

GIS alapú villámárvíz-kockázati térképezési módszertan eredményeinek bemutatása

Presentation of the result of a GIS-based flash flood risk mapping methodology

Dobai András szerző

Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar,
Földrajz Geoinformatika Intézet, tudományos
segédmunkatárs

Email: andras.dobai@uni-miskolc.hu

ORCID: 0000-0002-5268-0728 

Dobos Endre Zsolt társszerző

Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar,
Földrajz Geoinformatika Intézet, egyetemi tanár,
intézet vezető

Email: endre.dobos@uni-miskolc.hu

ORCID: 0000-0002-9798-6376 

Absztrakt:

A mezoskálájú konvektív rendszerek (MKR) légnyomás gerincek mentén újra fejlődő zivatarjai által kiváltott villámárvizek jelensége komoly kihívás elé állítja valamennyi, az árvízi védekezésben résztvevő szervezetet. E szélsőséges vízhozamot és helyi vízkárt okozó események következtében egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a kockázatelemző és -értékelő rendszerek, így a kockázati térképezési módszertanok. Jelen cikk egy téradatokon alapuló kockázati térképezési módszertan eredményeit mutatja be az Észak-Magyarországi mintaterületre vonatkozóan. A módszertan alapját a szakirodalomban elfogadott és alkalmazott felszínleíró vektoros és raszteres térinformatikai állományok, valamint távérzékelési adatok képezik, kiegészítve olyan terület specifikus adatbázisokkal, mint a Nemzeti Földügyi Központ által biztosított erdészeti adatbázisból származó leíró adatok, illetve a régiót leíró digitális e-Soter talaj textúra térképe. Ezen adatok eltérő súllyal vehetnek részt egy villámárvíz esemény során, így ennek eldöntésére az Analitikus Hierarchia Módszer (AHP) döntési mátrixát alkalmaztuk. Ezek felhasználásával legjobban közelítve a valós térben várható villámárvíz események kockázatát. A térképanyag 5m-es felbontású, amely nem igazodik a klasszikus értelemben vett térképészeti méretarányokhoz (pl. 1:10 000), hanem nagyobb felbontásban, lényegesen részletesebb információ tartomány mentén értelmezhető, lehetővé téve a térkép valós, gyakorlati védekezésben való alkalmazását. A módszertan összehasonlításra került más módszertani alapokon nyugvó, országos szintű kockázatelemzési módszertannal, amelyek összevetése során a térkép anyagokban a legnagyobb mértékű közelítő egyezés a legszélsőségesebb, legkedvezőtlenebb feltételezések mellett mutatkozott, ezért a magasabb kockázati területek részletes elemzését is bemutatjuk, amelyet kiemelten ajánlunk a védekezés aktív résztvevői számára.

Kulcsszavak: villámárvíz, GIS, kockázati térképezési módszertan fejlesztés, távérzékelés, árvízi védekezés fejlesztés

Abstract:

Flash floods resulting from thunderstorms within mesoscale convective systems (MCS) are considered a significant challenge for all organisations involved in flood defence. As a result of such storm-induced events, which may cause flash floods, increasing emphasis is being placed on risk analysis and assessment systems, as well as on flood risk mapping methodologies. In the present study, the results of a GIS-based flood risk mapping methodology are presented for a study area in Northern Hungary. The methodology is based on vector and raster geospatial datasets and remote sensing data widely referenced in the scientific literature. It is supplemented with area-specific databases, including descriptive data from the forestry database provided by the National Land Centre and the regional digital e-Soter soil texture map. Since varying levels of importance may be assigned to these datasets in the context of a flash flood event, the Analytical Hierarchy Process (AHP) decision matrix was applied to determine their weighting, enabling the risk of flash flood events in real spatial contexts to be modelled as accurately as possible. The resulting risk maps were produced at a spatial resolution of 5 m, providing high-detail interpretation and allowing their direct application in practical flood defence operations. The methodology was compared with another national-scale flood risk assessment approach based on different methodological principles. It was found that the most excellent spatial agreement between the map outputs occurred under the most unfavourable assumptions; therefore, a detailed analysis of the higher-risk areas is also presented. The mapping methodology and its results are recommended for application by active participants in flood defense.

Keywords: flash flood, GIS, risk mapping development, remote sensing, development of flood defense

1. BEVEZETÉS

A szélsőséges csapadékesemények jelensége nem ismeretlen a Kárpát-medence vízgyűjtőin, azonban a 2000-es évek folyamán egyre gyakoribb jelenlétük komoly károkat okoz mind a környezeti, mind az épített infrastruktúrákban. Az ismeretlen karakterisztikájú vízgyűjtőkön jelentkező szélsőséges vízhozamok a víztudomány számára jól ismert jelenség, amely meghatározásához rendelkezik empirikus árvízszámítási módszertanokkal, valamint a hazai hegy- és dombvidéki vízrendezés témakörén belül az ehhez szükséges eljárásokkal [1,2,3], azonban a helyi vízkárokat okozó jelenség darabszámának növekedése okán a teljes védekezési módszertanhoz kapcsolódóan a digitális adatok adaptív megközelítése és szemléletváltása elengedhetetlen. A jelenség keletkezésére, folyamatának leírására, valamint az általa okozott károkozásra való tudományos reagálás és tudásanyag bővítése hamar megtörtént és jelenleg is folyamatos fejlesztés alatt áll [4,5,6]. Habár a mezoskálájú konvektív rendszerekhez kapcsolódó szélsőséges csapadékesemények mennyiségei csupán pontszerűen ismertek (1. táblázat), az országos szintű meteorológiai és vízrajzi monitoringrendszerek hiánya miatt a vízhozamok meghatározása továbbra is kritikus kérdés.

Év	2010.05. 15	2012.07. 29	2013.06. 24	2015.08. 17	2016.07. 13	2018.06. 10	2019. 08.20
Csapadék mennyiség (mm/12 h)	60,4	36,4	59,6	33	35,2	49,2	76,8

1. táblázat: Csapadékmennyiségek az ÉMVIZIG hidrometeorológiai jelentései alapján (forrás: [7])

A gyakorlati védekezés támogatásához kapcsolódóan a legmarkánsabb kutatási irányok az előrejelző rendszerek vizsgálata mellett, a várható vízhozamszámítások, valamint a térképezési módszertan fejlesztéséhez kapcsolódó kutatások, amelyek figyelembe veszik a jelenség komplex folyamatát és nagymértékben alapoznak a jelenség és a felszíni, felszín alatti tulajdonságok közötti kapcsolatának leírására [5, 8, 9, 10, 11]. A valós térben történő védekezés során a villámárvízben érintett magas kockázatú területekre a legátfogóbb képet a térképanyagok szolgáltathatnak, amelyek jelenleg nem rendelkeznek a gyakorlati alkalmazhatósághoz szükséges nagy térbeli felbontással. A villámárvizek által okozott károk megelőzése és mérséklése érdekében szükségessé vált olyan módszertanok kidolgozása, amelyek lehetővé teszik a kockázati térképezést. Az igény a 2010 óta szinte évenként visszatérő villámárvizek tapasztalatai nyomán, a Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyei Helyi Védelmi Bizottság (HVB) ülésein, valamint a Magyar Polgári Védelmi Szövetség, a Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyei Tűzoltó Szövetség és az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság részéről is megfogalmazódott. A cél egy olyan Észak-magyarországi mintaterületre vonatkozó kockázati térkép létrehozása, amely tudományos alapokon nyugvó eredményeivel támogatja az árvízvédelemben részt vevő szervezetek, a településvezetők és a műszaki irányítók felkészülési, valamint védekezési tevékenységét. A térképezés szükségességét jól példázza, hogy a régióban, Kondó közelében található Cseres elnevezésű szárazvölgy vízgyűjtőjén levonuló árhullámok, az elmúlt években több tízmillió forintos károkat okoztak, ez pedig csupán egy a számos, magas kockázatúnak tekinthető vízgyűjtő közül [12].

