

# A hidrológiai és hidrodinamikai modellek alkalmazása a felszíni vízállás adatok becslésére adathiányos vízgyűjtőkön

Tran Quang Hop<sup>1</sup>, Fehér Zsolt Zoltán<sup>2</sup> Rakonczai János<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Vízgyűjtő-gazdálkodási Osztály. Országos Vízügyi Főigazgatóság. 1012 Budapest, Márvány utca 1/D. (E-mail: [tran.quang.hop@ovf.hu](mailto:tran.quang.hop@ovf.hu))

<sup>2</sup>Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet. Debreceni Egyetem. 4032 Debrecen, Böszörményi út 146/B. (E-mail: [feherzsolt.iarn@gmail.hu](mailto:feherzsolt.iarn@gmail.hu))

<sup>3</sup>Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6. (E-mail: [J.Rakonczai@geo.u-szeged.hu](mailto:J.Rakonczai@geo.u-szeged.hu))

## Kivonat

A technológiai és informatikai fejlődésnek köszönhetően a hidrológiai modellek egyre nagyobb teret kaptak és napjainkban folyamatosan egyre hatékonyabb eszközökké válnak a vízgazdálkodás fontos stratégiai kérdések megválaszolása során. A hidrológiai modellek a különféle matematikai, fizikai és kémiai egyenleteket természetben lezajló vízforgalmat a valósághoz közelítően igyekeznek szimulálni. A modelleket és különösképpen a hidrológiai modellekben feltétlenül kalibrálni, illetve – amennyiben rendelkezésre állnak az adatok – validálni kell ahhoz, hogy ténylegesen alkalmasak legyenek a hidrológiai folyamatok (pl. vízállás, vízhozam) leképezésére. Magyarországon számos olyan kisvízgyűjtő található (például a Dong-ér kisvízgyűjtő), ahol nincs kiépítve felszíni víz monitoring rendszer, így nem tudunk ténylegesen mért adatokkal dolgozni. Ennek hiányában nem tudjuk a modellünket közvetlenül kalibrálni, illetve validálni. Tanulmányunk valójában Tobler első törvényére épít, miszerint *"minden minden máshoz kapcsolódik, de a közeli dolgok inkább összefüggenek, mint távoli dolgok"*. A tétel logikáját követve a hidrológiai -, illetve hidrodinamikai folyamatok, valamint egyéb környezeti elemek közötti kapcsolatokat vizsgáljuk, akkor az egyes környezeti tényezők hatása arányaiban nem térhet el szignifikánsan a két terület között. A fenti hipotézis az alapja a hidrológiai analógia alapján történő modellezésnek. A Dong-ér kisvízgyűjtőn a részletes területi adatok hiánya miatt egy szomszédos, a hasonló területi adottságokkal jellemezhető referencia vízgyűjtő adataira kalibrált paraméterekkel helyettesítettük. A Fehértó-majsai kisvízgyűjtő szatymazi mérőállomásán mért felszíni adatokból kiindulva meghatároztuk a csapadék-lefolyás (MIKE NAM) és hidrodinamikai (MIKE Hydro River) modellekhez kalibrált paramétereket. A módszertan alkalmazhatóságának értékeléséhez a statisztikai együtthatók közül az alábbiakat vizsgáltuk meg: abszolút közép hiba (MAE), négyzetes középhiba (RMSE), korrelációs együttható (r) és a Nash-Sutcliffe hatékonysági együttható (NSE). A statisztikai eredmények alapján a mért és szimulált értékek jó illeszkedést mutatnak (NSE  $\geq 0,65$ ). A kifejlesztett eljárás hatékonyan alkalmazható az adathiányos területek vízgyűjtő-szintű modelljeinek felépítése során, lehetővé téve ezáltal a hidrológiai körforgás elemzését és értékelését szélesebb spektrumú értékelését.

## Kulcsszavak

Dong-ér kisvízgyűjtő, numerikus modellezés, adathiány, hidrológiai analógia.

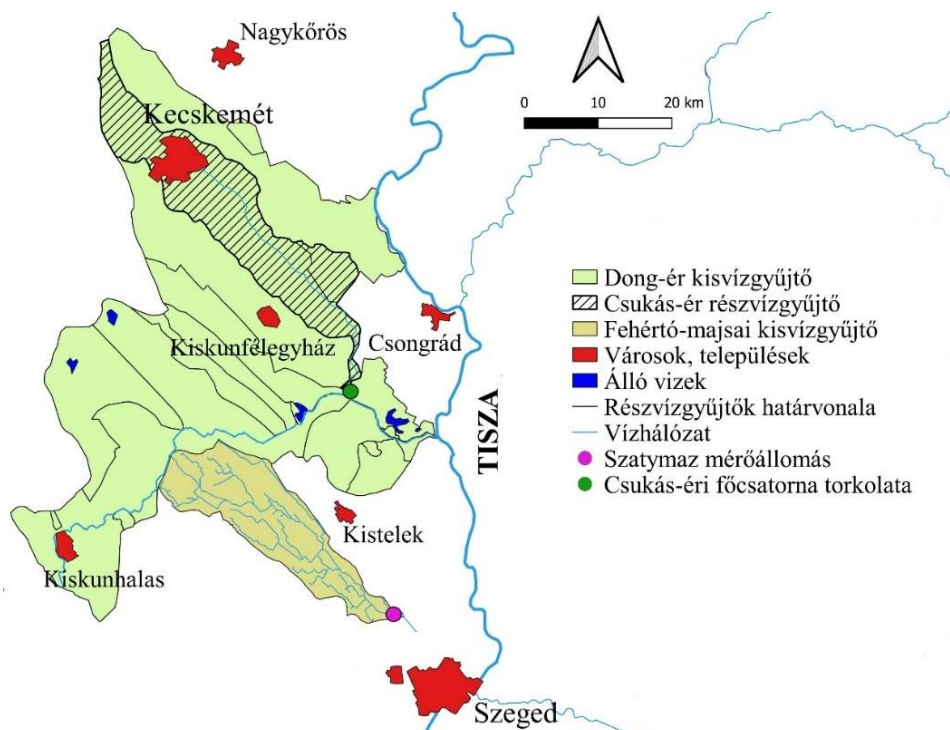
## BEVEZETÉS

### A MINTATERÜLET BEMUTATÁSA

#### A Dong-ér kisvízgyűjtő

Dong-éri főcsatorna belvízrendszer a Duna–Tisza-közi hátság középső részén, Magyarország déli határától körülbelül 50 km-re található, legnagyobb részét az Alsó-Tisza Vízügyi Igazgatóság kezeli. A vízgyűjtő teljes területe 2 127 km<sup>2</sup>. A vízgyűjtő nyugati része a Bugaci-homokhát keleti részéhez tartozik, ahol az enyhén hullámos síkság és északnyugati- délkeleti irányban elhúzódó buckasor, a szélbarázdák, vizenyős láppal, tőzeggel borított terület. Az

