

**Doktori (PhD) értekezés tézisei**

**Geoinformatikai alapú hidrológiai modellezés a  
Tarna vízgyűjtőjén a Kárpát-medence  
klimatikus tendenciái függvényében**

Szopos Noémi Mária

Témavezető: Prof. Dr. Szabó Szilárd, egyetemi tanár



**DEBRECENI EGYETEM**

**Földtudományok Doktori Iskola**

Debrecen, 2025



## Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben a természeti jelenségek gyors változásának és intenzitásának mértéke volt megfigyelhető. A klímaváltozás hatására bekövetkező folyamatok és szélsőséges időjárási viszonyok egyre nagyobb mértékben befolyásolják környezetünket. Ezek a változások nemcsak globálisan, hanem már regionális és lokális szinten érzékeltetik hatásukat.

Az egyre gyakoribb ár- és belvízi jelenségek, valamint az aszályos időszakok intenzív váltakozása egyre nagyobb problémát jelent az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás során.

A Kárpát-medencében bekövetkező szélsőséges időjárási viszonyok hatást gyakorolnak a természeti, gazdasági, politikai és társadalmi környezetre egyaránt. Az ezzel kapcsolatos problémák mihamarabbi megoldására kell fókuszálnunk, illetve mérséklésének lehetőségeire kell összpontosítanunk és meg kell tanulnunk alkalmazkodni, különböző scenáriókra felkészülni, hogy a változó körülményekre felkészülten tudjunk reagálni.

Kutatásom során, egy rendszer két szintjén vizsgálom a klímaváltozás hatásait különböző módszerekkel, kiemelt figyelemmel a csapadékviszonyok változására és azok hidrológiai következményeire. Ez a fajta megközelítés a vízfolyások szerepét egy tágabb nézőpontból vizsgálja, ugyanakkor komplexebb összefüggésrendszer kibontakozására ad lehetőséget. Sokszor okoz nehézséget az adathiány, és ebből adódóan az, hogy a vizsgálatokhoz és az előrejelzések megalkotásához nem áll rendelkezésre megfelelő információ.

A hidrológiai modellek alkalmazása és paraméterezése kulcsfontosságú eszköz a vízügyi ágazat munkatársainak, és a döntéshozók számára. Lehetőséget ad számos probléma és kérdéskör megválaszolása során többféle scenárió elkészítésére. Bár más szemléletmódot és megközelítést igényel, de a hidrológiai modellek hasznosnak az árvízi kockázatkezelésben és előrejelzések

készítésében (Kovács et al. 2015; Alfieri et al. 2018; Chen et al. 2020).

A választott téma nagy spektrumot fed le, ugyanakkor részletes információkat ad a Kárpát-medence klimatológiai változásaira, továbbá területspecifikusan a Tarna vízgyűjtőre gyakorolt hatások és változások, árvízhelyzetek során alkalmazható hidrológiai modellekkel kapcsolatosan is eredményeket fogalmaz meg. A disszertáció elkészítése során a következő célkitűzéseket fogalmaztam meg:

1. Hogyan változtak a hőmérsékleti, párolgási és csapadéktendenciák a Kárpát-medencében a CarpatClim adatbázis alapján 1960 és 2010 közötti időszakban?
2. Hol vannak az éghajlatváltozásra érzékeny területek a Kárpát-medencében az éghajlati változók összességének függvényében?
3. Kimutatható-e szignifikáns időbeli és térbeli változás az E-OBS adatbázis csapadékadatai alapján a Tarna vízgyűjtőjén az 1960 és 2020 közötti időszakban?
4. Milyen eredményességgel alkalmazható a HEC-RAS 5.0.7 hidrológiai és hidrodinamikai szoftver modellje egy kisvízfolyás árvízi eseményeinek modellezésére adathiányos környezetben, korlátozott hidrológiai adat elérhetősége esetén?
5. Mely elöntésmodellezési megközelítés ad pontosabb és megbízhatóbb eredményeket a Tarna esetében: a teljes terület egyetlen egységként történő modellezése, vagy külön szakaszokra bontott területi modell alkalmazása?
6. Milyen mértékben és milyen módon befolyásolja a hidrológiai modellek pontosságát és hatékonyságát az árvízi

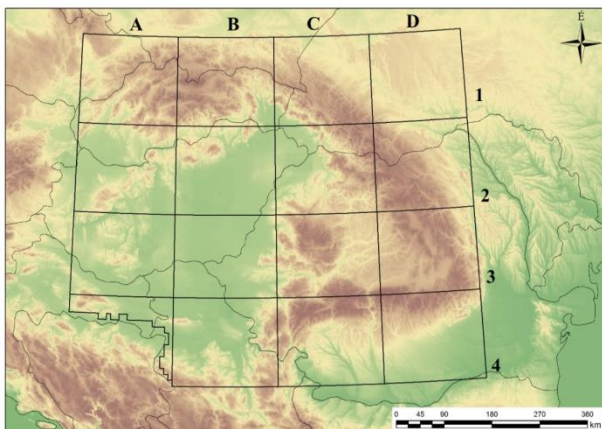
események időtartama és nagysága a Tarna példáján? Mekkora mértékű eltérés figyelhető meg a mért és modellezett eredmények között?

### **A mintaterületek bemutatása**

A vizsgálatokat egy rendszer két szintjén végeztem: (i) regionális szinten a mintaterületem a Kárpát-medencét foglalja magába, (ii) vízgyűjtő szinten a Tarna vízgyűjtőjét tartalmazza.

A Kárpát-medence Európa középső részén helyezkedik el, amelyet a Kárpátok, az Alpok és a Dinári-hegység vonulatai határolnak. A Kárpát-medence nagyszerkezeti egységeinek kialakulását európai kontinens földtörténeti múltja határozza meg. A vizsgálat folyamatokat pixel szinten (~10 km geometriai felbontás), a területi jellegzetességeket 16 egységre bontva elemeztem (1. ábra).

A Tarna vízgyűjtője Magyarország északi részén, részben a Mátra keleti, részben pedig a tőle északra található Felső-Tarnai-dombság területén található. Forrásvidéke Szlovákia területén, Tajti település közelében található, Cerednél lép be Magyarország területére. Ezt követően Jászfákóhalmáig folytatja útját, majd a településtől délre a Zagyvába torkollik. A Tarna É-D-i folyásirányú, vízgyűjtője a Tisza vízrendszerének alegységét képezi, területe 2116 km<sup>2</sup> (VGT 2010).



*1. ábra. A vizsgált terület elhelyezkedése és a térbeli elemzéshez alkalmazott rácsháló, a CarpatClim atlasz alapján Forrás: saját szerkesztés*

## **Anyag és módszer**

A regionális szintű elemzéshez a CarpatClim adatbázis 1960-2010 közötti évek adataiból a havi maximális hőmérséklet (TMAX), az átlaghőmérséklet (TA), a potenciális párolgást (PET) és a csapadékot (PREC) használtam fel havi bontásban. Az idősorok részletes elemzését, megközelítően 500 000 km<sup>2</sup>-en végeztem el. A feldolgozás első lépéseként a ~10 km felbontású grid minden pontjában meghatároztam trendvonalillesztést végeztem regresszió analízissel. Ezt követően a trendvonal meredekségét ( $\beta_1$ -érték) vizsgáltam statisztikai módszerekkel, az éghajlati tendenciák részletes térbeli elemzésével.

A vízgyűjtő szintű meteorológiai változások vizsgálata során, az E-OBS adatbázis adatait dolgoztam fel. Az adatbázis egynapos események adatait tartalmazza 1950-től napjainkig, sávosan

összesítve és rácshálóra bontva. Az adatok méréseken alapuló, interpolált, napi szintű adatok (Cornes et al. 2018). Az elemzéshez a napi csapadékadatok egymásutánosságát elemeztem: 1-10-20-30-40 mm napi csapadék gyakoriságát 1960-1989 és 1990-2020 közötti időszakokban és hogy a két időszak csapadékeseményei között van-e statisztikai különbség.

A Tarna vízgyűjtőjén továbbá árvízi modellezést végeztem. A terepi bejárás és vizsgálatok során jegyzőkönyvben rögzítettem a árvízvédelmi szempontból jelentősebb helyszíneket (hidak, műtárgyak, összefolyás, mérőállomások), illetve keresztaszelvényeket vettem fel. Az adatok összegyűjtése után összesen 6 vízálláshoz tartozó idősort választottam ki: a 2 legmagasabb vízállást, 2 magas vízállást és 2 átlagos vízállást. Ezekkel az adatokkal végeztem el a modellezést, melyhez az amerikai U. S. Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC) mérnökei által fejlesztett HEC-RAS 5.0.7 szoftvert alkalmaztam. A modelleket a mért és modellezett adatok alapján értékeltem ki a Root Mean Square Error (RMSE), normalizált RMSE (nRMSE), a torzítatlan (unbiased, ubRMSE), a Nash-Sutcliffe hatékonysági koefficiens (NSE) és a Kling-Gupta hatékonysági koefficiens (KGE) segítségével.

## Tézisek

**1. Kimutattam, hogy a Kárpát-medence területén 1960 és 2010 között időszakban a CarpatClim adatbázis alapján, az évszakok tekintetében a havi átlaghőmérséklet, a maximális hőmérséklet és a párolgás növekvő tendenciát mutatott, az ősz kivételével. A csapadék azonban nem követte ezt a mintázatot, télen csökkenő tendencia volt megfigyelhető.**

A CarpatClim adataiból származó eredményeket három nagyobb csoport szerint összegeztem: a szezonális trendek, a területi

vonatkozások, valamint a területi és szezonális együttes hatásának eredményei tekintetében.

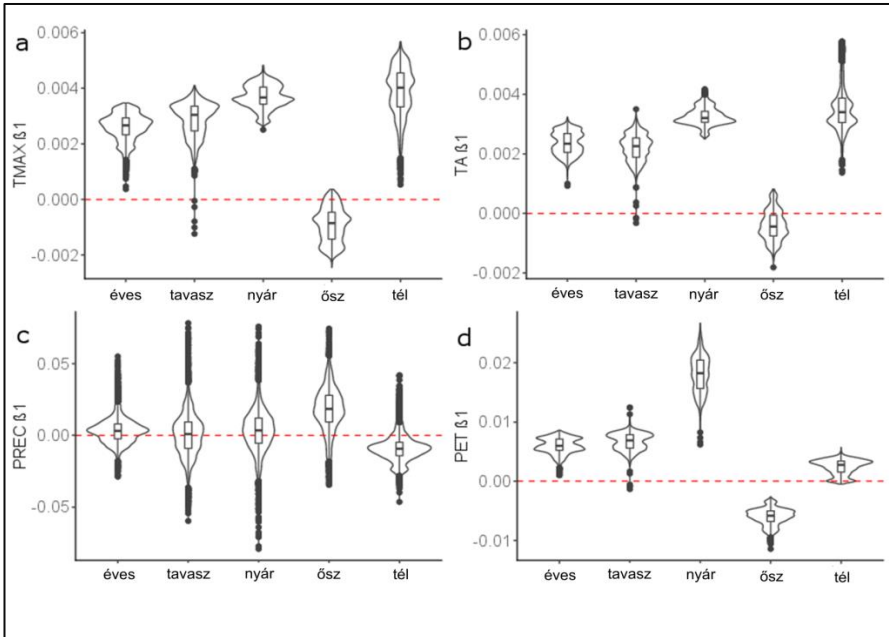
Az éghajlati változók alapján a havi hőmérsékleti maximum, havi átlaghőmérséklet, havi csapadék, potenciális evapotranspiráció tekintetében vizsgáltam a változásokat.

