



Horváth Ákos, Simon André

AZ ÁRAMSZOLGÁLTATÁST VESZÉLYEZTETŐ SZÉLSŐSÉGES TÉLI IDŐJÁRÁSI HELYZETEK

Absztrakt

A 21. század modern társadalma rendkívül érzékeny az infrastruktúrára, azon belül is az áramszolgáltatásra és a közlekedésre. A hazánkban előforduló szélsőséges időjárási helyzetek éppen az infrastruktúra ezen két érzékeny területét veszélyeztetik legjobban. Írásunk témája *a téli időjárási helyzetekben* előforduló, az infrastruktúrát jelentősen károsító vegyes halmazállapotú csapadék.

Kulcsszavak: ónos eső, hó, vezeték, ciklon, légnyomás, szél, modellezés

EXTREME WINTER WEATHER CONDITIONS THAT THREATEN THE POWER SUPPLY

Abstract

Modern society in the 21st century is extremely sensitive to infrastructure damages, including power outages and traffic jams. Extreme weather conditions in Hungary endanger these areas. The topic of our paper is the mixed precipitation occurring in winter weather conditions, which significantly damages the infrastructure.

Keywords: heavy rain, snow, cable, cyclone, air pressure, wind, modeling



1. BEVEZETÉS

Az infrastruktúrát közvetlenül károsító szélsőséges időjárási helyzetek három fő csoportba sorolhatók. *Az első csoportba tartoznak a téli vegyes halmazállapotú csapadékrendszerek*, mindenekelőtt az ónos eső, és a vizes-tapadó hó, amelyek, egyaránt veszélyeztetik a közlekedést és az áramszolgáltatást. *A második csoportot alkotják az év bármely szakában előforduló viharciklonok*, amelyek elsősorban a nagy területeken, hosszan fújó orkán erejű széllel okoznak súlyos üzemzavarokat. *A harmadik csoportot a légköri konvekcióval (zivatarokkal) kapcsolatos jelenségek képezik*. A zivatarokkal járó heves szélviharok és az intenzív villámlás mindenekelőtt az elektromos távvezetékek hálózatban okoz tömeges meghibásodásokat.

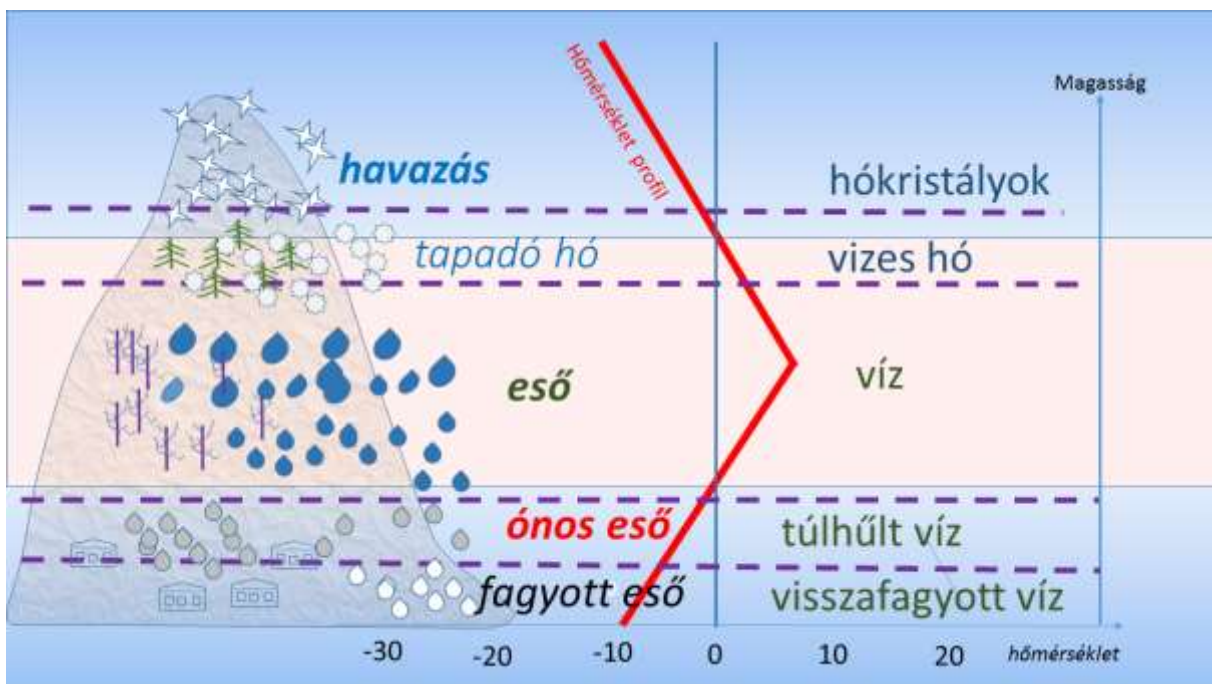
Jelen írás témája *a téli időjárási helyzetekben* előforduló, az infrastruktúrát jelentősen károsító vegyes halmazállapotú csapadék. Egy intenzív havazás, hófúvás napokra képes egy-egy régió közlekedését megbénítani, a vezetékek leszakadása okozta áramkimaradás több száz településen nehezíti meg az életet. A közvetlen anyagi károkon túl társadalmi szinten is jelentős veszteségek keletkeznek az áramhiány okozta termelés kiesés következtében, vagy akár amiatt, hogy a közlekedési nehézségek folytán a dolgozók nem tudnak bejutni a munkahelyükre.

2. TÉLI VEGYES HALMAZÁLLAPOTÚ CSAPADÉK ÉS HATÁSA A TÁVVEZETÉKEKRE

A vegyes halmazállapotú csapadék formái közül elsősorban az ónos eső és vizes tapadó hó okoz problémát, az előbbi akár már kisebb mennyiségben is. A meteorológiai háttérben az ún. légköri *inverzió* áll, vagyis az a jelenség, amikor a léghőmérséklet a magassággal nem a szokásos módon csökken, hanem egy darabig növekszik. Ilyenkor a sűrű hideg levegő „megül” a talaj közelében, a szabadlégköri áramlások sokszor egyáltalán nem jutnak el a talajhoz. Ez az inverzív rétegződés főleg télen akár az 1000 m magasságot is eléri. Ilyenkor fordul elő, hogy a



Kékestetőn zavartalanul süt a nap, míg a hegy lábánál ködös, akár 10 fokkal is hidegebb idő van. Az inverzióknak van egy csúcsa, ahonnan a hőmérséklet fölfelé haladva ismét csökkenni fog. Amikor a hideg légpárnára felsikló meleg áramláshoz köthető időjárási helyzetekben kialakuló inverzió csúcsa határozottan a pozitív hőmérsékleti tartományba nyúlik, a talaj közeli rétegekben viszont megmarad a fagyos levegő, akkor egy légoszlopban egyszerre többféle halmazállapotú csapadék is előfordulhat (1. ábra).

