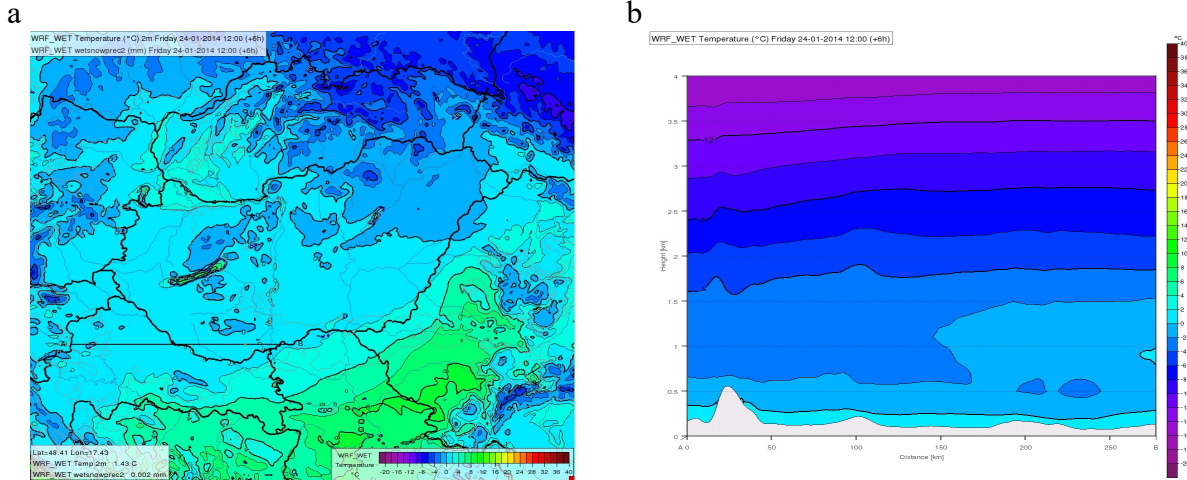
1. ábra: Frontanalízis 2014. 01. 24. 00 UTC-re vonatkozóan. Magyarország felett hidegfront vonult át, míg tőle délnyugatra a Földközi-tenger térségéből mediterrán ciklon helyeződik át kelet felé.

A Napijelentésben szereplő előrejelzés:

„Várható időjárás az ország területén szombat estig (2014.01.25. estig):

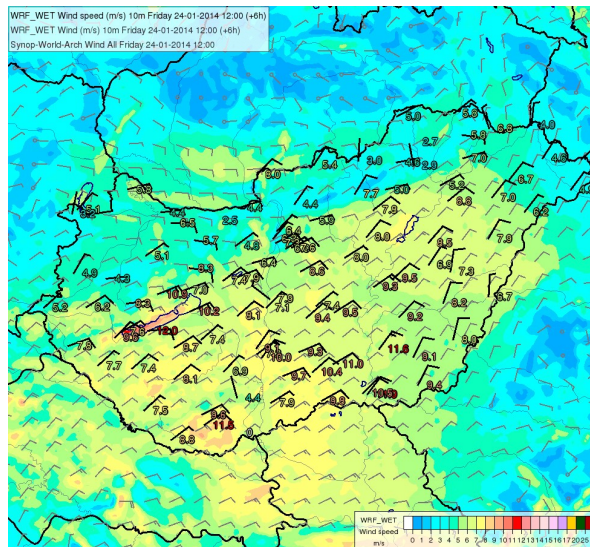
Az éjszaka második feléig túlnyomóan borult lesz az ég. Az Északi-középhegység kivételével sokfelé számíthatunk ismétlődő havazásra, délkeleten kezdetben havas eső, eső, néhol átmenetileg ónos eső is előfordulhat. Nagy mennyiségű hóra főként délnyugaton, délen van kilátás. Hajnalban északnyugaton, holnap napközben a Dunántúl más részein is felszakadozik,

csökken a felhőzet, kisüt a nap, a keleti országrészben azonban jobbra erősen felhős vagy borult marad az ég. Elsősorban délkeleten, keleten várható további, váltakozó intenzitású havazás. A többfelé erős északkeleti, északi szél hófúvást okozhat. A legalacsonyabb éjszakai hőmérséklet -1 , -9 fok között alakul. A legmagasabb nappali hőmérséklet szombaton általában $+1$, -5 fok között várható, de az északkeleti határ közelében ennél néhány fokkal hidegebb is lehet.”



