

Kutatási lehetőségek a villámárvízi veszélyeztetettségi vizsgálatokban a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság területének példáján

Kivonat

Napjainkban a klímaváltozás miatt egyre szélsőségesebb időjárási jelenségek alakulnak ki, mint például az egyre gyakrabban kialakuló heves esőzések, melyek a villámárvizek kiváltó okai. A villámárvizek rövid idő alatt jelentős károkat tudnak okozni a mezőgazdaságban és a lakott területeken egyaránt, ezért rendkívül fontos a károk megelőzése és a megfelelő védekezés, ugyanakkor e jelenségek előrejelzése nagy kihívást jelent. A megelőzésben a különböző elöntési- és veszélytérképek segíthetnek, melyek megmutatják a villámárvíz által veszélyeztetett helyszíneket. Jelen kutatás a villámárvízi veszélyeztetettség mértékét vizsgálja a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság területén található Hábi-csatorna és a Rinya-patak példáján keresztül bemutatva. Előbbi esetében egy már megtörtént villámárvízi esemény, míg utóbbi tekintetében három fiktív csapadékmennyiséggel ellátott eset kerül bemutatásra. A vizsgálatokban egy eredetileg folyóvízi áradásokra kifejlesztett modell módosított verziójának alkalmazása történik ArcGIS 10.6 szoftver eszköztárának segítségével. A kutatásban öt (Hábi-csatorna), illetve hat (Rinya-patak) modell alapján készültek el a villámárvízi veszélyeztetettségi térképek, melyek során eltérő súlyozással kerültek bevonásra a bemeneti paraméterek. Az így kapott eredmények alapján öt veszélyeztetettségi osztályba sorolhatók a területek. A modellek képesek meghatározni a veszélynek leginkább kitett területeket bármekkora vízgyűjtő területen.

Kulcsszavak: villámárvíz, modellezés, GIS, veszélyeztetettség, települések

BEVEZETÉS

A villámárvizek és az aszály napjaink egyik „legfelkapottabb” témakörei a klímaváltozás jegyében. Egyre gyakrabban figyelhető meg hazánkban, hogy nyáron súlyos aszály sújtja a területeket, míg a tavasztól ősziig terjedő intervallum a „villámárvizek időszaka” is egyben. A globálisan végbemenő klímaváltozás következtében eltolódnak az évszakok, így e jelenségek előfordulási ideje is megváltozik. A különböző klímodellek és forgatókönyvek (A1, A2, B1, B2) szerint jelentősen át fog alakulni Magyarország éghajlata. Ennek kapcsán Bartholy és munkatársai (2008), valamint Torma és kollégái (2011) is megfigyelték, hogy az 1960-1970-es évektől az ország hőmérsékleti viszonyaira az erősen melegedő tendencia a jellemző, ami a hőség-, a meleg- és a nyári napok számának, illetve a hóhullámok hosszának növekedésével jár. Ezen kívül a szélsőséges csapadékesemények is egyre gyakrabban fordulnak elő az 1970-es évektől kezdve (Bartholy *et al.* 2008). Az időjárás változásait Baranyai és Varjú (2017) is vizsgálta társadalmi kutatás keretében. Eredményük alapján elmondható, hogy a felmérésben részt vevők többsége szerint gyerekkoruk óta közepes- vagy nagymértékben megváltozott az éghajlat.

A különböző regionális előrejelzések közül a PRUDENCE és a PRECIS modell eredményei alapján a Kárpát-medence átlaghőmérséklete emelkedni fog, viszont a csapadék mennyiségének és annak eloszlásában már nem egyezik a két modell előrejelzése (Bartholy *et al.* 2009; Krüzselyi *et al.* 2011). A PRUDENCE szerint az éves csapadékmennyiségben nem várható különösebb változás (2100-ig nézve), de az évszakos megoszlásában igen: nyáron jóval kevesebb, télen pedig több csapadék várható (Beniston *et al.* 2007; Christensen & Christensen 2007). Ezzel szemben a PRECIS modell az éves csapadékmennyiség csökkenését és a nyári aszályos időszakok gyakoribbá válását jósolja, ami mellé téli csapadékmaximumok társulnak (Bartholy *et al.* 2009; Pieczka *et al.* 2011). Ez a jövőbeni tendencia a Dunántúlra is igaznak bizonyul: nyáron kevesebb, télen pedig több (Dunántúl: +30-40%) csapadék fog hullani,

aminek hatására gyakoribbá válnak a villámárvizek kialakulását okozó heves esőzések. A klimatikus viszonyokhoz való alkalmazkodás és a klímaváltozás negatív hatásainak mérsékelése tehát egyre fontosabb feladattá válik a települések számára is, ahol a népesség közel 80%-a fog élni 2050-re (Clark et al. 2019; Hardi et al. 2014; Kotzeva 2016,). Egy magyarországi kutatás (Baranyai-Varjú 2017) a lakosság klímaváltozással kapcsolatos attitűdjét mérte fel, ami alapján elmondható, hogy a válaszadók döntő többsége már hallott a klímaváltozásról és pontosan tudja is ennek jelentését, ugyanakkor a hatásaival már kevésbé vannak tisztában, sőt, egyharmaduk szerint túlgondoljuk a klímaváltozás jelentőségét. Az árvizeket tekintve a válaszadók szintén egyharmada gondolta úgy, hogy a klímaváltozásnak nincs hatása az árvizek kialakulására.

Az emberek által érzékelt veszélyek és kockázatok gyakran nem egyeznek a tudomány által előrejelzett veszélyekkel. Egy villámárvízi esemény nem feltétlenül ismétlődik meg évente (mint ahogy a folyóvízi árvizeknél általában várható), ami a veszély elmúlását „sugallhatja”. Ugyanakkor a klímaváltozás, a földhasználat változása, a különböző antropogén hatások (pl.: városok terjeszkedése, erózió, patakok szabályozása, stb.) mind hozzájárulnak az előbb-utóbb bekövetkező villámárvízi eseményhez. Éppen ezért fontos azoknak a területnek a lehatárolása és veszélyeztetettségi fokozatok alapján történő besorolása, melyek vízfolyások mentén helyezkednek el.

A villámárvíz fogalma és jellemzői

A folyóvízi árvizek kutatása a nagyobb volumen, a modellezhetőség és az előrejelezhetőség miatt széles körben elterjedtté vált az idők során. Ezzel szemben a villámárvíz a tudományos területeken kevésbé kutatott téma, ugyanakkor jelentősége egyre nagyobb a bevezetésben már említett klímaváltozás negatív hatásai miatt. A villámárvíz fogalma az angolszász területekről ered, ahol „flash flood” vagy „storm driven flood” néven találkozhatunk vele (Balatonyi 2016; Czigány et al. 2010). Az angolszász területeken a városi térben lezajló villámárvizeket „urban flood” elnevezéssel illetik, azonban Magyarországon nincs ilyen megkülönböztetés, pedig a városi villámárvizeket erősen befolyásolják a települések természeti és az épített környezet adottságai (pl.: domborzat, beépítettség, városszerkezet, csatornák vízelnyelési képessége, vízzáró és vízáteresztő felületek, stb.), így egy városi és egy természetben előforduló villámárvíz jellegükben különbözhetnek egymástól.

A villámárvizek esetében általában rövid idő alatt hullik le nagy mennyiségű csapadék, ami évszaktól függetlenül kialakulhat (Balatonyi 2016). Ez az árvízi esemény a domb- és hegyvidéki térségek kisebb vízgyűjtőkkel rendelkező vízfolyásain jellemző, ahol a patakok vagy folyók szakaszjellege hirtelen változik a domborzati adottságokból kifolyólag, és ahol az orografikus konvekció általi csapadékképződés a meghatározó (Czigány et al. 2010). Az árhullám levonulása gyorsan végbemegy (általában fél-egy óra alatt), ami miatt a reagálási idő rövid, illetve az esemény pontos előrejelzése is nehézkes (Hegedüs 2015). Tovább ronthatja a helyzetet a telített talaj egy esetleges második árhullámkor, hiszen ez esetben a talaj vízelnyelő képessége nem megfelelő, így a lehullott csapadék „gondtalanul” elfolyik a területről, ráadásul kevesebb mennyiségű víz is árvizet tud okozni. A talajon kívül fontos tényező még a növényzet vízvisszatartó képessége (Dobai-Dobos 2022), ami évszakosan és növényfajtától függően változhat.

A villámárvizek vizsgálatakor a meteorológiai megközelítés szerint az adott vízgyűjtőre hulló csapadékintenzitás a legfontosabb, míg a hidrológiai szemléletben a csapadékmennyiség és – intenzitás, illetve a különböző felszíni peremfeltételek is szerepet játszanak az esemény lezajlásában. E jelenségek „természetének” megértéséhez szükséges a monitoring tevékenység és a modellezés, ami a már említett okok miatt nem egyszerű. Azonban az előrejelezhetőséget segíthetjük villámárvízi veszélyeztetettségi modellekkel, amelyek segítségével a veszélynek leginkább kitett területeket le tudjuk határolni. Ez hozzájárulhat a villámárvíz okozta károk megelőzéséhez, kijelölheti a segítségnyújtás szempontjából legfontosabb területeket, így rövidítve le a reagálási időt. A jövőben (és már napjainkban is) a különböző környezeti veszélyek elleni védekezés és a klímaváltozás okozta negatív hatások mérséklése, valamint az ezekhez való alkalmazkodás globális szinten egyre fontosabbá válik, aminek része a villámárvízi veszélyeztetettség tanulmányozása és a települések rezilienciájának (rugalmas ellenálló képesség) növelése a kockázatok csökkentése révén.

Villámárvízi veszélyeztetettségi kutatások

A villámárvizeket bemutató tanulmányok többsége magával a villámárvízi esemény jellemzőivel, lezajlásával foglalkozik, míg egyesek az esemény megtörténte utáni társadalmi-gazdasági hatásokkal. A folyóvízi- és a villámárvizek egyaránt veszélyes, komoly károkat okozó, akár halálos áldozattal is járó jelenségek, amelyek előrejelzése, az események lezajlásának modellezése és a veszélyeztetett területek azonosítása a klímaváltozás miatt egyre fontosabbá válik.

Az árvízi modellezésnek két fajtája van: egyik a valós idejű adatfelhasználáson alapul (numerikus lefolyás modellek), a másik pedig a lehetséges káresemények helyszíneinek lehatárolásán alapszik (gyors elemző modellek). Utóbbi által lehetségesek az ún. veszély- és veszélyeztetettség térképek létrehozása, amihez szükséges a veszélyforrások azonosítása és a veszélyeztetett területek lehatárolása. A villámárvízi térképezés fogalma Zhang és munkatársai (2015) szerint a következő: „...a villámárvíz megelőzésére irányuló nem szerkezeti intézkedések támogató eleme” (Zhang et al. 2015, 1. o.). A veszélyeztetettség továbbá szorosan összefügg az árvízi sebezhetőség fogalmával, miszerint ez a vízzel kapcsolatos jelenségek által okozott károkkal szembeni fogékonyság mértékét jelenti (Gallopín 2006).