itteni átlagos relatív relief értéke  $3,5 \text{ m/km}^2$ . A terület felszín közeli üledékében a futóhomok dominanciát mutat, a vastagsága néhány métertől 50-60 m-ig terjedhet. A vizeinek nagyobb része a Dong-éri-főcsatornába folyik. A Dong-ér kezdeti szakaszán – a Duna–Tisza-közi hátság vízvásztója közelében – minimális a felszíni vízszállítás, az időnként ki is száradó medret inkább csak a vizes élőhelyek növényzete mutatja. Ezért itt vízkészlete hasznosításra nem alkalmas, inkább a felszín alatti vízkészletek használata kerül előtérbe (Kozák 2020). A Bugaci-homokhat talajvize annak idején 2-4 m mélységben volt elérhető, de az utóbbi időszakban jelentős süllyedést tapasztalható. A Dong-ér kisvízgyűjtő délnyugati része a Dorozsma-Majsai-homokháthoz tartozik. A Dong-ér kisvízgyűjtő nagyobb része a Kiskunsági löszös háthoz tartozik, ahol lösszel és homokkal borított hordalékkúp síkság (Dövényi 2010). Az itteni relatív relief értéke  $5 \text{ m/km}^2$ . A vízgyűjtőn az egymással közel párhuzamosan lévő – ÉNy-DK-i irányú – csatornák rendszere összegyűjti és Dong-éri-főcsatornába szállítja a többlet vizet, majd a Baks település közelében Tiszába ömlik. Az uralkodó szélirány északnyugati, átlagos szélesség 2-3 m/s körül alakul. A szél tevékenysége alakította a helyi domborzatot. A terület domborzata alapvetően meghatározza a vízhálózatokat. A Dong-ér-főcsatorna folyásiránya nagyjából nyugat-keleti, míg a mellékcsatornák folyásiránya északnyugat-délkeleti, jellemzően a természetes deflációs mélyedéseket követik. Csapadékos időszakokban a talajvíz megjelenhet a deflációs mélyedésekben, átmenetileg elöntött területeket képeznek (Sipos és Právecz 2014).



1. ábra. A Dong-ér kisvízgyűjtő és a Fehértó-majsai kisvízgyűjtő

Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) két regionális klímamoddellel és két forgatókönyvvel készített vizsgálatai alapján Magyarország átlaghőmérséklete az évszázad végére 3-

4 °C-kal emelkedhet és így a 2 °C küszöböt várhatóan hamarabb fogja elérni. A mintaterület az ország legmelegebb, legszárazabb vidékei közé tartozik, ennek megfelelően a térség aszályhajlama igen nagy (*Sipos és Právecz 2014*). A terület éghajlata mérsékelt, illetve melegszáraz. Az OMSZ adatbázisa szerint a térségben az átlagos éves csapadékösszeg 611 mm körül alakult, de szélsőséges esetben akár 842 mm-t 2014-ben vagy a csapadékhiányos 2000 évben 203 mm-t mértek. A 2000-2018 közötti időszakban a havi középhőmérséklet legalacsonyabb értéke -5,2 °C 2012 februárjában és 2017 januárjában, a legmagasabb +24,5 °C volt 2018 augusztusában, és az átlagos havi középhőmérséklet +12,5 °C körül ingadozik. A hótakaró vastagsága télen átlagosan 18-22 cm.

A nem öntözött szántóterület uralja a vízgyűjtő 41%-át, ezt követik a legelők (13%), a lombos erdők (10%), a fennmaradó területen kisebb terjedésben található időszakos erdőcserjéseket, különböző művelési tevékenységeket, és nem folytonos betelepüléseket. A rendelkezésre álló genetikai talajtérkép (*MTA TAKI 2009*) alapján a terület talajadottságai rendkívüli heterogének, a legjellemzőbb talaj típusok a futóhomokos homokos talajok, a humuszos homoktalaj, a csernozjom és mélyedésekben a szikes talajok. Ezekre a talajtípusokra általában igen nagy víznyelés jellemző. A Duna–Tisza-közi térségben igen intenzív talajvízváltozás volt az elmúlt évtizedekben megfigyelhető (*Tran et al. 2022; Pálfai 1994*). A talajvíz csökkenés átlagosan 2 méter körül alakult, de a magasabb helyeken ennek többszöröse is bekövetkezett (*Fehér 2019*). A tartósan csapadékos időszakban megfigyelhető volt, hogy a homokhátság alacsonyabb részein nemcsak helyreállt a vízhiány, hanem annyira felemelkedett a talajvízszint, hogy időnként már káros felszíni elöntéseket is okozott (*Szatmári–van Leeuwen 2013; Kozák 2011*).

