



A jégeső előrejelzés verifikációja

Baár Péter, Csirmaz Kálmán, Kelemen Tibor

HungaroMet Nonprofit Zrt, baar.p@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2024.1.6

Az Országos Meteorológiai Szolgálat 2018 óta végez jégeső előrejelzést a Nemzeti Agrárgazdasági Kamara részére. Az előrejelzés során kiadott riasztások verifikációjához megalkottunk egy úgynevezett radaros jéges feltételt, aminek segítségével a radarmérések alapján kellő tér- és időbeli pontossággal meg tudjuk határozni, hogy a konvektív cellák nagy valószínűséggel okoznak-e felszínre elérő jégesőt. Emellett az ECMWF modellből számolt konvektív paraméterezőket is vizsgáltuk, hogy megtudjuk, elkülöníthető-e a felszínre elérő jégszemeket produkáló zivatarok kialakulásának körülményei a nem jéges zivatarokétól. Ez a tanulmány betekintést enged a fent említett radaros és modell alapú jégeség meghatározásának módszertanába, valamint bemutatja a verifikáció során felhasznált legfontosabb mutatókat és a 2023-as év eredményeit.

The verification of hail forecasts

Since 2018, Hungarian Meteorological Service has made hail forecasts for the National Chamber of Agriculture. To verify the issued forecasts, we needed to create a weather radar-based method wherewith it is possible to decide with high probability that a convective cell produces hail on the ground or not. By this, hailstorm detection with good frequency and spatial resolution is feasible. Additionally, we examined whether the conditions for the formation of hailstorms can be separated from ordinary storms based on the derived (so-called convective) parameters of the ECMWF fields to gain applicable utilities in forecasting hailstorms. Finally, we present our most significant indices which are used in the verification, and some results from 2023.

A Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (továbbiakban NAK) 2018 óta működteti a 986 talajgenerátorból álló országos jégkarmérséklő rendszert, amelyhez az Országos Meteorológiai Szolgálat (továbbiakban OMSZ), 2024 áprilisától pedig a HungaroMet Nonprofit Zrt. biztosítja a meteorológiai támogatást. Ennek keretében a szolgáltató az adott évi védekezési időszakban –április 15-től szeptember 30-ig– naponta háromszor, 7, 13 és 19 órakor küld figyelemztető

előrejelzést járási szinten a NAK számára, hogy mely területeken nem kizárt a jégeső előfordulása a következő 6 vagy 12 órás időszakban. Emellett az aktuális időjárási helyzet folyamatos követésével ultrarövidtávú valószínűségi előrejelzéseket is készít, melyeket riasztások formájában továbbít a NAK felé. A riasztásokat 2–3 órával a jégeső előtt kell kiadni, és legfeljebb 1 órával az utolsó jégszemek hullása után le kell venni.

A valószínűségi előrejelzés során négy kategóriát különítettünk el: 0, <30, 30–60 és >60% valószínűség. Ezekhez rendre a zöld, citromsárga, narancssárga és piros színek társulnak. A kiadott riasztásokat havi szinten verifikáljuk, megvizsgáljuk, hogy térben és időben mennyire voltak pontosak az előrejelzések. Ahhoz azonban, hogy ezt megtehesük, szükség van egy szisztematikus és kellően jó tér- és időbeli felbontással rendelkező adatsorra arra vonatkozóan, hogy hol és mikor fordulhatott elő jégeső. A legjobb tér- és időbeli felbontással a radarmérések rendelkeznek, melyeken a jégesőt okozó konvektív cellák mozgása és fejlődése is megfigyelhető.

Radaros jégdetektálás

Az országos jégkarmérséklő rendszerben a talaj-generátorok döntő többsége nem automata berendezés, az őket üzemeltető generátorkezelők a készülékek be- és kikapcsolása mellett folyamatos jégészlelési munkát is ellátnak. Az általuk 767 fix észlelői ponton 2019 és 2022 között végzett észleléseket egy logisztikus regresszió alapuló gépi tanulási módszer felhasználásával vetettük össze az OMSZ-nál előálló 3 dimenziós, 1 km-es felbontású, kompozit radarmérések eredményeivel. A választott matematikai módszer különösen többparaméteres vizsgálat esetén nagyobb szabadsági fokú küszöbsokaságot kínál a jeges/nemjeges radarmérések elválasztására. Alapvetően az alábbi paramétereket vizsgáltuk:

- oszlopmaximum radarreflektivitás (Z),
- VIL,
- VIL Density,
- H_{45} és H_0 magasságkülönbsége (továbbiakban dH), ahol H_{45} a 45 dBZ felső határának magassága, H_0 a 0 fokos hőmérséklet magassága (mindkettő km-ben),
- H_{45} és a W_0 magasságkülönbsége (továbbiakban dW), ahol a W_0 a 0 fokos nedves hőmérséklet magassága (mindkettő km-ben).

