

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Meteorológiai Tanszék

# **Veszélyes időjárási események kategorizálása mérések és káresemény adatok felhasználásával**

Diplomamunka



Készítette:

**Baár Péter**

Meteorológus mesterszak  
Időjárás-előrejelző szakirány

Témavezető:

**Kolláth Kornél**

Országos Meteorológiai Szolgálat  
Időjárás előrejelző szakértő

Tanszéki konzulens:

**Soósné Dr. Dezső Zsuzsanna**

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék, egyetemi adjunktus

Budapest, 2017



# Tartalomjegyzék

1. Bevezetés .....	1
2. Szakirodalmi áttekintés .....	3
3. Felhasznált adatbázisok és a vizsgálati módszer.....	10
3.1. Az EKOP adatbázis bemutatása .....	10
3.2. A káresemény adatok bemutatása.....	12
3.3. Az alkalmazott módszertan bemutatása.....	14
3.4. A kiértékelés során használt definíciók .....	16
4. Az eredmények bemutatása.....	17
4.1. A fakidőlés káresemények vizsgálata.....	21
4.1.1. A 2014. december 1-i ónos eső hatásai.....	29
4.2. A vízkár káresemények vizsgálata.....	34
4.2.1. A 2015. augusztus 17-i zivatarok hatásai.....	38
4.3. Az elemi csapás – viharkár káresemények vizsgálata.....	42
4.3.1. Nyári félévek .....	42
4.3.2. Téli félévek.....	52
4.4. Káresemény adatok településszintű vizsgálata.....	57
5. Összefoglalás .....	61
Köszönetnyilvánítás .....	67
Irodalomjegyzék.....	69
Függelék .....	73



# 1. Bevezetés

A meteorológusok egyik legfontosabb feladata a társadalmat, a gazdaságot valamint az emberéletet közvetlenül befolyásoló veszélyes időjárási események előrejelzése. Manapság egyre nagyobb igény mutatkozik olyan előrejelzési produktumokra, melyek a lehető legjobban leírják az időjárás várható hatásait egy-egy gazdasági ágazat, szervezet, a közösség, vagy az egyén szempontjából. A meteorológiai szolgálatok veszélyjelzései általában a nagyközönséget és a helyi polgári védelmi, katasztrófavédelmi szervezetet célozzák. A veszélyjelzési rendszerek kialakítása, a figyelmeztető előrejelzések során alkalmazott küszöbértékek optimális meghatározása, valamint a lakosság és a média figyelmének felkeltése komoly kihívást jelent. Ehhez a munkához szükségszerűen hozzátartozik, hogy a meteorológiai szolgálatok az időjárás okozta károk mennyiségéről és minőségéről információkat gyűjtsenek, valamint hogy minél szelesebb körben visszajelzést kapjanak az időjárás hatásairól. Számos esetben a hagyományos mérési és megfigyelési adatokon felül a káreseményekre vonatkozó adatok közvetetten ugyan, de alapvető meteorológiai információkat hordoznak. Kézenfekvőnek mutatkozott, hogy a katasztrófavédelem által nyilvántartott lakossági kárbejelentéseket vizsgáljuk együtt a különböző meteorológiai adatbázisokkal, azok jó tér- és időbeli lefedettsége miatt.

A dolgozat célja, hogy kapcsolatokat és összefüggéseket keressen az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság kárbejelentési adatbázisa és az Országos Meteorológiai Szolgálat mérései és megfigyelései alapján létrehozott meteorológiai adatbázisok között. Célunk továbbá az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság kárbejelentési adatbázisa alapján olyan káresemény térképek létrehozása is, melyek segítségével átfogó képet kaphatunk az időjárási események okozta károk mennyiségéről és elhelyezkedéséről. Ezek a káresemény térképek segítségünkre lesznek az esettanulmányok során, valamint mások számára is segítséget nyújthatnak hasonló témájú kutatásokban.

A feltárt összefüggéseket olyan relatív gyakoriságokat bemutató ábrákon jelenítjük meg, amik képet adnak az egyes meteorológiai elemek előfordulási gyakoriságáról és az előfordulási helyük környezetében bekövetkező károk mennyiségéről. Mivel a meteorológiai mérőhálózat korlátozott számú állomásból áll, ezért olyan rácsponti adatbázist használunk fel, amiben az in situ mérések és az aktív távérzékelési módszerek segítségével meghatározott értékek állnak rendelkezésünkre, és ezek segítségével igyekszünk következtetni a káreseményeket kiváltó meteorológiai paraméterek értékeire.

A bemutatott eredményeink segítségével lehetnek egy esetleges jövőbeni, a Meteorológiai Világszervezet 2015-ös, *Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services* című irányelvében bemutatott hatásalapú előrejelző és veszélyjelző rendszer kiépítését célzó hazai fejlesztő munkának.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

A rendkívüli időjárási események éves szinten Európában átlagosan 5-8 milliárd euró kárt okoznak, és a kontinens kiszolgáltatottsága, valamint a károk mértéke a jövőben valószínűleg emelkedni fog (*Dotzek, 2007* és *Staudinger et al., 2009*). 2008-ban Európában csak az Emma és a Hilal viharok okozta gazdasági kár elérte 2,3 milliárd dollárt, valamint 506 ember esett áldozatul az időjárásnak (*Enz et al., 2009*). 2011-ben a gazdasági károk már meghaladták a 8,7 milliárd dollárt és a halálos áldozatok száma is átlépte az 1000 főt. A 2011-es év globális szinten a természeti csapások tekintetében az addigi legköltségesebb év volt a történelemben (*Bevere et al., 2012*).

A globális éghajlatváltozásnak köszönhetően az extrém időjárási események száma a következő évtizedekben várhatóan emelkedni fog (*Ebi és Schmier, 2005*). Erre utal az Éghajlatváltozással Foglalkozó Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) 2013-as jelentése is, miszerint Észak-Amerikában és Európában 1950 óta nagy valószínűséggel nőtt a nagymennyiségű csapadékot adó időjárási események száma. A 21. század első felében valószínűleg, a század második felében pedig nagy valószínűséggel további növekedés várható a közepes szélességeken, valamint az éghajlatváltozás további szélsőségek gyakoriságának növekedéséhez vezethet (*IPCC, 2013*). Ezek a szélsőséges események nem előzhetők meg, ugyanakkor a meteorológiai figyelmeztetőrendszerek folyamatos fejlesztésével a hatásaik csökkenthetők (*Ebi és Schmier, 2005*). A következőkben az Európában használt egységes veszélyjelző és figyelmeztető rendszer, a Meteoalarm fejlődését, valamint a hazai veszélyjelző rendszer felépítését mutatjuk be.

Egy egységes európai veszélyjelző és figyelmeztető rendszer kiépítésének ötlete először az 1999-ben, az Európát sújtó Lothar névre keresztelt viharciklon után vetődött fel. A vihar több mint 5 milliárd euró kárt okozott és 140 ember életét követelte, ebből 90 haláleset Franciaországban következett be. Az eset tanulságaként a Météo-France bevezette az Éberség rendszert (Vigilance system), hogy a francia állampolgároknak figyelmeztető jelzéseket adjon a veszélyes időjárási eseményekről. 2000 októberében a toulouse-i konferenciára egész Európából érkeztek meteorológusok, hogy megvitassák a vihar tanulságait, valamint megállapodtak egy egységes európai figyelmeztető rendszer kiépítésében (*Kroonenberg, 2008*). 2001-ben indult útjára az EUMETNET által szponzorált EMMA program (European Multi-service Meteorological Awareness Programme, Európai Több szolgáltatós Meteorológiai Tájékoztató Program), amit 2006-ban átkereszteltek

Meteoalarmra (*Staudinger és Kroonenberg, 2006* és [1 – Beck: Alerting Europe for extreme weather]). Végül 2007.03.23-án, a meteorológiai világnapon a Meteoalarm Spanyolországban hivatalosan is elindult (*Kroonenberg, 2008*).

Az együttműködésben kezdetben 27 európai ország, köztük Magyarország vett részt, azonban a program sikerességének köszönhetően számuk a következő években nőtt (*Niedermoster et al., 2008*). 2012-ben 30, 2014-ben már 34 ország csatlakozott a kezdeményezéshez (*Alfirei et al., 2012* és [1 – Beck: Alerting Europe for extreme weather]). A Meteoalarm [2– <http://www.meteoalarm.eu>] internetes platformján a tagországok a következő 24-48 órára vonatkozó figyelmeztető előrejelzései találhatóak meg több meteorológiai paraméterre, például a szélereősségre, a csapadékvevényességre, a zivatarokra vagy éppen a ködre vonatkozóan [1 – Beck: Alerting Europe for extreme weather]. A figyelmeztetések grafikus megjelenítésére a tagországok meteorológiai szolgálatai 4 fokozatú színskálát használnak. A veszélyes időjárási események kategorizálására növekvő veszélyességi szint mellett a citromsárga, a narancssárga és a piros színek szolgálnak, míg a zöld szín azt jelzi, hogy nincs veszély (*Alfirei et al., 2012*). A térképekre kattintva az egyes nemzeti meteorológiai szolgálatok anyanyelvi és angol nyelvű rövid leírást is mellékelnek a várható időjárásról és a potenciális veszélyekről, ezzel segítve a média és lakosság tájékozódását (*Niedermoster et al., 2008*). Azonban az egyes tagországokban azok különböző klímája miatt a riasztási küszöbértékek eltérhetnek, de amint azt az 1. táblázat is mutatja, a színek, és ezzel a potenciális veszélyek egységesek a rendszerben.

1. táblázat: A Németországban, Írországban és Magyarországon a 24 órás csapadékösszegre használt küszöbértékek a figyelmeztetések egyes fokozataiban. (Forrás: [1 – Beck: Alerting Europe for extreme weather])

	Küszöbértékek a 24 óra alatt lehulló csapadékösszegre [mm/24 óra]		
	1. fokú jelzés	2. fokú jelzés	3. fokú jelzés
Németország	30	50	80
Írország	30	50	70
Magyarország	20	30	50

*Stepak és munkatársai* 2012-es tanulmányukban arra hívták fel a figyelmet, hogy tanácsos a 2. és 3. fokú jelzéseket viszonylag ritkán, csak kifejezetten indokolt esetben használni, nehogy csökkenjen a figyelemfelhívó erejük. Szabványos értéknek egy 300.000



km<sup>2</sup> területű ország esetén, éves szinten 1-2 darab piros, 30 alatti narancssárga és 30, vagy ennél valamivel több citromsárga riasztást javasoltak a tagországoknak.

Mint azt korábban említettük, Magyarország már a kezdetektől tagja a Meteoalarm együttműködésnek, és a 2006-ban bevezetett veszélyjelző rendszer illeszkedik Meteoalarm kereteihez, azonban vannak sajátosságai.

Ilyen sajátosság a kétlépcsős rendszer, miszerint megkülönböztetnek figyelmeztető előrejelzéseket, melyek érvényességi időtartama a kiadástól számított 36 óra, valamint 3 óráig érvényben lévő riasztásokat. Figyelmeztető előrejelzést és riasztást heves zivatarok, felhőszakás, hófúvás, ónos eső és nagy területen előforduló erős szellőkések esetén adnak ki. A veszélyjelzés két lépcsőben történik. Az első lépés a figyelmeztető előrejelzés kiadása, majd, amennyiben a légköri feltételek adottak, hogy a következő 3 órában a figyelmeztető előrejelzésben feltüntetett esemény bekövetkezzen, a riasztás kiadásra is sor kerül. Ezen kívül a hosszabb időszakon keresztül fennálló eseményekre, például a tartós, nagymennyiségű csapadékra vagy a hőségre speciális figyelmeztetéseket adnak ki, mivel ezek hatásukat esetenként csak 12-24 óra elteltével fejtik ki.

A veszélyjelzési szintek valamint a hozzájuk tartozó küszöbértékek meghatározásakor az európai meteorológiai szolgálatoknál alkalmazott módszertant vették át, így a Meteoalarm rendszeréhez is igazodó színkódok megfelelnek az európai normának. Az elsőfokú veszélyességi szintet a citromsárga jelzi, ilyen esetekben nem kell szokatlan időjárási körülményekre számítani, azonban a várható időjárás potenciális veszélyeket hordoz magában. A második szintű, narancssárgával jelölt helyzetekben az időjárás már káresemények bekövetkezéséhez vezethet, személyi sérülést, vagy baleseteket okozhat. A legmagasabb szintű, piros fokozatot akkor rendelik el, ha olyan veszélyes időjárási jelenség kialakulása valószínű, ami komoly károkat okozhat és esetenként akár emberéleteket követelhet (Bonta, 2017). A 2. táblázat az erős szellőkésekre kiadott figyelmeztető előrejelzések és riasztások során alkalmazott szintek elkülönülését mutatja be. Megjegyezzük, hogy bár a táblázatban a fokozatok jelentésénél a hivatalos megfogalmazás szó szerinti idézete áll, a táblázat csak tájékoztató jellegű, a témával kapcsolatban részletesebb információk a [www.met.hu](http://www.met.hu) oldalon érhetők el [3 – [www.met.hu](http://www.met.hu)].

2. táblázat: Az erős szellőkésekre figyelmeztető előrejelzések során alkalmazott küszöbértékek Magyarországon. (Forrás: [www.met.hu](http://www.met.hu))

Esemény	Fokozatok	Fokozatok jelentése
Szellőkés	1	„A várt legerősebb szellőkések meghaladhatják a 70 km/h-t”
	2	„A várt legerősebb szellőkések meghaladhatják a 90 km/h-t”
	3	„A várt legerősebb szellőkések meghaladhatják a 110 km/h-t”

Hazai viszonylatban az utóbbi bő egy évtized leghevesebb időjárási eseményeinek, a 2006. augusztus 20-i budapesti viharok és a 2013. március 15-i havazásnak a hatásai csökkenthetők lettek volna, hiszen pontos, idejében kiadott előrejelzések és riasztások álltak a döntéshozók és a lakosság rendelkezésére (Horváth, 2006 és Bonta, 2017). Azonban a sikeres veszélyjelzésekhez nélkülözhetetlen a prognózisokban használt fogalmak és az időjárás jelentette kockázatok megértése, és ezek alapján a veszélyhelyzetekben a megfelelő döntések meghozatala.

Annak a kérdésnek a megválaszolására, hogy az emberek mennyire értik az előrejelzésekben használt fogalmakat, és a megszerzett információkra alapozva hozzák-e meg a mindennapi döntéseiket, az elmúlt évtizedekben több külföldi és hazai kutatás is született. Peachey és munkatársai egy 2013-ban, brit egyetemisták körében végzett felmérésükben kimutatták, hogy a diákok mindössze 4%-a tudta helyesen értelmezni a valószínűségi előrejelzéseket. Arra a kérdésre, hogy mit jelent, ha holnap 60%-os valószínűség van az esőre, többek között olyan válaszok születtek, hogy a holnapi nap során több mint 12 órán át esni fog.

Egy 2016-os, több mint 500 válaszadóra alapozó hazai kutatás, az átlagemberek időjárásról történő informálódási szokásait és a meteorológiai fogalmakkal kapcsolatos ismereteiket vizsgálta. A válaszadók 13%-a ritkábban, mint hetente informálódik a várható időjárásról és 15%-uk nem veszi figyelembe az esetlegesen kiadott riasztásokat. Azoknak, akik nem veszik figyelembe a riasztásokat, 52%-uk egyáltalán nem foglalkozik az időjárás jelentette kockázatokkal, és 19 illetve 21% úgy gondolja, hogy őt nem érintik, vagy nem tudja eldönteni, hogy érintik-e a prognózisban előre jelzett veszélyek. Arra vonatkozóan, hogy mennyire vannak tisztában az előrejelzésekben használt meteorológiai fogalmakkal kapcsolatban, 15 kérdésre, például a „Milyen légnyomás uralkodik a mérsékeltövi ciklon belsejében?” kérdésre kellett válaszolni. A válaszadók 34%-a átlag alatt teljesített, vagyis a 15 kérdésre kevesebb, mint 10 helyes választ adott (Petróczky és Buránszkiné, 2016).

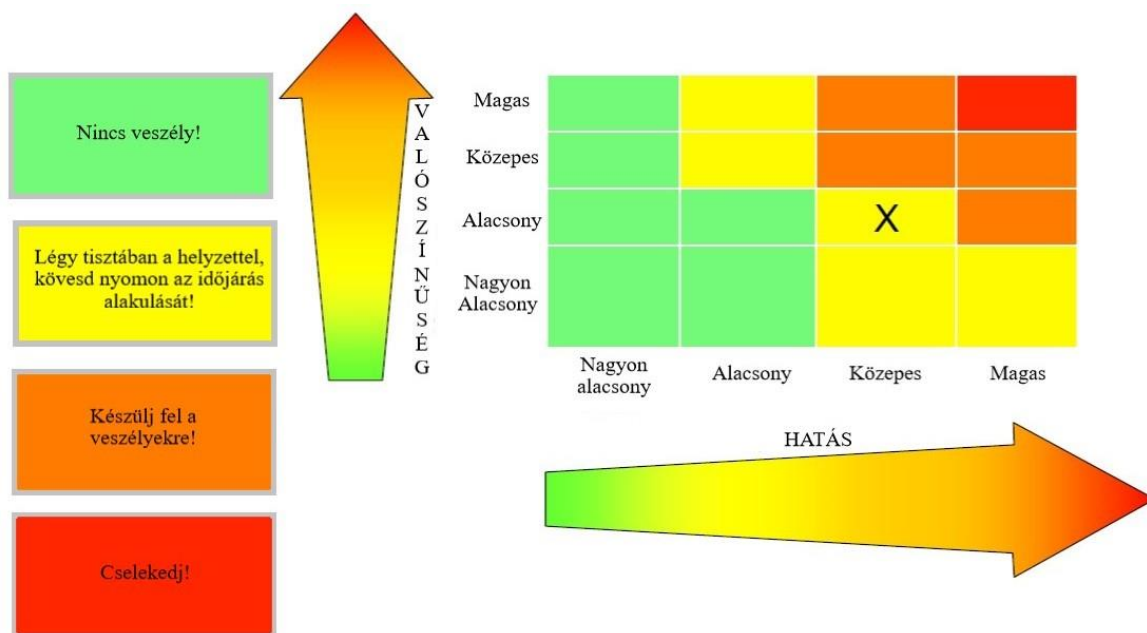
Az ilyen, és ezekhez hasonló kutatások alapján az időjárás okozta károk mérséklésének kulcsa a természettudományos tárgyak oktatásban történő nagyobb súllyal való megjelenésében, valamint olyan veszélyjelzési produktumok készítésében rejlik, melyek közérthetően számolnak be a várható veszélyekről, hogy a döntéshozók és a lakosság ezek alapján hozhassák meg a veszélyhelyzetekben a szükséges, helyes lépéseket. A meteorológia oldaláról közelítve a problémát ez utóbbiban a lakosság segítségére lehetnek a hatás alapú előrejelzések, melyek rövid áttekintését a Meteorológiai Világszervezet (WMO) 2015-ös irányelve alapján mutatjuk be.

A Meteorológiai Világszervezet (WMO) 2015-ös, *WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services* (Hatásalapú előrejelző és figyelmeztető szolgáltatások) című irányelvében ajánlásokat közöl a nemzeti meteorológiai szolgálatok számára, hogy építsenek ki egy olyan kockázatértékelő rendszert, aminek segítségével objektív értékelést adhatnak a várható meteorológiai veszélyekről és azok hatásairól.

A kezdeményezés célja, hogy a meteorológiai és a hidrológiai szolgálatok más szervezetekkel együttműködve, a munkájuk során használt meteorológiai küszöbérték alapú paradigmát továbbfejlesszék annak érdekében, hogy a veszélyjelzések elsősorban az időjárás okozta hatásokra fektessék a hangsúlyt. A hatásalapú előrejelzések a döntéshozók, a gazdasági szervezetek és a lakosság számára is könnyen értelmezhető és kézzel fogható információkat szolgáltatnának a várható időjárás kockázatairól és az érdekeltségeikre, életükre, megélhetésükre valamint az értékeikre gyakorolt hatásairól. Ezek az információk biztosíthatják, hogy a felhasználók a megfelelő döntéseket hozhassák meg a veszélyhelyzetekben, ezzel csökkentve az időjárás okozta károk mértékét.

A sikeres hatásalapú előrejelző rendszer megalkotásához a meteorológiai szolgálatoknak részletes sérülékenységi (*definíciót lásd a 3.4 fejezetben*) és kitettségi (*definíciót lásd a 3.4 fejezetben*) információkra van szükségük az adott veszélyekre nézve. Ez csak abban az esetben biztosított, ha az adott meteorológiai szolgálat szorosan együttműködik olyan más szervezetekkel, akiknek megvan a kellő szakértelme és tudása (kárbjelentési adatbázisok, infrastruktúrára és népességre vonatkozó adatok), aminek segítségével ezek az információk számszerűsíthetők. Ilyen kulcspartner lehet a munka során a helyi katasztrófavédelmi szervezet vagy a vízügyi igazgatóság. De a biztosító társaságok is rendszeres sebezhetőségi felméréseket végeznek, így az ő adatbázisaik is jó forrást jelenthetnek az infrastruktúra sérülékenységének, így a várható meteorológiai esemény következtében előforduló kockázatoknak a meghatározásához.

Az irányelv a kockázatot annak a kárnak a valószínűségeként és nagyságaként definiálja, ami a népességet, annak megélhetését és vagyontárgyait érné veszélyes időjárási események során, adott kitettség és sérülékenység mellett. A károk nagysága változhat a kitettség csökkentésére irányuló megelőző intézkedések valamint az előforduló kártípusokkal szembeni sérülékenység csökkentése által. Az időjárás okozta várható kockázatok meghatározásának egy gyakorlati módja a kockázatmátrix létrehozása (1. ábra), melynek megalkotása során a várható hatásokat kombinálják azok valószínűségével, mivel e két paraméter együtt határozza meg a kockázati szintet. Az így megállapított kockázatok gyakran színekkel is ellátott fokozatokkal társítják, amik könnyen és gyorsan kommunikálható információk a felhasználók és a lakosság felé.



1. ábra: A kockázatmátrix felépítése. (Forrás: World Meteorological Organization, 2015 nyomán)

Ahhoz, hogy a hatásalapú előrejelző és figyelmeztető rendszerek beváltsák a hozzájuk fűzött reményeket, az egyes együttműködő szervezetek átfogó koordinálására van szükség, Kínában például kormányzati vezetők végzik az együttműködő ügynökségek koordinációját. A központi irányítás nélkül szinte lehetetlen lenne összehangolni a meteorológiai és hidrológiai szolgálatok, a helyi katasztrófavédelmi, a közlekedési, az oktatásért és közbiztonságért, valamint az egészségügyi szolgáltatásokért felelős szervezetek munkáját (Rogers and Tsirkunov, 2011).

A WMO a Világ Bankkal és a Globális Alap a Katasztrófák Csökkentésére és Helyreállításra (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery – GFDRR) nevű szervezettel karöltve arra törekszik, hogy mihamarabb bevezessék a hatásalapú előrejelző és

figyelmeztető szolgáltatásokat azoknak az országoknak a nemzeti meteorológiai és hidrológiai szolgálatánál, melyeknél a Világ Bank a szolgálatok modernizálását célzó befektetéseket tervez. Többek között Vietnámban és Etiópiában már elkezdődtek a fejlesztések, de a hatásalapú figyelmeztető rendszer bevezetését tervezik Afganisztánban és Maliban is. Elsősorban olyan országokat céloznak meg a projekt kereteiben, ahol a veszélyjelzési rendszerek működtetésére egyáltalán nem vagy csak alig van kapacitás (*World Bank, 2016*).

A fejlett gazdaságú országokból jó példa a kezdeményezésre az Egyesült Királyságban 2011-ben megalakult *Natural Hazards Partnership* (Természeti veszélyek együttműködése) nevű projekt, amiben az Egyesült Királyság azon kulcsszervezetei vesznek részt, amelyek szerepet játszanak a természeti veszélyek kutatásában és megfigyelésében. Az együttműködés célja, hogy összehangolt értékeléseket és tanácsokat nyújtson a közigazgatás és a lakosság részére a természeti veszélyekkel szembeni fellépésre (*World Meteorological Organization, 2015*). De az Egyesült Királyságon kívül más európai országok is változtattak a gyakorlatokban. Franciaországban például más küszöbértéket használnak havazás esetén a városokra és a vidéki területekre. Városokra 1-2 cm várható hómenyiségre is kiadják az első fokú figyelmeztetést, míg vidéki területek esetén ez az érték 5 cm. Csehországban a várható nagyobb mennyiségű csapadék esetén figyelembe veszik a talaj telítettségi állapotát, mert ha a talaj közel telített állapotban van, akkor kisebb a beszivárgás mértéke, így a lehulló csapadék nagy része a felszínen folyik le, ezért kisebb csapadékösszegek is áradásokhoz vezethetnek (*Bonta, 2017*).

További jó példa a hatás alapú előrejelzések gyakorlati alkalmazására Ausztrália, ahol az épületek erős szelekkel szembeni sebezhetőségét modellezik és a modell eredmények alapján készített hatásproduktumok segítségével becsülik meg annak valószínűségét, hogy az adott szerkezetű épületek károkat szenvednek-e majd el (*Wehner et al., 2010*).

Az Egyesült Államokban a 2011. május 22-i Missouri állambeli tornádó után vezették be a 3 szintes, hatás alapú tornádóra figyelmeztető rendszert, miután Joplin városában 159 ember életét veszítette, további 1000 pedig megsebesült a városra lecsapó tornádó miatt. Az új rendszer annyiban tér el a régitől, hogy információt nyújt a várható károk mértékéről, valamint a tornádó emberéletre és a tulajdonra gyakorolt hatásáról. A könnyebb áttekinthetőség kedvéért az egyes fokozatokhoz tartozó hatásleírásokat egy úgynevezett fenyegetés címkével (Threat tag) is ellátták, hogy ezzel is segítsék a figyelmeztetések kommunikációjában részt vevők (vészhelyzeti menedzserek, média) munkáját (*Harrison et al., 2014*).

## 3. Felhasznált adatbázisok és a vizsgálati módszer

### 3.1. Az EKOP adatbázis bemutatása

A szélsőséges időjárás okozta hozamcsökkenés jelentős anyagi károkat okozhat, ezért az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) a mezőgazdasági termelést érintő időjárási és más természeti kockázatok kezeléséről szóló 2011. évi CLXVIII. törvényben előírtaknak megfelelően létrehozott Komplex mezőgazdasági kockázatkezelési rendszerben (MKR) olyan információkat nyújt a gazdáknak, melyek a biztosítók felé benyújtott kárigény bejelentéseik alapjául szolgálhatnak (OMSZ, 2013). Mivel az MKR az EKOP-1.1.12-2012-2013-0001 (Elektronikus Közigazgatási Operatív Program, EKOP) azonosítószámú projekt kereteiben valósult meg, az OMSZ-nál a projekt kapcsán folyamatosan épülő adatbázist „EKOP” adatbázisnak nevezik.

Az adatbázis megalkotásánál 120 automata mérőállomás és közel 500 csapadékmérő állomás adatait, valamint a radaros csapadékméréseket veszik alapul, így a teljesség igénye nélkül az alábbi meteorológiai paramétereket használják fel:

- az óras szélmaximumok által meghatározott napi maximális szélökés,
- a 10 perces csapadékvértékekből előállított napi csapadékösszeg,
- az 5 perces radarmérések alapján meghatározott radaros csapadékösszeg és csapadékintenzitás.

Radaros mérések esetén az 5 perces időbeli és 1 x 1 km-es térbeli felbontású kompozit képekből a pontosabb becslés érdekében – a magassági szelek figyelembevételével – előbb elkészítik az úgynevezett 1 perces mozgatott képeket, majd a Marshall–Palmer–formula segítségével meghatározzák a csapadékintenzitás értékét (Willis, 1984). A csapadékintenzitást mm/h mértékegységben kapják meg, ezért az eredményeket 60-al el kell osztani, hogy az egyperces időbeli felbontás alatt kihullott csapadékösszeghez jussanak, majd az így kapott 1 perces értékekből határozzák meg a napi csapadékösszeget. Ezt követően határozzák meg a napi maximális 20 perces csapadékintenzitást úgy, hogy az eredményekből kiválasztják azt a 20 perces időszakot, amiben a lehullott csapadék mennyisége maximális (EKOP\_OMSZ, 2015).

A mérőállomásokról és radaros csapadékösszeg mérésekből származó adatokat térbeli interpolálással egy 0,05° felbontású rácshálózatra interpolálják a MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis, Felszíni Homogenizált

Adatbázison alapuló Meteorológiai Interpoláció) módszer segítségével. Az eljárás lényege, hogy az optimális interpolációs formula az interpoláláshoz felhasznált mérőállomások klímájának figyelembevételével határozható meg, ezek az információk pedig statisztikai módszerekkel modellezhetők. Az egyes állomások klímájának statisztikai modellezéséhez a MISH hosszú távú homogenizált adatsorokat és determinisztikus modell változókat használ fel (Szentimrey és Bihari, 2007). A módszer jellemzője, hogy alkalmas úgynevezett háttér-információk felhasználására is. A háttér-információk rácsponti adatokat, például előrejelzési eredményeket, távérzékelt adatsorokat jelentenek.

A fentiek alapján az EKOP adatok előállításánál során a napi csapadékösszeg interpolációjához a felszíni mérések adatain túl a 24 órás radaros csapadékösszeget is felhasználják háttér-információként. Végül 4429 rácspontban többek között az alábbi, a későbbiekben általunk is felhasznált értékek kerülnek eltárolásra:

- napi maximális szellőkés,
- napi csapadékösszeg,
- napi maximális 20 perces csapadékintenzitás.

Összefoglalva, az EKOP egy 120 automata, közel 500 hagyományos csapadékmérő állomás és radarmérések adatain alapuló, MISH interpolációval  $0,05^\circ$  felbontású rácstra interpolált klimatológiai adatbázis. A rácsponti értékekből olyan, meteorológiai események bekövetkezésére utaló változókat származtatnak, melyek jogi alapot képezhetnek a gazdák számára a biztosító felé benyújtott, a szélsőséges időjárásra vonatkozó kárigényeik igazolásához.