Hazánkban a Katasztrófavédelem 1995-től kezdődően foglalkozik a települések kockázatalapú besorolásával, aminek alapja 2012-től egy kockázati mátrix, mely során az események várható következményeit és bekövetkezésének gyakoriságát veszik figyelembe, majd ez alapján három osztályba (I-III.) sorolják a településeket. A villámárvízi veszélyeztetettség szempontjából a domborzatot, a talajszerkezetet, a talajtelítettséget és a csapadéktevékenységet veszik figyelembe az elemzés során. Az I. osztályba rendszerint a nagy(obb) városok és az alföldi települések tartoznak, míg a III. kategóriában a községek találhatóak döntő többségben. Fontos hangsúlyoznom, hogy az alábbi ábra az összesített eredményeket mutatja, hiszen az alföldi területek nem tartoznak a villámárvíz által fenyegetett térségek közé a domborzati viszonyokból kifolyólag (Czigány et al. 2009).

2013-tól működik a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer, ami a vízfolyások kilépési pontjain határozza meg a vízfolyás villámárvízi érzékenységét, amiből lehet következtetni a környező települések veszélyeztetettségére. A NATÉR térképe a következő

adatokat alapján sorolja be a vízfolyások kilépési pontjait egy ötfokozatú érzékenységi skálán: vízgyűjtő területe, domborzat, alak (körhasonlóság), erdőborítottság. Ehhez hasonlóan vizsgálta a villámárvízi események súlyosságát Pirkhoffer (2012) is, ugyanakkor jóval több szempont alapján. Kutatásában a domborzat, a földhasználat, a talajadottságok, a geológia, a csapadékintenzitás és a vízhálózat szerepelt, mindezt a kilépési pontoknál vizsgálva.

A magyar kutatók körében is a 2010-es évektől kezdve vált igazán népszerűvé a villámárvízek témája. A villámárvízi modellezés, a veszélyeztetettség és egyes megtörtént esetek bemutatása a leginkább jellemző a kutatásokban. Czigány és munkatársai (2009) a magyarországi hegy- és dombvidéki területek villámárvízi numerikus modellezésének lehetőségeit vizsgálták, történeti (megtörtént) eseteket alapul véve. A kutatás célja egy országos szintű történeti-statisztikai modell (HiStaM) kidolgozása volt, mely során a digitális magassági modellt (DEM), a maximum csapadék-mennyiséget és -intenzitást (10 perces), a 40 mm-nél több csapadékmennyiséggel járó esős napok számát, az AGROTOPO adatállományát és a geológiai adottságokat alkalmazták. Az így kapott modell a villámárvíz sújtotta vízgyűjtők meghatározására alkalmas, de kilépési pontokat nem tudta megbízhatóan megjeleníteni.

Egy másik magyar kutatócsoport (*Domján et al.* 2016) az összegyülekezési időt és a reakcióidők számításából vezette le a csapadékesemények kimenetelét villámárvízi környezetben. A vizsgálatban egyes pécsi vízfolyások szerepeltek mintaként, a 2014-es csapadékesemények alapján. Az alkalmazott változók között a csapadék-mennyiség és -intenzitás, valamint a vízfolyások vízállás adatai szerepeltek. Eredményeik alapján elmondható, hogy a mintaként szolgált vízfolyások esetében a reakcióidő és a csapadékintenzitás között nem mutatkozott évszakos korreláció, azonban a nyári és őszi időszakban bekövetkező csapadékesemények rövidebb reakcióidővel jellemezhetők.

Dobai és Dobos (2022) pedig az észak-magyarországi Nyögő- és Harica-patak mintáján keresztül mutatta be a területek csapadék visszatartási képességét. Ehhez a tájhasználatot, a DEM-et és a lejtőmeredekséget használták. A kapott értékeket öt osztályba sorolták az alapján, hogy a talajadottságok mennyire járulnak hozzá a felszíni lefolyáshoz villámárvízi esemény bekövetkeztekor. A vizsgált mintaterület a harmas osztályba tartozik, melyre az erdős lejtők, irtások, rétek és legelők tartoznak.

A nemzetközi tanulmányok közül Kourgialas és Karatzas (2010) munkája mindenképp említésre méltó. A szerzőpáros a veszélyesnek ítélt területek térbeli eloszlását becsülte meg hat tényező alapján (áramlás felhalmozódása, lejtőszög, földhasználat, csapadékintenzitás, geológia, tengerszint feletti magasság), a görögországi Koiliaris-folyó mintáján. Ez a módszer kis(ebb) vízgyűjtőterülettel rendelkező vízfolyások esetében is alkalmazható, mely során öt fokozat alapján sorolták be a településeket és területeket a veszélyeztetettség szempontjából. A villámárvízek társadalmi- gazdasági hatásainak vizsgálatára jó példa Ritter és kollégái (2020) publikációja. Az általuk kidolgozott ReAFFIRM módszer rácshálós csapadékbecslés alapján villámárvízi veszélyeztetettség valós idejű értékelésére alkalmazható. A modell az adott területen élő lakosság, a gazdasági károk és a kritikus infrastruktúra meghibásodásai révén „méri fel” a villámárvíz hatásait. A módszer hátránya, hogy csak a nagy hatással rendelkező területeket képes kimutatni, illetve a gazdasági károkat felülreprezentálja. Összességében viszont elmondható, hogy eredményeik biztatóak és a jövőben egyre nagyobb haszna is lesz, tekintve, hogy az Európában levonuló árvizek társadalmi- gazdasági hatása az előrejelzések szerint 220%-kal fog növekedni 2080–2100-ig (*Alfieri et al.* 2015).

A bemutatott szakirodalmi példákön láthatjuk, hogy mennyire szerteágazó és sokrétű a villámárvíz kutatása, de igaz ez a veszélyeztetettség vizsgálataira is. Az elemzések többsége nem egyezik meg az alkalmazott módszertanban és változóiban, vagyis nincs általánosan elfogadott veszélyeztetettségi vizsgálati mód, de gyakran még a vizsgálat területi egységében sem egyeznek meg (pl.: teljes vízgyűjtő területe vagy „csak” kilépési pontok). Jelen dolgozatban a villámárvízi veszélyeztetettség kutatásának egy új(abb) megközelítését vagy módszerét kívánom szemléltetni.

CÉLKITÚZÉS ÉS MÓDSZERTAN

A villámárvízi veszélyeztetettség terén készült tanulmányok esetében láthatóvá vált, hogy nincs egységes vizsgálati szempont és módszer a villámárvizek hatásának vizsgálatát illetően. A kutatók egy része a kilépési pontok szelvényét, míg mások a teljes vízgyűjtő területét veszik alapul, ugyanakkor egy modellezésbe bevont változóban biztosan egyeznek: a domborzatban. Jelen kutatás célja a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság működési területén lévő Hábi-csatorna és Rinya-patak villámárvízi veszélyeztetettségi vizsgálata egy olyan módszer alapján, melyet elsősorban folyóvízi árvízi modellezéshez használnak a térinformatikában (Hivatkozás irodalomjegyzékben). A Hábi-csatorna esetében egy már megtörtént villámárvízi eseményt (2010. május 17-18.) vizsgálom a vízgyűjtő területén (126 km²) található települések veszélyeztetettségi mértékét illetően, míg a Rinya-patak tekintetében három feltételezett csapadékesemény (50 mm, 100 mm, 200 mm) hatására bekövetkező veszélyek mértékét mutatom be a vízfolyás 921 km² méretű vízgyűjtő területén. A vizsgálatok során alkalmazott módszerekkel célom, hogy az eredmények a lehető legnagyobb mértékben tükrözzék a valóságot, vagyis kirajzolódjanak a leginkább veszélyeztetett területek és települések, melyek számára segítséget nyújthatnak jelen kutatás eredményei az árvizek okozta kártételek megelőzésében és a védekezésben.

A kutatás során vektoros és raszteres adatállományból is dolgoztam. Az adatok típusait és forrásait az alábbi táblázat mutatja be.

1. táblázat. A dolgozatban szereplő adatok típusai és forrásai

Adat (réteg)	Adatállomány típusa	Adat forrása
Vízgyűjtő terület	vektor (poligon)	DDVIZIG
Vízfolyás	vektor (vonall)	DDVIZIG
Domborzat	raszter (25 m-es felbontású)	Copernicus Land Monitoring Service (2011)
Napi csapadékmennyiség	raszter	DDVIZIG és OMSZ adatok alapján interpoláció által
Földhasználat	raszter	Copernicus Land Monitoring Service (2018)
Települések belterületei	vektor	DDVIZIG

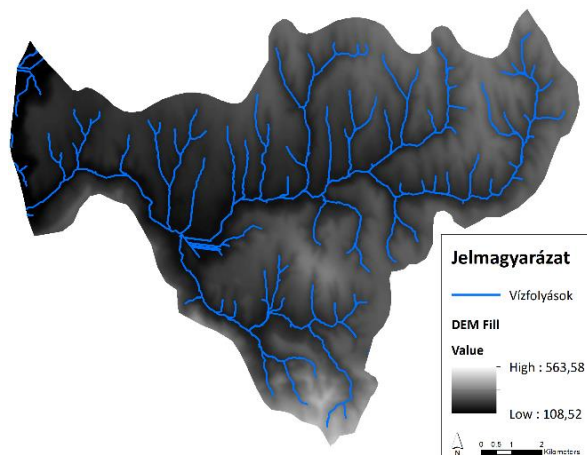
A végső modell a táblázatban látható rétegeken túl tartalmazza a lejtőszöveget és a befogadótól való távolságot is, de ezeket a domborzati réteg értékeiből jelenítettem meg az ArcGIS 10.6. szoftver Hydrology tools segítségével. A modellben továbbá alkalmaztam a Map Algebra, a Surface, a Distance, a Reclass, az Interpolation és az Overlay eszköztár elemeit is. A modell elkészítésének 10 lépését a Hábi-csatorna vízgyűjtő területén keresztül mutatom be az

Eredmények fejezetben. Fontos még kitérnem arra is, hogy a modellt ötféleképpen futtattam le: első esetben az eredeti, folyóvízi árvizek esetén használatos súlyozási értékekkel, második esetben minden paramétert ugyanolyan mértékben vettem figyelembe, a többi esetben pedig az eredetitől eltérő súlyozást alkalmaztam annak kiderítése érdekében, hogy a villámárvizek által veszélyeztetett területek azonosítására melyik változat a legalkalmasabb. A Hábi-csatorna esetében 145 mm csapadékkal számoltam, amit 5-ös kategóriának feleltettem meg, vagyis ez a csapadékmennyiség jelenti a legnagyobb veszélyt a modellekben. A Rinya tekintetében az 50 mm 3-as, a 100 mm 4-es, a 200 mm pedig 5-ös fokozatnak számít.