A 0 fokos szint magasságától függően három légkörtípust különítettünk el, és ezekben külön vizsgáltuk a jégészleléseket és a radarméréseket: nyári ($H_0 > 3000$ m), köztes ($2500 \text{ m} < H_0 \leq 3000$ m) és tavaszi-őszi vagy hűvös alsólégkörös ($H_0 \leq 2500$ m). A köztes helyzet egyfajta pufferezónaként szolgál a nyári és a hűvös alsólégkörös helyzetek között, így a kétféle eset között nincs éles ugrás.

A megfeleltetés során megkerestük az észlelés napján az adott pont körüli 5x5 km-es négyzeten áthaladt maximális H_{45} -tel rendelkező radarjelet. Amennyiben

nem fordult elő legalább 45 dBZ-t elérő reflektivitás, a napi maximális dBZ értéket vettük, de ha ez nem haladta meg a 40 dBZ-t, az észlelést kiszórtuk a vizsgálatból. Az egész napos feltételt az indokolta, hogy a tapasztalatok szerint az észlelésekhez tartozó konkrét időpontok nem voltak megbízhatóan közölve. Ezen felül nyári és köztes helyzetben megköveteltük a H_{45} létezését, mivel ekkor lehet az észlelést bevinni matematikailag értelmes vizsgálatokba. Ezzel nyári helyzetekben az észlelések <2%-át, köztes helyzetekben ~3%-át szűrtük ki. A tavaszi-őszi helyzetben a H_{45} létezését nem követeltük meg, mivel ilyen helyzetben túl sok jégészlelést, az esetek 21%-át szűrtük volna ki.

Emellett igyekeztünk számszerűsíteni a radaros mennyiségeket azokban a konvektív esetekben is, amikor a felhőből nem hullott jég. Ehhez a jégészlelések pontjaiban megnéztük azokat az időszakokat, amikor nem történt észlelés, de az észlelőhelyhez legközelebbi radarrácspontban 40 dBZ feletti volt az oszlopmaximum reflektivitás. A nyári és köztes időszakban megköveteltük a H_{45} létezését (így összehasonlítható a jeges esetekkel), valamint csak akkor tartottuk meg a nem jeges pixelt, ha a mérés előtti vagy utáni 15 perces intervallumban előfordult villám a 10 km sugarú környezetben. Ezzel a feltétellel elsődlegesen a radarzajokat, másodsorban a nimbostratus felhőzetbe ágyazódott erősebb góccokat igyekeztünk kiszűrni. Hűvös alsó légkör esetén ezt a feltételt nem követeltük meg, mivel ilyen körülmények között a jégesőhöz nem szükséges zivatarvekenység.

Az igen erős konvektív cellák esetén alkalmaztunk egy további, együttes feltételrendszert is a potenciálisan elmaradt jégészlelések kiszűrésére: a reflektivitás meghaladta az 55 dBZ-t, a VIL a 15-öt, és a $dH \geq 5$ km (ekkor a Holleman-módszerrel számolt Hail Probability >95%). Ez utóbbiakat szintén kihagytuk a feldolgozásból.

Az optimális elválasztó paraméter(párost) és a hozzá tartozó küszöböt (vagy összefüggést) klaszszifikációs gépi tanulási eljárással próbáltuk megtalálni, amivel analitikus módon megadható két pont-halmazt (jeges és nem jeges) optimálisan elválasztó görbe egyenlete. Mivel a vizsgálat során kétféle kimenetet vizsgálunk (jeges, illetve nem-jeges észleléshez, mint függő változóhoz tartozik-e az adott paraméterérték, mint független változó), ezért bináris klaszszifikációs eljárásra volt szükségünk, a logisztikus regresszió pedig egy ilyen klaszszifikációs módszer.