### 3.2. A káresemény adatok bemutatása

Munkánk során az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (OKF) kárbejelentési adatbázisát használtuk fel. Az adatbázisban EOVS (Egységes Országos Vetület) koordináta pontossággal vannak eltárolva a lakossági kárbejelentések az adott napra vonatkozóan percre pontos bejelentési idő mellett. Az OKF kárbejelentési adatlapjának hetedik pontja alapján a 9-cel jelölt „Elemi csapás – viharkár”, a 10-zel jelölt „Vízkárok” és a 13-as számú „Fa kidőlések” fajtájú káreseményekkel dolgoztunk, mivel egy előzetes egyeztetésen ezeket a kategóriákat javasolták a katasztrófavédelem illetékesei. Az 1-es számmal jelölt „Közúti baleset” kategóriában szintén előfordulhatnak meteorológiai okokra visszavezethető események, mert markáns időjárási változások esetén jelentős eltérés tapasztalható a közúti balesetek számában, azonban sok esetben nem a veszélyes időjárási körülmények vagy az útviszonyok időjárás következtében történő megváltozása vezet a balesetek bekövetkezéséhez, így az 1-es kategóriába sorolt káreseményekkel egyelőre nem foglalkoztunk (Gyarmati et al, 2014). A kárbejelentési adatlap hetedik pontja a 2. ábrán látható.

<b>VII. Káresemény fajtája</b>	0 <input type="checkbox"/> Egyéb
1 <input type="checkbox"/> Közúti baleset	2 <input type="checkbox"/> Vasúti, mozdony baleset
3 <input type="checkbox"/> Légibaleset	4 <input type="checkbox"/> Vízbaleset, jégről mentés
5 <input type="checkbox"/> Villamosbaleset	6 <input type="checkbox"/> Metróbaleset
7 <input type="checkbox"/> HÉV baleset	8 <input type="checkbox"/> Víziközl.-i baleset
9 <input checked="" type="checkbox"/> Elemi csapás - viharkár	10 <input checked="" type="checkbox"/> Vízkárok
11 <input type="checkbox"/> Teher-és szem.felv.baleset	12 <input type="checkbox"/> Állatbaleset
13 <input checked="" type="checkbox"/> Fa kidőlés	14 <input type="checkbox"/> Közl. eszk. kifolyt üz-ag
15 <input type="checkbox"/> Olajszennyeződés	16 <input type="checkbox"/> Halott kiemelés
17 <input type="checkbox"/> Veszélyes anyagok	18 <input type="checkbox"/> Gázszivárgás
19 <input type="checkbox"/> Technológiai meghibásodás	20 <input type="checkbox"/> Eltűnt személy keresése
21 <input type="checkbox"/> Életmentés	22 <input type="checkbox"/> Ép-oml., magasép. bal.
23 <input type="checkbox"/> Baleset mélyben	24 <input type="checkbox"/> Baleset magasban
25 <input type="checkbox"/> Omlásveszély	26 <input type="checkbox"/> Robbanás
27 <input type="checkbox"/> Rovar (méh/darázs)	28 <input type="checkbox"/> Szénmonoxid mérgezés
29 <input type="checkbox"/> Sérült mentése	

2. ábra: Az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság kárbejelentési adatlapjának hetedik pontja, ahol a káresemény fajtája kerül rögzítésre. Jelöltük az általunk felhasznált káreseményfajtákat.  
(Forrás: OKF kárbejelentési adatlapja nyomán)

Fontos megjegyezni, hogy a fenti három kategóriába eső káreseményeket nem feltétlenül az időjárás okozta, valamint előfordulhatnak olyan esetek is, amikor egy káresemény akár több kategóriába is besorolható. Például vízkárként könyvelhetnek el egy csőtörést, de egy flash flood (villámárvíz) okozta káresemény kerülhet a vízkárok és az elemi



csapás – viharkár kategóriába is. A besorolás minden esetben a mentést vagy a kárelhárítást vezető parancsnok megítélésén múlik.

A kárbejelentési adatokat a 2012.01.01. – 2017.09.30. időszakra kérte ki az Országos Meteorológiai Szolgálat, ez idő alatt az általunk vizsgált kategóriákba összesen 67188 bejelentést soroltak. A vizsgálati időszak kezdetét azért 2012.01.01-nek választottuk, mert ettől az időponttól érhetőek el a kárbejelentések koordináta pontossággal. Az ezt megelőző időszakban csak a település vagy a járás neve szerepel az adatbázisban és fontosnak tartottuk, hogy minél egységesebb adatokkal dolgozzunk.

Mivel az EKOP adatbázis NetCDF állományai a 2012.01.01. – 2012.08.31. időszakra nézve még csak teszt formájában (csapadékösszeg és csapadékintenzitás adatok nélkül), a 2012.09.01. – 2014.05.31. időszakban pedig egyáltalán nem álltak rendelkezésünkre, ezért a vízkárokat csak a 2014.06.01.-2017.09.30. időszakra vizsgálhattuk meg, a másik két kártípus esetében pedig egy 21 hónapos időszakot kellett figyelmen kívül hagynunk. Ennek eredményeképp összesen 51313 káreseménnyel dolgoztunk. Fontos megjegyezni, hogy az egyes időszakok között nagy különbségeket fedeztünk fel a káresemények mennyiségében, az adathiányos 21 hónapos periódusban 15058, míg 2017. első 9 hónapjában 14558 kárbejelentés érkezett a katasztrófavédelemhez a három vizsgált kárkategóriában.

### 3.3. Az alkalmazott módszertan bemutatása

Az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság kárbejelentési adatbázisa a kárbejelentés napját és azon belüli idejét, a kárbejelentés helyét EOV koordinátákban, valamint azt a kártípust tartalmazta, amibe a mentést végző parancsnok besorolta az adott káreseményt. Első lépésként az EOV koordinátákat kellett WGS-84 (World Geodetic System) rendszerbe transzformálnunk, amihez egy online koordináta átváltó rendszert használtunk [4 – pf-prg.hu].

Mivel lakossági kárbejelentésekkel dolgoztunk, ezért meg szeretnénk volna határozni, hogy az egyes káreseményeket melyik településről jelentették be. Ehhez szükségünk volt egy olyan adatbázisra, amely tartalmazza a magyarországi települések nevét, illetve egy koordináta párral jellemzett pontot az adott településről. A települések nevét a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) 2015. évi helységnévtárából szereztük be, ami a település nevén kívül tartalmazta annak területét (ha), népességét és lakásszámát is [5 – <http://nepesseg.com>]. A településeket jellemző koordináta párt tartalmazó adatsort pedig egy online adatbázisból töltöttük le [6 – [www.kemitenpet.hu](http://www.kemitenpet.hu)]. Ennek a két adatbázisnak a Fortran 77 programokkal történő egyesítéséből született meg az az adatsor, amit a káresemények településekhez történő rendelése során felhasználtunk. Mivel Budapest körül nagyon szorosan helyezkednek el az agglomerációba tartozó települések, ezért a budapesti kárbejelentések kiválogatására egy külön, csak Budapest közigazgatási határvonalát tartalmazó adatbázist kerestünk [7 – <http://www.gadm.org>], aminek segítségével a budapesti káreseményeket kiszűrtük az országos adatsorból. A káresemények fennmaradó részéhez Haversine formula segítségével rendeltük a legközelebbi települést és az azt jellemző karakterisztikákat a koordináta párok alapján (*Chopde és Nichat, 2013*).

Az EKOP adatbázis NetCDF állományok formájában állt rendelkezésünkre. Az állományok feldolgozására C programokat használtunk, és első lépésként a rácspontok koordinátáit határoztuk meg. Ezt követően minden egyes káreseményhez hozzárendeltük a kárbejelentés napjára vonatkozó NetCDF állomány legközelebbi rácspontjának koordinátáit, és a rácspontban tárolt napi maximális széllelés, napi csapadékösszeg, valamint a napi maximális csapadékkintenzitás értékeket.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat által mért hóvastagság adatok (előző napi és aktuális hóvastagság, valamint az aznapi hógyarapodás) és az ónos eső észlelések közül szintén a már említett Haversine formula segítségével rendeltük a legközelebbi mérést vagy

észlelést a káreseményekhez. Amennyiben a kárbejelentés napján nem volt mérés vagy észlelés, akkor a hibás értéknek megfeleltetett -99999 értéket rendeltük a változók helyett az egyes kárbejelentésekhez.

A fenti folyamatok eredményeképp egy egységes adatbázist kaptunk, melyben minden egyes sor egy kárbejelentésnek felel meg, és a kárbejelentést jellemző adatok mellett megtalálható benne a kárbejelentés helyéhez legközelebbi település és annak karakterisztikái, a legközelebbi EKOP rácspont és az abban tárolt meteorológiai paraméterek, valamint a legközelebbi hóvastagság mérés és ónos eső észlelés adatai. Az adatsor előállítását linux környezetben bash scriptek, C és fortran programok segítségével végeztük el.

Az EKOP adatbázisban tárolt, általunk vizsgált meteorológiai paraméterek háttéradatbázisainak (*definíciót lásd a 3.4 fejezetben*) előállításához szintén C programokat és bash scripteket használtunk fel, azonban itt nem a feladat bonyolultsága, sokkal inkább a vizsgált időszakba tartozó közel 6,5 millió rácspont együttes kezelése jelentette a kihívást.

Az OKF kárbejelentési adatbázisa alapján létrehoztunk olyan NetCDF állományokat, melyeket sikeresen jelenítettünk meg az OMSZ HAWK-3 (Hungarian Advanced WorKstation) nevű megjelenítő szoftverével (*Buránszkiné és Wantuchné, 2010*). Ezeket a térképeket a későbbiekben esettanulmányok készítése során használtuk fel.

Végül a káresemények település szintű vizsgálatára került sor. Ehhez a magyarországi településeket népességük és lakásszámuk alapján, egy R nyelven írt program segítségével klaszterekbe soroltuk. Az eredmények térképes megjelenítését a Generic Mapping Tools (GMT) szoftver segítségével végeztük.

### **3.4. A kiértékelés során használt definíciók**

#### **Háttéradatbázis**

Háttéradatbázis alatt a vizsgált időszak összes EKOP NetCDF állományában eltárolt rácsponti értékek összességét értjük az adott meteorológiai változóra nézve.

#### **Kárt okozó esemény**

Olyan rácsponti értéket vagy észlelést jelöl, aminek a reprezentativitási területén belül az adott napon olyan kárbejelentést tettek, ami összefüggésbe hozható az adott meteorológiai paraméterrel. Például fakidőlés esetén kárt okozó szellőkésről beszélhetünk.

#### **Kitettség**

Ki vagy mi lehet érintett az adott területen egy esetleges veszélyes esemény bekövetkezésekor. A kitettség ismerete szükséges, de nem elégséges feltétele a várható kockázatok meghatározásának, mivel elképzelhető, hogy valami ki van téve az időjárás viszontagságainak, viszont az adott elem (épített és természeti környezet) nem sérülékeny. Ezen felül a kitettség hely és időfüggő változó, mivel egy adott erejű szélviharral szemben más kitettséggel rendelkezik a csúcsforgalom idején egy nagyváros és az éjszaka közepén egy lakatlan vidéki terület (*World Meteorological Organization, 2015*).

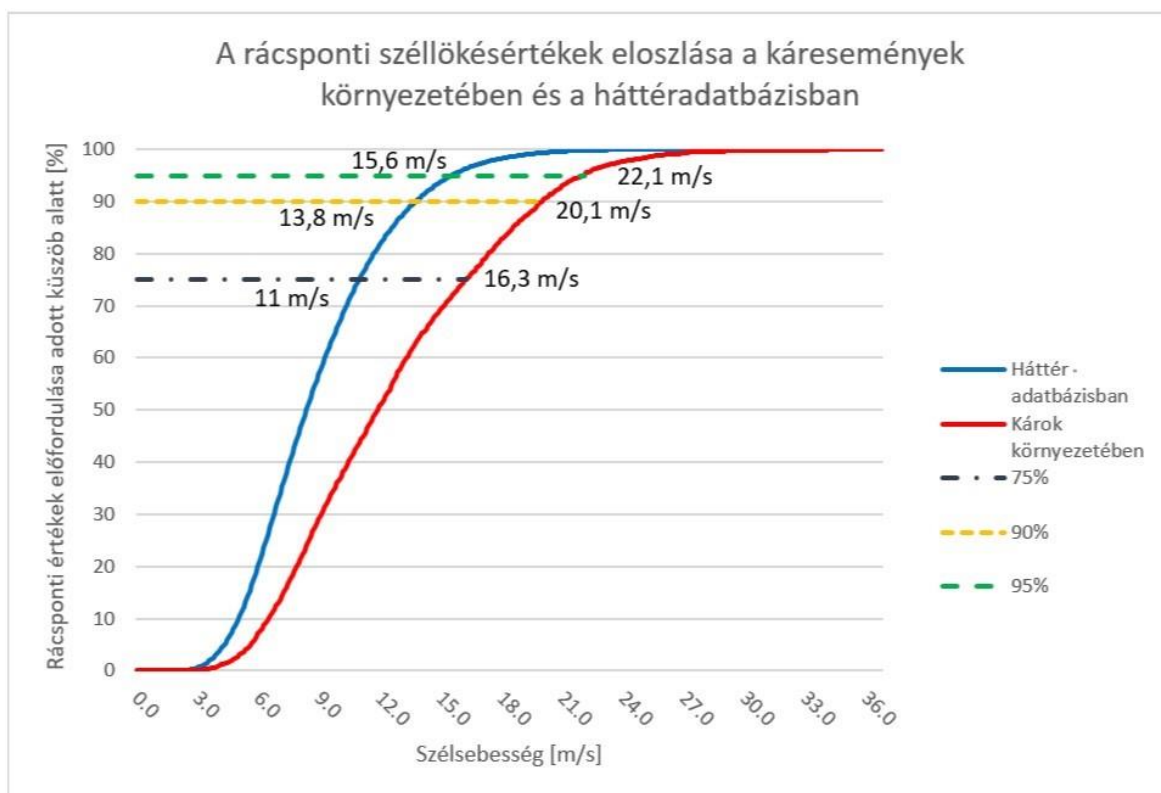
#### **Sérülékenység**

Az időjárás viszontagságainak kitett elemek hajlama arra nézve, hogy a veszélyhelyzetekben károkat szenvedjenek el. A sérülékenység is hely és időfüggő változó, például az Andrew hurrikán után 1992-ben Floridában szigorúbb építési szabályokat vezettek be annak érdekében, hogy ezzel csökkenthessék a lakó és irodaházak sérülékenységét az extrém meteorológiai körülmények között (*World Meteorological Organization, 2015*).

## 4. Az eredmények bemutatása

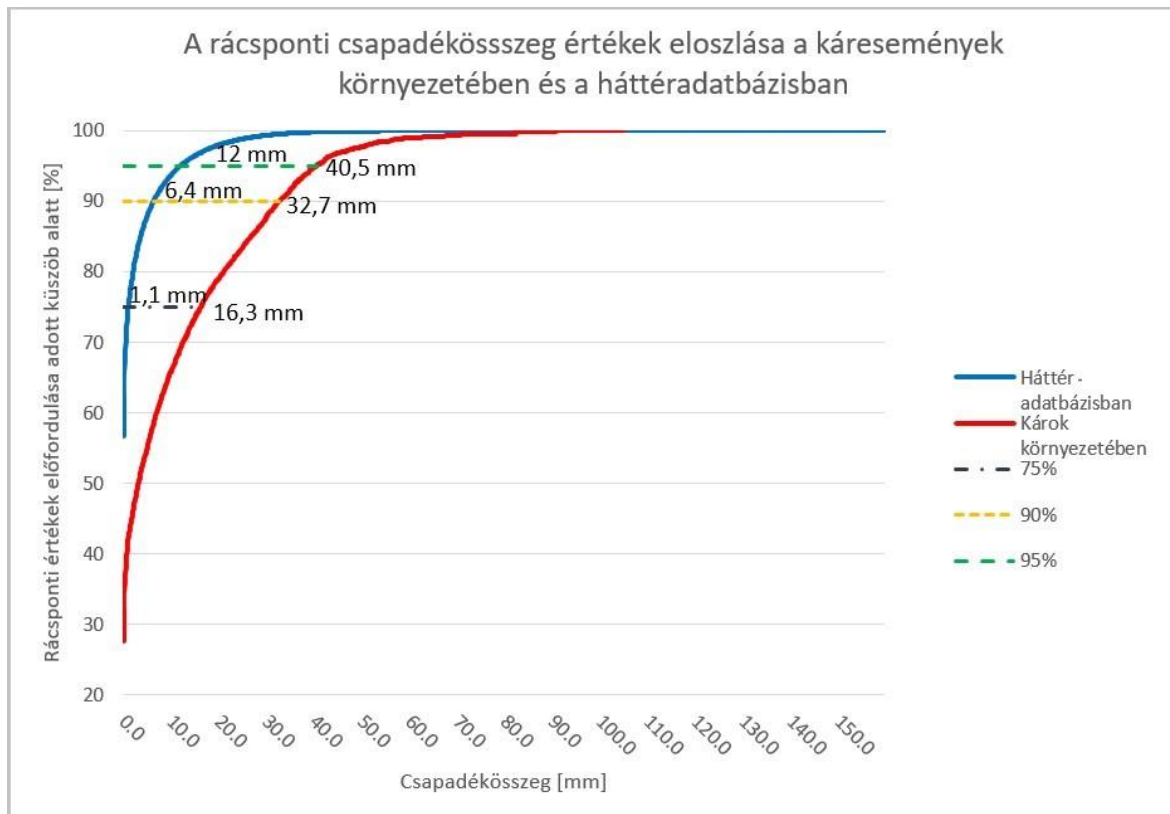
Mielőtt rátérnénk az egyes kártípusok részletes vizsgálatára, vessünk egy pillantást arra, hogy az egyes meteorológiai paraméterek eloszlása mennyiben tér el a háttéradatbázisától azokban a rácspontokban, melyek reprezentatív területéből káreseményeket jelentettek. Az itt bemutatott ábrák előállításához a teljes vizsgált időszak alatt bejelentett összes káreseményt felhasználtuk, mivel általánosságban voltunk arra kíváncsiak, hogy káresemények bekövetkezésekor mekkora az eltérés az adott meteorológiai paraméterre nézve.

A 3. ábrán a rácsponti szélökésértékek relatív kumulatív gyakorisági eloszlása (továbbiakban eloszlás) látható, melyet az eloszlásfüggvény becslésének tekinthetünk. A szélökések kékkel jelölt, háttér adatbázisbeli eloszlása a szélsébség növekedésével meredekebben nő, mint a károk környezetében elhelyezkedő rácsponti értékek eloszlásfüggvénye, következésképp a háttéradatbázisban az alacsonyabb szélsébség értékek nagyobb arányban fordulnak elő.



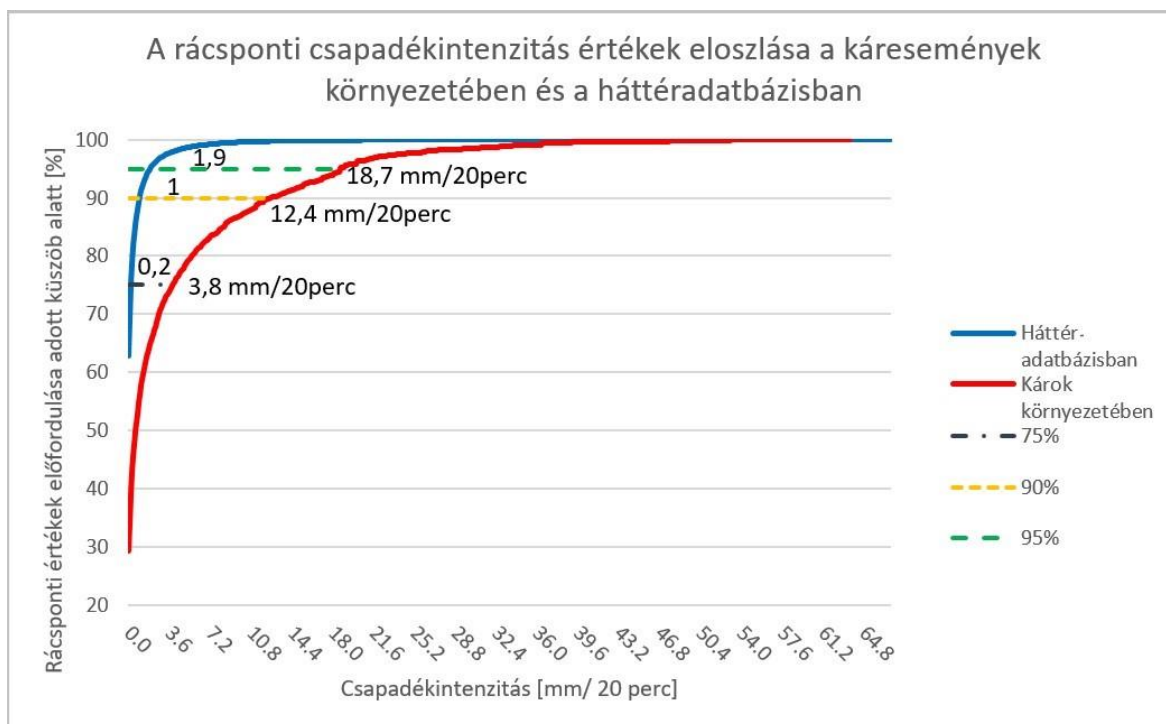
3. ábra: A rácsponti szélsébség értékek eloszlása a bejelentett káresemények környezetében és a teljes EKOP adatbázisban. A görbék mellett feltüntetett értékek azt jelzik, hogy a rácsponti értékek 75, 90 és 95%-a mekkora szélsébség érték alatt fordult elő a vizsgált időszakban.

A háttéradatbázisban a rácsponti szellőkések 75%-a 11 m/s alatti értéket vesz fel, míg a káresemények környezetében ugyanez a mutató 16,3 m/s. A szellőkés értékek 10%-a 13,8 m/s-nál nagyobb a háttéradatbázisban, de a károk környezetére szűkített adatsorban ez 20,1 m/s. A 5%-os határra ez rendre 15,6, illetve 22,1 m/s.



4. ábra: A rácsponti napi csapadékösszeg értékek eloszlása a bejelentett káresemények környezetében és a teljes EKOP adatbázisban. A görbék mellett feltüntetett értékek azt jelzik, hogy a rácsponti értékek 75, 90 és 95%-a mekkora napi csapadékösszeg érték alatt fordult elő a vizsgált időszakban.

A napi csapadékösszegek tekintetében hasonló a helyzet (4. ábra), a háttéradatbázis eloszlásfüggvénye alacsony csapadékösszegek mellett meredek emelkedést mutat, míg a káresemények jellemzően magasabb csapadékösszegek környezetében fordultak elő. A káresemények 25%-a 16,3 mm feletti csapadékösszeg mellett következett be, sőt, 5% esetén a napi csapadékösszeg meghaladta a 40,5 mm-t is. Ezzel szemben a háttéradatbázis rácspontjainak több mint 56%-ában egyáltalán nem hullott csapadék és csak 25%-uk esetén haladta meg a csapadékösszeg az 1,1, valamint 5%-uk esetén lépte át a 12 mm-t. Megjegyezzük, hogy még az igen magas csapadékösszegek esetén is előfordul, hogy ezek közvetlen közeléből nem érkezik lakossági kárbejelentés, amit egyszerűen az indokol, hogy lakott területen kívüli rácspontokról van szó.



5. ábra: A rácsponti napi csapadékintenzitás értékek eloszlása a bejelentett káresemények környezetében és a teljes EKOP adatbázisban. A görbék mellett feltüntetett értékek azt jelzik, hogy a rácsponti értékek 75, 90 és 95%-a mekkora napi maximális csapadékintenzitás érték alatt fordult elő a vizsgált időszakban.

A csapadékintenzitások eloszlásfüggvénye (5. ábra) nem csak a háttéradatbázisban, hanem a káresemények környezetében is meredek emelkedést mutat alacsony napi maximális csapadékintenzitások esetén. A kárbejelentések környezetében elhelyezkedő rácspontok mindössze 25%-a rendelkezik 3,8 mm/20 percnél magasabb értékkel, sőt, a károk alig 13%-a következett be 10 mm/20 percet meghaladó csapadékintenzitás mellett. A háttéradatbázis 95%-a 1,9 mm/20 percnél kisebb értéket vesz fel, azonban előfordult 67 mm/20 percet is meghaladó csapadékintenzitás is, míg a károk környezetében 63,6 mm/20 perc volt a maximum.

A 3. táblázat az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatósághoz beérkezett kárbejelentések száma alapján 10 legeseményesebb napot és az EKOP adatbázisban tárolt rácsponti értékek aznapi területi eloszlását mutatja be. A 75 és 90%-os értékek jelzik, hogy az ország területének 25, illetve 10%-n a táblázatban megadott küszöb felett volt aznap az adott meteorológiai paraméter értéke.

A 10 legnagyobb kárbejelentés számmal rendelkező napból 5 is 2017-re esik, ez alátámasztja a 3.2. fejezetben írtakat, miszerint 2017 első 9 hónapjában alig kevesebb kárbejelentés érkezett a katasztrófavédelemhez, mint a 2012.09.01. – 2014.05.31.

időszakban. Ha az első 3 legeseményesebb napot vizsgáljuk, akkor 2 egymás utánit vehetünk észre, ezekkel a 4.3.1.1. fejezetben részletesebben is foglalkozunk.

3. táblázat: A vizsgált időszakban a 10 legmagasabb kárbejelentés számmal rendelkező nap. Az EKOP adatbázis meteorológiai paramétereinek 75. és 90. percentilisei, illetve az aznapi maximumok. Mivel minden egyes rácpont egy - egy területet reprezentál, ezért a 75. percentilis értéke gyakorlatilag megfelel az ország területének 75%-n előforduló maximumnak.

	Bejelentések száma [darab]	Napi maximális szélökés [m/s]			Napi csapadékösszeg [mm]			Napi maximális csapadékontenzitás [mm/20 perc]		
		75%	90%	Maximum	75%	90%	Maximum	75%	90%	Maximum
2015.07.08	1451	20	21,8	31,8	15,7	19,8	53,6	3,7	6	28,8
2016.07.14	1181	17,8	19,7	27,5	21	24,6	41,7	3,8	4,9	16,5
2015.07.09	1119	11,9	15,6	20	4,6	6,1	23,3	1,7	2,5	15,6
2017.08.11	771	12,6	14	26,8	0,8	5,3	14,5	0,5	2,5	17,7
2017.06.23	675	17,8	19,4	29,4	3,4	8,3	36,8	2,4	5,5	33,3
2017.07.24	603	16,9	19,4	30,6	27,2	35,2	78,5	9,1	13,1	52,2
2017.08.10	601	13,8	23,8	36,8	0	0,9	30,9	0	1,3	25
2017.07.11	562	13,2	15,1	25,9	10,8	18	46,7	4,1	6,8	43,6
2014.12.02	548	7,9	8,5	12,1	4,7	6,1	13,7	0,3	0,5	1,7
2016.07.16	527	17,4	18,5	23,5	35	41	64,7	1,7	2,3	6,1

Szintén két egymást követő nap 2017.08.10-e és 11-e, melyek során összesen több mint 1300 kárbejelentés érkezett a katasztrófavédelemhez. Augusztus 10-én erősebb szélökések kíséretében nagyobb mennyiségű csapadék hullott, mint 11-én, jellemzően intenzívebb csapadéktevékenység mellett, mégis 11-én jelentettek be több káreseményt. A későbbi vizsgálatok során kiderült, hogy ennek háttérében az elhúzódó kárbejelentési periódus állhat, miszerint a kár bejelentésének és bekövetkezésének napja nem feltétlenül esik egybe, sőt, mint ahogy azt később láthatni fogjuk, esetenként akár 5-7 napig is elhúzódhat egy-egy markáns időjárás esemény hatásainak a bejelentése.

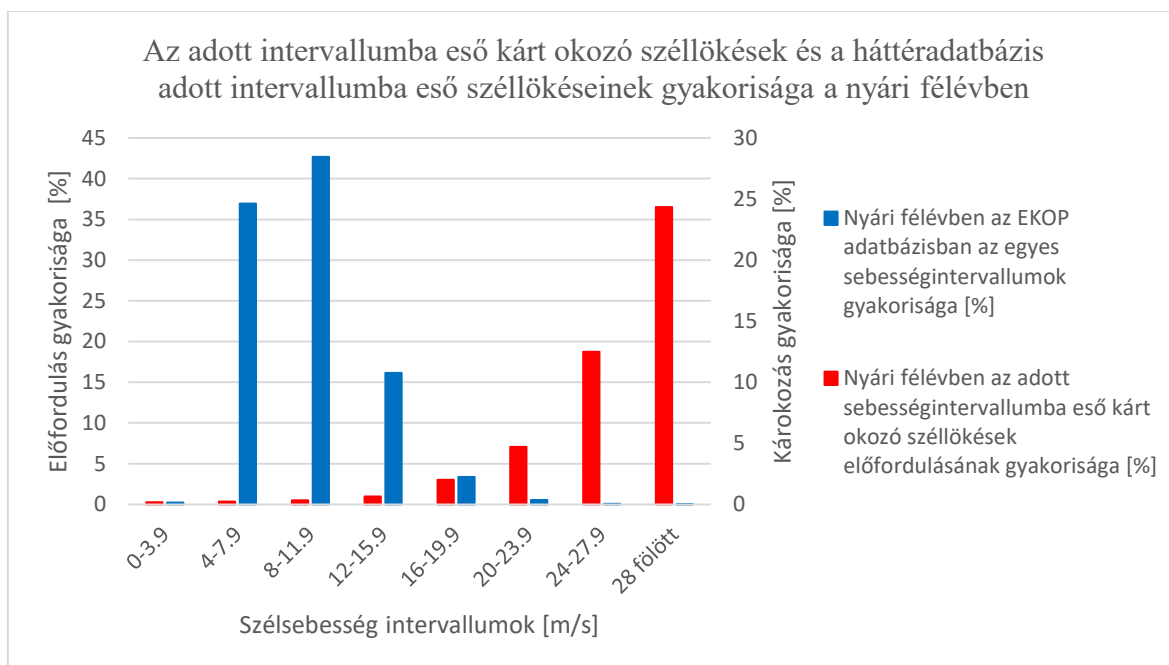
A 2014. december 2-i 548 kárbejelentés is egy ilyen elhúzódó kárbejelentési periódusnak tudható be, igaz, itt késleltetett hatásokról is beszélhetünk. Az ezeket a káreseményeket kiváltó meteorológiai ok az előző napi nagymennyiségű ónos eső volt, erről a 4.1.1. fejezetben írunk bővebben.

2017. július 24-én egy markáns szupercella haladt át az ország középső területein, majd a Tisza vonalában vonalas szerkezetet öltő rendszerré alakult. Az esti órákban a Dunántúl déli részén egy újabb szupercella alakult ki, melynek pályája az elhúzódó kárbejelentési időszak következtében a másnapi kárbejelentés térképen egy éles sávként rajzolódik ki.