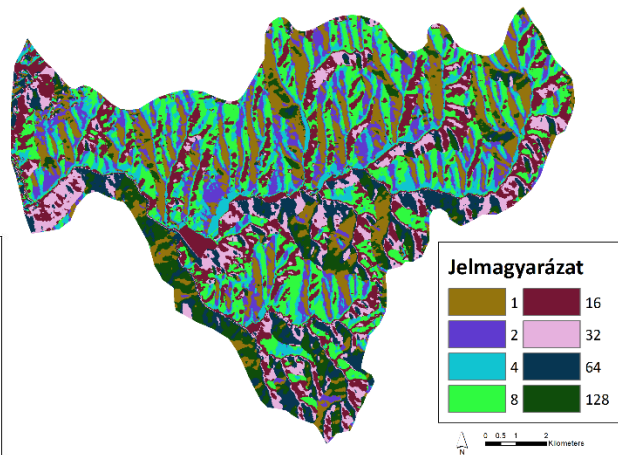
EREDMÉNYEK

A 2010. május 17-18-i villámárvíz a Hábi-csatornán

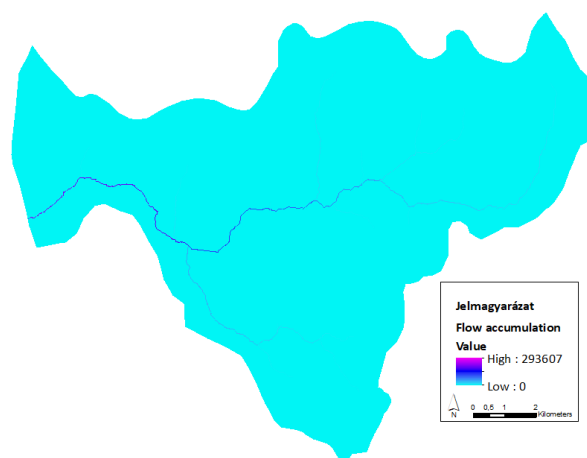
A 2010-es év nem csak a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság működési területén volt rendkívül csapadékos, hanem országos szinten egyaránt. A 2010. május 17-18-i nagy mennyiségű csapadék hatására több vízfolyáson is villámárvíz alakult ki. Az alábbiakban lépésről lépésre mutatom be a kutatásban alkalmazott módszert a Hábi-csatorna példáján keresztül.



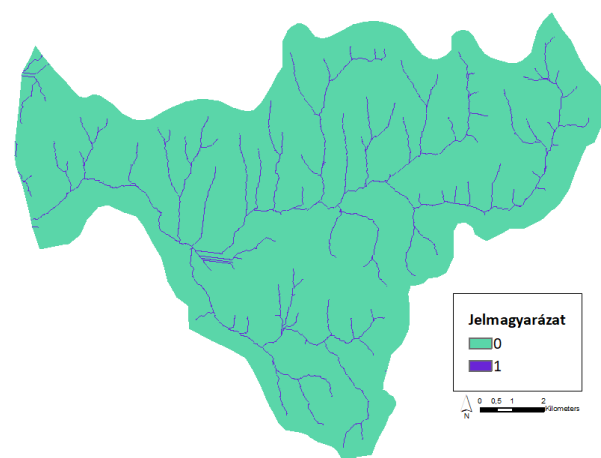
1. ábra. DEM – Fill: a medencék és patakok megfelelő lehatárolásának biztosítása érdekében „feltölti” a vízgyűjtőket



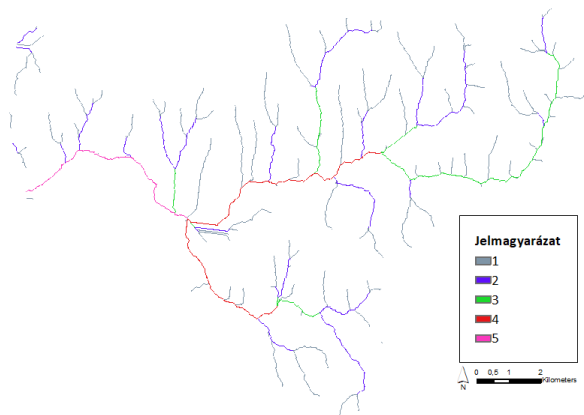
2. ábra. Flow direction: a raszter minden cellájából meghatározza az áramlás irányát



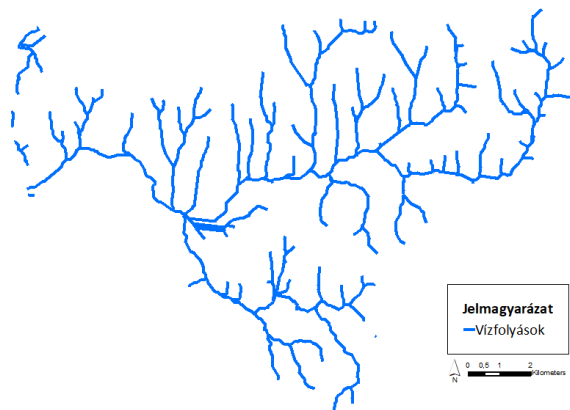
3. ábra. Flow accumulation: a kimeneti raszter minden egyes lejtő alatti cellájába áramló összes cella összesített súlyaként számítja ki a felhalmozott áramlást



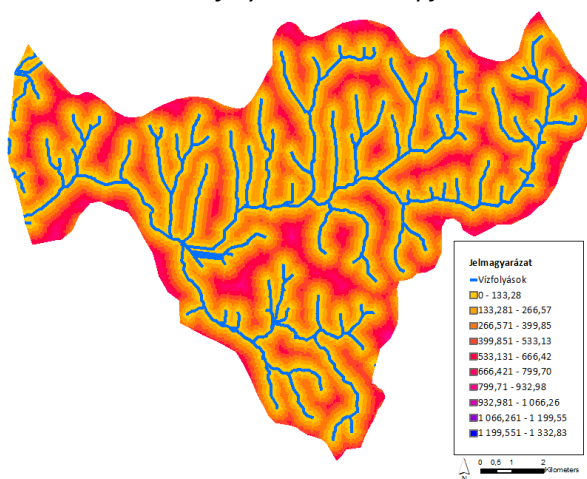
4. ábra. Raster calculator: flow accumulation > 500, ami a nagyobb vízfolyásokat azonosítja



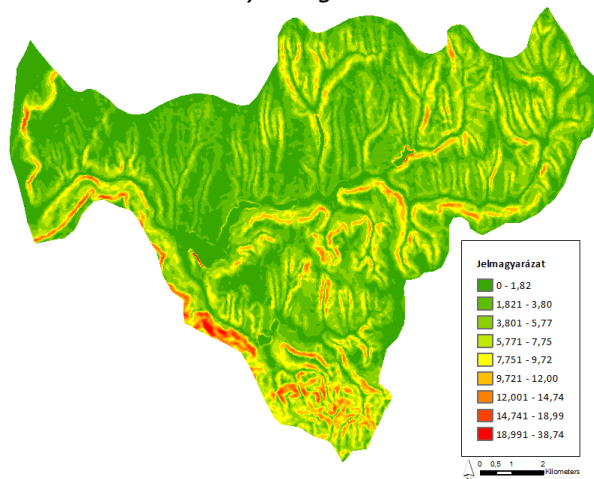
5. ábra. Stream order: a vízhálózatban a kapcsolatokhoz numerikus sorrendet rendel. Ez a sorba rendezés a patakok típusainak azonosítására és osztályozására alkalmas a mellékfolyók száma alapján



6. ábra. Stream to feature: az eszköz által használt algoritmus a patakálózatok vagy lineáris raszterhálózatot tartalmazó raszter vektorizálására alkalmazható, amelynek irányultsága ismert



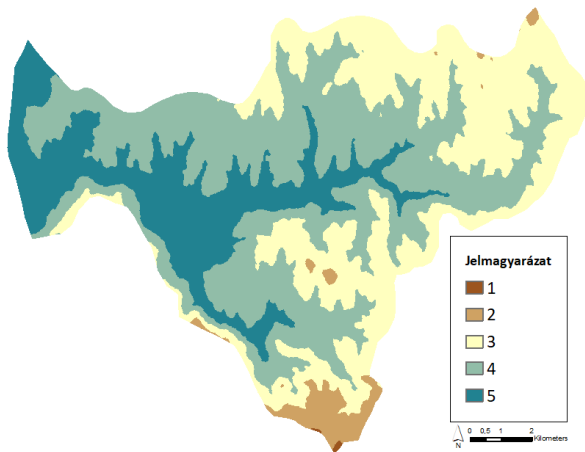
7. ábra. Euclidean distance: megadja a raszter minden egyes cellájának távolságát a legközelebbi forrástól (jelen esetben a vízfolyásoktól)



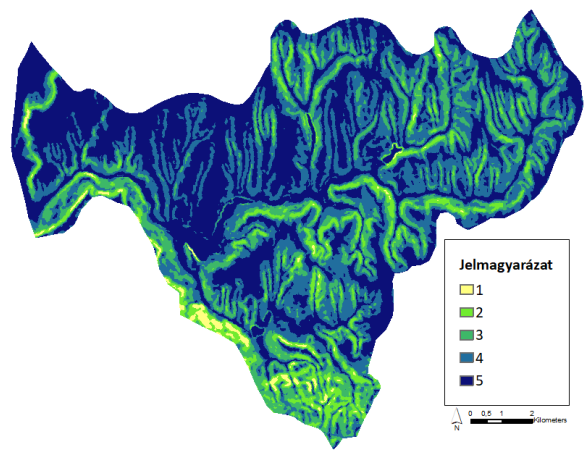
8. ábra. Slope: azonosítja a lejtést a raszter minden egyes cellájából

9. lépés: Reclassify

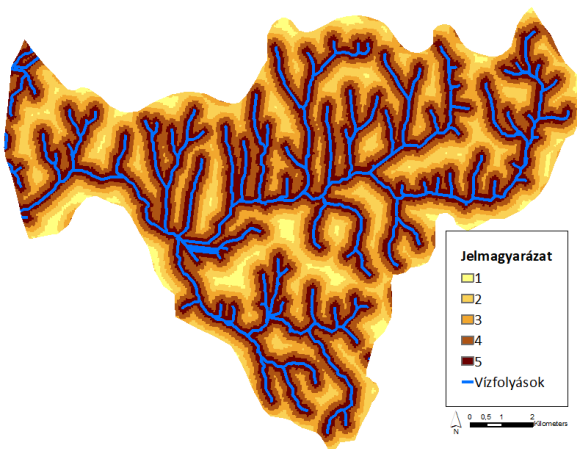
A digitális magasság modell, a lejtőszög, a vízfolyásoktól való távolság, a földhasználat és a csapadékmennyiség újraosztályozása volt szükséges a súlyozás alkalmazása előtt. Ennek alkalmazásával a veszélyeztetettségi fokozatoknak megfelelően (1-5-ig) egységes értékre tudjuk hozni mindegyik bemeneti réteget. A veszélyeztetettségi fokozatok a következők: 1–Nagyon alacsony, 2–Alacsony, 3–Mérsékelt, 4–Magas, 5–Nagyon magas. Ennek megfelelően lettek besorolva a raszterek értékei, azonban egyes esetekben fordított sorrendet kellett alkalmazni, például a vízfolyásoktól való távolság esetében a közel eső területek veszélyesebbek, mint a távolabbi helyszínek. Fordított sorrendet használtam továbbá a domborzat és a lejtőszög esetében, a földhasználat tekintetében viszont a csoportok a veszélyességi értéküknek megfelelően kerültek besorolásra, így nem volt szükség fordított sorrend alkalmazására, ami igaz a csapadékmennyiségre is.