Mivel a nem-jeges mérések száma egy nagyságrenddel nagyobbak adódott a jegesekéhez képest, ezért *rétegzett véletlen mintavételezési eljárással* a nem-jeges pontok közül kiválasztottunk a jeges mérések számával

megegyező számú darabot. Így az előfordulási arányuknak megfelelően kerültek be elemek a kiválasztott mintába, miközben a kapott kisebb számosságú minta statisztikailag kellően jól reprezentálja az eredeti sokaságot. Ugyanakkor a véletlen mintavételi eljárás minden egyes alkalommal más és más sokaságot állít elő a logisztikus regresszió számára (még ha a rétegzettség miatt többé-kevésbé hasonlót is), a kapott összefüggések mintavételről mintavételre különbözni fognak. Hogy mekkora ingadozást jelent ez az eredményekben, ennek eldöntésére összesen 10 véletlen nem-jeges mintát állítottunk elő, és mind a 10 mintával elvégeztük a regressziós modellképzést. Nyári és hűvös alsólégköri helyzetben a jeges és nem-jeges sokaságot véletlenszerűen felbontottuk egy tréning és egy teszt adatsorra (0,7–0,3 arányban), az elválasztó-paramétereket a tréning adatsorra állapítottuk meg. A logisztikus regressziós modellt az összes radaros paraméterre egyenként (egyváltozós eset) és ezek tetszőleges kombinációira (kétváltozós eset) elvégeztük. A legjobb elválasztónak pedig azt a paraméter(párost) tekintettük, ami a 10 teszt adatsorra alkalmazva a legtöbbször a legmagasabb score-ral (megfelelően besorolt megfigyelések és az összes megfigyelés aránya) rendelkezett. Mivel a köztes helyzet esetszáma meglehetősen alacsony, ezért itt ezt a ketté bontást nem alkalmaztuk, szimplán a teljes adatsorra felállított logisztikus regresszió tulajdonságait vizsgáltuk.

A fenti vizsgálatot elvégezve az alábbi eredményeket kaptuk a H_0 alapján megkülönböztetett légkörtípusokra. Azt mondjuk, hogy egy radar rácspontnak megfeleltetett területen nagy valószínűséggel hullik a jég, ha az adott rácspontban a paraméterekre teljesül az 1. táblázatban bemutatott feltétel, amit jeges feltételnek nevezünk.

Légköri helyzet	Feltétel	Score
Nyári	$dH \geq 2,5535 \text{ km}$	0,939
Köztes	$dW > 1,458 + 0,0645 \cdot \text{VIL}$	0,906
Tavaszi-ősz	$\text{VIL} > 21,8959 - 0,435 \cdot Z$	0,912

1. táblázat. A jeges feltétel.

Modell szerinti jegesség

A közepes szélességeken előforduló nyári zivatarok mindegyike tartalmaz szilárd halmazállapotú csapadékelemeket. A jeges előrejelzésénél és a verifikációnál

a fő kérdés az, hogy ezek a szilárd csapadékelemek meg tudnak-e akkorára hízni, hogy a felhőből kihullva a felszínre érkezésig még ne olvadjanak el. A vizsgálat célja az volt, hogy megvizsgáljuk, elkülöníthető-e a felszínre elérő jégzemeket produkáló zivatarok kialakulásának körülményei a nem jeges zivatarokétól. Az eljárás során vizsgáltuk a labilitási mérőszámokat (erős kapcsolatban vannak a feláramlás intenzitásával), szélnyírást (növekedésével szervezettebb feláramlások jönnek létre) és a légköri nedvességet, mivel szárazabb légállapot esetén inkább a térfogatot jelentősebben növelő száraz növekedés a jellemző, másrészt a hulló jég szem száraz levegőre tegen keresztül hullva nagyobb mértékű hőelvonást tapasztal, ami az olvadás mértékét csökkentheti.

A paraméterek vizsgálatához az ECMWF-ből az OMSZ-ban számolt konvektív paraméter mezőket vettük alapul 2019 és 2022 között a védekezési időszakban. A mezők 2019-ben naponta kétszer (00 és 12 UTC-s ECMWF futásból), 2020-tól pedig már naponta négyszer (00, 06, 12 és 18 UTC-s ECMWF futásból) álltak elő 1 órás kimeneti sűrűséggel, 0,1 fok horizontális felbontással. Ezenfelül a radaros jégdetektáláshoz hasonlóan a H_0 értéke alapján 3 légkörtípust különítettünk el (nyári, köztes, tavaszi-ősz).

A vizsgált időszakban mindig az elérhető legfrissebb modellfutásból származó időlépcsőt vettük és megállapítottuk járási szinten, hogy az időpontot megelőző és azt követő fél órában teljesült-e a radaros jeges feltétel az adott járásban. Amennyiben igen, akkor az abba a járásba eső ECMWF rácsponti értékek közül kigyűjtöttük a szélsőértékeket az összes vizsgálandó paraméterre a jeges zivatarokat jellemző adathalmazhoz.

