

A villámárvíz kockázati térképezési módszertan fejlesztése Észak-Magyarországi dombos területeken

Dobai András¹, Dobos Endre¹

¹ Miskolci Egyetem, Műszaki Föld-és Környezettudományi Kar, Földrajz-Geoinformatika Intézet (e-mail: andras.dobai@uni-miskolc.hu, endre.dobos@uni-miskolc.hu)

DOI:10.59258/hk.19231



Kivonat

A szélsőséges csapadékeseményekből származó villámárvizek jelentős hatással vannak a természeti és épített infrastruktúrára, a társadalmi és gazdasági térszínekre. Ebből kifolyólag a problémát átfogó módon kell kezelni, a jelenség kialakulásától kezdve, a levonulását és hatásait, egészen a preventív jellegű intézkedések és védekezési eljárások lehetőségeinek vizsgálatáig. Ebben a tanulmányban egy többlépcsős kutatási projekt következő szakasza kerül bemutatásra, amelyben a villámárvizek kockázatértékelését célzó térképi és védekezési módszer fejlesztése kerül ismertetésre egy villámárvízben gyakran érintett dombvidéki területen. A kockázati térképezés 9 db raszteres formátumú, felszín-leíró térinformatikai és távérzékelésből származó réteget használ fel, amelyek kategóriái a szakirodalomban gyakran alkalmazott Analitikus Hierarchia Módszer (AHP) alapján kerültek súlyozásra. Ezzel a módszertannal kvantitatív elemzések végezhetőek a korábban nem azonosított vízgyűjtő tulajdonságokra vonatkozóan, továbbá segítségével a villámárvizek okozta árhullám erejének csökkentését célzó vízepítési műtárgyak (pl. helyi anyagból való építkezés, farönk-gátak, szádoló lemezfalak) tervezhetőek a vízgyűjtőkön belül. Az észak-magyarországi területeken ilyen részletes, a jelenséghez kapcsolódó kutatást korábban nem végeztek. A tanulmány eredményeként általános képet alkothattunk a régióban található dombvidéki területek villámárvíz érzékenységre vonatkozóan, azonban a kutatás fő mintaterülete a magasabb kockázati kategóriákba tartozó Cseres-völgy nevű kisvízgyűjtő, amely példáján keresztül röviden bemutatásra kerül az ajánlott lehetséges védekezési mód.

Kulcsszavak

Villámárvíz, AHP súlyozás, kockázati térképezés, villámárvíz érzékenységi index, Észak-Magyarország.

Development of a flash flood risk mapping methodology in hilly areas of Northern Hungary

Abstract

Flash floods induced by extreme precipitation events are recognized as having a significant impact on both natural and built infrastructure, as well as on socio-economic landscapes. Consequently, the issue is required to be addressed comprehensively—from the initiation of the phenomenon, through its recession and resultant effects, to the evaluation of potential preventive measures and mitigation strategies. In present study, the next phase of a multi-step research project is delineated, wherein a mapping and mitigation method is developed for the risk assessment of flash floods in a hilly region frequently impacted by such events. Nine raster-format layers, derived from surface descriptive geographic information systems (GIS) and remote sensing, are employed in the risk mapping process, with their categories being weighted in accordance with the Analytic Hierarchy Process (AHP), a method widely utilized in the literature. This approach has been demonstrated to facilitate quantitative analyses of previously uncharacterized catchment properties, while also supporting the design of hydraulic structures (e.g., constructions utilizing locally sourced materials, log dams, and sheet pile walls) that are intended to reduce the intensity of flood waves produced by flash floods within catchments. Such detailed, flash flood-specific research has not been conducted previously in northern Hungary. As a result, a comprehensive overview of the flash flood sensitivity of the region's hilly areas has been established, with primary emphasis being placed on the small catchment known as Cseres-völgy, which is classified as a high-risk area. By means of this example, the recommended potential mitigation measures are briefly outlined.

Keywords

Flash flood, AHP weighting, risk mapping, flash flood sensitivity index, Northern Hungary.

BEVEZETÉS

A 2000-es évek elejétől napjainkig világszerte egyre nagyobb mértékben érintik az országokat a klímaváltozás okozta szélsőséges időjárási események. Mind a vízhiánnyal (aszály), mind a víztöbblettel járó (villámárvíz) jelenségek jelentős kockázatot jelentenek a hazai gazdaság fenntarthatósága szempontjából. Az aszály kezelése vízgazdálkodási eszközökkel és szabályozásokkal lehetséges, míg a villámárvizek (helyi vízkárok) esetében hiányoznak a megfelelő, nagy területi felbontású térképezési eljárások, ennek következtében az árvízvédelmi megoldások kiépítésének lehetősége is korlátozott. Az új védelmi módszerek megismeréséhez és bevezetéséhez ezért elengedhetetlen egy átfogó, nagy területi felbontású villámárvíz-kockázatértékelési módszertan kidolgozása. Nagyobb vízfolyások vízgyűjtő területei esetében már

léteznek komplex módszertanokat bemutató tanulmányok, amelyek nemcsak a háttéradatbázis, hanem a térképi állományok létrehozását, kockázatelemzést és értékelést is magukban foglalják, ezáltal támogatva a döntéshozatali rendszereket (Zeleňáková 2009, Zeleňáková és társai 2018, Vágó és társai 2019, Abdel és Islam 2016, Blistánová és társai 2016). A hegy és dombvidéki területekre országosan a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR), valamint a 2011-ben létrehozott, majd 2022-ben továbbfejlesztett, egy vízgyűjtő és három településszintű villámárvíz-érzékenységi térképeket (Flash Flood Sensitivity Index - FFSI) tartalmazó módszertan említhető (Czigány és társai 2009, Sarkadi és társai, 2022), amely egyes elemeiben találkozunk jelen kutatás eredményeivel, ezeket a KÖVETKEZTÉSEK fejezetben tárgyaljuk. Lokálisan, az észak-magyarországi térségben azonban

még nem dolgoztak ki szabványosított térképezési módszertant, kis vagy közepes méretű vízgyűjtő területekre, amelyek valós támpontot tudnának adni a villámárvíz elleni védekezés során a védelemben résztvevők (védelemvezető, területi felügyelő, dombvidéki mederőr stb.) részére, így jelen kutatás számára ez az elsődleges cél.

A villámárvizek mezoskálájú konvektív rendszerek (MKR) viharai során alakulnak ki, jellemzően olyan feltáratlan vízgyűjtőkarakterisztikájú területeken, ahol kis vízhozamú vagy időszakos vízfolyások találhatók (Horváth 2007). Ennek következtében jelentős műszaki (mérnöki, statisztikai) bizonytalanság lép fel a jelenség vizsgálatához szükséges paraméterek meghatározásában. A jelenség alapos megismeréséhez, leírásához, valamint az árhullámok kezeléséhez a teljes vízgyűjtő ismerete szükséges. A villámárvizek rendkívül gyorsan (6 órán belül) alakulnak ki és vonulnak le, szemben a hagyományos nagyvízi mederben levonuló árvizekkel (például a Sajó, a Hernád és a Tisza folyókon, ahol a felkészülési idő, az előrejelzéstől függően 48-72 óra). Ez az idő gyakran nem elegendő arra, hogy a védekezési szervek megfelelően felkészülhessenek (Szlávik és Kling 2006, Pappenberger és társai 2006). A felkészülési idő hiánya miatt különféle megelőző intézkedéseket kell végrehajtani az úgynevezett „békeidőben”, amikor árvízveszély nem várható (Kaliczka 1998, Balatonyi és társai 2022, Szendrei 2020, Dobai és Dobos 2022). A probléma összetettségét fokozza, hogy a térségben karsztos területek is találhatók, amelyeken a villámárvizek dinamikája jelentősen eltér a hagyományos felszíni lefolyású árhullámoktól (Jourde és társai 2005). A karsztvillámárvíz kialakulásánál fontos a rendelkezésre álló felszínalatti tér mérete, ez magyarázza az árhullám dinamikáját és erejét is. A csapadékesemény során a lehulló mennyiség nagy része gyorsan beszivárog, amelynek hatására, a karsztüregek hamar telítődnek, vagyis a hasadékvíz szintje gyorsan emelkedik, tehát a karszthálózatok rendszere nyomás alá kerül (Hernádi és társai 2014). Árvízvédekezési szempontból összefoglalva elmondható, hogy a felszíni lefolyásból, valamint a mélyebben beszivárgó vízmennyiség karsztos repedéseket kitöltő időszakos vízfolyásaiból, valamint a már kilépő és esetlegesen több ágából összegyűlekezett árhullámokból, hármas irányú árhullámcsoporthoz jöhet létre a legrosszabb

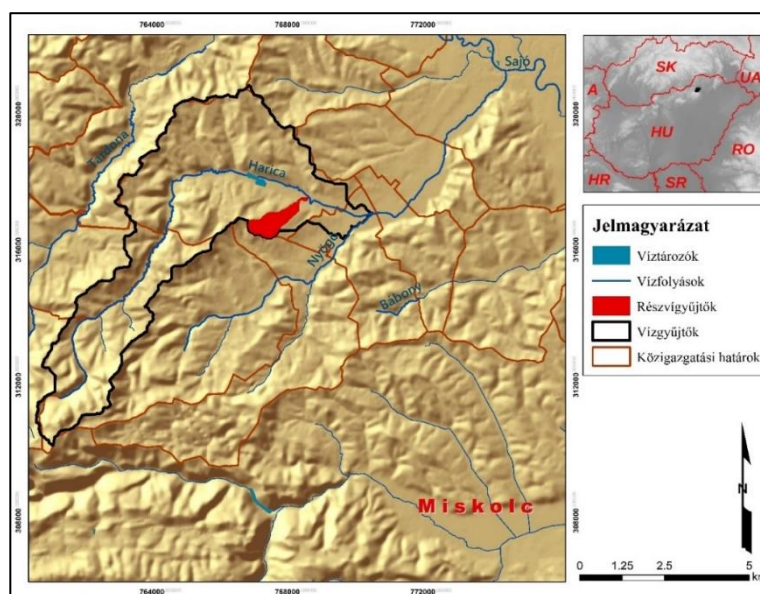
csapadékesemény (visszatérő vagy újra fejlődő zivatar rendszer) esetében. Vagyis adott területen a védekezés során külön figyelmet kell fordítani a felszínen esetlegesen megjelenő kisebb árhullámra, valamint a karsztvízszint kezdeti állapotának (mélységének) megfelelően, a kilépő és az összefolyási pontokon megjelenő hatványozottan erősebb árhullámokra.