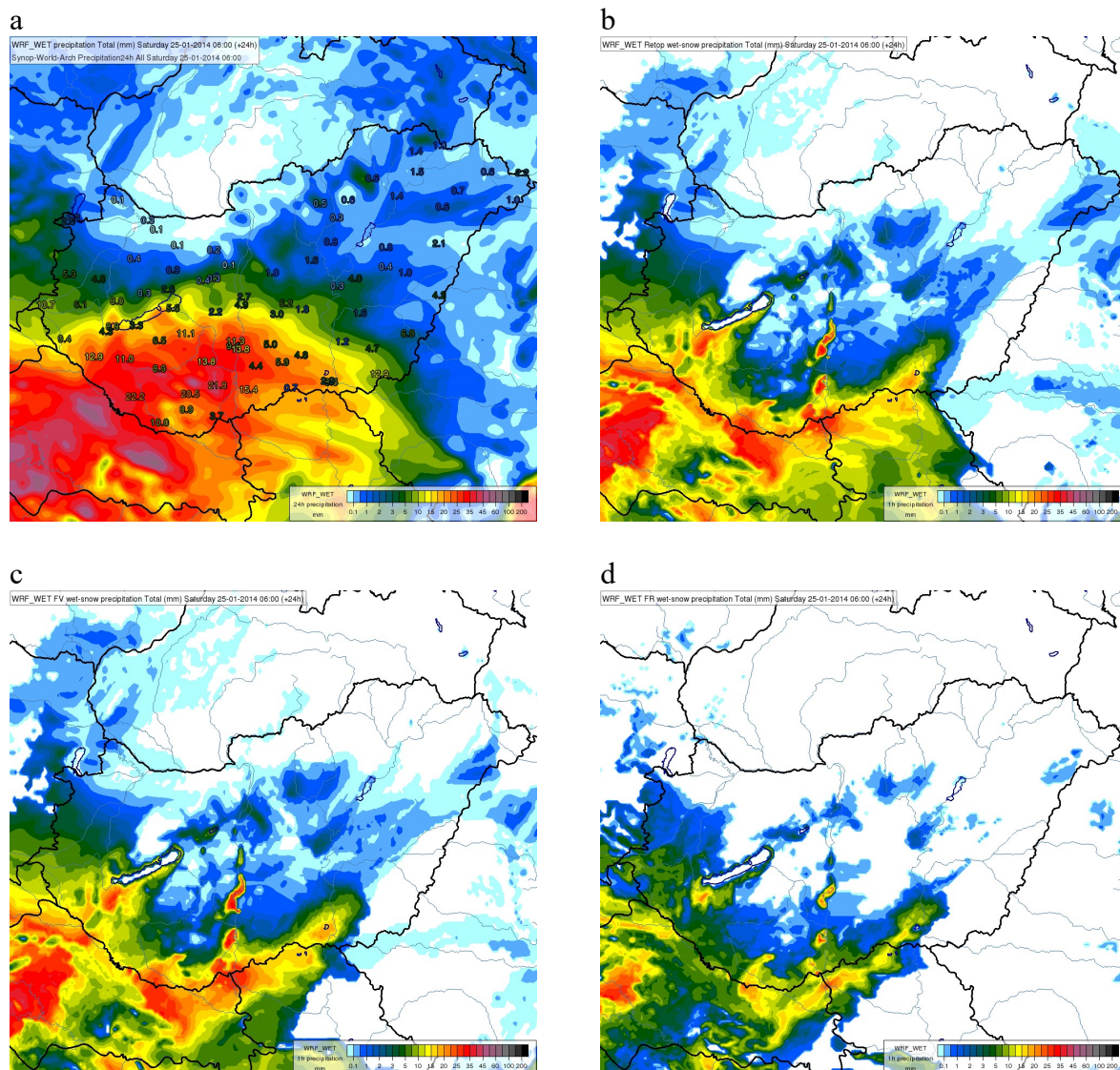
2. ábra: (a) a WRF numerikus modellben megjelenő 2 m-es hőmérsékleti mező 2014. január 24. 06 UTC-s futtatásának +6 órás időlépcsőjében. Fekete vonal jelöli a jobb oldali keresztmetszeti profil helyzetét. (b) a WRF numerikus modell hőmérsékleti mezőjéből kivágott vertikális keresztmetszeti profil, 2014. január 24. 06 UTC-s futtatásának +6 órás időlépcsője. Az alsó 100 m-en pozitív hőmérsékleti tartomány biztosítja a hópelyhek részleges olvadását.