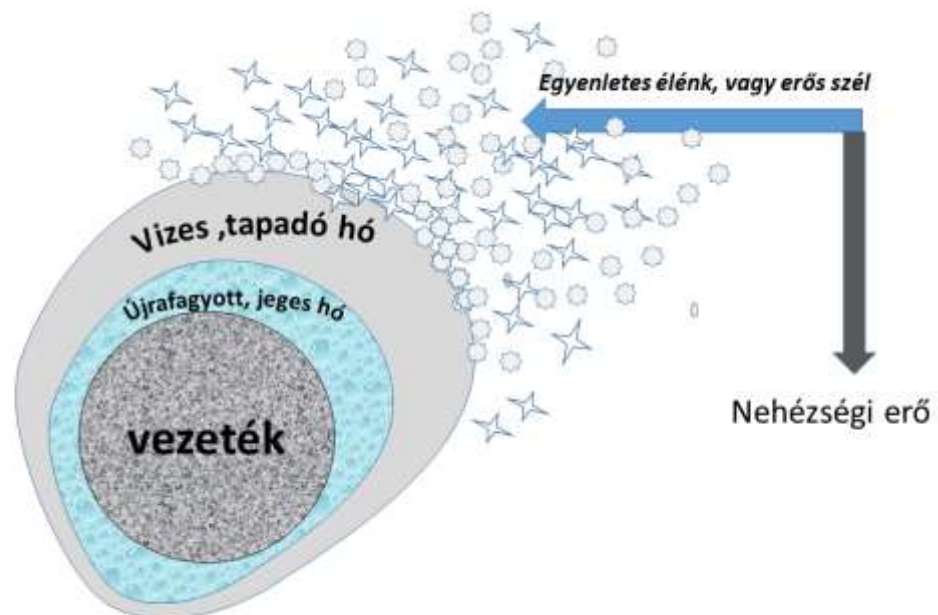


1. ábra. A vegyes halmazállapotú csapadék kialakulása a légköri inverzió különböző szakaszain. Ha az inverzió egy elegendően magas hegyoldalon alakul ki, akkor kisebb távolságon belül, több csapadékfajta is kialakulhat.

A negatív hőmérsékletű, magasabb rétegekből hulló hó nem olvad el azonnal, amikor a pozitív hőmérsékletű tartományba ér, vízzé könnyen tapadóvá válik. Ha ebben az állapotban éri el a felszínt, akkor könnyen megtapad az ágakon, vezetékeken, intenzívebb csapadék esetén jelentősebb mennyiségben fel is halmozódik. A tapadást segítő ún. adhéziós erő akkor a legnagyobb, ha a hó 20 %-ban tartalmaz vizet, illetve egyenletes szél is fúj, amely egyenletesen rányomja a havat a felszínre. Az adhéziós erő önmagában azonban nem képes megtartani olyan



mennyiségű havat, ami tömeges vezetékszakadást okoz. A magyarázat az lehet, hogy a hóréteg kialakulásakor a szélnek lehet olyan szerepe is, hogy elősegíti a hó víztartalmának párolgását, ami hőelvonással jár, így a víz újrafagy. Ilyen módon, az ágakon, vezetékeken megtapadó hónak lesz egy szilárdabb jeges cement alapja-váza is, segítendő a hosszabb ideig megmaradó tapadást (**2. ábra**). A folyamatot még segítheti az, hogy a vezetékek általában sodort erekből állnak, a faágak rücskösek, így a nem sima felszínen jobban érvényesül a fenti folyamat.

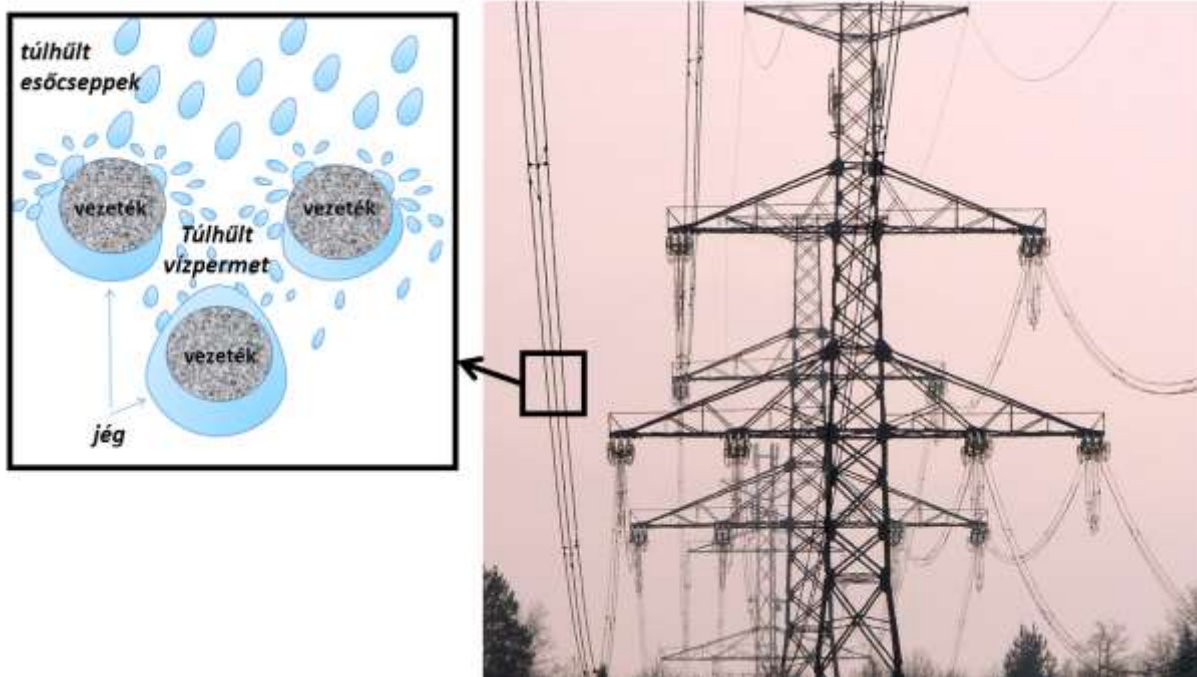


2. ábra. Tapadó hó kialakulása a vezetéken. A vezetékre ráhulló víztartalmú hó vízkomponense a szél által okozott párolgás miatt megfagy és egy erős jégalapot vagy jégvázat alkot, segítve a hó további tapadását és felhalmozódását.

