

Két alföldi kisvízgyűjtő éves vízmérlegének meghatározása mért és modellezett adatok alapján

Tran Quang Hop

Országos Vízügyi Főigazgatóság, Vízgyűjtő-gazdálkodási Osztály. 1012 Budapest, Márvány utca 1/D.
(e-mail: tran.quang.hop@ovf.hu)

[DOI:10.59258/HK.12340](https://doi.org/10.59258/HK.12340)



Kivonat

Vízgazdálkodásunk fontos stratégiai kérdése a területi vízmérlegek jobb megismerése. Ehhez azonban nem rendelkezünk megfelelő részletességű adatokkal, így jobbára hidrológiai modellezéssel próbáljuk ismereteinket kiegészíteni. Mivel azonban ezeket a modelleket nem a magyarországi viszonyokra dolgozták ki, ezért kétirányú kutatást kell elvégeznünk. Egyrészt meg kell határozni, hogy a rendelkezésünkre álló (nem egységes területi felbontású, és nem feltétlenül kielégítő gyakorisággal megfigyelt) adatok hogyan használhatók fel az összetett visszacsatolásokkal terhelt környezeti kapcsolattrendszerek modellezésében. Másrészt adódik a kérdés, hogy milyen biztonsággal alkalmazhatjuk hazai körülmények között a nemzetközi gyakorlatban széles körben elterjedt modelleket. Ennek érdekében havi adatok felhasználásával két alföldi kisvízgyűjtőn végeztünk kutatásokat. Ennek során összehasonlítottuk a ténylegesen mért adatokból statisztikai és hidrológiai számítással készült hagyományos (vízkészlet-gazdálkodási mérleg modellel számított) vízmérleget a csapadék-lefolyás (MIKE NAM) és a hidrodinamikai (MIKE Hydro River) modellek eredményeivel. A két vizsgált vízgyűjtő (a Dong-ér és a Berettyó) alapadatok tekintetében nagyon különbözött. A Berettyó részvízgyűjtőben számos felszíni víz mérőállomás van. Ezen rendelkezésre álló adatok statisztikai módon kiszámolt tényleges vízhozama lehet egy referencia érték, amelyhez a hidrodinamikai modell kalibrálása elvégezhető. A Dong-ér vízgyűjtő esetében a területi adatok szignifikáns hiánya miatt azokat előbb egy referencia vízgyűjtő segítségével kellett kalibrálni, hogy megbízható modellt alkothassunk. A vizsgálataim rámutattak, hogy a MIKE NAM csapadék-lefolyás és a MIKE Hydro River hidrodinamikai modellek kombinációjával megbízható kalibráció és szimuláció végezhető. A mért adatokból számított statisztikai eredmények alapján kimutatható egyfelől a modellek alkalmassága, sőt megfordítva a modell szimulációs eljárás is alkalmas arra, hogy kiegészíthessük az adathiányos vízgyűjtőkön a felszíni vízkészletek statisztikai értékelését. Bizonyítottuk, hogy a referencia vízgyűjtő kiválasztása – a hidrológiai analógia típusú megközelítés alapján – lényeges mértékben befolyásolja az eredményeket. Eredményeink szerint a hidrológiai analógia alapján paraméterezett modell – tényleges megfigyelések hiányában – a vízhasználatok engedélyezési döntéstámogatásában és alternatív vízkészlet-gazdálkodási javaslatok tesztelésében nagy hatékonysággal alkalmazható.

Kulcsszavak

Vízkészlet-gazdálkodás, vízmérleg, MIKE NAM, MIKE Hydro River.