## 4.1. A fakidülés káresemények vizsgálata

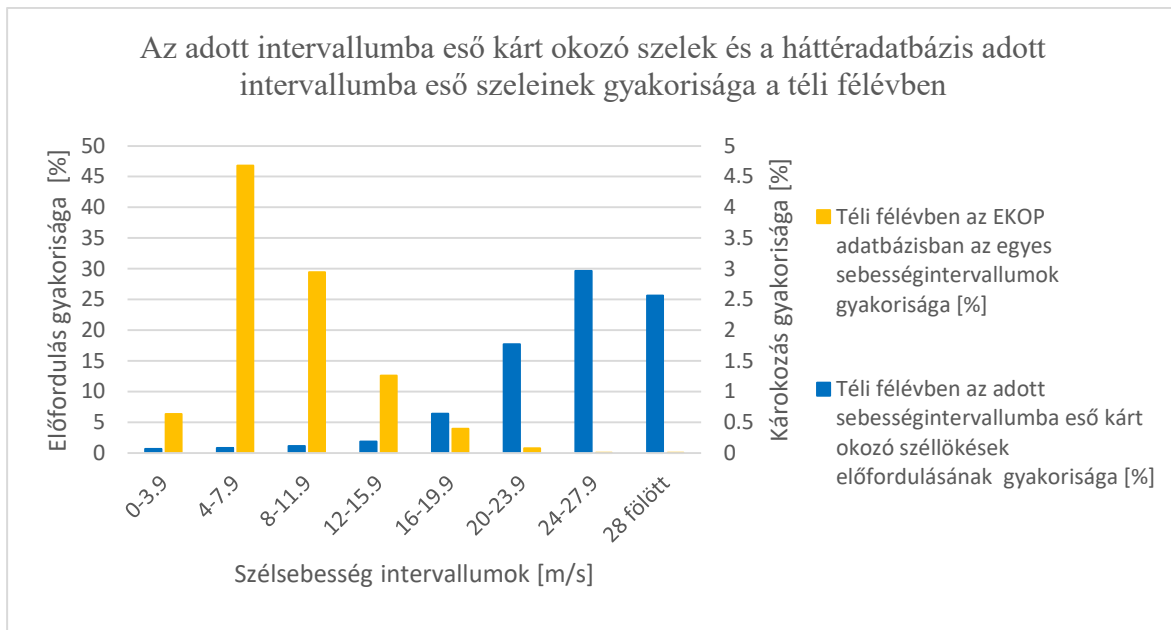
A fakidülések vizsgálata során az EKOP adatbázis napi maximális széllelésértékeivel hoztuk kapcsolatba a lakossági kárbejelentéseket. Mivel az EKOP adatbázis NetCDF állományainak teszt formája is tartalmazza a változót, ezért a vizsgálati időszak 2012.01.01.-től 2017.09.30.-ig terjed, természetesen az adathiányos időszak kivételével. Ez idő alatt 26757 olyan kárbejelentés érkezett a katasztrófavédelemhez, amiket később ebbe a kategóriába soroltak. Az EKOP adatbázis rácsponti értékeit 4 m/s-s felbontással intervallumokba soroltuk, a 6. ábra a nyári félévek során előforduló széllelések ezen intervallumok közötti eloszlását mutatja be.



6. ábra: A rácsponti napi maximális széllelésértékek eloszlása az EKOP adatbázisban és a károkat okozó széllelések előfordulási gyakorisága az adott szélsebesség intervallumban a nyári félévek során.

A nyári félévek során előforduló napi maximális széllelések gyakoriságát tekintve az eloszlás maximuma 42%-os részesedéssel a 8 és 12 m/s közötti tartományba esik. 12 m/s felett az adott intervallumba eső széllelések előfordulási gyakorisága a szélsebesség növekedésével folyamatosan csökken, olyannyira, hogy 20 m/s felett a gyakoriság már az 1%-t sem éri el. Ezzel szemben a károkat okozó széllelések előfordulásának relatív gyakorisága a széllelések erősségével növekszik. Míg az abszolút darabszám tekintetében leggyakoribb 8-12 m/s erősségű széllelések esetében az intervallumba tartozó lökések csupán 0,33%-ának környezetében fordul elő káresemény, addig a 28 m/s-t elérő és-vagy

meghaladó szellőkések közül gyakorlatilag már minden negyedik legalább egy fakidüléséhez vezethet.

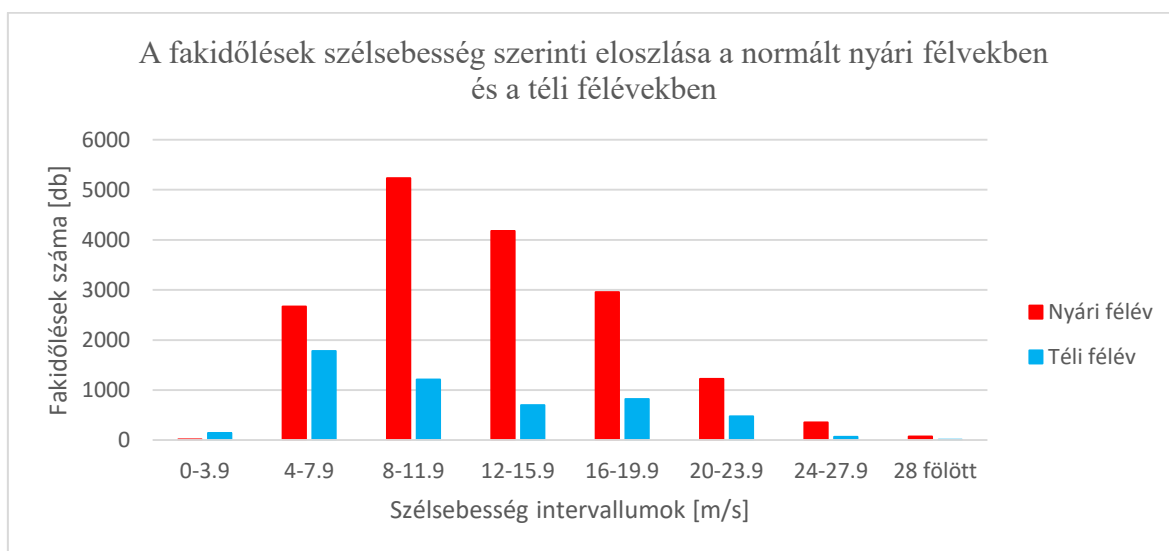


7. ábra: A rácsponti napi maximális szellőkésértékek eloszlása az EKOP adatbázisban és a károkat okozó szellőkések előfordulási gyakorisága az adott szélesebesség intervallumban a téli félévek során.

Téli félévek vizsgálata esetén (7. ábra) az összes előforduló napi maximális szellőkés több mint 46%-a 4 és 8 m/s közé esik, és a szélesebesség növekedésével az egyes intervallumok részaránya fokozatosan csökken. A nyári félévekhez hasonlóan itt is észrevehető a kapcsolat a szélesebesség növekedése és a kárt okozó szellőkések előfordulási gyakoriságának növekedése között, igaz, a 28 m/s-t elérő és-vagy meghaladó kategóriában kis visszaesés tapasztalható. Ezt a visszaesést magyarázhatja, hogy ilyen erős szellőkések az október és március közötti időszakban a nyári félévekhez képest egy nagyságrenddel ritkábban fordulnak elő, és ha ezek lakott területektől távol következnek be, akkor lakossági kárbejelentések nem társulnak hozzájuk.

Talán a legszembevetőbb különbség a két ábra között, hogy a téli félévek esetében a károkat okozó szellőkések relatív gyakoriságai jelentősen elmaradnak a nyári féléves értékekhez képest. Mivel a vizsgált időszak a nyári félévek esetén 27, a téli félévekre nézve viszont csak 21 hónapra terjed ki, ezért az összehasonlíthatóság kedvéért az adott szélesebesség intervallumba eső nyári félévekre vonatkozó rácsponti értékek és a bejelentett fakidülések számát is le kellett normálni a téli és nyári félévekben figyelembe vett összes rácsponti érték hányadosával. Feltételezve, hogy a nyári félévek során eddig figyelembe vett többlet információ arányosan oszlik meg a sebességintervallumok között, egységesen közel

23%-kal csökkentettük az egyes intervallumokban a rácsponti értékek darabszámát. Ezzel egyidejűleg az adott szélsőségek mellett bekövetkező károk mennyiségét is csökkentenünk kellett, mivel csökkentettük a potenciálisan károkat okozható széllesek számát. Mint ahogy az 8. ábrán látható, az összes káresemény tekintetében a nyári félévek messze felülmúlják a télieket, még a normálás elvégzése után is 16691 nyári féléves fakidölés áll szemben az október és március között bejelentett 5200 káresemellyel.



8. ábra: A fakidölések szélsőségszerinti intervallumok szerinti eloszlása. Nyári félévek esetén a normált értékek, téli félévek esetén a tényleges darabszámok.

Azt, hogy az adott félévben hány fakidölés fordul elő, a szélsőségszerinti eloszlása befolyásolja, mivel minél erősebb a széllesek, annál nagyobb a károkozás valószínűsége. A normálás elvégzése után a rácsponti értékek sebesség szerinti eloszlását a 4. táblázat tartalmazza. A táblázatban csak a 8 m/s-t elérő és vagy meghaladó erősségű széllesek jelenítettük meg, mivel előzetesen ez alatt a küszöbérték alatt csak elhanyagolható mennyiségű káreseményt vártunk. A tapasztalt eltérés oka, hogy egyes esetekben, amikor igen heves időjárási esemény következik be, akkor a kárelhárítás és a károk bejelentése akár napokig is elhúzódhat, ilyen esetekben viszont a vizsgálati módszer pontatlansága miatt nem a potenciálisan károkat kiváltó szélsőségeket vesszük figyelembe (lásd 4.3.1.1. fejezet).

4. táblázat: Az EKOP adatbázisban a rácsponti szélökés értékek szélsébség intervallumok szerinti eloszlása. Nyári félévek esetén a normált értékek, téli félévek esetén a tényleges darabszámok.

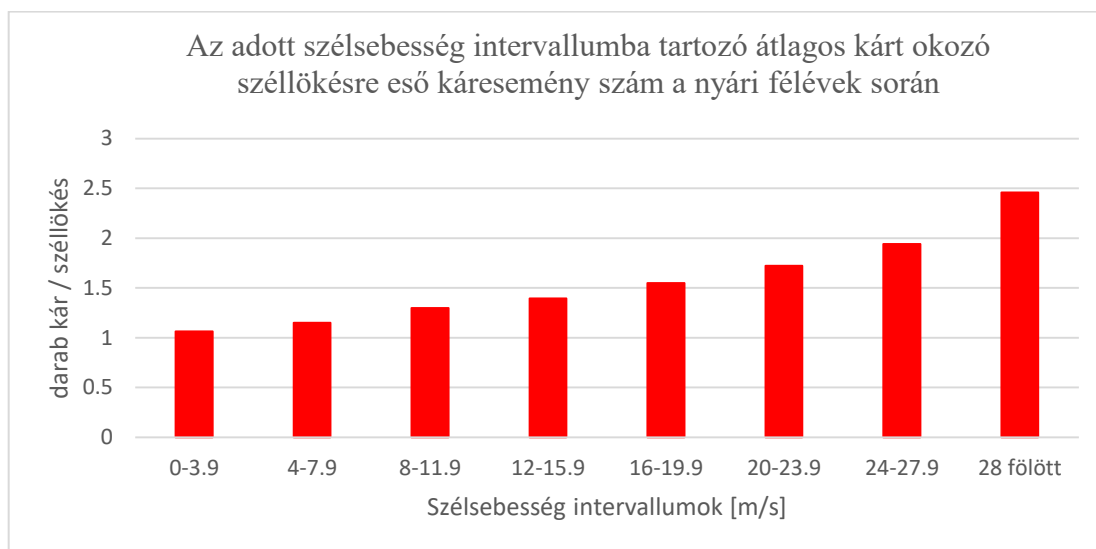
	Szélsébség intervallumok [m/s]					
	8-11.9	12-15.9	16-19.9	20-23.9	24-27.9	28 fölött
<b>Nyári félévek</b>	1201661	454427	94965	15068	1450	118
<b>Téli félévek</b>	828801	354690	111780	21790	1518	48

A kapott eredmények tükrében az mondható el, hogy a 16 és 28 m/s közötti szélökések gyakrabban fordulnak elő a téli félévekben, azonban nyári félévekben jóval több fakidölés tartozik ezekhez az intervallumokhoz. A képet tovább árnyalja, hogy az EKOP adatbázis az interpolációnak köszönhetően kicsit alulbecsüli a szélsébség értékét, valamint kevésbé érzékeny a zivatarok okozta lokális szélérősödésekre, a downburstökre nézve. Ennek fényében valószínű, hogy az adott területen előforduló napi maximális szélökések a téli félévekben kismértékben, a nyári félévek esetén pedig nagyobb mértékben a magasabb kategóriák felé tolódnak el, ennek következtében pedig megváltozhatnak az adott szélsébség intervallumokban az előfordulási gyakoriságok arányai a félévek között. Az azonban valószínű, hogy a változás mértéke önmagában még nem magyarázná a nyári és a téli félévek között az egy átlagos, kárt okozó szélökésre eső fakidölések száma közötti különbségeket, tehát lennie kell egy olyan markáns különbségnek a két félév között, ami feloldhatja ezt a látszólagos ellentmondást.

Ez a markáns különbség a növényzet vegetációs időszaka, vagyis a lombkorona jelenléte a fákon a nyári félévben. A levélzet egy plusz felületet biztosíthat a szélnek, amin keresztül az összességében nagyobb nyomást képes kifejteni a fákra. Az így megnövekedett szélnyomásnak köszönhetően a nyári félévben akár alacsonyabb szélsébségek mellett is bekövetkezhetnek a káresemények. Visszajára fordítva az előzőeket, a téli félévben a lombkorona hiánya miatt magasabb szélsébségekre lehet szükség ugyanazon káresemény bekövetkezéséhez. Ezt a feltevésünket igazolja a *Peltola és munkatársai* által 1999-ben publikált tanulmány, amiben a kutatók többek között különböző egyedsűrűségű nyírfa állományokban, különböző törzsátmérőjű egyedeken végzett kutatásokról írnak. Arra a megállapításra jutottak, hogy a levélzet nélküli fák esetén a gyökerestül történő kiforduláshoz átlagosan 62%-kal, a szártöréshez pedig átlagosan 45%-kal magasabb

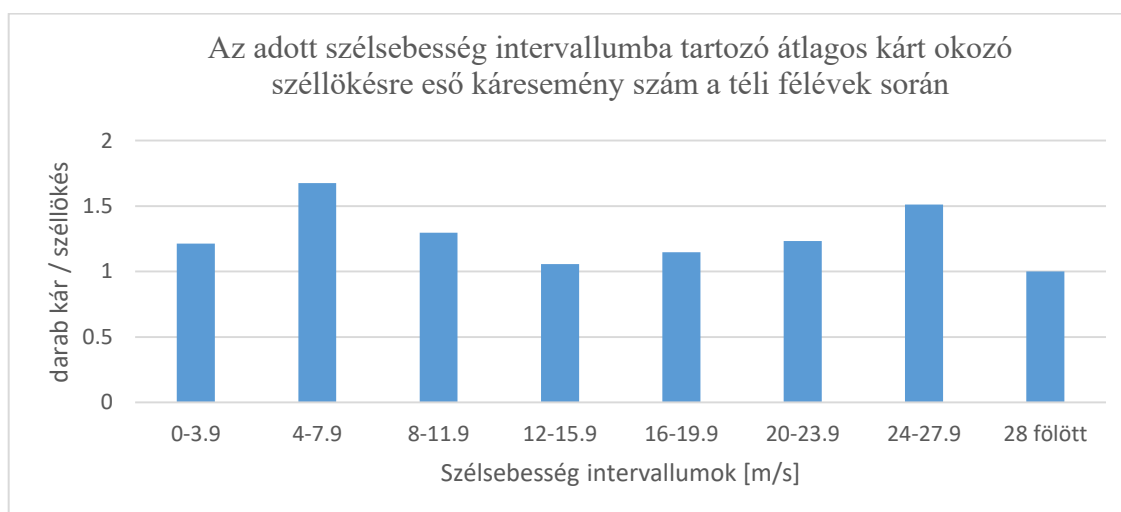
szélsebességekre volt szükség, mint a vegetációs időszak során bekövetkező ugyanilyen káreseményekhez.

Ha ezt alátámasztandóan megvizsgáljuk, hogy az adott sebességintervallumba eső egy-egy kárt okozó szellőkés átlagosan hány fakidüléshez vezet, akkor a nyári félévek tekintetében egy, a 9. ábrán bemutatott növekvő tendenciát kapunk.



9. ábra: Az adott szélsebesség intervallumba tartozó átlagos kárt okozó szellőkésre eső káresemény szám a nyári félévek során.

Ugyanennek a mutatónak a téli féléves vizsgálata során első ránézésre már korántsem tűnik ennyire egyértelműnek a 10. ábra, mivel azon már két maximum jelenik meg.



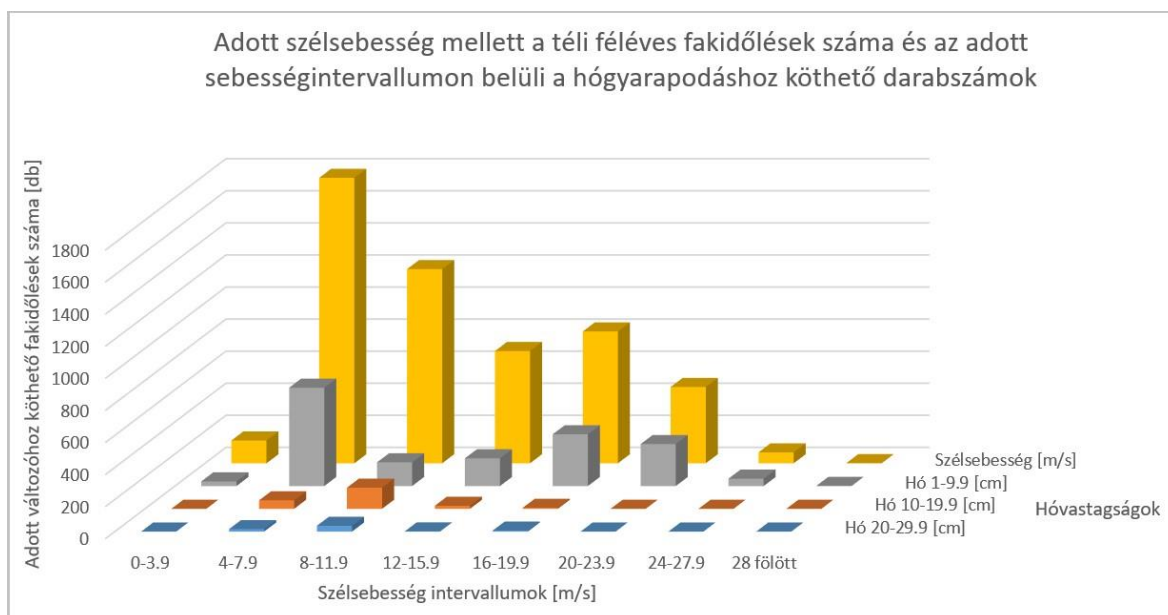
10. ábra: Az adott szélsebesség intervallumba tartozó átlagos kárt okozó szellőkésre eső káresemény szám a téli félévek során.

Ezek közül a második maximum a 24 és 28 m/s közötti szélsebesség értékek esetén látható, és itt egy darab kárt okozó szellőkésre átlagosan 1,51 fakidülés jut.

Összehasonlításképp, a nyári féléves adatsorban a 16 és 20 m/s közötti intervallum egy darab kárt okozó szellőkése átlagosan 1,54 fakidölést eredményez. Ez arra enged következtetni, hogy a nyári félévben a lombkoronának köszönhetően kisebb szélességek is elegendőek fajlagosan ugyanannyi káresemény bekövetkezéséhez.

Felmerül a kérdés, hogyha a téli félévben magasabb szélességekre van szükség a fakidölések bekövetkezéséhez, akkor vajon miért a 4 és 8 m/s-s tartományban jelentkezik a téli féléves fakidölések esetén az egy szellőkésre jutó káresemények abszolút maximuma. Ennek a problémának a magyarázata az, hogy a fakidölések háttérben a szélességen kívül lennie kell egy másik tényezőnek, ami befolyásolja a káresemények bekövetkezésének valószínűségét. Ez a másik tényező jó eséllyel a fákra rakódó hó és jégréteg okozta súlynövekedés.

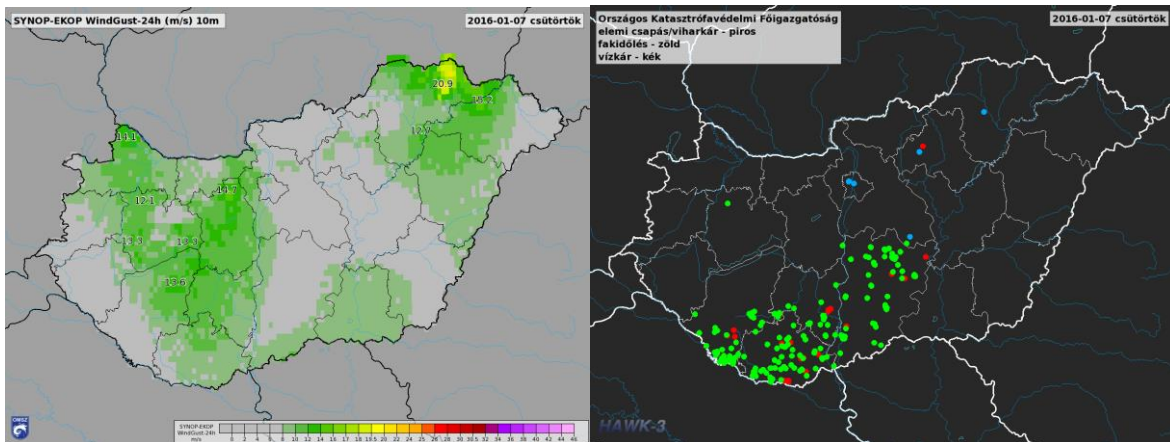
Ennek igazolása érdekében az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisának mért hóvastagság adataival vetettük össze a káreseményeket. A 11. ábra azt mutatja be, hogy adott szélességek mellett bekövetkező téli féléves fakidölések 35 km-es sugarú környezetében mekkora hógyarapodást mértek az adott napon.



11. ábra: A téli félévek során az adott szélesség intervallumba tartozó fakidölések száma és ezen belül a hó gyarapodáshoz köthető káresemények mennyisége.

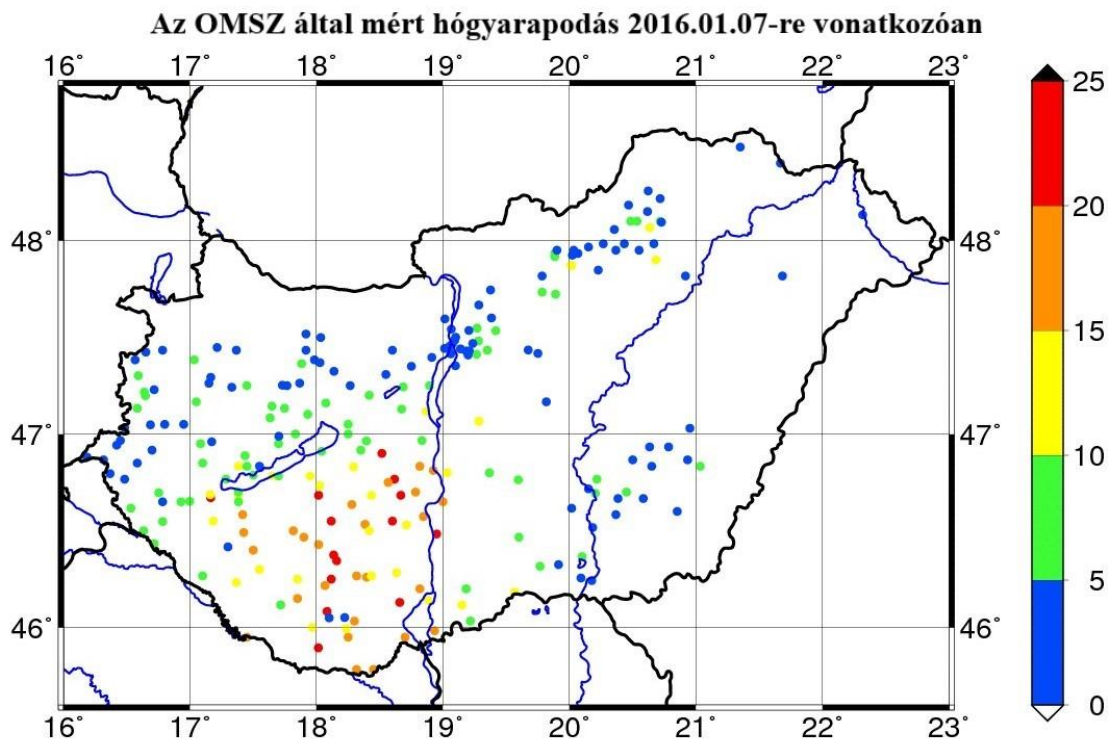
A 16 m/s-ál alacsonyabb szélességek mellett bekövetkező fakidölések esetén az egyes sebességintervallumokba tartozó káresemények 20, 38, 26 és 27%-hoz sikerült 35 km-es sugarú körön belül az adott napon hógyarapodást rendelni, azonban ezek egy részénél a hógyarapodás nem éri el az 5 cm-t, így a károkat okozó hógyarapodás részaránya valószínűleg ennél alacsonyabb.

A hógyarapodás okozta károk meghatározására jó példa 2016.01.07-i időjárás, amikor 8-10 m/s-s napi maximális szélesség mellett Dél-Magyarországról 229 fakidölést jelentettek be, miközben a térség jelentős részén több mint 15 cm friss hó esett.



12. ábra: Az EKOP adatbázis napi maximális szélökéstérképe (balra) valamint az OKF-hoz beérkező kárbejelentések alapján készült káresemény térkép 2016.01.07-re vonatkozóan (jobbra). A zöld körök a fakidöléseket, a kékek a vízkárokat, míg a pirosak az elemi csapásokat jelzik. (Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)

A 12. ábrán az EKOP adatbázis napi maximális szélökéstérképe és az OKF kárbejelentései alapján készült térkép látható. Bács-Kiskun megye északi részéről is érkeztek kárbejelentések, azonban a térségben sem szignifikáns erősségű szélökés, sem pedig jelentős mennyiségű hógyarapodás nem volt megfigyelhető, mint ahogy azt a 13. ábra is szemlélteti. A megelőző napon Paksról érkezett ónos eső jelentés és több mint 22 mm csapadék hullott le a térségben, ezért elképzelhető, hogy a fakidölések a hó és az ónos eső okozta terhelés együttes következményeként következtek be. A délnyugat magyarországi káresemények egy része szintén magyarázható egy ilyen kombinált hatással, ugyanis Pécssett is több mint 12 mm csapadék hullott a megelőző napon, és ónos eső észlelés is érkezett a pogányi állomásról.



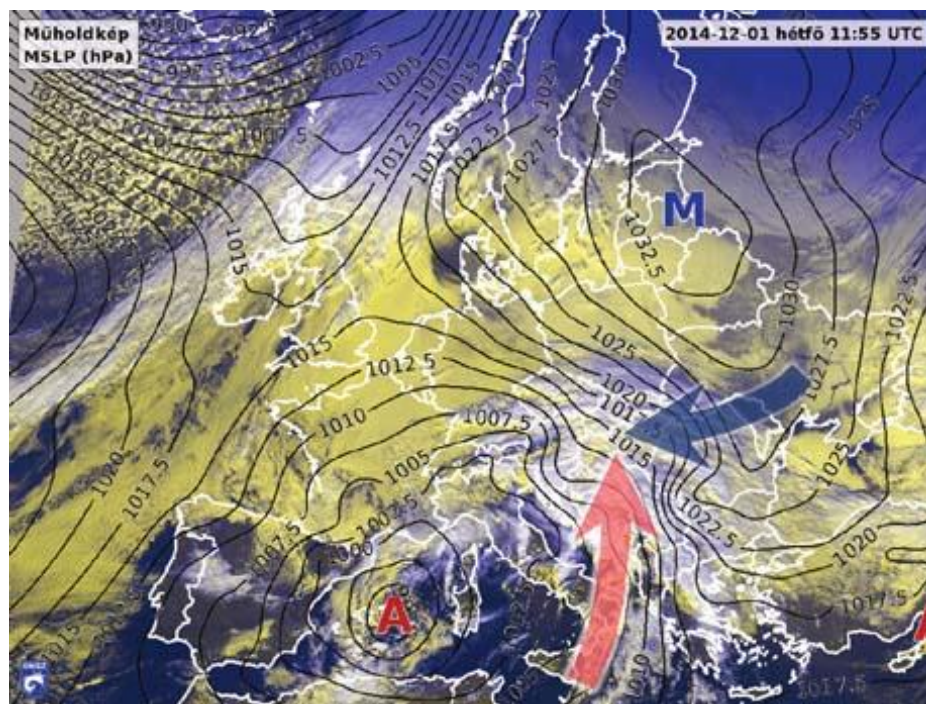
*13. ábra: Az OMSZ mérőhálózatából származó hógyarapodás értékek eloszlása a térképen 2016.01.07-re vonatkozóan.*

Az ónos eső okozta jéglerakódás a hóvastagsághoz hasonlóan szintén többletterhelést okoz a faágakon, és a súlynövekedés következtében károk keletkezhetnek a faállományban. Ennek vizsgálatára az OMSZ ónos eső észleléseit használtuk fel úgy, hogy minden egyes téli féléves fakidüléshez hozzárendeltük az 50 km-es sugarú környezetéből az aznapi legközelebbi ónos eső észlelést. A mérés reprezentativitási területének megnövelésére azért volt szükség, mert a 27432 hóvastagság méréssel szemben a vizsgált időszakban mindössze 72 ónos eső észlelés történt. A vizsgálat eredményeképp mindössze 48 darab téli féléves fakidulás esetén sikerült lehetséges kiváltó okként az ónos esőt azonosítani, ami önmagában messze nem lenne elegendő az alacsony szélességek mellett bekövetkező, hógyarapodással nem magyarázható káresemények igazolásához. Ez az alacsony esetszám azonban nem abból ered, hogy az ónos esők következtében kevés káresemény következne be, sokkal inkább a ritka észlelésekben és a terhelés növekedés nem azonnali hatásában kell keresni a hibát. Az alkalmazott módszer segítségével sikerült olyan dátumokat azonosítani, amikor tömeges fakidulésekről érkeztek bejelentések az észlelés reprezentativitási környezetéből. A legkirívóbb eset a 2014. december elsejei ónos esős helyzet, ami komoly károkat okozott elsősorban a Gödöllői-dombság és a Budai-hegység valamint a Pilis területein.