A TMAX, TA, PET eredményei (2. ábra) az ősz kivételével minden évszakban emelkedést mutattak. TMAX (2.a ábra) esetében ősszel a csökkenés mérsékeltebb volt, mint az emelkedés a többi évszakban. Az emelkedés mértéke tavasszal, nyáron és ősszel hasonló volt, de télen nagyobb intervallumot fedett le. Éves szinten is növekedés volt várható, és az emelkedés meredeksége hasonló eloszlású volt, mint az első félévben, ugyanakkor kisebb tartományban volt értelmezhető.

A TA esetében megfogalmazott feltevések (2b. ábra) hasonlóak voltak, azzal a különbséggel, hogy a szórás minden évszakban kisebb volt. Meg kell említeni, hogy a  $\beta 1$ -értékek eloszlása, nyáron nagyobb intervallumban mozgott, mint a többi időszakban.

A PREC (2c. ábra) tavasszal és nyáron csak kis változásokat vetített előre, ősszel azonban növekvő, télen pedig csökkenő tendencia volt megfigyelhető. Az utóbbi két esetben a hatások kiegyenlítették egymást, ami nem eredményezett jelentős változásokat az éves csapadék eloszlásában, a tavasz és a nyár esetében sem.

A PET esetében (2d. ábra) a közép- és maximumhőmérsékletekre jellemző változást figyeltem meg, vagyis tavasszal, nyáron és télen emelkedés, utóbbi esetben mérsékeltebb volt a tendencia, ősszel pedig csökkenés, azzal a különbséggel, hogy a változások mértéke kisebb intervallumban volt értelmezhető, valamint a változások mértéke egy nagyságrenddel nagyobb volt.



2. ábra. Az éghajlati változók  $\beta_1$  regressziós értékeinek kombinált hegedűdiagramja és boxplot-diagramja (TMAX: havi hőmérsékleti maximum, TA: havi átlaghőmérséklet, PREC: havi csapadék, PET: potenciális evapotranspiráció; ---: nulla szintet jelöli, ami azt jelzi, hogy nincs változás) Forrás: saját szerkesztés

**2. Kimutattam, hogy Magyarország nyugati része és Horvátország keleti része a legérzékenyebb régiók a havi hőmérsékleti maximum, havi átlaghőmérséklet, havi csapadék és potenciális evapotranspiráció együttes éghajlati változások viszonylatában.**

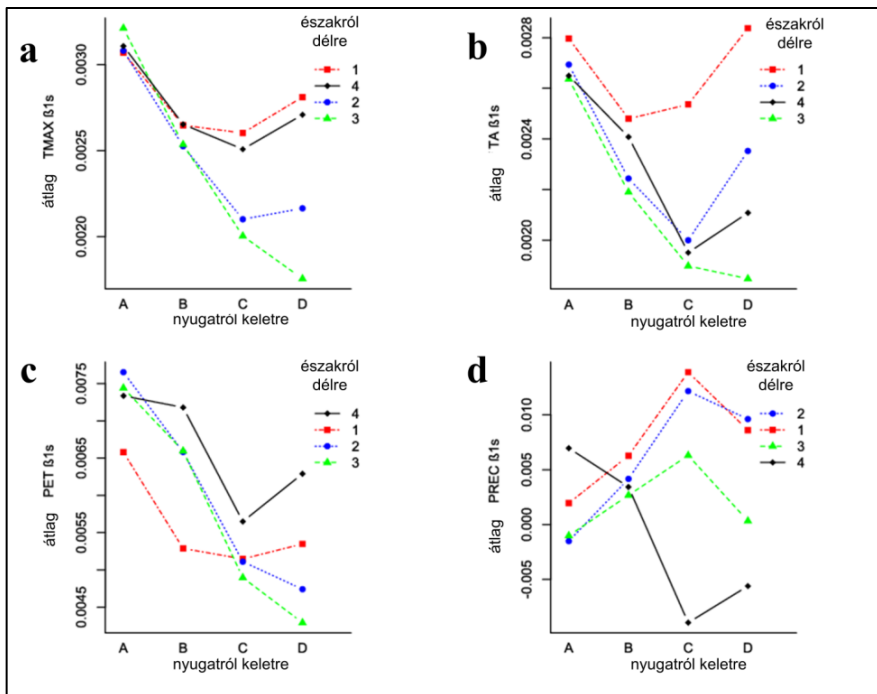
A TMAX térbeli változástendenciája a  $\beta_1$ -értékek alapján azt mutatta, hogy az #1 és a #4 régiókban szinte azonos jellegű

maximális hőmérsékletváltozás mutatkozik: az értékek csökkenése meredek a terület nyugati részén (3a. ábra, #A), ezt követően a csökkenés kisebb (akár stagnál) (#B, #C), a keleti részen viszont minimálisan emelkedik (#D). A két központi régió (#2 és #3) trendjei is hasonlóan alakultak, azzal a különbséggel, hogy a #2 régió keleti felében (a #3-mal ellentétben) nem volt csökkenő tendencia a trend meredekségében.

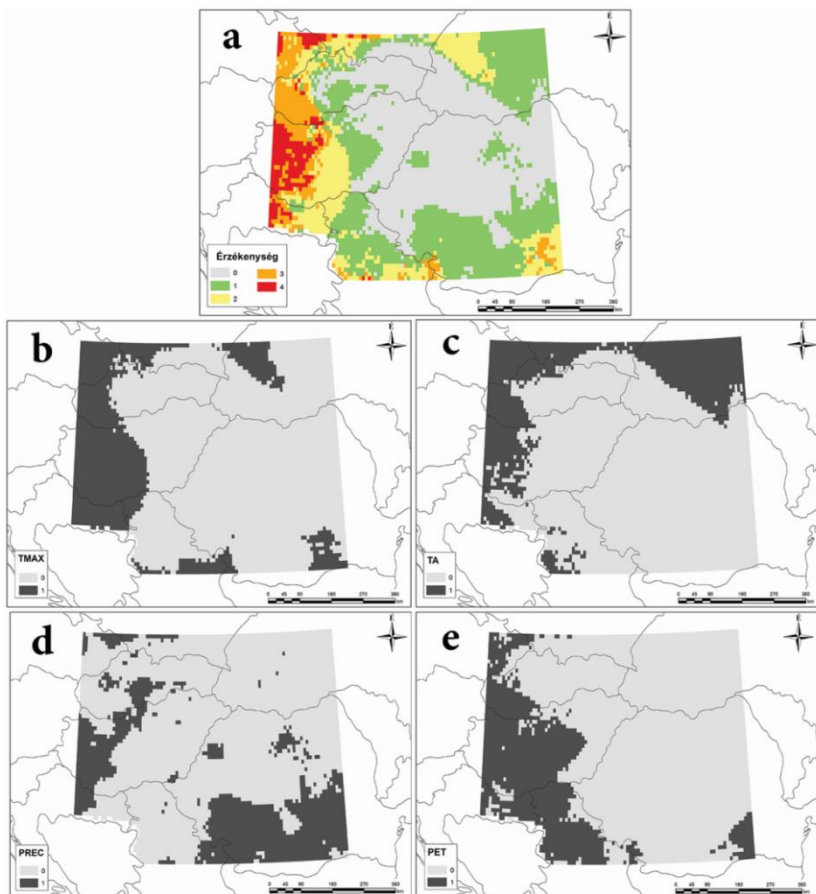
TA esetében (3b. ábra), a trend meredeksége nyugatról kelet felé minden régióban csökkent, de csak a #3 régióban volt megfigyelhető egyenes trend minden esetben. Három régióban (#1, #2, #4) a Kárpátok vonaláig csökkenő tendencia rajzolódott ki, onnan pedig növekedés kezdődött el.

A PET esetében megfigyelt trendek (3c. ábra) hasonló tendenciát mutattak, mint a TMAX, azzal a különbséggel, hogy az #1 és #4 régió elhelyezkedése ellentétes volt. Az #1 régió trendértékei nyugaton kisebbek voltak és kelet felé csökkentek. A #4 kiindulási értéke figyelmen kívül hagyható, mivel a cella több mint  $\frac{3}{4}$ -éről nem állnak rendelkezésre adatok; ezért nem lehet összehasonlítani a többivel.

A csapadék mennyiségének növekedését (3d. ábra) a magashegységek előterében (a Kárpátok nyugati oldalán - #C) figyeltük meg az eloszlás tekintetében, miközben a hegység keleti lejtőin csökkenést mutattunk ki. A #4 régió kivételt képez, mivel a Déli-Kárpátok és a Román-alföld a #C és #D cellákban található, és ezekben csapadékhiány figyelhető meg.



3. ábra. Az éghajlati változók (TMAX: havi hőmérsékleti maximum, TA: havi átlaghőmérséklet, PREC: havi csapadék, PET: potenciális evapotranspiráció) és a térbeli jellemzők interakciós ábrái  
 Forrás: saját szerkesztés

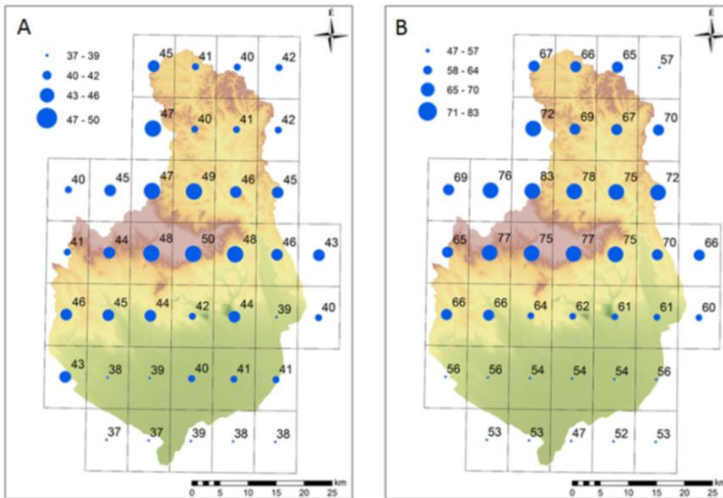


4. ábra. Érzékeny területek az éghajlati változók megfigyelt legmagasabb trendjei ( $\beta_1$ -értékek) alapján, a felső kvartilisek küszöbértékének alkalmazásával (a: az éghajlati változók összessége, ahol az összes térkép adatai együttesen vannak ábrázolva - minél magasabb az érték, annál több éghajlati változó lépte át a küszöbértéket; b: TMAX; c: TA; d: PET; e: PREC)