Determination of the annual water balance of the two Hungarian lowland watersheds based on measured and modelled data

Abstract

The better knowledge of regional water balances is an important strategic issue of our water management. However, we have not got sufficiently detailed data, so we could try to work with hydrological modelling. The models were not developed for Hungarian conditions, we have to carry out two-way research. On the one hand, we need to determine how the data at our disposal (poor spatial resolution) can be used, and on the other hand, how safely we can use the models of international practice in our country. We conducted research on two small watersheds in the Hungarian Great Plain using monthly data. By doing so, we compared the traditional water balance made from the actual measured data with statistical and hydrological calculations with the model results of the rainfall-runoff (MIKE NAM) and hydrodynamic (MIKE Hydro River) models. The two analyzed small catchments (the Dong-ér and the Berettyó) were very different in terms of basic data. There are many surface water measuring stations in the Berettyó sub-catchment, the actual water yield calculated statistically based on the available data can be a reference value to which the hydrodynamic model can be calibrated. In addition, the hydrodynamic model can be calibrated to the measured data. In the case of the Dong-ér watershed, due to the very incomplete territorial data, they first had to be calibrated with the help of a reference watershed. A reliable calibration and simulation can be performed using the combination of rainfall-runoff and hydrodynamic models. Based on the statistical results calculated from the measured data, the suitability of the models can be evaluated, and conversely, the model simulation procedure can complement the statistical calculation of the surface water resources of catchments with inadequate data. It was shown how the selection of the reference watershed – based on the hydrological analogy procedure – influences the results. The results of this study can support decision-makers regarding the issuance of water use permits and the testing of water resources management proposals.

Keywords

Water resource management, water balance, MIKE NAM, MIKE Hydro River.

BEVEZETÉS

Az Európai Bizottság 2015. évi technikai beszámolója szerint a vízmérleg nem kapott fontos szerepet a vízgyűjtő-gazdálkodásban. Ennek több oka is volt, ezek: 1) 2015-ig Európában alig volt vízkonfliktus vagy vízhiány; 2) A meglévő monitoring rendszer nem volt képes egy vízmér-

leg keretébe integrálni a vízforgalmi összetevőket; 3) Víz-háztartás számításához szükséges bemeneti adatok és informatikai eszközök hiánya; 4) A vízmérleg a helyi hagyományok alapján került meghatározásra (Európai Bizottság 2015). A klímaváltozás következményeként egyre szélsőségesebben változnak a hidrometeorológiai viszonyok

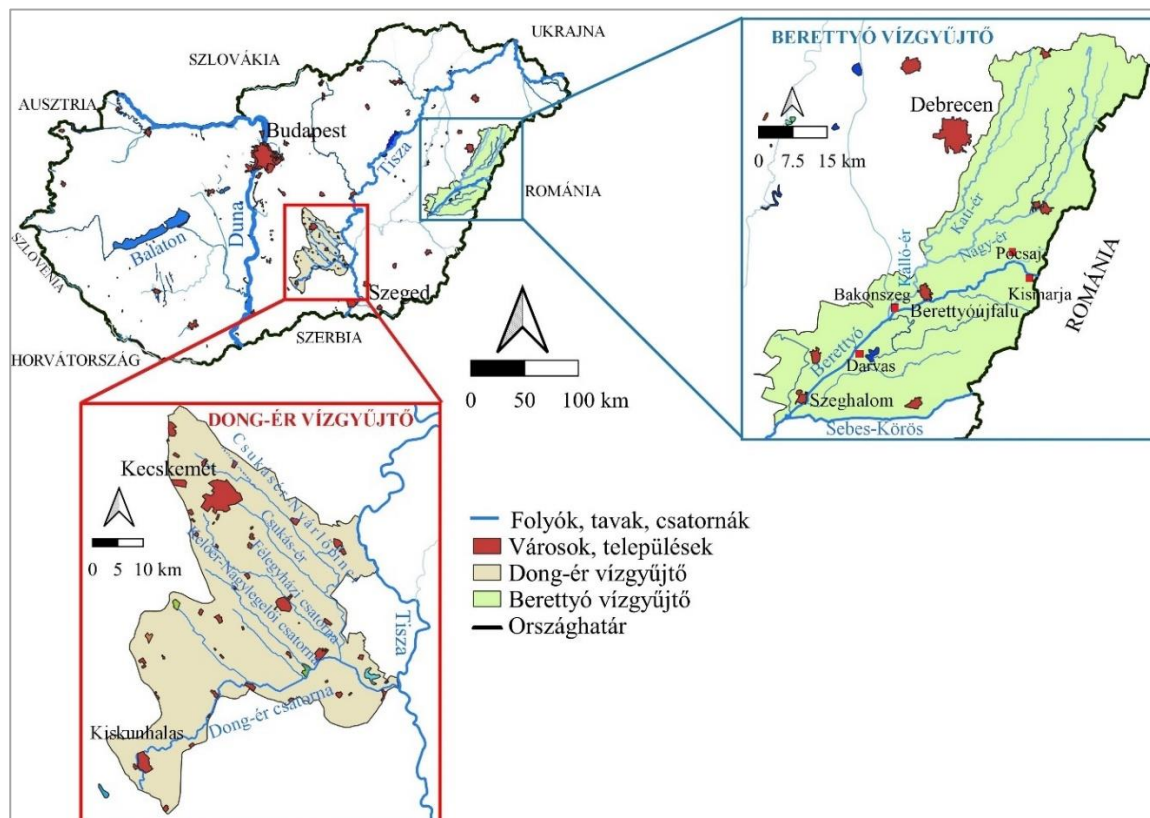
(NÉS-2 2018, IPCC 2021, EEA 2022), a talajvíz készletek (Fehér és Rakonczai 2019, Szalai és Nagy 2020, Rakonczai 2021), a vegetáció, és ezáltal az evapotranszspiráció. Tehát a klímaváltozás közvetlenül vagy közvetve érinti a vízkészleteket. Az éghajlatváltozás mellett az antropogén hatások is fokozhatják és/vagy ronthatják az egyes kisvízgyűjtőkön a vízmérleg egyensúlyát.