Magyarországon a villámárvíz eseményeket jogilag helyi vízkárként határozzák meg, ami azt jelenti, hogy az árvízvédelemért a helyi önkormányzatok felelnek (Véres és társai 2021). Ugyanakkor műszaki segítséget igényelhetnek a vízügyi igazgatóságok műszaki biztonsági szolgálataitól, valamint az Országos Katasztrófavédelmi Igazgatóságtól és a Polgári Védelmi Szövetségtől (Bárdos 2016). A villámárvíz-veszélytérképezési és értékelési módszertan kidolgozása megköveteli egy szakmai alapon nyugvó, integrált GIS adatbázis létrehozását, amely magában foglalja a terület-specifikus tipológiai jellemzőket, valamint biztosítja a villámárvízhez kapcsolódó kockázattertelékelési rendszer bevezetését, a védekezési lehetőségek vizsgálatát és alkalmazását is. A térképezéshez megfelelő módszer a széles körben alkalmazott Analitikus Hierarchia Módszer (AHP), amelyhez integrált védekezési lehetőségek kerültek ajánlásra. A korábbi kutatások, valamint a valós villámárvíz elleni védekezések alapján kijelölésre került a Harica-patak vízgyűjtőjében, Kondó település (Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye) közelében található mintaterület (Dobai és Dobos 2022), jelen kutatásban pedig az eddigiek alapján bemutatásra és kiterjesztésre került a térképezési módszertan.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Mintaterület

A vizsgálati terület, a Cseres-völgy, a Harica-patak vízgyűjtő területén, Kondó település közelében található. Geológiaiilag az Észak-Borsodi szénmedencéhez tartozik (1. ábra). A medence különböző korú neogén tengeri, tavi üledékek váltakozó rétegeiből, valamint miocén kori piroklasztikumokból épül fel, amelyek gyakran eróziós diszkordanciával rakódtak le (Kozák és Püspöki 1995, 1998, Kozák és társai 1998, Harangi 2001). A kvarter üledékek többsége az előbb említett kőzetek mállási termékei.



1. ábra. A mintaterület elhelyezkedése
Figure. 1. Location of the study area

A miocéntől a negyedidőszakig tartó, szakaszos tektonikus folyamatok mozaikos mintázatra tagolták a területet (Kozák és Püspöki 1995, Pelikán 2002). A terület domborzatát alapvetően ezek a geológiai és szerkezeti sajátosságok formálják (Sütő 2001). A Cseres-völgy teljes területe az Egyházasgergei Formációhoz (eMK) tartozik, a mélyben kavics konglomerátummal, amelyet homok, homokkő, a felszínen pedig finomabb iszap és agyag fed (Gyalog 1996). A Cseres-völgy V-alakú, 1,6 km hosszú, 665 m széles, a völgytoroknál szűkül, vízgyűjtő területe 0,76 km². A patak köves, homokos medre helyenként 4-5 méter mélységig

vágódik be a felszínbe, relatív esése 7,17%. A völgyet különböző fejlettségű, esőzések okozta eróziós árkok kísérik, amelyek a mintaterületen a 2010 óta a tavasztól ősziig tartó időszakos villámárvizek által is formálódtak (Vágó 2012). A vízgyűjtő morfológiai jellemzői (1. táblázat) alapján feltételezhető, hogy a medence kijárata felé történő szűkülése miatt a villámárvizek árhulláma aszimmetrikus: fokozatos emelkedés, majd gyors visszahúzódás figyelhető meg. Ez annak köszönhető, hogy a völgybe érkező hirtelen, nagy mennyiségű csapadék az esemény kezdetén jelentős mennyiségben érheti el a kifolyási pontot (Galgóczy 2004).

1. táblázat. A Cseres vízgyűjtő morfológiai jellemzői
Table 1. Characteristics of Cseres watershed

Vízgyűjtő név	Lefolyás- hossz (km)	Vízgyűjtő						Horton- faktor (Rf)	Gravelius tényező (K)
		terület (km ²)	max hossz (km)	max. szélesség (km)	kerület (km)	hossz-szél. arány (Y)	cirkularitás (Rc)		
Cseres	1,80	0,76	1,90	0,60	4,97	3,17	0,39	0,21	1,61

A terület az erdőtalajok zónájába esik. Az eddig azonosított talajok a barna erdőtalajok, réti, valamint öntés réti talajok altípusai közé tartoznak: luvisolok (Alfisol), stagnic luvisolok (Epiaqualfs) és gleysolok (Aqualfs). Ezek közös jellemzője a nagy tömörség, amely a helytelen agrotechnika és földhasználat következménye. A völgy jelentős részét elsősorban legelőként vagy gyümölcsösként hasznosították, kisebb erdők találhatók a meredekebb lejtőkön és a völgyekben. A művelt területek és rétek a lejtők alkalmasabb részein helyezkednek el, ahol a gépek nyomai (gépi taposásnyomok) egyértelműen láthatók, és ez a hatás a talaj szerkezetében is tükröződik. A terület archív

térképei arra utalnak, hogy a földhasználat évszázadok óta változatlan.

Villámárvizeket okozó csapadékok bemutatása a vizsgálati területen

A 2010-2019 időszakban a mintaterületen és környezetében szinte évente jelentkeztek villámárvizeket kiváltó, rövid idő alatt lehullott nagy csapadékmennyiségek (2. táblázat). Az adatok az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisából, valamint az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) és az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság (ÉMVIK) éves hidrometeorológiai jelentéseiből, továbbá a Magyar Állam Kincstár Vis maior jegyzőkönyveiből származnak.

2. táblázat. Csapadékmennyiség a mintaterületen (ÉMVIK adatszolgáltatása, BAZ MKI 2021)
Table 2. Amount of precipitation in study area (ÉMVIK data provisioning, BAZ MKI 2021)

Év	2010. 05.15.	2011. 06.09.	2012. 07.29.	2013. 06.24.	2014. 04.08.	2015. 08.17.	2016. 07.13.	2018. 06.10.	2019. 08.20.
Csapadék mennyiség (mm/12 h)	60,4	94	36,4	59,6	32,2	33	35,2	49,2	76,8

Az OVF által kiadott Árvízszámítási Segédlete alapján az ÉMVIK Vízrendezési és Öntözési Osztálya által, a Harica-Nyögy vízgyűjtőire számított árvízi vízhozamok, a Q5% m³/s km² specifikus vízhozam alapján a következők: Q1% = 71,0 m³/s, Q3% = 54,6 m³/s, Q10% = 38,2 m³/s (Koris 2021). Bár a Harica vízgyűjtő felvízi területén a vízhozam adatok nagy méretű vízépítési műtárgyak jelenlétét nem feltétlenül indokolják azonban a 2010-es árvíz sorozatot követően megépítésre került egy 13,6 hektáros, V_{1%}=270 000 m³, V_{max} = 410 000 m³ tárolókapacitással rendelkező, 1:3 rézsúhajlással és 1 m-es áteresszel rendelkező, völgyzárógátas kialakítású záportározó, hogy védelmet biztosítson Kondó település számára (EMKTVF 2013). Bár a záportározó a műszaki terveknek megfelelően működik és szabályozza a területen levonuló árhullámokat, a települést a záportározó alvízi oldalán található kisebb vízgyűjtőiből (például a Cseres-völgyből) érkező árvizek, rendszeresen előtörttek. Ezek alapján felmerült az igény, hogy az árvízvédelmi gyakorlati tapasztalatok, a természetföldrajzi, valamint hidrológiai tudásanyag alapján létrejöjjön egy átfogó villámárvíz specifikus térképezési módszertan, mivel igazolásra került, hogy nem az ismert Harica vagy Varrom patakok, hanem addig feltáratlan, kis

méretű vízgyűjtők voltak a legnagyobb hatással a kialakult villámárvizekre (Dobai és Dobos 2022). Jelen kutatásban a módszertan további GIS bemeneti adatokkal és súlyozási eljárással bővült, amely segítségével nagyobb területre is kiterjesztésre került a kockázati térképezés.

Villámárvíz-kockázati térkép osztályainak súlyozása AHP-módszerrel

Az Analitikus Hierarchia Módszer (Analytic Hierarchy Process - AHP), amelyet Thomas L. Saaty fejlesztett ki, egy döntéshozatali módszertan, amely a komplex problémák strukturált és rendszerezett elemzésére szolgál. Ebben a keretrendszerben a problémákat hierarchikus szerkezetben ábrázolják, ahol a döntési cél a legfelső szinten helyezkedik el, amelyet kritériumok és alternatívák követnek. A módszer központi eleme a páronkénti összehasonlítás, amely során a kritériumokat és alternatívákat egy előre meghatározott skála alapján értékelik, kifejezve ezek relatív fontosságát (Choudhury és társai 2022, Costache és társai 2020). Az értékelési folyamat eredményeként egy összehasonlító mátrix jön létre, amely a súlyok kiszámítására és a prioritások meghatározására szolgál. Az AHP

matematikai számításai lehetővé teszik az alternatívák objektív rangsorolását. Emellett a módszer magában foglalja a konzisztencia arány (CR) mechanizmusát, amely biztosítja a páronkénti összehasonlítások belső koherenciáját (Eroglu és Meral 2021). A térképosztályok súlyozásához Saaty által javasolt skálát alkalmaztuk. Az AHP-módszerrel kiszámított súlyokat az egyes osztályokra vonatkozóan a villámárvíz-érzékenységi térképezési folyamat során alkalmaztuk, majd ezeket a súlyokat rendeltük a megfelelő raszteres adatok osztályozására.

Villámárvíz-kockázati térképezési módszertan bemutatása

A kutatás első lépéseként a térképezéshez szükséges bemeneti adat csoportokat, valamint a kockázati térkép osztályaira vonatkozó súlyokat határoztuk meg. A cél egy minimális, ám informatív, nagy térbeli felbontású térkép létrehozása volt, amely a gyakorlati védekezés támogatására alkalmas. A terepi adatokból származó felszíni indexek (például domborzati modell – DEM, lefolyástól való távolság, görbület, kitettség) és a távérzékelésből származó indexek (pl.: műholdképek, NDWI, NDVI) kerültek felhasználásra, mivel ezek alapvetőek a kockázati térképezési módszertanokban (Youssef és társai 2011). Azonban törekedtünk arra, hogy elkerüljük a magas számú bemeneti adatot, illetve szorosan korreláló változók bevonását, hogy ne terheljük túl a modellt és ne csökkentsek annak prediktív teljesítményét. Ezért csak azokat a paramétereket tartottuk meg, amelyek újszerű információt adtak a térképhez a téma szempontjából. A bemeneti adatok optimalizálása a szakirodalomban nem újszerű, jellemzően 8-12 darab paramétert érdemes figyelembe venni, azonban célszerű az összetettebb index alkalmazása a térképezési módszertan során (Bui és társai 2019, Youssef és Hegab 2019, Ngo és társai 2018, Khosravi és társai 2018, Youssef és társai 2016). Az olyan rétegeket, mint például a lejtő árnyékolás, amely nem nyújtott többletinformációt, illetve a redundanciát okozó SPI és STI (mindkettő a lejtőn és a vízgyűjtő területen alapul) indexek, továbbá az uralkodó viharirányok meghatározhatóságának hiánya okán, a lejtőkitettség régió mellőzésre kerültek.