Forrás: saját szerkesztés

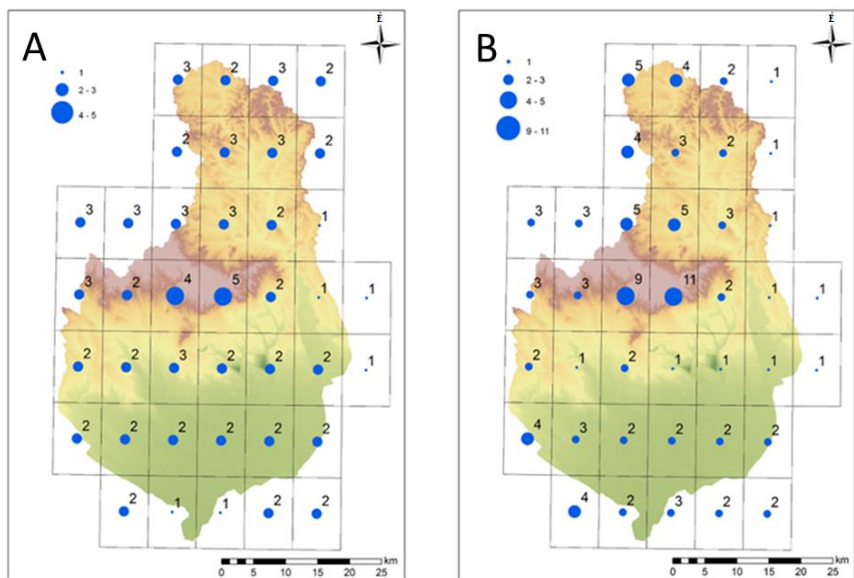
**3. Megállapítottam, hogy az 1960 és 2020 közötti időszakban az E-OBS adatbázis alapján a Tarna vízgyűjtőjén szignifikáns változás mutatható ki a csapadékos napok számában, és csapadékintenzásban, azonban a csapadék területi eloszlásában nem figyelhető meg szignifikáns eltérés.**

A kutatás során vizsgált adatok alapján elmondható, hogy 1960-1989 időszakban (A) a csapadékos napok száma elérte az 50-et, amely a vízgyűjtő magasabb területén fordult elő (5. ábra). Az 1990-2020 időszakban (B) a csapadékos napok számának maximuma elérte a 83-at, amely szintén a magasabb fekvésű területeken megfigyelhető. Ezek alapján jól érzékelhető a csapadékos napok gyakoriságának emelkedése. A legnagyobb térbeli heterogenitás azokon a területeken volt jellemző, ahol a csapadékos napok száma alacsony volt.



5. ábra. 1960-1989 (A) és 1990-2020 (B) közötti időszakok 1-10 mm napi csapadék események gyakoriságának összehasonlítása  
 Forrás: saját szerkesztés

Az 1960–1989 és az 1990–2020 közötti időszakban a 20 mm-t meghaladó napi csapadékesemények gyakoriságának összehasonlítása során eltérő skálát kellett alkalmazni, mivel a B időszakban ezen események előfordulása több térségben megduplázódott. A korábbi eredményekhez hasonlóan továbbra is megfigyelhető volt az a tendencia, hogy a magasabban fekvő területeken gyakoribbak ezek az események. Az alacsonyabban fekvő síkvidéki területeken ritkábbak. Ez a mintázat az 1990 és 2020-as években ismételt megerősítést nyert, hiszen egyes térségekben a 20 mm feletti napi csapadékesemények száma kétszeresére emelkedett (6. ábra).

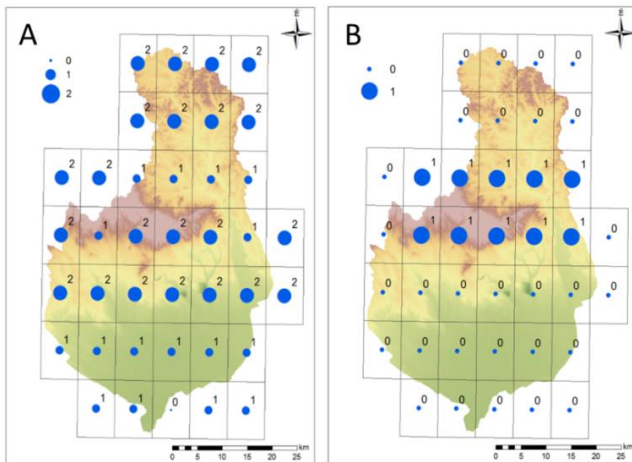


6. ábra. 1960-1989 (A) és 1990-2020 (B) közötti időszakok 10-20 mm napi csapadék események gyakoriságának összehasonlítása  
 Forrás: saját szerkesztés

Az 1990-2020 közötti időszakban lehulló 30 mm nap csapadék értékei a vízgyűjtőre tekintve azt, mutatják, hogy a magasabb térfelszíneken nagyobb gyakorisággal következnek be, viszont értékük csak 0-2 értékek között változnak.

Az 1990-2020 közötti időszak 40 mm napi csapadék gyakorisága csak 0 és 1 között változik. Ez jellemzően a 650-1050 m magassági területeken jelenik meg. A csapadék eloszlása, a magasság és az időintervallum változásának függvényében jelentős időbeli és térbeli eltéréseket mutat. A nagyobb csapadékkintenzitású napok gyakorisága a magasabb dombvidéki, illetve hegyi területeken hatással lehet a területen bekövetkező talajerózióra, a lefolyási viszonyok változására és a talajnedvességi viszonyokra, ezáltal a vízrendszer és az ökológiai viszonyok alakulására (7. ábra).

Az eredmények alapján megállapítható, hogy szignifikáns változás figyelhető meg az 1960-1989 és az 1990-2020 időszakok között a csapadékos napok számát illetően (7. ábra).



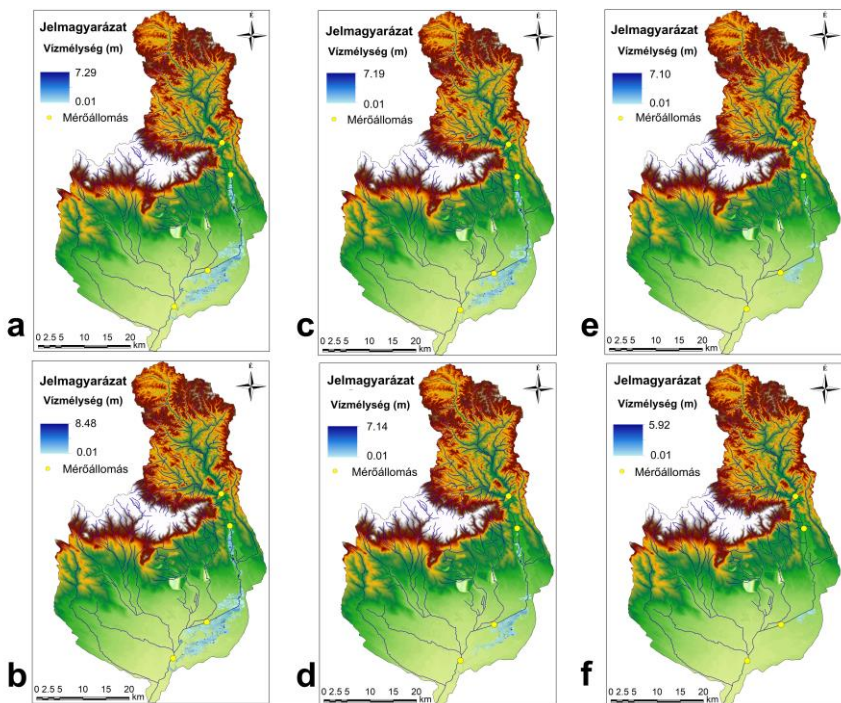
7. ábra. 1990-2020 közötti időszak 20-30 mm csapadék esemény gyakorisága (A) 1990-2020 közötti időszak 30-40 mm napi csapadék gyakorisága (B) Forrás: saját szerkesztés

Az 1960-1989 közötti időszakban nem mutatott az adatbázis 20-30 mm, illetve 30-40 mm napi csapadék eseményt a Tarna vízgyűjtőn.

**4. Bebizonyítottam, hogy a HEC-RAS hidrológiai és hidrodinamikai szoftver modellje alkalmas egy kisvízfolyás árvízi eseményeinek modellezésére adathiányos környezetben, amely megközelítő pontossággal képes megbízható eredményeket adni korlátozottan mért adatok rendelkezésére állása esetén.**

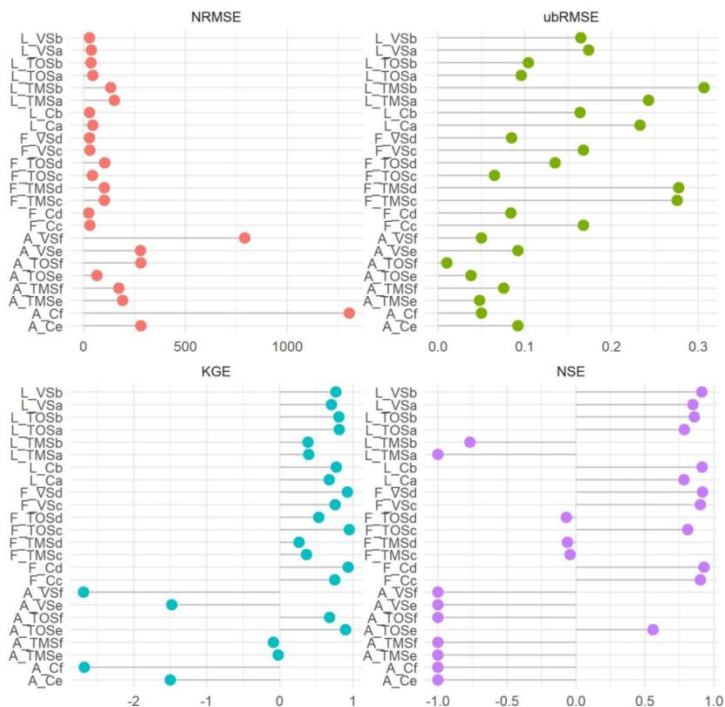
A modellek kiterjedését illetően, a legnagyobb mértékben a L\_b és L\_a események teljesítettek, 50,36 km<sup>2</sup> és 46.89 km<sup>2</sup> területi kiterjedéssel, amely az esemény típusa miatt várható volt. Az események térképei az elöntések mértékét szemléltetik, amelyek alapján beazonosíthatók voltak az érzékeny területek. A középső rész (TMS) eredményezte az árvizek kiterjedésének legnagyobb mértékét, az L\_b esemény során ez az érték 39,86 km<sup>2</sup> volt, ezt követte a középső szakaszon beazonosítható rész L\_A 37,74 km<sup>2</sup> kiterjedéssel (8. ábra).