A nem jeges helyzetek megállapításához kinyertük az adott ECMWF időlépcsőből azokra a járásokra vonatkozóan a paraméterek szélsőértékeit, melyekben a jeges feltétel az időlépcsőt megelőző és az azt követő fél órában nem teljesült, de volt 40 dBZ-t meghaladó reflektivitás érték. Nyári és köztes helyzetekben akkor vettük csak figyelembe a modell rácsponti értékeit, ha a 40 dBZ reflektivitás időpontját megelőző 15 és az azt követő 5 percen az adott járásban előfordult villám. A villámok figyelembevétele a radaros jégdetektálásnál ismertett okok miatt volt szükséges. A kapott halmazból kiszűrtük továbbá azokat az értékeket, melyek esetén a nem-jeges cella időpontja előtti és az azt követő egy órában az országban bárhol előfordult olyan cella, ami teljesítette a jeges feltételt. Ezt a szűrést az indokolta, hogy a jeges és nem-jeges időjárási helyzeteket időben minél inkább elszeparáljuk egymástól, mert egymáshoz közeli járások esetén,

ha az egyik jeges míg a másik nem, akkor is hasonló a konvektív paraméterek értékei. A ± 1 órás időablakkal a cellák életciklusát, a kialakuló és összeroskadó cellák okozta torzítást vesszük figyelembe. Természetesen ezzel kiszűrjük azokat a nem-jeges cellákat, amelyek például az ország másik felében alakultak ki, más meteorológiai körülmények között, és végül nem is váltak jegessé. A jeges és nem-jeges helyzetekben a paramétereket elkülönítettük napszak szerint is. Az időszakok határát a napkeltéhez és napnyugtához kötöttük, de alkalmaztunk egy +2 órás eltolást.

A jeges/nem-jeges halmaz közti optimális elválasztó paraméter(páros) és a hozzá tartozó küszöbérték(ek) megkeresése a radaros jégdetektáláshoz hasonlóan *logisztikus regresszióval* történt. Paraméterpárokat nem az összes paraméterből képeztünk, csupán a labilitási paramétereket kombináltuk a nedvességi, valamint nyírási (vagy kompozit) paraméterekkel. Abban az esetben, amikor a minták elemszámában nagyságrendi különbség fordult elő, akkor a bővebb mintából *rétegzett véletlen mintavételi eljárással* választottunk ki elemeket a vizsgálathoz. A radaros jeges feltétel megalkotásához hasonlóan most 10 véletlen jeges mintát állítottunk elő, valamint egy fix nem-jeges sokaságot (a minta a továbbiakban az adott jeges minta és a fix nem-jeges sokaság együttesét jelenti).

Az adott mintát véletlenszerűen felbontottuk tréning és teszt adatsorra 0,75–0,25 arányban, azaz a teljes adatsor háromnegyedére állítottuk fel a logisztikus regressziót (tréning), ezt követően pedig megvizsgáltuk,

hogy a kapott regresszió hogyan teljesít az egynevednyi minta, a regressziós modell számára ismeretlen adatsor esetében (teszt). Egy teljes mintán belül a leghatékonyabb elválasztónak azt a paramétert vagy paraméterpárost tekintettük, amelynek a regressziós összefüggése a tesztelés során a 10 mintából a legmagasabb átlagos score értéket érte el.

A vizsgálatok elvégzése után az alábbi eredményeket kaptuk a H_0 alapján megkülönböztetett légkörtípusokra. Azt mondjuk, hogy egy modell rácspontnak megfelelő területen, amennyiben elégségesek a feltételek zivatarok kialakulásához, azokat felszint elért jégszemek kísérhetik, ha az adott rácspontban a paraméterekre teljesül a 2. táblázatban bemutatott feltétel, amit modell szerinti jegességnek nevezünk.