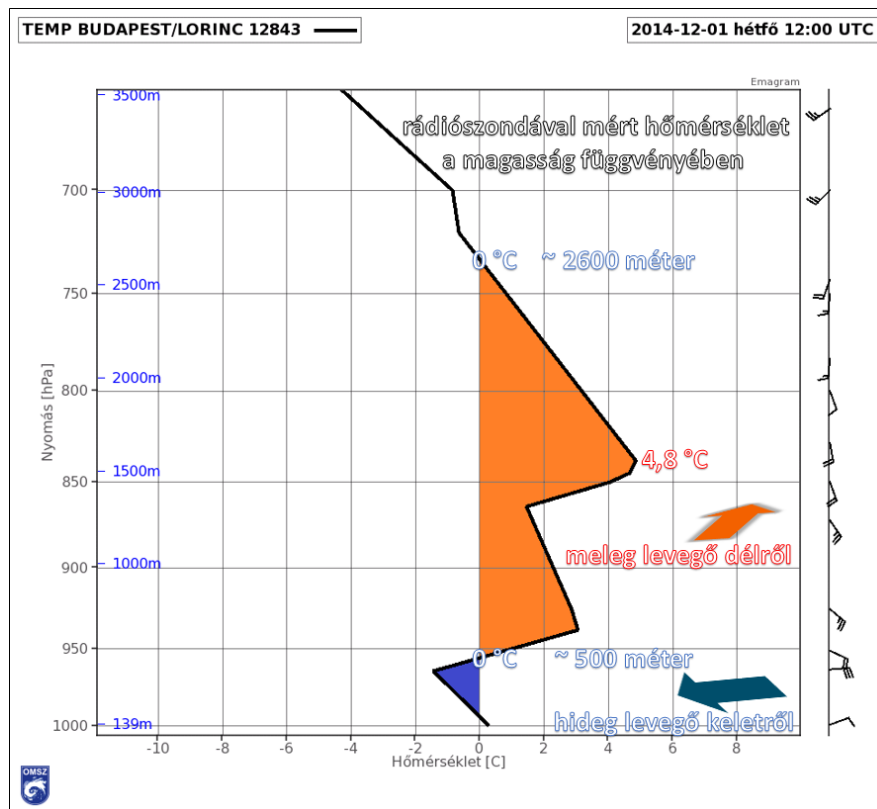
#### 4.1.1. A 2014. december 1-i ónos eső hatásai

A 2014. december 1-ét megelőző napokban egy, a Kárpát-medencétől északkeletre elhelyezkedő anticiklon alakította hazánk időjárását, aminek köszönhetően kelet-északkelet felől szibériai eredetű hideg levegő áramlott az ország középső területei fölé (14. ábra). A Földközi-tenger nyugati medencéjébe egy nagy kiterjedésű ciklon helyeződött, aminek az előoldalán szubszaharai eredetű meleg, nagy nedvességtartalmú légtömegek tartottak Közép-Európa felé.



14. ábra: A 2014.12.01. 11:55 UTC-re vonatkozó műholdkép és az alacsony és a magas nyomású légörvények elhelyezkedése. Az északkelet felől érkező hideg és a délies meleg áramlást a nyílak szimbolizálják. (Forrás: Kolláth et al., 2015)

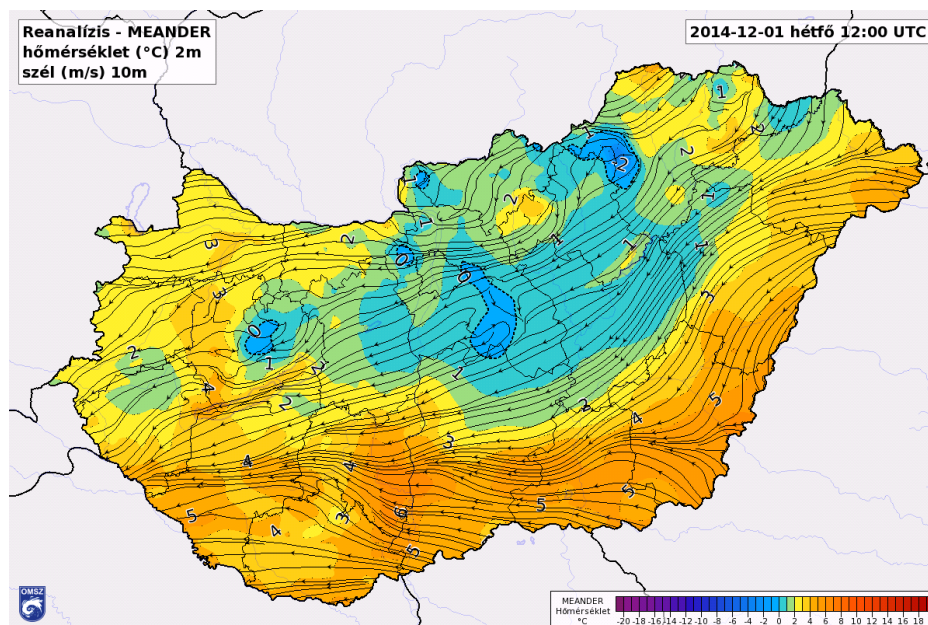
A hidegbeáramlásnak köszönhetően a megelőző napokban már jelentős mennyiségű zúzmara képződött a hegységekben. A ciklon markáns melegfrontjának és az alacsonyszinten beáramló hideg levegőnek köszönhetően vastag légrétegre kiterjedő inverziós rétegződés alakult ki, ami a melegfront nagymennyiségű csapadékával megteremtette az ideális feltételeket az ónos eső kialakulásához. Ahogy a 15. ábrán is látható, a légkör alsó pár száz méteres tartományában, az Északi-középhegység tájain körülbelül az alsó 600 méteren, fagypont alatt volt a levegő hőmérséklete, de a 950 hPa-os szint felett a délies meleg áramlásnak köszönhetően egy több mint 2 km vastag pozitív hőmérsékletű réteg helyezkedett el.



15. ábra: A légkör vertikális hőmérsékleti rétegződése 2014.12.01-én 12:00 UTC-kor Budapesten. (Forrás: Kolláth et al., 2015)

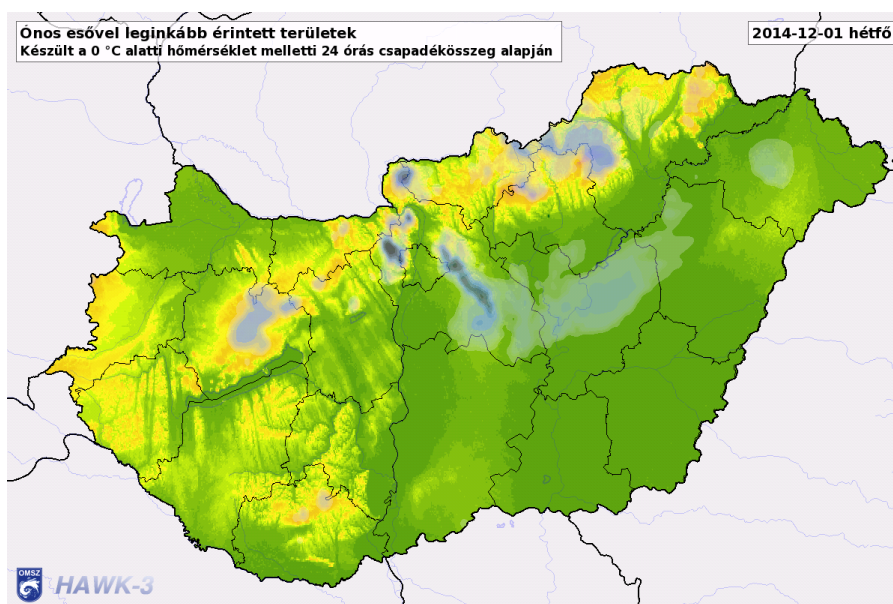
Allaga és munkatársai 2016-os tanulmánya szerint a feltételes szimmetrikus instabilitás és a gyenge szimmetrikus stabilitás a magasban erős, ferde feláramlások kialakulásához vezetett. A feláramlások következtében igen intenzív csapadékképződés zajlott annak ellenére, hogy a vertikális hőmérsékleti rétegződés többnyire stabil volt a térségben. A záporos csapadék a vastag pozitív hőmérsékletű réteget biztosan víz halmazállapotú cseppek formájában hagyta el, és az alsó hideg légtömegben túlhűlt állapotba kerülhetett, illetve a fákra, tereptárgyakra fagyott.

Ahogy a Meander analízis ábráján is látható (16. ábra), a Bükkben, a Börzsönyben, a Gödöllői-dombság területén és a Pilisben, valamint a Budai-hegység egyes részein fagypont alatti hőmérséklet mellett az eső azonnal ráfagyhatott a tereptárgyakra és a fákra. Több helyen az is jellemző volt, hogy a talajfelszín, illetve az útburkolat hőmérséklete még kevéssel fagypont felett alakult, de a levegővel érintkező faágak és tereptárgyak intenzíven jegesedtek.



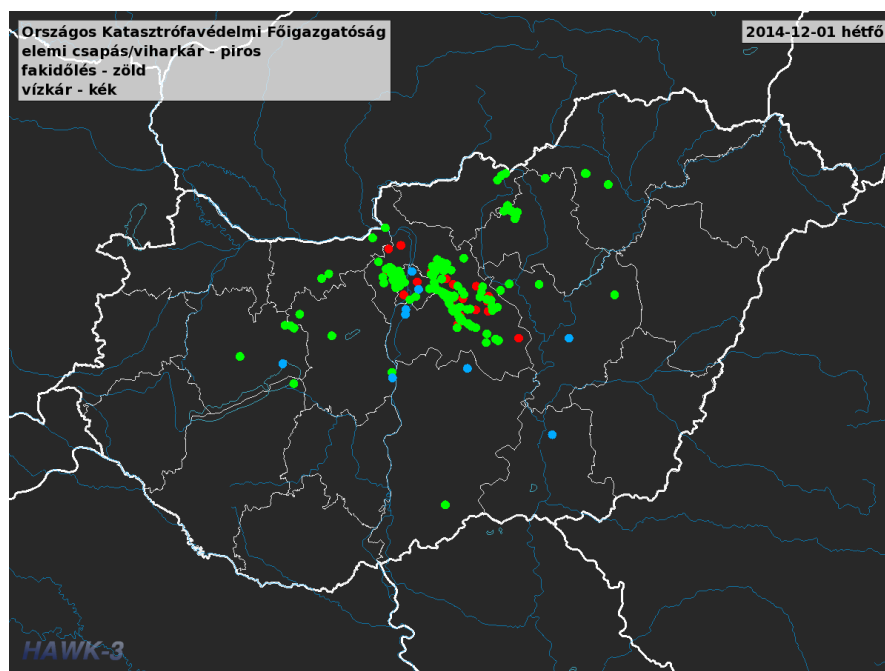
16. ábra: A Meander analízis térképe a 2 méteres hőmérsékletről és a 10 méteres áramvonalakkal 2014.12.01. 12:00 UTC-re vonatkozóan. A térképen jól kirajzolódnak a  $0^{\circ}\text{C}$  alatti felszíni hőmérséklettel rendelkező területek, ahol az ónos csapadék jelentős károkat okozott. (Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)

A nap folyamán lehullott nagymennyiségű záporos csapadék mennyisége helyenként megközelítette a sok évi decemberi átlagos csapadékösszeget. A negatív hőmérsékletek mellett hulló csapadék reanalízis ábráján (17. ábra) jól kirajzolódnak az ónos esővel leginkább érintett, 300 és 800 méter tengerszint feletti magasság között elhelyezkedő területek (Kolláth et al., 2015).



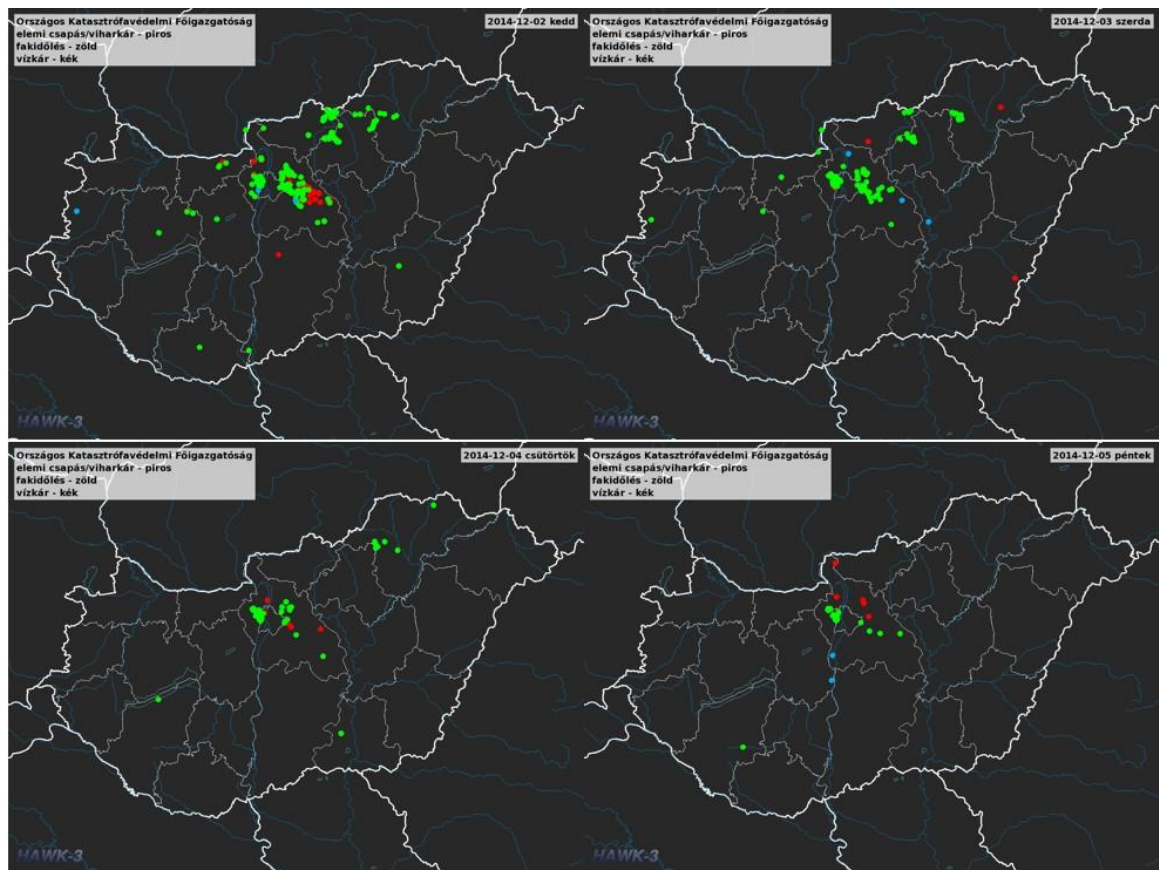
17. ábra: Az ónos csapadékkal leginkább érintett területek elhelyezkedésének becslése a  $0^{\circ}\text{C}$  alatti hőmérséklet mellett hulló csapadék alapján. (Forrás: Kolláth et al., 2015)

Ezeknek a területeknek az elhelyezkedése körülbelül egybeesik a lakossági kárbejelentések térbeli elhelyezkedésével (18. ábra). December elsején 304 kárbejelentés érkezett a katasztrófavédelemhez, ezek közül 46 darab volt elemi csapás, 9 darab volt vízkár és 249 fakidölést jelentettek be. A vízkárokat a jelentős mennyiségű csapadék okozhatta, azonban az elemi csapásokért és a fakidölésekért nagy valószínűséggel az ónos eső volt a felelős. Összehasonlításképp, a 2014. december elsejei fakidölések közül mindössze 26 darab esetén sikerült az alkalmazott távolságalapú hozzárendeléssel az észlelések 50 km-es sugarú körén belül az ónos esőt, mint a káresemény lehetséges kiváltó okát azonosítani. Ennek hátterében az áll, hogy csupán a kékestetői állomásról jelentettek a nap folyamán ónos esőt. Ezt a 26 darab december elsejei kárbejelentést az esettanulmány segítségével 249-re sikerült növelni.



18. ábra: Az OKF-hoz beérkező kárbejelentések alapján készült káresemény térkép 2014.12.01-re vonatkozóan. A kárbejelentések elhelyezkedése jó egyezést mutat az ónos csapadékkal leginkább érintett területek becsült elhelyezkedésével. A zöld körök a fakidöléseket, a kékek a vízkárokat, míg a pirosak az elemi csapásokat jelzik.  
(Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)

A következő napok eseménytelen időjárása, valamint a kárbejelentések földrajzi elhelyezkedése arra enged következtetni, hogy a következő napokban beérkező bejelentések is az ónos esős helyzethez köthetők. December 2-a és 5-e között további 963 kárbejelentés érkezett (19. ábra), így az ónos eső következtében több mint 1200 helyre kellett kivonulnia a katasztrófavédelemnek. A legalább 5 napig elhúzódó kárelhárítás során 159 elemi csapáshoz, 17 vízkárhoz és 1091 fakidöléshez riasztották a tűzoltókat.

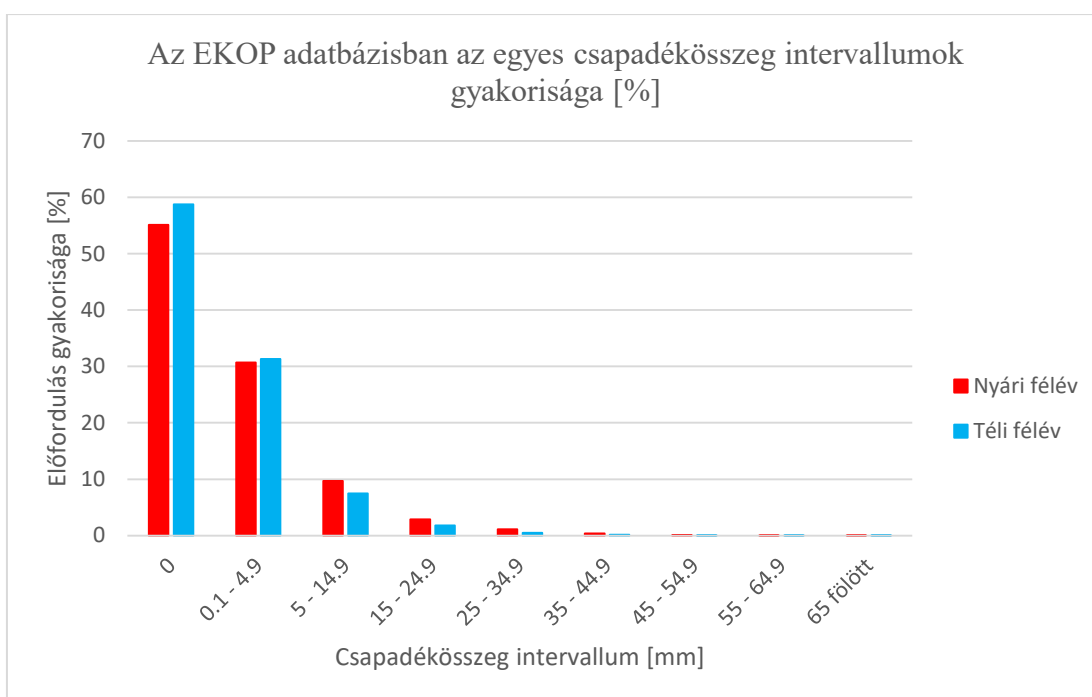


19. ábra: Az OKF-hoz beérkező kárbejelentések alapján készült káresemény térkép a 2014.12.02-a és 2014.12.05-e közötti időszakra vonatkozóan (bal felső 2-a, jobb felső 3-a, bal alsó 4-e, jobb alsó 5-e). A zöld körök a fakidöléseket, a kékek a vízkárokat, míg a pirosak az elemi csapásokat jelzik.  
(Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)

A fent említett 1091 fakidölés között nyilvánvalóan vannak olyan esetek, melyek során az ónos eső és a szél kombinált hatása érvényesült, de összességében elmondható, hogy az esettanulmány segítségével a távolság alapú hozzárendelési módszernél több nagyságrenddel nagyobb kármennyiség valószínű kiváltó okaként sikerült az ónos esőt azonosítani.

## 4.2. A vízkár káresemények vizsgálata

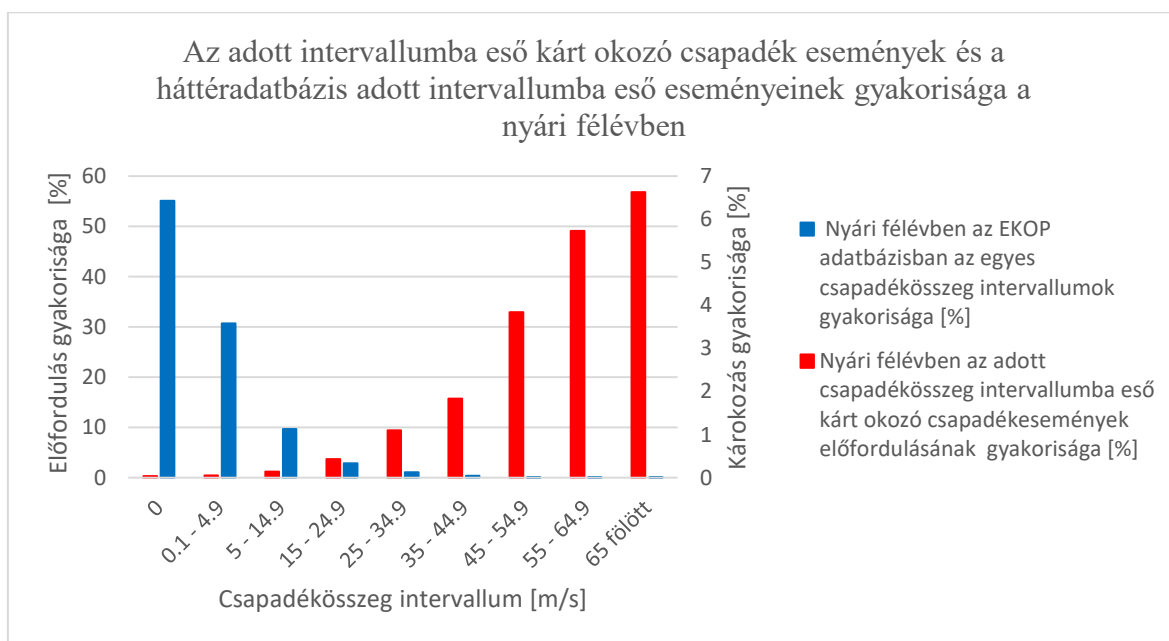
A vízkárok vizsgálatához az EKOP adatbázis napi csapadékösszeg értékeit használtuk fel. Sajnos a NetCDF fájlok csak 2014.06.01-től kezdődően tartalmazzák a változót, így a vizsgálatot csak a 2014.06.01. és 2017.09.30. közötti időszakra tudtuk elvégezni. Ez idő alatt a katasztrófavédelemhez 6649 olyan kárbejelentés érkezett, melyeket a vízkárok kategóriába soroltak. A 20. ábra a háttéradatbázisban tárolt rácsponti csapadékösszegek intervallumok közötti eloszlását mutatja be. A 0,1-4,9 mm napi csapadékösszeggel rendelkező rácspontokat azért különböztettük meg, mivel ekkora csapadékösszeg mellett még igen intenzív csapadékhullás esetén sem vártunk jelentős mennyiségű káreseményt.



20. ábra: Az EKOP adatbázisban a rácsponti napi csapadékösszeg értékek eloszlása a 2014.06.01.-2017.09.30. időszak alatt. Az 5 mm alatti napi csapadékösszegek kevesebb, mint 1%-al gyakrabban fordulnak elő a téli félévek során, azonban az 5 és 15 mm közötti csapadékösszegek több mint 2%-al gyakoribbak a nyári félévek alatt.

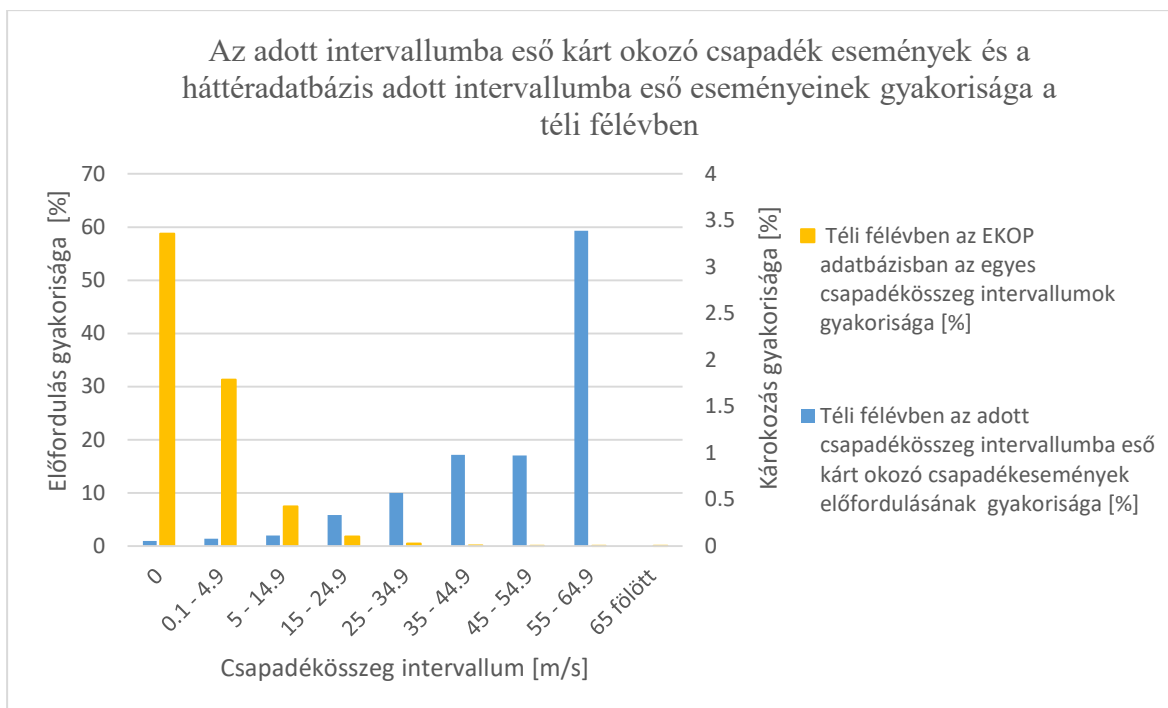
Jól látható, hogy a 0 mm-es tartományban van mind a nyári, mind pedig a téli féléves csapadékeloszlás maximuma. A vizsgált időszakban a nyári félévek során az EKOP rácspontok 44,9%-ában volt egy adott napon minimum 0,1 mm csapadék a téli félévek 41,3%-ával szemben, valamint szinte minden intervallumban nagyobb a nyári félévekhez tartozó előfordulási gyakoriságok értéke. Ezek alapján az átlagos nyári félévek csapadékosabbak a téli féléveknél, így az EKOP adatbázis jól tükrözi Magyarország klimatikus viszonyait.

A nyári félévek során az 5 és 15 mm közötti csapadékösszegekhez képest a 35-45 mm intervallumba eső események 10-szer, míg a 45 mm-t meghaladó csapadékösszegek már több mint 25-ször gyakrabban okozhatnak károkat, igaz, a nagyobb csapadékösszegek szerencsére jóval ritkábban is fordulnak elő (21. ábra).



21. ábra: A rácsponti napi csapadékösszeg értékek eloszlása az EKOP adatbázisban és a károkat okozó csapadékmennyiségek előfordulási gyakorisága az adott csapadékösszeg intervallumban a nyári félévek során.

A téli félévek tekintetében a csapadékösszegek növekedésével ugyan nő az egyes intervallumokban a károkat okozó események relatív gyakorisága, de a nyári félévek értékeihez képest a szélsőségekhez hasonlóan itt is jóval kisebb számokról beszélhetünk (22. ábra). Ez alól talán csak az 55-65 mm-s tartomány jelent kivételt, mert itt a károkozás gyakoriságában egy jelentős ugrást tapasztalhatunk, ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy ez a vizsgált 18 hónapban összesen 4 darab kárt okozó eseményt jelent, amikhez kapcsolódóan összesen 6 kárbejelentést tettek.



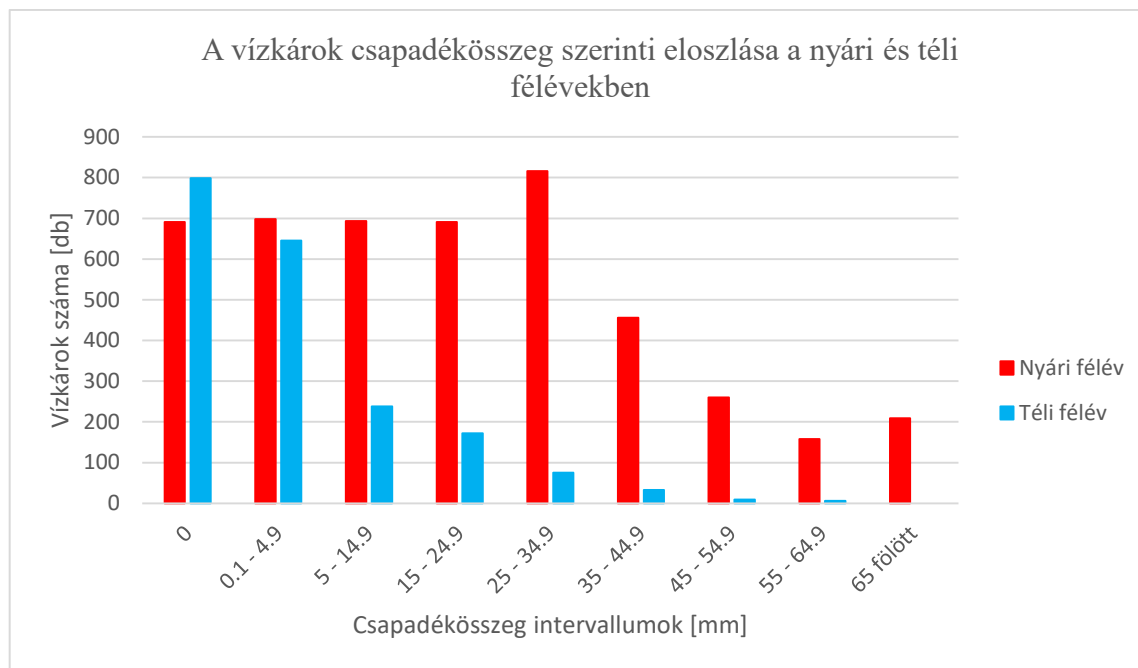
22. ábra: A rácsponti napi csapadékösszeg értékek eloszlása az EKOP adatbázisban és a károkat okozó csapadékmennyiségek előfordulási gyakorisága az adott csapadékösszeg intervallumban a téli félévek során.