Az **1. ábrát** követve a pozitív hőmérsékleti tartományba érő csapadék elolvad és eső formájában addig nem is okoz problémát, amíg a fagyott, talaj közeli levegőbe nem ér, ahol az esőcseppek túlhűlnek. A túlhűlt vízcseppek az ugyancsak fagyott felszínre csapódva jéggé



fagnak, kiváltva az ónos eső jelenségét. Az ónos eső megtapadása, ami a ráfagyással történik, a tapadó hónál jóval egyszerűbb folyamat. Az elektromos hálózat szempontjából érdemes figyelembe venni, hogy a kábelre, vagy oszlopra csapódó vízcsepp szétfröccsen és *vízpermet* alakul ki, amely jóval hatékonyabban tapad meg a felületen, mint a nagyobb vízcsepp. A gerinchálózatot képző 400 KV-os vezetékeknél gyakran kettő, esetleg három sodrony is megy szorosan egymás mellett, egyetlen fázis vezetőjeként. Az egyik sodronyra rácsapódó szétfröccsenő vízpermet nagyobb eséllyel hullik a párhuzamos vezetékre, növelve az ónoseső megtapadásának hatékonyságát. Hasonló jelenség figyelhető meg a magas, sűrű szerkezetű tartóoszlopoknál is, ahol a tartógerendákra hulló és szétfröccsenő túlhűt víz könnyebben ráfagy a fagyott szerkezetre mint egy sima pózna esetén (**3. ábra**).



3. ábra. Vízcseppek szétfröccsenése a vezetékeken. A szétfröccsenés következtében kialakuló túlhűlt vízpermet hatékonyabban tapad a közeli vezeték sodronyokra vagy a tartóoszlop sűrűbb vázszerkezetére.



A pozitív hőmérsékletű tartományba nyúló inverzió esetén mégsem alakul ki minden esetben ónos eső. Ha a talaj közeli hideg réteg elég vastag, akkor a belehulló és túlhűlő vízcseppek egy idő után újrafagynak és ártalmatlan fagyott eső formájában érik el a talajt (**1. ábra alsó része**).

Az alábbiakban bemutatásra kerülő négy időjárási helyzetben a tapadó hó, a tapadó hó és az ónos eső együtt, illetve az intenzív ónos eső önmagában okozott nagy területeken vezetékszakadásokat, útlefagyásokat. Az esetekből látható, hogy sokszor finom részleteken múlik, máskor viszont az időjárási folyamatok által egyértelműen meghatározott módon dől el, hogy előállnak-e a tömeges lefagyások vagy meghibásodások, így szélsőségesnek tekinthető-e az adott időjárási helyzet.

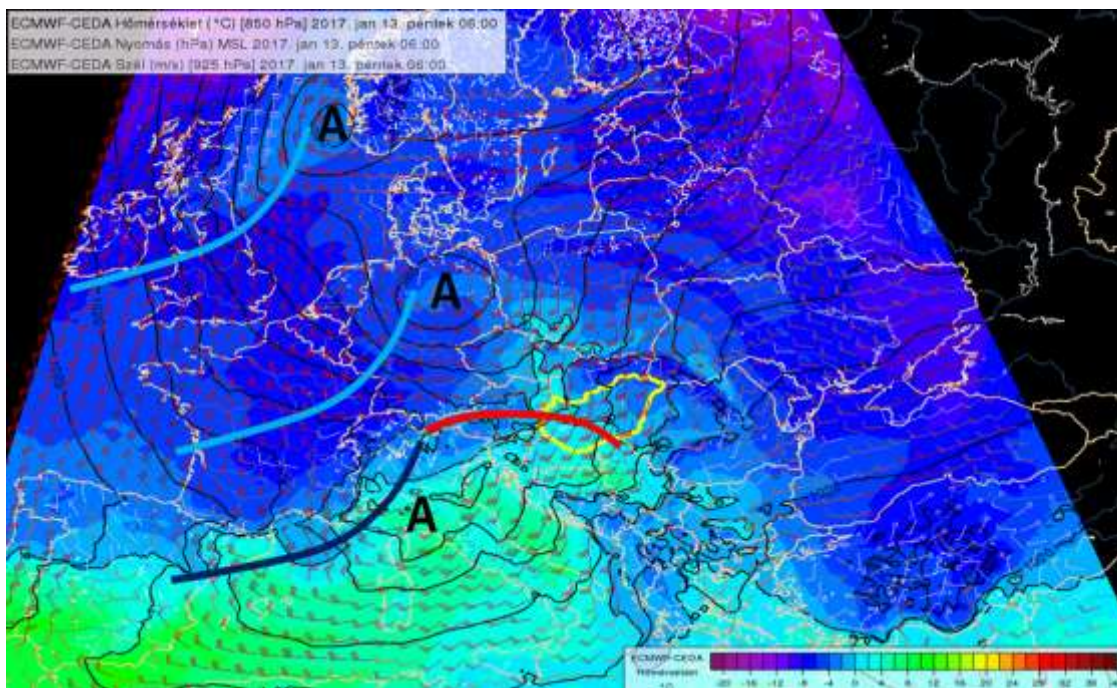
3. TIPIKUS TAPADÓ HAVAS IDŐJÁRÁSI HELYZET: 2017. JANUÁR 13.

2017. január 13-án először az ország nyugati megyéiben hullott helyenként 25 mm-t meghaladó majd a középső és keleti területeken is 15-20 mm mennyiséget elérő csapadék, meghatározóan hó formájában. A csapadékot élénk, helyenként erős (45-55 km/h lökésekkel kísért) szél kísérte. A havazás fennakadásokat okozott a közlekedésben, de a legnagyobb károk az áramszolgáltatásban jelentkeztek. A 20 KV-os, jellemzően a falvak vagy kisebb városok ellátását biztosító hálózatban keletkezett károk miatt több mint 50 település maradt áram nélkül. A tömegesen jelentkező hibák elhárítása több napot vett igénybe. Az elektromos vezetékrendszerben keletkezett számos káresemény egyértelműen a nedves, tapadó hóra vezethető vissza, amely részben a vezetékekre tapadva okozott szakadást, részben pedig a hóval túlterhelt ágak törtek a vezetékekre.

2017 év január időjárása szokatlanul hideg volt. A hónap elején betörő sarkvidéki hideg levegő hatására a minimum hőmérsékletek sokfelé -15 fok alá süllyedtek. A száraz időben csak vékony hófelszín, vagy teljesen hómentes területek jellemezték a talajállapotot, ezért a talaj mélyen le tudott hűlni. Az átmeneti enyhülés január 12-én érkezett térségünkbe egy, a Földközi-tenger medencéjében kialakult, ún. mediterrán ciklon nyomán, amely gyorsan fejlődő, dinamikus rendszer volt. A ciklon erős áramlási rendszere képes volt felkeverni a talaj közeli



hideg levegőt is, így nem alakult ki olyan erős inverzió, amely ónos esőt okozott volna (**4. ábra**). A ciklon gyorsan haladt keleti irányba, és a hátoldalán erős hideg beáramlással betörő hidegfront mentén feltorlódnak nedves levegőből intenzív csapadékhullás indult, amely rövid havas esős periódust követően havazásba ment át. Az intenzíven hulló vizes hó, az élénk, és időnként erős széllel hűlő levegő megteremtette a feltételt a hó megtapadására. A tapadó havat elősegíthette az is, hogy a megelőző rendkívül hideg periódus során a tereptárgyak, vezetékek jelentősen lehültek, a felmelegedés csak egy rövid időszakra korlátozódott. A hideg felszínre hulló hóban könnyebben ki tudott alakulni a fentiekben leírt **jégváz**, amely a tapadást illetve a megtapadt hó fennmaradását segítette elő.