2.1 A térképezési módszertan bemutatása

A szakirodalomban általános megállapítás, hogy az árvíz a legnagyobb károkozást a vízgyűjtők torkolatánál vagy összefolyási pontjánál okozza, ami az árvízi jelenségek természetes velejárója. Bár ez kutatási szinten eredménynek tekinthető, gyakorlati alkalmazhatósága a villámárvíz által érintett területekre értelmezve, továbbá a felszíni lefolyások elleni védekezéshez korlátozott. Ennek oka egyrészt az, hogy a vizsgálatok jelentős része országos léptékű, alacsony térbeli felbontású (nagy cellaméretű) térképekre és adatbázisokra támaszkodik, másrészt pedig az, hogy gyakran olyan térképi állományokat (például domborzati kitettségtérkép) alkalmaznak, amelyek nem igazodnak a villámárvíz sajátosságaihoz, és így nem nyújtanak releváns többletinformációt a villámárvízi jelenségek feltérképezéséhez [13,14,15]. A csapadékesemények során lehulló víz mozgását és hatásait ezért a releváns környezeti tényezők figyelembevételével kell vizsgálni, majd térinformatikai eszközökkel — közvetlenül meglévő térképek felhasználásával vagy több térkép kombinálásával — olyan térképi állományt kell létrehozni, amely igazodik a villámárvíz jellegzetességeihez.

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 kaphat a jelenséget leíró osztályok közül. Ettől függően indulhat meg a felszíni lefolyás, illetve beszivárgás, amely jelentős mértékben befolyásolja a vízmozgás dinamikáját [16]. A beszivárgás és a felszíni lefolyás folyamatait döntően meghatározza a felszínborítás és vegetáció sűrűsége, amelyet a Normalizált Differenciált Vegetációs Index (NDVI) segítségével lehet jellemezni [13], 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 és felszínborítási kategóriák (Land Use/Land Cover – LULC), az átlagos talajvastagság, valamint a talaj textúrája [5], ezek az elemek alapvetően befolyásolják a beszivárgásiképességet és a felszíni lefolyás gyorsaságát. Emellett fontos integrálni olyan specifikus indexeket, amelyek a felszíni tulajdonságok vízhozamot növelő, illetve vízviszatarató hatását jellemzik. Ezeknek az indexeknek a relatív jelentősége eltérő lehet, azonban a végeredmény szempontjából döntő tulajdonságokkal rendelkezhetnek. A talaj nedvesíthetősége (Topographic Wetness Index – TWI), a súlyozott áramlási hossz (Slope Weighted Flow Length – SWFL), valamint a koncentrációs idő (Time of Concentration – TCI) egyaránt befolyásolják a lefolyás gyorsaságát és mértékét. Ezzel párhuzamos a térinformatikai csoporton belüli rang és súly csökkenése feltételezhető. Így a kutatáshoz a legoptimálisabb felszíni tulajdonságokat leíró állományokat használtuk fel:

- 5m térbeli felbontású domborzatmodell alapján (DEM), lejtőmeredekség állomány;
- Osztályozott normalizált differenciált vegetációs index (NDVI) [17];
- 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 újraosztályozott B5 (VNIR) sávjainak 10 m-es felbontású adataiból generáltunk;
- AGROTOPO talajadatbázisból származó átlagos talajvastagság;
- E-Soter digitális talajtérképezési módszertanból nyert textúraállomány [18].
- Topológiai nedvesség index (TWI);
- Lejtősúlyozott áramlási hossz (SWFL);
- Koncentrációs idő [19];

A térképek és indexek adatbázisba való foglalása után szükséges volt az egyes térképcsoportok súlyainak meghatározásához.

Ilyen módszer az L. Saaty által fejlesztett, többkritériumos döntéstámogató rendszerekhez tartozó, AHP-súlyozás. Az Analytic Hierarchy Process (AHP), egy olyan többkritériumos döntéshozatali módszertan, amely a komplex problémák strukturált és rendszerezett elemzésére szolgál. A módszer központi eleme a páronkénti összehasonlítás, amely során a kritériumokat és alternatívákat egy előre meghatározott skála alapján értékeli, kifejezve ezek relatív fontosságát [20,21].

A döntési hierarchia egy n elemű halmaz páronkénti összehasonlító mátrixa $A = [a_{ij}]$ úgy került felépítésre, hogy a_{ij} az i és j objektumok relatív fontosságát adja, ahol $a_{ij} > 0$ és $a_{ji} = 1/a_{ij}$. A súlyvektort w az eigenvektor-módszerrel (1) nyerjük:

$$A w = \lambda_{\max} * w \quad (1)$$

ahol

$w = A$ mátrix sajátvektora

$\lambda_{\max}$ = a sajátvektor legnagyobb értéke

Majd $\sum w_i = 1$ szerint normalizáljuk [22]. Ebben a keretrendszerben a problémákat hierarchikus szerkezetben ábrázolják, ahol a döntési cél a legfelső szinten helyezkedik el, amelyet kritériumok és alternatívák követnek. Az értékelési folyamat eredményeként egy összehasonlító mátrix (2. táblázat) jön létre, amely a súlyok kiszámítására és a prioritások meghatározására szolgál.

Osztály	Lejtő meredekség	NDVI	Erdő kora	LULC	Talaj vastagsága	Talaj textúra	TWI	TCI	WFL
Lejtő meredekség	1	1.428	2.000	3.000	4.286	5.660	8.108	11.538	15.789
NDVI	0.700	1	1.400	2.100	3.000	3.962	5.676	8.077	11.053
Erdő kora	0.500	0.714	1	1.500	2.143	2.830	4.054	5.769	7.895
Tájhasználat	0.333	0.476	0.667	1	1.429	1.887	2.703	3.846	5.263
Talaj vastagsága	0.233	0.333	0.467	0.700	1	1.321	1.892	2.692	3.684
Talaj textúra	0.177	0.252	0.353	0.530	0.757	1	1.432	2.038	2.789
TWI	0.123	0.176	0.247	0.370	0.529	0.698	1	1.423	1.947
TCI	0.087	0.124	0.173	0.260	0.372	0.491	0.703	1	1.368
WFL	0.063	0.090	0.127	0.190	0.272	0.358	0.513	0.731	1

2. táblázat: A felhasznált GIS-állományosztályok AHP-súlymátrixa

Emellett a módszer magában foglalja a konzisztencia index (CI) és a konzisztencia arány Ratio (CR) mechanizmusát (2), amely biztosítja a páronkénti összehasonlítások belső koherenciáját [15].