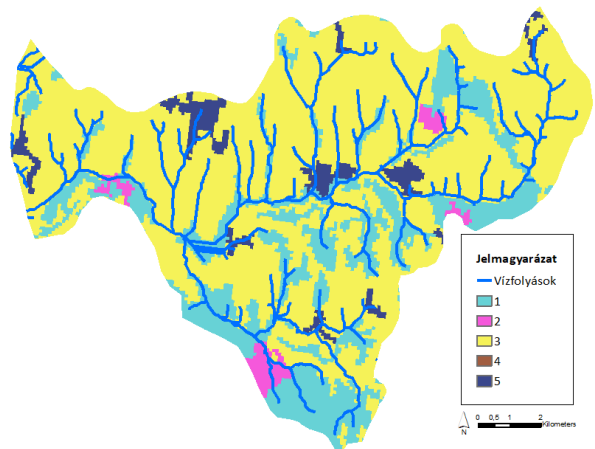
9. ábra. Újraosztályozott domborzat



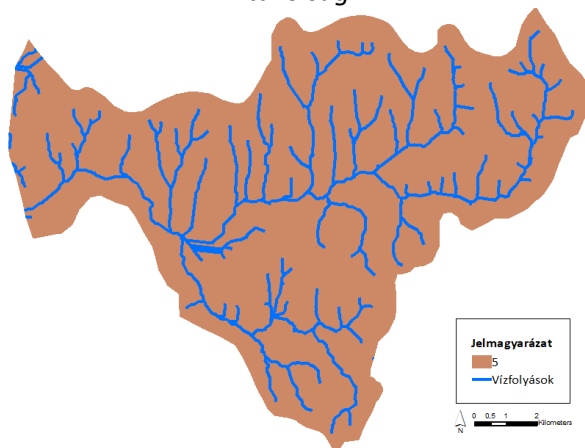
10. ábra. Újraosztályozott lejtőszög



11. ábra. Újraosztályozott vízfolyásoktól való távolság



12. ábra. Újraosztályozott földhasználat

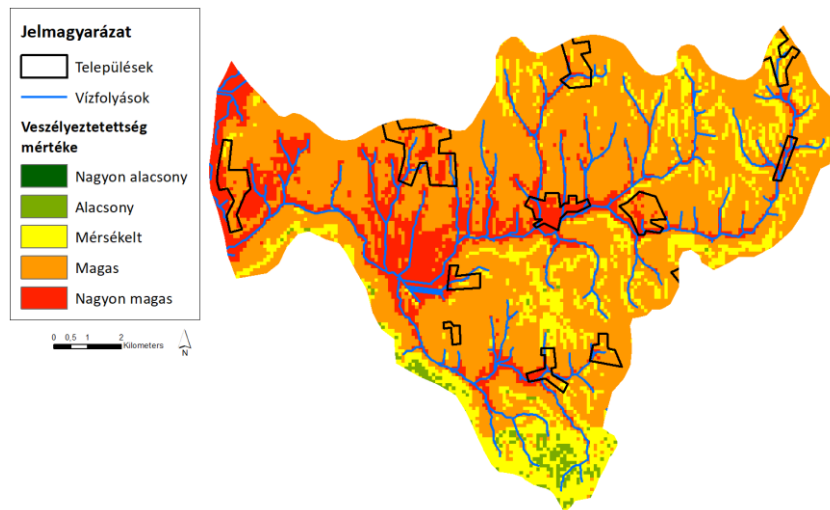


13. ábra. Újraosztályozott csapadékmennyiség

10. lépés: Weighted overlay

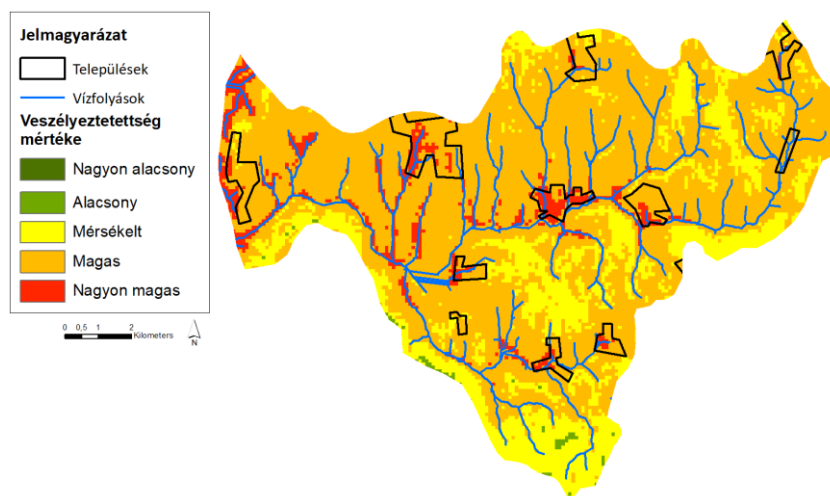
Az első verzióban az eredeti (folyóvízi) tanulmányban szereplő súlyozási értékeket használtam, vagyis a domborzat és a lejtőszög 40-40%, a vízfolyásoktól való távolság és a földhasználat 5-5%, a csapadékmennyiség pedig 10% arányt képviselt a modellben, melynek eredménye a 14. ábrán látható (mindegyik ábrán csak azok a veszélyeztetettségi osztályok láthatók a

jelmagyarázatban, melyek megtalálhatók az adott modell szerint a területen). Elmondható az eredmények alapján, hogy a vízgyűjtő terület nagy része magas vagy nagyon magas veszélyeztetettségi osztályba sorolható.



14. ábra. A Háb-csatorna vízgyűjtő területének veszélyeztetettségi mértéke az eredeti (folyóvízi) modell alapján

Amennyiben egyenlő súllyal vesszük figyelembe a bemeneti paramétereket, akkor az alábbi mértékben (15. ábra) veszélyeztetett a mintaterület villámárvíz által. Látható, hogy ezzel a módszerrel a nagyon magas veszélyeztetettséggel rendelkező területek aránya csökken, ugyanakkor a magas veszélyeztetettséű területek továbbra is nagy arányt képviselnek. Az itt található települések esetében elmondható, hogy mindkét súlyozási változatban magas kockázatúnak számítanak, vagyis a társadalmi-gazdasági károk jelentősek lehetnek egy esetleges villámárvízi eseménykor. A 2010. májusi villámárvíz a Háb-csatornán 326 cm-es vízállást okozott (megdöntve ezzel az addigi LNV értéket), ami a lehullott 145 mm csapadék miatt következett be. Ez a valóságban lezajlott villámárvíz Csikóstóttós és Kaposszekcső települések, valamint a mezőgazdasági földek egy részét elöntötte (1. és 2. fénykép).

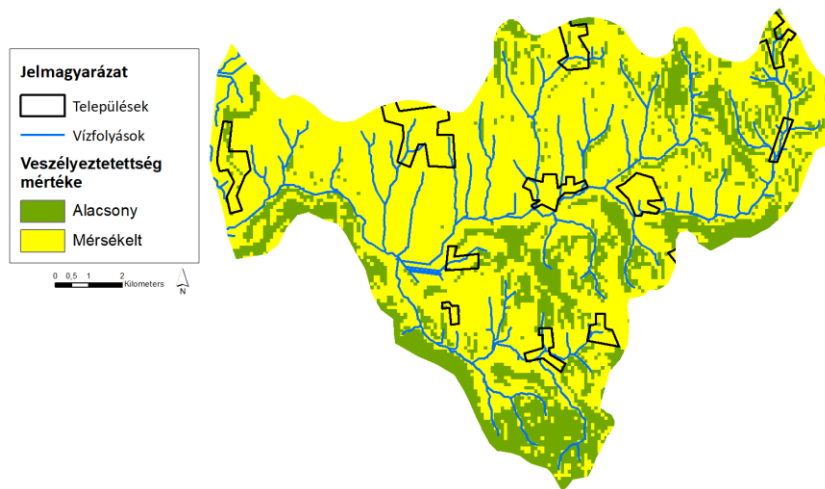


15. ábra. A Háb-csatorna vízgyűjtő területének veszélyeztetettségi mértéke az egyenlő súlyozású modell alapján



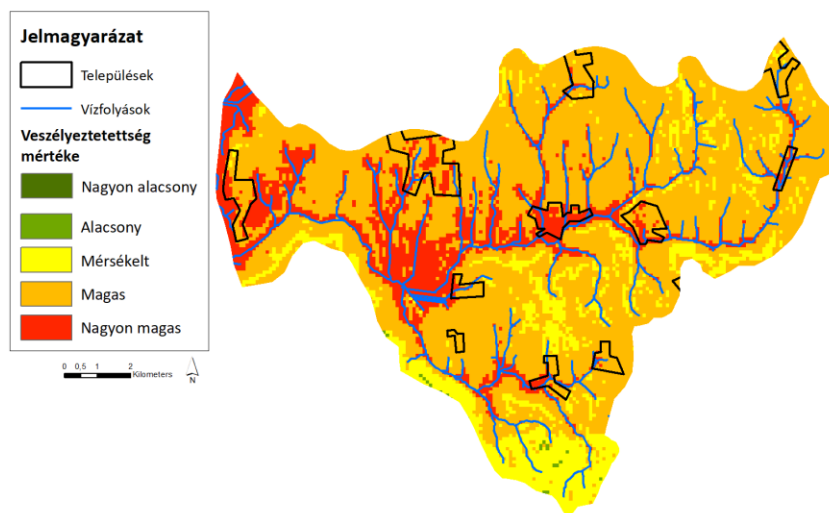
1. és 2. fénykép: A Hábi-csatorna 2010. május 17-én (balra) és Csikóstöttős (jobbra)
 Forrás: Irodalomjegyzékben

A súlyozási arányok megváltoztatásával (és akár újabb paraméterek hozzáadásával) módosítható a modell, tehát viszonylag rugalmas. Az alábbi eredményt a csapadékmennyiség és a lejtőszög 25-25%-os, a domborzat 20%-os, a vízfolyásoktól való távolság és a földhasználat 15-15%-os arányának alkalmazásával kaptam (16. ábra). Ezek az arányok nem sokban térnek el az egyenlő súlyozású változattól, ennek ellenére jelentős különbség látható a két eredmény között. Utóbbi változat szerint „csak” alacsony vagy mérsékelt veszélyeztetettségi osztályba sorolható területek vannak a mintaterületen, ahol a települések döntő többsége a mérsékelt fokozatba tartozik.