Verifikáció

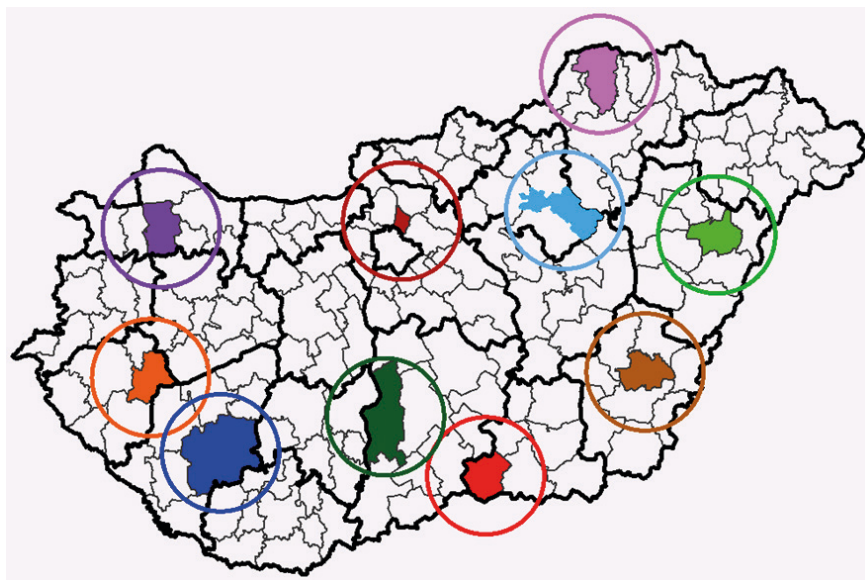
A radaros jeges feltétel segítségével 5 perces időbeli, 1 km-es térbeli felbontással meghatározhatjuk, hogy nagyobb valószínűség mellett hol és mikor fordulhatott elő jégeső, vagyis rendelkezésünkre áll a verifikációhoz elengedhetetlen, kellő tér- és időbeli felbontással rendelkező adatsor.

Bár a riasztások kiadásakor az elsődleges szempont, hogy mi várható a járásokban a riasztás kiadását követő 2 óra múlva, nem szabad figyelmen kívül hagyni az előrejelzésekben mindig jelen lévő térbeli bizonytalanságot. Ezen felül a zivatarok kialakulását meghatározó légköri feltételek és kényszerhatások jellemzően nem egy adott járásra koncentrálnak, valamint az átlagos járások meteorológiai értelemben relatív picinek tekinthetők, így általában lehetetlen pontosan megmondani, hogy a közigazgatási határok melyik oldalán fog konkrétan kialakulni a zivatar és azon belül a jégeső. Ezért az egyes riasztások vizsgálata során nem csak az adott járást, de annak egy meghatározott környezetét is figyelembe vesszük.

A környezet definiálásához minden járás esetén vettük az adott járás és a vele szomszédos járások területének összegét, majd kiszámoltuk az így kapott, 1700 és 6700 km² között változó területek mediánját. Ez ~4000 km² volt, ami egy hozzávetőlegesen 35,7 km sugarú körnek felel meg. Mivel a legnagyobb kiterjedésű

Légköri helyzet	Napszak	Feltétel	Score
Nyári	Nappal	$AVERHO6 < 0,4087 * MLCAPe - 169,17$	0,8066
	Éjszaka	$163,487 * SSI + 350,32 < SREHO3R$	0,7559
Köztes	Nappal	$8,2083 * MLCAPe + 0,00342 > WETBULBO$	0,6847
	Éjszaka	$3,7776 * EHI + 9,7779 < SHEARO6$	0,7379
Tavaszi-ősz	Nappal	$313,0532 * BLI + 1948,867 < WETBULBO$	0,8692
	Éjszaka	$46,64574 * SSI + 64,543 < SREHO3R$	0,8535

2. táblázat. A modell szerinti jegesség. Az AVERHO6 a 0–6 km-es réteg átlagos relatív nedvessége, a SREHO3R a 0–3 km-es rétegben a zivatarhoz képesti relatív heliklitás jobbra térülő szupercella esetén, a SHEARO6 a 0–6 km-es szélnyírás, a WETBULBO a 0 fokos nedves hőmérséklet magassága és az EHI az energia heliklitás index.



1. ábra. A járások környezetét bemutató ábra.

járás átmérője durván 63,5 km, így a 35,7 km sugarú kör ezt is lefedi. A járások környezetét az 1. ábrán szereplő színes járások és körök mutatják be.

Az előrejelzések bizonytalansága a riasztások levételénél is megnyilvánul, emiatt a levétel után számolunk egy türelmi, lecsengési idővel, amit védelmi időnek nevezünk. Ez azt fejezi ki, hogy bár az előrejelző úgy ítéli meg, hogy az adott helyzetben a narancs riasztási fokozat már nem indokolt egy járásban, de sok esetben a környező járásokban még aktív konvektív cellák miatt a jégeső esélye lassabban csökken a területen. A tapasztalatok szerint a védelmi idő alkalmazásával gyorsabban kerülnek le a riasztások és a lecsengés során kihagyhatók utólag feleslegesnek ítélt alacsonyabb fokozatú (például narancssárgát követő rövidebb citromsárga) riasztások is.