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

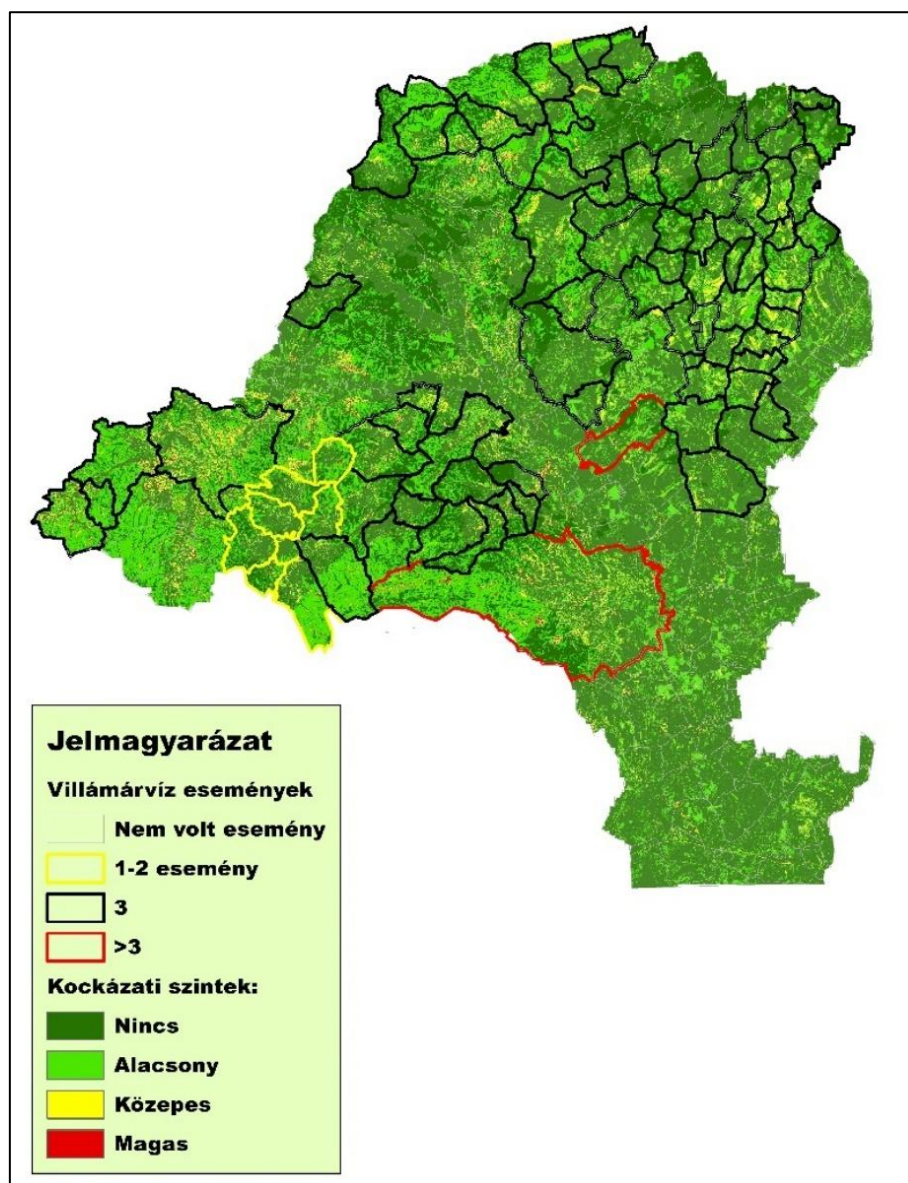
$$CR = CI / RIn \quad (2)$$

ahol, RIn = a mátrixok átlagos CI értéke. A konzisztencia határra általánosan elfogadott küszöb: $CR < 0.10$. A térképosztályok súlyozásához Saaty által javasolt skálát alkalmaztuk, amelynek eredményét a 3. táblázat tartalmazza.

Osztály	Lejtő meredekség	NDVI	Erdő kora	Tájhasználat	Talaj vastagsága	Talaj textúra	TWI	TCI	WFL
AHP súly	0,30	0,21	0,15	0,10	0,053	0,037	0,026	0,019	0,018

3. táblázat: Az AHP által kiszámolt osztállysúlyok (forrás: [7])

Az AHP statisztikai eredményei szerint a konzisztencia arány és index (CR, CI) értékei kisebbek mint 0,1 (CR=0,0078, CI=0,0011), ami azt jelzi, hogy a mátrix konzisztens [15]. A módszerrel kiszámított súlyok a térinformatikai bemeneti rétegek relatív fontosságát mérik, önmagukban nem reprezentálják a kockázatot. A kockázatértékeket a normalizált rétegek súlyozásából, majd összeadásából számítjuk, amely így már hozzájárul az egyes kockázati osztályok (nincs kockázat, kis kockázat, közepes kockázat, magas kockázat) meghatározásához. Ennek eredményeként egy 5m-es térbeli felbontású villámárvíz kockázati térképet kaptunk, amely az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság (ÉMVIZIG) éves hidrometeorológiai jelentései, továbbá települési szinten (pl.: Kondó) a Magyar Állam Kincstár Vis maior káreseti jegyzőkönyvei térképre vetített adatai alapján validálásra került (1. ábra). A térképi ábrázolás során a kockázati szintnek megfelelően a „nincs kockázat” (sötétzöld), az „alacsony” (világos zöld), a „közepes” (narancssárga) valamint a „magas kockázat” (piros) színskálával láttuk el. A villámárvízi káresemények darabszámai alapján a vízgyűjtőket a következő színekkel jelöltük: ahol nem volt esemény, ott szürkével; 1–2 esemény esetén sárgával; 3 esemény esetén feketével; 3-nál több esemény esetén pirossal.



1. ábra: A mintaterület villámárvíz kockázati térképe (forrás: [7])

A további térképelemzés során a nagyobb vízgyűjtők közül, a közepes és magas kockázatú területeken véletlenszerűen 10–10 mintapontot választottunk ki.