A WRF numerikus modell által előrejelzett 2 m-es hőmérséklet és szélmező a megfelelő tartományba esett (2. ábra, 3. ábra). A hőmérséklet vertikális keresztmetszeti képen látható, hogy egy kb. 100 m vastag pozitív hőmérsékleti tartomány alakult ki a talaj közelében, ami elegendő volt a hópelyhek részleges megolvadásához.



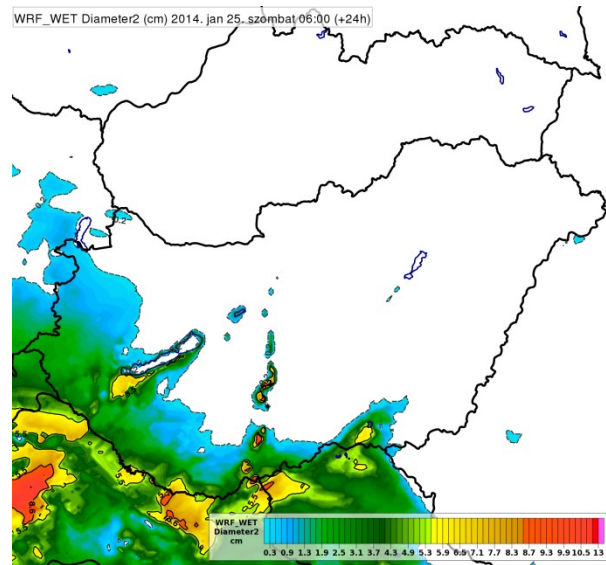
3. ábra: A WRF numerikus modell által előrejelzett szélirány és szélsébség 2014. január 24. 06 UTC-s futtatásának +6 órás időlépcsőjében. Az érintett délnyugati országrészben nagy területen élénk, néhol erős szellőkések voltak.

A 3. ábrán a WRF-ben megjelenő szélirány és szélsébség előrejelzés látható. Délnyugaton nagy területen élénk, néhol erős szellőkések kísérték az északkeleti szelet. A 4.a ábrán a WRF által előrejelzett csapadékösszeg, illetve a 2014. január 25-én 6 UTC-kor regisztrált 24 órás csapadékmennyiség látható. A tapadó hóra vonatkozó előrejelzések szerint (4.b-d ábra) a délnyugati és déli országrészben számíthatunk komolyabb tapadó hó felhalmozódásra. A RETOP850/1000 és a Fövényi (2001) módszerrel számított hó valószínűséggel származtatott tapadó hó mennyisége (mm) nagyon hasonló eredményt adott mind a területre, mind a mennyiségre vonatkozó előrejelzés esetén. A maximumok elérték a 25–35 mm-t. Az FR-módszerrel számított tapadó hó területi eloszlása nagyon hasonló volt az előző két módszerben megjelenőével, de a mennyisége jóval kevesebb volt. A maximumok 20–25mm körül alakultak.