4. ábra. Időjárási helyzet 2017. 01. 13-án. A színezett területek az 1500 m körüli magassági szint hőmérsékletét, a folytonos vonalak a tengerszinti légnyomást, a szélzászlók a kb. 500 m magasság szélviszonyait mutatják. A ciklon meleg szektorában fújó erős szél át tudta keverni a talaj közeli fagyott levegőt.



4. NEM TIPIKUS HAVAZÁS HELYZET: 2017. ÁPRILIS 19.

A 2017. április 19-i rendkívüli időjárási helyzetet kiváltója alapvetően tapadó hó volt, de két szempontból sem tekinthető tipikusnak.

Egyrészt szokatlanul későn, tavasszal történt egy ilyenkor ritka erősségű sarki hidegbetörés során. Az előző esettel szemben itt nem voltak túlhűlt tereptárgyak, a nagytömegben megtapadó havat az intenzív vizes állagú hóesés és a gyakran viharos szél váltotta ki.

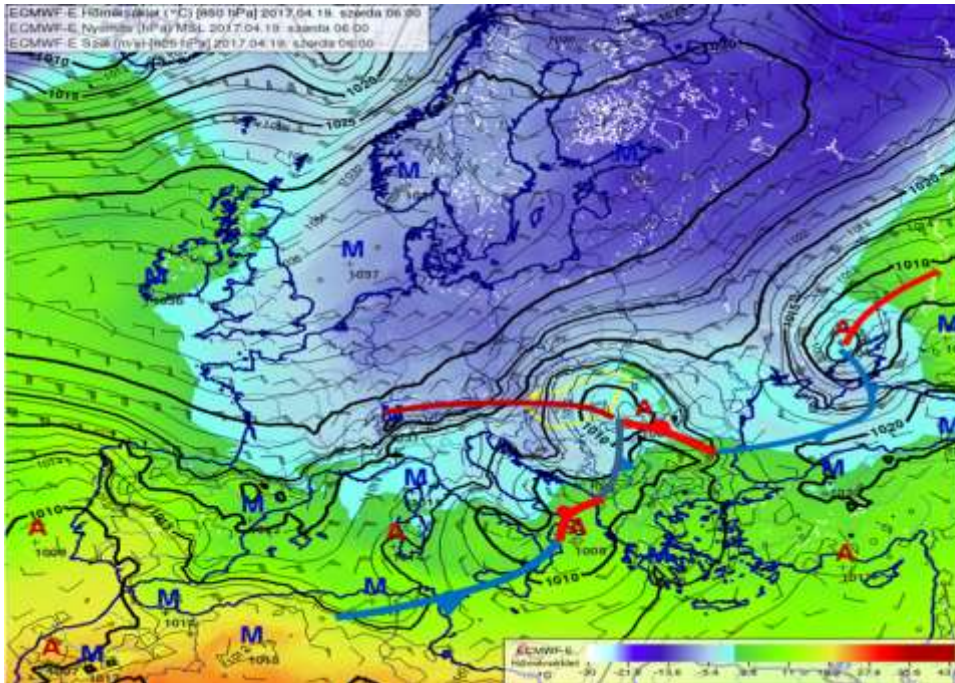
A másik meghatározó tényező az volt, hogy a fákon megjelenő levelek nagyságrenddel megnövelték a hó lehetséges tapadási felületét. A legtöbb csapadék a Bükkben és a Mátrában hullott 40-50 cm vastag hóréteget hozva létre. Becsülhetően itt egy átlagos méretű fára 1000-3000 kg-ot is meghaladó tömegű hó tapadt meg, ami ágtörésekhez, fakidőlésekhez vezetett. Az áramszolgáltatók beszámolóí szerint a tömeges vezetékszakadásokat alapvetően a faradólések okozták. Kritikus helyzet állt elő a Bükkben és a Mátrában ahol a hegyi települések megközelíthetlenné váltak és egész vezetékszakaszok rongálódtak meg súlyosan (**5. ábra**). Nagyszámú vezetékszakadás volt a dunántúli és az az alföldi megyékben is, annak ellenére, hogy ott a csapadék mennyisége a legtöbb helyen nem haladta meg a 25 mm-t és a hőmérséklet nem ment tartósan fagypont alá. A levelekre rátapadó hó azonban itt is megtörte az ágakat, amelyek az erősödő északi szélben a vezetékekre estek. Mindezt alátámasztják a helyi áramszolgáltatók hibajelentései is: a vezetékekre hulló ágak miatti hibák számához képest elenyésző volt a spontán vezetékszakadások száma. Hasonlóan jelentős fennakadások voltak a közlekedésben is, elsősorban az utakra dőlt ágak miatt.



5. ábra. Villanyvezetékre szakadt ágak a Bükkben. (Molnár Zsófia felvétele). A képen jól látható, hogy a nagy a havazás már leveles állapotban érte a fákat.

Április 19-én éppen hazánk felett volt a ciklon centruma (**6. ábra**). A szinte függőleges tengellyel rendelkező ciklon állapot a gyorsan fejlődő, de lassan mozduló légörvényekre jellemző, egyszerre okoznak erős szelet és nagy csapadékot.

A csapadék halmazállapotának meghatározására az OMSZ nowcasting (analízis és ultrarövidtávú előrejelző) rendszerének segítségével történt. Az analízisből látható, hogy az ország felett átvonuló ciklon hátoldalán az erős széllel együtt hullott hó, illetve az északi középhegységben folyamatosan hó esett (**7. ábra**). A havazás az esti órákban az Alföldön is meghatározóvá vált és a levelekre hulló hó és az erős szél ott is nagy területen kiváltotta a vezetékszakadásokat.



6. ábra. Időjárási helyzet 2017. április 19-én. A folytonos vonalak a tengerszinti légnyomást, a színezett területek a kb. 1500 m magasságú szint hőmérsékletét, a szélászlók pedig a kb. 800 m magasan uralkodó szélviszonyokat ábrázolják.



7. ábra. A 10 m magasságban fújó szél és a csapadék eloszlása a MEANDER nowcasting rendszer analízise alapján 2017.április 19. 20:30 UTC-kor. A zöldes színű területek az esős, a szürkés árnyalati területek a havas és vizes-havas térségeket mutatják. A C betű a ciklon centrumát jelöli.



8. ábra. A vezetékekre tapadó jég és hó, amely háromszorosára növelte a vezeték csapadékfelfogó felületét. (DÉMÁSZ által készített fénykép).