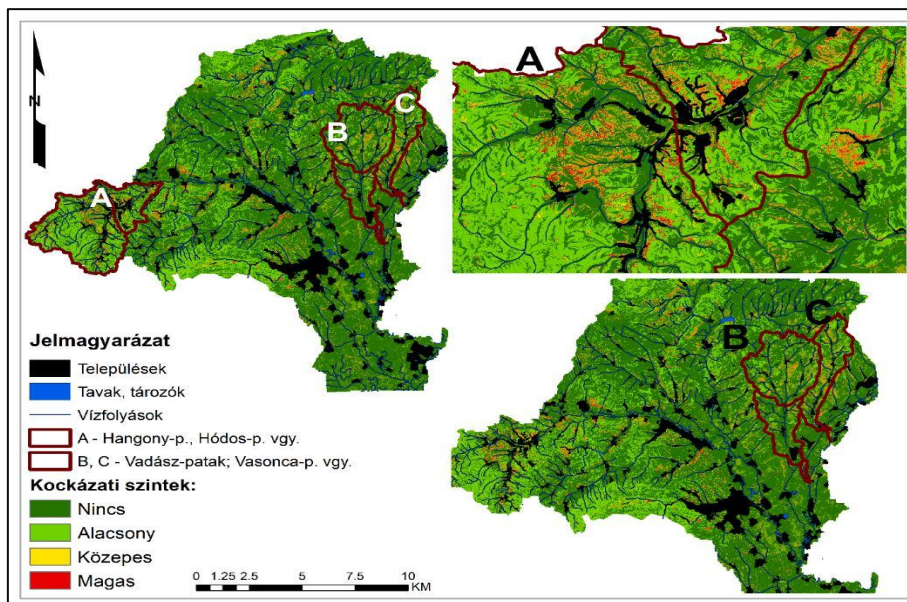
E pontok mind a korábban felhasznált (9 db) raszteres réteg adatait tartalmazták, így lehetővé vált az egyes környezeti változók közötti statisztikai kapcsolatok vizsgálata. A kapcsolatokat Spearman-féle rangkorrelációval (ρ) elemeztük, amely nem feltételez lineáris összefüggést, hanem a változók rangsora közötti monoton kapcsolat erősségét méri. A módszer eredménye -1 és $+1$ közötti értéket vehet fel: $+1$ a tökéletes pozitív, 0 a kapcsolat hiánya, -1 a tökéletes negatív monoton kapcsolatot jelzi [23]. A p -érték annak a valószínűségét mutatja, hogy a nullhipotézis (nincs kapcsolat) fennállása mellett a megfigyelt vagy annál erősebb összefüggés véletlenül alakuljon ki. Ez a nem-paraméteres megközelítés különösen alkalmas heterogén, térbeli adathalmazok elemzésére, ahol a normál eloszlás vagy lineáris kapcsolat feltételezése nem teljesül [23]. A vizsgálat célja az egyes segédváltozók kölcsönhatásainak feltárása, valamint a súlyozásra használt Analytic Hierarchy Process (AHP) módszer validálása volt.

A Spearman-analízis eredményei megerősítették, hogy a lejtő meredeksége domináns szerepet tölt be a kockázat kialakulásában ($\rho = 0,548$, $p = 0,012$), ami közepes–erős pozitív és statisztikailag szignifikáns kapcsolatot jelez: a meredekebb felszíneken a kockázati értékek szignifikánsan magasabbak. A TWI mérsékelt pozitív összefüggést mutatott ($\rho = 0,346$, $p = 0,135$), de a kis elemszám miatt ez nem érte el a szignifikancia szintjét. Az NDVI kapcsolatának erőssége alacsony volt ($\rho = 0,197$, $p = 0,406$), ami arra utal, hogy a vegetációs index az adott mintában kevésbé meghatározó a kockázat szempontjából. A WFL ($\rho = 0,115$, $p = 0,628$), valamint a talajtextúra és a TCI ($\rho = 0,000$, $p = 1,000$) gyakorlatilag nem mutattak kapcsolatot a kockázati kategóriákkal. Az NDVI esetében a kiugró értékek valószínűleg hozzájárultak a gyengébb korrelációhoz, míg a WFL és a talajtextúra eredményei arra utalnak, hogy ezek a paraméterek ebben a vízgyűjtőben másodlagos szerepet játszanak. Az empirikus elemzés tehát részben módosíthatja az AHP által feltételezett sorrendet. A lejtő továbbra is az első helyen marad, de a TWI a rangsorban feljebb kerülhet, míg az NDVI relatív súlya csökkenhet. A WFL a Spearman-eredmények alapján továbbra is alacsony, de kissé nagyobb szerepet kaphat az AHP-ben, összefoglalásként elmondható, hogy az AHP súlyozás jól teljesít. A vizsgált két réteg (TWI és NDVI) rangsorolása bizonyos mértékű finomhangolást igényelhet. Egyrészt az NDVI a vegetáció szezonális és éves változása miatt jelentős ingadozást mutathat, ezért célszerű lehet több év adatsorából számított átlagindexet létrehozni és alkalmazni. Másrészt a TWI, azaz a felszín nedvesíthetőségének mutatója nagymértékben függ a rangsorban előtte álló tényezőktől (például NDVI, erdő kora, tájhasználat, talajvastagság, textúra), így a TWI rangjának átfogó megváltoztatása a teljes térképre vonatkozóan nem feltétlenül indokolt.

A térképezési módszertan összehasonlításra került, más országos léptékű módszertannal [8], amely alapján megállapításra került, hogy jelen kutatás az összehasonlítás alapját képező tanulmány FFSIs_nw_max jelölésű térképanyagának elgondolásával mutat területi azonosságot, valamint közös megállapításuk, hogy fontos az NDVI állományok által leírt vegetációs adatok kiemelése [7,8]. Az árvíz elleni védekezés szempontjából fontos megjegyeznünk, hogy az alacsony, valamint a közepes kategóriák is hordoznak kockázatot magukban, mivel ezek az osztályokat az aktív szántóföldi művelésű területek alkotják, amelyek a március-október közötti villámárvízi szezonban eltérő fedettséggel (szántott, aratott felszín) és felszíni (szabad póruster, beszivárgási képesség, tömődöttség) tulajdonságokkal rendelkezhetnek. A mintaterületen jelentkező karsztvillámárvizek kialakulásának és fejlődésének dinamikája jelentősen eltér a felszíni lefolyásból származó villámárvizekétől, amely függ a rendelkezésre álló felszínalatti tér nagyságától, valamint a hasadékvíz beszivárgásától, a karsztüregekben majd a teljes hálózatban a telítődés hatására jelentkező nyomástól is, így célszerű lenne a karsztvillámárvíz területeit külön kezelni [24]. Azonban a fentebb tárgyaltak szerint belátható, hogy a karsztos térszínek esetében is elsődlegesen a felszíni lefolyásból származó árvíz érinti (amelyhez másodlagosan hozzájárulhat a karsztüregéből részlegesen, a kilépési pontjain nagy mennyiségben jelentkező árvizek, amelyek akár hármass irányú árhullámcsoporthoz jöhet létre [7]), így a kockázati térkép elemzésekor érdemes a két típust egyben kezelni, azonban a területre jellemző árvíz típus esetén külön értelmezni és elemezni.

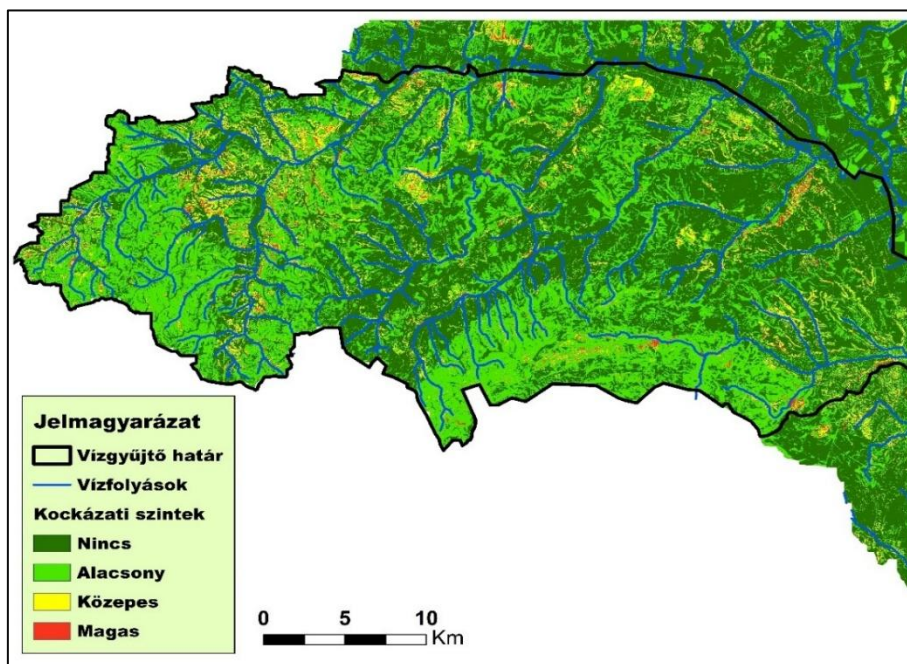
2.2 A térképezési módszertan eredményeinek bemutatása