A verifikáció során többek között az alábbi mutatókat vizsgáljuk:

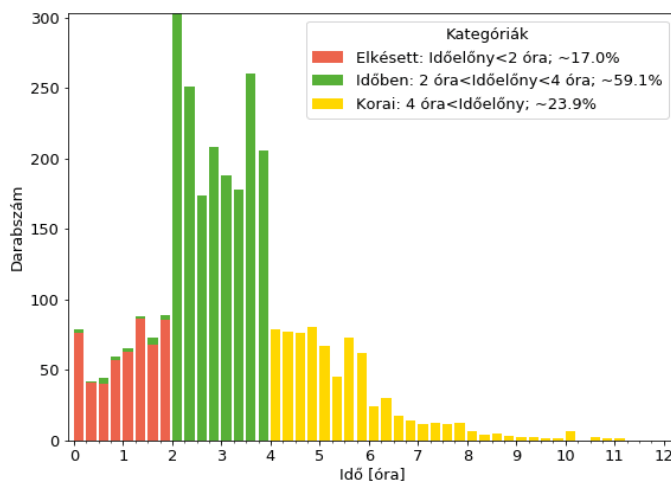
- mekkora időelőnyvel sikerült kiadni a riasztásokat,
- a járásban vagy környezetében mikor teljesült az utolsó jéges feltétel a levételhez képest,
- mennyi ideig voltak fenntartva a fölösleges riasztások,
- a riasztások fenntartásának mekkora hányada volt indokolt,
- az egyes riasztási fokozatoknak mekkora volt a beválási hatékonysága.

A riasztások időelőnyének meghatározásához megkeressük a kiadás utáni első jéges feltétel teljesülést a járásban vagy annak környezetében.

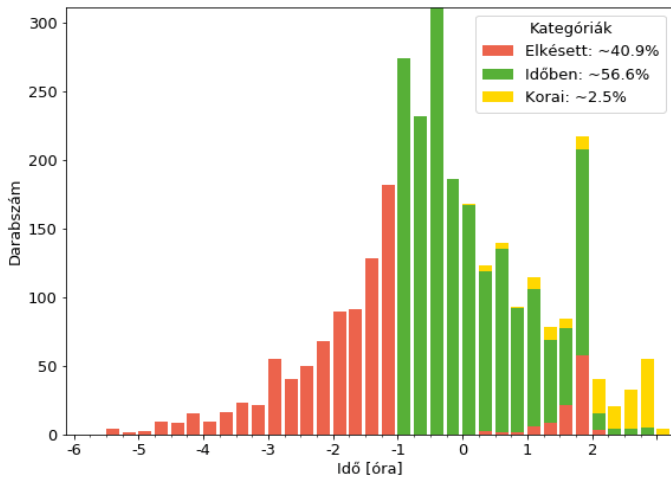
Mivel a riasztásokat ideális esetben 2–3 órával az első jéges cella előtt kell kiadni, így minden olyan riasztást, aminek az időelőnye nem éri el a 2 órát, elkésettnek tekintünk. Amennyiben az időelőny 2 és 4 óra közötti, úgy időben, ha 4 órát meghaladó, akkor túl korán kiadott riasztásnak minősül. Abban az esetben, ha a riasztás kiadása és a védelmi idő letelte között egyáltalán nem fordult elő jéges feltétel teljesülés, úgy az adott riasztás felesleges volt. A 2023-ban kiadott narancssárga

riasztások időelőnyét a 2. ábra mutatja be.

Az egymást követő riasztások levételének és kiadásának értékelése bizonyos esetekben ellentmond egymásnak. Például, ha volt egy piros riasztás, aminél a levétel után 1 óra 25 perccel, de a riasztás védelmi idejében még teljesült a jéges feltétel, akkor időben történt a levétel. Ugyanakkor az ezt követő riasztásnak az időelőnye ugyanarra a jéges feltétel teljesülésre 1 óra 25 perc, vagyis mivel nincs meg a szükséges 2 órás időelőny elkésettnek minősül, korábban kellett volna kiadni. Mivel a piros levétele (megfelelő időpontban történt) és a például narancssárga kiadása



2. ábra. A 2023-ban kiadott narancssárga riasztások időelőnyének megoszlása negyedórás felbontással.



3. ábra. A 2023-ban kiadott szükséges narancssárga riasztások levételének időbelisége negyedórás felbontással.