A kutatás során a következő kilenc raszter réteget használtuk fel:

- 5 m térbeli felbontású domborzati modell alapján (DEM), lejtő meredekség állomány;
- Osztályozott normalizált vegetációs index (NDVI) (Dalezios és társai 2001);
- A Nemzeti Földügyi Központ által biztosított erdészeti adatbázis alapján az erdők kora;
- Osztályozott tájhasználati és felszínborítási (LULC) rétegek, amelyeket a Sentinel-2B műhold B2 (kék), B3 (zöld), B4 (vörös), B8 (NIR) és újra osztályozott B5 (VNIR) sávjainak 10 m-es felbontású adataiból generáltunk;
- AGROTOPO talajadatbázisból származó átlagos talajvastagság;
- E-Soter digitális talajtérképezési módszertanból nyert és újraosztályozott textúra állomány (Dobos és társai 2007).

- Topológiai nedvesség index (TWI);
- Koncentrációs idő (Costache 2014)
- Lejtés-súlyozott áramlási hossz (SWFL);

A villámárvizek kialakulása legalább 30 mm/h feletti intenzitású csapadékok esetén figyelhetők meg, az aktuális felszíni állapotoktól, különösen a talajnedvességtől, valamint a szabadpórustértől függően (Luong és társai 2021, Dobai és társai 2024). A valós térben bekövetkező csapadékesemények elemzését jelentősen bonyolítja, hogy az újra fejlődő és az érintett vízgyűjtőre visszatérő MKR viharláncok zivatarjai már telített pórustérű talajra érkeznek, ezáltal már kisebb csapadékmennyiségek is okoznak villámárvizeket (B.A.Z. MKI 2021). Ez okból kifolyólag a térképezés során a már megtörtént, legszélsőségesebb csapadékeseményeket vettük figyelembe.

A térkép létrehozása során az egyes osztályokhoz súlyokat rendeltünk az Analitikus Hierarchia Módszer (AHP) módszer alkalmazásával. Ez a módszer lehetővé tette a releváns térbeli tényezők és paraméterek relatív fontosságának szisztematikus meghatározását. Az osztályképzés alapját a szélsőséges csapadékesemények lépésről lépésre történő részletes elemzése képezte, amelyet a rendelkezésre álló térinformatikai állományokkal leírható adatok párosításával végeztünk el. Ennek során a lehulló csapadék mozgását és hatásait különböző környezeti tényezők figyelembevételével vizsgáltuk. A felszínre érkező csapadék – függetlenül annak intenzitásától – elsőként egy adott lejtéssel (százalékos lejtőmeredekség) jellemezhető területre érkezik, amely például a szálkőzet és magas lejtőmeredekség értékek megléte miatt elsődleges rangot kapott az osztályok közül. Ettől függően megindulhat a felszíni lefolyás vagy a beszivárgás, amely jelentős mértékben befolyásolja a vízmozgás dinamikáját (Stelczer 2000). A beszivárgás és a felszíni lefolyás folyamatait döntően meghatározza a felszínborítás és vegetáció intenzitása, amelyet a Normalizált Differenciált Vegetációs Index (NDVI) segítségével lehet jellemezni (Youssef és társai 2011), de ide tartozik a vegetáció sűrűsége (erdők jelenléte és kora) is. A nagyobb intenzitású és szélsőségesebb vízhozamú csapadékesemények esetében további fontos tényezőket is figyelembe kell venni. Ezek közé tartozik a domináns tájhasználati kategóriák (Land Use/Land Cover – LULC), az átlagos talajvastagság, valamint a talaj textúrája (Czigány és társai 2009), mely elemek alapvetően befolyásolják a beszivárgási képességet és a felszíni lefolyás gyorsaságát. Ezekon túlmenően a felszíni tulajdonságok pozitív (vízhozamot növelő) vagy negatív (vízviisszatartó, csökkentő, elnyelő) hatása is számottevő lehet egyre csökkenő ranggal, azonban a végeredmény szempontjából döntő tulajdonságokkal. A talaj nedvesíthetősége (Topographic Wetness Index – TWI), a lejtés-súlyozott áramlási hossz (Slope Weighted Flow Length – SWFL), valamint a koncentrációs idő (Time of Concentration – TCI) egyaránt befolyásolják a lefolyás gyorsaságát és mértékét, az előbb említett

rang csökkenése mellett. Ezen paraméterek komplex összehasonlítása meghatározza a leginkább érzékeny területek súlyozását, azaz azokat a térségeket, amelyek a villámárvíz kialakulása szempontjából a legnagyobb kockázatot

jelentik, így a legnagyobb rangot a lejtőmeredekség, a legkisebbet az SWFL állomány kapta. A fentiek alapján el kellett készíteni az AHP páros összehasonlítási mátrixát (3. táblázat).

3. táblázat. AHP páros összehasonlítási mátrixa

Table 3. AHP pairwise comparison matrix

	Lejtő meredekség	NDVI	Erdők kora	LULC	Talaj vast.	Textúra	TWI	TCI	SWFL
Lejtő meredekség	1	1,43	2	3	4,29	5,66	8,11	11,54	15,79
NDVI	0,70	1	1,40	2,10	3,00	3,96	5,68	8,08	11,05
Erdők kora	0,50	0,71	1	1,50	2,14	2,83	4,05	5,77	7,89
LULC	0,33	0,48	0,67	1	1,43	1,89	2,70	3,85	5,26
Talaj vastagság	0,23	0,33	0,47	0,70	1	1,32	1,89	2,69	3,68
Textúra	0,18	0,25	0,35	0,53	0,76	1	1,43	2,04	2,79
TWI	0,12	0,18	0,25	0,37	0,53	0,70	1	1,42	1,95
TCI	0,09	0,12	0,17	0,26	0,37	0,49	0,70	1	1,37
SWFL	0,06	0,09	0,13	0,19	0,27	0,36	0,51	0,73	1

A súlyozás révén a potenciálisan veszélyeztetett területekre vonatkozóan olyan számszerűsített értékekhez jutottunk, amelyek megfelelő alapot szolgáltatnak a veszélyeztetettség kategóriák kialakításához.

Az osztályképzés során (a kockázati értékek nem lineáris eloszlása okán) a legjobb eredményeket a Jenks-féle természetes töréspontok módszereivel érték el, amely így kiegyensúlyozottabb eloszlást mutatott a kockázati határértékekre vonatkozóan (Efraimidou, E., Spiliotis, M. 2024). A térkép finomhangolása érdekében manuálisan meghatározott küszöbértékeket is alkalmaztunk. A súlyokat Spatial Analyst eszközkészlet Lookup funkciójával rendeltük hozzá az egyes osztályokhoz, amelyek ezáltal a villámárvíz tulajdonságok szerint optimalizált numerikus csoportokat hoztak létre. A térbeli egységek homogenizálásához a Focal Statistics eszköz Majority funkcióját alkalmaztuk, amely a szomszédos cellák alapján egyesítette az értékeket, biztosítva a térképi ábrázolás folytonosságát, a számított zónák térbeli koherenciáját. Ezt követően a súlyozott rétegek összeadásra kerültek a Spatial Analyst –

Raster Calculator segítségével, így létrejött a kockázati kategóriák nincsen kockázat, alacsony, közepes, magas, valamint nagyon magas/karsztos területeinek rendszere.

Eredmények

A térképezési módszertan eredményei

Jelen tanulmány alapját a villámárvízvédelem terén szerzett gyakorlati tapasztalatok képezték, így alapvetően a Vis maior jegyzőkönyvekben jegyzett legfeljebb 1 órán belül mért 25–30 mm/h csapadékmennyiséget vettük alapul (B.A.Z. MKI 2021), amely a hazai villámárvizek előfordulásának jellemző csapadékinzintás tartománya. A térkép a Sajó, a Bódva és a Hernád jobb parti vízgyűjtő területeire készült el. Az egyes bemeneti raster rétegeket felszíni lefolyáshoz való hozzájárulása vagy csökkentése (beszivárgás) szerint minimum 2, maximum 9 kategóriákba osztottuk, a réteg információtartalmától függően. Az AHP módszer súlyozásához használt értékek (4. táblázat) és eloszlásaik az alábbiak szerint alakultak (2. ábra).

4. táblázat. AHP súlyok az egyes osztályokra vonatkozóan

Table 4. Result of AHP weights for Risk Map

Osztályok	Lejtő meredekség	NDVI	Erdők kora	LULC	Talaj vast.	Textúra	TWI	TCI	SWFL
AHP súlyok	0,30	0,21	0,15	0,10	0,07	0,053	0,037	0,026	0,019
AHP statisztika									
λ max	8,9								
Consistency Index (CI)	0,0011								
Consistency Ratio (CR)	0,0078								

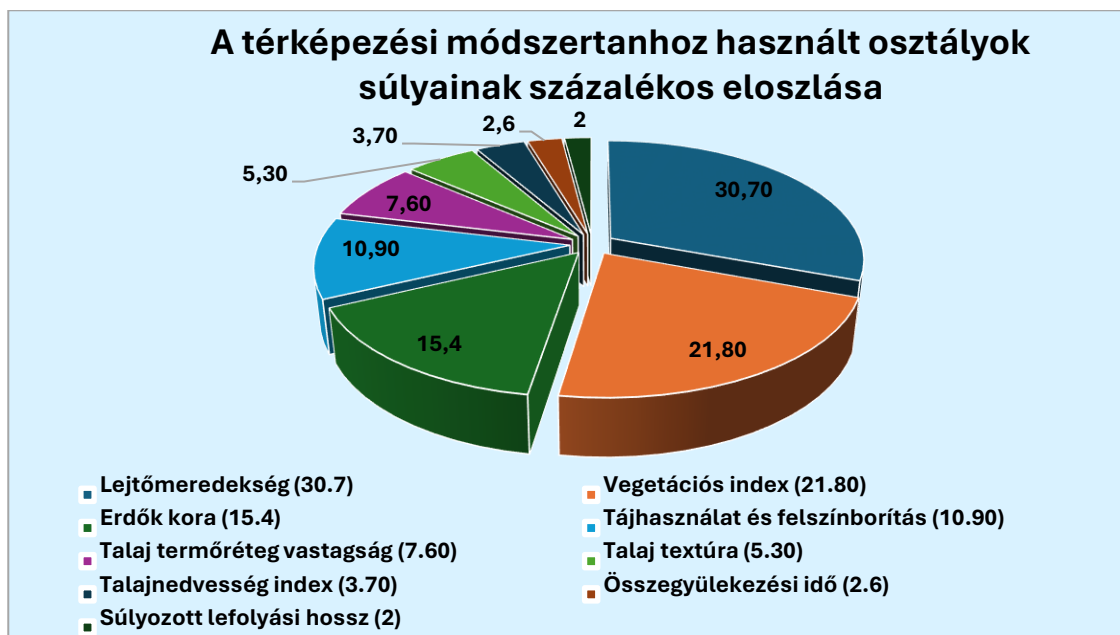
Az AHP-módszer szerint a CR értéke kisebb, mint 0,1, ami azt jelzi, hogy a mátrix konzisztens (Eroglu és Meral 2021). Az egyes kockázati osztályokat az AHP eredményeivel súlyoztuk, és ezek alapján új osztályokat hoztunk létre a korábbiakban leírtak szerint.