5. ÓNOS ESŐ ÉS HÓ EGYÜTTES HATÁSA: A 2016. JANUÁR 6-I IDŐJÁRÁSI HELYZET

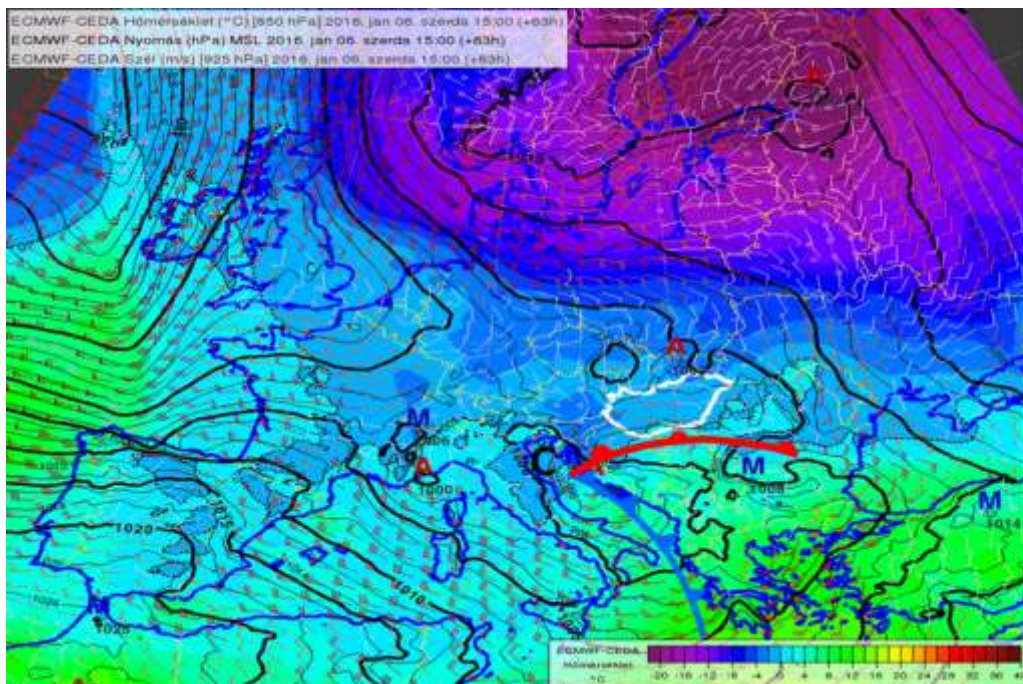
A 2016. január 6-i ónos eső jelentős károkat okozott a déli és középső országrész infrastruktúrájában, elsősorban a távvezeték-hálózatban. A nagyszámú vezeték szakadás háttérében a vegyes halmazállapotú csapadék állt: először ónos eső fagyott az ágakra és vezetékekre, majd az így kialakult jégrétegre hullott a vizes hó, amely könnyen hozzá tudott fagyni a jeges alapra és ott fel tudott halmozódni (**8. ábra**).

A szélsőséges időjárási helyzetért a nagytérségű időjárási folyamatok szempontjából kettős hatás volt felelős. Egyrészt az északkeleten felhalmozódott sarkvidéki hideg levegő, amely az előző napokban a Kárpát-medencébe is beszivárgott, és a talaj közelében tartósan fagypont alatti hőmérsékletet alakított ki. A hideg levegő mélyen átfagyasztotta a talajt, lehűtötte a

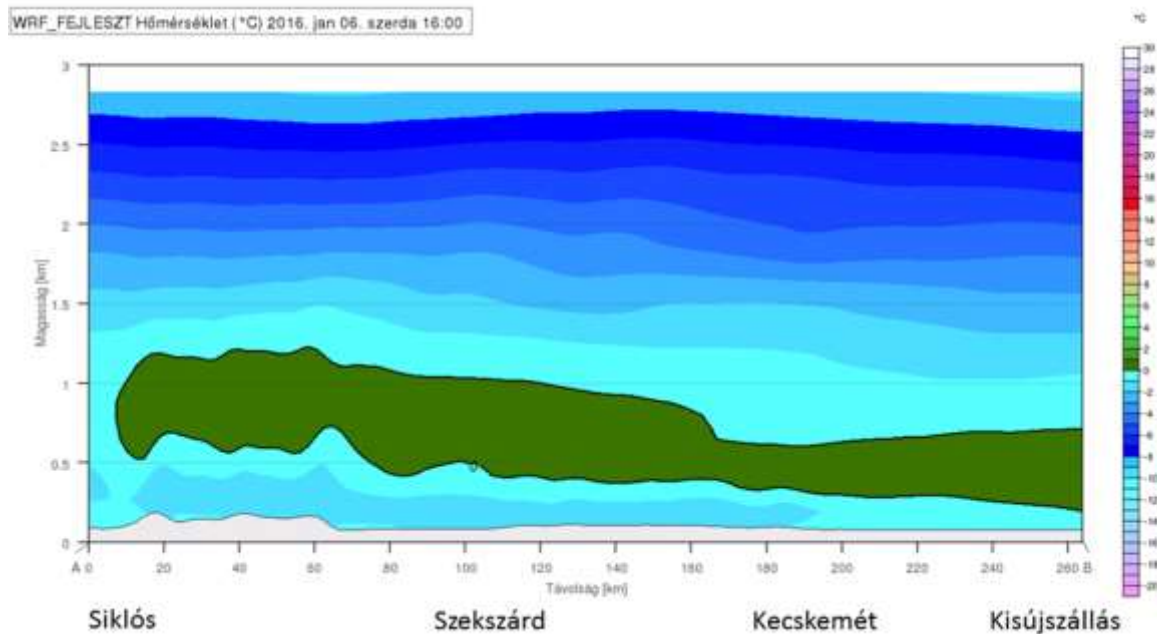


terep tárgyakat. A másik hatás egy gyorsan fejlődő mediterrán ciklon volt, amely Spanyolország térségében alakult ki, és a Földközi-tenger medencéjében fejlődve keleti irányba mozdult el. A ciklon centruma január 6-án már az Adriai-tenger fölé helyezkedett, és a meleg szektorában enyhe és nedves levegő siklott fel a Kárpát-medence fölé (**9. ábra**). A csapadékhulláshoz elegendő mennyiségű nedvességet biztosított az alacsonyabb szinteken kialakult markáns nedves szállítószalag.

A felsikló meleg nedves levegő január 6-án, 1000-1500 m-en pozitív hőmérsékleti rétegződést hozott létre, de az alsó fagyos levegőt nem volt képes átkeverni, így kedvező feltételek alakultak ki az ónos eső kialakulásához (**10. ábra**). Később a ciklon hátoldalán megindult a hideg beáramlás, amelynek következtében a csapadékfázisa ismét havazásba ment át. Így történhetett, hogy az ónos esőt eleinte vizes hóból álló intenzív havazás követte.