### **A Fehértó-majsai kisvízgyűjtő**

A Fehértó- majsai-főcsatorna vízgyűjtője 290 km<sup>2</sup> kiterjedésű, ami közel azonos méretű, mint a Dong-ér vízgyűjtő Csukás-éri részvízgyűjtője (1. ábra). A kisvízgyűjtő az ország déli részén található, északon a Dong-ér vízgyűjtő határolja. A kisvízgyűjtő területének nagy része a Dorozsma-majsai-homokháton helyezkedik el, a keleti- és az alsó szakasza pedig a Dél-Tisza völgyben húzódik (*Dövény 2010*). A főcsatorna felső szakaszának lejtése 0,78-1,16 m/km, míg az alsó része 0,27-0,78 m/km (*Právecz et al. 2015*). A vízgyűjtő relatív reliefje körülbelül 3-6 m/km<sup>2</sup>. A domborzati formakincsére leginkább a homokos dűnék és a fluvialis mélyedések jellemzők, a vízhálózata az uralkodó szélirány okozta eolikus formákhoz (ÉNy-DK) igazodott (*Marosi és Somogyi 1990*), ami a Dong-ér vízgyűjtőben is megfigyelhető. A meteorológiai adottságai – például az éves csapadékösszege körülbelül 520-570 mm, ami közel megegyezik a Dong-ér vízgyűjtővel, hiszen szomszédos vízgyűjtőkről van szó (1. ábra). Általánosságban elmondható, hogy a Fehértó-majsai kisvízgyűjtő területe, a lejtés viszonya, a vízhálózat jellemzői (hálózatsűrűség, folyásirányok), a talaj adottságai kísértetiesen hasonlítanak a Dong-ér vízgyűjtőhöz, illetve ezen belül a Csukás-ér főcsatorna részvízgyűjtő természeti adottságaihoz.

## **AZ ALKALMAZOTT MODELLEK BEMUTATÁSA**

### **A MIKE Hydro River dinamikai modell**

#### *A modell ismertetése*

A MIKE Hydro River természetes folyómedrekben a vízmozgás egy dimenziós leírására szolgáló hidrodinamikai modell, amely képes a vízfolyások hidraulikáját, hidrodinamikáját, a vízminőséget, a hordalék mozgásokat, az árvízi jelenségeket szimulálni és előrejelezni. A modell dinamikus hullám megközelítéssel oldja meg a Saint Venant egyenleteket. Az egyenletrendszer részletes levezetésével és a különféle összefüggések vizsgálatával számos szakirodalomban találkozhatunk (*Chow 1959; Cunge et al. 1980; Abbott és Cunge 1982; DHI 2019b*)). A dinamikus Saint Venant áramlási egyenletek számos változót tartalmaznak, amelyek egy része automatikusan kiszámításra kerül a szimuláció során, egyes paraméterek ugyanakkor a felhasználó által definiált értékek.

A MIKE Hydro River modell beállítása egy dinamikus adatfa struktúrában történik. A szimuláció specifikációja során történik meg a szimuláció struktúrájának kialakítása a megfelelő modulok struktúrálása során. A beállítás magában foglalja a szimulációs periódus és szimuláció időlépéseinek, valamint a számítás kontroll paramétereinek meghatározását. A térkép konfigurációja során lényeges a helyi koordináta rendszer megfelelő meghatározása. A tanulmányban a HD72 (Hungarian Datum 1972) egységes országos vetület (EOV) rendszerét választottuk alapul. A mederhálózat (river network) szerkesztőben fontos az egyes vízfolyások meghatározása és az egyes folyóágak kapcsolódási struktúrájának megfelelő definiálása. A mederhálózat egy másik fontos művelete a meglévő vízfolyások keresztmetszvényeinek beállítása. Ez a műveletet egy külön modulban történik (MIKE Zero/MIKE Hydro/Cross Section), ahol a vízfolyások mért vagy/és feltételezett keresztmetszvényeinek szerkesztése végezhető el. A mederhálózat szerkesztőben lehetőség van a meglévő vagy a beépítendő/tervezendő műtárgyak beállítására. A modell kalibrálása során a meder érdességi tényezők és/vagy a vízhozam értékeit határozhatjuk meg. A peremfeltételek panel lehetőséget biztosít az alapértelmezett peremfeltételek, mint a vízszintek és be-, kifolyási hidrográfok, a folyóágak áramlási jellemzőinek, különféle meteorológiai adatok és egyes szerkezetekkel kapcsolatos peremfeltételek beállítására. A kezdeti feltételek panelben lehet a hidrodinamikai kezdeti feltételeket beállítani, illetve az előző szimuláció kimeneti eredményeit alkalmazni. A MIKE SHE Couplings párbeszédpanel lehetővé teszi a MIKE Hydro River modellben lévő medrek összekapcsolását a MIKE SHE felszín alatti vízáramlás modellel. A menteni kívánt modelleredmények során meghatározhatjuk a hidrodinamikai paraméterek idő- és térbeli felbontását, illetve magukat a paramétereket. A jelen tanulmány keretei között bemutatott hidrodinamikai modellekben 1 órás időbeli felbontás választottunk.

### **A MIKE NAM csapadék-lefolyás modell**

A MIKE NAM csapadék-lefolyás modell egy halmozott paraméterű konceptuális modell, amely képes a részletes térbeli adatok hiányában is a vízgyűjtőn lejátszódó folyamatok leírására és a kifolyási szelvényében a lefolyásösszeg kiszámítására (*Liptay-Czigány 2014*). A NAM modell