Az eredmény térképen több kiemelt kockázatú vízgyűjtő azonosítható (2. ábra), amely közül három (Hangony, Hódos-patak - Ózd), valamint a Vadász és Vasonca patakok - Szikszó, Halmaj) vízgyűjtői bemutatásra kerültek [7]. Jelen kutatásban a térképanyag alapján szeretnénk a Sajó jobb parti, valamint a Bódva vízgyűjtőin azonosítható célterületekre felhívni a figyelmet. A vizsgálat bemutatása még így sem teljes, azonban a térképi adatbázis rendelkezésre áll, mind a témában kutatók, mind a védelemvezetők részére.



2. ábra: A mintaterület villámárvíz kockázati térképe, három magasabb kockázatú vízgyűjtőjének jelölésével (forrás: [7])

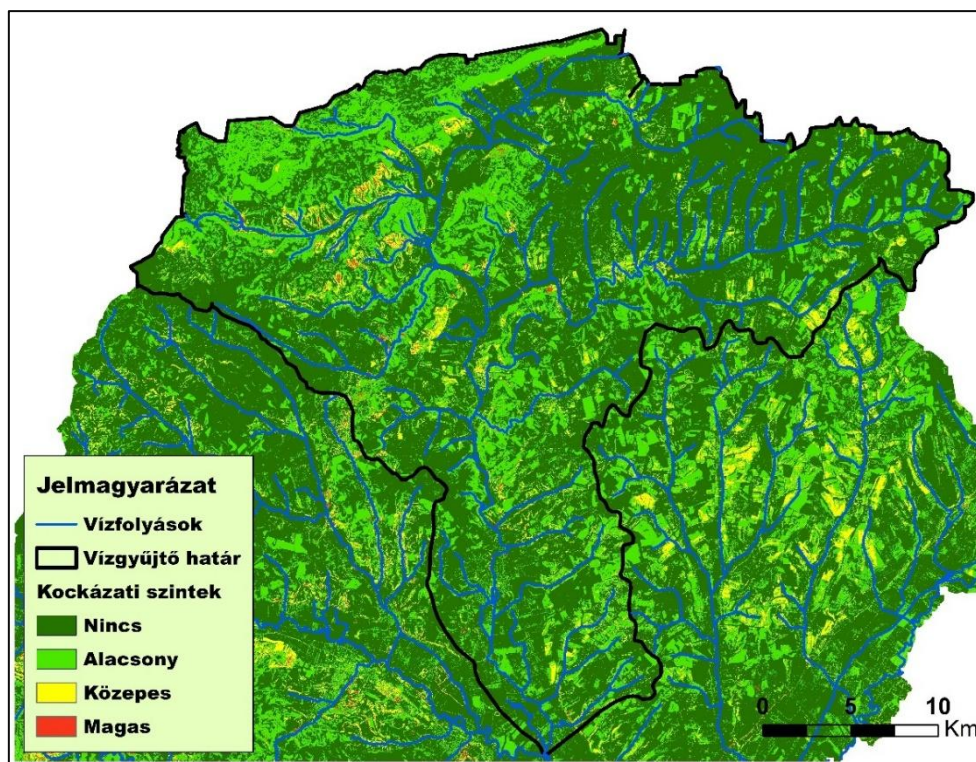
A Sajó jobb parti vízgyűjtőjén belül a Hangony és Szinva-patak közötti területeit elemeztük (3. ábra).



3. ábra: A Sajó jobb parti vízgyűjtőjének villámárvíz kockázati térképe

A Sajó jobb parti vizsgált vízgyűjtőterületei általánosságban olyan összetett morfológiai és hidrogeológiai adottságokkal rendelkeznek, amelyekben egyaránt megjelennek a karsztos és a karsztperemi, valamint a dombvidéki felszínformákra jellemző vízgyűjtői sajátosságok. Mindez indokoltá teszi, hogy a jövőbeni villámárvizek elleni védekezési stratégiák kidolgozása a helyi adottságokhoz igazított, differenciált megközelítésben tervezzék és valósítsák meg.

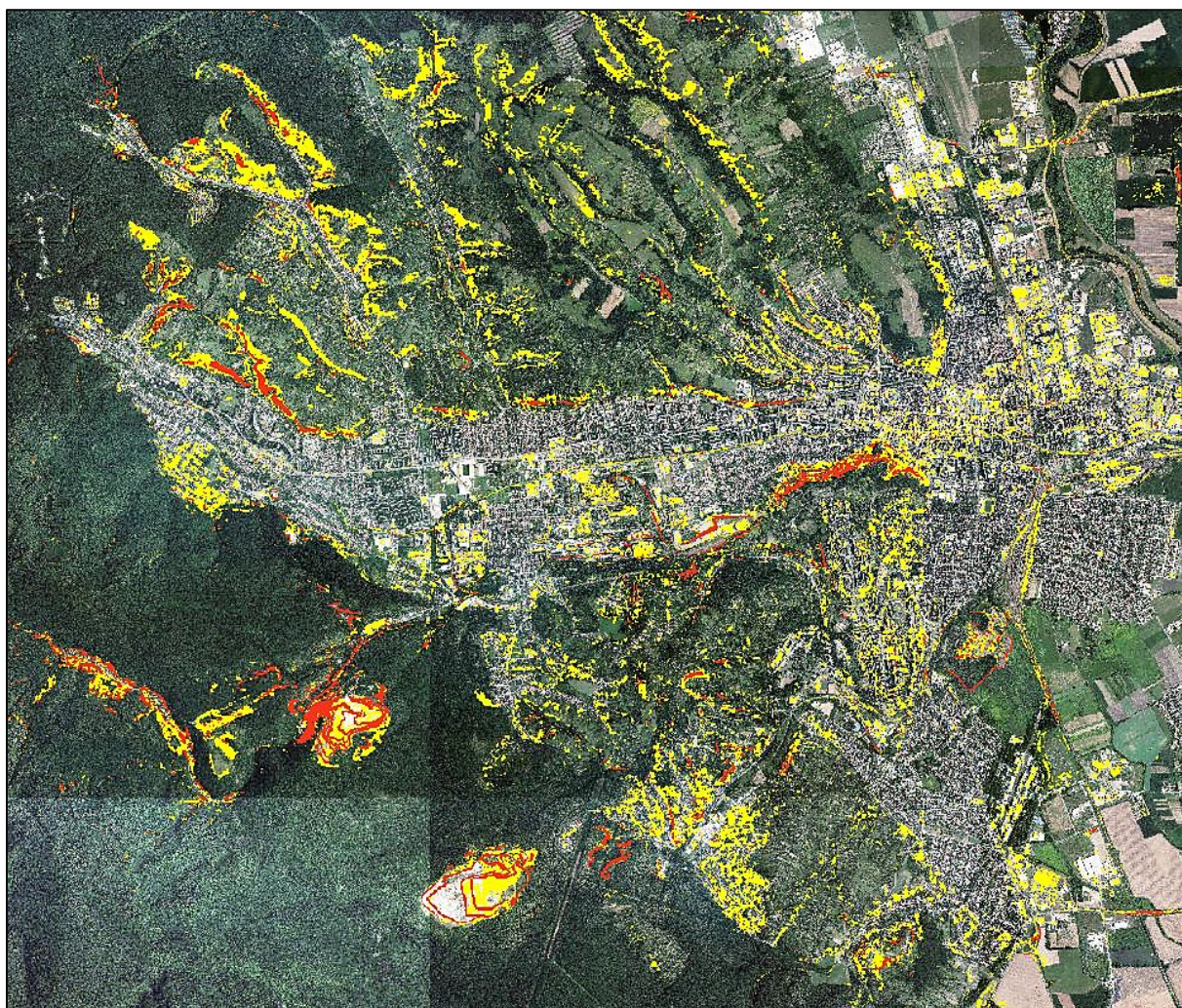
A Bódva-völgyében (4. ábra) – amely önmagában is önálló, részletes kutatást igényelne – szinte valamennyi vízgyűjtőben azonosítható legalább egy-egy magasabb kockázati besorolású terület.