9. ábra. Időjárási helyzet 2016. 01.06-án. A folytonos vonalak a tengerszinti légnyomást, a színezett területek a kb. 1500 m magasságú szint hőmérsékletét, a szélzászlók pedig a kb. 800 m magasban uralkodó szélviszonyokat ábrázolják.



10. ábra. Légköri vertikális metszet délnyugat-északkeleti irányban 2016. 01.06-án 16-án. Látható az ónos esőt okozó vastag pozitív hőmérsékleti terület (zölddel kitöltött) és az alatta és felette elhelyezkedő fagyos légréteg (kékes területek).

6. RENDKÍVÜL ERŐS ÓNOS ESŐ SÚLYOS KÁROKKAL: 2014. DECEMBER 1.

A 2014. december 1-i ónos eső, rendkívüli károkat okozott az országban, elsősorban Dunazug-hegységben, a Gödöllői dombságban, illetve az Északi-középhegységben. A Kárpát-medencében télen nem tekinthető szokatlanok a vegyes halmazállapotú csapadék, azonban *az ilyen hosszan tartó és nagy mennyiségű, záporos formában lehullott ónos eső, és a vele járó tartós lefagyási állapot mindenképpen rendkívüli eseménynek számít.* A nagy mennyiségű ónos eső főként a hegyekre, illetve a dombokra korlátozódott. Az időjárási helyzet kialakulásának körülményei merőben szokatlanok voltak, az ónos eső kialakulásában jelentős szerepet játszott a magasban beáramló trópusi eredetű meleg és nedves levegő. A legsúlyosabb

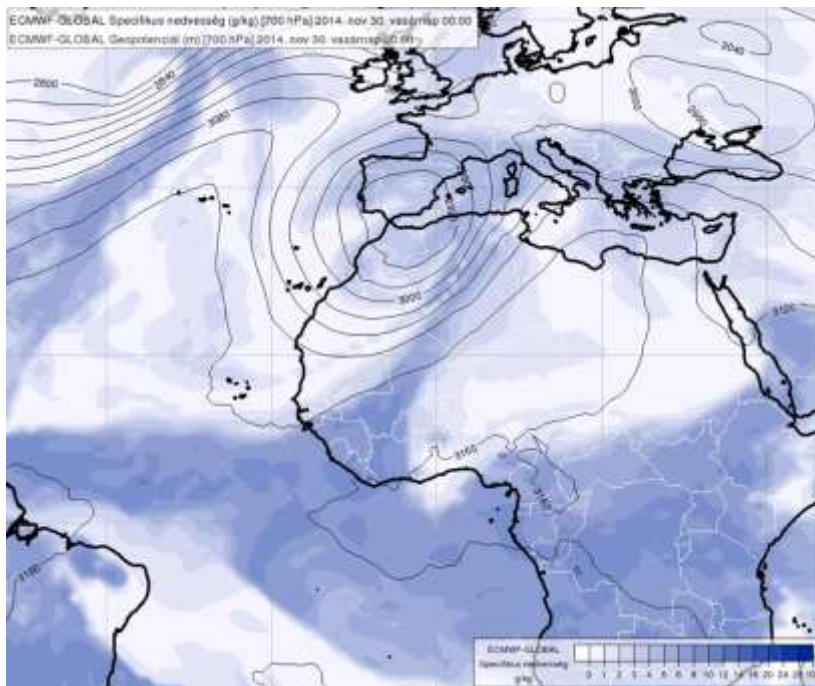


károk azokon a területeken voltak, ahol a mérések és számítások alapján jelentős mennyiségű, 30 mm-t meghaladó ónos eső hullott. A számítások alapján azonban a závorszerű csapadékból sokfelé 30-40 mm, a Gödöllői-dombságban **helyenként 50 mm ónos eső is esett 36 óra leforgása alatt!** Óriási károk keletkeztek a természetben és az emberi létesítményekben egyaránt. Az érintett területeken erdőségek mentek tönkre és az ónos esőt megsínylette az országos elektromos gerinchálózat is. Egy nagyfeszültségű tartóoszlopnál kb. 3-4 tonna többletterhelést okozhatott a ráfagyás, amelyhez hozzájött a 400 KV-os vezetékek esetén 1 m távolságra jutó kb. 10 kg tömegű ráfagyott jégtömeg többlet, ami két oszlop között újabb 2-3 tonna többletterhelést jelentett. A fentebb bemutatott szétfröccsenéses ráfagyási folyamat olyan hatékonyan működött, hogy helyenként az egy fázishoz tartozó három kábel is egybefagyhatott, kritikusan megnövelve az ónos eső tapadási felületét. Ezt a nagyfokú terhelést nem bírták el a tartóoszlopok és közülük számos összeomlott (**11. ábra**). Hasonlóan óriási károk keletkeztek a 20 KV-os vezetékrendszerben, főként az erdős területeken tarvágáshoz hasonlítható fakidőlések következtében.



11. ábra. Az ónos eső okozta jéglerakódás, illetve a helyenként 6 tonna plusz teher alatt összeroskadt tartóoszlopok Gödöllő térségében. (MAVIR felvételei).

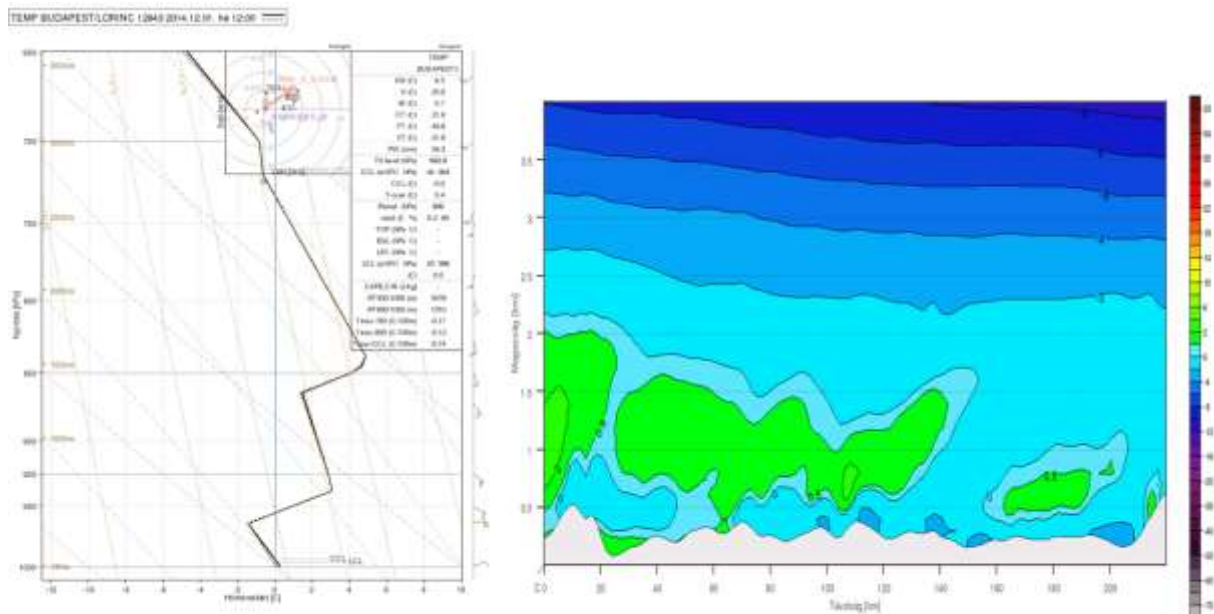
A nedvesség forrását illetően elmondható, hogy november végén az Atlanti-óceán térségéből Észak-Afrika fölé helyeződő ciklonok áramlási rendszere szokatlanul délre nyúlt le, és ez mozgásba hozta a sivatagi övtől délre levő nagy nedvességtartamú trópusi légtömegeket is. A magas hőmérséklet miatt a Szahara fölött átáramló légtömegben a nedvesség telítetlen maradt, így az vízgőz formájában, tehát a csapadékhullás okozta veszteség nélkül jutott be a nyugati szelek övébe (**12. ábra**). A Földközi-tenger nyugati medencéjében örvénylő ciklon keleti oldalán a trópusi eredetű légtömeg először a Mediterrán térséget, majd Közép-Európát érte el és felsiklott az itt található talaj közeli hideg légtömegekre. Magyarország déli területein a lehullott esőben sokfelé tapasztalták az autókat, kerti bútorokat megfestő sivatagi eredetű vöröses színű por jelenlétét.