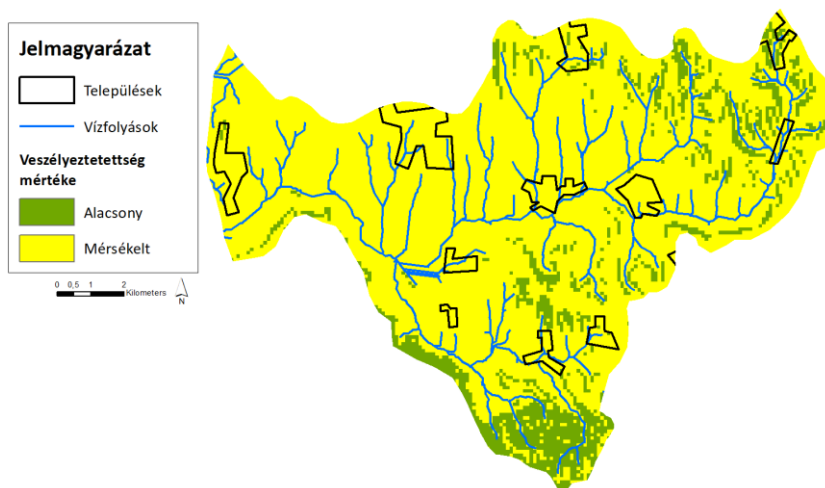
16. ábra. A Hábi-csatorna vízgyűjtő területének veszélyeztetettségi mértéke a 25-25-20-15-15%-os súlyozású modell alapján

Egy további változatban a legnagyobb súllyal (30-30%-kal) a lejtőszög és a domborzat szerepel, amit 20%-os aránnyal a csapadékmennyiség követ, végül pedig a vízfolyásoktól való távolság és a földhasználat 10-10%-kal van jelen. Ennek eredménye nagyban hasonlít a 17. ábrán látható veszélyeztetett területekéhez.



17. ábra. A Hábics-csatorna vízgyűjtő területének veszélyeztetettségi mértéke a 20-30-30-10-10%-os súlyozású modell alapján

Az utolsó változatban a csapadékmennyiség, a lejtőszög és a domborzat értékét egyaránt 30%-ra növeltem, míg a vízfolyásoktól való távolságot és a földhasználatot 5-5%-ra csökkentettem (18. ábra). A területek többsége mérsékelt veszélyeztetettségűnek számít, egyes települések (pl.: Mágocs, Bikal, Egyházaskozár) teljes belterülete ebbe az osztályba sorolható.

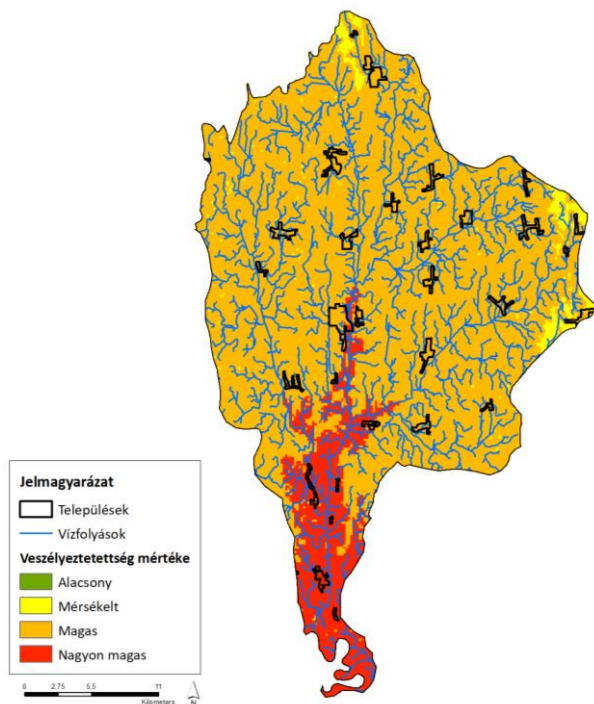


18. ábra. A Hábics-csatorna vízgyűjtő területének veszélyeztetettségi mértéke a 30-30-30-5-5%-os súlyozású modell alapján

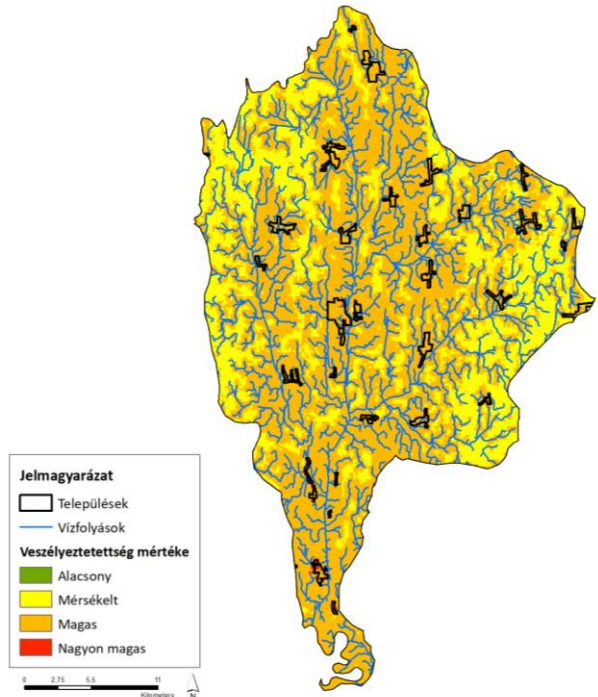
Fiktív villámárvízi esemény modellezése a Rinya vízgyűjtő területén

A Rinya-patak tekintetében a modell annyiban változott, hogy nem megtörtént esetet vettem alapul, így a modellben a csapadékmennyiséget átállítottam először 50, majd 100 és 200 mm-re. A Rinya vízgyűjtő területe domborzati szempontból különbözik a Hábics-csatornától, a felső vízgyűjtő területe (északon) még alacsonyabb tengerszint feletti magassággal jellemezhető dombvidéki, délre haladva viszont síksági területen terül szét a patak, így a modell által kapott eredmények is eltérnek.

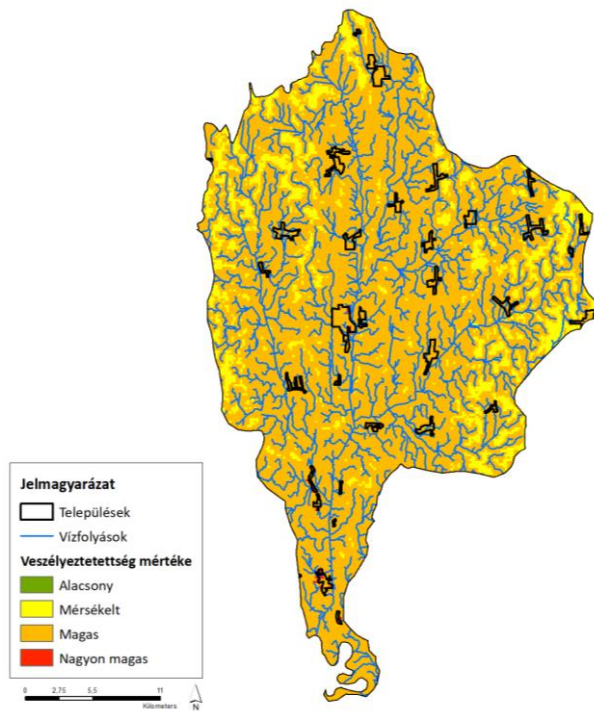
Az első változatban az 50 mm-es csapadékmennyiséggel számolva az alábbi eredményeket kaptam (19.–24. ábra).



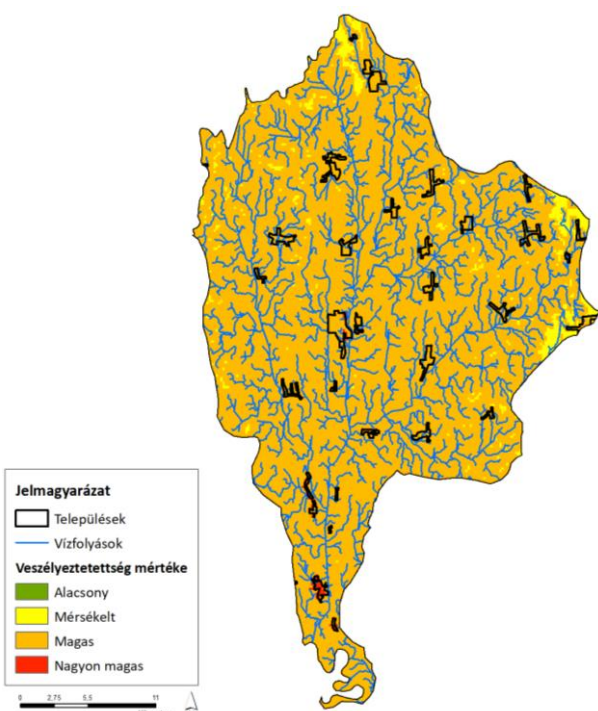
19. ábra. Eredeti (folyóvízi) modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (50 mm)



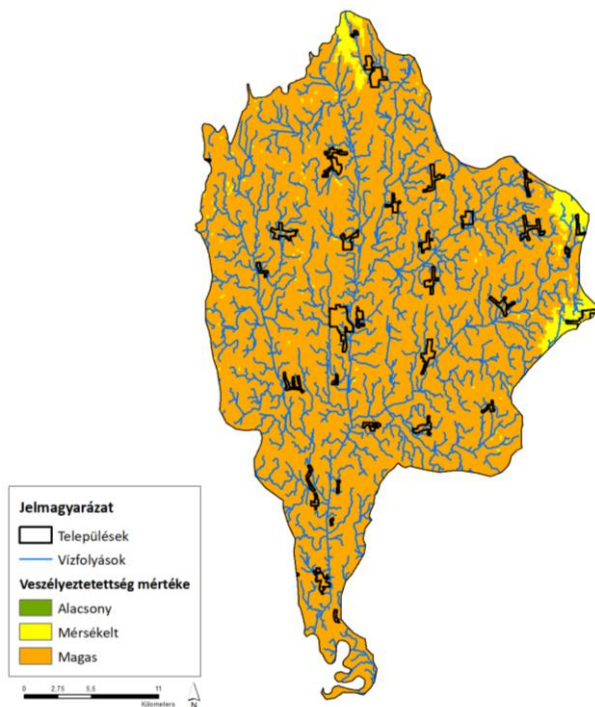
20. ábra. Egyenlő súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (50 mm)



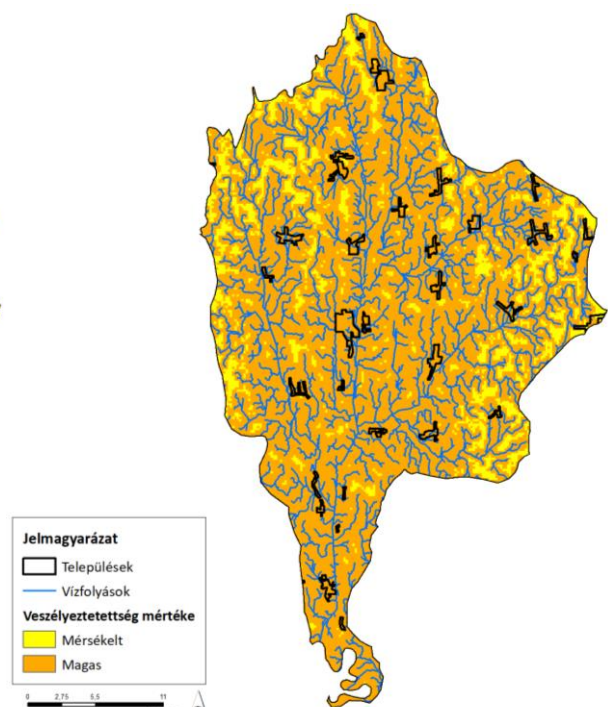
21. ábra. A 25-25-20-15-15%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (50 mm)