2000. október 23-án hatályba lépett az „Európai Parlament és Tanács 2000/60/EK irányelve a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek létrehozásáról”, vagy röviden az EU Víz Keretirányelve (VKI). A 2014. évi frissített verziójában a felszíni vizek, és azon belül az 1.4. A terhelések meghatározása pontjában célul tűzte ki a VKI „a jelentős vízkormányzási szabályozások, beleértve a víztáplálást és eltereléseket, az általános áramlási jellemzőkre és a vízmérlegekre gyakorolt hatásának becslését és meghatározását” (VKI 2014). Ezek alapján elmondható, hogy az Európai Unió már szükségesnek és fontosnak tartja a vízmérleg számítását. A vízgyűjtő-gazdálkodás stratégiai döntéseinek támogatásában feltétlenül szükséges a vízmérleg modellek előállítását a vízháztartási helyzet megismeréséhez (Láng 2016), illetve bármilyen vízkormányzással kapcsolatos intézkedésnél figyelembe kell venni a vízmérlegre gyakorolt hatásokat (Európai Bizottság 2015). A vízkészlet-gazdálkodással kapcsolatos stratégiai döntések támogatása során a felszíni vízkészlet és a vízigények közötti egyensúly vizsgálata szükséges az adott vízgyűjtő vízmérlegének meghatározásához.

A hazai vízkészlet-gazdálkodás hagyományosan csak a kisvízi vízhozamok értékeinek figyelembevételével történik, nem pedig a teljes vízgyűjtőre vonatkozó összesített vízkészlet alapján. Ennek az az oka, hogy hazai viszonylatban jellemzően nem állnak rendelkezésre olyan tározási lehetőségek, amelyek hasznosítható vízkészlete megközelítené a sokéves középvízhozamot. A sokéves vízhozamnak körülbelül a felét-ötödét teszi ki a vízhasználatok számára elegendő biztonsággal rendelkezésre álló vízkészlet (VIZITERV Environ Kft. 2022). Ez képezi azt a mértékadó felszíni vízkészletet is, amely a jelenlegi vízhasználatok engedélyezésének alapja. A technológiai és informatikai fejlődésnek köszönhetően a különféle matematikai és fizikai alapú modellekkel a természetben lezajló vízforgalmat a valósághoz közelítően tudjuk szimulálni. A jelen tanulmányban alkalmazott MIKE NAM csapadék-lefolyás-, és MIKE Hydro River hidrodinamikai modellek segítségével meghatároztuk a hasznosítható vízkészletet. A modellek eredményeit ezt követően összehasonlítottuk a Dong-ér vízgyűjtő és a Berettyó vízgyűjtő mérlegegyenletek alapján a gyakorlatban jelenleg szabványosított statisztikai módszerek alapján számított vízhozamokkal.