Feltűnő, hogy 65 mm napi csapadékösszeg felett egyetlen kárt okozó eseményt sem találunk. Ennek oka lehet, hogy a vizsgált időszak alatt összesen 14 olyan rácspont fordult elő, ami Magyarország területén ekkora csapadékösszeggel rendelkezett, de ezek vagy lakott területeken kívül helyezkednek el, vagy a lehulló nagymennyiségű csapadék villámárvizeket okozott, ekkor azonban az elemi csapás – viharok kategóriába kerülhettek a káresemények.

A nyári és a téli félévek tekintetében is elmondható, hogy nagyon magas részarányal vannak jelen az alacsony napi csapadékösszegek mellett bejelentett vízkárok. A 23. ábrára tekintve szembetűnő, hogy a 0 mm-es tartományba esik a nyári féléves káresemények közel 15, míg a téli féléves esetek több mint 40%-a. Ennek az ellentmondásnak az oka egyrészt a káresemény adatokban rejlik, miszerint a vízkárok kategóriába nem csak az OMSZ hatáskörébe tartozó események következtében kialakuló káresemények kerülhetnek, hanem egyéb, csapadékhullással és vízzel kapcsolatos eseményeket is (árvíz, belvíz, jégzajlás, csőtörés) ide sorolhatunk (példát lásd a Függelékben). A bejelentett káresemények egy jelentős részénél magyarázat lehet az időben elhúzódó kárbejelentési periódus, miszerint nem feltétlenül a kár bekövetkezésének napján kerül sor a káresemény bejelentésére, ekkor viszont a vizsgálati módszer hibája okozza az eltéréseket. Ha vizsgálati módszer e hibáját a jövőben sikerül kiküszöbölnünk, vagy legalábbis jelentős mértékben csökkentenünk, akkor várhatóan csökken majd az alacsony csapadékösszegek mellett előforduló károk mennyisége



és ezzel egyidejűleg növekszik majd a magas napi csapadékösszegekhez tartozó káresemények darabszáma.

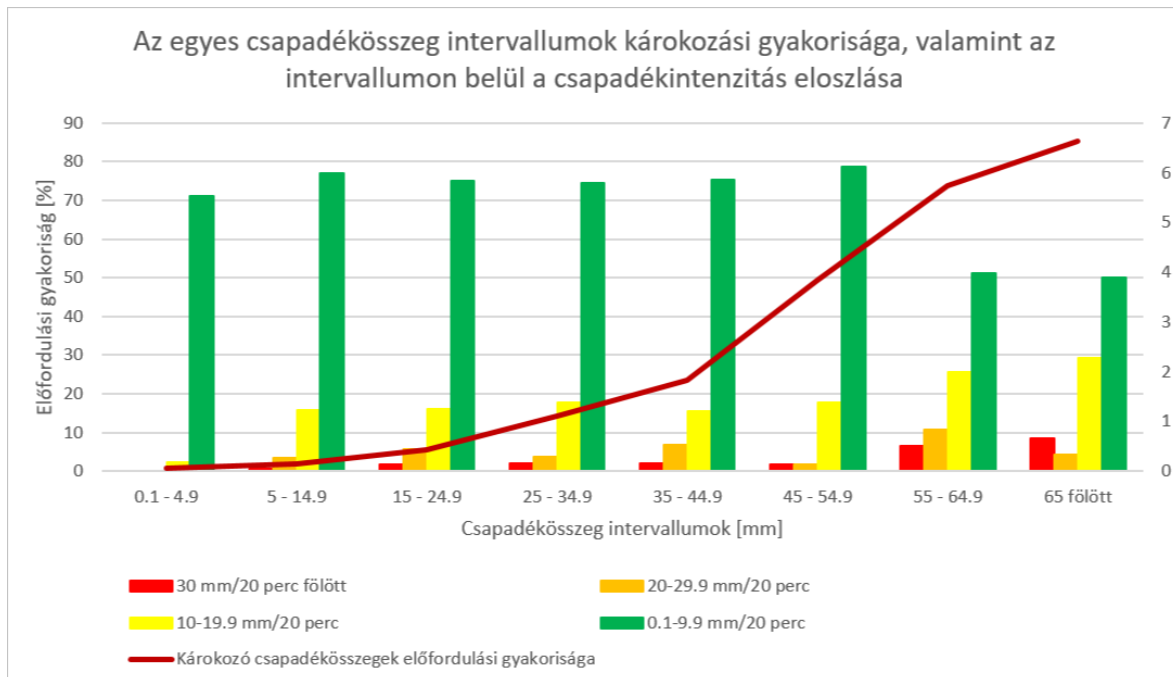


23. ábra: A vízkárok csapadékösszeg intervallumok szerinti eloszlása a nyári és a téli félévek során.

A tendenciákat tekintve elmondható, hogy téli félévek esetén jóval alacsonyabb a nagyobb csapadékösszegek mellett előforduló káresemények száma, mint a nyári félévek során. A tendenciák eltérésén a vizsgálati módszer megváltoztatása valószínűleg nem változtatna túl sokat, hiszen a hosszan elhúzódó kárbejelentési periódusok gyakori jelenségek a nyári félévek során a heves időjárási eseményeknek köszönhetően. Fontos azonban megjegyezni, hogy alacsonyabb csapadékösszegek mellett is kialakulhatnak káresemények, hiszen ezek bekövetkezését a lehullott csapadék összegén túl annak intenzitása is befolyásolja.

A 24. ábrán a nyári félévek során károkat okozó napi csapadékösszegek eloszlása látható, valamint az, hogy az adott intervallumba tartozó rácsponti értékek milyen csapadékintenzitások mellett fordultak elő. A napi csapadékösszeg növekedésével a 10 mm/20 perc értéket meghaladó napi maximális csapadékintenzitás értékek is jellemzően növekvő tendenciát mutatnak. Az 5 és 15 mm közötti napi csapadékösszeg intervallumban elhelyezkedő rácsponti értékek közel 20 %-ának esetében a napi maximális 20 perces csapadékintenzitás 10 mm/20 perc feletti értéket vesz fel, ami már elegendő lehet káresemények kialakulásához. Az 5 mm alatti csapadékösszegek jellemzően 10 mm/20 perc napi maximális csapadékintenzitás érték alatt fordulnak elő, így nem valószínű, hogy rövid

idő alatt olyan mennyiségű csapadékvíz gyűlne össze a felszínen, ami káresemények kialakulásához vezetne.



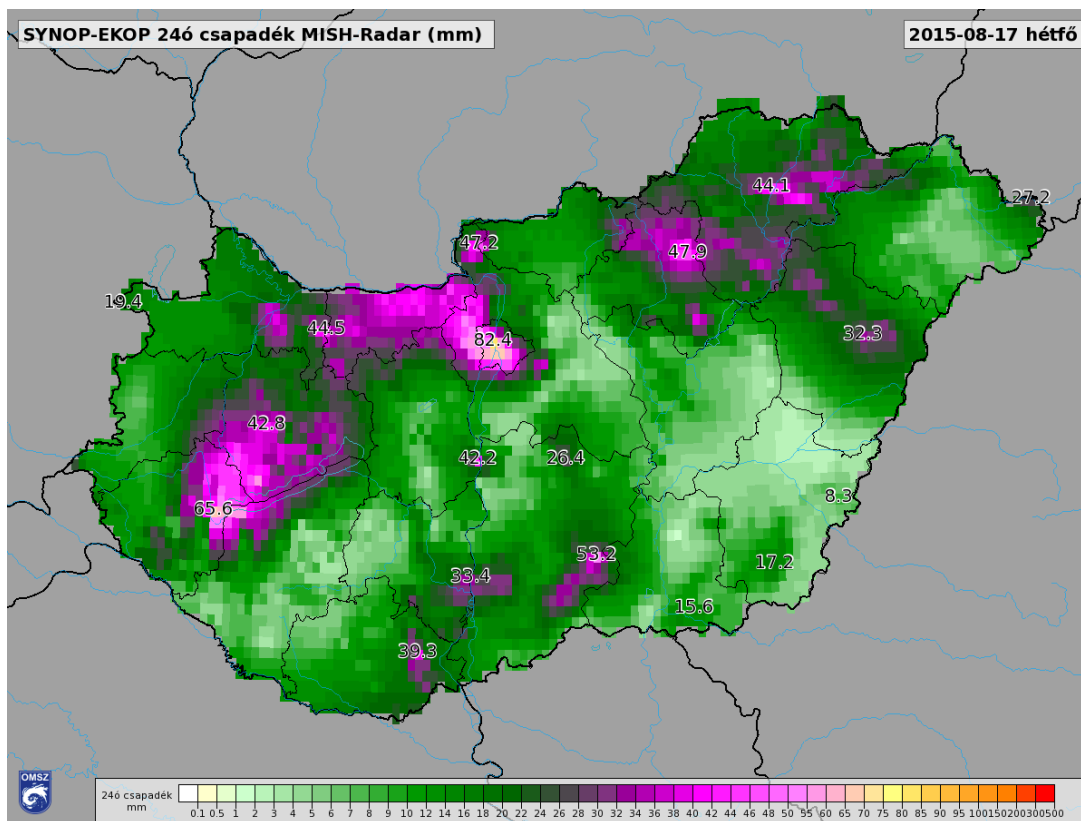
24. ábra: A nyári félévben károkat okozó csapadékösszegek előfordulási gyakorisága a háttéradatbázisban, valamint az adott intervallumon belül a csapadékintenzitások eloszlása.

A csapadékintenzitások előfordulási gyakorisága nem minden esetben adja ki a teljes 100 %-ot, mivel még az adatok előállítása során kiszűrjük az irreálisan kicsi és az irreálisan nagy értékeket, ezek helyére pedig a hibás értéket jelző kód kerül az adatállományba. Fontos megjegyezni, hogy a vízkárok bekövetkezését a lehullott csapadék mennyiségén és intenzitásán túl a felszínborítottság is befolyásolja.

#### 4.2.1. A 2015. augusztus 17-i zivatarok hatásai

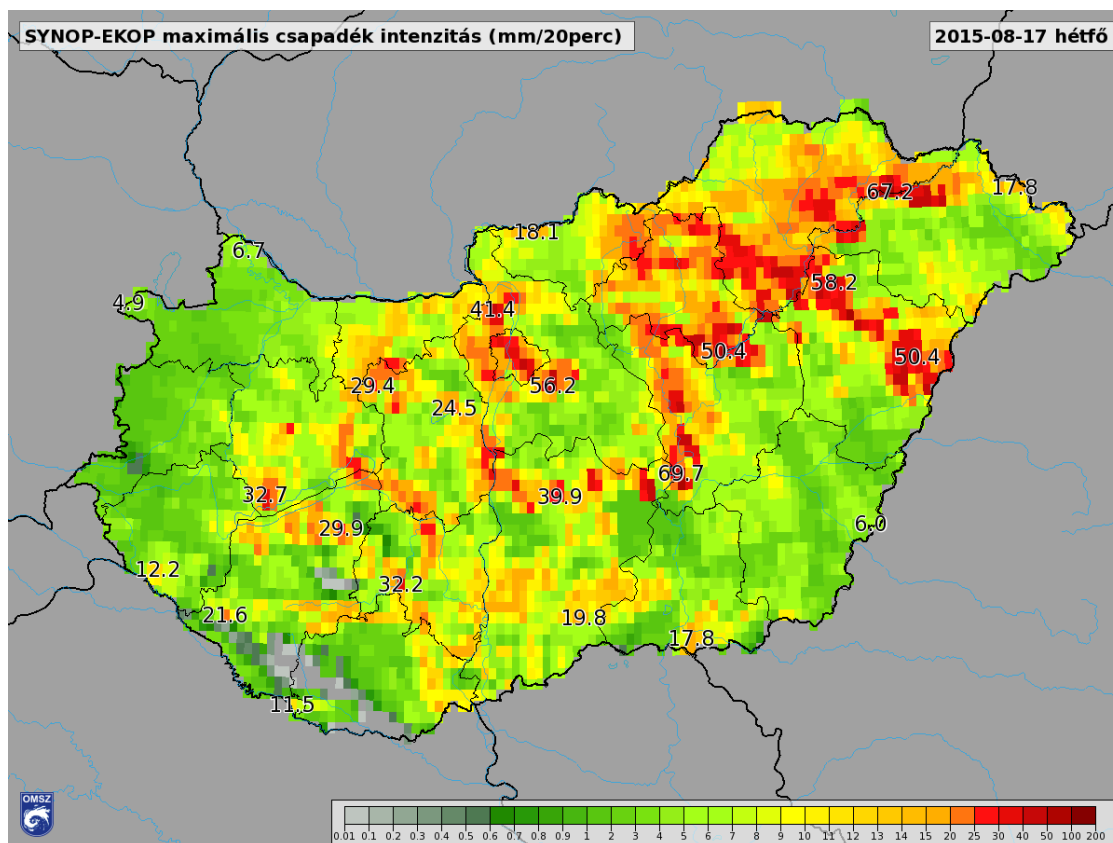
2015.08.17-n egy hullámzó frontzóna érte el a Kárpát-medencét, aminek a meleg szektorában heves zivatarok keletkeztek, és az észak-északnyugat felé elhelyezkedő alacsony nyomású központ felé helyeződtek át a vezető áramlással. A zivatarok a Dunántúlon sok helyen 30 mm feletti csapadékösszeget produkáltak, de helyenként az 50, sőt a Balaton nyugati partján a 60 mm-t is meghaladta a lehullott csapadék mennyisége. Budapesten 17-n 70-80 mm csapadék hullott több mint 40 mm/20 perc napi maximális csapadékintenzitás mellett (25. ábra). A budapesti mérőállomások 24 órás csapadékösszegei

csak Újpesten és Ferihegyen nem érték el a 30 mm-t, Lágymányoson 80,2, míg Budapest belterületén 112,4 mm-t mértek.



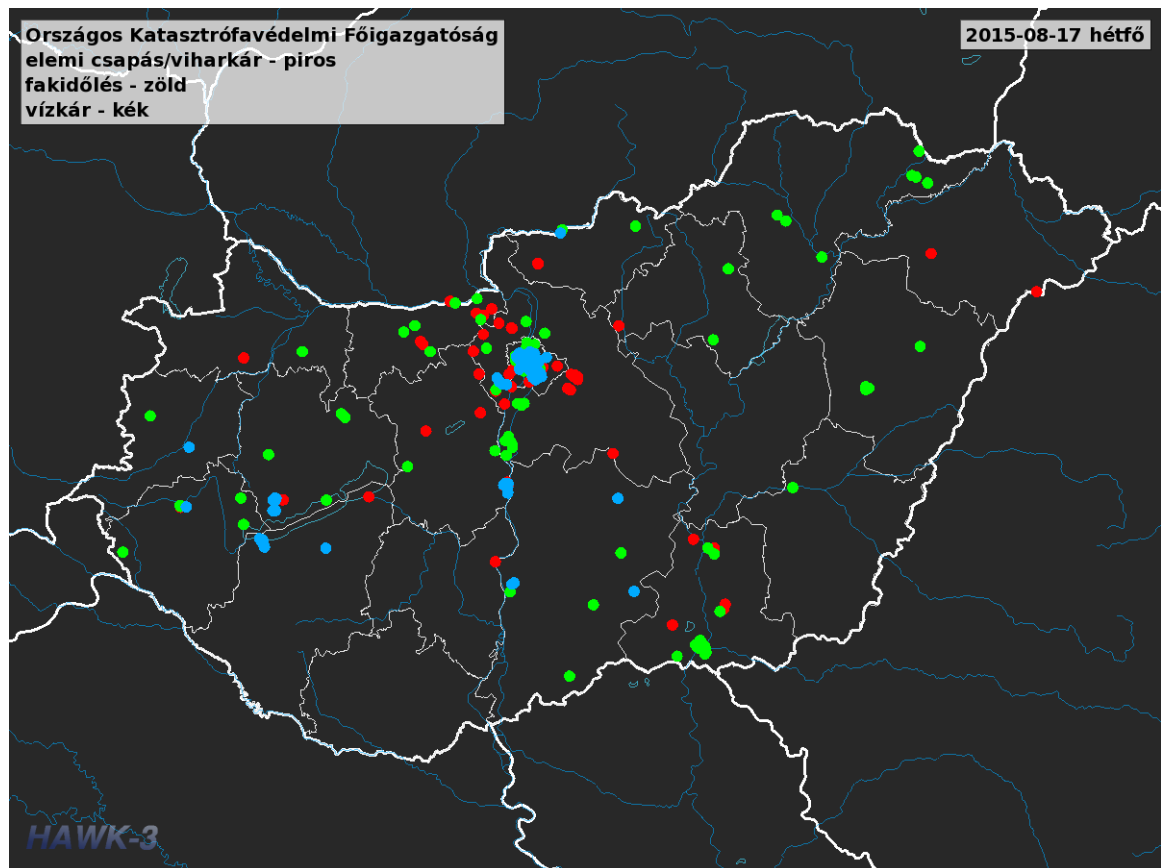
25. ábra: A 24 órás csapadékösszeg eloszlása Magyarországon 2015. augusztus 17-n az EKOP adatbázisban. (Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)

A Balaton nyugati partja mentén a magas napi csapadékösszeget a hosszantartó csapadékhullás eredményezte, a térség napi maximális csapadékintenzitása elmaradt a budapesti és az Északi-középhegység lábánál mért értékektől (26. ábra). A Budapestről érkező nagymennyiségű vízkárbejelentés háttérében a nagymennyiségű és intenzív csapadék mellett a felszínborítottság is szerepet játszott. A növényzet hiánya és a mesterséges burkolatok a városokban gátolják a csapadékvíz talajba szivárgását, emiatt nagymennyiségű víz halmozódik fel a felszínen, amit ha a csatornahálózat nem képes elvezetni, villámárvíz kialakulásához vezethet. Hasonló csapadékösszeggel és intenzitással rendelkező zivatarok az ország más tájain jellemzően jóval kevesebb bejelentett káresemény kialakulását okozzák, bár erre pontos becslést adni nehéz, hiszen a lehullott csapadék következtében kialakuló áradásokat sokszor az elemi csapás – viharok kategóriába sorolják. A fent említett tényezőkön kívül fontos, a bejelentett káresemények számát befolyásoló tényező az adott terület népsűrűsége is, hiszen egy ritkán lakott területről potenciálisan sokkal kevesebb kárbejelentést várhatunk.



26. ábra: A napi maximális 20 perces csapadékintenzitás eloszlása Magyarországon 2015. augusztus 17-n az EKOP adatbázisban.  
(Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)

A 27. ábrán bemutatott kárbejelentés térképen is megmutatkozik a népsűrűség és az eltérő felszínborítottság hatása a vízkárok elhelyezkedését és mennyiségét tekintve. Érkeztek vízkárokról szóló jelentések a Balaton nyugati medencéjének térségéből (6 darab) valamint Dunaújvárosból is (3 darab), ám ezek száma jóval elmaradt a budapesti esetekétől (177 darab). A heves zivataroknak köszönhetően még másnap is érkeztek kárbejelentések a katasztrófavédelemhez, az Északi-középhegység térségéből további 6 vízkárt és 4 elemi csapást, míg a Balaton nyugati partjáról 1 vízkárt és 1 elemi csapást, Dunaújvárosból pedig 3 újabb vízkárt jelentettek be, miközben Budapestről további 75 vízkárról és 59 elemi csapásról érkezett bejelentés. A budapesti csapadéktevékenység hatását jól szemlélteti, hogy ezek a zivatarok vezettek a Fővám tér útburkolatának beszakadásához, melynek háttérében a nagymennyiségű csapadékvíz lokális beszivárgása állhat.



27. ábra: Az OKF-hoz beérkező kárbejelentések alapján készült káresemény térkép 2015.08.17-re vonatkozóan. A zöld körök a fakidőléseket, a kékek a vízkárokat, míg a pirosak az elemi csapásokat jelzik. (Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)

### **4.3. Az elemi csapás – viharkár káresemények vizsgálata**

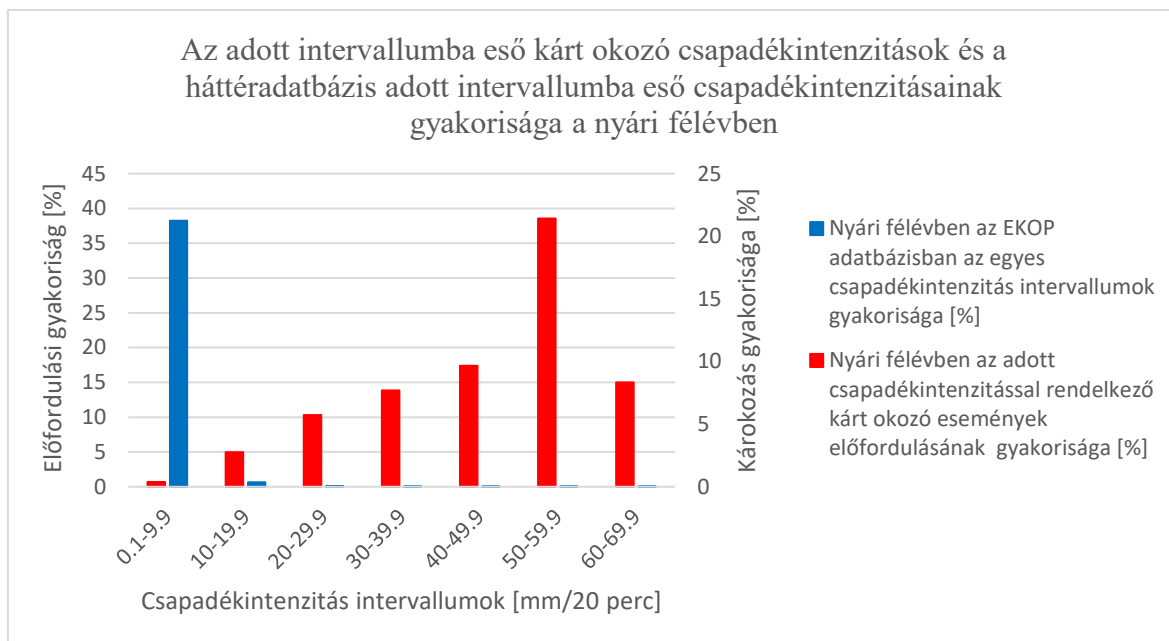
Az elemi csapás – viharkár kategóriába eső káresemények közé az épületekben, vagyontárgyakban és infrastruktúrában (például magas feszültségű távvezetékben) keletkező károkat sorolják. A káresemények vizsgálatához külön kell választani a nyári és a téli féléves eseteket, mivel a két félév időjárása merőben eltérő. Míg a nyári félév során a zivatarok dominálnak, és a kísérőjelenségeik vezetnek a káresemények zömének a kialakulásához, addig a téli félévben inkább az átvonuló frontokhoz, ciklonokhoz köthető nagy mennyiségű, vegyes formájú csapadék és viharos szél a felelős a bejelentett káresemények bekövetkezéséért.

#### **4.3.1. Nyári félévek**

Nyári félévek esetén a káresemények kialakulásáért jelentős mértékben a zivatarok és a kísérőjelenségeik a felelősek. Az EKOP adatbázisban tárolt információk alapján közvetlenül nem tudjuk meghatározni a zivatarok helyzetét, azonban a radarmérésekből származtatott napi maximális csapadékin tenzitás értékek segítségével jó becslést tudunk adni arra vonatkozóan, hogy az érintett terület felett áthaladt-e markáns radar reflektivitással rendelkező csapadékgóc a nap folyamán. Bár a pontos dBz értékeket ezekből nem tudjuk meghatározni, de a nagyobb csapadékin tenzitás nagyobb csapadékmennyiségre enged következtetni. (A radarmérések mellett villámlokalizációs mérések is szükségesek a zivatar egzisztencia alátámasztására.)

Arra vonatkozóan, hogy az adott káresemény bekövetkezéséért a zivatar melyik kísérőjelensége a felelős, az OKF adatbázisa nem tartalmaz elég információt a károk jellegéről. A teljesség igénye nélkül az első közelítésben megelégszünk annyival, hogy az adott káresemény lehetséges kiváltó okaként sikerül-e zivatart, pontosabban csapadékgócot azonosítani a kárbejelentés napján az adott rácsnégyzetben a csapadékin tenzitás értékek alapján. Az előzetes felvetésünk szerint a 10 mm/20 perc napi maximális csapadékin tenzitás mellett már jó eséllyel egy villámtevékenységgel is járó erősebb konvektív csapadékgócot feltételezhetünk. A Marshall-Palmer formula szerint ez a csapadékin tenzitás valamivel nagyobb, mint 46 dBZ reflektivitást takar (*Liu et al., 2012*). A radarmérések alapján a

zivatatok detektálásához, a zivatatokra történő riasztások gyakran alkalmazzák a 40-45 dBZ körüli küszöbértéket.



28. ábra: A rácsponti napi maximális csapadékintenzitás értékek eloszlása az EKOP adatbázisban és a károkat okozó csapadékintenzitások előfordulási gyakorisága az adott intervallumokban a nyári félévek során.

A 28. ábrán látható, hogy az EKOP adatbázisban a magas napi maximális csapadékintenzitással rendelkező rácspontok részaránya nagyon kicsi, míg a károkozás gyakorisága növekvő tendenciát mutat. Ez alól csak a 60 mm/20 perc-t meghaladó csapadékintenzitások jelentenek kivételt. Ennek oka, hogy a több mint 1.000.000 vizsgált rácspont közül csak 12 esetben fordult elő ilyen mértékű csapadékintenzitás a vizsgált időszakban. Mivel rendkívül ritka eseményről beszélünk, ezért kicsi annak a valószínűsége, hogy lakott területet érintsen, viszont ha ez bekövetkezik, akkor fajlagosan nagy mennyiségű káreseményt eredményez. A 12 rácsponti érték közül mindösszesen 1 helyezkedik el lakott terület térségében, de ez az egy esemény 8 elemi csapás – viharkár kategóriába tartozó káresetet és valószínűleg további fakidőléseket és vízkárokat okozhatott.

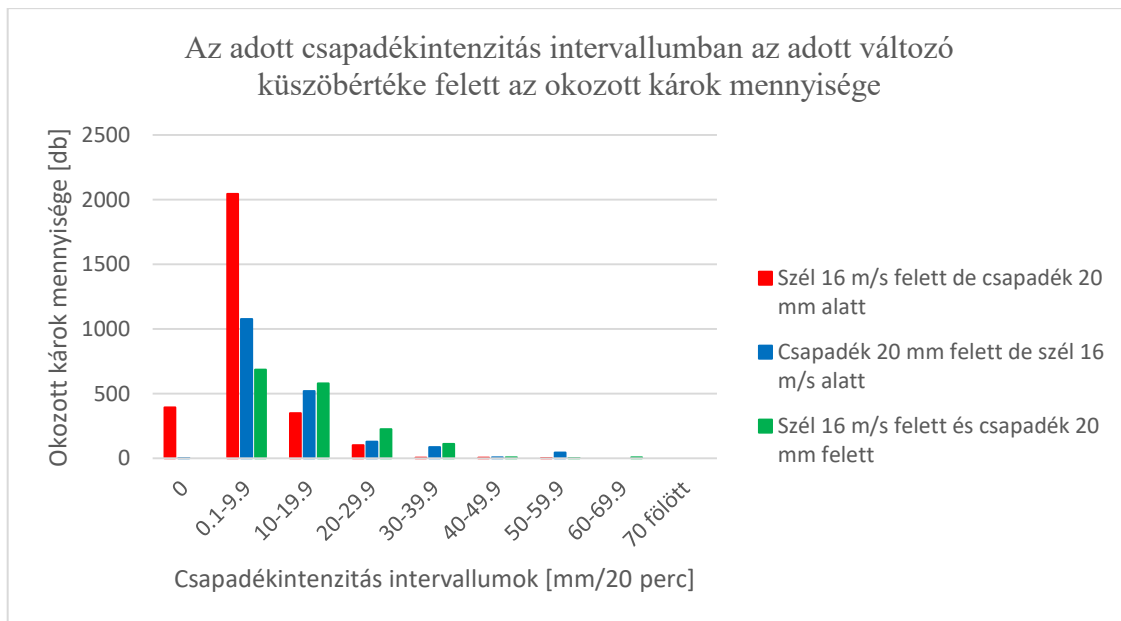
Az EKOP adatbázisban tárolt információk alapján kísérletet tettünk annak meghatározására, hogy a fenti események közül melyek kiváltó okai lehetnek az erős szellőkések vagy a magas napi csapadékösszeg értékek. Ennek érdekében meg kellett határozni azokat a küszöbértékeket, amik felett jelentősebb mennyiségű káresemény bekövetkezését vártuk az épített környezetben.

Károkozási küszöbnek a 16 m/s-t elérő vagy meghaladó szélereősséget választottuk, mivel a 16 és 20 m/s közötti szellőkések esetén a károkozás gyakorisága meghaladta az 1%-

ot, vagyis minden 100, ebbe az intervallumba tartozó rácsponti szellőkés közül legalább 1-hez tudunk legalább 1 káreseményt rendelni a reprezentativitási területéből. Ezt a kritikus értéket támasztja alá *Ancelin és munkatársainak* 2006-ban publikált kutatása, melyben kitérnek rá, hogy bár már 8-9 m/s-s szélerősség mellett is károsodhat a norvég lucfenyő állománya, de 15 m/s feletti szelek esetén gyorsan emelkedik a károk relatív mértéke. A már említett, *Peltola és munkatársai* által kiadott tanulmányban a gyökerestül kiforduló nyírfák szintén átlagosan 15 m/s-os szélviszonyok mellett szenvedték el a károkat a vegetációs időszakban. Azért alkalmaztuk a faállományokra jellemző kritikus sebességet küszöbértékként az épített környezetre, mert elképzelhetőnek tartottuk, hogy a kidőlő fák vagy a leszakadó ágak is vezethettek épületkárokhoz. Vízkárok esetén hasonló megfontolások alapján kritikus értéknek a minimum 20 mm napi csapadékösszeget választottuk. Fontos megjegyezni, hogy a küszöbértékek meghatározásának fenti módszere erősen szubjektív, nem veszi figyelembe sem a hibás értékek lehetőségét az adatsorban, sem pedig annak a vizsgálati módszernek a hiányosságait, aminek az eredményeire alapoz.