A súlyok meghatározásánál törekedtünk arra, hogy a felszíni tulajdonságok (talaj vastagság, textúra,

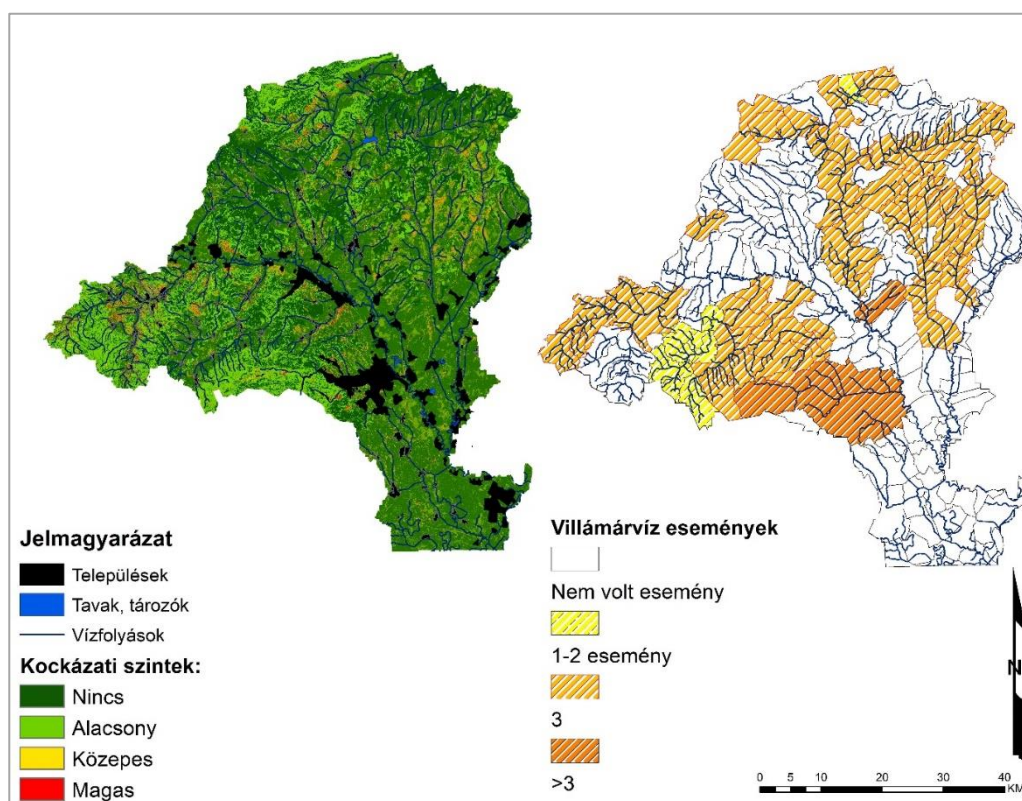
lejtőmeredekség) és a felszínborítással kapcsolatos leíró állományok (NDVI, erdők kora, tájhasználat) közel azonos darab számban (3-3 db) és arányban (43,6-48,1%), de eltérő súllyal legyenek jelen a térképezésen belül. A 8,3%-ot

képviselő felszíni lefolyási tulajdonságokat célzó állományok (talajnedvesség index, súlyozott lefolyásihossz, összegyülekezési állomány) 10% alatti arányát a kialakulás okozó állapota magyarázza, vagyis az, hogy csak az előző csoportok kedvezőtlen tulajdonságai esetén indul el az árhullám levonulása. A villámárvíz-kockázati térképezési

módszertan részben tárgyaltak szerint, a súlyozott kategóriák vizuális megkülönböztetésére sötétzöld, világoszöld, narancssárga és piros színek kódokat rendeltünk az eredmény térképen (3. ábra). Az így kapott raszteres állományon a tényezők együttes hatását reprezentáltuk, amely lehetővé tette a különböző térbeli mintázatok azonosítását.



2. ábra. A térképezési módszertanhoz használt osztályok súlyainak százalékos eloszlása
Figure 2. The percentage distribution of weights of the classes used for the mapping methodology



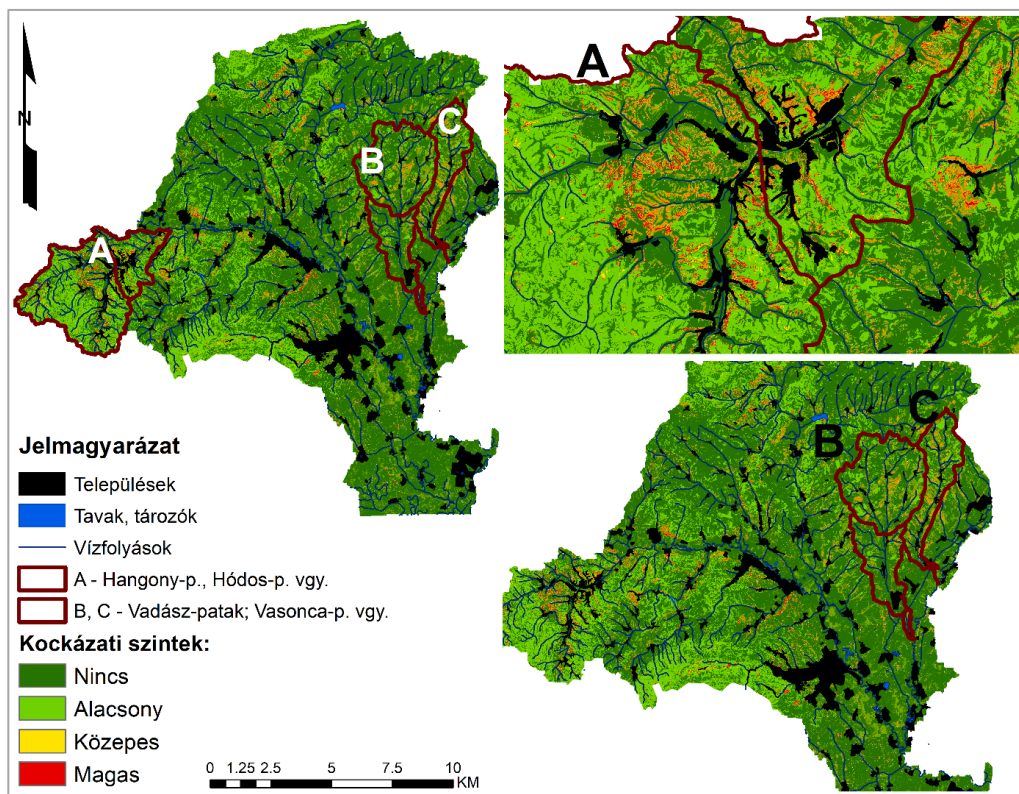
3. ábra. A térképezés eredménye és a valós villámárvíz események jellemző területei (2010-2020)
Figure 3. The mapping results and the characteristic areas of real flash flood events (2010-2020)

A térképezési módszertan eredményeinek értelmezése

Az elmúlt két évtizedben bekövetkezett villámárvizek jellegzetes területeit az éves hidrometeorológiai jelentések és káreseti jegyzőkönyvek alapján azonosítottuk, és ezeket az önkormányzatok közigazgatási határainak megfelelően ábrázoltuk (3. ábra). A villámárvízzel történő érintettség jelentősebb méretű lehet, azonban csak azokat jelöltük, amelyekre tényleges hivatkozást találtunk, ennek ellenére a térképezési módszertan eredményei a valós csapadékesemények területeivel fedésben vannak. A térkép elemzése során jól elkülönülnek a déli határon található Bükk-hegység, valamint északon a Bódva-völgyet kísérő karsztos területek. A karszthatás a Bükk esetében a Szinva felső, valamint a Garadna patak vízgyűjtők határáig lehet jelentős (Hernádi és társai 2014). Az Aggteleki karszt és a Bódva vízgyűjtőjére vonatkozóan a határ kijelölése komplexebb feladat, mivel a Bódva völgye mindkét árvíz típusban (felszíni lefolyásból származó villámárvíz, karszt villámárvíz) érintettnek minősül, így az árvízi védekezés során az adott vízgyűjtő tulajdonságainak megfelelő szinten szükséges reagálni és alkalmazkodni. Az eltérő tulajdonságú árvizek határa hozzávetőlegesen a Rakaca-patak torkolatától délre, Szendrő település közigazgatási határájánál jelölhető ki. A térképen a magas kockázati értékekbe eső területek jelenléte a meredek lejtők, vékony talajrétegek és a rövid koncentrációs idő (TCI) meglétével magyarázható. Mivel a módszertanban nagy hangsúlyt kapott a lejtőmeredekség és a felszínborítás, a nagyobb meredekségű, karsztos vagy más szálkőzetben álló, de fedetlen területek egy csoportba kerültek, mivel ezek természetföldrajzi tulajdonságaik alapján gyakran átfedést mutatnak. Az ilyen területeken a csapadék lefolyása, a vízmegtartó képesség és az erózió

folyamatai jelentősen eltérhetnek az alacsonyabb meredekségű vagy fedett felszínű területektől, ezért együttes vizsgálatuk indokolt. Ebből adódóan ezek a területek a magas/karsztos területcsoport elnevezést kapták, és nem kerültek külön osztályképzésre. A gyakorlati alkalmazás során ugyanis ezek a területek a vízmozgás és az erózió sajátosságai miatt egyértelműen elkülönülnek a többi osztályba sorolt felszíntípusoktól, így a módszertan egységes kezelése biztosítható.

Az eredmények közvetetten utalnak a geológiai szerkezetre is: a Bükk-hegységben a legjellegzetesebb területek az alsó-triász és perm mészkövek (gT1, avT1; nP2), míg a Bódva folyó mentén a középső-felső triász mészkő és dolomit (wT2-3m, wT2-3d) formációk felszínén lévő vagy kevésbé fedett egységei azonosíthatók (Gyalog 1996). A laza üledékeken képződött vízgyűjtők területein a geomorfológiai formakincsek és a tájhasználat okán számos természeti, hidrológiai, valamint társadalmi tényezőt kell figyelembe venni. Ehhez kapcsolódóan a térképen több vízgyűjtő elemezhető (pl.: Bán-p., Tardona-p., Mák-p. stb.) azonban három kiemelt területre hívjuk fel a figyelmet. Az „A” jelű Hangony és Hódos patakok, valamint a „B” és „C” jelzésű Vadász és Vasonca patakok vízgyűjtőire, amelyeken a felhasznált bemeneti adatok alapján jól lokalizálhatóak a villámárvízre érzékeny, közepes és magas kockázatú területek (4. ábra). A felszíni tulajdonságok mellett a vízgyűjtő alakíása, morfológiája is jól azonosítható, főleg a Vadász és Vasonca vízgyűjtőin, amelyeken szerteágazó, de szűk, gyors lefolyást biztosító völgyek sorakoznak, amelyhez hozzájárul a java-részt mezőgazdasági területhasználat során fellépő talaj tömődöttség is.