4. ábra: A Bódva vízgyűjtőjének villámárvíz kockázati térképe

Ezek kialakulásában meghatározó szerepet játszanak a felszíni karsztos adottságok, valamint az ebből fakadóan rendkívül gyér felszínborítás. E tényezők kedveznek a felszíni lefolyás kialakulásának, különösen tartós, nagy intenzitású, illetve ismétlődő csapadékesemények során, amelyek kedvező feltételeket teremtenek a karsztterületekre jellemző villámárvizek létrejöttéhez. A vizsgált terület 68%-ban a „nincs kockázat” kategóriába esik, míg 27 %-a az alacsony kockázati besorolásba tartozik. A közepes és magas kockázati kategóriák együttes aránya 3,8 % (3,4 % és 0,4 %), amely összesen mintegy 33,0 km² területet fed le. Ez kisebb, mint a Sajó vizsgált jobb parti vízgyűjtőterületeinek kockázatos zónái, azonban figyelembe véve, hogy a magasabb kockázatú foltok a Bódva hazai szakaszának felső vízgyűjtőjében, elsősorban a jobb parti vízgyűjtők – így a Ménes-, a Jósva- és a Vízvölgyi-patak – mentén koncentráltan helyezkednek el, a potenciális veszélyeztetettség mértéke jelentősnek tekinthető. E területek geológiai adottságaiknál fogva rövid lefolyási úttal rendelkeznek, amely tovább növeli az árhullám-kialakulás valószínűségét. A terület mérete mellett a völgyek szűk keresztmetszete – átlagosan 1 km, helyenként ennél is kevesebb, például Perkupánál 500 m – is hozzájárul az összegyülekezési idő csökkenéséhez. A magasabb kockázati területek kiemelt példája a Jósva-patak vízgyűjtője, ahol elsősorban a bal parti részvízgyűjtők érintettek. Konkrét esetként említhető a Szinpetri és Szín külterületén azonosítható területek, illetve a Jósva-pataktól délre fekvő Varbóc és Perkupa bel- és külterületei esetében. Keletebbre szintén kimutathatók magasabb kockázati zónák, különösen a települések közvetlen környezetében, így Rakaca déli oldalán, valamint a szomszédos Rakacaszend déli részein.

A Bódva teljes vízgyűjtőjének vizsgálata különösen indokolja a részletes, lokális szintű felmérések elvégzését és azok alapos értelmezését. Ennek oka, hogy a terület földtani adottságai a villámárvizek levezetésében kifejezetten kedvezőtlenek, amely gyakorlatilag lehetetlenné teszi az árvízi védekezést. További kockázati tényező, hogy a Bódva mérete alapján nem tartozik az Árvízvédelmi Felkészülési Terv (ÁFT) hatálya alá, így nem áll rendelkezésre hivatalos, irányadó tervezési dokumentum a vízgyűjtő egészére vonatkozóan. Részleges megoldást jelentett a HUSK/1001/2.1.2/0009. azonosítószámú, a Magyarország–Szlovákia Határon Átnyúló Együttműködési Program 2007–2013 keretében megvalósult projekt, amely árvízi modellezési és mentést támogató logisztikai rendszert fejlesztett [25]. Ugyanakkor a projekt nem tárgyalta kellő részletességgel a villámárvíz jelenségét, amely jelentős hiányosságot eredményez a védekezési gyakorlatban. A kockázati térképezés anyaga alkalmas továbbá belterületi részeken magasabb kategóriákban tartozó területek lokalizálásához. Ilyen példa Miskolc megyei jogú város belterülete (5. ábra), ahol a térkép segítségével a teljes közigazgatási határon belül lehetőség nyílik az elemzésre.