A KUTATÁSI TERÜLETEK BEMUTATÁSA

Ebben a kutatásban az Alföld két területét vizsgáltuk meg. Az egyik a Duna-Tisza közén található Dong-ér vízgyűjtő, a másik az Alföld keleti részén fekvő Berettyó vízgyűjtő hazai része (1. ábra).



1. ábra. Dong-ér vízgyűjtő és Berettyó részvízgyűjtő
Figure 1. Dong-ér and Berettyó catchments

A Dong-ér vízgyűjtő

A Dong-éri főcsatorna belvízrendszere a Duna–Tisza közti hátság középső részén, kelet felé, a Tisza irányába lejtő tájon, Magyarország déli határától körülbelül 50 km-

re található. Legnagyobb részét az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (ATIVIZIG) kezeli. A vízgyűjtő teljes területe 2 127 km². A vízgyűjtő nyugati része a Bugaci-homokhát keleti részéhez tartozik, ahol az enyhén hullámos

síkságon északnyugat–délkeleti irányú buckasorok, szélbarázdák, helyenként vízenyős területek jellemzik a felszínt. Az itteni átlagos relatív relief értéke $3,5 \text{ m/km}^2$. A terület felszín közeli üledékében futóhomok dominanciát figyelhetünk meg, melynek vastagsága néhány métertől 50–60 m-ig terjedhet. A térség vizeinek nagyobb része a Dong-éri-főcsatornába folyik. A Dong-ér kezdeti szakaszán – a Duna–Tisza közti hátság vízválasztója közelében – minimális a felszíni vízállítás, az időnként ki is száradó medret inkább csak a vizes élőhelyek növényzete mutatja. Következésképpen itt vízkészlete hasznosításra nem alkalmas, inkább a felszín alatti vízkészletek használata kerül előtérbe (Kozák 2020). A Bugaci-homokhat talajvíze korábban 2–4 m mélységben volt elérhető, de az utóbbi időszakban jelentős süllyedés tapasztalható. A Dong-ér vízgyűjtő délnyugati része a Dorozsma–Majsai-homokháthoz tartozik. A Dong-ér vízgyűjtő nagyobb része a Kiskunsági löszös háthoz tartozik, ahol lösszel és homokkal borított hordalékkúp síkság (Dövényi 2010) jellemző. Az itteni relatív relief értéke 5 m/km^2 . A vízgyűjtőn az egymással közel párhuzamosan futó – ÉNy–DK-i irányú – csatornák rendszere összegyűjti és a Dong-éri-főcsatornába szállítja a többletvizet, majd ez Baks település közelében ömlik a Tiszába. Az uralkodó szélirány északnyugati, az átlagos szélesebesség 2–3 m/s körül alakul. A szél tevékenysége alakította a helyi domborzatot. A terület domborzata alapvetően meghatározza a vízhálózatot. A Dong-ér-főcsatorna folyásiránya nagyjából nyugat–keleti, míg a mellécsatornák folyásiránya északnyugat–délkeleti, jellemzően a természetes deflációs mélyedéseket követik. Csapadékos időszakokban a talajvíz megjelenhet a deflációs mélyedésekben, ezáltal átmenetileg előtört területeket képezve (Sipos és Právecz 2014).