4. ábra. A Hangony-Hódos (A), Vadász (B), Vasonca (C) vízgyűjtők kockázati térképe
Figure 4. The risk map of the Hangony-Hódos (A), Vadász (B) and Vasonca (C) watersheds

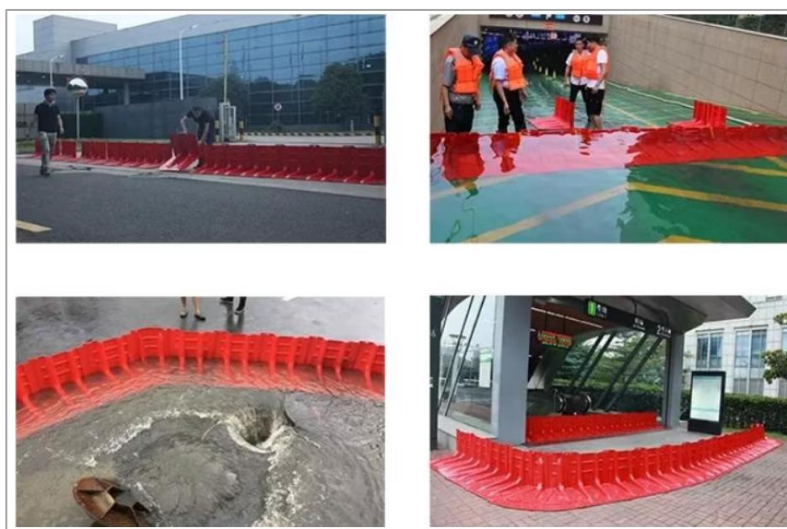
Ajánlott megelőzési és védekezési módszerek az egyes kategóriákhoz

A "nincs kockázat" és "alacsony kockázat" kategóriákban javasolt a vízgyűjtő terület felülvizsgálata, beleértve a történeti nyilvántartások és levéltári adatok vizsgálatát, hogy igazolják a múltbeli viharok vagy villámárvizek által okozott esetleges károkat. Ezeken a területeken általában elegendő az önkormányzati csapadékvíz-elvezető rendszerek és a helyi infrastruktúra (pl. közúti átvezetők, mederszabályozás) karbantartása. Fontos megjegyezni, hogy még a kisebb méretű vízgyűjtők esetében sincsenek kizárólag ebbe a két kategóriába tartozó területek. Az alacsonyabb kockázati kategóriájú területek megjelenése jellemzően a Putnoki-dombság és a környező vízgyűjtők: Kelemér-patak, Szuha-patak vízgyűjtői mentén vannak jelen a jelentős és sokrétű felszínborítottság és a kedvező talajvastagság okán. Azonban ezeken a területeken is szem előtt kell tartani a mezőgazdasági területeken való megfelelő agrotechnológia alkalmazását, valamint a szántási és talajművelési határok betartását, amely ajánlott az erózióval kapcsolatos kockázatok csökkentése és a lefolyási viszonyok javítása érdekében, mivel ezek a tényezők jelentős kockázatot jelentenek a vízgyűjtő területekre (Dobai és Dobos 2023).

A "közepes kockázat" kategória területein kirajzolódhatnak azok a kockázati területek, amelyek az árvízeseemények feltételei (megelőző csapadék, visszatérő viharzóna stb.) és a vihart megelőző felszíni tulajdonságok (kezdeti talajnedvesség, talaj pórustér, lombkorona zártság, mezőgazdasági takarónövények fejlettségi állapota stb.) határozzák meg és befolyásolják a lefolyást a csapadékesemény során. Területi eloszlása miatt ezek a területek kulcsfontosságúak lehetnek a villámárvízi jelenség mérsékléséhez, továbbá az elhelyezkedésük miatt (pl.: kis lejtésű, de csekély felszínborítással rendelkező lejtőváll) áthatással lehetnek más területekre (pl. lejtőváll alatt elhelyezkedő, kisebb lejtésű, megfelelő felszínborítással rendelkező erdészeti, mezőgazdasági terület). Az előbb vázolt szempontok természetesen fennállnak magasabb kockázati kategóriák esetében, azonban jelen osztályban előzhetők meg a további kumulált hatások multiplikációja, így javasolt a

kisebb gátak, duzzasztók és más dombvidéki vízrendezési objektumok építése helyi anyagokból a célterületen, vagy az összegyülekezési pontokon, figyelembe véve a tájban történő vízviasszatartás lehetőségét. A tartós telepítésű vízépítési szerkezetek méretük és szerepük szerint, vízgazdálkodási és vízjogi engedélykötelesek lehetnek (Balatonyi és társai 2022, Sušnik és társai 2022).

A "magas kockázat" kategóriákban részletes felmérések, kockázattertelékelések és környezeti hatástanulmányok szükségesek. Ezek esetében a vízgyűjtőkben, megelőző felmérés szükséges az esetleges karszt területek méretét és hatását illetően, továbbá mérlegelni szükséges a vízgyűjtőn belül jelentkező esetleges szálkőzet, meredek falak, szakadékok és egyéb szélsőértéket képviselő területeket és hatásukat a felszíni lefolyásra. A kategóriában alkalmazott vízépítési megoldásoknak igazodniuk kell a kockázattertelékelési felmérések eredményeihez, és magukban foglalhatják az előző kategóriákban javasolt jogi és vízépítési intézkedések kombinálását is. Tekintettel a levonuló árvizek hidrológiai, fizikai tulajdonságaira robusztus, alacsony karbantartási igényű és költséghatékony megoldásokra van szükség. Ilyen intézkedések lehetnek például az acéllemez-falak vagy Gabion-hálóba helyezett építőközből készült szerkezetek, amelyek jelentősen fragmentálják a lefolyási utakat és növelik a felszíni összegyülekezési időt. Az agrotechnológiai gyakorlatok közül az erózió elleni védekezési módszerek pl.: teraszos művelés kialakítása hosszú távon is megoldást biztosító lehetőség (Alessandro és társai 2002, Balatonyi és társai 2022, Szendrei 2020; Dobai és Dobos 2022). Valamennyi építéshez kapcsolódó beavatkozásnak a felszíni gyülekezési idő növelését és az árhullám erejének csökkentését kell szem előtt tartania. Az önkormányzati bel- és külterületi védekezés szintén komoly kihívást jelent, mivel felkészülési idő hiánya miatt a hagyományos, munkaerő-igényes módszerek, például a homokzsákos védekezés nem lehetséges. Ehelyett modern, ideiglenes, de gyors kihelyezésű, műanyagból készült gátak alkalmazása javasolt, amelyek könnyen beköthetők az ingatlanok falához, kerítésekhez és stabil védelmet biztosíthatnak az árhullám levonulása során, azonban ezen megoldások alkalmazása a technológia újszerűsége miatt, kellő tapasztalat és körültekintés mellett lehetséges (5. ábra).



5. ábra. ABS L- típusú árvízvédekezési műanyag panel (MEISHUO 2024)
Figure 5. ABS L-type flood protection plastic panel (MEISHUO 2024))

A Cseres-völgy kockázati kategóriái

A szűkebb vizsgálati területet képező Cseres-völgy és környékének kockázati kategóriáit korábbi tanulmányokban már azonosítottuk: összesen hat részvízgyűjtő helyezkedik el a Kondó-záportározó alvízi oldalán, amelyek közül három kritikus felszíni lefolyási jellemzőkkel rendelkezik (Dobai és Dobos 2022). A korábbi elemzések eredményeit a jelenlegi térképezés tovább finomította: a "nincs kockázat" és "alacsony kockázat" kategóriák a teljes vízgyűjtő terület 47,12%-át (361,45 m²) teszik ki, míg a "közepes kockázat" kategória 50,88%-ot (390,32 m²), a "magas kockázat" kategória 1,93%-ot (23,9 m²) foglal el. A közepes kockázatú területek dominanciája, valamint a völgy kifolyási pontjának településhez való közelsége magyarázza a vízgyűjtő, villámárvíz veszélyeztetettségének összesített, magas kockázati szintjét. A vízgyűjtő területen a villámárvíz elleni védekezés legoptimálisabb megoldásának a több lépcsőben kialakított, Larssen 604n típusú, U-hullámprofilú, 8,0 x 0,6 m méretű acéllemez-falak telepítését találtuk, amely összesen 5 750 m³ vizet képes ideiglenesen visszatartani (Dobai és Dobos 2022).

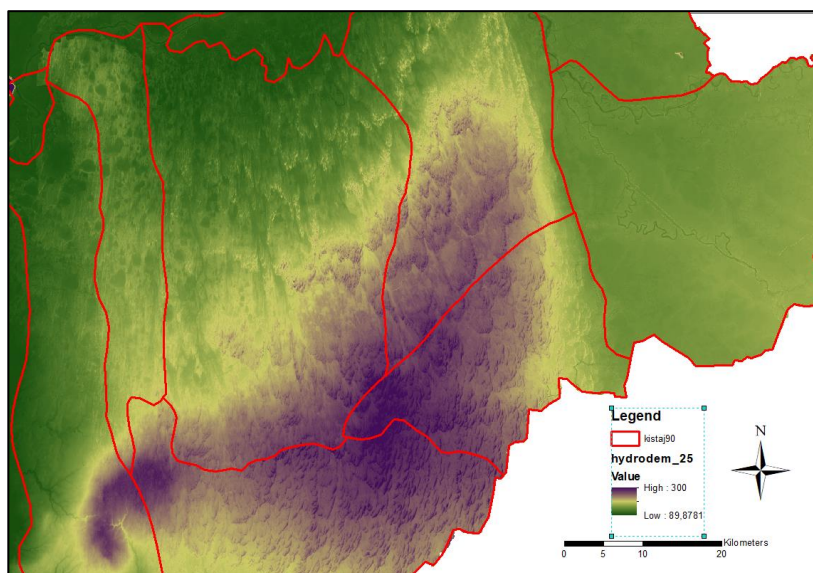
KÖVETKEZTETÉSEK

A térképezési módszertant illetően a vizsgálati eredmények értelmezése és minősítése nehézségekbe ütközik, mivel a hazai kockázati térképek nem rendelkeznek olyan módszertani keretekkel, amely ilyen sokrétű bemeneti adatot alkalmazna, illetve vizsgálná a jelen kutatási mintaterületet is. Kivételt képez ez alól az országos léptéket célzó, de részletesebb felbontást is magában foglaló, egyenlően súlyozott feltételes tényezőin alapuló árvízérzékenységi térképezési módszertan (Sarkadi és társai, 2022). Jelen kutatás nemcsak a vizsgálati terület méretkülönbségei, hanem a felhasznált adatbázisok és az erre épülő leíró statisztikai háttér miatt sem hasonlítható össze, azonban az eredmény térképek vázlatos vizuális értékelésére, valamint a továbbfejlesztésre érdemes térinformatikai állományok meghatározására lehetőségünk nyílik. A kutatásunk mintaterületeire értelmezve, az FFSI_{WS} állományán az Ózd település környéki, valamint a Vasonca vízgyűjtőjének területei a 4. ábra „A” és „B” területeivel hasonló módon magasabb kategóriába kerültek, továbbá jelen kutatásban nem tértünk ki, azonban az összehasonlítás okán kiemeljük az Aggteleki-karszt déli előterében lévő, valamint a Rakaca-patak felső vízgyűjtőjének területeit is, amelyek a két térképen azonosan jelennek meg. A mintaterületre vetítve az FFSI_{WS} megfelelő irányadó jellegű térkép, azonban a jelenség megkívánja a nagyobb felbontást, amelyeket a települési szintű térképek biztosítanak. Az FFSI_s térképcsoportok változó kategóriákban, de szintén tartalmazzák az „A-B” mintaterületeket, továbbá egymást kiegészítve fontos adatokat szolgáltatnak. Végül kiemelnénk az összehasonlítás alapját képező tanulmányban szereplő átlag érték (mean) térképet, amely az FFSI_{WS}-hez hasonló irányadó képet ad, kiemelve a Bódva völgyének veszélyeztetettségét, ugyanakkor a Bódvához képest némiképp túlbecsüli a Bükk északi részéről érkező (pl.: Vadna-p., Nyögö-p.) vízgyűjtők érzékenységet (Sarkadi és társai, 2022). A pontosabb becslés érdekében az FFSI_s maximális (max) értékein alapuló térkép alkalmazása indokolt, amely ugyan tendenciózusan túlbecsüli a magas és extrém érzékenységu települések arányát, de egy kombinált megközelítéssel a legvalószínűbb képet adná az érintett területek