Az alsó szakasz (TOS) esetében a legmagasabb értéket az L\_a 1,41 km<sup>2</sup> értékkel, az ezt követő események értékei már csak 0,88-0,01 km<sup>2</sup> alakultak. Ezek az eredmények elsősorban a folyó alsószakasz jellegével, a nagyobb mederátmérővel és a meder magasabb szintű kiépítettségével magyarázhatók. Ezen a szakaszon az árvízi események hatékonyabb kivédésére kiépítettebb infrastruktúra áll rendelkezésre.



8. ábra. Az elöntési modellek térbeli ábrázolása a Tarna vízgyűjtőjén Észak-Magyarországon (a, b: legnagyobb árvízi esemény, c, d: árvízi esemény, e, f: átlagos esemény). Forrás: saját szerkesztés

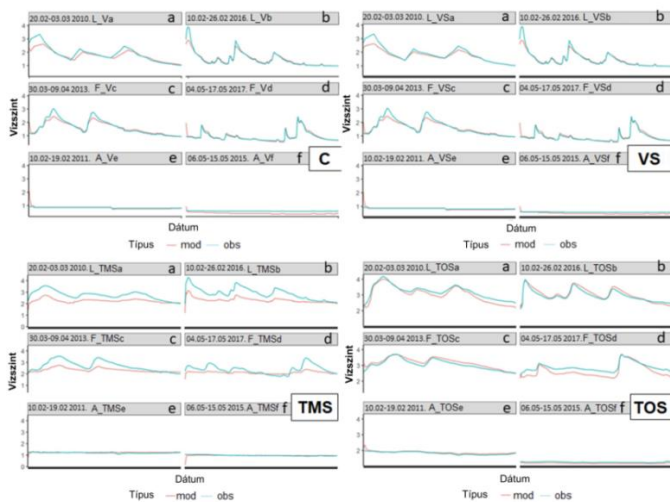
Az NRMSE pontossági mérőszámok megerősítik, hogy a nagyobb árvízi események modelljei általában jól teljesítettek. A Kling Gupta hatékonyság (KGE) statisztikai metrika értékei -2,67 és 0,95 között mozogtak, a 24 modelltől 18 modell megközelítőleg 1 értéket ért el. Az „átlagos” események jellemzően rosszul teljesítettek, vagyis a statisztikai mérőszámok szerint gyenge illeszkedést mutattak (9. ábra).



9. ábra. A modellfuttatások pontossági mérőszámai a Tarna észak-magyarországi vízgyűjtőjére (L-a és L-b: legnagyobb árvízi esemény, F-c és F-d: árvízi esemény, A-e és A-f: átlagos esemény; NRMSE = normalizált átlagos négyzetes hiba, ubRMSE = torzítatlan átlagos négyzetes hiba, KGE = Kling-Gupta hatékonysági együttható, NSE = Nash-Sutcliffe hatékonysági együttható)

**5. Megállapítottam, hogy a Tarna egész vizsgálati területének egyetlen egységként történő modellezése és a külön szakaszokra bontott modell alkalmazása között nem mutatható ki lényeges eltérés a modell pontossága és megbízhatósága tekintetében.**

Az előtési modellek adatai alapján hasonló tendenciák figyelhetők meg a modellezett és a megfigyelt vízszintekre vonatkozóan a teljes szakaszon. Az eredmények azt mutatták, hogy a VS, TMS és TOS szakaszok eredményei nem mutattak kiemelkedően jobb teljesítményt, mint a C terület eredményei. Így a kisebb területek szegmentálása nem minden esetben nyújt következetesen jobb eredményeket (10. ábra).

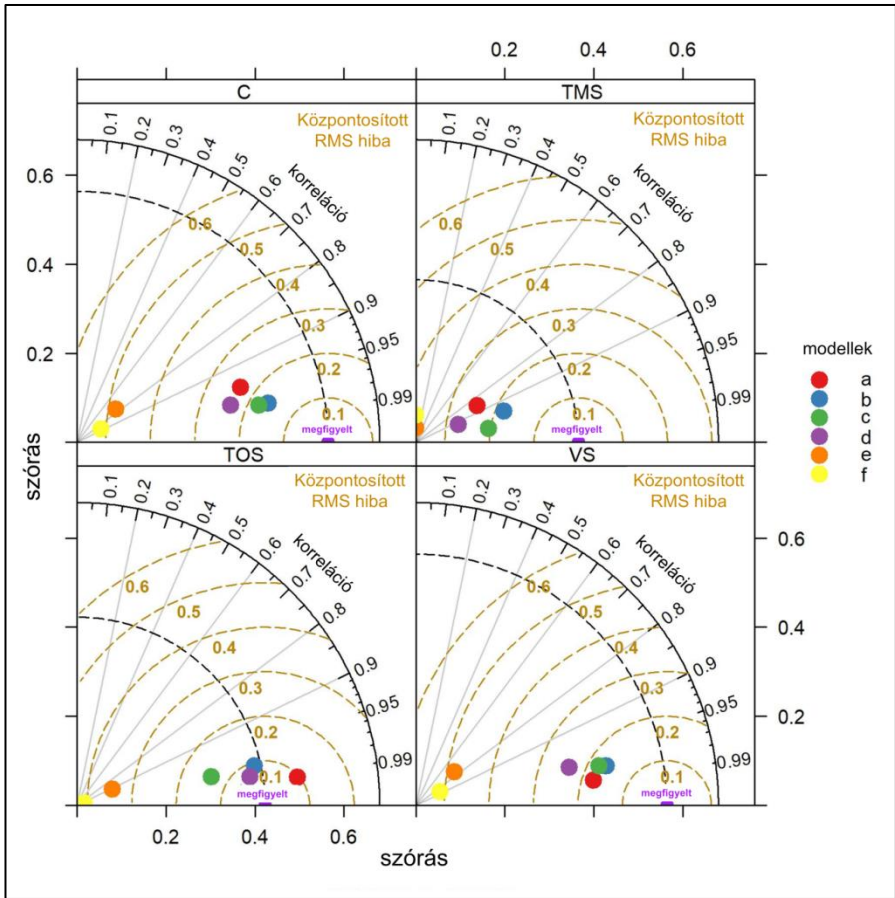


10. ábra. A modellezett (*mod*) és megfigyelt (*obs*) vízszintek területi és eseményalapú eloszlásának ábrázolása a Tarna folyó észak-magyarországi vízgyűjtőjén a modellfuttatások során

**6. A modellezési eredmények alapján kimutattam, hogy az árvízi esemény hosszabb időtartama és magas vízállása növeli a modell pontosságát, azonban az átlagos paraméterű események gyengébb statisztikai illeszkedést eredményeztek.**

A „b” esemény értékei minden területre vonatkozóan kiemelkedő eredményeket adtak, ahogyan az várható volt, mivel ezt az eseményt jellemezte a leghosszabb időtartam és az időintervallumon belül a legnagyobb vízhozam. Ezt követően a „d”, „a” és „c” események is hasonlóan jó eredményeket hoztak (11. ábra). A vizsgálat során az „e” és „f” események minden területen jelentős eltérést mutattak a többi eseménytől. A várakozásoknak megfelelően ezek a modellek teljesítettek a legkevésbé kedvezően a rövid időintervallum és a bemeneti adatok korlátozott változékonysága miatt. Ezen események átlagos értékei és pontossága eltértek a magasabb és a legmagasabb vízszintekétől.

A Taylor-diagram vízszintbecslésre történő alkalmazásakor a diagram közepéhez közelebbi, alacsonyabb szórásértékekkel rendelkező modellek azt jelzik, hogy megbízhatóbbak és nagyobb pontossággal alkalmazhatók. A korrelációs együtthatók általában erős kapcsolatot jeleztek a modellezett és a megfigyelt értékek között, de voltak kivételek, általában az „e” és „f” események esetében, ahol más pontossági mérőszámok is alacsony teljesítményt mutattak (11. ábra).



11. ábra. A hidrológiai modellek Taylor-diagramja területek és események szerint a Tarna folyó vízgyűjtőjére (C: teljes terület, VS: felső szakasz, TMS: középső szakasz, TOS: alsó szakasz).

## Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

## Irodalomjegyzék

Alfieri, L., Cohen, S., Galantowicz, J., Schumann, G.J.-P., Trigg, M.A., Zsoter, E., Prudhomme, C., Kruczkiewicz, A., Coughlan De Perez, E., Flamig, Z., Rudari, R., Wu, H., Adler, R.F., Brakenridge, R.G., Kettner, A., Weerts, A., Matgen, P., Islam, S.A.K.M., De Groeve, T., Salamon, P. (2018): A global network for operational flood risk reduction. *Environmental Science & Policy* 84, 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.03.014>

Chen, X., Chen, L., Stone, M. C., Acharya, K. (2020): Assessing connectivity between the river channel and floodplains during high flows using hydrodynamic modeling and particle tracking analysis. *Journal Hydrology*, 583, 124609. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124609>

Cornes, R.C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M., Jones, P.D. (2018): An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 123, 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>

Kovács, S., Lovas, A., Gombás, K. (2015): Flood protection of Hungary in the integrated water management in the Tisza River Valley as an example. *Hidrológiai Közlöny*, 95(4), 6–19.

VGT (2010): A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása. Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 2-11. Tarna. Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, Észak-magyarországi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, Budapest.