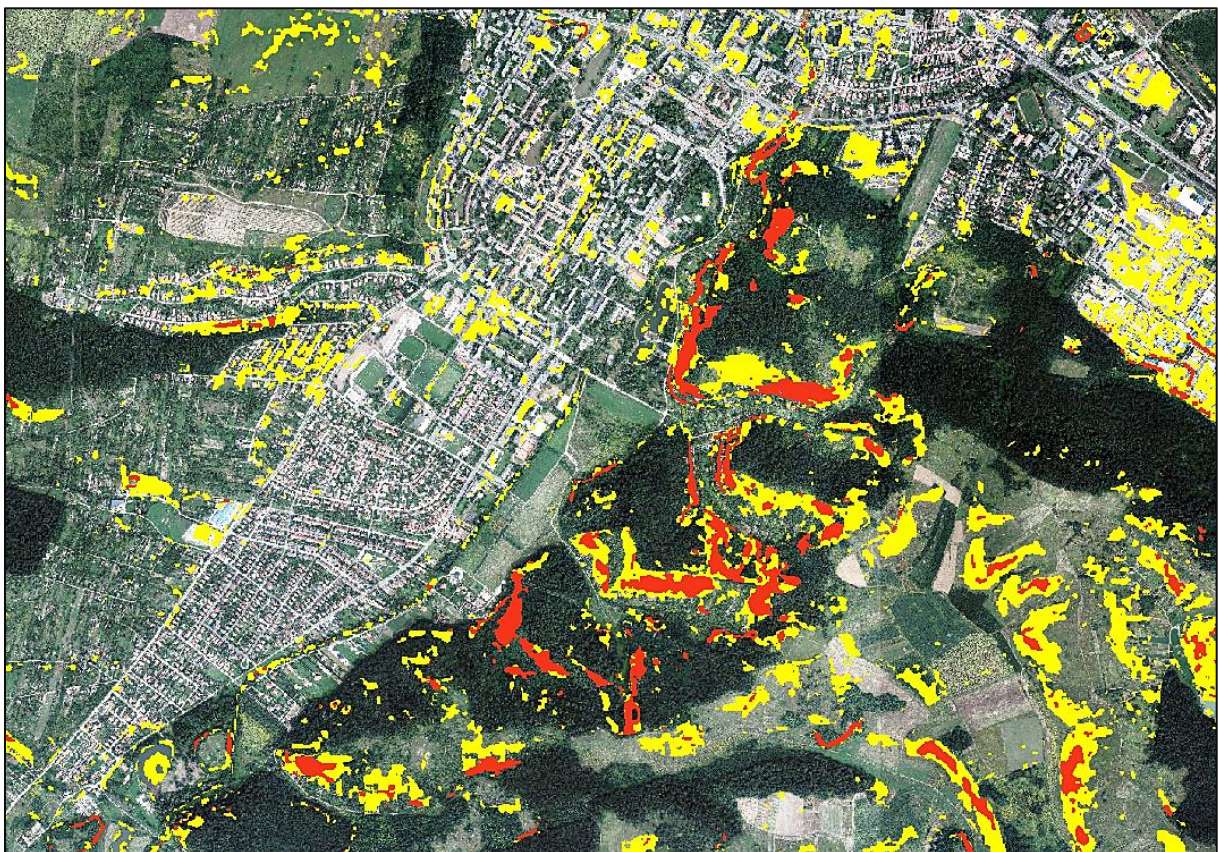


5. ábra: Térkép kivágat Miskolc belterületi részeinek, magasabb kockázatú területeinek jelölésével

A magasabb kockázatú kategóriákba (közepes, magas) eső területek a város északi részénél a Pece-ágak vízgyűjtői, amelyek a belvárosi részt is érinthetik, megjegyezve, hogy a Galagonyás és Bábonyibérc-sor között záportározó funkcionál, azonban a tározó alvízi oldalán utcaszinten további, hosszabb összlefolyást alkotó területek találhatók.

Hasonló területek azonosíthatók, kisebb mértékben, a szomszédos Tetenvár, valamint a Szentpéteri kapu-Katowice utca oldalában is, amelyek nagyrészt a magas lejtés, valamint a betonfelszín okán jelentkeznek. Ellentétes, nyugati irányban, Pereces és Lyukóbánya területein is találhatóak közepes, illetve magasabb kockázati osztályba tartozó területek, azonban ezen a területen a keresztirányú rövidebb lefutású területek a jellemzők. Déli irányban az Avasi pincesor meredek lejtői által jelzett lefolyási utak kerülnek bele magasabb kockázati kategóriákba. Az Avas gerince mentén, továbbá nyugati oldalán a Nagy-Ruzsin területein találhatóak közepes kockázatú területek elszórva. A keleti oldalán a Tampere városrészen azonban közel egységes felszínt alkotnak ezek a területek, hasonlóan Miskolc-Tapolcához. A külterületen magasabb kockázatú területek a Bükkszentlászló-Mexikóvölgy mentén jól elkülönülnek a Tatár-árok menti völgytalpi térszínnek magasabb kockázatú kategóriái.

Szintén belterületi példa Kazincbarcika (6. ábra) esetében a Tardona-patak jobb parti belterületi vízgyűjtői rendelkeznek magasabb kockázatú területekkel Herbolya városrész, valamint a belvárosi Jószerencsét út közötti szakaszon. E térszínektől délre Alacska település, valamint a Nyögő-Harica patakok jobb parti vízgyűjtőjénél koncentrálódnak a magasabb kockázatú területek, amely tulajdonságok kiemelten geológiai vonatkozásúak. A magasabb kockázati osztályokba azonban nem csak a meredek lejtőszög, hanem a gyér fedettség, továbbá a helytelenül alkalmazott agrotechnika is hozzájárul, amely probléma a régió más területei esetében is felmerül.



6. ábra: Térképrészlet Kazincbarcika belterületi részének magasabb kockázatú területeiről a Tardona-patak mentén

A bemutatott példák részben ismertek az árvízi védekezésben, ugyanakkor a szakmai visszacsatolások arra is rámutattak, hogy a jelen térkép visszaigazol olyan vízgyűjtőkből és azok lefolyási útjaiból eredő kockázatokat, amelyek terepen vagy ún. békeidőben nem mindig azonosíthatók egyértelműen.

Nagyvárosokban ez a jelenség tovább bonyolódik a belterületi csapadékvíz-elvezetőrendszerek befogadóképességét és elvezetőkapacitását megterhelő területek lokalizálásával — ezek külön kutatást igényelnek a településeket övező vízgyűjtők esetén [9]. A jelenséggel szembeni védekezést a helyi tulajdonságoknak, valamint védekezési tapasztalatok összehangolása mentén érdemes megszervezni. Ezeket a beavatkozásokat a területek lehetőségei szerint (a felkészülési idő hiánya okán) döntően béke-időben szükséges kivitelezni. Ezen preventív jellegű intézkedések és védekezési tervek jelenleg széles körben, folyamatos tesztelés és fejlődés mellett kerülnek tervezésre, kivitelezésre és publikálásra, növelve ezzel a villámárvízi jelenség elleni fellépés hatékony eszköztárát [4,5,26].

3. KÖVETKEZTETÉS

Az elmúlt két évtizedben a villámárvizek meghatározó szerepet töltek be mind a tudományos munkák, mind az aktív árvíz vízkárelhárítás során. A jelenség gyakoriságának csökkenése nem várható, ezért minden érintett szakmai terület feladata, hogy az élet- és vagyónvédelem érdekében a lehető legmagasabb szinten lépjen fel a helyi vízkárok ellen. Jelen kutatás újdonsága, hogy a régióra ilyen térbeli felbontású térképezés, a téma szempontjából releváns térinformatikai és távérzékelési adatokkal nem történt. Emellett a munka az árvízi védekezésben résztvevő szervek szakmai nyomkövetése és visszacsatolása mellett valósult meg. A módszertan a nemzetközi szakirodalmat követve készült, kiegészítve a mintaterület sajátosságaira vonatkozó szempontokkal, amelyek lehetővé teszik a védelemben résztvevők számára a gyakorlati alkalmazást. A kutatás eredményei találkoznak a hazai, valamint nemzetközi módszertanok eredményeivel [7, 27, 28]. Tudományos jelentőségét, valamint hozzáadott értékét pedig az adja, hogy a villámárvízi jelenség lefolyásviszonyait értelmezve és ahhoz igazodva alkalmaz térinformatikai állományokat. Ezen állományok az AHP biztosító komplex értelmezésen keresztül biztosít egy kockázati térképet. A térkép jelenlegi felhasználhatóságát tekintve jelentősen hozzájárul a magasabb kockázati kategóriákba eső vízgyűjtők és a vízgyűjtőn belüli területek lokalizálásához, nagyobb települések esetében, akár utca, vagy akár helyrajzi szám szinten is. Továbbá lehetőséget biztosít a békeidőben kivitelezhető védművek tervezéséhez, ennek egyik gyakorlati alkalmazási példája lehet a szádlemezékből (U-profilú Larssen) kialakítható, többlépcsős szádfalsor alkalmazása [12]. Ez a módszer az INTERREG-HUSK/2302/1.2/134-Floman elnevezésű projektben is szerepelt, amelynek kivitelezését a Havaria Kft. biztosította volna a projekt megvalósulása esetén. A térképezés hátránya, hogy bővítését jelenleg korlátozza a megbízható minőségű és felbontású országos domborzatmodellek elérhetőségének hiánya. Ezek alapvető fontosságúak, mivel a felhasznált állományok részét a domborzatmodell biztosítja. A módszertan alkalmazásához szükséges további bemeneti állományok (műholdkép, erdészeti adatbázis, Agrotopo, e-SOTER) ingyenes, vagy országosan elérhetőek. Az országos kiterjesztéshez legalább 100 m²-t lefedő, (10 m-es) országos domborzatmodell szükséges, valamint a védekezési szervek és vezetők árvízvédelmi jegyzőkönyvei, gyakorlati tapasztalatai és a Magyar Állam Kincstár Vis maior jegyzőkönyvei a pontos validáláshoz. Kiegészítve a vízügyi hidrometeorológiai jelentések releváns adataival. Az országos szintű kockázati térképezés szintjén a módszertan alkalmas lehet a települési vízkárelhárítási tervekbe való integrálásba. Megjegyezni kívánjuk azonban, hogy a kockázati felméréseket főként a hazai természetföldrajzi adottságok (geológiai, talajtani, felszínalaktani), valamint sokszínűség okán, regionálisan szükséges felmérni. A további fejlesztések során szem előtt kell tartani, hogy a korábban tárgyalt agrotechnika okán keletkezett tömődöttség (főleg a laza üledékeken képződött talajú területek esetében) meghatározó mértékben tudják csökkenteni a csapadékeseményből származó vízmennyiség beszívargását. Ezek az állapotok növelik a vízhozamot, így az árhullám mértékét, ezért egyes területek esetében a térkép optimista eredményeket adhat.