érzékenységről. Igazolja ezt a jelen tanulmány 3. ábrájának villámárvíz jellemző területeinek, illetve a tanulmányban szereplő 6. ábráján lévő jelentett árvízesemény térképei (Sarkadi és társai 2022). A két módszertan közös megállapítása, hogy a Szuha völgye alacsonyabb kategóriákba esik, amely a valóságnak is megfelel, komoly eltérés jelentkezik viszont a Vasonca vízgyűjtő veszélyeztetettségét illetően. Döntően a terület azonosságok alapján azonban elmondható, hogy a B.A.Z vármegye vízgyűjtőterületekre regionálisan értelmezett vizsgálata során az FFSI térképanyagok átlagos pontosság értéke nőne. A gyakorlati védekezés és felkészülési tervek esetében, szélsőséges tulajdonságai ellenére az FFSI_s_nw_max jelölésű térképet ajánljuk.

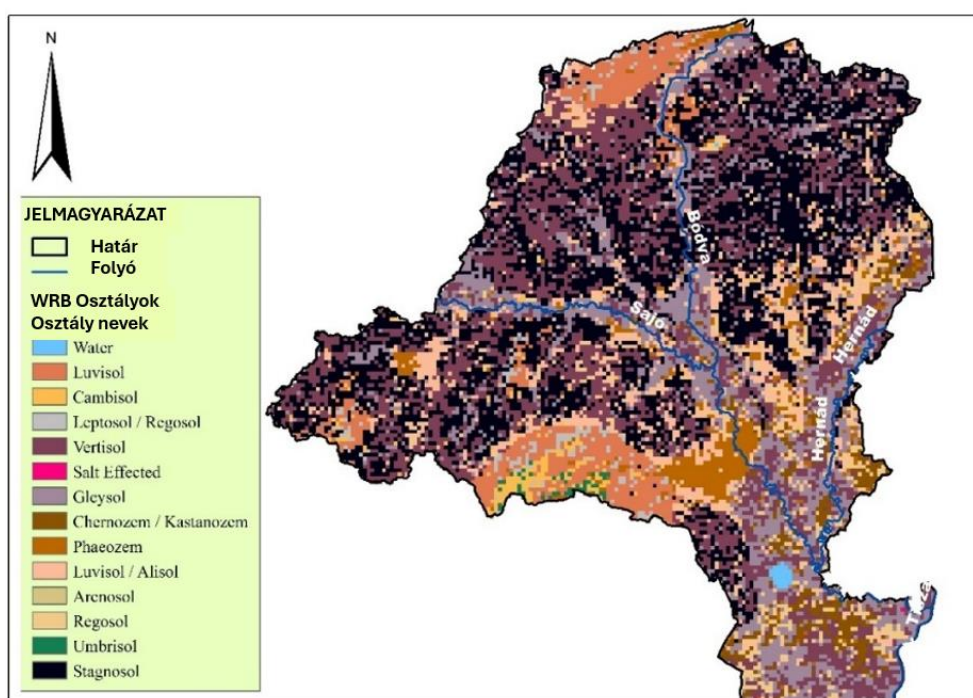
A későbbi kutatások előrehaladása érdekében érdemes lenne egy külön elemzésben a két adatbázis részletes térinformatikai összehasonlítása, azonban ami fontosabb lehet, hogy a felhasznált adatbázisokról is adjunk fontosabb tapasztalatokat. Mind a két tanulmány (valamint a hazai kutatások nagyrésze) alkalmazza az AGROTOPO adatbázist főként a talaj tulajdonságok leírásakor, azonban az adatait kellő körültekintéssel, terepi validálással vagy más adatbázissal való összehasonlításával érdemes ellenőrizni, mivel az egyes jellemző területek nem esnek egybe a valós domborzati határokkal és felszíni tulajdonságokkal (6. ábra), ezáltal a területet leíró poligonok és a poligonok adatai (pl.: talaj tulajdonságok) is félrevezetőek lehetnek. Hasonló a helyzet a TIM (Talajvédelmi Információs és Monitoring) rendszer adatbázisával, amelyek frissítéséért folyamatos szakmai pályázati munka folyik, mivel a különböző alkalmazott témájú (klímaadaptáció, talajerózió védelem, vízvisszatartás, precíziós mezőgazdaság stb.) kutatások száma folyamatosan gyarapodik, így az igény is növekszik a pontosabb adatokra. A két kutatásban feltehetően a DoSoReMi, valamint az E-Soter téradatai ezeket az esetleges pontatlanságokat kompenzálták.

A talaj fizikai, kémiai tulajdonságait leíró módszertanok közül mindenképpen ajánljuk az E-Soter adatbázis alkalmazását, amely a talaj tulajdonságait a Világ Talajerőforrás-osztályozási Rendszere (WRB) alapján írja le. Ennek hazai megfelelője a korábbi genetikust felváltó, diagnosztikus talajosztályozási szemlélet, amely megalapozott szabályok mentén osztályozza az egyes talajtípusokat, amelyek tulajdonságai ezáltal könnyebben értelmezhetők és számszerűsíthetők, adaptálhatók a kutatásokba (Michéli és társai 2024). A diagnosztikus szemlélet villámárvízi térképezésben való alkalmazásának egyik gyakorlati példája lehet a korábbi talajosztályozásban nem szereplő, de a vízmozgás szempontjából releváns duzzadó agyagtalajok (Vertisol) figyelembevétele a későbbi kutatások során. Ezen talajok osztályozási kritériuma, hogy a felszíntől számított 100 cm-en belül duzzadásra hajlamos talajszint legyen jelen, továbbá a felszín és a duzzadó agyagszint között az agyagtartalom elérje a minimum 30%-ot. Hazánkban a hegy- és dombvidéki területek természetszerűleg az erdőtalajok klímazonális területeibe esnek, így a mintaterületet is a Vertisolok mellett a Luvisol, Cambisol és alváltozataik alkotják (7. ábra), amelyek tulajdonságai mentén jól érzékelhető a talajtípus villámárvíz dinamikájában betöltött szerepe, azonban a főbb talajtípusok integrálása jelenleg még külön kutatást igényel, jelen kutatásban kizárólag az adatbázis textúra állományát használtuk.



6. ábra. Példa az Agrotopo adatbázis poligonjainak, természetföldrajzi határainak eltérésére

Figure 6. Example of the differences in the physical geographical boundaries of the polygons in the Agrotopo database



7. ábra. A mintaterület WRB osztályozáson alapú, E-Soter talajtérképe

Figure 7. E-Soter soil map of the study area, based on WRB soil classes

Összeségében megállapítható, hogy az országos, átnézetes céllal létrehozott térképek regionális szintű értelmezése esetében elengedhetetlen a vízgyűjtők részletes, eseti jellegű felmérése és az új digitális alapokon nyugvó adatbázisok integrálása, valamint alkalmazása.

A kutatás eredményei a nemzetközi módszertanok szintjén (a bemeneti adatok AHP súlyai tekintetében) összhangban vannak más tanulmányok eredményeivel (Grozavu és társai 2017, Kanani-Sadat Y. és társai 2019). Azonban jelen kutatás 9 db bemeneti változóra összpontosít (szemben az átlagosan alkalmazott 10–12 db raszterrel) elsősorban a redundancia elkerülése érdekében, a felszíni lefolyási viszonyokat leíró állományokra koncentrálna. Amint azt korábban kifejtettük körültekintően kell eljárni

a bemeneti rétegek számának növelése vagy csökkentése során, és előnyben kell részesíteni a komplex leíró indexeket, amelyek megfelelően írják le a villámárvíz jelenségét. Ebben a vizsgálatban az NDVI és a TCI rétegek részletes osztályozása különösen hasznosnak bizonyultak. Az NDVI a növények klorofil-intenzitás értékeit adja vissza, így nem csak nagy térbeli felbontású, hanem könnyen validálható háttérrel biztosít a pillanatnyi vagy több időszak felvételei alapján, nagyobb időszakra vonatkozóan, amelyek számszerűsítése esetében egy villámárvíz specifikus index is fejleszthető, amely a jövőbeni kutatások feladata lesz. Ilyen index lehet az erdőszűrség tekintetében, a tartósan sűrű vegetációval jellemezhető és változó NDVI-intenzitású erdők értéktartományának meghatározása, illetve a szántóföldek esetében az adott mezőgazdasági kultúra

vegetációs időszakára értelmezett index a villámárvízi szezonban. Mivel az NDVI értékei -1 és +1 között vannak normalizálva, így a beton felszín, szálfőzet (-1), víz, hó felület (0), valamint az előbbi gondolatmenet alapján egy finomhangolással, több éves adatsor esetében, statisztikai analízissel (idősoros elemzés, trend analízis) egy dinamikus térképi adatbázis is létrejöhet. A TCI (h) állomány értékei kiegészítő jellegűek voltak, de markánsan meghatározták a kimeneti térkép villámárvízre érzékeny területeit, mivel a maradék 8 GIS réteg súlyozott adatain túl, tudtak olyan felszíni tulajdonságokat bemutatni az idő dimenzióon keresztül, amelyekkel többletinformáció volt kinyerhető az árhullám összegyülekezés tekintetében. A TCI különösen hasznosnak bizonyult a vízgyűjtő területek és lefolyási útvonalak azonosításában, valamint a topográfia által befolyásolt vízmozgási mintázatok feltérképezésében. Ezáltal a térképi modellezés során lehetővé vált a potenciálisan kritikus területek pontosabb lehatárolása, ahol a csapadékokból származó felszíni lefolyás gyorsan koncentrálódhat, növelve a villámárvíz kialakulásának kockázatát. Hidrológiai paraméterként nem olyan meghatározó, mint a TWI, így nem érdemes magasabb rangot hozzárendelni, azonban az eredmény térkép értékelésénél nagyon fontos paramétert ad.