Nyilvántartási szám: DEENK/339/2025.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Szopos Noémi Mária  
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10066983

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Idégen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

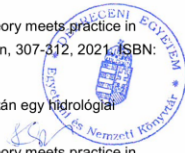
1. Szabó, S., **Szopos, N. M.**, Balázs, B., László, E., Milosevic, D., Conoscenti, C., Lázár, I.:  
Geospatial analysis of drought tendencies in the Carpathians as reflected in a 50-year time series.  
*HunGeoBull.* 68 (3), 269-282, 2019. ISSN: 2064-5031.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.15201/hungeobull.68.3.5>
2. **Szopos, N. M.**, Czellecz, B.: High water level observations along the upper course of the Olt River (Romania) from a hydrological modelling aspect.  
*Acta geogr. Debr., Landsc. environ. ser.* 11 (2), 10-19, 2017. ISSN: 1789-4921.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21120/LE/11/2/2>

#### Idégen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

3. **Szopos, N. M.**, Holb, I., Abriha, D., Szabó, S.: Flood risk assessment of a small river with limited available data.  
*Spat. Inf. Res.* 32, 787-800, 2024. ISSN: 2366-3286.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s41324-024-00596-8>  
IF: 2 (2023)

#### Magyar nyelvű konferencia közlemények (2)

4. **Szopos, N. M.**, Szabó, S.: Vízgyűjtővizsgálat térinformatikai módszerekkel a Tarna vízgyűjtőjének példáján.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 307-312, 2021. ISBN: 9789633189771
5. **Szopos, N. M.**, Czellecz, B.: Villámárvízi észrevételek az Olt felső szakaszán egy hidrológiai modellezési nézőpontból.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 349-353, 2018. ISBN: 9789633187234





### További közlemények

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

6. Czellecz, B., **Szopos, N. M.**: The Past and Present of the Transylvanian Salt Waters.  
*Stud. Univ. Babeş-Bolyai, Geogr.* 62 (2), 49-70, 2017. ISSN: 1221-079X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.24193/subbgeogr.2017.2.03>

#### Magyar nyelvű konferencia közlemények (4)

7. **Szopos, N. M.**, Czellecz, B., Zsuga, A., Asztalos, G.: Térinformatikai modellezés alkalmazása az ökológiai vízpótlás lehetőségeinek vizsgálatára a Hortobágyi ártéri öblözet területén.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában = Theory meets practice in GIS : Debreceni Egyetem Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás/ szerk. Abriha-Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 239-246, 2025. ISBN: 9789634907121
8. Tóth, N., Nagy, B., **Szopos, N. M.**: Hidrometeorológiai tényezők kapcsolatának vizsgálata a vízhozammal a Galga-patak vízgyűjtő területén.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 321-326, 2021. ISBN: 9789633189771
9. Nagy, B., **Szopos, N. M.**: Hidrológiai modellekben bekövetkező változások eltérő felbontású digitális domborzatmodellek alkalmazása esetén.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 205-210, 2019. ISBN: 9789633180549
10. Bertalan, L., Nagy, B., **Szopos, N. M.**, Eltner, A., Sardemann, H., Mader, D.: Medetopográfiai és hidrometriai vizsgálatok a Sajó mentén pilóta nélküli vízi- és légijárművekkel.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 55-60, 2019. ISBN: 9789633180549

#### Idegen nyelvű konferencia közlemények (3)

11. Eltner, A., Mader, D., **Szopos, N. M.**, Nagy, B., Grundmann, J., Bertalan, L.: Using Thermal an RGB UAV imagery to measure surface flow velocities of rivers.  
*Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 43 (B2), 717-722, 2021. EISSN: 2194-9034.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-717-2021>
12. Czellecz, B., Gábor, I., **Szopos, N. M.**, Schiopu, G., Ravasz, L., Gombos, L.: Mineral waters from upper Trotuş river basin.  
In: Aerul si apa componente ale mediului = Air and water components the environment, Babeş Bolyai University Faculty of Geography, Cluj Napoca, 143-150, 2017, (ISSN 2067-743X)





13. Czellecz, B., Gábor, I., Ravasz, L., Schiopu, G., **Szopos, N. M.**: Saline water resources in Cluj-Napoca surroundings.

In: Air and Water Components of the Environment, Babes Bolyai University Faculty of Geography, Cluj Napoca, 408-415, 2016, (ISSN 2067-743X)

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

14. Bertalan, L., **Szopos, N. M.**, Nagy, B., Eltner, A.: Drónokkal végzett hidromorfológiai monitoring új módszerei a Sajó példáján.

In: X. Magyar Földrajzi Konferencia = 10th Hungarian Geographical Conference : absztraktkötet. Szerk.: Karátson Dávid, Nagy Balázs, A Földgömb az Expedíciós Kutatásért Alapítvány, Budapest, 28, 2021. ISBN: 9786150128993

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

15. Bertalan, L., Sardemann, H., Mader, D., **Szopos, N. M.**, Nagy, B., Eltner, A.: Geomorphological and hydrological characterization of a meandering river by UAV and UWV applications. *Geophys. Res. Abstr.* 22, 18069, 2020. ISSN: 1029-7006.

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 2**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapján szolgáló közleményekre): 2**

A DEENK a Jelölt által a Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománytermetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2025.05.28.



**Short thesis for the degree of doctor of philosophy  
(PhD)**

**Hydrological Modelling of the Tarna Catchment  
Using Geoinformatics in Relation to Climatic  
Tendencies of the Carpathian Basin**

by Szopos Noémi Mária

Supervisor: Prof. Dr. Szabó Szilárd



UNIVERSITY OF DEBRECEN

Doctoral School of Earth Sciences

Debrecen, 2025

## **Introduction**

In recent decades, natural phenomena have undergone increasingly rapid and intense changes. The processes triggered by climate change, along with the rise in extreme weather events, are exerting a growing influence on our environment. These impacts are not only evident on a global scale but are now also observable at regional and local levels.

The increasing frequency of floods, inland water events, and alternating periods of drought poses significant challenges in the process of adapting to climate change. In the Carpathian Basin, extreme weather conditions exert an impact not only on the natural environment but also on the economic, political, and social spheres.

In my view, it is essential to focus on addressing these challenges as soon as possible and to concentrate on the opportunities for their mitigation. This represents a highly significant issue, one to which we must learn to adapt without delay by developing various scenarios that enable us to respond in a prepared and resilient manner to sudden and unforeseen events.

In my research, I examine the impacts of climate change at two levels of a system, applying different methods with particular attention to changes in precipitation patterns and their hydrological consequences. This approach allows for a broader perspective on the role of watercourses while also enabling the exploration of more complex interrelationships. Conducting analyses and developing forecasts in a data-scarce environment often poses difficulties; however, the combined use of multiple parameters creates an interdisciplinary framework that supports the formulation of well-grounded responses.

The application and parameterization of hydrological models represent a crucial tool for water management professionals and decision-makers. They provide the opportunity to develop multiple scenarios when addressing a variety of problems and questions.

Although they require a different perspective and approach, hydrological models have proven to be highly useful, for instance, in flood risk management, forecasting, and the study of surface and groundwater movements (Kovács et al. 2015; Alfieri et al. 2018; Chen et al. 2020).

The chosen topic covers a broad spectrum while providing detailed information on the climatological changes in the Carpathian Basin. Moreover, it presents results specific to the Tarna catchment area, particularly regarding the impacts and changes observed, as well as the application of hydrological models in flood situations.

### **Aims of research**

1. How have temperature, evaporation, and precipitation trends changed in the Carpathian Basin based on the CarpatClim database during the period 1960–2010? Is there any observable change in their spatial distribution?
2. Can the locations of areas sensitive to climate change in the Carpathian Basin be determined based on the combined analysis of climatic variables?
3. Can significant temporal and spatial changes be detected in the precipitation data of the Tarna catchment within the E-OBS database during the period 1960–2020?
4. How effectively can the HEC-RAS 5.0.7 hydrological and hydrodynamic modeling software be applied to simulate flood events of a small watercourse in a data-scarce environment, with only a limited availability of hydrological data?
5. Which flood modeling approach provides more accurate and reliable results for the Tarna catchment: modeling the entire area as a

single unit, or applying a spatially segmented model divided into separate sections?

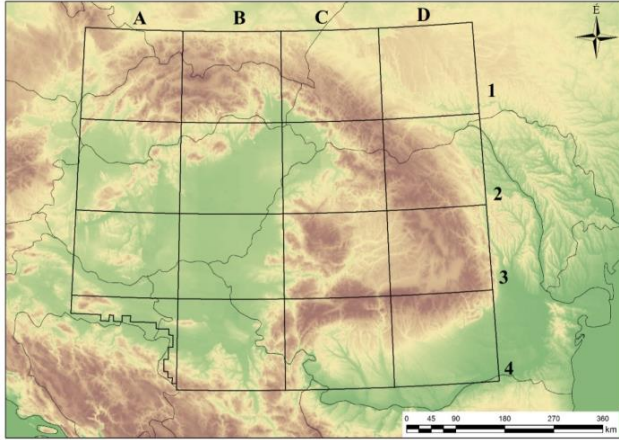
6. To what extent and in what ways do the duration and magnitude of flood events affect the accuracy and efficiency of hydrological models, as exemplified by the Tarna catchment? What degree of discrepancy can be observed between measured and modeled results?

### **Study Areas**

In my research, investigations were conducted at two levels of the system. At the regional level, the study area encompasses the Carpathian Basin, while at the catchment level, it focuses on the Tarna catchment.

The Carpathian Basin is located in central Europe and is bounded by the ranges of the Carpathians, the Alps, and the Dinaric Mountains. The formation of the major structural units of the Carpathian Basin has been determined by the geological history of the European continent.

The Tarna catchment is situated in northern Hungary, partly within the eastern Mátra region and partly in the Felső-Tarnai Hills located to its north. Its source is located in Slovakia, near the village of Tajti, and it enters Hungary at Cered. From there, it continues its course to Jászjákóhalma, then south of the settlement, it flows into the Zagyva. The Tarna flows in a north–south direction. Its catchment forms a subunit of the Tisza River system, with an area of 2,116 km<sup>2</sup> (VGT, 2010).



*Figure 1. Location of the study area, including the country borders and the grid for spatial analysis*

## **Materials and methods**

For the regional-level analysis, monthly data from the CarpatClim database for the period 1960–2010 were used, including maximum temperature (TMAX), mean temperature (TA), potential evapotranspiration (PET), and precipitation (PREC). Using the CarpatClim database, a detailed analysis of the time series was conducted over an area of approximately 500,000 km<sup>2</sup>.

Prior to the processing, a preparation phase was carried out, in which trend lines were fitted through regression analysis at each point of the prepared grid time series. This was followed by statistical analyses, including a detailed spatial assessment of climatic trends.

For the analysis of meteorological changes at the catchment level, data from the E-OBS database were processed. This database contains daily event data from 1950 to the present, aggregated in

bands and distributed over a grid. The data are measurement-based, interpolated, and provided at a daily resolution (Cornes et al., 2018).

I conducted further investigations in the Tarna catchment, followed by flood modeling. As a preparatory step, I carried out a field survey along the entire catchment area, from the confluence to the source. During the survey, at locations of particular importance for flood protection (bridges, hydraulic structures, confluences, and gauging stations), I recorded coordinates using a GPS device and maintained detailed field notes.

The first steps of my research involved data collection, followed by the selection of events, the development of hydrological models, and the evaluation of the results.

In my study, I used the HEC-RAS 5.0.7 software, developed by engineers at the U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC), to model hydrological processes.

## **Scientific results**

### **Thesis statement 1.**

**I found that, based on the CarpatClim database, between 1960 and 2010 in the Carpathian Basin, the monthly mean temperature, maximum temperature, and evapotranspiration exhibited an increasing trend across the seasons, except in autumn. However, precipitation did not follow this pattern, showing a decreasing tendency during winter.**

I summarized the results derived from the CarpatClim data into three main groups: seasonal trends, trends and change analysis of spatial distribution, and the combined effects of spatial and seasonal variations.

I examined changes in the climate variables in terms of monthly maximum temperature (TMAX), monthly mean temperature (TA), monthly precipitation (PREC), and potential evapotranspiration (PET).

My analysis of TMAX, TA, and PET (*Figure 2*) showed an increasing trend in all seasons except autumn. For TMAX (*Figure 2a*), I found that the decrease observed in autumn was less pronounced compared to the increases in the other seasons. The magnitude of the increase was similar in spring, summer, and autumn, while winter covered a larger range. At the annual scale, I observed an overall increase, and the steepness of the trend displayed a similar distribution to the first half of the year, although within a smaller range.