A valós villámárvíz védekezés során ezen területekre több figyelmet kell fordítani. A kutatás jövőbeni feladata, tudományos szinten a bemenő téradatok típusainak finomhangolása, árvízvédekezési oldalról pedig, hogy a célirányosan megfogalmazott projektek (Interreg, ICPDP-Danube FloodRisk Project, DAREnet, HUSKROUA) segítségével, az árvízvédelmi szervekkel közösen integrálja a kockázatértékelési módszertanokba a térképezés eredményeit.

4. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Koris K., *Magyarország kisvízfolyásainak árvizei.* (Elektronikus változat.) 1-756 o. Országos Vízügyi Főigazgatóság Budapest. 2021 [Online] Elérhetőség: https://vpf.vizugy.hu/reg/ovf/doc/koris_bala-tonyi.pdf (2025.09.18.)
- [2] Országos Vízügyi Főigazgatóság – OVF (2024/47) - 47 /2024 számú utasítása az Országos Vízügyi Főigazgatóság és a Vízügyi Igazgatóságok Magyarország hegy és dombvidéki kisvízfolyásainak árvízszámítási segédletének használatáról
- [3] Kaliczka L., *Hegy és dombvidéki vízrendezés.* EJF Baja, 1998 pp. 90-95.
- [4] L. Balatonyi, B. Lengyel, Á. Berger „Natura-based solution as water management measure in Hungary” *Modern Geográfia*, Vol. 17, Issue 1, pp. 73-85. 2022 [Online] Elérhetőség: <https://doi.org/10.15170/MG.2022.17.01.05> (2025.09.18.)
- [5] S. Czigány, E. Pirkhoffer, I. Geresdi “Environmental impacts of flash floods in Hungary” *Flood Risk Management: Research and Practice, Taylor & Francis Group*, pp. 1439–1447. <https://doi.org/10.1201/9780203883020>
- [6] Horváth Á. „A mezoskálájú folyamatok szerepe a konvektív felhőképződésben” 32. Meteorológia Tudományos Napok, MTA Meteorológiai Tudományos Bizottsága, ISBN 978-963-7702-97-6 pp 83.- 94. [Online] Elérhetőség: https://www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2006/32.Meteorologiai_Tudomanyos_Napok_osszefoglalo_2006.pdf
- [7] Dobai, A., Dobos, E. „A villámárvíz kockázati térképezési módszertan fejlesztése Észak-Magyarországi dombsági területeken” *Hidrológiai Közöny.* 105. 24-37. 2025 [Online] Elérhetőség: <https://doi.org/10.59258/hk.19231> (2025.09.18.)
- [8] N. Sarkadi, E. Pirkhoffer, D. Lóczy, L. Balatonyi, I. Geresdi, Sz. Fábián, G. Varga, R. Balogh, A. Gradwohl-Valkay, Á. Halmi, Sz. Czigány „Generation of a flood susceptibility map of evenly weighted conditioning factors for Hungary” *Geographica Pannonica*, 26(3), 200-214. 2022 <https://doi.org/10.5937/gp26-38969> (2025.09.18.)
- [9] 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>
- [10] Lénárt L., Hernádi B., Kovács P. , Mátyás G. (2014): A Szinva-völgyi árvíz-előrejelző rendszer kidolgozásának megvalósítási tanulmány-terve. – Kézirat, Miskolci Egyetem, 140 p
- [11] Balatonyi L. 2015 Pécsi Tudomány Egyetem Természettudományi Kar Földtudományok Doktori Iskola, PhD értekezés Árvízhozam előrejelzés optimalizálása középhegységi és dombvidéki kisvízgyűjtőkre 18p.

- [12] Dobai A., Dobos E. (2022). Hegy és dombvidéki kisvízgyűjtőkön kialakuló árhullámok elleni védekezés támogatása térinformatikai módszerekkel. Debreceni Egyetem, Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás kiadványa, pp. 109-117. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2022.2.8>
- [13] 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), 611-623.<https://doi.org/10.1007/s12665-010-0551-1>
- [14] 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>
- [15] 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>
- [16] Stelczer K. (2000): A vízkészlet-gazdálkodás hidrológiai alapjai. ELTE, Budapest, 410 o.
- [17] 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. 0.1016/S1464-1909(00)00247-1.
- [18] 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
- [19] 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. 31-38.
- [20] 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 Hzarads, 10.1007/978-3-030-94544-2_8.
- [21] 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. doi:10.3390/rs12010106
- [22] Salomon, V. A. P., & Gomes, L. F. A. M. (2024). Consistency Improvement in the Analytic Hierarchy Process. Mathematics, 12(6), 828. <https://doi.org/10.3390/math12060828>
- [23] Pirotti, F., Toffah, F. E., & Guarnieri, A. (2024). Correlation Analysis of Vertical Ground Movement and Climate Using Sentinel-1 InSAR. Remote Sensing, 16(22), 4123. <https://doi.org/10.3390/rs16224123>
- [24] 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>

- [25] Vágó, J., Dobos, E., Blistan, P., Zelenakova, M., Ladányi, R., Kiss, L. (2019). Flood- and logistical modeling in the Hernád watershed, Műszaki Tudomány az Észak-keleti magyarországi régióban, Conference Book, pp. 420-423. <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2019.4.20>.
- [26] Alessandro, G.C., Javier, H., Ana, L.V.A. (2002). - Guidelines on Flash Flood Prevention and Mitigation – NEDIES project. EUR 20386 EN, p. 64.
- [27] 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. Doi: [10.5593/sgem2017/23/S11.046](https://doi.org/10.5593/sgem2017/23/S11.046)
- [28] Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F., Nasser, 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 572:17–31. doi:[10.1016/j.jhydrol.2019.02.034](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.034)