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 meleg-száraz. Az OMSZ adatbázisa szerint a térségben az átlagos éves csapadékösszeg 534 mm körül alakult. Szélösszes értékek jellemezték a 2014-es évet (842 mm), illetve a 2000-es évet (203 mm) (OMSZ 2023). A 2000–2018 közötti időszakban a havi középhőmérséklet legalacsonyabb értéke $-5,2 \text{ °C}$ (2012 februárjában és 2017 januárjában), a legmagasabb $+24,5 \text{ °C}$ volt (2018 augusztusában). Az átlagos havi középhőmérséklet $+12,5 \text{ °C}$ körül ingadozik. A hótakaró vastagsága télen átlagosan 18–22 cm.

A területhasználatban az öntözetlen szántóterület dominál (a vízgyűjtő 41%-a), ezt követik a legelők 13%-kal, a lombos erdők 10%-kal, valamint a fennmaradó kisebb területhasználatok, mint időszakos erdős-cserjés, különböző művelési tevékenység, nem folytonos települések. A rendelkezésre álló genetikai talajterkép (MTA TAKI 2009) alapján a terület talajadottságai rendkívül heterogének, a legjellemzőbb talajtípusok a futóhomok jellegű homokos talajok, a humuszos homoktalaj, a csernozjom és a mélyedésekben előforduló szikes talajok. A Duna–Tisza közti

térségben igen intenzív talajvíz változás volt a múlt század utolsó évtizedeiben (Pálfai 1994). A talajvíz csökkenés átlagosan 2 méter körül alakult, de a magasabb helyeken ennek többszöröse is lehet (Fehér 2019, Tran és társai 2022). Megfigyelhető azonban, hogy egy-egy tartósan csapadékos időszakban a homokhátság alacsonyabb részein nemcsak helyreállt, hanem annyira felemelkedett a talajvízszint, hogy időnként már káros felszíni elöntéseket is okozott (Kozák 2011, Szatmári és van Leeuwen 2013).

A Berettyó részvízgyűjtő a Kálló-ér vízgyűjtőjével együtt

A Berettyó Románia területén ered és a Körösladányi duzzasztó közelében ömlik a Sebes-Körösbe. A teljes vizsgált magyarországi hossza közel 75 km. A vízkészlet-gazdálkodási mérleg modelljében a Berettyó hazai vízgyűjtője két részvízgyűjtőre lett felosztva: egyrészt az északi, felső részén elhelyezkedő Kálló-ér vízgyűjtőre, másrészt a Berettyó közvetlen vízgyűjtőjére. A MIKE SHE integrált hidrológiai modellben a Kálló-ér és a Berettyó részvízgyűjtőjét együtt kezeltük. Az így összevont vízgyűjtő (a továbbiakban Berettyó részvízgyűjtő) területe $2\,748,44 \text{ km}^2$, amely az Alföld keleti részén a Tisza vízrendszerének része (1. ábra). A Berettyó részvízgyűjtő határa északon megközelítőleg azonos Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegye déli határával, keleten az országhatár (Románia), délen a Sebes-Körös, nyugaton a vízgyűjtő nyugati oldala határolja. A Berettyó részvízgyűjtőt a domborzata alapján két részre oszthatjuk. Az északkeleti harmada szélhordta homokformákkal fedett síkság, itt a felszínt homok, homokosvályog talajok borítják. A vizsgált terület magassága 104–159 mBf között változik. A Berettyó részvízgyűjtő délnyugati része a Nagy-Sárréthez tartozik, ahol a Sebes-Körös által feltöltött hordalékkúp nyugati oldalán található. Itt a területet kis relatív relief ($\sim 1,5 \text{ m/km}^2$) jellemzi, nyáron ezen a szakaszon a vízfolyások vízsebessége 0,13–0,14 m/s. A Nagy-Sárrét domborzata 86–101 mBf közötti és délnyugati irányba lejt, ahol nagy arányban fordulnak elő a jó vízzáró tulajdonságú iszapos-agyagos üledékek és csak néhány helyen – változatos vastagságban – iszapos, agyagos tőzeg. Tehát a vízgyűjtőn a felszín beszívargás viszonyait kettősség jellemzi: az északkeleti rész jellemzően homokos, így jó vízvezető képességű, míg délnyugati felén a rossz vízvezető agyagos, finom kőzetliszt dominál. A vízgyűjtő e területén a talajvíz 2–3 m mélységben található.