In the case of TA (*Figure 2b*), I observed similar patterns, with the main difference being that the variability was smaller in all seasons. I also noted that the distribution of the  $\beta_1$  values spanned a wider range in summer than in the other seasons.

For PREC (*Figure 2c*), I projected only minor changes in spring and summer, while I observed an increasing trend in autumn and a decreasing trend in winter. In the latter two seasons, the opposing effects largely balanced each other, resulting in no significant changes in the annual precipitation distribution, including spring and summer.

Regarding PET (*Figure 2d*), I identified patterns similar to those seen in mean and maximum temperatures: increases in spring, summer, and winter (with a milder trend in winter), and a decrease in autumn. The main difference was that the magnitude of these changes was interpreted over a smaller range, yet the overall change magnitude was an order of magnitude higher.

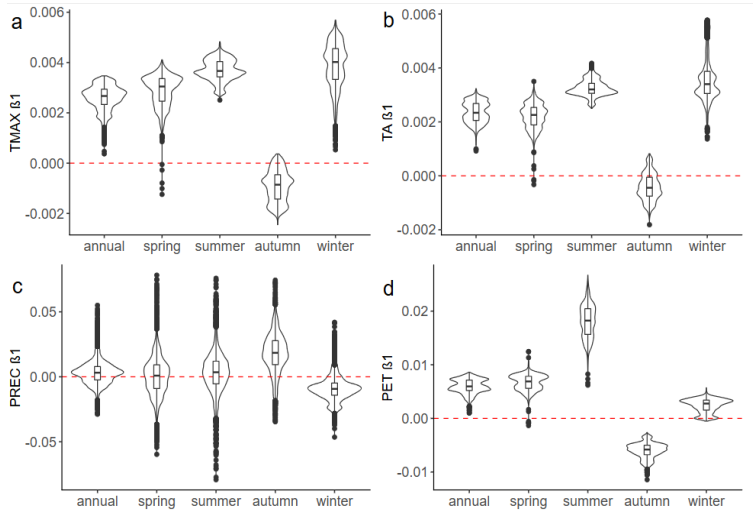


Figure 2. Combined violin plot and boxplot diagrams of the climatic variables' regression  $\beta_1$ -values (TMAX: monthly temperature maximum, TA: monthly average temperature, PREC: monthly precipitation, PET: potential evapotranspiration; ---: zero level indicating no change) Source: own elaboration

## Thesis statement 2.

**I demonstrated that the western part of Hungary and the eastern part of Croatia are the regions most sensitive to combined climatic changes in monthly maximum temperature, monthly average temperature, monthly precipitation, and potential evapotranspiration.**

The analysis of spatial trends of TMAX based on the  $\beta_1$  values showed that regions #1 and #4 exhibited almost identical patterns of maximum temperature change: the magnitude of the decrease started in the western part of the area (Figure 3a, #A),

followed by a slight increase (#D), and then a stagnation was observed (#B, #C). The trends in the two central regions (#2 and #3) were also similar, with the difference that in the eastern part of region #2 (unlike in #3) no decreasing tendency in the trend slope was observed.

For TA (*Figure 3b*), the slope of the trend decreased from west to east across all regions, but a consistent linear trend across all locations was observed only in region #3. In three regions (#1, #2, #4), a decreasing trend was evident up to the Carpathian line, beyond which an increasing trend began.

For PET, the observed trends (*Figure 3c*) showed a pattern similar to TMAX, with the difference that the locations of regions #1 and #4 were reversed. In region #1, the trend values were smaller in the west and decreased further toward the east. The initial value of region #4 can be disregarded, as data are missing for more than three-quarters of the cells, preventing direct comparison with the other regions.

An increase in precipitation (*Figure 3d*) was observed in the forelands of the high mountains (western side of the Carpathians – #C), while a decrease was noted on the eastern slopes of the mountains. Region #4 is an exception, as the Southern Carpathians and the Romanian Plain are located in cells #C and #D, where a precipitation deficit is apparent.

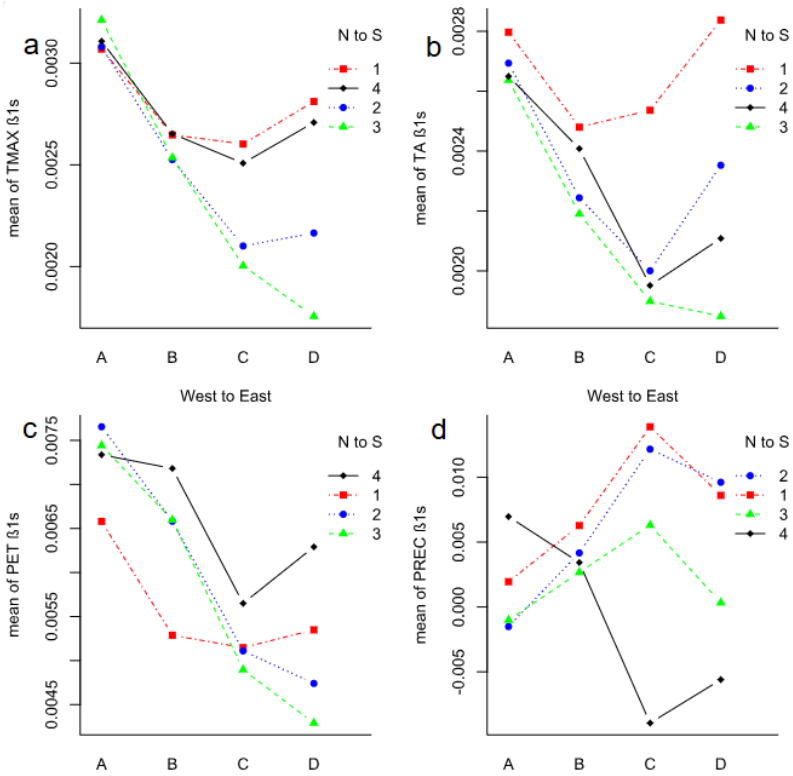
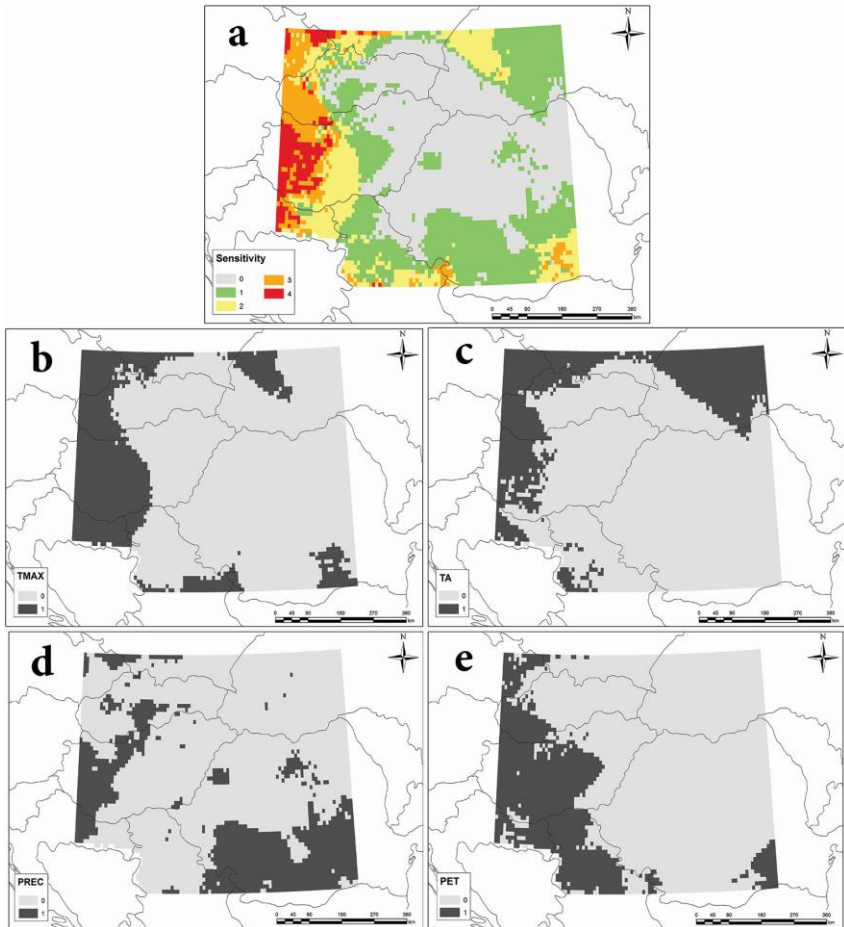


Figure 3. Interaction plots of climatic variable by spatial features (regions correspond with Fig. 1) Source: own elaboration

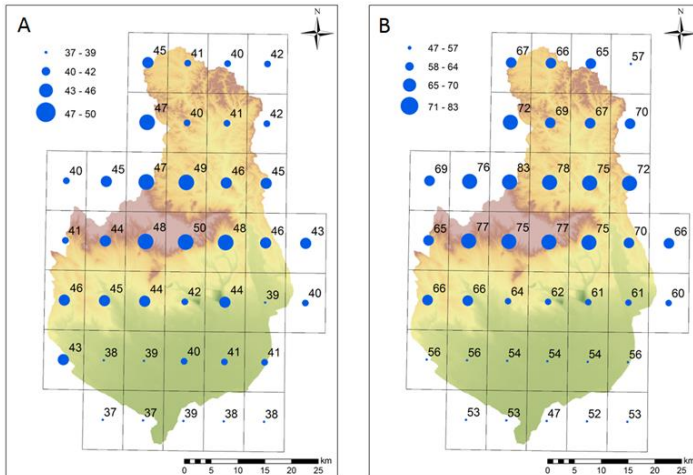


*Figure 4. Sensitive areas based on the observed highest trends ( $\beta_1$ -values) for the climatic variables using the threshold of upper quartiles (a: sum of climatic variables where all maps were added – the higher the value, the more climatic variable exceeded the threshold; b: TMAX; c: TA; d: PET; e: PREC) Source: own elaboration*

### Thesis statement 3.

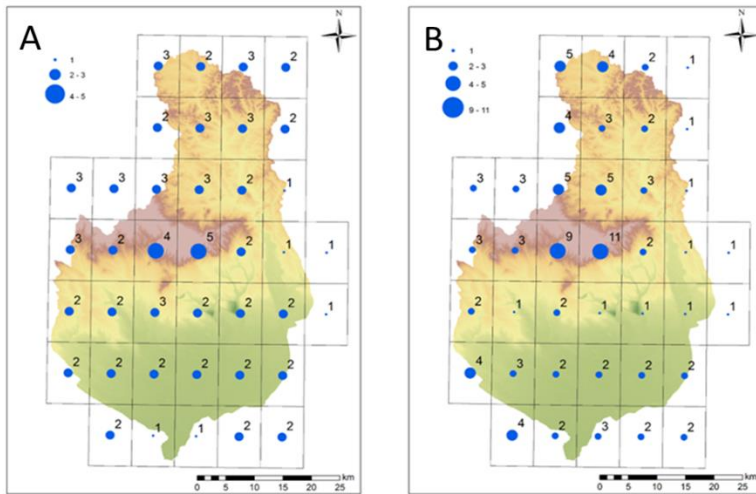
**I found that for the period between 1960 and 2020, based on the E-OBS database, significant changes could be detected in the number of rainy days and precipitation intensity on the Tarna catchment; however, no significant differences were observed in the spatial distribution of precipitation.**

Based on the data examined in the study, it can be stated that during the period 1960–1989 (A), the number of rainy days reached 50, occurring primarily in the higher areas of the catchment (*Figure 5*). In the period 1990–2020 (B), the maximum number of rainy days reached 83, which was also observed in the higher-altitude areas. These results indicate a clear increase in the frequency of rainy days. The greatest spatial heterogeneity was observed in areas where the number of rainy days was low.