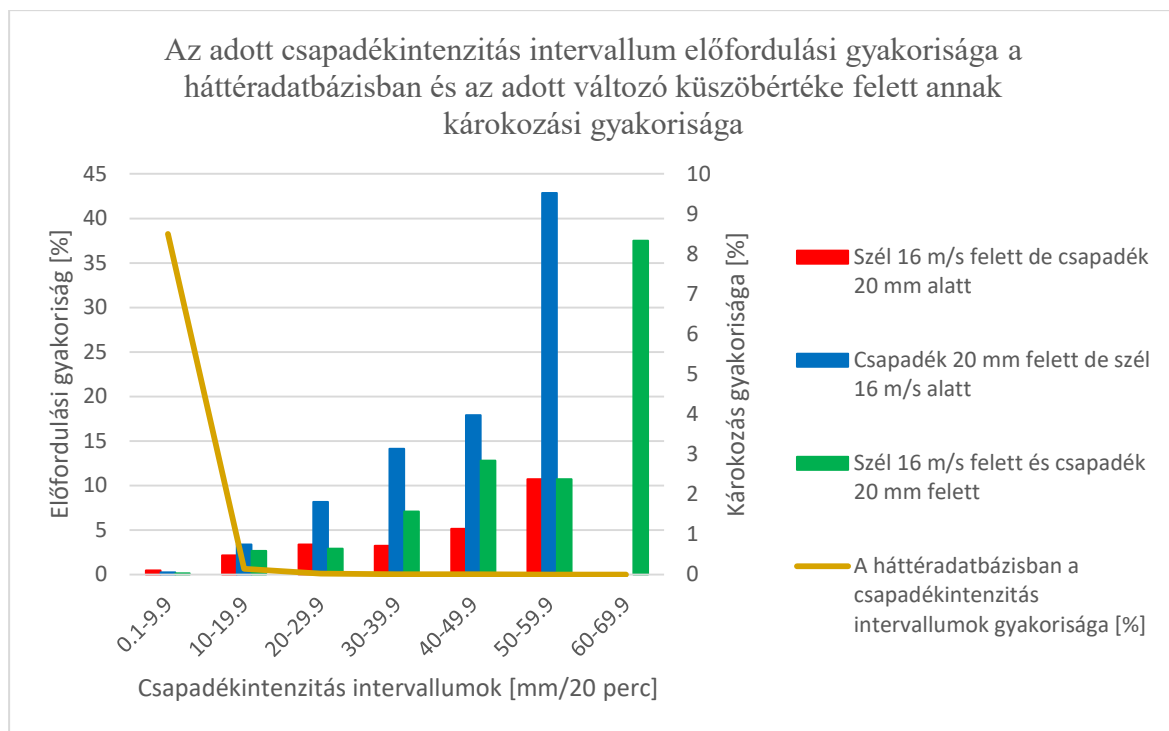
Ennek megfelelően a nyári féléves elemi csapás – viharkár kategóriába tartozó káresemények közül kiválogattuk azokat az eseteket, amikor a napi maximális szellőkés legalább 16 m/s erősségű, a napi csapadékösszeg pedig minimum 20 mm volt. Természetesen heves zivatar esetén ezek kombináció is előfordulhatnak, így az együttes hatásokat is figyelembe kell venni.





29. ábra: Az adott csapadékintenzitások mellett a meteorológiai paraméterek küszöbértékei feletti előfordulásakor bekövetkező károk mennyisége.

Ahogy a 29. ábrán is látszik, a csapadékintenzitás növekedésével csökken a küszöbérték feletti szellőkések és napi csapadékösszegek által okozott károk mennyisége. A csökkenés hátterében az adott csapadékintenzitás előfordulási gyakoriságának csökkenése áll. 10 mm/20 perc napi maximális csapadékintenzitás alatt a magas szélességekhez köthető károk mennyisége közel kétszerese a 20 mm feletti napi csapadékösszeg mellett bekövetkező károkénak. Ez nem meglepő, hiszen alacsonyabb 20 perces csapadékintenzitást gyorsan mozgó zivatarok is produkálhatnak, ezek környezetében pedig erős szellőkések fordulhatnak elő. A 16 m/s-t meghaladó szellőkések esetén szembeűnő az a közel 400 káresemény, amit 0 mm/20 perc napi maximális csapadékintenzitás mellett jelentettek be. Ezeknek a káreseményeknek a hátterében az erős gradiens szél állhat. A csapadékintenzitás növekedésével az erős szellőkések és a lehulló nagymennyiségű csapadék kombinált hatása válik dominánssá. A 10 mm/20 percet meghaladó napi maximális csapadékintenzitás mellett bekövetkező károk több mint 78%-ának esetén sikerült a szubjektív küszöbértékek alapján lehetséges kiváltó okokként a 16 m/s-ál erősebb szellőkéseket vagy a 20 mm-t meghaladó napi csapadékösszegeket, valamint ezek kombinációját azonosítani.

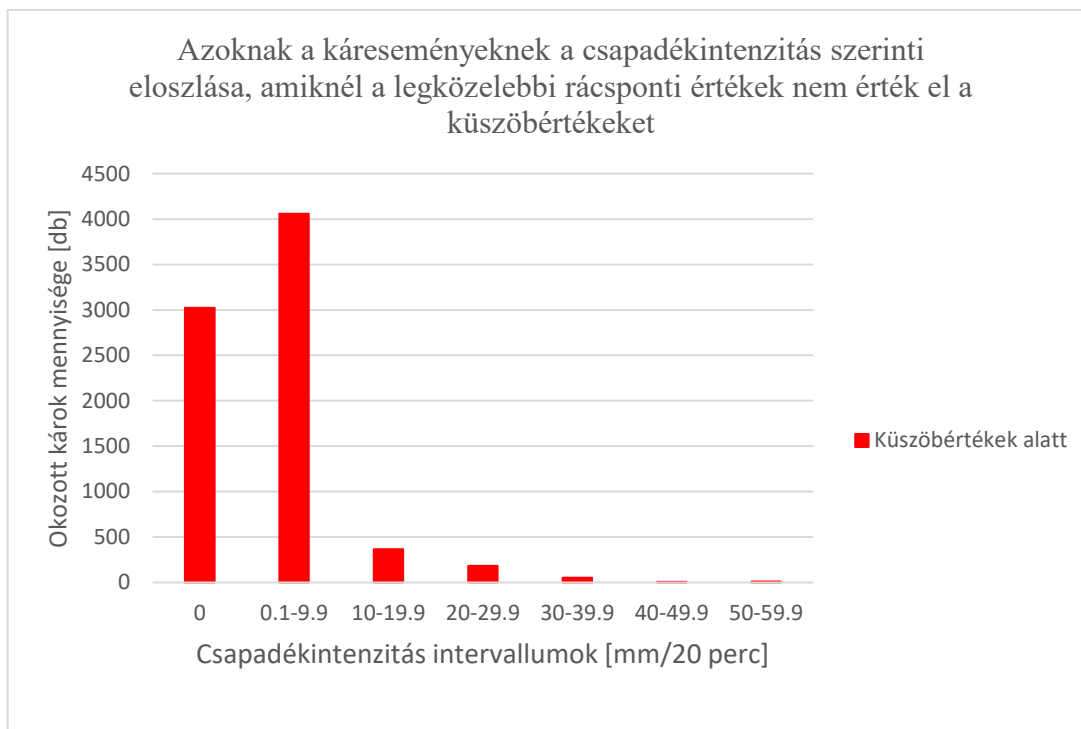


30. ábra: A nyári félévben a napi maximális csapadékkintenzitások előfordulási gyakorisága a háttéradatbázisban, valamint az adott intervallumon belül az egyes küszöbértékek szerinti károkozás gyakorisága.

A háttéradatbázisban előforduló rácsponti csapadékkintenzitások előfordulási gyakorisága a csapadékkintenzitás növekedésével drasztikusan csökken, az összes 10 mm/20 perc-t meghaladó csapadékkintenzitással rendelkező rácspont részaránya nem éri el a 0,8 %-ot sem (30. ábra). Ez a csökkenő tendencia magyarázza az egyre nagyobb intenzitások mellett tapasztalt csökkenő kármennyiséget. Ha azonban az adott csapadékkintenzitással rendelkező zivatarok károkozási gyakoriságát tekintjük, akkor növekvő tendenciát kapunk. Míg a károk abszolút darabszámában a pusztán erős szellökések mellett bekövetkező káresemények domináltak, addig 60 mm/20 perc csapadékkintenzitás alatt a 20 mm-t meghaladó napi csapadékösszegek gyakrabban vezetnek káresemények kialakulásához. A kombinált hatással jelentkező zivatarok is növekvő károkozási tendenciát mutatnak, sőt, 60 mm/20 perc csapadékkintenzitás fölött már csak ezek kísérőjelenségei okozhattak károkat. Fontos azonban megjegyezni, hogy az EKOP adatbázis nem tartalmaz olyan információkat, amik segítségével közvetlenül becsülni tudnánk a zivatarok egy markáns kísérőjelensége, a jégeső okozta károk mennyiségét. Ennek kiderítésére, alaposabb vizsgálatra és további meteorológiai adatsorok figyelembevételére lenne szükség.

A káresemények fennmaradó részéhez még a fenti, erősen szubjektív módszer segítségével sem tudunk kellő biztonsággal valószínű kiváltó okként valamilyen

kísérőjelenséget rendelni, így meg kellett elégednünk azzal, hogy a csapadékintenzitás értékek alapján igyekeztünk a zivatarok jelenlétét igazolni.

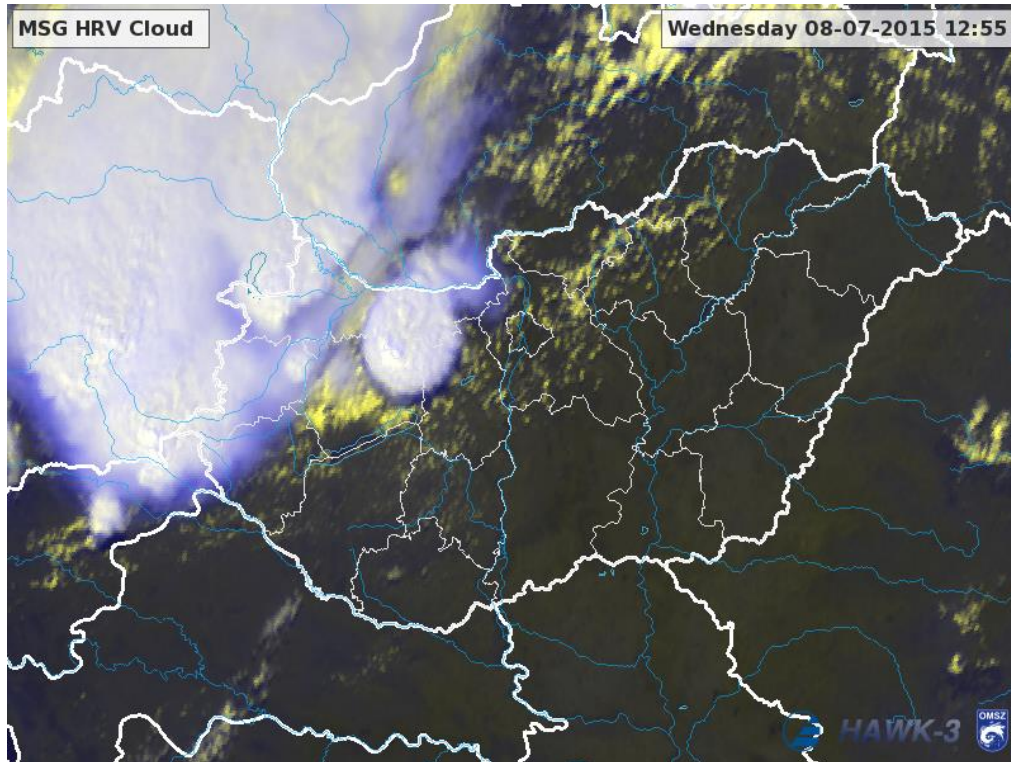


*31. ábra: A küszöbértékek alatti kísérőjelenségek esetén előforduló, adott csapadékintenzitások mellett bekövetkező káresemények mennyisége. A 10 mm/20 perc maximális csapadékintenzitás felett jelentkező károk jól példázzák, hogy a küszöbértékek szubjektív megválasztása és éles határként való alkalmazása nem teszi lehetővé az összes káresemény kategorizálását, valamint nem veszi számításba a jégeső okozta károk lehetőségét.*

Mint ahogy az a 29. és a 31. ábrákon látszik, a 10 mm/20 perc napi maximális csapadékintenzitás alatt bekövetkező károk több mint feléhez nem sikerült kiváltó okokat rendelni. Ennek magyarázata egyrészt a küszöbértékek szubjektív megválasztása és azok éles határként való alkalmazása. A másik magyarázat az elhúzódó kárbejelentési periódusok jelenléte, miszerint a káresemények jelentős részét nem a kár bekövetkezésének napján jelentik be, így nem a megfelelő rácsponti értékek között keressük a lehetséges kiváltó okokat. Ezt a magyarázatot támasztja alá a 0 mm/20 perc napi maximális csapadékintenzitás mellett bejelentett több mint 3000 káresemény, ami az összes nyári féléves elemi csapás több mint 20%-a.

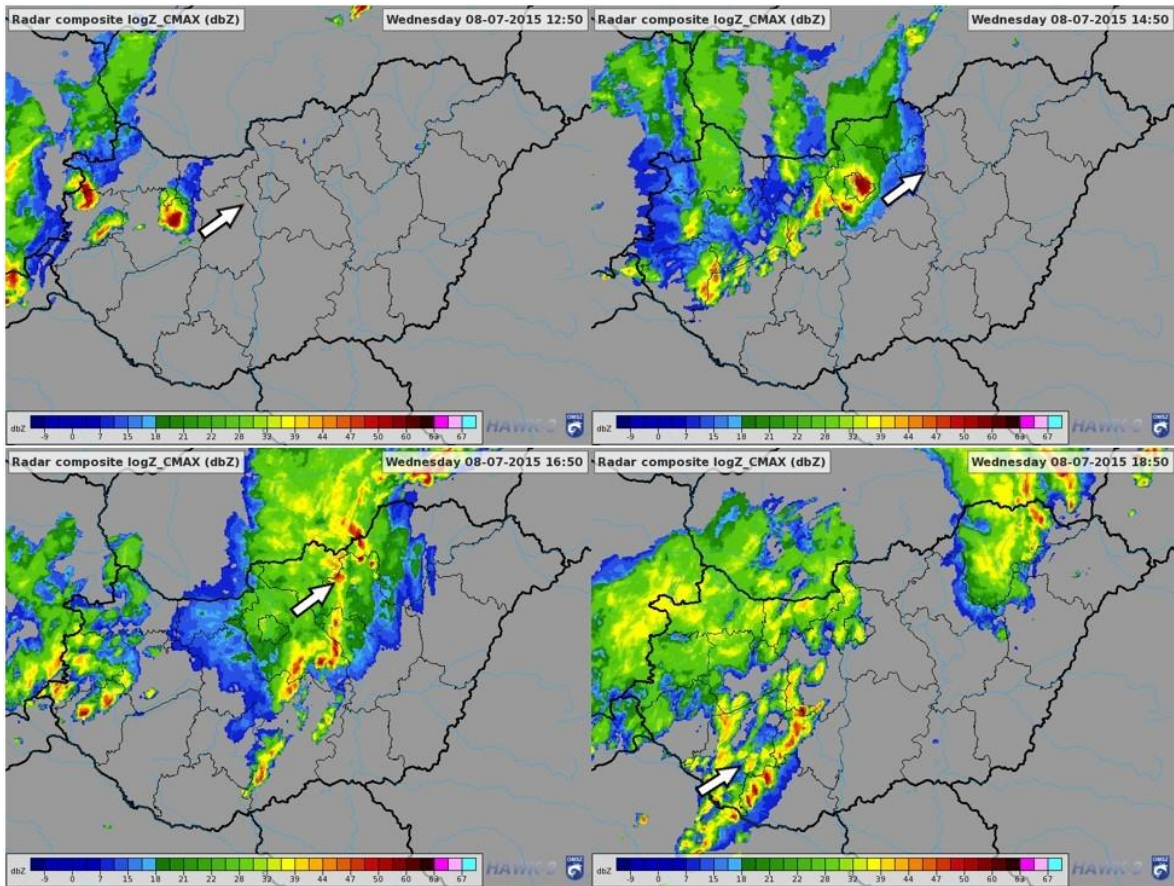
#### 4.3.1.1. A 2015. július 8-i front elhúzódó kárbejelentési periódusa

Jó példa a hosszan elhúzódó kárbejelentési periódusra a 2015.07.08-i időjárás, aminek utóhatásaként még 16-n is érkeztek kárbejelentések az OKF-hez. Július 8-n 11 óra után az érkező hidegfront előterében egy markáns szupercella alakult ki Veszprém megyében (32. ábra), ami valamivel délután 3 óra előtt érte el a főváros térségét.



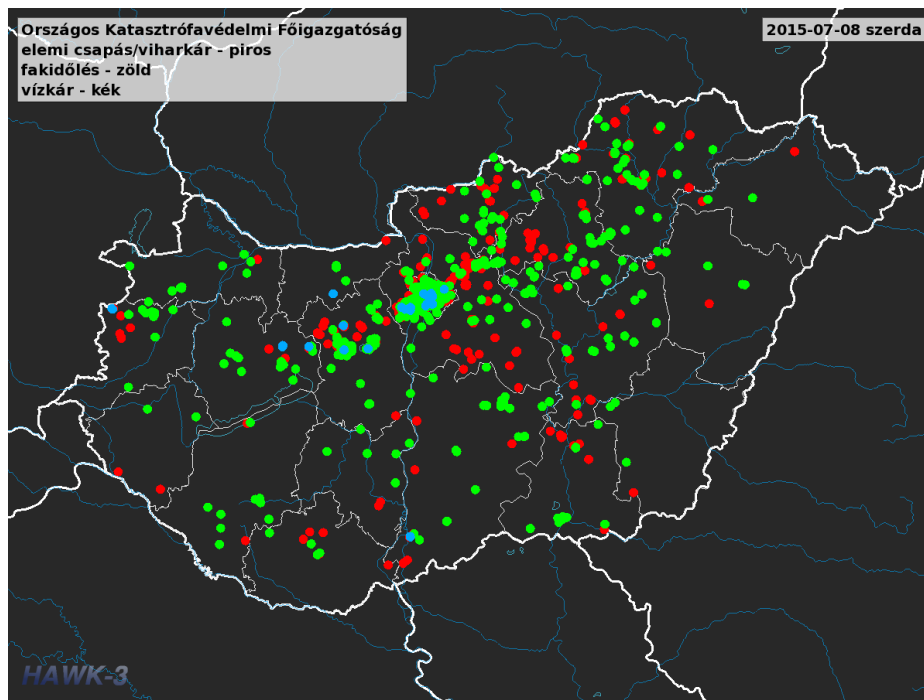
32. ábra: A szupercella ovális felhőpajza 2015.07.08-n 12 óra 55 perckor UTC szerint.  
(Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere).

A szupercella mögött folyamatosan újabb és újabb zivatarcellák keletkeztek, amik útjuk során a szupercella által is érintett területeken is áthaladtak, majd Budapest térségében egyre inkább vonalas jelleget öltő rendszerbe szerveződtek (33. ábra). Bár igazi zivatarlanc nem alakult ki, a cellák 25-30 m/s-s szellőkéseket produkáltak az Északi-középhegységben. A késő délutáni órákban délnyugat felől újabb zivatarcellák érték el az országot, de ezek erőssége már elmaradt a korábbiakétól.



33. ábra Kompozit radarképek 2015.07.08-án a zivatarok mozgásáról. A fehér nyilak a zivatarok haladási irányát szemléltetik. (Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)

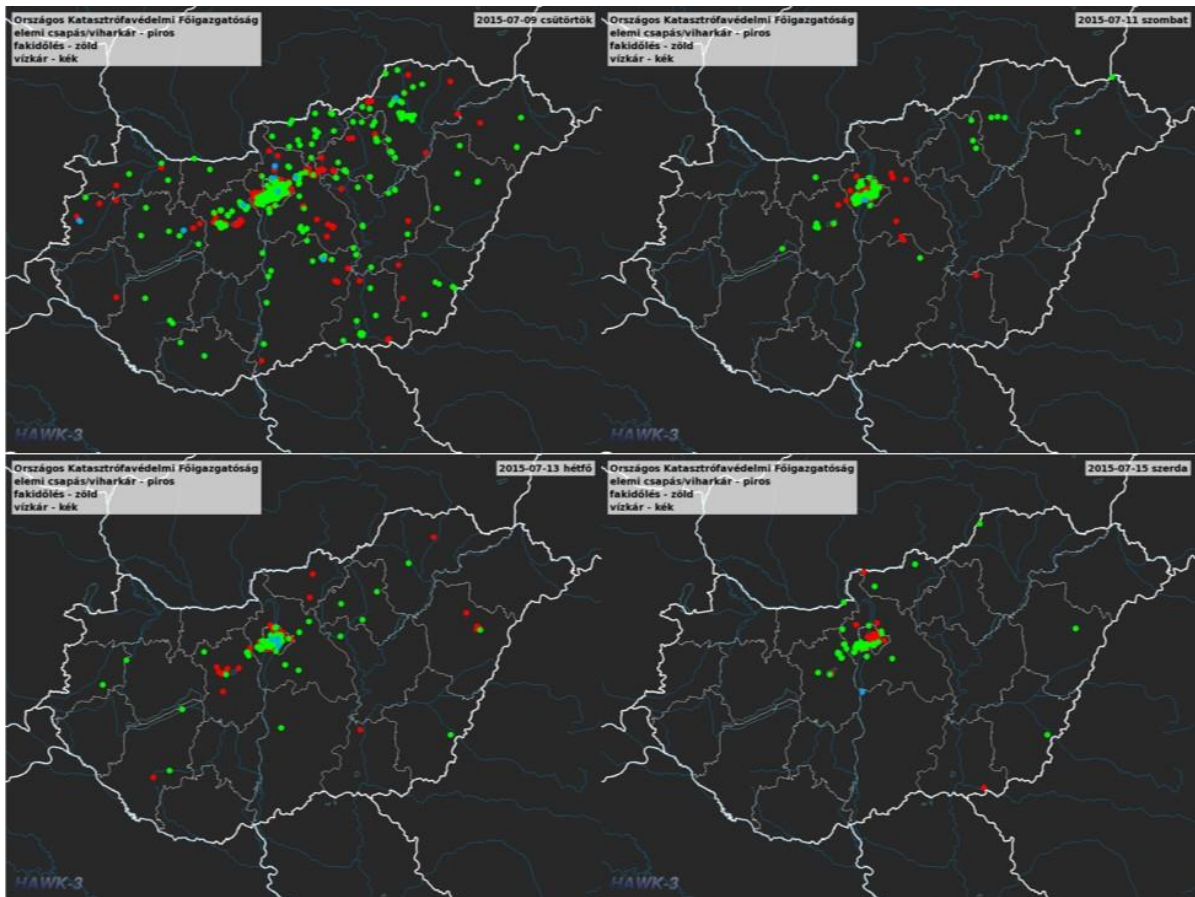
Ahogy azt a 3. táblázat esetén már láthattuk, a július 8-i zivatarokhoz kapcsolódóan érkezett messze a legmagasabb napi kárbejelentés szám a katasztrófavédelemhez. Csak 8-n országsszerte 1451 bejelentést tettek, melyek közül 613 volt fakidőlés, 24 volt vízkár és 814 tartozott az elemi csapás kategóriába (34. ábra).



34. ábra: Az OKF-hoz beérkező kárbejelentések alapján készült káresemény térkép 2015.07.08-ra vonatkozóan. A zöld körök a fakidöléseket, a kékek a vízkárokat, míg a pirosak az elemi csapásokat jelzik. (Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)

A hidegfront átvonulása után ugyan a következő két napban még élénk, lökéses maradt a légmozgás, 9-n északnyugaton még viharos erejű lökések is előfordultak, de a Duna vonalától keletre a legerősebb szellőkések sem érték el a 15 m/s-t. A következő napokban teljesen eseménytelen időjárás következett, majd 13-án egy hullámzó frontrendszer érte el a Kárpát-medencét, aminek köszönhetően a Dunántúlon 10-20 mm csapadék hullott, és a legerősebb szellőkések helyenként elérték a 18 m/s-t, de Budapest térségében még ekkor is épphogy átlépte a 15 m/s-s határt a legerősebb szellőkés.

A július 8-át követő napok időjárása önmagában nem okozhatott olyan mértékű károkat az országban, mint amiről a 9-e és 15-e közötti kárbejelentés térképek tanúskodnak (35. ábra), főleg mivel ebben az időszakban Budapest térségében a legerősebb szellőkés csak 15,3 m/s volt. Sokkal valószínűbb, hogy a hidegfront utáni lökéses szelek valamint a 13-i front csak erősítették a 8-i zivatarok hatásait, valamint nehezítették a kárelhárítást.



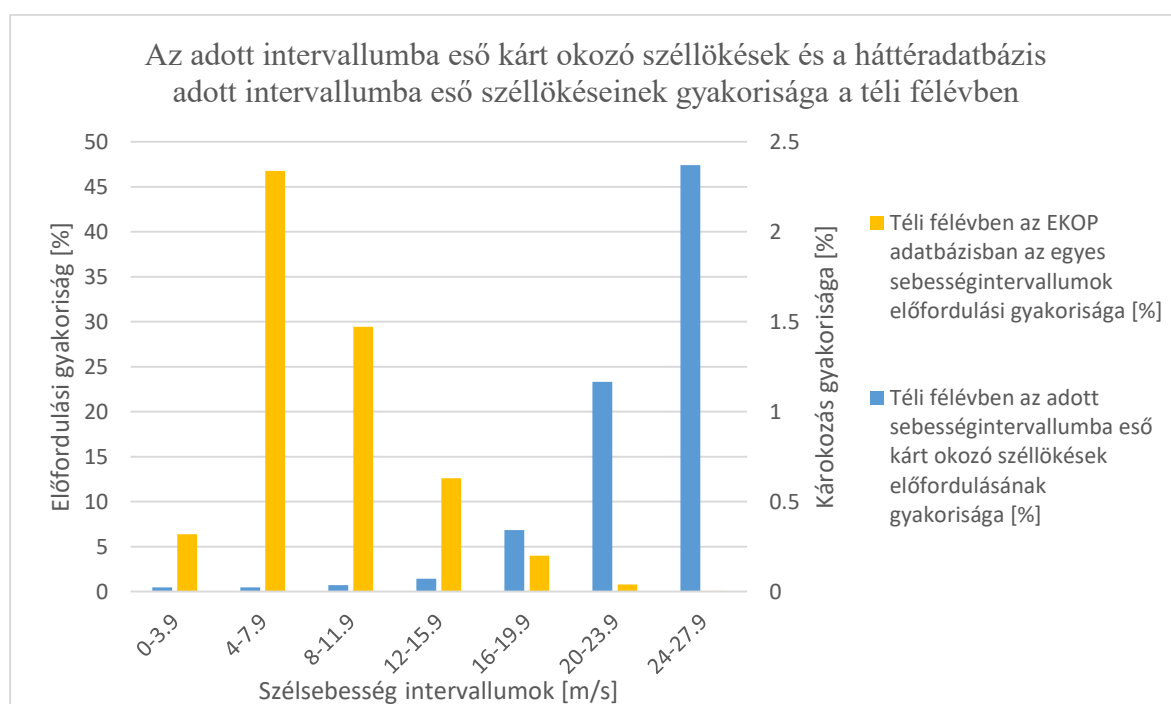
35. ábra: Az OKF-hoz beérkező kárbejelentések alapján készült káresemény térkép 2015.07.09-re (balra fent), 11-re (jobb felső), 13-ra (bal alsó) és 15-re (jobb alsó) vonatkozóan. A zöld körök a fakidöléseket, a kékek a vízkárokat, míg a pirosak az elemi csapásokat jelzik. (Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)

A július 8-t követő héten 4 olyan nap is előfordult, amikor gyakorlatilag nem volt mérhető csapadékintenzitás Magyarországon. Ez alatt a 4 nap alatt 422 olyan elemi csapás – viharok kategóriába sorolt káreseményről érkezett bejelentés a katasztrófavédelemhez, melyeket a 0 mm/20 perc napi maximális csapadékintenzitások (31. ábra) közé sorolt a vizsgálati módszer.

### 4.3.2. Téli félévek

A téli félévek során bekövetkező elemi csapás – viharkár kategóriába sorolt káresemények kialakulásának háttérében a nyári féléves mezoskálájú zivatarokkal ellentétben a szinoptikus skálájú időjárási jelenségek állhatnak. A ciklonok frontjaihoz kapcsolódó csapadéktevékenységek és a frontok előtt viharossá fokozódó, a frontok után lökésessé váló szelek, valamint, ha megfelelő a vertikális hőmérsékleti rétegződés, az ónos eső és a havazás vezethet a káresemények kialakulásához. Az egyes káresemények lehetséges kiváltó okainak azonosítására az EKOP adatbázis rácsponti értékei közül a napi maximális szélökés és a napi csapadékösszeg adatokat, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálat által mért hó vastagság adatokat használtuk fel.

A 36. ábra az EKOP adatbázisnak a téli félévek során az egyes szélesség intervallumokba eső napi maximális szélökés értékeinek előfordulási gyakoriságát, valamint ezek elemi csapás – viharkár kategóriába sorolt káreseményt kiváltó értékeinek károkozási gyakoriságát jeleníti meg.