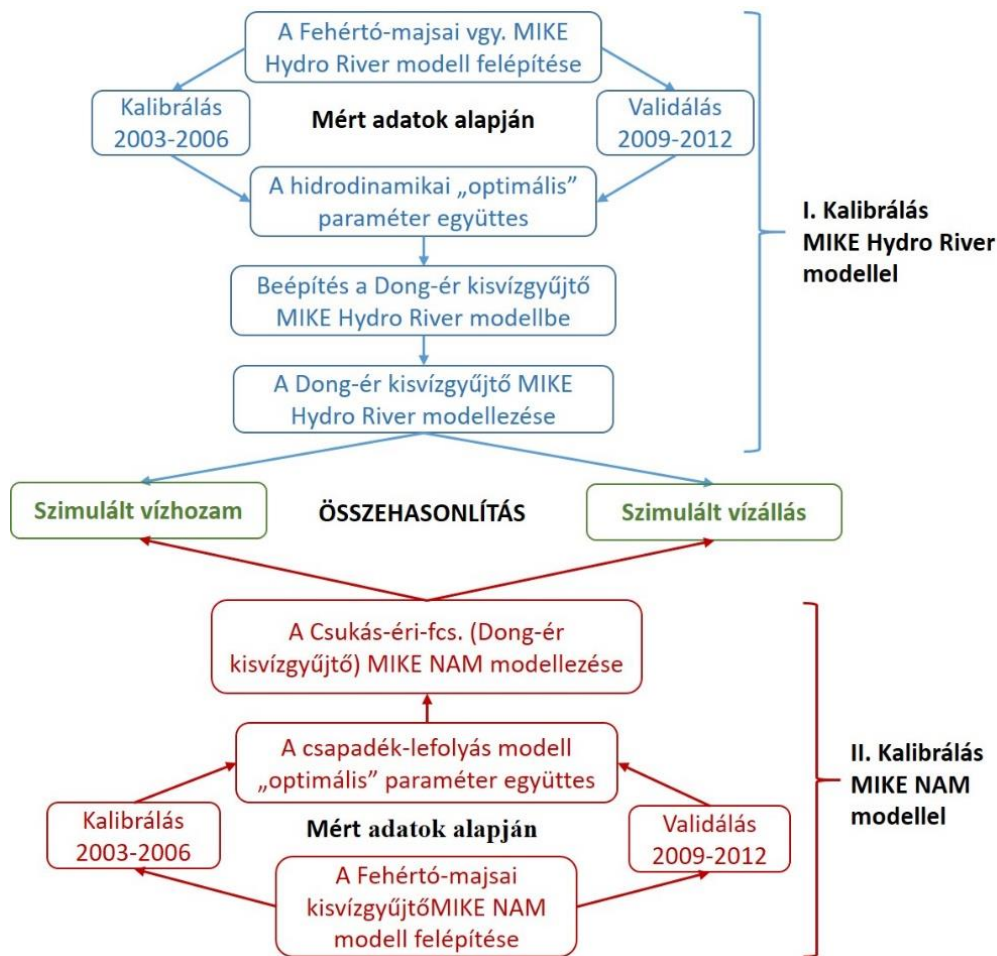
négy függőleges tározók egymásra gyakorolt lineáris kölcsönhatásának elvén épül fel. A legfelső réteg a hó tározó, amely függ a hőmérséklettől. Az eső és/vagy az olvadt hó a felszíni tározóba kerülnek. A felszíni tározóba tartoznak az intercepció által visszafogott -, felszíni mélyedésekben -, és a felszínen lévő vízkészletek. A felszíni tározó befogadó képességének felső határát egy  $U_{max}$  paraméterrel határozzuk meg. A felszíni tározó vízkészlete (U) egyrészt folyamatosan párolog másrészt táplálja a keresztirányú szivárgást, ezáltal a felszín közeli áramlás leírására használható fel. Ha a felszíni tározóréteg vízkészlete meghaladja az  $U_{max}$ -ot, akkor a „kicsorgó” vízmennyiség a gravitáció hatására a vízfolyásokba folyik, útközben egy bizonyos hányada beszivárog a talajba, és tovább perkolálódik a gyökérszónába. A gyökérszónában lévő vízmennyiség egyrészt az evapotranszpiráció révén folyamatosan hagyja el a vízrendszert, másrészt tovább perkolálódik a talajvíz tározóba. A modell következő rétege a felszín közeli (gyökérszóna) tározó, melynek a befogadó felső határa (amelyet effektív porozitásnak is értelmezhetünk) az  $L_{max}$ , az aktuális víztartalma  $L$  és az  $L/L_{max}$  hányados adja a felszín közeli tározó vízkészlet állapotát (telítettség). A talajvíz tározóréteg további két résztározóra (felső és alsó) tagozódik, amelyek különböző időintervallumú lineáris tározókként viselkednek. Ez a két résztározó alapáramlásként táplálhatja a vízfolyásokat.

A túlfolyás és a felszín közeli áramlás az első lineáris tározón keresztül számítható ki. A további lefolyási összetevőket összegezendő és a második lineáris tározón keresztül számítják ki. Végül megkaphatjuk a teljes felszíni lefolyás értéket a kifolyási szelvényen.

## **AZ ALKALMAZOTT MÓDSZER ISMERTETÉSE**

A Dong-ér kisvízgyűjtő, mint Magyarország számos olyan kisvízgyűjtőjének egyike, ahol nincs kiépítve felszíni víz monitoring rendszer, így nincs lehetőségünk ténylegesen mért adatokkal dolgozni. Ennek hiányában nem tudjuk a hidrodinamikai modellünket közvetlenül kalibrálni, illetve validálni. Az adathiányos vízgyűjtőkön a modell kalibrálására és validálására, valamint a meder vízállás adatainak becslésére a hidrológiai analógia alapú megközelítés, azaz a párhuzamos vízgyűjtő módszer alkalmazható (*Pereyra et al. 2019, Rientjes et al. 2011*). A Dong-ér kisvízgyűjtő modelljét a részletes területi adatok hiánya miatt egy szomszédos, hasonló területi adottságokkal jellemezhető referencia kisvízgyűjtő kalibrált paramétereivel futtattuk le. Mivel azonban a kiterjedése és a fő vízfolyás iránya miatt a Fehértó-majsai kisvízgyűjtőt nem lehetett összevetni a Dong-ér kisvízgyűjtővel (1. ábra), ezért a Dong-ér kisvízgyűjtőt kisebb részvízgyűjtőkre osztottuk. Összesen kilenc részvízgyűjtőt határoztunk meg, melyek közül a Cukás-éri-főcsatorna részvízgyűjtője bizonyult a legalkalmasabbnak arra, hogy a Fehértó-majsai kisvízgyűjtő hidrológiai rendszerét nagy vonalakban tükrözze (2. ábra).

A hidrológiai modellezéssel igyekszünk az ismereteinket kiegészíteni. Így a Fehértó-majsai kisvízgyűjtő szatymazi mérőállomásán mért felszíni adatokból kiindulva meghatároztuk a csapadék-lefolyás (MIKE NAM) és hidrodinamikai (MIKE Hydro River) modellekhez kalibrált paramétereket. Az összetett kalibrálási művelet két jól elkülöníthető eszközzel (modellel) történt (2. ábra).



2. ábra. Párhuzamos vízgyűjtő módszer paradigmája

A módszertan alkalmazhatóságának értékeléséhez a statisztikai együttthatók közül az alábbiakat vizsgáltuk meg: abszolút közép hiba (MAE), négyzetes középhiba (RMSE), korrelációs együtttható ( $r$ ) és a Nash-Sutcliffe hatékonysági együtttható (NSE). A statisztikai eredmények alapján a mért és szimulált értékek jó illeszkedést mutatnak, ha  $NSE \geq 0,65$ .