*Figure 5. Comparison of the frequency of daily precipitation events (1–10 mm) between the periods 1960–1989 and 1990–2020 Source: own elaboration*

When comparing the frequency of daily precipitation events exceeding 20 mm between the periods 1960–1989 and 1990–2020, a different scale had to be applied because the occurrence of these events doubled in several regions during period B. Similar to earlier results, the tendency remained evident that such events were more frequent in higher-elevation areas, while they were rarer in lowland plains. This pattern was further confirmed in the 1990–2020 period, as the number of daily precipitation events above 20 mm doubled in certain regions (*Figure 6*).

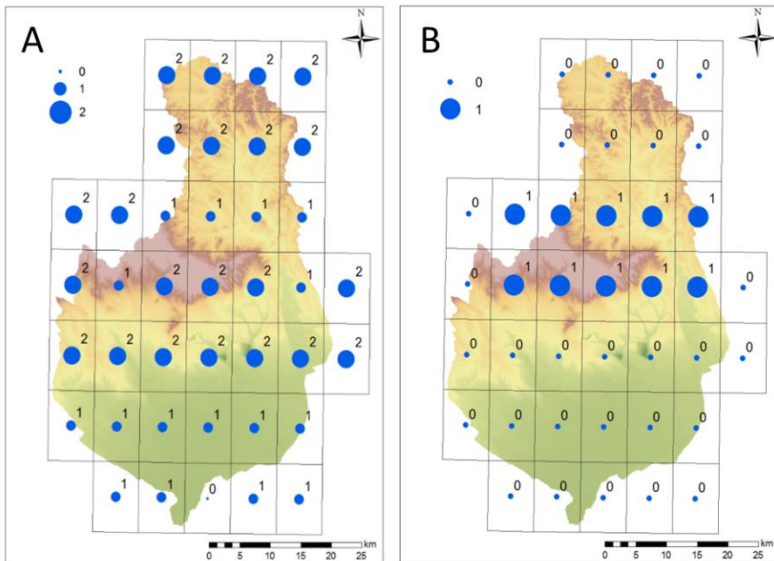


*Figure 6. Comparison of the frequency of daily precipitation events of 10–20 mm between the periods 1960–1989 and 1990–2020. Source: own elaboration*

For the 1990–2020 period, daily precipitation events of 30 mm over the catchment show higher frequency at elevated terrains, although their values vary only between 0 and 2.

The frequency of 40 mm daily precipitation during the same period ranges only between 0 and 1, typically occurring at altitudes between 650 and 1050 m. The spatial distribution of precipitation exhibits considerable temporal and spatial variability depending on elevation and the time interval. The occurrence of higher-intensity precipitation days in upland and mountainous areas can influence soil erosion, runoff patterns, and soil moisture conditions, thereby affecting the hydrological system and ecological conditions (*Figure 7*).

Based on these results, it can be concluded that a significant change in the number of rainy days is observed between the periods 1960–1989 and 1990–2020 (*Figure 7*).



*Figure 7. Frequency of 20–30 mm precipitation events (A) and 30–40 mm daily precipitation events (B) during the 1990–2020 period. Source: own elaboration*

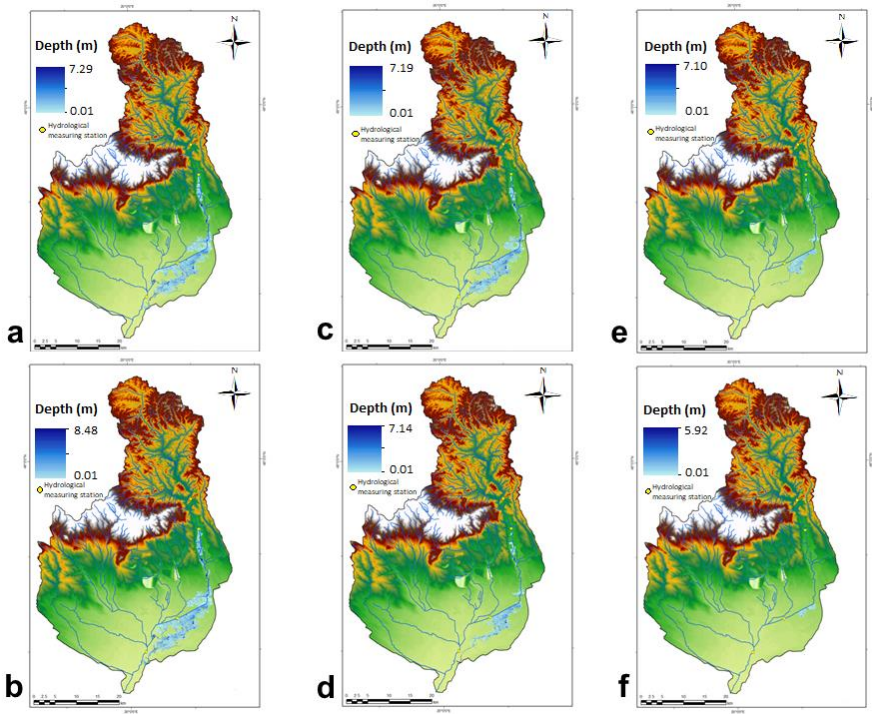
During the 1960–1989 period, the database did not record any 20–30 mm or 30–40 mm daily precipitation events in the Tarna catchment.

#### **Thesis statement 4.**

**I demonstrated that the HEC-RAS hydrological and hydrodynamic software model is suitable for simulating flood events on a small stream in a data-scarce environment, providing reasonably accurate and reliable results even when only limited measurements are available.**

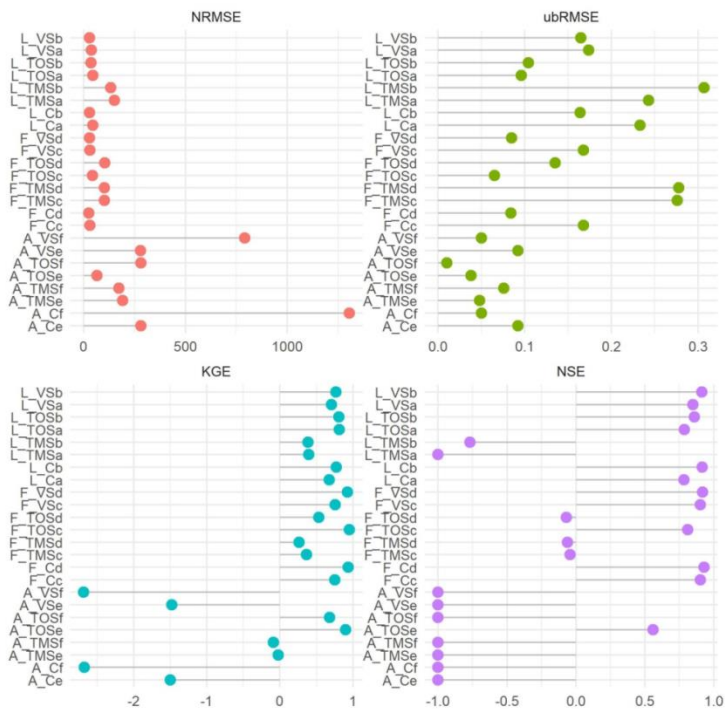
Regarding the spatial extent of the models, the L\_b and L\_a events covered the largest areas, with 50.36 km<sup>2</sup> and 46.89 km<sup>2</sup>, respectively, which was expected given the type of events. The event maps illustrate the extent of inundation, allowing the identification of sensitive areas. The middle section (TMS) exhibited the greatest flood extent, with the L\_b event covering 39.86 km<sup>2</sup>, followed by the identifiable portion in the middle section during the L\_a event at 37.74 km<sup>2</sup> (*Figure 8*).

In the lower section (TOS), the highest extent was observed for the L\_a event at 1.41 km<sup>2</sup>, while the subsequent events ranged only between 0.88 and 0.01 km<sup>2</sup>. These results can primarily be explained by the characteristics of the lower river section, including the larger channel diameter and more developed channel infrastructure. In this section, more robust infrastructure is available to effectively mitigate flood events.



*Figure 8. Spatial representation of inundation models in the Tarna catchment, Northern Hungary: a, b – largest flood event; c, d – flood event; e, f – average event. Source: own elaboration*

The NRMSE accuracy metrics confirm that the models of larger flood events generally performed well. The Kling-Gupta Efficiency (KGE) values ranged between -2.67 and 0.95, with 18 out of 24 models reaching approximately 1. In contrast, the “average” events typically performed poorly, showing weak agreement according to the statistical metrics (*Figure 9*).



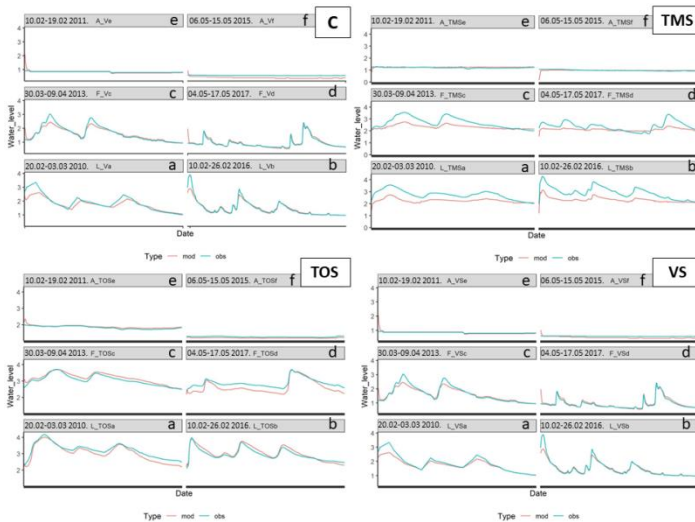
*Figure 9. Accuracy metrics of the model simulations for the Tarna catchment in Northern Hungary. L-a and L-b: Largest flood events; F-c and F-d: Flood events; A-e and A-f: Average events.  
Source: own elaboration*

NRMSE = Normalized Root Mean Square Error  
ubRMSE = Unbiased Root Mean Square Error  
KGE = Kling-Gupta Efficiency  
NSE = Nash-Sutcliffe Efficiency

## Thesis statement 5.

**I found that there is no significant difference in model accuracy or reliability between modeling the entire Tarna catchment as a single unit and applying a model divided into separate sections.**

Based on the flood modeling data, similar trends were observed for the modeled and observed water levels along the entire reach. The results indicated that the VS, TMS, and TOS sections did not exhibit significantly better performance than the C area. Therefore, segmenting smaller areas does not consistently provide better results (*Figure 10*).