22. ábra. A 20-30-30-10-10%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (50 mm)



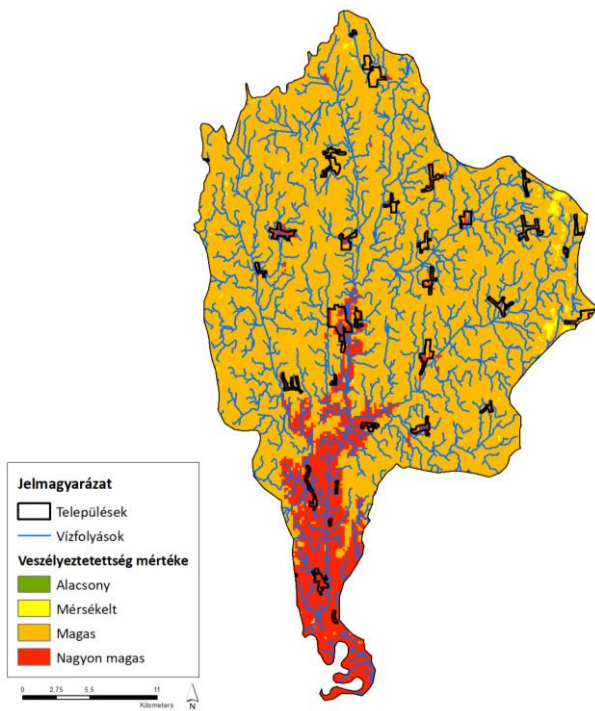
23. ábra. A 30-30-30-5-5%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (50 mm)



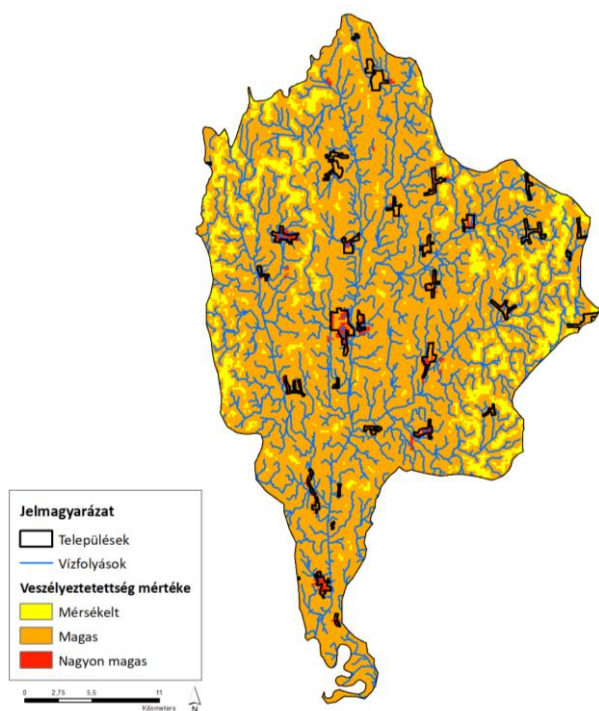
24. ábra. A 30-15-15-30-10%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (50 mm)

A Rinya vízgyűjtő területére vonatkozó veszélyeztetettségi vizsgálatok alapján elmondható, hogy a 19.–24. ábrákon bemutatott modellek mindegyikében a vízgyűjtő területének döntő hányada magas veszélyeztetettségi osztályba sorolható 50 mm lehullott csapadék esetén. A Hábi-csatorna eredményeivel ellentétben a Rinya esetében nem mutatkozott számottevő különbség a modellek között (leszámítva az eredeti (folyóvízi) modell eredményét), aminek oka a domborzat kevésbé befolyásoló hatása lehet. A Rinyán végzett kutatás során pont a domborzati adottságok miatt egy hatodik modellt is lefuttattam (24. ábra), amiben a csapadékmennyiség 30%, a lejtőszög és a domborzat 15-15%, a vízfolyásoktól való távolság 30% és a földhasználat 10%-os arányt képviseltek. Feltevésem szerint a síksági területeken a vízfolyásoktól való távolság és a lehullott csapadékmennyiség lényegesebb tényező lehet, mint a domborzat vagy a lejtőszög. Az így kapott modell szerint az 50 mm csapadékmennyiség magas kockázatokkal jár a legtöbb helyen. A „legenyhébb” kimenetelt becsülő modell (20. ábra) szerint a mérsékelt és a magas veszélyeztetettségi osztályú területek vannak túlsúlyban, azonban Nagyatád egy része nagyon magas kockázatúnak számít e modell szerint is.

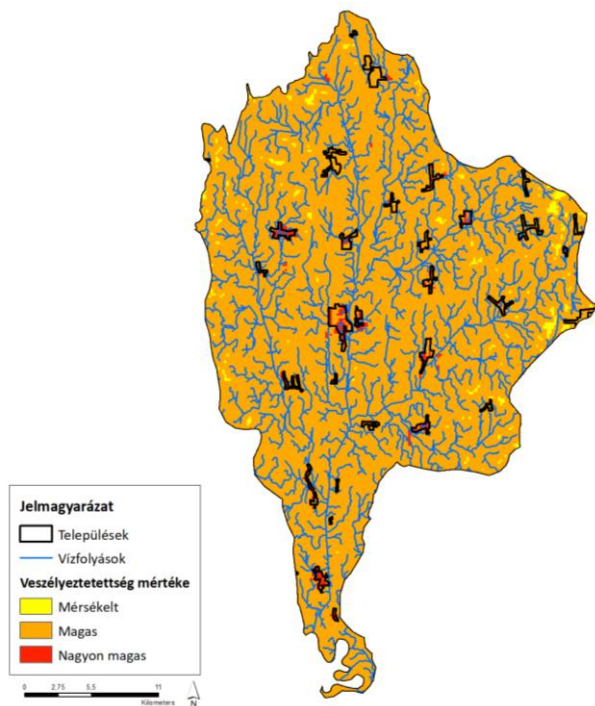
A 100 mm csapadékmennyiséggel számoló modell eredményei az alábbi ábrákon (25–30. számú) láthatók.



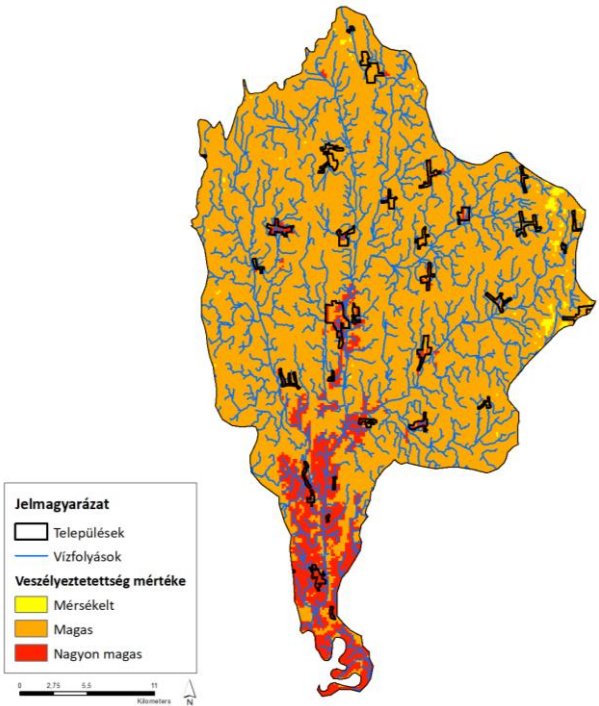
25. ábra. Az eredeti (folyóvízi) modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (100 mm)



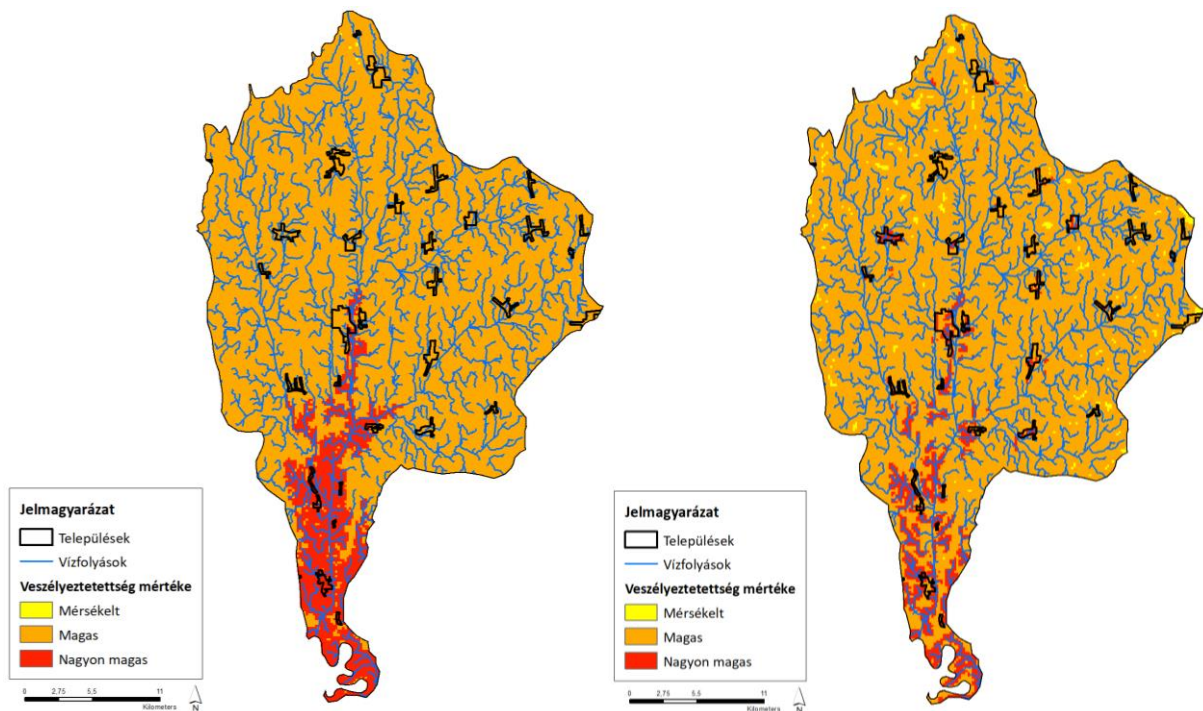
26. ábra. Az egyenlő súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (100 mm)



27. ábra. A 25-25-20-15-15%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (100 mm)



28. ábra. A 20-30-30-10-10%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (100 mm)



29. ábra. A 30-30-30-5-5%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (100 mm)

30. ábra. A 30-15-15-30-10%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (100 mm)

A 100 mm csapadékmennyiséggel számoló modellek közül a Hábi-csatorna esetében kapott eredményekkel ellentétben a Rinyára nem bizonyult igaznak az, hogy az eredeti (folyóvízi) modell jelzi a lehető legrosszabb kimenetelű villámárvízi eseményt. A Rinya tekintetében (bármelyik csapadékmennyiségű modellt nézve) a 30-30-30-5-5%-os modell a „legpesszimistább” forgatókönyvű, míg a leginkább alulbecslő, vagyis a „legoptimistább” kimenetelt az egyenlő súlyozású modell adta. Feltehetően a csapadékmennyiség nagyobb hatással van a modellre jelen esetben, mint a Hábi-csatornát illetően, ahol inkább a domborzat és a lejtőszög a meghatározó. Az előzetes feltételezésem, miszerint a vízfolyásoktól való távolság a Rinya esetében döntő szempont lehet, csak részben nyert bizonyítást (24., 30. és 36. ábra). Az eredmények alapján látható, hogy ez a vízfolyásoktól való távolságot és a csapadékmennyiséget nagyobb súllyal vizsgáló modell egy közepes erősségű (vagy pontosságú) modellnek feleltethető meg, vagyis vélhetően jobban megfelel a valóságnak, mint a legrosszabb vagy a legjobb kimenetelt becslő modellek eredményei.