4. ábra: (a) WRF által előrejelzett csapadékösszeg a 2014. január 24. 6 UTC-s futásának +24 órás időlépcsőjében, valamint a 2014. január 25. 6 UTC-kor, a szinoptikus állomásokon regisztrált 24 órás csapadékösszeg látható. A legtöbb előrejelzett és lehullott csapadék az ország délnyugati tájain volt. (b) WRF által előrejelzett, akkumulált tapadó hó (mm) a RETOP850/1000 módszert alkalmazva, 2014. január 24. 6 UTC-s futtatásának +24 órás időlépcsője. (c) WRF által előrejelzett, akkumulált tapadó hó (mm) a Fövényi (2001) által leírt módszert alkalmazva, 2014. január 24. 6 UTC-s futtatásának +24 órás időlépcsője. (d) WRF által előrejelzett, akkumulált tapadó hó (mm) az FR módszert alkalmazva, 2014. január 24. 6 UTC-s futtatásának +24 órás időlépcsője.

Az 5. ábrán látható a felsővezetésekre rakódó hógyűrű átmérője (cm) a RETOP850/1000 módszerrel számítva (Somfalvi-Tóth et al., 2015) szintén a WRF 2014. január 24. 6 UTC-s futásának +24 órás időlépcsőjében. Délnyugat- Magyarországon néhol elérte a kritikus 5,5 cm-t, ami már eléri az elsőfokú veszélyjelzési szintet. Ez annyit jelent, hogy potenciális veszély áll fenn felsővezeték-szakadásra ekkora folyóméterre eső terhelés esetén. Szlovénia egyes részein ennél nagyobb felhalmozódást (8,6 cm) jelzett előre a modell, amely már eléri a másodfokú veszélyjelzési szintet. Hivatalos jelentések szerint (EON, MÁV) délnyugaton több település maradt áram nélkül, illetve számos vasútvonalon fennakadások voltak a kidőlt fák és elszakadt vezetékek miatt. Tudósításokból kiderült, hogy Szlovéniában még súlyosabb helyzet alakult ki a vezetékeken és fákon megtapadt, nedves hó miatt.



5. ábra: WRF modellből a RETOP850/1000 módszerrel számított, a felsővezetésekre rakódó tapadó hó átmérője (cm), 2014. január 25. 6 UTC-s futtatásának +24 órás időlépcsőjében.

A színezés konzisztens a különböző veszélyességi fokozatok színezésével. Délnyugat-Magyarországon néhány helyen eléri az elsőfokú szintet (5,5 cm), míg Szlovénia egyes részein a másodfokú szintet (8,6 cm) is (Somfalvi-Tóth et al., 2015).

Összefoglalás

A tapadó hó esetekben alkalmazott finomfelbontású numerikus modell analízisek és előrejelzések mutatják, hogy ezt a jelenséget nagy eséllyel lehet diagnosztizálni és rövid távra (0–48 óra) előrejelezni. Ezek az előrejelzések egyelőre inkább kvalitatív jellegűek, mivel a csapadéktípus, a hósűrűség, a csapadék esési sebessége vagy a tapadási együttható változókat parametrizálni kell. A jövőben több eset megvizsgálása alapján elképzelhető lenne a módszerek kalibrálása, amihez speciális észlelésekre (pl. a vezetékre rátapadt hósűrűség-, hó átmérő-, illetve hőteher mérésre) lenne szükség. A tapadó hónál a fenti bizonytalanságok miatt is célszerű lenne a modellek EPS (Ensemble Prediction System) változatainak használata is, amint azt az egyes kísérleti alkalmazások is alátámasztják (Szűcs et al., 2016).