A Berettyó-folyó jobb parti része a Berettyó–Kálló köze. Az itteni domborzat 88,6–133,6 mBf magasságú hordalékkúp síkság, ahol gyakoriak a morotvák és a meder maradványok és a magasabb részei löszös homokkal borítottak. Berettyóújfalú térsége enyhén hullámos síkság. A Berettyó–Kálló közének közel háromnegyedét holocén artéri, mocsári iszap- és agyagtalaj borítja, míg a maradék területek mozaikosan elhelyezkedő, pleisztocén artéri infúziós lösszel, iszappal fedett részek (Dövényi 2010). A Berettyó árveizeit általában a tavaszi hóolvadás, illetve a kora nyári csapadékok váltják ki, ősszel pedig általában a kisvizek jellemzik. Az itteni talajvíz mélysége 2–4 m között változik. A Berettyó bal parti része a Bihari-síkon helyezkedik el, ahol a Sebes-Körös hordalékkúpja határozza meg a domborzatot. A terület tengerszint feletti magassága

86 m és 106,5 m közötti és enyhén délnyugati irányba lejt. A jellemző felszíni formák a fattyúágak, morotva roncsok és a parti dűnesorok.

A vizsgált vízgyűjtő alacsonyabb részein inkább réti (37%) és szikes (21%), a magasabb részekeken pedig leginkább vázталajok (25%) és csernozjom talajok (15%) találhatóak. A Berettyó részvízgyűjtő terület használatában a szántó dominál, amely 53%-ot tesz ki, míg 20%-án rét és legelő, 17%-án erdő található (TIVIZIG 2016). A rendelkezésre álló Corine felszínborítási térképek alapján a Berettyó részvízgyűjtőn az elmúlt 25 évben nem történt lényeges vegetáció vagy földhasználat változás.

A Berettyó részvízgyűjtő éghajlata mérsékelt meleg-száraz. Az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) adatbázisa szerint az évi középhőmérséklet 2000-től 2021-ig emelkedő tendenciát mutatott (a két szélsőség 9,3 °C és 12,6 °C). Az évi csapadékösszegek alapján – az országos értékhez hasonlóan – 2010-ben hullott a legtöbb csapadék és 2022 évben volt a legnagyobb szárazság.

1. táblázat. A 12 havi vízmérleg modell bemenő adatai (VIZITERV Environ Kft. 2022)
Table 1. Input datasets of the 12 monthly water balance model (VIZITERV Environ Kft. 2022)

A természetes vízkészlet statisztikai jellemzőjének kiválasztása	Havonkénti 80%-os átlagos tartósságú napi vízhozam a 2012. évre [m ³ /s].
Mérlegszámításhoz a külföldi, felvízi készletérték kiválasztása	Határon ténylegesen belépő hozam, mint természetes vízkészlet [m ³ /s].
Hazai keletkezésű ökológiai vízmennyiségként figyelembe veendő vízhozam	1981-2010. időszakra havonkénti 80%-os átlagos tartósságú napi lefolyás 50%-a [m ³ /s].
Külföldi vízgyűjtőről érkező, ökológiai vízmennyiségként figyelembe veendő vízhozam	Határon ténylegesen belépő, az 1981-2010. időszakra vonatkozó havonkénti 80%-os átlagos tartósságú napi lefolyás 50%-a [m ³ /s].
Mérlegszámításhoz a vízhasználati adatállomány kiválasztása	2012. évi engedélyezett maximális vízkivételek [m ³ /s].
Hasznosítható bányavíz redukciós tényezője az engedélyezett bevezetés százalékában	50%
Hasznosítható kommunális szennyvíz redukciós tényezője az engedélyezett bevezetés százalékában	70%
Hasznosítható ipari szennyvíz redukciós tényezője az engedélyezett bevezetés százalékában	100%