A Rinya vízgyűjtő területén lezajló villámárvizek számos települést érinthetnek, ami a modellek alapján is kirajzolódott. Vannak olyan települések, melyek csapadékmennyiségtől függetlenül mindegyik modellben a magas vagy a nagyon magas veszélyeztetettségi osztályba sorolhatók, ilyen például Nagyatád, Babócsa, Somogyszob, Péterhida, Újtelep, Háromfa és Lábod. A 2020. július 26-án lezajlott villámárvíz is ezeket a településeket érintette, nagy károkat okozva: közúti hidat mosott el az ár (3. fénykép) és számos lakóházat és kiskertet, illetve vasúti síneket is elöntött a víz (4. és 5. fénykép). Ekkor dőlt meg az addigi LNV érték Babócsánál 344 cm-rel, amit közel 100 mm eső okozott, vagyis a 100 mm-rel számoló modellek – határfeltételek tekintetében – nagyrészt megfelelnek a valóságnak.



3. fénykép. Az elmosott közúti híd
Forrás: Irodalomjegyzékben

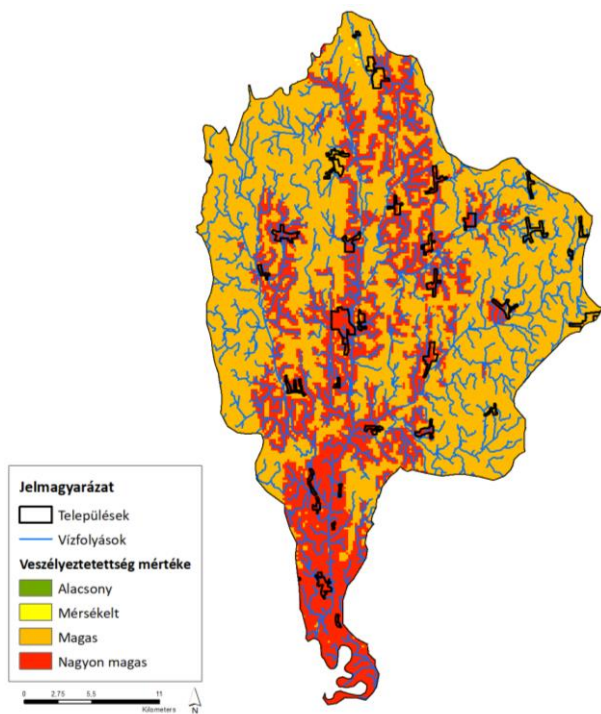


4. fénykép. A víz alá került lakóházak és kertek
Forrás: Irodalomjegyzékben

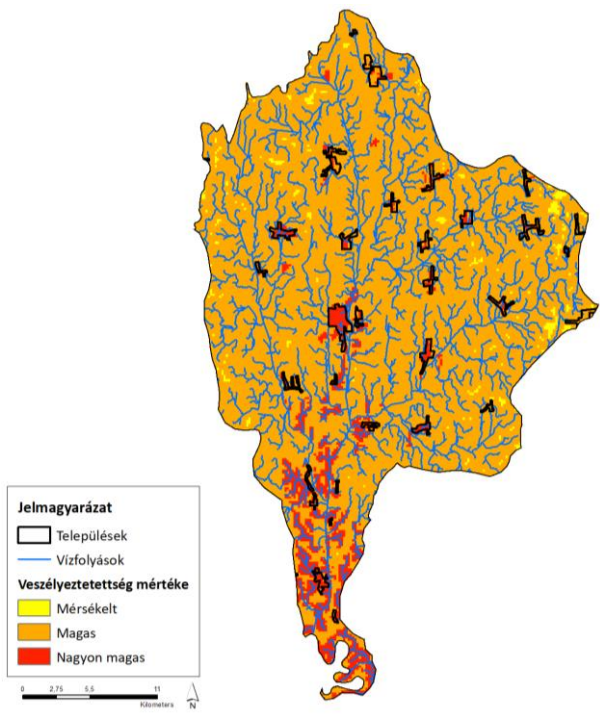


5. fénykép. Az alámosott vasúti híd Ötvöskőnyi és
Beleg között
Forrás: Irodalomjegyzékben

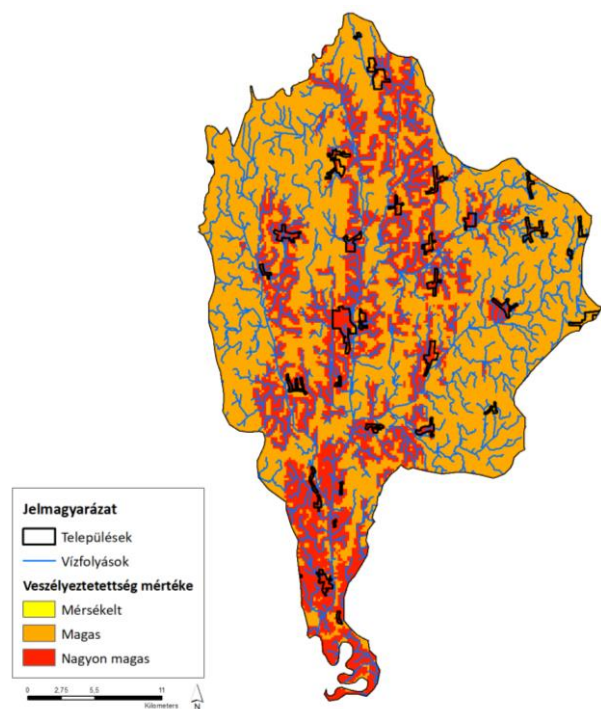
A 200 mm csapadékmennyiséget alapul vevő modellek (31.–36. ábra) esetében elmondható, hogy a 100 mm-rel számoló modellekhez hasonló eredmények születtek, miszerint a 30-30-30-5-5%-os modell (35. ábra) jelölte a legtöbb nagyon magas veszélyeztetettségű osztályba sorolható területet, illetve a legkisebb veszéllyel járó kimenetelt itt is az egyenlő súlyozású modell (32. ábra) jósolta. Ebből is látható, hogy a csapadékmennyiség megváltoztatása esetén célszerű mindegyik súlyozású modellt lefuttatni a pontosabb eredmény érdekében, majd kiválasztani a „legpesszimistább” és „legoptimistább” kimenetelű becslést, melyek alapján kimutathatók azok a települések, melyek már egy kevésbé rossz végkifejletet jósoló modell esetén is a nagyon magas veszélyeztetettségű fokozatba sorolhatók. Egy esetlegesen bekövetkező villámárvízi esemény esetén a modellek hozzájárulhatnak a veszélyeknek leginkább kitett területek meghatározásához, ez által pedig a helyi károk megelőzéséhez.



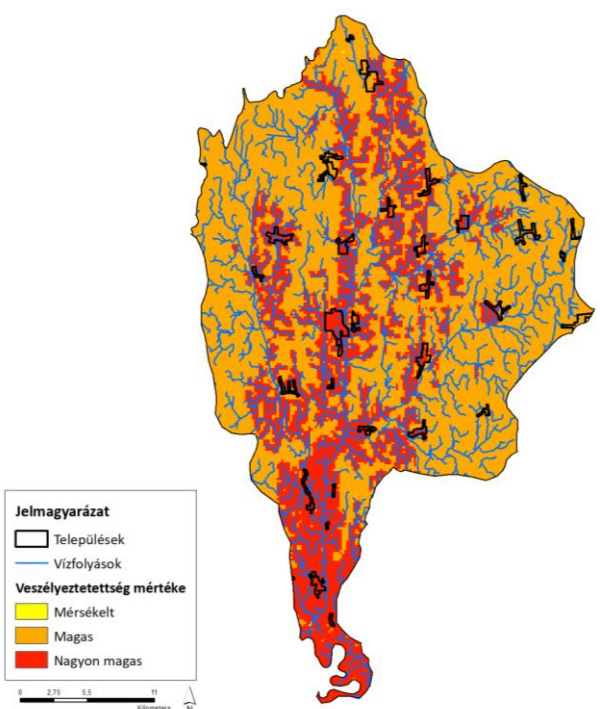
31. ábra. Az eredeti (folyóvízi) modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (200 mm)



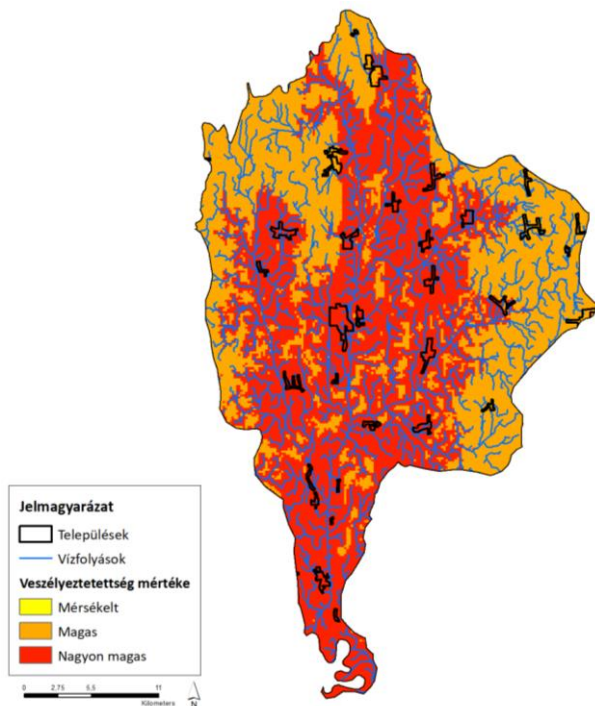
32. ábra. Az egyenlő súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (200 mm)