A módszertan erősségei közé tartozik a javított térbeli felbontás, a kis vízgyűjtők szintjén történő értelmezhetősége továbbá, hogy elsőként alkalmaztuk a régió-specifikus digitális talajtérképet a térképezés során, ahelyett, hogy kizárólag az általános nemzeti talajadatbázisokra támaszkodtunk volna. A módszertan azonban további fejlesztést igényel. Egy javasolt irány lehet az előbb bevezetett gondolat mentén, az NDVI változásainak elemzése a március-október időszakban, és csak azokat a területeket azonosítani, amelyek stabil árhullám-csökkentő jellemzőkkel bírnak, vagyis ahol a magas NDVI-értékek minálisan változnak. További potenciális javítási lehetőség az erdészeti adatbázisok további összevetése NDVI-értékekkel, mivel az erdőtipusok és az ültetési korok változhatnak, így nem célszerű az adott területeket egységes erdőként (statikus adatként) kezelni (*Korchagina és társai 2020*). Azonban hangsúlyozzuk, hogy az alkalmazott erdészeti adatbázis jelentősen diverzifikálta az erdők felszínborítási kategóriáját. Ezen túlmenően a módszertanból hiányoznak azok a bemeneti rétegek, amelyek pontos, helyspecifikus, talajjal kapcsolatos adatokat biztosítanak, például VES (Vertikális Elektromos Szondázás) mérések eredményei (*Czigány és társai 2009*). A karszt villámárvizek előrejelzésére a Miskolcot körülvevő vízgyűjtőkre már kialakításra került egy monitoring rendszer (*Hernádi és társai 2014*), így ennek a vizsgálata a térségben megoldott, azonban a hagyományos villámárvizekre vonatkozóan ez továbbra is megoldásra váró feladat. A meteorológiai előrejelzőrendszer hiányosságai okán érdemes a felszíni paraméterek monitorozására koncentrálni, amely során fontos szempont a nagy térbeli és időbeli felbontás, valamint mérési adatsűrűség. Ezeknek a felszíni paramétereknek az adatgyűjtési lehetőségét vizsgálja a Miskolci Egyetem által fejlesztett alacsony költségvetésű (low cost) talajnedvesség szenzorok alkalmazása a Mezőkövesdtől északra található, Hór-pataki tározó környezetében telepített talajnedvesség szenzorok, amelyek LoraWan – GSM

alapú, valós idejű kommunikációra épülnek és a felső 50 cm-ről szerzett talajnedvesség adatok méréseivel megfelelő háttérrel tudnak biztosítani egy villámárvíz esemény dokumentálásához. Mivel a felszínt leíró domborzatmodellek, valamint a távérzékelési adatok megfelelő felbontásban rendelkezésre állnak, így a talajleíró paraméterek (pl.: talajnedvesség változása) vizsgálatai fogják a jövőbeni kutatások tárgyát képezni, amelyek alapján kisebb bizonytalanság mellett terjeszthetők ki a jellemző, villámárvíz eseményre érzékeny területek. Ezek a finomhangolások jelentős tárhelykapacitás vonzatúak és célirányos kutatást igényelnek. Azonban, ha ezek megvalósulnak, erős alapot nyújthatnak mesterséges intelligencia módszerek bemeneti, tanulási algoritmusai (pl. neurális hálózatok, Random Forest) számára.

A jelen kutatásban bemutatott módszertannak vannak hátrányai, azonban a Helyi Védelmi Bizottság (HVB) ülésein, továbbá a Polgári Védelmi Szövetség (PVSZ) és Tűzoltó Szövetség eseményein, a vonatkozó HuSk-Interreg projekt megbeszéléseken, a Magyar Mérnök Kamara (BKMM) által szervezett szakmai előadásokon ismertetett kutatási részeredményekre való pozitív visszajelzések, továbbá nem utolsósorban a vízügynél töltött szolgálati idő alatt tapasztalt gyakorlati védekezési és helyreállítási (Magyar Állam Kincstár és a károsult települések közös Vis maior jegyzőkönyv felvételei) tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a módszertan(ok)ra jelentős igény mutatkozik. Ezért is tűztük ki célul, hogy a térképezés a jelenség elleni, gyakorlati védekezésre vonatkozó kérdésekre (a települést körülvevő vízgyűjtőkből származó árhullám(ok) iránya(i)? a települést körülvevő villámárvízre érzékeny területek helye és mérete? a térképezési módszertan alapján ajánlható védekezési módok?) adja meg a választ. További célirányos kutatások segítségével a védekezés egyik legfontosabb kérdésére, vagyis a csapadék függvényében várható vízhozam mennyiségére is válasz adható (*Dobai és társai 2024*), amely szintén egy automatizált ArcMap eszközként (tools) áll már rendelkezésre. A villámárvizek által okozott károk többsége magántulajdonban lévő ingatlanokban és az épített infrastruktúrában (pl. közutak, hidak) volt megfigyelhető, Kondó településen a teljes kárérték becslések szerint meghaladta az 50 millió forintot a 2019-es évre vonatkozóan. Ehhez hozzájárul, hogy a közinfrastruktúrában következő, villámárvízhez kapcsolódó káresetek a következő évben megismétlődhetnek (2. táblázat), ezáltal új vagy kumulált kiadást és jelentős adminisztratív terhet okozva a településnek, amelyek egy kivitelezési időszakra célirányosan kiírt projekt esetében (pl.: települési csapadékvízvezető rendszerek korszerűsítése, körárok rendszer kiépítése) a projekt kimeneti indikátorát negatívan befolyásolják (*BAZ 2020, Veres és társai 2021*). A feldolgozott Vis maior jegyzőkönyvek, a helyreállítási költségek mértéke, továbbá a visszatérő árvízi kockázatok összevetése alapján megállapítható, hogy a megelőzést célzó intézkedések költségei a biztosítási kifizetések töredékéből (körülbelül 8–12 millió forint a Cseres völgyet érintő kivitelezésre számítva a 2022. évben) megvalósíthatók (*Dobai és Dobos 2022*). Ezek a békeidőben kivitelezett, előzetes tervezést és környezeti hatásvizsgálatokat igénylő építési beavatkozások, jelentős mértékben csökkenthetik az önkormányzati és állami

költségvetési kiadásokat és a védekezési szervek feladatait, mivel a védekezés és helyreállítás helyett, a fenntartási munkákra, ellenőrzésekre kell koncentrálni, amely már jelenleg is az illetékes jogkörrel rendelkező hatóságok feladata. A kialakított vízepítési műtárgyak csökkenthetik a területi ökológiai stabilitási rendszerben (TSES) és a gazdasági térszíneken okozott stressz faktorokat (Zeleňáková és társai 2018). Ezen építmények árvízi kockázatsökkentő hatására az Universal Matrix of Risk Analysis (UMRA) módszerét kívánjuk alkalmazni, azonban erre külön kutatást és publikációt tervezünk.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a 2020-1.1.2-PIACI-KFI támogatásával valósult meg: „Piac vezérelt kutatási, fejlesztési és innovációs projektek támogatása - ICT-platform kialakítása a talajinformáció-vezérelt mezőgazdaság támogatására a mezőgazdasági termelés irányítására és optimalizálására. és a talajrendszerre gyakorolt hatások monitorozása", valamint az RRF-2.3.1-21-2022-00014 azonosítószámú „Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium létrehozása” elnevezésű projektben a Magyarországi Helyreállítási és Ellenállóképességi Tervének keretében, az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközeinek támogatásával készült. Külön köszönjük a Nemzeti Földügyi Központ Erdészeti főosztály munkatársainak az adat-szolgáltatást és a térképezéshez kapcsolódó hasznos tanácsait. Külön szeretném megköszönni a Bírálók, valamint dr. Major Veronika értékes észrevételeit, amelyek hozzájárultak a témával kapcsolatos mondanivalóm kifejezőmódjának fejlődéséhez.

IRODALOMJEGYZÉK

Abdel, R.E., Islam, H.E. (2016). DAM Site Selection Using GIS Techniques and remote sensing to Minimize Flash Floods in East Nile Locality (Soba Valley)-Khartoum State. International Journal of Engineering Science Invention, ISSN (Online): 2319-6734, ISSN (Print): 2319-6726, Volume 5 Issue 12, pp. 50-61.

Alessandro, G.C., Javier, H., Ana, L.V.A. (2002). Guidelines on Flash Flood Prevention and Mitigation – NEDIES project. EUR 20386 EN, p. 64.

Balatonyi, L., Lengyel, B., Berger, Á. (2022). Natura-based solution as water management measure in Hungary. Modern Geográfia, Vol. 17, Issue 1, pp. 73-85. <https://doi.org/10.15170/MG.2022.17.01.05>

Bárdos Z. (2016). Az ár-, és belvizek elleni önkormányzati védekezés korszerűsítése, Nemzeti Községi Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, PhD értekezés p. 62. <https://doi.org/10.17625/NKE.2016.16>

Blistánová, M., Zeleňáková, M., Blistan, P., Ferencz, V. (2016). Assessment of flood vulnerability in Bodva river basin, Slovakia. Acta Montanistica Slovaca. Vol. 21, No 1, pp. 19-28. <https://doi.org/10.3390/ams21010019>

Bui, D.T., Tsangaratos, P., Ngo, P.T., Pham, T.D., Pham, B.T. (2019). Flash flood susceptibility modeling using an optimized fuzzy rule based feature selection technique and tree based ensemble methods. Sci. Total Environ. 668-1038-54. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.422>

B.A.Z. MKI (2021). Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság „A”, jelű Előzetes Helyszíni vizsgálat jegyzőkönyvei 2010–2020. Kondó település Polgár Mesteri Hivatalának adattára, pp 4–5. Magyar Állam Kincstár 94/2015 (XII.23) sz. Korm rendelethe – Vis maior rendelet alapján

Choudhury, S., Basak, A., Biswas, S., Das, J. (2022). Flash Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based AHP Method, Spatial Modelling of Flood Risk and Flood Hazards, In: Pradhan, B., Shit, P.K., Bhunia, G.S., Adhikary, P.P., Pourghasemi, H.R. (eds) Spatial Modelling of Flood Risk and Flood Hazards. GIScience and Geoenvironmental Modelling. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94544-2_8

Costache, R. (2014). Using gis techniques for assessing lag time and concentration time in small river basins. Case study: Pecineaga river basin, Romania. Geographia Technica. 9. pp. 31-38.

Costache, R., Pham, Q.B., Sharifi, E., Linh, N.T.T., Abba, S.I., Vojtek, M., Vojteková, J., Nhi, P.T.T., Khoi, D.N. (2020). Flash-Flood Susceptibility Assessment Using Multi-Criteria Decision Making and Machine Learning Supported by Remote Sensing and GIS Techniques. Remote Sens. 2020, 12, 106. <https://doi.org/10.3390/rs12010106>

Czigány, S., Pirkhoffer, E., Geresdi, I. (2009). Environmental impacts of flash floods in Hungary. In Flood Risk Management: Research and Practice., Taylor & Francis Group, pp. 1439–1447. <https://doi.org/10.1201/9780203883020.ch169>

Dalezios, N., Domenikiotis, C., Kalaitzidis, C. (2001). Cotton yield estimation based on NOAA/AVHRR produced NDVI. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere. 26. pp. 247-251. [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(00\)00247-1](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00247-1)

Dobai A., Dobos E. (2022). Hegy- és dombvidéki kisvízgyűjtőkön kialakuló árhullámok elleni védekezés támogatása térinformatikai módszerekkel. Debreceni Egyetem, Térinformatikai Konferencia és Szakkiallítás kiadványa, pp. 109-117. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2022.2.8>

Dobai A., Dobos E. (2023). Beszivárgás vizsgálatok a Cseres-völgyben. TALAJVÉDELEM 2023. Különszám pp. 40-55.