Hivatkozások

Admirat, P., 2008: Wet Snow Accretion on Overhead lines. In: *Atmospheric Icing of Power Networks*. Springer Netherlands, 119–169.

- Babolcsai, Gy., Hirsch, T., 2006a:* Characteristics and synoptic classification of heavy snowfall events in Budapest for the period 1953-2003, Part I. *Időjárás*, 110(1): 1–13.
- Babolcsai, Gy., Hirsch, T., 2006b:* Characteristics and synoptic classification of heavy snowfall events in Budapest for the period 1953-2003, Part II. *Időjárás*, 110(2): 155–173.
- Cantin, A., Bachand, D., 1993:* Synoptic pattern recognition and partial thickness techniques as a tool for precipitation types forecasting associated with a winter storm. Centre Meteorologique du Quebec Tech. Note 93N-002, 9 pp.
- Colbeck, S.C., 1973:* Theory of metamorphism of wet snow. CRREL Res. Rep.,313.
- Finstad, K. J., Fikke, S.M., Ervik, M., 1988:* A comprehensive deterministic model for transmission line icing applied to laboratory and field observation. Proc. Fourth Int. Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS), Paris, France, 227–231.
- Fövényi, A., 2001:* Probability forecast of state of winter precipitation using NWP model data. Proceedings of the Fifth European Conference on Applications of Meteorology, ECAM 2001, 24–28. September 2001, Budapest, Hungary.
- Gulyás, K., Somfalvi-Tóth, K., Kolláth, K., 2012:* A tapadó hó statisztikus-klimatológiai viszonyai hazánkban. *Léggör*, 57: 49–54.
- ISO, 2001:* Atmospheric icing of structures. International Standardization Organisation (ISO) International Standard 12494, Geneva, Switzerland.
- Kolláth, K., Simon, A., 2015:* Tapadó hó előrejelzési lehetőségei, OMSZ Jelentés, 20 oldal
- Lacavalla, M., Marcacci, P., Freddo, A., 2015:* Wet-snow activity research in Italy. Proc. 16th Int. Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS), Uppsala, Finland, 17–24.
- Makkonen, L., 1989:* Estimation of wet snow accretion on structures. *Cold Reg Sci Technol.*, 17: 83–88.
- Makkonen, L. Wichura, B., 2010:* Simulating wet snow loads on power line cables by a simple model. *Cold Reg Sci Technol.*, 61: 73–81.
- Nygaard, K., Egil, B., Ágústsson, H., Somfalvi-Tóth, K., 2013:* Modeling Wet Snow Accretion on Power Lines: Improvements to Previous Methods Using 50 Years of Observations. *J Appl Meteorol Climatol.*, 52: 2189–2203.
- Sakakibara, D., Nakamura, Y., Kawashima, K., Miura, S., 2007:* Experimental result for snow accretion characteristics of communications cable. Proc. Int. Wire and Cable Symp. (IWCS), Lake Buena Vista, FL, 581–586.
- Sakamoto, Y., Miura, A., 1993:* Comparative study of wet snow models for estimating snow load on power lines based on general meteorological parameters. Proc. Sixth Int. Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS), Budapest, Hungary, 133–138.
- Somfalvi-Tóth, K., Simon, A., Kolláth, K., Dezső, Zs., 2015:* Forecasting of wet- and blowing snow in Hungary. *Időjárás*, 119: 277–306.
- Szűcs, M., Sepsí, P., Simon, A., 2016:* Hungary's use of ECMWF ensemble boundary conditions (elküldve az ECMWF Newsletter részére)
- Thompson, G., Rasmussen, R.M., Manning, K., 2004:* Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part I: Description and sensitivity analysis. *Mon Wea Rev.*, 132: 519–542.
- Wakahama, G., Kuroiwa, D., Goto, K., 1977:* Snow accretion on electric wires and its prevention. *Journal of Glaciology*, 19(81): 479–487.