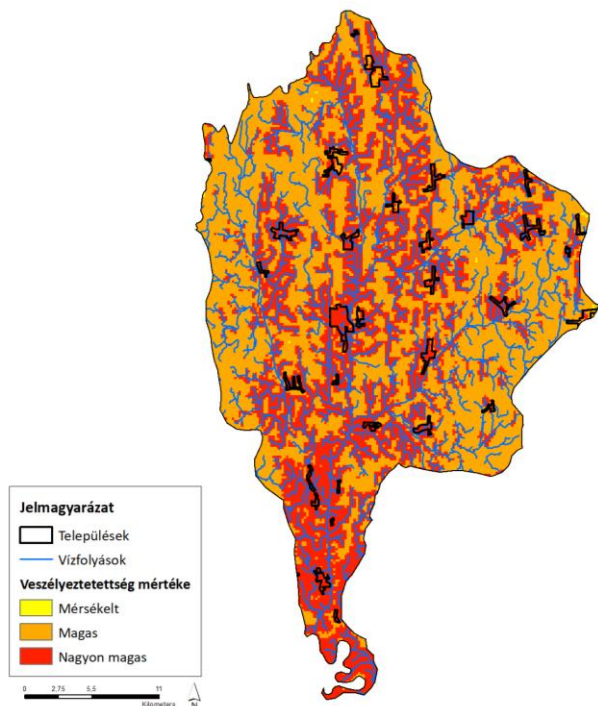
33. ábra. A 25-25-20-15-15%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (200 mm)



34. ábra. A 20-30-30-10-10%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (200 mm)



35. ábra. A 30-30-30-5-5%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (200 mm)



36. ábra. A 30-15-15-30-10%-os súlyozású modell alapján kapott veszélyeztetettségi mértékek (200 mm)

KONKLÚZIÓK

A bemutatott villámárvízi veszélyeztetettséget vizsgáló módszer két egymástól eltérő domborzati adottságú és nagyságú vízgyűjtő területtel rendelkező vízfolyás esetében egyaránt használható az eredmények alapján. A megalkotott modellek a domb- és hegyvidéki területeken nagyobb biztonsággal alkalmazhatók, ugyanakkor a Rinya-patak esetében látható volt, hogy a modellek bemeneti paramétereinek súlyozását megváltoztatva a síksági területeken lévő vízgyűjtőkön is használhatók.

A modellek hátránya, hogy az egész vízgyűjtő területre egységes csapadékmennyiséget feltételez, ami a valóságban nem feltétlenül igaz (kivéve, ha kisméretű a vízgyűjtő terület). Sok esetben a csapadékmennyiség pontos bevitele a vízgyűjtő területen lévő csapadékmérő állomások kevés száma miatt hiúsul meg, ezért térbeli interpoláció válik szükségessé gyakran feltételezett csapadékmennyiséggel. Jelen kutatás korlátja még a 25 méteres felbontású digitális magassági modell, aminek oka, hogy ez érhető el ingyenesen. Térítés ellenében akár 5 méteres felbontású adatállományt is kaphatunk, ami még pontosabb képet adhat a villámárvizek által veszélyeztetett területekről.

A modellek bemeneti paramétereiket tekintve viszonylag rugalmasak: bővíthető a vizsgált paraméterek száma és a súlyozás is szabadon változtatható. Fontosnak tartom a jövőben új paraméterként a talajnedvességet és a talajszerkezetet bevenni, amelyek befolyásolhatják a lefolyás mértékét. Ezen kívül fontos tényező még a meder levezető képessége is, ahol a növényzet szerepe nem elhanyagolható. A csapadékmennyiség helyett (esetleg mellett) pedig a csapadékkintenzitással számoló modellek kidolgozása is indokolt lehet a jövőben.

A bemutatott eredmények alapján elmondható, hogy a modellek előzetes kockázatelemzésekkor a káresemények megelőzésének céljából, illetve döntéshozatalkor is hasznosak lehetnek, továbbá az elkészített villámárvízi veszélyeztetettségi térképek a települések vízkárelhárítási terveinek részét képezhetnék. A lakossági tájékoztatást és a döntések meghozását egy interaktív térkép is segítheti, mely a Leaflet nevű megjelenítési eljárással egyszerűen megvalósítható. Ennek lényege, hogy a lefuttatott modellek eredményeit egy OpenStreetMap alaptérképre el lehet helyezni, és akár utcákra lebontva is láthatóvá válik a veszélyeztetettség mértéke. Továbbá bármilyen információ hozzáadható a rétegekhez vagy az elemekhez.

Véleményem szerint a villámárvízi kutatások a jövőben még fontosabbá válnak a klímaváltozás miatt bekövetkező hirtelen lezúduló csapadék miatt, amit súlyosbít az a tény is, hogy a lakosság egy része ártereken él, így jelentős veszélynek vannak kitéve. A villámárvíz okozta áradásokkor lehullott csapadék tározására számos jó megoldás létezik napjainkban, a tárolt vízmennyiség pedig a nyári aszályos időszakokban rendkívül nagy segítséget jelenthet a mezőgazdaság és a háztartások számára. A városok villámárvízi veszélyeztetettsége még nagyobb a nagyarányú burkolt felületek miatt, így a károk is nagyobbak lehetnek. A városi térben a vízáteresztő burkolatok használata (jó példa erre a „szivacs város” koncepció), a vízvezető rendszer folyamatos karbantartása és esetleges bővítése, az esővíz gyűjtése, illetve megfelelő részletességű tervek és elemzések készítése mind hozzájárulhat a villámárvizek okozta károk megelőzéséhez vagy csökkentéséhez.

IRODALOMJEGYZÉK

Alfieri, Lorenzo–Feyen, Luc–Dottori, Francesco–Bianchi, Alessandra (2015): Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios. *Global Environmental Change* 35 (2015), 199–212. o.

Balatonyi László (2016): *Árvízhozam előrejelzés optimalizálása középhegységi és dombvidéki kisvízgyűjtőkre c. doktori értekezés*, PTE TTK Földtudományok Doktori Iskola, Pécs.

Baranyai Nóra–Varjú Viktor (2017): A klímaváltozással kapcsolatos attitűdök területi sajátosságai. *Területi Statisztika* 57 (2), 160–182. o.

Bartholy, Judit–Pongrácz, Rita–Gelybó, Györgyi–Szabó, Péter (2008): Analysis of expected climate change in the Carpathian Basin using the PRUDENCE results. *Időjárás* 112 (3–4), 249–264. o.

Bartholy, Judit–Pongrácz, Rita–Torma, Csaba–Piecicka, Ildikó–Kardos, Péter–Hunyady, Adrienn (2009): Analysis of regional climate change modelling experiments for the Carpathian basin. *International Journal of Global Warming* 1, 238–252. o.

Beniston, Martin–Stephenson, David B.–Christensen, Ole Bøssing–Ferro, Christofer A.T.–Frei, Christoph–Goyette, Sylvian–Halsnaes, Kirsten–Holt, Tom–Jylhä, Kirsti–Koffi, Brigitte–Palutikof, J., Schöll, Regina–Semmler, Tido–Woth, Katja (2007): Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* (PRUDENCE Special Issue) 81, 71–95. o.

Christensen, Jens Hesselbjerg–Christensen, Ole Bøssing (2007): A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. Climatic Change 81, 7–30. o.

Clark, Greg–Moonen, Tim–Nunley, Jake (2019): The story of your city. Europe and its Urban Development, 1970 to 2020. European Investment Bank, Luxembourg.

Czigány Szabolcs–Pirkhoffer Ervin–Balassa Bettina–Bugya Titusz–Bötkös Tamás–Gyenizse Péter–Nagyvárad László–Lóczy Dénes–Geresdi István (2010): Villámárvíz mint természeti veszélyforrás a Dél-Dunántúlon. Földrajzi Közlemények 134 (3), 281–298. o.

Czigány, Szabolcs–Pirkhoffer, Ervin–Geresdi, István (2009): Environmental impacts of flash floods in Hungary. Flood Risk Management: Research and Practice c. könyvben 1439–1447. o. Taylor & Francis Group, London.

Dobai Endre–Dobos András (2022): Szélsőséges csapadékterhelésre érzékeny vízgyűjtők meghatározásának módszertani fejlesztése. Modern Geográfia 17 (4) 83–92. o.

Domján Anita–Ronczyk Levente–Nagy Gábor–Czigány Szabolcs (2016): Csapadék-árhullám reakcióidők meghatározása pécsi vízfolyások esetében. Természetföldrajzi Közlemények 4 (1) 1–12. o.

Gallopín, Gilberto C. (2006): Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. Global Environmental Change 16 (3) 293–303. o.

Hardi Tamás–Baráth Gabriella–Csizmadia Zoltán–Uszkai Andrea (2014): A városnövekedés területi eltérései Európában, különös tekintettel a járműipari városokra. Tér és Társadalom (2014) 28 45–66. o.

Hegedüs Péter (2015): Villámárvizek peremfeltételeinek numerikus modellezése a Mecsek kisvízgyűjtőinek példáján c. doktori értekezés, PTE TTK Földtudományok Doktori Iskola, Pécs.

Kotzeva, Monika (2016): Urban Europe – Statistics on cities, towns and suburbs. Eurostat, Luxembourg.

Krüzselyi, Ildikó–Bartholy, Judit–Horányi, András–Pieczka, Ildikó–Pongrácz, Rita–Szabó, Péter–Gabriella, Szépszó–Torma, Csaba (2011): The future climate characteristics of the Carpathian Basin based on a regional climate model mini-ensemble. Advances in Science and Research 6 69–73. o.

Pieczka, Ildikó–Pongrácz, Rita–Bartholy, Judit (2011): Comparison of Simulated Trends of Regional Climate Change in the Carpathian Basin for the 21st Century Using Three Different Emission Scenarios. Acta Silv. Lign. Hung. 7 (2011) 9–22. o.

Ritter, Josias–Berenguer, Marc–Corral, Carles–Park, Shinju–Sempere-Torres, Daniel (2020): ReAFFIRM: Real-time Assessment of Flash Flood Impacts – a Regional high resolution Method. Environment International 136 (2020) 105375.

Torma, Csaba–Coppola, Erika–Giorgi, Filippo–Bartholy, Judit–Pongrácz, Rita (2011): Validation of a High-Resolution Version of the Regional Climate Model RegCM3 over the Carpathian Basin. Journal of Hydrometeorology 12 84–100. o.

Zhang, Da-wei–Quan, Jin–Zhang, Hong-bin–Wang, Fan–Wang, Hong–He, Xiao-yan (2015): Flash flood hazard mapping: A pilot case study in Xiapu River Basin, China. Water Science and Engineering 8 (3) 195–204. o.

Egyéb internetes forrás

Flood Risk Modelling in ArcGIS: <https://mapscaping.com/flood-risk-modelling/>
(Utolsó megtekintés: 2023. 05. 01.)

Képek forrásai

1. kép: Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság
2. kép: Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság
3. kép: <https://cdn.nwmgroups.hu/s/img/i/2007/20200726rinyapatak-nagyatad-somogy-hid-heves1.jpeg> (Utolsó megtekintés: 2023. 05. 01.)
4. kép: <https://www.atadhir.hu/static/keptar/3493/b/4> (Utolsó megtekintés: 2023. 05. 01.)
5. kép: https://www.mavcsoport.hu/sites/default/files/styles/width_1260/public/upload/rinyapatak_hid_2.jpg?itok=ljQVXvcm (Utolsó megtekintés: 2023. 05. 01.)

Ábrák forrása

1–36. ábra: saját szerkesztés