## MODELL KALIBRÁLÁSI ÉS VALIDÁLÁSI FOLYAMATOK ÉS EREDMÉNYEK

Az I. kalibrálási scenáriót és annak validálását a MIKE Hydro River hidrodinamikai modellel, a II. kalibrálási scenáriót és annak validálását a MIKE NAM csapadék-lefolyás modellel végeztük (2. ábra). A következő fejezetekben ezen elemzéseket fogjuk ismertetni.

### A MIKE Hydro River hidrodinamikai modell kalibrálása és validálása

#### *A Fehértó-majsai kisvízgyűjtő hidrodinamikai modelljének kalibrálása*

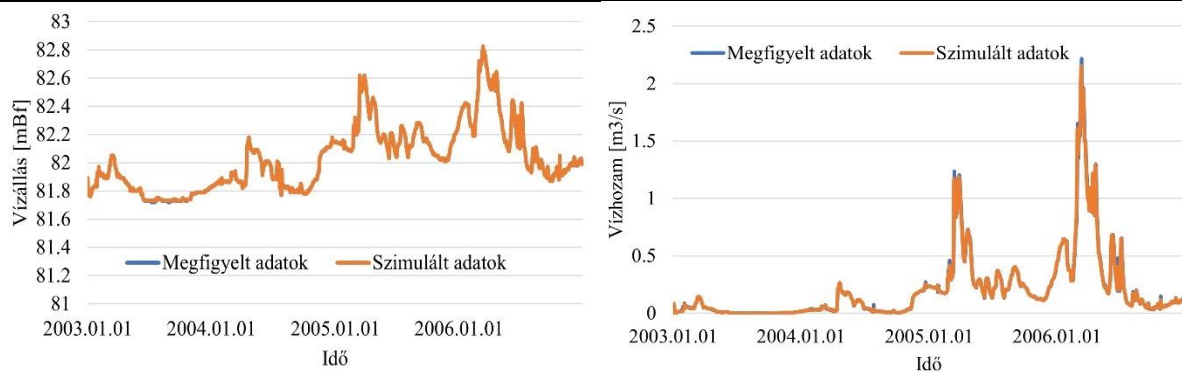
Felépítettük a MIKE Hydro River hidrodinamikai modellt a Fehértó-majsai kisvízgyűjtőre. A folyamat magában foglalja az alapadatokat (a vízhálózatok, kereszt-szelvények, meder érdesség, határmenti peremfeltételek, hidrodinamikai kezdő állapotok) beállítását. A megfelelően működő hidrodinamikai modell felépítését követően megtörtént annak kalibrálása, illetve validálása ezáltal megbizonyosodtunk annak megfelelő alkalmazhatóságáról. A Fehértó-majsai kisvízgyűjtő egyetlen pontján, a szatymazi mérőállomáson (a 4+800 fkm) zajlik vízállás

monitoring. A szatymazi mérőállomásról 1962-től állnak rendelkezésre adatok, 2003 óta digitális távmérős adatszolgáltatás történik, lehetővé téve a nagy pontosságú kalibráció lehetőségét.

A modellt a 2003-2006 közötti időszakban mért vízállás és vízhozam adatokra kalibráltuk. Az időszak választásának oka az, hogy 2000 és 2003 között jelentős csapadékdeficit halmozódott fel, majd az ezt követő 2004-es és 2005-ös év csapadékban gazdagabb volt. A MIKE Hydro River modell lehetőséget ad az időben változó hidrodinamikai adatok (vízállás, ill. vízhozam) alapján történő kalibrálásra. A kalibráció eredményeként a megfigyelt és szimulált eredmények között mind a négy statisztikai hibamutató és az idősorok is szignifikáns illeszkedést mutatnak (1. táblázat és 3. ábra).

1. táblázat. A Fehértó-majszai hidrodinamikai modell kalibrációja (2003 - 2006)

Érték	Megfigyelt	Szimulált	Eltérés	NSE	RMSE	r	MAE
Vízállás [m]	82,027	82,028	0,001	1	0,004	1	0,001
Vízhozam [m <sup>3</sup> /s]	0,204	0,204	0	1	0,033	0,989	0,01



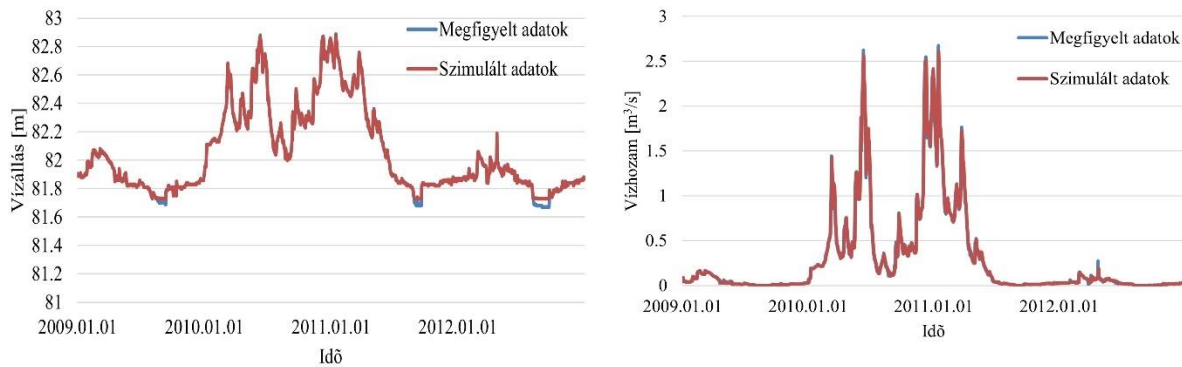
3. ábra. Megfigyelt és szimulált adatok összehasonlítása 2003-tól 2006-ig

#### A Fehértó-majszai kisvízgyűjtő hidrodinamikai modell validálás

A kalibrálási időszaktól eltérően a 2009-től a 2012-ig tartó időszak került választásra a modell validálás érdekében. Választásom oka, hogy 2006-tól 2009-ig jelentős csapadékdeficit halmozódott fel, melyet az elmúlt évszázad két legextrémebb (2010-es nedves és 2011 aszályos) éve követett. A validálás során ismét négy statisztikai hibamutatóval értékeltem az eredményeket. (2. táblázat és 4. ábra).