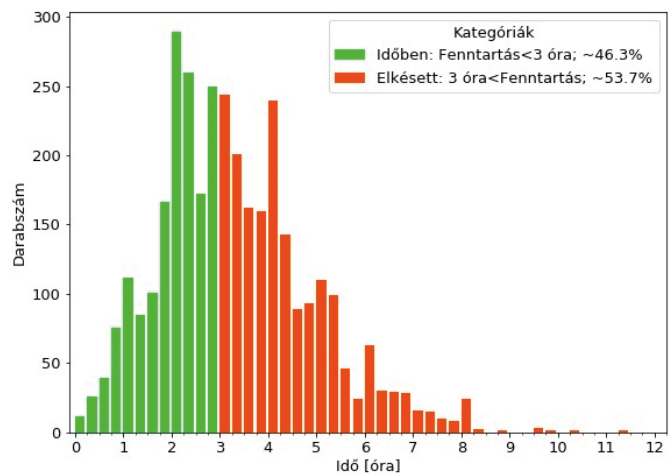
(korábban kellett volna meglépni) egy időpontba esik, így logikai ellentmondás lép fel. Ezt az ellentmondást mindig a magasabb fokozatú riasztás javára oldjuk fel és azt mondjuk, hogy a piros riasztást időben vettük le, következésképp a narancssárgát is időben adtuk ki. Ilyen helyzeteket jelölnek a 2. ábrán a 0–2 órás intervallumban, a piros oszlopok tetején megjelenő kisebb zöld sávok. Összességében a 2. ábra alapján elmondható, hogy amikor teljesült a radaros jeges feltétel a narancssárga riasztások kiadása után, akkor döntő többségében időben lettek kiadva a riasztások, de kiemelten a 0–1 órás intervallumban az elkésett riasztások száma nem lett kellően alacsony.

A levételek értékelésekor az utolsó jeges feltétel teljesülés időpontját vetjük össze az adott riasztás levételének idejével. A levétel elkésett, ha az utolsó jeges feltétel teljesülés és a levétel között több, mint 1 óra telt el. Amennyiben az utolsó jeges feltétel teljesülés és a levétel között legfeljebb 1 óra telt el vagy a feltétel teljesülése még a védelmi idő alatt történt, úgy időben, ha a védelmi időn túl, akkor túl korán került le az adott riasztás. A 2023-ban kiadott narancssárga riasztások levételének eloszlását a 3. ábrán mutatjuk be. Az ábrán a 0 időpont jelzi a levételt, a negatív tartomány a levétel előtti, a pozitív pedig a levételt követő időszakban előforduló jeges feltétel teljesüléseket mutatja be. Természetesen a levételek értékelésénél is figyelembe vesszük a korábban említett esetleges logikai ellentmondásokat, amiket most is a magasabb fokozatú riasztás javára oldunk fel. A pozitív tartományban szereplő

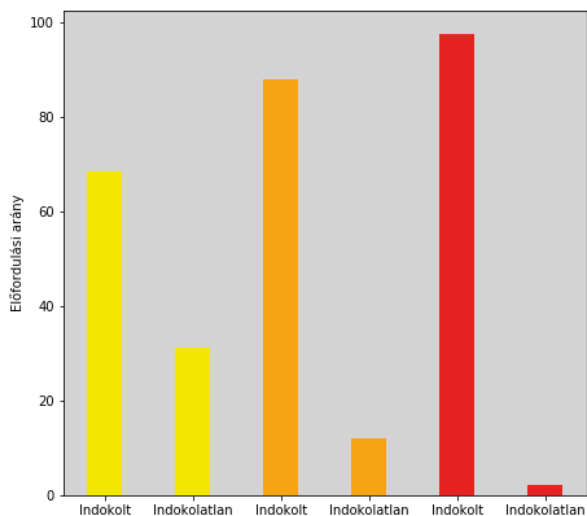
elkésett levételek azt jelzik, hogy a narancssárga riasztás után pirosra emeltük a fokozatot, de a piros riasztás időelőnye nem érte el a szükséges 2 órát, így az elkésett, a riasztási fokozat megemelését korábban kellett volna meglépni. A 3. ábra alapján a narancssárga riasztások döntő többségében időben kerültek megszakításra, de kiváltképp a 2–3 órát meghaladó kivárások (-2 – -3 órától balra) esetén hamarabb is lekerülhettek volna a riasztások.