*Figure 10. Spatial and event-based distribution of modeled (mod) and observed (obs) water levels in the Tarna River catchment in Northern Hungary during the model simulations. Source: own elaboration*

## Thesis statement 6.

**Based on the modeling results, I demonstrated that flood events of longer duration and higher water levels increase model accuracy, whereas events with average parameters resulted in weaker statistical fit.**

The values of event “b” produced outstanding results across all areas, as expected, since this event was characterized by the longest duration and the highest discharge within the time interval. This was followed by events “d,” “a,” and “c,” which also yielded similarly good results (*Figure 11*). During the analysis, events “e” and “f” showed significant deviations from the other events in all areas. As anticipated, these models performed the least favorably due to the short time interval and the limited variability of the input data. The average values and accuracy of these events differed from those of the higher and highest water levels.

When applying the Taylor diagram to water level estimation, models located closer to the center of the diagram with lower standard deviation values indicate higher reliability and greater accuracy. Correlation coefficients generally showed a strong relationship between modeled and observed values, with some exceptions—particularly for events “e” and “f,” where other accuracy metrics also indicated lower performance (*Figure 11*).

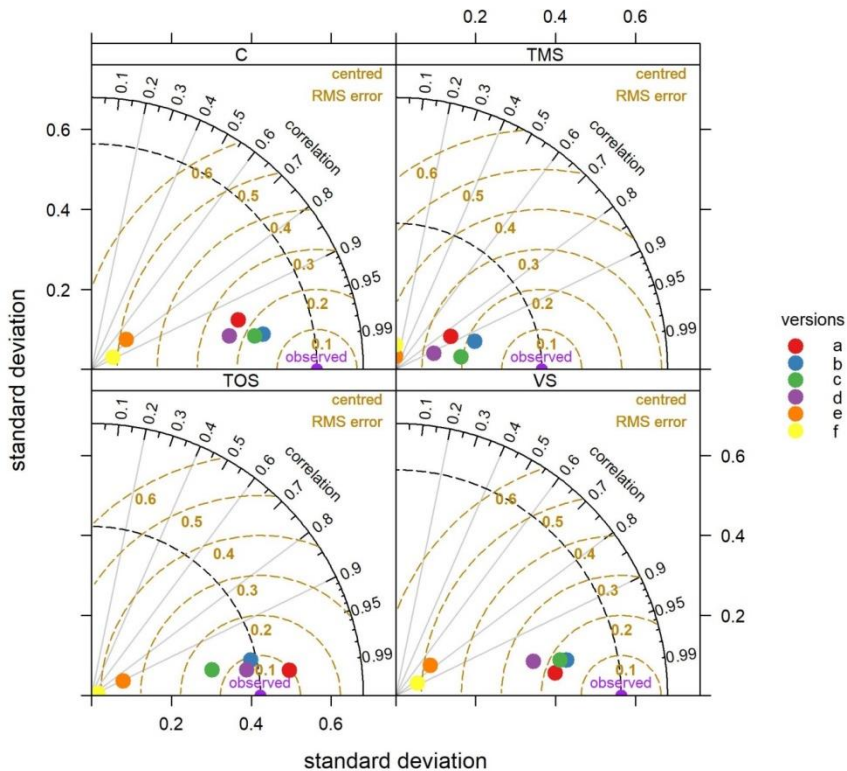


Figure 11. Taylor diagram of the hydrological models for the Tarna River catchment, categorized by areas and events. C: entire catchment, VS: upper section, TMS: middle section, TOS: lower section

## Acknowledgement

The research presented in the article was carried out within the framework of the Széchenyi Plan Plus program with the support of the RRF 2.3.1 21 2022 00008 project.

## References

Alfieri, L., Cohen, S., Galantowicz, J., Schumann, G.J.-P., Trigg, M.A., Zsoter, E., Prudhomme, C., Kruczkiewicz, A., Coughlan De Perez, E., Flamig, Z., Rudari, R., Wu, H., Adler, R.F., Brakenridge, R.G., Kettner, A., Weerts, A., Matgen, P., Islam, S.A.K.M., De Groeve, T., Salamon, P. (2018): A global network for operational flood risk reduction. *Environmental Science & Policy* 84, 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.03.014>

Chen, X., Chen, L., Stone, M. C., Acharya, K. (2020): Assessing connectivity between the river channel and floodplains during high flows using hydrodynamic modeling and particle tracking analysis. *Journal of Hydrology*, 583, 124609. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124609>

Cornes, R.C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M., Jones, P.D. (2018): An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 123, 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>

Kovács, S., Lovas, A., Gombás, K. (2015): Flood protection of Hungary in the integrated water management in the Tisza River Valley as an example. *Hidrológiai Közlöny*, 95(4), 6–19.

VGT (2010): A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása. Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 2-11. Tarna. Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, Észak-magyarországi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, Budapest.



Registry number: DEENK/339/2025.PL  
Subject: PhD Publication List

Candidate: Noémi Mária Szopos  
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences  
MTMT ID: 10066983

### List of publications related to the dissertation

#### Foreign language scientific articles in Hungarian journals (2)

1. Szabó, S., **Szopos, N. M.**, Balázs, B., László, E., Milosevic, D., Conoscenti, C., Lázár, I.:  
Geospatial analysis of drought tendencies in the Carpathians as reflected in a 50-year time series.  
*HunGeoBull.* 68 (3), 269-282, 2019. ISSN: 2064-5031.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.15201/hungeobull.68.3.5>
2. **Szopos, N. M.**, Czellecz, B.: High water level observations along the upper course of the Olt River (Romania) from a hydrological modelling aspect.  
*Acta geogr. Debr., Landsc. environ. ser.* 11 (2), 10-19, 2017. ISSN: 1789-4921.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21120/LE/11/2/2>

#### Foreign language scientific articles in international journals (1)

3. **Szopos, N. M.**, Holb, I., Abriha, D., Szabó, S.: Flood risk assessment of a small river with limited available data.  
*Spat. Inf. Res.* 32, 787-800, 2024. ISSN: 2366-3286.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s41324-024-00596-8>  
IF: 2 (2023)

#### Hungarian conference proceedings (2)

4. **Szopos, N. M.**, Szabó, S.: Vízgyűjtővizsgálat térinformatikai módszerekkel a Tarna vízgyűjtőjének példáján.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 307-312, 2021. ISBN: 9789633189771
5. **Szopos, N. M.**, Czellecz, B.: Villámárvízi észrevételek az Olt felső szakaszán egy hidrológiai modellezési nézőpontból.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 349-353, 2018. ISBN: 9789633187234





### List of other publications

#### Foreign language scientific articles in international journals (1)

6. Czellecz, B., **Szopos, N. M.**: The Past and Present of the Transylvanian Salt Waters.  
*Stud. Univ. Babeş-Bolyai, Geogr.* 62 (2), 49-70, 2017. ISSN: 1221-079X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.24193/subbgeogr.2017.2.03>

#### Hungarian conference proceedings (4)

7. **Szopos, N. M.**, Czellecz, B., Zsuga, A., Asztalos, G.: Térinformatikai modellezés alkalmazása az ökológiai vízpótlás lehetőségeinek vizsgálatára a Hortobágyi ártéri öblözet területén.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában = Theory meets practice in GIS : Debreceni Egyetem Térinformatikai Konferencia és Szakkiallítás/ szerk. Abriha-Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 239-246, 2025. ISBN: 9789634907121
8. Tóth, N., Nagy, B., **Szopos, N. M.**: Hidrometeorológiai tényezők kapcsolatának vizsgálata a vízhozammal a Galga-patak vízgyűjtő területén.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debrecen Egyetemi Kiadó, Debrecen, 321-326, 2021. ISBN: 9789633189771
9. Nagy, B., **Szopos, N. M.**: Hidrológiai modellekben bekövetkező változások eltérő felbontású digitális domborzatmodellek alkalmazása esetén.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debrecen Egyetemi Kiadó, Debrecen, 205-210, 2019. ISBN: 9789633180549
10. Bertalan, L., Nagy, B., **Szopos, N. M.**, Eitner, A., Sardemann, H., Mader, D.: Medertopográfiai és hidrometriai vizsgálatok a Sajó mentén pilóta nélküli vízi- és légi járművekkel.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 55-60, 2019. ISBN: 9789633180549

#### Foreign language conference proceedings (3)

11. Eitner, A., Mader, D., **Szopos, N. M.**, Nagy, B., Grundmann, J., Bertalan, L.: Using Thermal an RGB UAV imagery to measure surface flow velocities of rivers.  
*Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 43 (B2), 717-722, 2021. EISSN: 2194-9034.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-717-2021>
12. Czellecz, B., Gábor, I., **Szopos, N. M.**, Schiopu, G., Ravasz, L., Gombos, L.: Mineral waters from upper Trotuş river basin.  
In: Aerul si apa componente ale mediului = Air and water components the environment  
Babeş Bolyai University Faculty of Geography, Cluj Napoca, 143-150, 2017, (ISSN 2067-743X)





13. Czellecz, B., Gábor, I., Ravasz, L., Schiopu, G., **Szopos, N. M.**: Saline water resources in Cluj-Napoca surroundings.  
In: Air and Water Components of the Environment, Babes Bolyai University Faculty of Geography, Cluj Napoca, 408-415, 2016, (ISSN 2067-743X)

Hungarian abstracts (1)

14. Bertalan, L., **Szopos, N. M.**, Nagy, B., Eitner, A.: Drónokkal végzett hidromorfológiai monitoring új módszerei a Sajó példáján.  
In: X. Magyar Földrajzi Konferencia = 10th Hungarian Geographical Conference : absztraktkötet. Szerk.: Karátson Dávid, Nagy Balázs, A Földgömb az Expedíciós Kutatásért Alapítvány, Budapest, 28, 2021. ISBN: 9786150128993

Foreign language abstracts (1)

15. Bertalan, L., Sardemann, H., Mader, D., **Szopos, N. M.**, Nagy, B., Eitner, A.: Geomorphological and hydrological characterization of a meandering river by UAV and UWV applications. *Geophys. Res. Abstr.* 22. 18069. 2020. ISSN: 1029-7006.

**Total IF of journals (all publications): 2**

**Total IF of journals (publications related to the dissertation): 2**

The Candidate's publication data submitted to the Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

28 May, 2025