2. táblázat. A Fehértó-majszai hidrodinamikai modell validációja (2009-2012)

Érték	Megfigyelt étlag	Szimulált átlag	Eltérés	NSE	RMSE	r	MAE
Napi vízállás [m]	82,045	82,048	0,003	0,999	0,011	0,999	0,004
Napi-vízhozam [m <sup>3</sup> /s]	0,288	0,288	0	0,987	0,057	0,987	0,024



4. ábra. A megfigyelt és szimulált adatok összehasonlítása 2009-től 2012-ig

A fenti eredmények alapján a modell még a szélsőséges csapadékmennyiség hatását is szinte tökéletesen képes leképezni. A kalibrációs és a validációs eredmények alapján az irányított hidrodinamikai határértékek alapján felépített modell szinte tökéletesen reprodukálja a valóságban lezajló hidrodinamikai folyamatokat.

*Az „optimális” paraméter együttes beépítése a Csukás-éri részvízgyűjtő MIKE Hydro River hidrodinamikai modelljébe és a szimuláció eredményei*

A Fehértó-majszai kisvízgyűjtő hidrodinamikai modelljében alkalmazott az irányított hidrodinamikai határértékek – ezek közül a legfontosabb a mért napi adatsor *.dfs0* fájl – beépítésre került a Csukás-éri részvízgyűjtő hidrodinamikai modellbe. A szatymazi mérőállomáson alkalmazott időben változó hidrodinamikai adatok kerültek a Csukás-éri kifolyási szelvényére – zöld pont a 1. ábrán –, mint a Csukás-ér részvízgyűjtő hidrodinamikai modelljének az alsó peremére. A Csukás-éri-főcsatorna a kifolyási szelvényében – A Dong-ér főcsatornába befolyás előtti kereszt-szelvénye – a szimulált eredmények kisgyűjtésre kerülnek (1. ábra), mert a csapadék-lefolyás modellben is ebben a pontban kapom meg a csapadék-lefolyás eredményeket.

#### **MIKE NAM csapadék-lefolyás modell kalibrálása és validálása**

Wagener és munkatársai (2004) könyvükben tárgyalták a csapadék-lefolyás modellek alkalmazásának lehetőségeit a lefolyási paraméterek meghatározásában olyan vízgyűjtőkön, ahol nem áll rendelkezésre kielégítő mennyiségű és megfelelő minőségű adat. A csapadék-lefolyás modell kalibrációjának folyamata kisebb eltérésekkel hasonlít az előző fejezetben tárgyalt hidrodinamikai modellhez. A Fehértó-Majsa kisvízgyűjtő hidrológiai számításához a MIKE NAM csapadék-lefolyás modellt alkalmaztuk (2. ábra).

A Fehértó-majszai kisvízgyűjtő hét részvízgyűjtőre tagolódik, ugyanakkor a csatornáról csak a 4+800 fkm-en történik vízállás és vízhozam-mérés, amely a szatymazi részvízgyűjtőhöz tartozik. Ez az állomás használható a modell kalibrálásához és validációjához.



### *A Fehértó-majsai kisvízgyűjtő csapadék-lefolyás modelljének kalibrációja és validációja*

A Fehértó-majsai kisvízgyűjtő MIKE NAM modelljét az 1999-2000-es évek adatai alapján kalibráltuk. A vizsgálati időszakot a 2000. évi súlyos magyarországi aszály miatt választottuk ki. A 2010-es nagy mennyiségű csapadék miatt a modell-validációhoz a 2009-2010-es vizsgálati időszakot választottuk. Meg kell jegyezni, hogy az alkalmazott csapadék-lefolyás modell csak vízhozamokat és vízmennyiségeket szimulál. A szimulációk eredményeit összehasonlítottuk a szatymazi mérőállomáson megfigyelt vízhozamokkal. Az összehasonlítási eredmények validitásának értékelésére a Nash-Sutcliffe-féle hatékonysági együtthatót használtuk (3. táblázat).

*3. táblázat. A MIKE NAM modell kalibrálásának és validálásának eredményei a szatymazi mérőállomás adatai alapján*

Sorszám	Részvízgyűjtő neve	Időszak		Nash-Sutcliffe	
		Kalibráció	Validáció	Kalibráció	Validáció
1	Szatymaz	1999-2000	2009-2010	0,58	0,63
2	Szatymaz	1999 - 2012		0,58	

Mivel a MIKE NAM modellel szimulált-, és a megfigyelt értékek kapcsolatára a Nash-Sutcliffe együttható értéke meghaladja a 0.5 értéket, így a modell-illeszkedés szignifikánsnak tekinthető (Motovilov et al. 1999; Perreault et al. 2022). Ennél jobb összeillesztést különösen nagyszámú iterációt követően sem sikerült elérni. Ennek nagy valószínűséggel az az oka, hogy a Dong-ér kisvízgyűjtőben a homokos feltalaj dominál ami a legtöbb felszínre érkező csapadékot azonnal elnyeli, így nem keletkezhet számottevő felszíni lefolyás (Tran 2021). A 4. táblázatban összefoglaltuk a Fehértó-majsa MIKE NAM modellben alkalmazott paraméterek optimálisnak vélt értékeit.

*4. táblázat. A Fehértó-majsai vízgyűjtő részvízgyűjtőinek paraméterei*

Sorszám	Részvízgyűjtő neve	Területe [km <sup>2</sup> ]	Paraméterek								
			U <sub>max</sub>	L <sub>max</sub>	CQOF	CKIF	CK1,2	TOF	TIF	TG	CKBF
1	SZATYMAZ	89,813	20	265	0,493	219,6	49,5	0,734	0,268	0,092	3416
2	BASIN1	28,428	20	300	0,4	210	50	0,5	0,451	0	2000
3	BASIN2	49,285	20	300	0,4	210	50	0,5	0,451	0	2000
4	BASIN3	5,63	20	300	0,4	210	50	0,5	0,451	0	2000
5	BASIN4	23,105	20	300	0,4	210	50	0,5	0,451	0	2000
6	BASIN5	37,96	20	300	0,4	210	50	0,5	0,4	0	2000
7	BASIN6	23,76	20	300	0,4	210	50	0,5	0,4	0	2000

### *Az „optimális” paraméter együttes beépítése a Dong-ér kisvízgyűjtő MIKE NAM csapadék-lefolyás modelljébe*

A hidrológiai analógiára alapozva a Fehértó-Majsa modellhez meghatározott paramétereket (4. táblázat) használtuk fel a Dong-ér csapadék-lefolyás modelljének felépítésére.. A Dong-ér vízgyűjtőjét 9 részvízgyűjtőre osztottuk fel a csapadék-lefolyás modell felépítése során (5. táblázat).