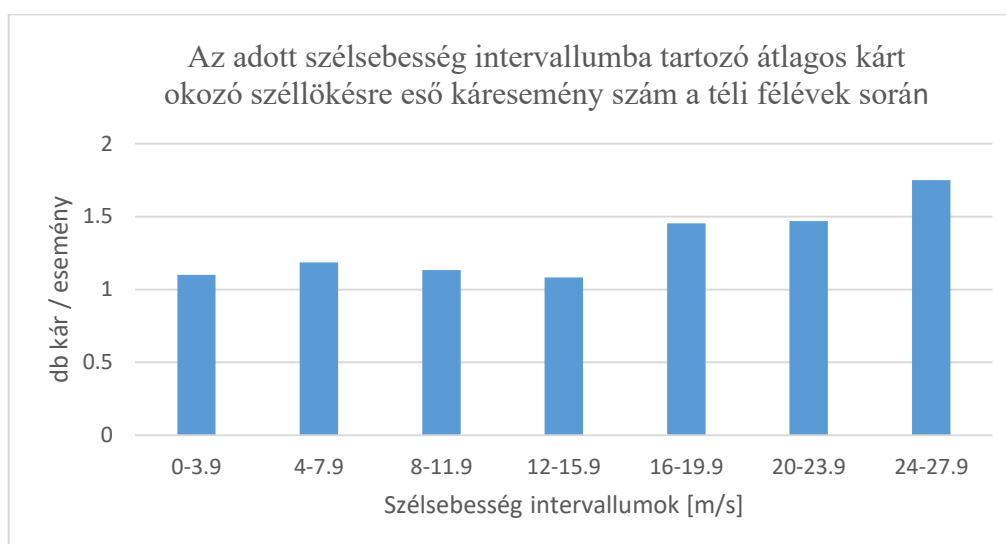
36. ábra: A rácsponti napi maximális szélökés értékek eloszlása az EKOP adatbázisban és a károkat okozó szélökések előfordulási gyakorisága az adott szélesség intervallumban a téli félévek során.

Mint ahogy azt a fakidölések esetén már láthattuk (7. ábra), a háttéradatbázisban az egyes intervallumok előfordulási gyakorisága a szélesség növekedésével csökken, és bár az elemi csapás - viharkár kategóriába sorolt káreseményeket kiváltó szélökések



intervallumon belüli gyakorisága növekszik, a károkozás gyakorisága nem éri el a téli féléves fakidölésekét. Ez az ábra a bekövetkező károk mennyiségéről még nem tájékoztat, csak annyit árul el, hogy a téli félévek során a fakidölésekhez képest kevesebb olyan széllokés fordul elő, ami az épített környezetben károkat okozna.

Ha az egy, kárt okozó széllokésre eső átlagos kármennyiséget vizsgáljuk (37. ábra), akkor szembetűnő, hogy a 16 m/s-t meghaladó erősségű széllokések fajlagosan 15-25%-kal több kárt okoznak az épített környezetben, mint a faállományban (10. ábra). Ezt az előző állítással párhuzamba állítva egy látszólagos ellentmondást kapunk, aminek egy magyarázata lehet, hogy az épített környezetnek nagyobb a sérülékenysége, a faállománynak pedig a kitettsége. Az épített környezet nagyobb sérülékenysége abban mutatkozik meg, hogy károkozás esetén nagyobb az 1 széllokésre eső káresemények száma, míg a faállomány nagyobb kitettsége egyszerűen a pusztá darabszámokból ered, miszerint egy átlagos magyarországi településen több fa van kitéve az időjárás viszontagságainak, mint amennyi épület. A faállománynak ez a nagyobb kitettsége vezet ahhoz, hogy 16 m/s feletti szélsébsesség esetén körülbelül 27%-kal több fakidölés következik be, mint amennyi elemi csapás, azonban mint láttuk, 1-1 széllokés 15-25%-kal kevesebb káreseményt okoz. Ebből az következik, hogy több kárt okozó széllokésnek kell lennie fakidölések esetén, és ez a többlet magyarázza a nagyobb károkozási gyakoriságot.

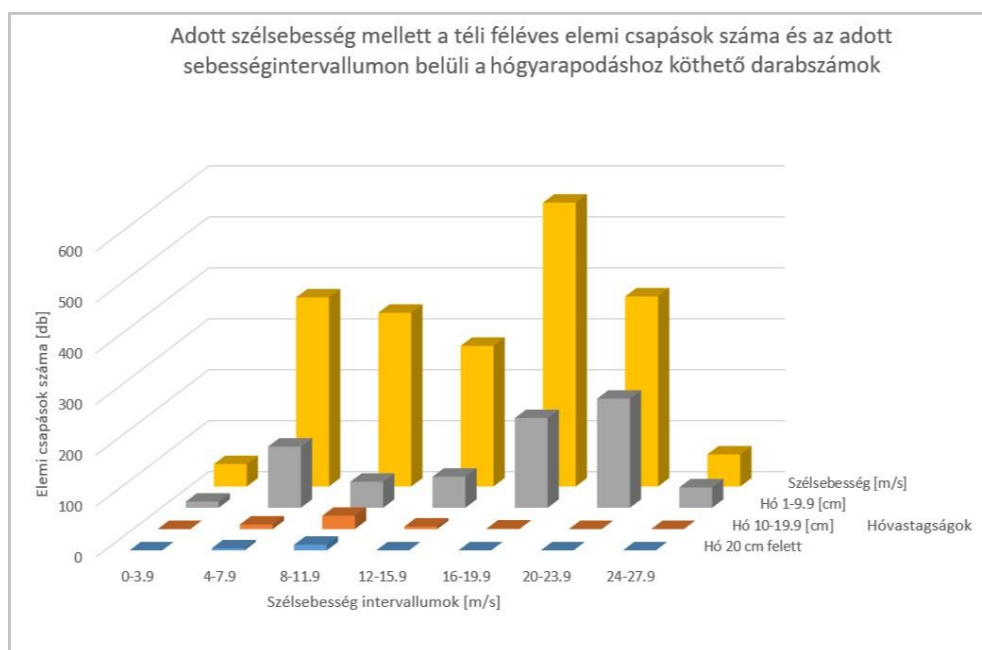


37. ábra: Az adott szélsébsesség intervallumba tartozó átlagos kárt okozó széllokésre eső káresemény szám a téli félévek során.

A téli féléves fakidölésekkel szemben az elemi csapások esetén nem jelentkezik az alacsony szélsébségek esetén az a maximum, amit fakidölések vizsgálatakor az ágakra nehezedeő hó és jégréteg súlyának tulajdonítottunk. Ez arra enged következtetni, hogy a

faállománnyal szemben az épített környezet ellenállóbb a ránehezedő hó és jéglerakódásokkal szemben, azonban nem jelenti azt, hogy a hógyarapodás és az ónos eső ne vezetne káresemények kialakulásához.

Annak kiderítésére, hogy a téli féléves elemi csapások kialakulásában mekkora szerepet játszik a hóvastagság, a fakidölések esetén is alkalmazott módon rendeltük a káreseményekhez a bejelentés napján mért legközelebbi hógyarapodás értéket. Mint ahogy azt a 38. ábra mutatja, a káresemények közel egyharmadához sikerült 35 km-es sugarú körön belül hógyarapodást rendelni, és ezek több mint 90%-ánál a hógyarapodás értéke nem érte el a 10 cm-t.



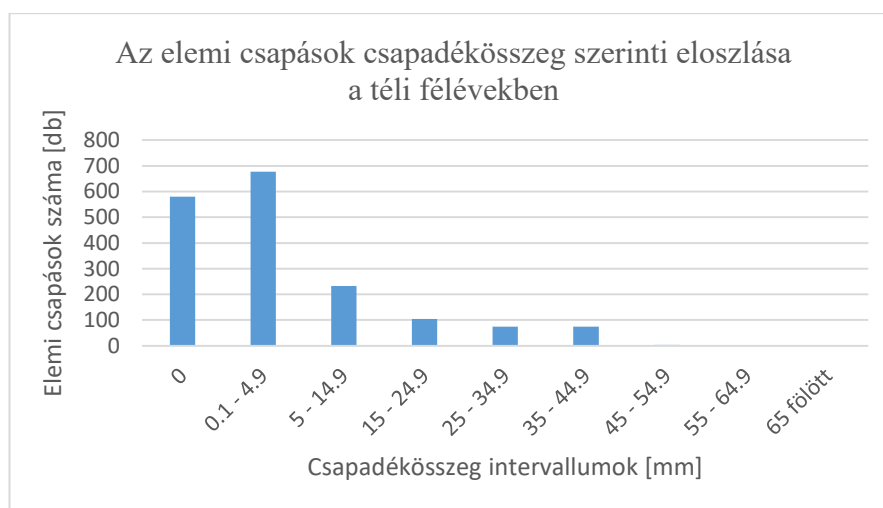
38. ábra: A téli félévek során az adott széleseesség intervallumba tartozó elemi csapások száma és ezen belül a hógyarapodáshoz köthető káresemények mennyisége.

Ez az eredmény összhangban van a 2016.01.07-i eset vizsgálatánál, a 12. és a 13. ábrán bemutatott eredményekkel. Az ország jelentős részén havazott, de jellemzően a Dél-Dunántúlon haladta meg a friss hó mennyisége 10 cm-t, és ennek következtében főleg ebből a térségből érkeztek kárbejelentések. A káresemények zöme fakidölés volt, de ezek mellett elemi csapásokat is bejelentettek, melyek legnagyobb hányada szintén a Dél-Dunántúl havasabb területeiről származott, de előfordult Bács-Kiskun megye északi részén is (ahol a megelőző napon ónos eső lehetett) és Heves megyéből is érkezett bejelentés.

Összességében tehát az mondható el, hogy a faállománnyal szemben az épített környezet kevésbé érzékeny a hógyarapodás okozta kockázatokra, azonban a bekövetkező káresemények közel 10%-ánál komoly szerepe lehetett a lehulló nagymennyiségű hónak. Az

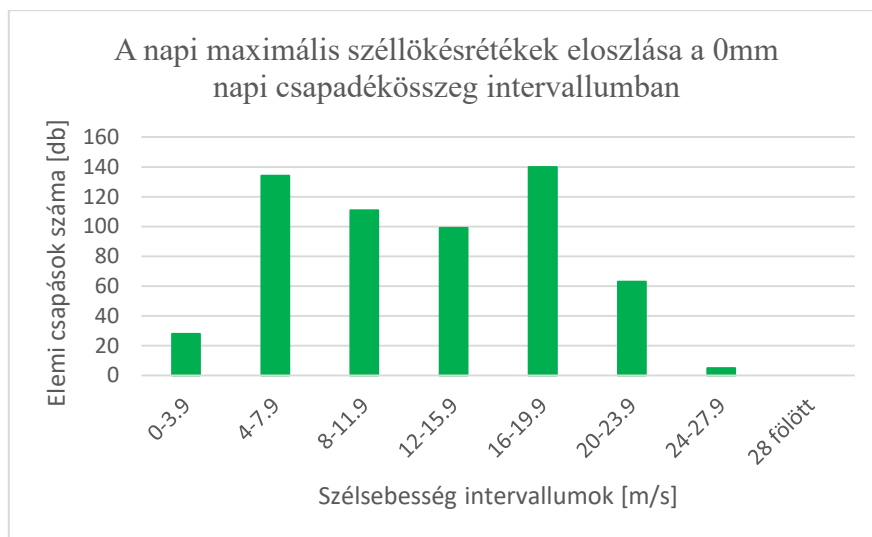
ónos eső faállományra gyakorolt hatásainak vizsgálatokor kiderült, hogy az alkalmazott távolságalapú vizsgálati módszer nem elég érzékeny a káresemények kiváltó okaként az ónos eső azonosítására a kisszámú észlelés és az esetlegesen elhúzódó hatások miatt, és az elemi csapás - viharkár káresemények esetén szintén erre a megállapításra jutottunk. Ahogy azonban a 2014. december 1-ei ónos esős helyzet kiértékelésénél is láttuk, az ónos eső következtében az 5 nap alatt bejelentett káresemények több mint 12%-a az elemi csapás kategóriába tartozott. Ezek arra engednek következtetni, hogy az alkalmazott módszer a fakidőlésekhez hasonlóan az elemi csapások esetén is kijelöli a további vizsgálatok számára fontos dátumokat, és a károk mértékének pontosabb meghatározására az ezekre a napokra készített esettanulmányok jelenthetik a megoldást.

A téli félévekben bejelentett elemi csapás – viharkár kategóriába sorolt káresemények környezetében előforduló napi csapadékösszegek eloszlását a 39. ábra mutatja be. A káresemények nagy része alacsony csapadékösszegek mellett következett be, sőt a károk egyharmadának bejelentésekor egyáltalán nem volt csapadéktevékenység. A 15 mm feletti csapadékösszegek már a háttéradatbázisban is nagyon ritkán fordulnak elő (20. ábra), ez az oka, hogy a káresemények kevesebb, mint 15%-a következett be ekkora napi csapadékmennyiség mellett.



39. ábra: Az elemi csapás – viharkár kategóriába sorolt káresemények napi csapadékösszeg szerinti eloszlása a téli félévekben.

A 0 mm-es napi csapadékösszegek mellett bejelentett káresemények bekövetkezéséért, amennyiben valóban meteorológiai okokra vezethető vissza a káresemény bekövetkezése, a szellőkések lehetnek a felelősek (40. ábra). A 16 m/s-t meghaladó napi maximális szellőkések esetén következett be a károk több, mint 35%-a, azonban a 8 m/s alatti szellőkések mellett bejelentett káresemények részaránya is meghaladja a 25%-ot.



40. ábra: A 0 mm napi csapadékösszegek mellett bejelentett elemi csapás – viharkár kategóriába sorolt káresemények környezetében a napi maximális szélökés eloszlása.

Ez arra enged következtetni, hogy mind a csapadékösszegek szerinti eloszlás esetén, mind pedig a csapadékmentes időjárás mellett bejelentett káresemények vizsgálata során számolni kell az elhúzódó kárbejelentési periódusok lehetőségével, ezáltal az eloszlások megváltozásával.

#### 4.4. Káresemény adatok településszintű vizsgálata

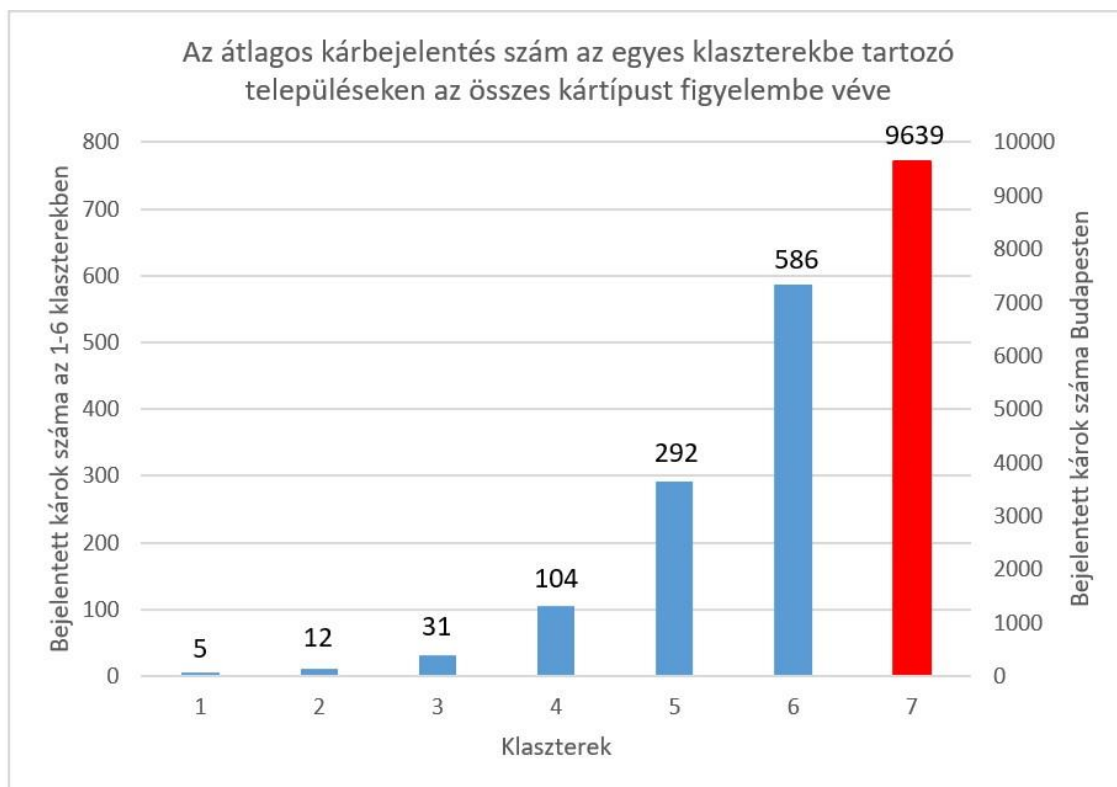
A káresemények település szintű vizsgálatához a magyarországi településeket népességük és lakásszámuk alapján, egy R programnyelven írt program segítségével klaszterekbe soroltuk. A csoportosításhoz az eclust függvényt használtuk k-means (k-közép) dinamikus klaszterezési technikával [8 – <http://www.sthda.com>]. A k-means technika alap gondolata, hogy minimalizálja az egyes klasztertagok közös középponttól vett euklideszi távolságának négyzetösszegét, vagyis a teljes klaszteren belüli eltérést. Az algoritmus a folyamat kezdetén kiválaszt k darab (az optimális klaszterszám meghatározása során kapott érték, ennyi klaszterbe soroljuk az adatsor elemeit) elemet az adatsorból kezdeti klaszterközpontnak, majd euklideszi távolságmértéket használva hozzárendeli az adatsor fennmaradó részéből az egyes tagokat a legközelebbi klaszterközponthoz. Ezt követően minden egyes klaszterre átlagolással új középpontot határoz meg, és kiszámítja az egyes tagok távolságát az új klaszterközpontoktól. Amennyiben egyes elemek más klaszterközpontoktól vett távolsága kisebb, mint az aktuális középponttól vett távolságuk, úgy a tagok átsorolásra kerülnek. Az átsorolás után újra meg kell határozni az új klaszterek középpontjait, valamint az egyes elemek ezektől vett távolságát, és amennyiben szükséges, újabb átsorolásra kerül sor. A folyamat addig folytatódik, amíg az algoritmus el nem éri az adatok optimális csoportosítását [9 – <http://www.sthda.com>]. A klaszteranalízis eredményeit az 5. táblázat mutatja be.

*5. táblázat: A magyarországi települések klaszterei és az egyes klaszterekben a településkarakterisztikák szélsőértékei, valamint a klaszterek elemszáma. A 7-es klaszter csak Budapestet tartalmazza, ezért nem különböztetünk meg mediánt, valamint minimum- és maximumértékeket.*

		1	2	3	4	5	6	7
Terület [ha]	Minimum	149	504	575	912	5267	16277	52513
	Medián	1485	3644	6032	7717	12025	27453	
	Maximum	28447	13807	23652	37078	48798	46166	
Népesség [fő]	Minimum	10	1224	4385	10623	44795	111836	1757618
	Medián	550	2309	6392	16623,5	61270,5	145985	
	Maximum	1690	4918	10400	41846	98673	203506	
Lakásszám [db]	Minimum	13	439	1830	3877	20219	50272	909962
	Medián	240	956	2643	6826	26986	72450	
	Maximum	747	2060	4515	18026	44954	95772	
Települések száma [db]		1773	681	155	114	14	7	1

Az alkalmazott módszer segítségével sikerült a hasonló népességű és lakásszámú településeket egy csoportba rendelni, azonban a közigazgatási területek értékeiben elég nagy átfedéseket fedezhetünk fel az egyes klaszterek között. Ennek oka, hogy a klaszterezéshez a települések közigazgatási területét nem használtuk fel, mert ezek egyes esetekben nagyon eltérnek a belterület méretétől, és mivel lakossági kárbejelentésekkel dolgoztunk, feltételeztük, hogy a káresemények zöme lakott területen belül következett be. Jó példa a népességhez vagy a lakásszámhoz képest aránytalan közigazgatási területtel rendelkező településre Hódmezővásárhely, melynek 44795 lakosához és 20219 lakásához 48798 hektárnyi terület tartozik. Ez az érték magasabb, mint Magyarország második legnépesebb városának, Debrecennek a területe, miközben Debrecen körülbelül 4,5-ször több lakossal és 4,7-szer több lakással rendelkezik a KSH adatai alapján.

Megvizsgáltuk, hogy a települések egyes klaszterei mekkora átlagos kárbejelentés számmal rendelkeznek a vizsgált időszakra nézve (41. ábra).



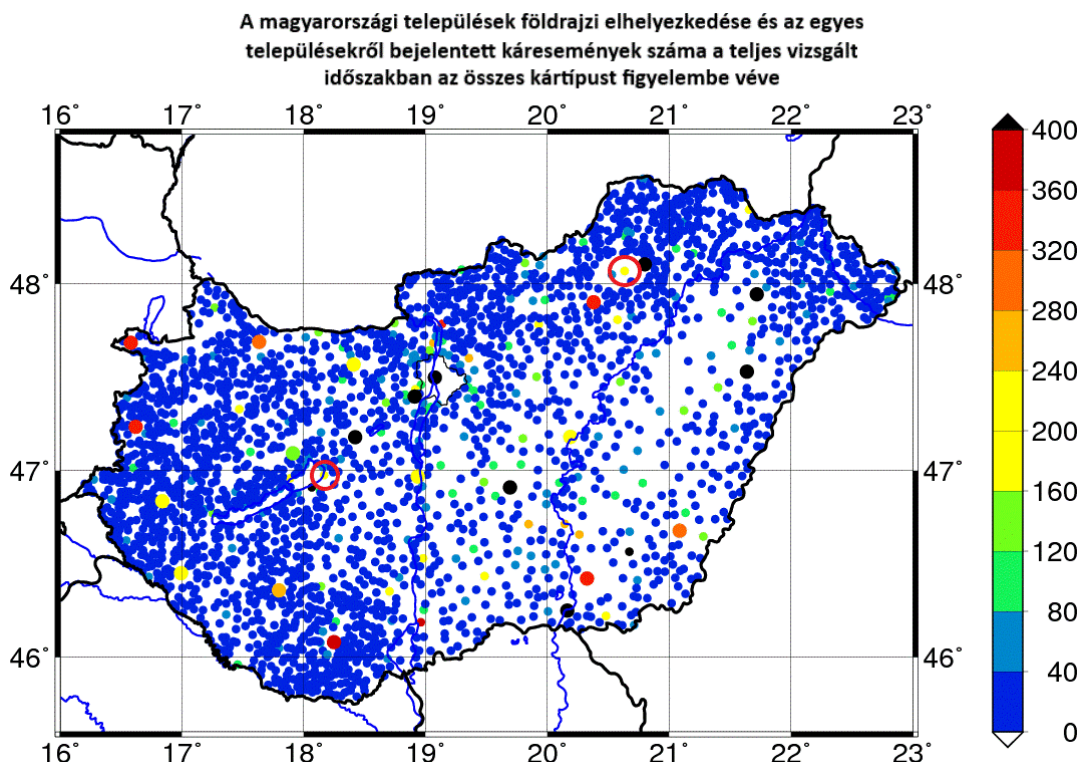
41. ábra: A magyarországi települések klasztereinek átlagos kárbejelentés száma az összes kártípust figyelembe véve. A 7-es jelölt klaszter csak a budapesti kárbejelentéseket mutatja, értéke a jobb oldali függőleges tengelyen van felmérve.

Jól látható, hogy a települések népességével és lakásszámával növekvő tendenciát kaptunk, azonban arra vonatkozóan, hogy ennek háttérében pusztán a települések növekvő népessége, ezáltal növekvő kitétsége, vagy a település urbanizációs fokából eredő

tulajdonságai, a városias környezet esetleges nagyobb sérülékenysége áll-e, nem tudunk kellően megalapozott következtetéseket levonni. Ennek vizsgálatához az adatbázisunkat ki kéne egészíteni az egyes települések belterületére vonatkozó információkkal, és a népesség és belterület arányát kifejező beépítettség érték szerint kéne csoportosítani a településeket.

Az ábrára tekintve az azonban mindenképp szembetűnő, hogy az 1,7 millió lakosú Budapestről hozzávetőlegesen 16-szor több kárbejelentés érkezett a katasztrófavédelemhez, mint a 6-os számú klaszter egy átlagosan körülbelül 147000 lakosú városából. A kárbejelentések számának 16-szoros és a népesség 12-szeres eltérése arra utal, hogy a tapasztalható különbségek nem pusztán az időjárás viszonyosságainak kitett nagyobb népességből erednek, de minden bizonnyal ez a tényező is fontos szerepet játszik.

Az időjárás okozta károk mennyiségét azonban a települések különböző karakterisztikáin túl az egyes települések földrajzi elhelyezkedése is befolyásolja. A 42. ábrán bejelöltünk 2 olyan, a népességük és lakásszámuk alapján az 1-es klaszterbe sorolt települést, melyek az átlagos kárbejelentés számok alapján akár az 5-ös klaszterbe is tartozhatnának. Ez a két település Bükkszentkereszt és Balatonvilágos.



42. ábra: A magyarországi települések földrajzi elhelyezkedése és az egyes településekről bejelentett káresemények száma az összes kártípust figyelembe véve. Az 5-ös, a 6-os és a 7-es klaszter elemeit nagyobb piktogramok, míg Bükkszentkereszt és Balatonvilágos elhelyezkedését a piros körök jelzik.

A bükkszentkereszti 218 káreseményről 131 napon érkeztek bejelentések a katasztrófavédelemhez, de a bejelentések száma csak 2014. december 3-án, valószínűleg az elsejei ónos eső elhúzódó hatása miatt, valamint 2017. július 11-én, az előző napi heves események utóhatásaként lépte át a 10 darabot. Ezzel szemben Balatonvilágosról 202 kárbejelentés érkezett 52 nap alatt az OKF-hoz, ezek közül 131 darab 2017. július 10-e és 13-a között. A térségben július 10-n rekord erejű szélsőséget mértek.

Ez a két település jól példázza a káresemények település szintű vizsgálatát során felmerülő problémákat, a bizonytalanságot. Bükkszentkereszt esetén a település méretéhez képest kiugróan magas kárbejelentés számot a földrajzi elhelyezkedése okozza, egy átlagosan 600 méteres tengerszint feletti magassággal rendelkező völgyben terül el, amit 665-711 méter magas hegyek vesznek körbe [10 – <http://www.sulinet.hu>]. Ezzel szemben Balatonvilágos esetén a több mint 200 kárbejelentés 65%-ának háttérében egyetlen heves időjárási esemény és annak elhúzódó kárbejelentési időszaka áll.

Mivel nem áll rendelkezésünkre kellően hosszú adatsor, amiben az egy-egy heves időjárási esemény okozta kármennyiséget elnyomná a térség klímájának hatása, nem tudjuk általánosságban vizsgálni, hogy a földrajzi elhelyezkedés önmagában mennyiben befolyásolja káresemények bekövetkezését egy adott jellemzőkkel rendelkező településtípuson. Ugyanakkor a szignifikáns erejű meteorológiai jelenségek településkarakterisztikákkal mutatott kapcsolatát se tudjuk általánosságban vizsgálni az egyes klaszterekben, mivel pusztán a káresemények száma alapján nincsen semmiféle garancia arra, hogy a vizsgált időszakban jelentős mennyiségű kárbejelentéshez vezető időjárási esemény bekövetkezett-e az egyes településeken. Ezt támasztja alá, hogy a 3156 magyarországi településből összesen 2745-ről érkeztek kárbejelentések az OKF-hoz a vizsgált időszak alatt.



## 5. Összefoglalás

A dolgozatban az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (OKF) kárbejelentési adatbázisa és az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) napi bontású rácsponti szélökés, csapadékmennyiség, csapadékintenzítás adatbázisa, illetve hóvastagság mérései és ónos eső észlelései között kerestünk kapcsolatokat. A következőkben a legfontosabb eredményeinket foglaljuk össze:

- A káresemények közvetlen környezetében a meteorológiai paraméterek eloszlása rendre határozottan a magasabb értékek felé tolódik el az összes rácsponti érték eloszlásfüggvényéhez képest. A teljes időszakban az összes káresemény típusra vonatkozóan a szélökés értékek 95. percentilise 22,1 m/s, míg a háttéradatbázis esetén csak 15,6 m/s. A csapadékösszeg esetén ugyanez a mutató rendre 40,5 és 12 mm, míg a napi maximális csapadékintenzításokra nézve 18,7, illetve 1,9 mm/20 perc.

- A nyári és a téli félévekben az adatbázisokban szereplő fakidölések és szélökések kapcsolata jelentősen eltér. A nyári félévek során a 24-28 m/s-s tartományba tartozó szélökések esetén körülbelül 12%-os, 28 m/s felett pedig 24%-os gyakorisággal fordul elő fakidölés káresemény az adott rácspontnak megfelelő helyen. Az október és március közötti időszakban a hasonlóan erős szélökések esetén ez az érték nem haladja meg a 3%-ot. A különbség valószínű oka a lombkora jelenléte, illetve hiánya.

- A téli félévekben az azon rácspontokra eső káresemények átlagos számában, melyek környezetéből fakidölést jelentettek, a szélesebbesség függvényében egy másodlagos maximum is kimatatható 4 és 8 m/s között. Ennek okát a havazás és az ónos eső következtében kialakuló hó és jégteher miatt bekövetkező káreseményekre tudtuk visszavezetni, mivel számottevő hó és ónos eső esetén inkább alacsonyabbak a szélesebbességek. Nyáron ugyanez a mutató (átlagos fakidölés szám adott szélesebbesség mellett az adott helyen) fokozatosan növekszik a szélökések nagyságának függvényében.

- A vízkárok előfordulása mind a téli, mind pedig a nyári félévek esetén rendre növekszik a napi csapadékösszegek nagyságának függvényében, ugyanakkor a téli félévek során lényegesen alacsonyabb gyakorisági értékeket lehet tapasztalni. 25 mm felett a nyári

félévekben az esetek 1-6,6, míg a téli félévek során 0,5-3,5%-ban fordult elő vízkár az adott rácspontnak megfelelő helyen. Ennek fő oka valószínűleg a téli félévekben jellemzően egyenletesebben, kisebb maximális intenzitás mellett hulló csapadék.

- Az elemi csapás - vihkár kategóriába sorolt káresemények kialakulásának háttérében a valóságban többféle meteorológiai esemény (a szélökés, a jégeső, a eső, a jég és a hóteher) egyaránt állhat. Ennek megfelelően ezt a kategóriát a szélökésre, a csapadékintenzitásra, valamint a csapadékösszegre vonatkozó szűrések szerint vizsgáltuk külön a nyári és a téli félévekre. A nyári félévek során az elemi csapás - vihkár káresetek 78%-nak esetén a károk környezetében a csapadékintenzitás értéke elérte a 10 mm/20 percet, és az adott rácspontban a szélökés meghaladta a 16 m/s-t és-vagy a csapadékösszeg a 20 mm-t, ugyanakkor a három paraméter együttállása csak a káresemények 6,6%-ánál állt fenn.