Dobai, A., Vágó, J., Hegedűs, A., Kovács, K.Z., Pecsmány, P., Seres, A., Dobos, E. (2024). GIS and soil property-based development of runoff modeling to assess the capacity of urban drainage systems for flash floods, Hungarian Geographical Bulletin, 73(4), pp. 379-394. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.73.4.3>

Dobos, E., Daroussin, J., Montanarella, L. (2007). A quantitative procedure for building physiographic units for the European SOTER database. In Digital Terrain Modelling. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Ed.: PECKHAM, R. and JORDAN GY., Berlin, Heidelberg, Springer, pp. 227-258. https://doi.org/10.1007/978-3-540-36731-4_10

Efraimidou, E., Spiliotis, M. (2024). A GIS-Based Flood Risk Assessment Using the Decision-Making Trial

and Evaluation Laboratory Approach at a Regional Scale. *Environ. Process.* 11, 9. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>

ÉMKTVF (2013). Észak-Magyarországi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség – 2625-10/2012.sz vízjogi létesítési engedély számú, Kondó záportározó jogerős határozata; 2013. p. 4. Kondó település Polgár Mesteri Hivatalának adattára.

Eroglu, E., Meral, A. (2021). Evaluation of flood risk analyses with AHP, Kriging, and weighted sum models: example of Çapakçur, Yeşilköy, and Yamaç microcatchments, *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(8). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09282-w>

Galgóczy Zs. (2004). Morfometriai paraméterek vizsgálata a Nagy-Szamos forrásvidékén. *Földrajzi Közlemények* 128/1-4, pp. 89-103.

Grozavu, A., Patriche, C., Mihai, F. (2017). Application of AHP method for mapping slope geomorphic phenomena. *Conference Proceedings (vol 17) on Informatics, geoinformatics and remote sensing, Issue 23*, pp. 377-384. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/23/S11.046>

Gyalog L. (1996). A Földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása – MÁFI kiadvány, Budapest, p. 187.

Harangi, Sz. (2001). Neogene to Quaternary Volcanism of the Carpathian-Pannonian Region. *Acta Geologica Hungarica*, 44 (2-3). pp. 223-258.

Hernádi B., Czesznak L., Juhász B., Kovács P., Lénárt L., Tóth M., Tóth K. (2014). Karsztárvizek keletkezése a Keleti Bükkben, *Karsztfejlődés XIX.*, pp. 105-124.

Horváth Á. (2007). A mezoszkálájú folyamatok szerepe a konvektív felhőképződésben. In Weidinger, T., Geresdi, I. (szerk.), 32. Meteorológia Tudományos Napok, pp. 83-94.

Jourde, H., Roesch, A., Gunot, V., Bailly-Compte, V. (2005). Dynamics and contribution of karst groundwater to surface flow during Mediterranean flood, *Proc.Int.Symp.Water Resour.* pp. 133-138. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0386-y>

Kaliczka L. (1998). Hegy és dombvidéki vízrendezés, *Baja* pp. 90-95.

Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F., Nasseri, M. (2019). A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi criteria decision-making method. *Journal of Hydrology* 572. pp.17-31. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.034>

Khosravi, K., Pham, B.T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., Prakash, I., Tien Bui, D., Shahabi, H., Chapi, K., Shirzadi, A., Pham, B.T. (2018). A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Harazd watershed, northern Iran *Sci. Total Environ.* 627, pp. 744-55. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.266>

Korchagina, I.A., Goleva, O.G., Savchenko, Y.Y., Bozhikov, T.S. (2020). The use of geographic information systems for forest monitoring, *Journal of Physics: Conference Series* 1515 (2020) 032077. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/3/032077>

Koris K. (2021). Elkészült az új hazai empirikus árvíz-számítási segédlet: az OVF-2020. *Hidrológiai Közlemény*, 101. évfolyam, 1. kötet, pp. 13-19.

Kozák, M., Püspöki, Z. (1995). Correlative relationship between denudational periods and sedimentation in the forelands of the Bükk Mts. (NE Hungary). In CBGA XV. Congress. Athen, CBGA, pp. 340-345.

Kozák, M., Püspöki, Z., Piros, O., László, A. (1998). The structural position of the Bükk Mountains based on tectono- and pebble stratigraphic analyses. In CBGA XVI. Congress. Wien, CBGA, 303.

Luong, T.T., Pöschmann, J., Kronenberg, R., Bernhofer, C. (2021). Rainfall Threshold for Flash Flood Warning Based on Model Output of Soil Moisture: Case Study Wernersbach, Germany. *Water* 2021, 13. <https://doi.org/10.3390/w13081061>

MEISHUO (2024). <https://njmeishuo.en.made-in-china.com>

Michéli E., Fuchs M., Láng V., Csorba Á., Dobos E., Szegi T., Kele G. (2024). A diagnosztikus szemléletű hazai talajosztályozási rendszer. Útmutató. Második közelítés. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő.

Ngo, P.T., Hoang, N., Pradhan, B. (2018). A Novel Hybrid Swarm Optimized Multilayer Neural Tropical Areas Using Sentinel-1 SAR Imagery and geospatial data. *Sensors*, 2018 Oct 31;18(11):3704. <https://doi.org/10.3390/s18113704>

Pappenberger, F., Matgen, P., Beven, K.J., Henry, J.B., Pfister, L. (2006). Influence of uncertain boundary conditions and model structure on flood inundation predictions. *Adv. Water Resource* 29(10):1430-1449. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.11.012>

Pelikán P. (2002). Földtani felépítés, rétegtani áttekintés (Geological structure, stratigraphic overview). In A Bükki Nemzeti Park. Ed.: Baráz Cs., Eger Bükki Nemzeti Park Igazgatóság, pp. 23-49.

Sarkadi, N., Pirkhoffer, E., Lóczy, D., Balatonyi, L., Geresdi, I., Fábrián, Sz., Varga, G., Balog, R., Gradwohl-Valkay A., Halmi Á., Czigány Sz. (2022). Generation of a flood susceptibility map of evenly weighted conditioning factors for Hungary. *Geographica Pannonica*, 26(3), pp. 200-214. <https://doi.org/10.5937/gp26-34866>

Stelczer K. (2000). A vízkészlet-gazdálkodás hidrológiai alapjai. ELTE, Budapest, p. 410.

Sušnik, J., Masia, S., Kravčík, M., Pokorný, J., Hesslerová, P. (2022). Costs and benefits of landscape-based water retention measures as nature-based solutions to mitigating climate impacts in eastern Germany, Czech Republic, and Slovakia. *Land Degradation & Development*, 33(16), 3074-3087. <https://doi.org/10.1002/ldr.4373>

Sütő L. (2001). A felszín alatti bányászat domborzatra gyakorolt hatásai a Kelet-Borsodi-szénmedencében (Effects of subsurface mining on topography in the Eastern Borsod Coal Basin). In Magyar Földrajzi Konferencia: A földrajz eredményei az új évezred küszöbén. Ed.: Dormány, G.I., Szeged, 1-20.

Szendrei R. (2020). Új technológiák a vízkárelhárításban - Töltésfejlesztés során megnyitott védvonal

árvízvédelmi készülséget megelőző visszazárása rossz helyi időjárási viszonyok esetén, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, pp. 43-50.

Szlávik L., Kling Z. (2006). Nagycsapadékok és helyi vízkárelhárítási események előfordulása hazánkban. (Occurrence of intense rainfall and hydrologic events in Hungary), MHT XXIV. Országos Vándorgyűlés Pécs, pp. 138-146.

Youssef, A.M., Pradhan, B., Hassan, A.M. (2011). Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. Environmental Earth Sciences 62 (3), pp. 611-623. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0551-1>

Youssef, A.M., Pradhan, B., Sefry, S.A. (2016). Flash flood susceptibility assessment in Jeddah city (Kingdom of Saudi Arabia) using bivariate and multivariate statistical models Environ. Earth Sci. 75. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4830-8>

Youssef, A.M., Hegab, M.A. (2019). Flood-Hazard Assessment Modeling Using Multicriteria Analysis and GIS: A Case Study—Ras Gharib Area, Egypt. Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences pp.

229-257. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815226-3.00010-7>

Vágó J. (2012). A közetminőség szerepe a Bükkalja völgy- és vízhálózatának kialakulásában, PhD értekezés Miskolc, pp 18-20.

Vágó, J., Dobos, E., Blistan, P., Zelenakova, M., Ladányi, R., Kiss, L. (2019). Flood- and logistical modeling in the Hernad watershed, Műszaki Tudomány az Észak-keleti magyarországi régióban, Conference Book, pp. 420-423. <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2019.4.20>.

Veres D., Fejes G., Danyi R., Halmai L., Hegyi Z. (2021). Vízmegtartó megoldások a hazai vízgazdálkodásban, Megalapozó tanulmány, IFE16 CCA/HU/000115 project, p. 32.

Zeleňáková, M. (2009). Preliminary flood risk assessment in the Hornád watershed. WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 124, 2009. p. 32. <https://doi.org/10.2495/RM090021>

Zeleňáková, M., Dobos, E., Kováčová, L., Vágó, J., Abu-Hashim, M., Fijko R., Purcz, P. (2018). Flood vulnerability assessment of Bodva cross border river basin. Acta Montanistica Slovaca, Vol. 23, No 1, 2018. pp. 53-61.

A SZERZŐK



DOBAI ANDRÁS 1988-ban született Miskolcon, 2012-ben diplomát (MSc) szerzett a Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Karán, térinformatikából. 2019-2021 között az Észak-Magyarországi Vízügyi Igazgatóság, Miskolci Szakasz mérnökségén teljesített szolgálatot, mint területi felügyelő. Jelenleg a Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola doktori képzésében vesz részt, kutatási területe a hegy és dombvidéki területeken jelentkező villámárvizek vizsgálata. Tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.



DOBOS ENDRE 1968-ban született, Miskolcon. 1993-ban szerzett agrármérnöki diplomát a Gödöllői Agrártudományi Egyetemen, majd 1996-ban térinformatikai és környezetvizsgálati szakmérnöki végzettséget a Budapesti Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Karán. PhD címét 1998-ban, az Amerikai Egyesült Államokban, a Purdue Egyetemen szerezte digitális talajtérképezés és kis méretarányú talajtani adatbázisok vizsgálatának témakörében, amely jelenleg is a kutatási területét képezi, kiegészülve a digitális talajtérképezési eljárásokkal. 2021-ben habilitált a Miskolci Egyetemen. Egyetemi tanár, intézeti tanszékvezető, a Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Földrajz-Geoinformatika Intézet, Természetföldrajz-Környezettan Intézeti tanszékén. 2022-től a Magyar Talajtani Társaság elnöke. A Magyar Hidrológiai Társaság Tudományos Bizottságának tagja.