A felesleges riasztások levételét a riasztások fenntartási ideje alapján értékeljük. Amennyiben 3 órán belül lekerültek a feleslegesen kiadott riasztások, akkor időben, ellenkező esetben túl későn történt a levétel. A 4. ábra alapján a narancssárga riasztások esetén kiemelten a 3–4 órás intervallumban alakultak túlzottan magasán az esetszámok, a magasabb fenntartási idők felé már erősebb lecsengetés látható. A 3–4 órás fenntartások esetén fontos szerepet játszik a bizonytalanság, hiszen 2–3 órás időelőnyrel kell kiadni a riasztásokat, de ha az időjárási helyzet nem a várakozások szerint alakul, akkor nagyon kevés idő marad az előrejelző számára, hogy a változást felismerje, és az adott riasztást időben megszüntesse. A probléma egy megoldása lehet, ha a 3 órás határt 4-re toljuk.

A riasztás-fenntartás indokoltságának vizsgálata során nemcsak a radarméréseket vesszük figyelembe, hanem a fentiekben bemutatott modell szerinti jegességet is, így az indokoltság vizsgálatát elvégezzük a radarmérések és a modell előrejelzések alapján külön-külön, valamint ezek együttes figyelembevételével.



4. ábra. A 2023-ban kiadott felesleges narancssárga riasztások fenntartási idejének megoszlása negyedórás felbontással.



5. ábra. A 2023-ban kiadott riasztások összesített fenntartási idejének megoszlása az indokoltság szerint külön-külön mindhárom riasztási kategóriára (citrom, narancs és piros), a radarmérések és a modell előrejelzések együttes figyelembevétele esetén.

telével is. Példaként a két adatsoron történő együttes meghatározást mutatjuk be, de külön-külön is hasonló módon számítjuk a riasztások fenntartásának indokoltságát. Indokoltnak tekinthető a riasztás fenntartása, ha legalább a radarmérésekben megjelentek a jeges cellák vagy legalább az ECMWF modell alapján számolt különféle, a zivatar- és jegeső-képződési potenciált számszerűsítő paraméterek mezői alapján valószínűsíthető volt azok kialakulása. Az eljárás során meghatározásra kerülnek az egyes riasztásokhoz tartozó ideális kiadások és levételek, vagyis azok az időpontok, amikor ki kellett volna adni, illetve le kellett volna venni az adott riasztást.

Az eljárás szerint a riasztást a radarmérésekben megjelenő első jeges cella előtt három órával, vagy az első jeges modell időlépcső előtt három órával kellett volna kiadni. Ez az ideális kiadás időpontja. Amennyiben a radarmérések és a modell előrejelzések által meghatározott ideális kiadások időpontja nem esik egybe, úgy a korábbi időpontot választja az eljárás, mivel legalább az egyik feltétel szerint indokolt volt a riasztás kiadása. Az eljárás az ideális levétel időpontjának az utolsó jeges cella utáni fél óra vagy az utolsó

jeges modell időlépcső utáni fél óra leteltét választja. Amennyiben a két időpont nem esik egybe, úgy a későbbi időpontot vesszük, mert hasonlóan a kiadás időpontjához, a levételnél is legalább az egyik feltétel szerint indokolt volt a riasztás fenntartása.

Egy riasztás tényleges fenntartási idejéből indokoltnak tekinthető az egyes ideális kiadás és levétel párok között eltelt idő. Indokolatlan a riasztás tényleges fenntartási idejéből minden másodperc, ami nem volt indokolt. Az 5. ábra a 2023-ban kiadott citromsárga, narancssárga és piros riasztások indokoltságát mutatja be a radarmérések és a modell előrejelzések együttes figyelembevétele mellett. Az ábra színei az egyes valószínűségi kategóriákba eső riasztásokat jelölik. Az ábra alapján 2023-as évben a riasztások fenntartásának jelentős része indokolt volt és az egyes riasztási kategóriákban az indokoltság aránya a riasztás fokozatával és így a jegeső valószínűségével folyamatosan növekszik.

Végezetül a 3. táblázatban bemutatjuk, hogy a 2023-ban kiadott különböző fokozatú riasztások esetén hogyan alakult a beválási hatékonyság. Beválási hatékonyság alatt azt értjük, hogy az adott fokozatú riasztások mekkora hányadánál fordult elő jeges feltétel teljesülés a radarmérésekben a riasztás kiadása és a védelmi idejének letelte között. Látható, hogy a 2023-as évben mind a négy riasztási fokozat az elvárt intervallumba esett.

Fokozat	Hatékonyság	Elvárt
zöld	95,0%	>90%
citromsárga	20,7%	<30%
narancssárga	46,2%	30-60%
piros	71,7%	>60%

3. táblázat. Az egyes riasztási fokozatok beválása a radaros jeges feltétel alapján.