5. táblázat. A Dong-ér vízgyűjtő részvízgyűjtői

Sorszám	Részvízgyűjtő neve	Területe [km <sup>2</sup> ]
1	CSUKÁS-ÉR	370,068
2	BASIN2	252,696
3	BASIN3	111,954
4	BASIN4	54,825
5	BASIN5	543,752
6	BASIN6	172,148
7	BASIN7	82,440
8	BASIN8	53,173
9	BASIN9	42,518

*A Dong-ér kisvízgyűjtő MIKE Hydro River és MIKE NAM szimulációinak összehasonlítása*

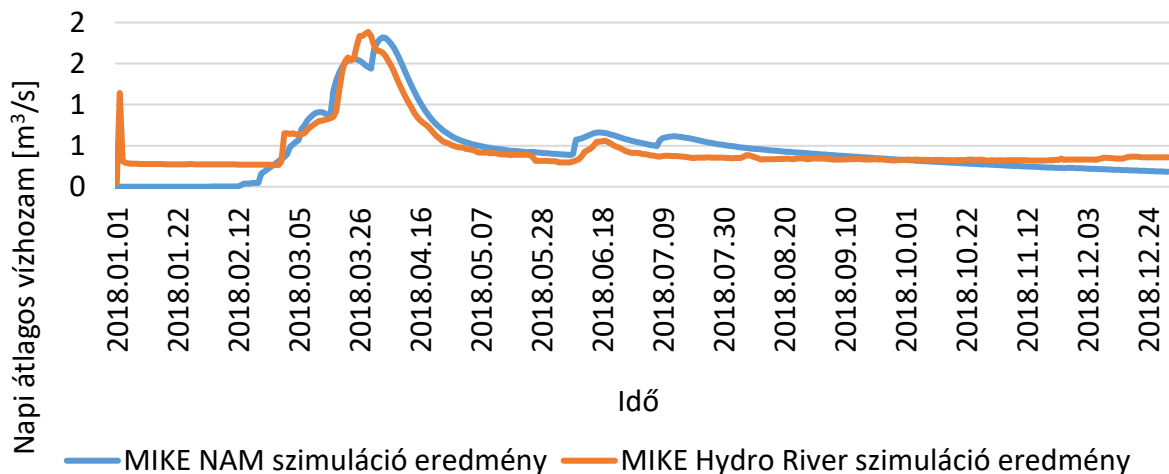
A MIKE Hydro River modell futtatását követően a csatorna bármely keresztmetszetében képesek vagyunk meghatározni a szimulált felszíni vízállás és vízhozam adatokat. A MIKE NAM csapadék-lefolyás modell ugyanakkor kizárólag a vízhozamot és vízmennyiséget képes kiszámítani. Az összehasonlítás érdekében a két modellel szimulált vízhozam adatait a Csukás-ér kifolyási szelvényében vizsgáltuk meg. A két megközelítéssel szimulált eredmények közötti kapcsolat statisztikai paramétereiket a 6. táblázatban foglaltuk össze.

6. táblázat. A MIKE NAM és a MIKE HYDRO modellel szimulált adatok összehasonlítása a Csukás-ér kifolyási szelvényében

Érték	NAM szimuláció	MIKE Hydro River szimuláció	Eltérés	NSE	RMSE	r	MAE
Átlagos vízhozam [m <sup>3</sup> /s]	0,46	0,46	0	0,804	0,17	0,898	0,135

A két megközelítéssel számított átlagos vízhozamok csak nagyon minimális eltérést mutatnak. A statisztikai hibamutatók, különösen az NSE érték alapján a két modell eredményei között nagyon jó ( $NSE \geq 0,75$ ) illeszkedés mutatkozik (Lin et al. 2017).

Az 5. ábrán látható, hogy a MIKE NAM csapadék-lefolyás modellel és a MIKE HYDRO hidrodinamikai modellel szimulált eredmények nagyságrendje és időbeli lefutásának mintázata közel azonos.



5. ábra. A MIKE NAM és a MIKE Hydro River modellel való szimulált adatok összehasonlítása 2018-ban

## ÖSSZEĞZÉS

A hidrológiai modellek kalibrációja és validációja nem lehetséges olyan területeken, ahol nem állnak rendelkezésre megfelelő ill. megbízható vízszint- és vízhozam-adatok. A modellek kalibrálása és validációja ugyanakkor elengedhetetlen a megbízható modellek építéséhez. Ennek érdekében egy újszerű megoldást kellett kidolgoznunk a Csukás-ér modellezésére. A tanulmányban egyfajta hidrológiai analógia alapján állapítottuk meg a vizsgált terület csapadék-lefolyás (MIKE NAM) és hidrodinamikai modelljének (MIKE Hydro River) paramétereit. Ez jelen esetben azt jelentette, hogy a Fehértó-majsai kisvízgyűjtőre felépítettük, és kalibráltuk, illetve validáltuk modelleket, majd a modell-paramétereket felhasználtuk a szomszédos vízgyűjtő modellezésére. A Fehértó-majsai kisvízgyűjtő ideális választásnak bizonyult, mivel a Csukás-ér kisvízgyűjtőhöz hasonló természeti adottságokkal rendelkezik és a szatymazi mérőállomáson a felszíni vízállás, vízhozam adatok a vizsgált időszakban rendelkezésre állnak. Ezt követően a Fehértó-majsai kisvízgyűjtőre kalibrált optimálisnak tekintett modellparamétereket használtuk fel a Csukás-ér részvízgyűjtő csapadék-lefolyás, illetve hidrodinamikai modellezése során. Mindkét modell nagyon jó validációs eredményeket produkált.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

## Irodalomjegyzék

Abbott Micheal B.–Cunge J. A. (1982): Engineering Applications of Computational Hydraulics, Vol. I. *Pitman Advanced Publ. Program*, London.