- A téli félévek során a fakidölésekhez képest az elemi csapás - vihkár kategóriába sorolt káresemény kisebb esetszámban fordul elő, ugyanakkor a 16 m/s-t meghaladó szélökések esetén a rácspontban lévő károk átlagos száma a fakidöléseknél tapasztaltnál fajlagosan 15-25%-kal magasabb. Ebből arra következtethetünk, hogy az épített környezet valamivel sérülékenyebb a faállományhoz képest viharos szél esetén.

- A téli félévek esetén a szélsébség függvényében monoton növekszik a káresemények környezetében elhelyezkedő rácspontokban a károk átlagos száma, tehát nem jelentkezik a fakidöléseknél tapasztalható másodlagos maximum. Ebből arra következtethetünk, hogy az épített környezet a faállományhoz képest ellenállóbb a ránehezű hó és jéglerakódásokkal szemben.

- A magyarországi települések azok népességével és lakásszámával történt klaszteranalízise során a népességgel és a lakásszámmal növekvű tendenciájú kárbejelentés számot kaptunk. Arra a kérdésre, hogy a növekvű tendencia háttérében a települések egyre nagyobb kitettsége vagy a városias környezet nagyobb sérülékenysége áll-e, nem tudtunk kellően megalapozott következtetéseket levonni, mivel a sérülékenység vizsgálatához szükséges belterületre vonatkozó információk nem álltak rendelkezésünkre. A földrajzi elhelyezkedés biztosan befolyásolja az egyes településekről érkező kárbejelentések számát,

azonban a hatás mértéke a rendelkezésünkre álló adatsor rövidegsége miatt nem határozható meg.

A vizsgálatok során a felhasznált adatokkal kapcsolatban számos probléma felmerült, melyek megnehezítették a munkánkat, bizonytalanná tették az eredmények értelmezését.

- OKF kárbejelentési adatainak problémái:
  1. A károk bejelentésének időpontja nem feltétlen esik egybe a kár bekövetkezésének időpontjával. Sok esetben még több nappal a meteorológiai esemény után is megjelennek a korábbi időjárás számlájára írható kárbejelentések. A bejelentést megelőző napok meteorológiai adatainak figyelembe vételével is csak részben volna lehetséges az ilyen adatok kiszűrése, illetve a káresemények időben történő visszasorolása. Munkánk során ilyen szűrést nem végeztünk.
  2. Egyes esetekben nem az időjárással, vagy nem közvetlen az adott térség időjárásával kapcsolatos kárbejelentések szerepelnek az OKF adatbázisában. Tipikusan ilyenek a vízkárok típusba sorolt csőtörések, illetve az árvízhelyzetekkel összefüggő vonulási adatok.
  3. Az általunk vizsgált három káresemény típus mellett más kategóriába sorolt káresemények is előfordulhatnak, melyek közvetten az időjárás hatásával vannak összefüggésben. Az egyik ilyen legfontosabb kategória a „Közúti baleset”, mely például jelentheti a rossz útviszonyok esetén (hófúvás, ónos eső, heves esőzés miatti sárfelhordás) elakadt, árokba borult járművek mentését.
  
- Meteorológiai adatok problémái:
  1. A lokális viharok (tipikusan a nyári konvektív szélrohamok) gyakran nem érintik az állomáshálózatot, így az EKOP adatbázis rácsponti széllökés adataiban sem jelennek meg. Más esetekben a káresemények bekövetkezése szempontjából kritikus széllökésadatok csak olyan speciális (például Balaton parti) mérőállomásokon jelentek meg, melyeket az EKOP algoritmus a állomások többitől eltérő jellege, reprezentativitása miatt eleve nem használ fel. Az állomáshálózatból „kieső” jelenségek számba vétele, azok kategorizálása komoly kihívást jelentő feladat, mely túlmutatott a dolgozat keretein.
  2. Az EKOP adatbázisban a csapadékmennyiség és a csapadékintenzitás esetenként igen érzékeny a radaros csapadékbecslés hibáira. Néhány esetben egyértelműen

tetten érhetünk jelentősebb felülbecsléseket a csapadékösszegekben, melyeket vagy a hibás radarreflektivitások, vagy a reflektivitásból csapadékintenzitásra történő átszámítását végző módszer hibájának tudhatunk be (*példát lásd a Függelékben*).

3. A havazásra és az ónos esőre vonatkozóan hiányos részletességű adatokkal rendelkezünk. A hógyarapodás időintervallumait és a kárbejelentések időpontját nem volt lehetőségünk pontosan párhuzamba állítani. Az ónos eső mennyiségére vonatkozó információkat nem használtunk, tekintettel arra, hogy ilyen paraméter közvetlenül jelenleg nem áll rendelkezésre az OMSZ adatbázisában.

Az OKF kárjelentési adatbázisa mellett számos más forrás is kiegészítheti a szélsőséges időjárás gazdasági, társadalmi hatásaira vonatkozó ismereteinket. A teljesség igénye nélkül több olyan intézményt és szervezetet is felsorakoztathatunk, melyek szisztematikusan dokumentálnak veszélyes időjárással összefüggő információkat. A közútkezelőknél az utak állapotára, esetleges útlezárásokra, balesetekre vonatkozó információk gyakran közvetlen kapcsolatban vannak a téli csapadéktevékenységgel, hófúvással, a szélviharok miatti fakidőlésekkel, nyáron pedig a hirtelen lezúduló csapadékkal, de a vasúti szolgáltatókra szintén elmondható ugyanez.

Az áramszolgáltatóknál az oszlopkidőlések vagy a távvezeték szakadások oka lehet egyrészt a viharos erejű szél, másrészt a jég és hóteher. Az erdőgazdaságoknál rendre vezetnek az úgynevezett abiotikus károk okát és nagyságát, melyek alapján szintén kategorizálható a jég- és hólerakódás nagysága, illetve a szél erőssége. Kiemeljük, hogy a jegesedésre, mint meteorológiai jelenségre ezekből a "külső" adatbázisokból szélesebb körű, nagyobb területre reprezentatív információk nyerhetők, mint amik pusztán a hivatalos mérési és megfigyelési adatokból származtathatók lennének.

A vízügyi igazgatóságok dokumentálják a kisebb vízfolyásokon kialakuló hirtelen áradásokat és a belvizek kiterjedését, de a mezőgazdasági károk nyilvántartásával is több intézmény foglalkozik. Ne feledkezzünk el a biztosító társaságokról sem, ahol gyakran éppen az időjárással összefüggő károkra történik a biztosítási összeg kifizetése. Az önkéntes észlelői hálózatok szintén hasznos bázissal szolgálhatnak különösen a lokális, kisebb területet érintő veszélyes, akár extrém időjárási jelenségek (például tornádó) dokumentációjában vagy a viharkárok felmérésében.

A felsorolt adatforrásokat komoly kihívás lenne egységes rendszerbe foglalni, ugyanakkor mégis erre lenne szükségünk, ha az időjárás életünkre, környezetünkre gyakorolt hatásait szeretnénk veszélyességük szerint kategorizálni, illetve a meteorológiai

adatbázisunkat olyan információkkal kiegészíteni, melyekre a hagyományos mérések és megfigyelések nem adhatnak választ.

További terveink között szerepel a káresemény adatok alapján egy olyan eljárás kidolgozása, aminek segítségével kvalitatív és kvantitatív előrejelzést tudunk nyújtani az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság számára arra nézve, hogy az ország mely területein, mennyi és milyen típusú időjárás indukálta káreseménnyel kell majd szembenéznük.

Ezen felül tervezzük további, a fent említett forrásokból származó káresemény adatok beszerzését valamint további meteorológiai adatbázisok felhasználását, hogy kibővíthessük az ismereteinket az időjárás infrastruktúrára gyakorolt hatásairól. Mélyebb ismeretek birtokában meghatározhatnánk az egyes települések sérülékenységet és kitettséget az időjárás viszontagságaival szemben, így pontosabb becslést tudnánk adni a meteorológiai események várható kockázatairól és hatásairól.

E célok eléréséhez először a vizsgálati módszerünket kell átalakítanunk úgy, hogy kezelni tudjuk a hosszan elhúzódó kárbejelentési időszakokat, ezzel kiküszöbölve, vagy legalábbis a lehető legnagyobb mértékben csökkentve annak a veszélyét, hogy az egyes káreseményekhez esetlegesen nem a megfelelő NetCDF állomány rácsponti értékei között keressük a káresemények lehetséges kiváltó okait.



## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek, Kolláth Kornélnak és Soósné Dr. Dezső Zsuzsannának a dolgozat elkészítése során nyújtott rengeteg segítségükért és kitartó munkájukért, valamint szakmai útmutatásukért.

Köszönöm az Országos Meteorológiai Szolgálatnak és az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóságnak, hogy rendelkezésemre bocsátották a dolgozat elkészítése során felhasznált adatbázisokat. Külön meg szeretném köszönni His Imrének és Dobos Gábornak a káresemény adatbázis bemutatását és hasznos tanácsaikat.

Köszönettel tartozom Bihari Zitának, az EKOP adatbázis bemutatását célzó fejezet megírásában nyújtott segítségéért és szakmai tanácsaiért. Köszönetet mondok Simon Andrének a programozási feladatok során nyújtott hasznos tanácsaiért, Pátkai Zsoltnak a káresemény adatbázis beszerzésében történt közbenjárásáért, valamint T. Puskás Mártának, az Országos Meteorológiai Szolgálat könyvtárosának az irodalmazásban nyújtott segítségéért. Végül köszönetet mondok Hodossyné Rétfalvi Ritának és Hercsényi Lászlónak a hóvastagság és ónos eső adatbázisok rendelkezésünkre bocsátásáért.





## Irodalomjegyzék

- Alfieri, L., Salamon, P., Pappenberg, F., Wetterhall, F., Thielen, J., 2012: Operational early warning systems for water-related hazards in Europe. *Environmental science and policy*, **21**, 35-49.
- Allaga, T., Simon, A., Kolláth, K., 2016: A szimmetrikus instabilitás megjelenése a 2014. december eleji magyarországi ónos esős helyzetben. *Légekör*, **61**, 121-128.
- Ancelin, P., Courbaud, B., Fourcaud, T., 2004: Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands. *Forest ecology and management*, **203**, 101-121.
- Bevere, L., Enz, R., Melholrn J., Tamura, T., 2012: Natural catastrophes and man-made disasters in 2011: historic losses surface from record earthquakes and floods. *Sigma*, 2011/2., Swiss Reinsurance Company Ltd. Economic Research and Consulting, Zürich, Svájc. 44p.
- Bonta, I., 2017: Több, mint 10 éves az OMSZ veszélyjelző rendszere 2017. augusztus. *Légekör*, **62**, 107-113.
- Burányoskiné, Sallai, M., Wantuchné, Dobi, I., 2010: A meteorológiai szolgáltatások fejlődése a Meteorológiai Világszervezet 60 éve alatt. *Légekör*, **55**, 15-22.
- Chopde, N. R., Nichat, M., 2013: Landmark based shortest path detection by using A\* and Haversine formula. *International. Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, **1**, 298-302.
- Dotzek, N., 2007: Potential benefits for pan-European forecasting of severe storms from the establishment of a "European Storm Prediction Centre" according to the US model. *Workshop "Severe Storms over Europe—A Cross-Border Perspective of Disaster Reduction"*, Akademie Schloss Hohenkammer, DKKV.
- Ebi, K. L., Schmier, J. K. 2005: A stitch in time: improving public health early warning systems for extreme weather events. *Epidemiologic reviews*, **27**, 115-121.
- Enz, R., Zimmerli, P. Schwarz, S., 2009: Natural catastrophes and man-made disasters in 2008: North America and Asia suffer heavy losses. *Sigma*, 2009/2., Swiss Reinsurance Company Ltd. Economic Research and Consulting, Zürich, Svájc. 43p.
- Gyarmati, R., Puskás, J., Nagy, É., 2014: Az időjárás hatása a magyarországi közlekedési balesetek előfordulására. *Légekör*, **59**, 61-63.
- Harrison, J., McCoy, C., Bunting-Howarth, K., Sorensen, H., Williams, K., Ellis, C., 2014: Evaluation of the National Weather Service impact-based warning tool. *Ninth Symp. on Policy and Socio-Economic Research*, 1-37.
- Horváth, Á., 2006: A 2006. augusztus 20-i budapesti vihar időjárásai háttere. *Légekör*, **51**, 24-26.

- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- Kolláth, K., Horváth, Á., Simon, A., Nagy, A., 2015: Mi okozta a pusztító ónos esőt? *Természet Világa*, **146**, 2. szám
- Kroonenberg, F., 2008: Meteoalarm update. *The European Forecaster*, **13**, 9-14.
- Liu, C., Cecil, D. J., Zipser, E. J., Kronfeld, K., Robertson, R., 2012: Relationships between lightning flash rates and radar reflectivity vertical structures in thunderstorms over the tropics and subtropics. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **117**, 1-19.
- Niedermöster, B., Ungersböck, M., Ohms, A., Stautinger, M., 2008: EMMA / METEOALARM European Weather warnings. Zentralanstalt f. Meteorologie und Geodynamik, Salzburg, 2p.
- Országos Meteorológiai Szolgálat, 2013: agro\_met\_hu\_2013\_tol. *Belső dokumentáció*, 6 p.
- Országos Meteorológiai Szolgálat, 2015: EKOP\_OMSZ\_folyamat-leiras\_v1.15. *Belső dokumentáció*, 13 p.
- Peachey, J. A., Schultz, D. M., Morss, R., Roebber, P. J., Wood, R., 2013: How forecasts expressing uncertainty are perceived by UK students. *Weather*, **68**, 176-181.
- Peltola, H., Kellomäki, S., Väisänen, H., Ikonen, V. P., 1999: A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of Forest Research*, **29**, 647-661.
- Petróczky, H., Buránszkiné, S. M., 2016: Időjárás-előrejelzések és riasztások értelmezése és megjelenése a mindennapi életben. *Légekör*, **61**, 112-120.
- Rogers, D., Tsirkunov, V., 2011: Implementing hazard early warning systems. *Global Facility for Disaster Reduction and Recovery*, **11**, 1-47.
- Stautinger, M., Kroonenberg, F., 2006: The EMMA Project – Operational Phase. *The European Forecaster*, **11**, 8-14.
- Staudinger, M., Koppe, C., Heikinheimo, M., Kroonenberg, F., 2009: Meteoalarm-Latest developments for weather warnings in Europe. In *9th EMS Annual Meeting, 9th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM) Abstracts, held Sept. 28-Oct. 2, 2009 in Toulouse, France*.
- Stepak, A., Wijnant, I. L., van der Schrier, G., van den Besselaar, E. J., Tank, A. K. 2012: Severe wind gust thresholds for Meteoalarm derived from uniform return periods in ECA&D. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **12**, 1969-1981.
- Szentimrey, T., Bihari, Z., 2007: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). *Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology*, 17-27.

- Wehner, M., Ginger, J., Holmes, J., Sandland, C., Edwards, M., 2010: Development of methods for assessing the vulnerability of Australian residential building stock to severe wind. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **11**, 1-6.
- Willis, P. T., 1984: Functional fits to some observed drop size distributions and parameterization of rain. *Journal of the atmospheric sciences*, **41**, 1648-1661.
- World Bank, 2016: Implementing multi-hazard impact-based forecast and warning services : a report on a workshop organized by China meteorological administration. Washington, D.C. : World Bank Group.
- World Meteorological Organization, 2015: WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services. Chairperson, Publications Board World Meteorological Organization (WMO), Genf. 23 p.

## Internetes hivatkozások

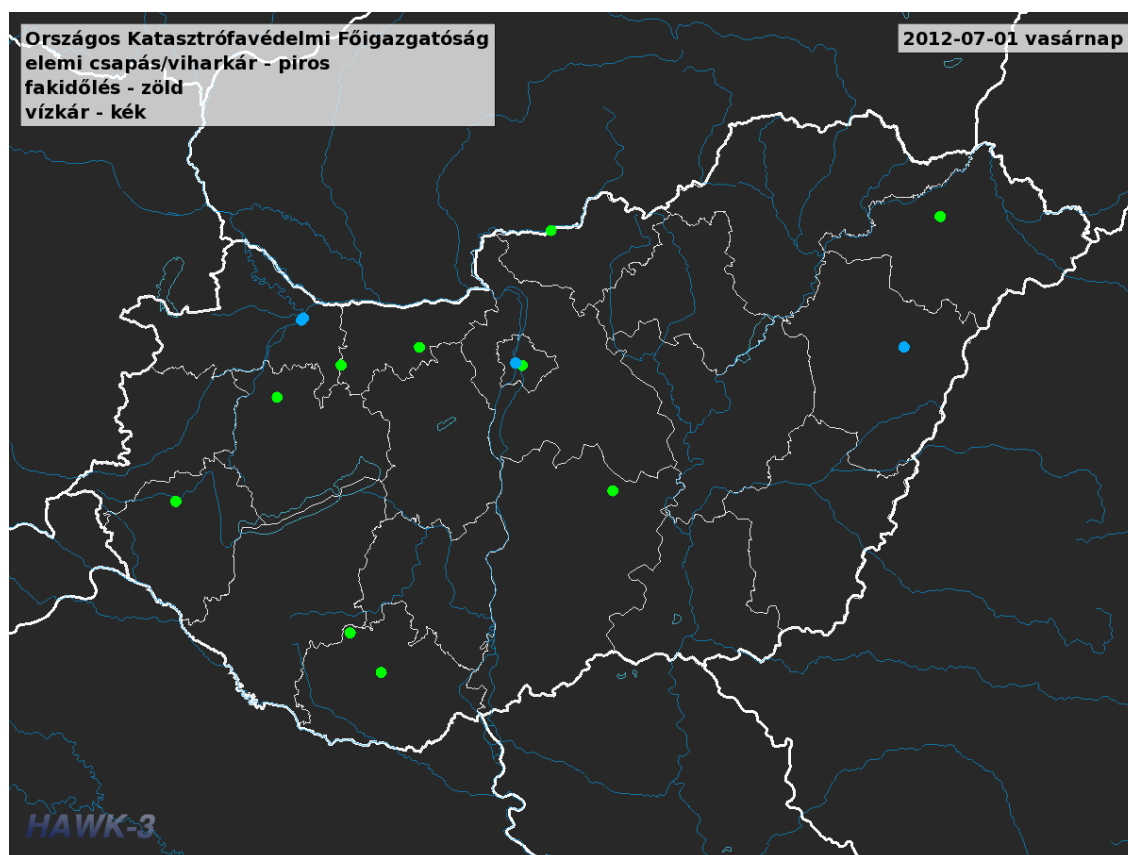
- [1 – Beck: Alerting Europe for extreme weather] Beck, A. 2014: Alerting Europe for extreme weather. Prezentáció, SWFDP-SA Workshop, Pretoria, Dél-Afrika.  
[http://rsmc.weathersa.co.za/PWS2/Day%201.2%2020141110%20Beck%20-%20Meteoalarm\\_SouthAfrica.pdf](http://rsmc.weathersa.co.za/PWS2/Day%201.2%2020141110%20Beck%20-%20Meteoalarm_SouthAfrica.pdf)
- [2– <http://www.meteoalarm.eu>] <http://www.meteoalarm.eu>
- [3 – [www.met.hu](http://www.met.hu)] [http://www.met.hu/idojaras/veszelyjelzes/omsz\\_veszelyjelzo\\_rendszere/](http://www.met.hu/idojaras/veszelyjelzes/omsz_veszelyjelzo_rendszere/)
- [4 – [pf-prg.hu](http://pf-prg.hu)] <http://pf-prg.hu/trafo/trafo-4-f.php?mod=0>
- [5 – <http://nepesseg.com>] <http://nepesseg.com/#2>
- [6 – [www.kemitenpet.hu](http://www.kemitenpet.hu)] [www.kemitenpet.hu/letoltes/tables.helyseg\\_hu.xls](http://www.kemitenpet.hu/letoltes/tables.helyseg_hu.xls)
- [7 – <http://www.gadm.org>] <http://www.gadm.org/download>
- [8 – <http://www.sthda.com>] <http://www.sthda.com/english/articles/29-cluster-validation-essentials/97-cluster-validation-statistics-must-know-methods/>
- [9 – <http://www.sthda.com>] <http://www.sthda.com/english/articles/27-partitioning-clustering-essentials/87-k-means-clustering-essentials/>
- [10 – <http://www.sulinet.hu>] [http://www.sulinet.hu/oroksegtar/data/telepulesek\\_ertekei/100\\_falu/Bukkszentkereszt/pages/001\\_h egyek.htm](http://www.sulinet.hu/oroksegtar/data/telepulesek_ertekei/100_falu/Bukkszentkereszt/pages/001_h egyek.htm)
- [11 – <https://index.hu>] [https://index.hu/belfold/budapest/2012/07/01/csotores\\_a\\_szent\\_gellert\\_teren/](https://index.hu/belfold/budapest/2012/07/01/csotores_a_szent_gellert_teren/)
- [12 – <http://www.met.hu>] [http://www.met.hu/idojaras/aktualis\\_idojaras/napijelentes/](http://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/)



## Függelék

### A csőtörések megjelenése az OKF kárbejelentési adatbázisában a vízkárok kategóriában

2012. július 1-én csőtörés történt a budai Bartók Béla úton, aminek hatása az alábbi, erre a napra vonatkozó káresemény térképen is megjelenik [11 – <https://index.hu>].



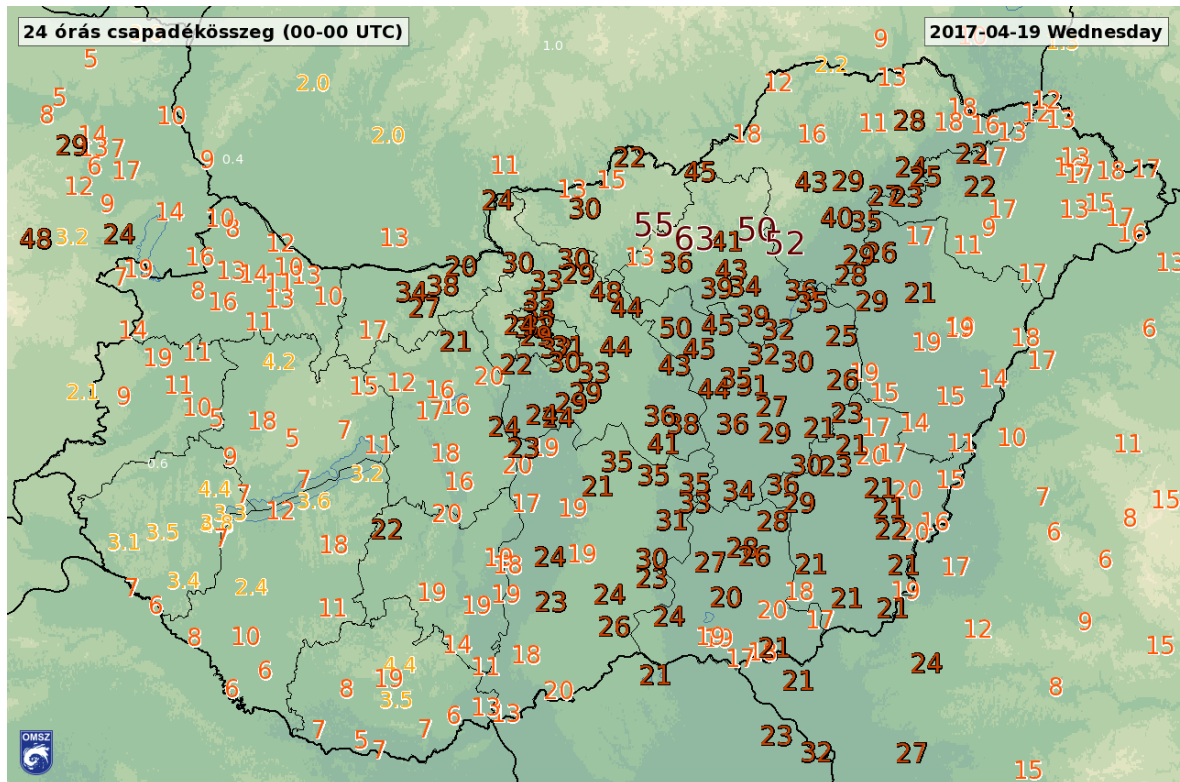
*Az OKF-hoz beérkező kárbejelentések alapján készült káresemény térkép 2012.07.01-re vonatkozóan. A zöld körök a fakidőléseket, a kékek a vízkárokat, míg a pirosak az elemi csapásokat jelzik. (Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)*

Budapestről 4 darab vízkárról érkezett bejelentés a nap folyamán a katasztrófavédelemhez, de Győrből is jelentettek 2 eseményt, illetve Debrecenből is egyet. Mivel az EKOP adatbázis csak 2014.06.01-től kezdődően tartalmazza a napi csapadékösszeg értékeket, ezért erre a napra vonatkozóan nem tudunk az EKOP adatbázis alapján készült térképet bemutatni, ugyanakkor a [www.met.hu](http://www.met.hu) honlapon elérhető Napijelentés kiadvány tanúsága szerint a kárbejelentéseket megelőző két napban Budapest és Győr környékén még csapadéknymnak megfelelő csapadék sem hullott [12 – <http://www.met.hu>]. A csapadékmentes időjárás, valamint a Bartók Béla úton történt csőtörés arra enged

következtetni, hogy a Budapesten bejelentett, vízkárok kategóriába sorolt káresemények háttérében a csőtörés áll, vagyis a káresemény adatbázisunk biztosan tartalmaz olyan eseteket, melyek kialakulásában a meteorológiai tényezők nem játszottak szerepet. A győri és a debreceni eseményekről nem rendelkezünk bővebb ismeretekkel, ugyanakkor Győrben a megelőző napok csapadékmentes időjárása miatt valószínű, Debrecenben a június 28-án hullott mindössze 6 mm csapadék miatt lehetséges, hogy hasonló helyzettel állunk szemben.

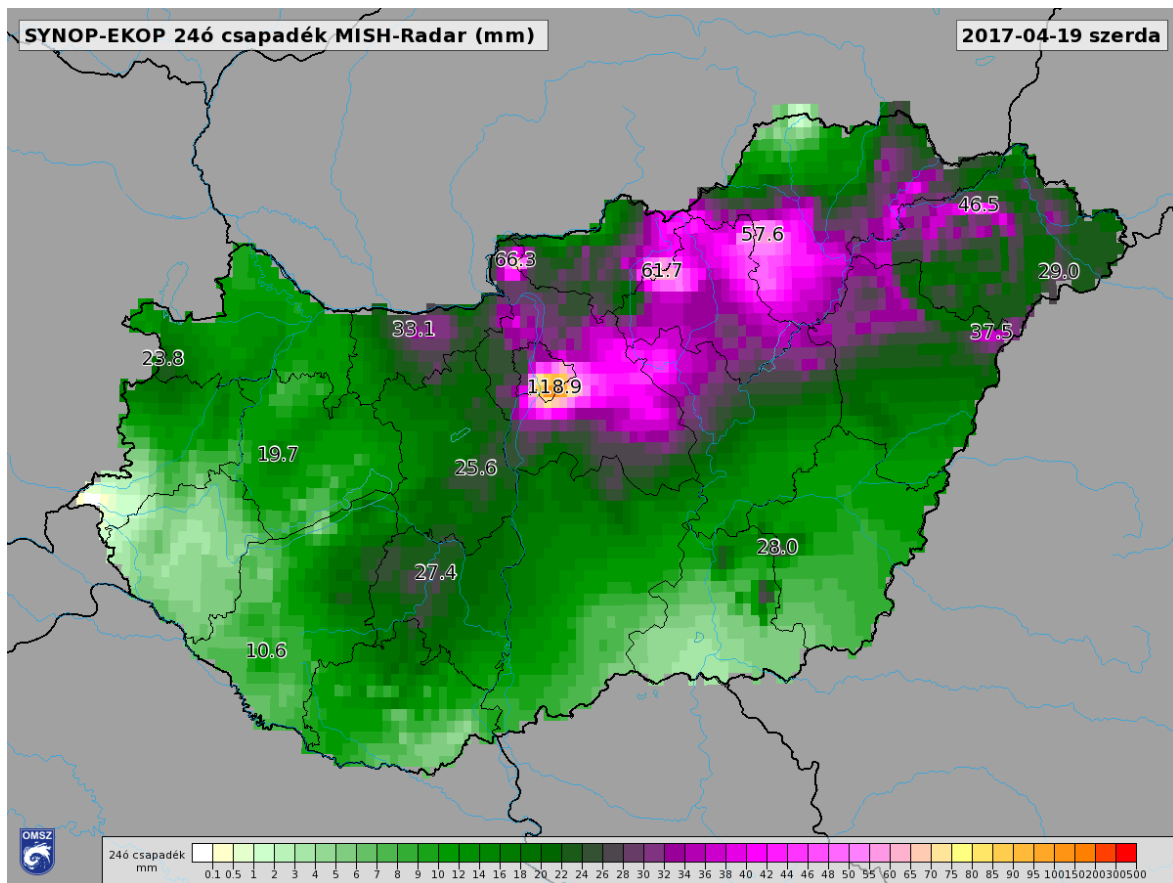
## Példa az EKOP adatbázisban hibásan megjelenő csapadékösszegre és csapadékintenzitásra

2017.04.19-én átlagosan 20-50 mm csapadék hullott az ország középső területein. Ennél magasabb napi csapadékösszegről csak az Északi-középhegység tájairól érkezett jelentés. Budapesten a legmagasabb mért csapadékösszeg 32 mm volt.



*Az OMSZ által mért 24 órás csapadékösszegek 2017. április 19-n (Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)*

Jól látható az EKOP adatbázis 24 órás csapadékösszeg térképén, hogy az ország déli felében a jelentősen alulbecsüli a csapadék mennyiségét. Csongrád és Békés megyében nagyterületen 20 mm feletti csapadékösszegeket mértek, míg az EKOP adatbázis rácsponti értékei jellemzően 10 és 18 mm között mozognak, csak Eperjes és Orosháza térségében jelennek meg 20 mm feletti értékek. Ezzel szemben az EKOP adatbázisban szereplő érték Budapesten megközelíti a 120 mm-t is, pedig, mint azt korábban említettük, itt a lehullott csapadék mennyisége nem érte el a 35 mm-t.



A 24 órás csapadékösszeg értékek területi eloszlása Magyarországon 2017. április 19-n az EKOP adatbázisban. (Forrás: Az OMSZ HAWK-3 megjelenítő rendszere)