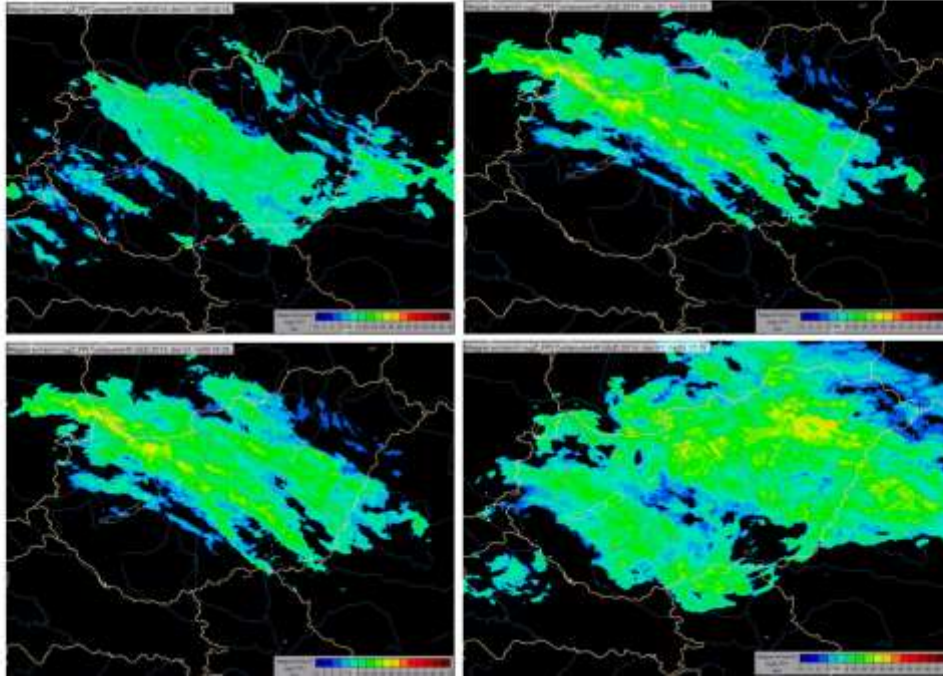
12. ábra. Az egységnyi légrézshe található teljes víztartalom (színezett terület) és a 3000 m körüli magasságon számított áramvonalak, 2014. november 30-án. Az ábrán látható a trópusoktól a Szahara fölött a térségünkig áthúzódó nedves szállítószalag.

A felszín közeli hideg levegő a Kárpátoktól északkeletre, egy Ukrajna fölött örvénylő ciklon hátoldalán sodródott térségünk fölé. Részben a fentiekben is említett meleg áramlatnak köszönhetően a keleti hideg levegő elsősorban a talaj közeli rétegekben tudott fennmaradni és egy keskeny sávban áramlott be a Kárpát-medencébe. Ez a hidegbeáramlás a csapadékhullás kezdete előtt is intenzív volt és december 1-én is egész nap fennmaradt. A hideg légrétegben kb. 200-500 m magasságig fagypont alatt maradt a levegő hőmérséklete, majd a magassággal növekedve ismét pozitív hőmérsékletű lett (**13. ábra**).

A rendkívül erős jegesedés egyik fontos előidézője a csapadék intenzitása volt: **az ónos eső intenzív záporokban hullott a fagyott felszínre.** December 1-én hajnalban már az első jelentősebb hullásban erősödő csapadék jelek látszottak az OMSZ radar képein, illetve a délutáni és esti hullámokban helyenként a nyári zivatarokat megközelítő értékek is megjelentek. Ugyancsak figyelemre méltó a csapadék határozottan vonalba rendezett struktúrája (**14. ábra**).



13. ábra. A légkör függőleges állapota 2014.12.01-én. **Baloldalon:** a budapesti rádiószondás mérés hőmérsékleti profilja. Jól követhető a keskeny alsó hideg réteg és a fölötte található meleg levegő. **Jobboldalon:** A hőmérséklet vertikális metszet a Budai hegyektől a Keleti-Kárpátokig. Az ónos esőt okozó markáns olvadási réteg a legtöbb helyen jól látható.



14. ábra. Az OMSZ kompozit radarképei a) 2014. 12.01. 02:15 UTC; b) 2014.12.01. 06:35 UTC; c) 2014.12.01.14:00UTC; d) 2014.12.01. 17:15 UTC időpontokban. A képeken látható a csapadék-rendszerek gomolyos, vonalba rendezett szerkezete.

A nyugati országrészben, ahol csak vékony volt a fagyott talaj közeli hideg légréteg, az intenzív csapadék és az általa a magasból lehozott hőmennyiség miatt a kezdeti ónos esőt hamarosan eső váltotta fel. Az északkeleti területeken viszont a fagyott réteg annyira vastag volt, hogy az esőcseppek visszafagytak, így az ónos eső helyett fagyott eső hullott. A középső országrészben a sík vidékeken a felszín közelében pozitív hőmérséklet miatt eső esett, a kicsit magasabb területek viszont a fagyos zónába estek, ott ónos eső hullott, míg 5-800 m felett ismét folyékony halmazállapotú lehetett a csapadék.