Chow Ven Te (1959): Open Channel Hydraulics. *McGraw-Hill*, New York.

Cunge J. A.–Holly Jr. F. M.–Verwey A. (1980): Practical Aspects of Computational River Hydraulics. *Pitman*, London.

DHI (2019b): MIKE SHE Volume 2: Reference Guide. [https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2019/Water\\_Resources/MIKE\\_SHE\\_Printed\\_V2.pdf](https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2019/Water_Resources/MIKE_SHE_Printed_V2.pdf)

Dövényi Zoltán (2010): Magyarország kistájainak katasztere. (szerk.) *MTA Földrajztudományi Kutatóintézet*. Budapest. ISBN 978-963-9545-29-8

Fehér Zsolt Zoltán (2019): A Dél-Alföld talajvíz idősorainak nagy léptékű, geostatistikai alapú modellezése. Két megközelítés nem folytonos monitoring adatok együttes térbeli és időbeli sztochasztikus szimulációjára. *Doktori értekezés*. Szegedi Tudományegyetem. DOI: <https://doi.org/10.14232/phd.10122>

Kozák Péter (2011): Belvízi jelenségek az Alsó-tiszai vízgyűjtőkön az 1955-2012. közötti időszakban. *Nagyalföld Alapítvány Kötetek 7*. 127-136.

Kozák Péter (2020): Felszíni lefolyások változása a Duna-Tisza közti Homokhátság dél-keleti lejtőjén a klímaváltozás tükrében. In: Farsang, A., Ladányi, Zs., Mucsi, L. (szerk.) Klímaváltozás okozta kihívások - Globálistól lokálisig. ISBN:9789633067345. *GeoLitera*, 109–117. o.

Liptay Zoltán Árpád–Czigány Szabolcs (2014): Kis és közepes vízgyűjtők hidrológiai modellezése a MIKE 11 NAM moduljával a Mondsee vízgyűjtőjének példáján. *A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett 32. Országos Vándorgyűlés dolgozatai*, 1–16. o.

Lin Feng–Chen Xingwei–Yao Huaxia (2017): Evaluating the Use of Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient in Goodness-of-Fit Measures for Daily Runoff Simulation with SWAT. *Journal of Hydrologic Engineering*. 22. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001580.

Marosi Sándor–Somogyi Sándor (1990): Magyarország kistájainak katasztere II. (Szerk.) *MTA FKI*, Budapest 83–91.

Motovilov G. Yuri–Gottschalk Lars–Engeland Kolbjorn–Rodhe Allan (1999): Validation of a Distributed Hydrological Model Against Spatial Observations. *Elsevier Agricultural and Forest Meteorology*. vol. 98. pp. 257–277

MTA TAKI (2009): Magyarország genetikus talajtérképe. <https://enfo.hu/index.php/keptar/622>

Pálfai Imre (1994): A Duna–Tisza közi hátság vízgazdálkodási problémái. (szerk.) *A Nagyalföld Alapítvány Kötetei* 3. Békéscsaba. 126 old.

Perreault Simon–El Alem Anas–Chokmani Karem–Cambouris N. Athyna (2022): Development of Pedotransfer Functions to Predict Soil Physical Properties in Southern Quebec (Canada). *Agronomy* 2022.12.526. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020526>

Pereyra, Y., Boukra, A., Henriot, A., Forero, E., Munoz, L. M., Tian, L., Tenzin, G. (2019): Gauged and ungauged catchments: strategies for producing the relevant hydrographs with sufficient accuracy. *WaterEurope - Workgroup 05*. [https://data.aquacloud.net/public/2019/we-watereurope/students\\_export/videos/presentations\\_first%20week/Group%2005%20-%201st%20Week%20Presentation%20\(1\).pdf](https://data.aquacloud.net/public/2019/we-watereurope/students_export/videos/presentations_first%20week/Group%2005%20-%201st%20Week%20Presentation%20(1).pdf)

Rientjes H. M. Tom–Perera Udana–Haile T. Alemseged–Reggiani Paolo–Muthuwatta P. Lal (2011): Regionalisation for lake level simulation – the case of Lake Tana in the Upper Blue Nile, Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1167–1183. [www.hydrol-earth-syst-sci.net/15/1167/2011/](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/15/1167/2011/). DOI:10.5194/hess-15-1167-2011

Právecz Tamás–Sipos György–Benyhe Balázs–Blanka Viktória (2015): Modelling runoff on a small lowland catchment, Hungarian Great Plains. *Journal of Environmental Geography* 8 (1–2), 49–58. DOI: 10.1515/jengeo-2015-0006

Sipos György–Právecz Tamás (2014): Identification of water retention areas on the Dong-ér catchment using GIS. In: Blanka, V., Ladányi, Zs. (Ed.) *Drought and Water Management in South Hungary and Vojvodina*. *University of Szeged*. 157-167

Szatmári József–van Leeuwen Boudewijn (2013): *Inland Excess Water – Belvíz – Suvišne Unutrašnje Vode*. Szeged, *University of Szeged*. Novi Sad, University of Novi Sad. DOI: 10.13140/2.1.5143.3920

Tran Quang Hop (2021): Sensitivity analysis for effect of changes in input data on hydrological parameters and water balance components in the catchment area of Hungarian Lowland. *Journal of Environmental Geography* 14 (3–4), 1–13. DOI: 10.2478/jengeo-2021-0007

Tran Quang Hop–Fehér Zsolt Zoltán–Túri Norbert–Rakonczai János (2022): Climate Change as an Environmental Threat on the Central Plains of the Carpathian Basin Based on Regional Water Balances. *Geographica Pannonica*. Volume 18, Issue 4, 567–599. DOI: 10.5937/gp26-37271

Wagener Thorsten–Wheater S. Howard–Gupta V. Hoshin (2004): Rainfall-Runoff Modelling in Gauged and Ungauged Catchments. 332. o. <https://doi.org/10.1142/p335>