7. A VEZETÉKRE FELHALMOZÓDOTT CSAPADÉK ELŐREJELZÉSE, MODELLEZÉSE

A korszerű időjárás előrejelzést csúcstechnológiájú, többprocesszoros számítógépeken futtatott numerikus modellek segítik. Ezek a modellek komplex egyenletekkel leírják a légkör dinamikáját és a benne zajló fizikális folyamatokat (többek között az olvadást, fagyást, párolgást, stb.). Ennek a feladatnak a bonyolultságát mutatja, hogy a nagy meteorológiai központokban fejlesztett modellek (pl. a Középtávú Időjárás Előrejelzések Európai Központjának a modellje, az ECMWF) több ezer programot tartalmazó rendszereket hoztak létre, melyek összes hossza ma már több millió sor. Ennek ellenére az előrejelzések pontossága még rövidtávon (48 órán belül) is korlátozott, pl. a 2m hőmérsékletben az átlagos hiba jellemzően 1-2 fok körül mozog. Ennyi néha elég is ahhoz, hogy a valósághoz képest más legyen a modellezett csapadék halmazállapota. Az előrejelzések pontosságát többféle módon lehet növelni. Az egyik lehetőség a modellek felbontásának a növekedése és új adatok, észlelések felhasználása az adatasszimilációban. Másik lehetőség a modellek többszörös lefuttatása különböző kezdeti feltételekkel, amiből akár száznál több előrejelzést lehet előállítani. Ezt nevezik ensemble modellezésnek. Ezek alapján lehet statisztikát készíteni és kimutatni, mennyire bizonytalan a csapadék és csapadéktípus előrejelzése az adott helyzetben. Az is kiszámítható, milyen valószínűséggel túlléphetők olyan csapadékküszöbök, melyeknél általában vezetékszakadások fordulnak elő. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) erre a célra többféle modellt alkalmaznak. A finomfelbontású (2.5 km körül) WRF és AROME modellek a pontosabb domborzatnak köszönhetően a hegyi területeken jól alkalmazhatók és előnyük a részletes csapadék- és felhőfizika. Ez alapján már akár a tapadó-hó víztartalmát is lehet becsülni és annak esélyét, hogy megmarad-e a vezetéken. Rövid- és középtávon az ALADIN és az ECMWF ensemble előrejelzéseit figyelik a meteorológusok – ezeknek a modelleknek a felbontása 8-9 km. A közeljövőben finomfelbontásban (2km) is elérhetővé válik az ensemble modell használata. Az első tesztek mutatják, hogy ilyen rendszerrel nagyobb eséllyel előrejelezhető szélsőséges tapadóhavas vagy ónos esős helyzet és annak helyszíne is jobban meghatározható. A vegyes halmazállapotú csapadék előrejelzése köré még lehet jég-



vagy hó-felhalmozódási modelleket készíteni, melyekből a vezetéket sújtó terheket vagy jég- és hógyűrű átmerőket lehet számítani. Ezek a modellek pontosítása azonban még folyamatban van, mivel viszonylag kevés adat áll rendelkezésre arról, hogy adott szél- és hőmérsékleti viszonyok között mennyi hó rátapad a vezetékre, annak milyen a sűrűsége, stb.

A légköri jegesedést éghajlati és területi eloszlás szempontjából is lehet tanulmányozni. Magyarországon, a Dunántúlon gyakrabban fordul elő veszélyes mértékű tapadó-hó. Egyes meteorológiai állomások (pl. Győr, Pápa, Siófok) a 4., ill. 5.-ik jegesedési osztályba tartoznak (az ISO12494 nemzetközi szabvány alapján, aminek 10 jegesedési osztálya van). Itt átlagban 30 év alatt egyszer előfordul 4 kg/m-t elérő tapadó hó felhalmozódás (egy 100 m hosszú vezeték szakaszon ez már 400 kg terhet jelent). Valószínű, hogy Magyarországon vannak még ennél veszélyeztetettebb területek (pl. domságok, hegyaljak), ahol azonban nincsenek meteorológiai állomások, ill. nem áll rendelkezésre eléggé hosszú mérési sor. Általában kisebb veszélyeztetettséget (2. vagy 3. osztály) mutatnak Miskolc vagy Kékestető állomás adatai, de kivételesen ott is előfordulhat erős jegesedés. Az utóbbi évek legmarkánsabb helyzete a 2009.01.27.-28. között előforduló havazás volt Vas- és Zala megyében, aminek következtében közel 100 település maradt áram nélkül és ahol a felhalmozódott hó súlya a vezetéken elérte, ill. meghaladta a 4-5 kg/m-t.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A vegyes halmazállapotú csapadék, mindenekelőtt az ónos eső és a tapadó hó rendkívül nagy károkat tud okozni olyan időjárási helyzetekben is, amelyek önmagukban ártalmatlanok lennének, ha a hőmérsékleti rétegződés néhány fokkal a hidegebb, vagy a melegebb irányba toródna el. A gyakran kevésbé markáns esetek közös tulajdonsága, hogy a csapadék fázisváltása nem a magasban, a felhőben történik, hanem a felszínen. Az esettanulmányokból az is látszik, hogy időnként mindkét veszélyes jelenség (ónos eső és tapadó hó) együttesen is fel tud lépni, egymást erősítve, illetve igazán extrém ónos esős helyzethez extrém nagytérségű időjárási háttér is tartozik. A tapadó hó esetében az is látható volt, hogy az időjárástól független



természeti hatás – a levélfelület megjelenése- extrém helyzeté alakíthatja a későn jött havazást is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Allaga Tamás, Simon André és Kolláth Kornél: A szimmetrikus instabilitás megjelenése a 2014. december eleji magyarországi ónos esős helyzetben. *Léggör* 61. évfolyam 2016. 3. szám 89–132 oldal.
- Horváth,Á., Nagy,A., Simon, A., Németh,P., 2015: MEANDER: The objective nowcasting system of the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás*, 119: No. 2, 197–213
- Somfalvi-Tóth, K., Simon, A., Kolláth, K., Dezső, Zs., 2015: Forecasting of wet- and blowing snow in Hungary. *Időjárás*, 119: 277–306.
- 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.
- Gulyás, K., Somfalvi-Tóth, K., Kolláth, K., 2012: A tapadó hó statisztikus-klimatológiai viszonyai hazánkban. *Léggör*, 57: 49–54.
- 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.
- Geresdi István 2004: Felhőfizika. Könyv: Dialóg Campus kiadó.
- Geresdi, I. and Horváth, Á., 2000: Nowcasting of precipitation type. Part I: Winter. *Precipitation*. *Időjárás*, 104, 241-252.
- Somfalvi-Tóth, K., 2019: A nagyfeszültségű felsővezeték hálózatot érő veszélyes tapadó hó felhalmozódások vizsgálata, modellezése és integrálása az előrejelzői gyakorlatba. ELTE, Disszertáció. 154 o.



Dr. Horváth Ákos meteorológus, obszervatórium vezető, Siófok

Országos Meteorológiai Szolgálat

horvath.a@met.hu

ORCID: 0000-0002-5724-3869

Dr. Simon André meteorológus fejlesztő, Budapest

Országos Meteorológiai Szolgálat

simon.a@met.hu

ORCID: 0000-0001-9944-4442