A 2012-es évre azért esett a választás, mert a Tisza-völgyben ez egy rendkívül száraz év volt. Emellett rendelkezésre álltak az engedélyezett éves és havi vízkivételi és vízbevezetési adatok. Döntésemet továbbá alátámasztotta, hogy – a Berettyó esetében – a határon ténylegesen belépő vízhozamok, valamint a havi felbontású tározási, vízátervezési és öntözőfürt fővízkivételi adatok is rendelkezésre álltak 2012-re.

A vízügyi gyakorlatban alkalmazott vízkészlet-gazdálkodási vízmérleg számítás módszere

A vízkészlet-gazdálkodási vízmérlegben a vízkészlet meghatározása statisztikai számításokon alapszik, amelyhez az alapadatokat a vízrajzi állomások észlelései adják. Egyes vízgyűjtőkön több vízrajzi állomás is található – ilyen a Berettyó részvízgyűjtő is. A rendelkezésre álló megfigyelt, 30 év hosszúságú vízhozam idősorok feldolgozása, értékelése lehetővé teszi a vízkészlet statisztikai jellemzők (napi, havi és éves középvízhozamok, ha-

A VÍZKÉSZLET-GAZDÁLKODÁSI MÉRLEG MODELL EREDMÉNYEI

Alapadatok

A KEHOP-1.1.0-15-2016-0008 azonosítószámú „A Víz Keretirányelv előírásai szerinti állapotértékelések, elemzések, vizsgálatok, valamint a vízgyűjtő-gazdálkodási tervek második felülvizsgálata és korszerűsítése” keretében elkészült a Tisza vízgyűjtő 57 részvízgyűjtőjének statisztikai alapú, havi részletességű vízkészlet-gazdálkodási mérlege. Az így kapott eredmények közül jelen tanulmányban a Dong-ér vízgyűjtőjének és a Berettyó hazai vízgyűjtőjének statisztikai adatait vettük alapul.

A hazai vízkészlet-gazdálkodási gyakorlat szerint a biztonsággal rendelkezésre álló vízkészlet a vízfolyások középvízhozamának felét-ötödét kitevő kisvízi tartományba eső, augusztusi mértékadó, 80%-os tartósságú lefolyás. A 12 havi mértékadó felszíni vízkészlet-gazdálkodási mérleg kiszámításához használt adatok körét az 1. táblázat tartalmazza.

vonkénti 80%-os átlagos tartósságú értékek) számítását. Azokon a vízgyűjtőkön – például a Dong-ér vízgyűjtőjén –, ahol nincs mért vízhozam adatsor, a lefolyás a hidrológiai analógia módszerével került meghatározásra. A KEHOP-1.1.0-15-2016-0008 azonosítószámú vízgyűjtő-gazdálkodási tervek második felülvizsgálata során a Dong-ér vízgyűjtőjére a Kígyós-főcsatorna vízhozam adatai szolgálták támpontul. Az adathiányos vízgyűjtő vízkészletét – a fajlagos lefolyás értékének analógiája alapján – a következő egyenlettel számolták ki (VIZITERV Environ Kft. 2022):

$$Q_{\text{mértetlen}} = Q_{\text{mért}} \frac{A_{\text{mértetlen}}}{A_{\text{mért}}} k_{\text{mértetlen}} \quad (1)$$

ahol:

$Q_{\text{mértetlen}}$ - Az adathiányos vízgyűjtő meghatározandó természetes vízkészlete [m³/s];

$Q_{mért}$ - A mért adatokkal rendelkező vízgyűjtő meghatározott természetes vízkészlete [m^3/s];
 $A_{mért}$ - Az adathiányos vízgyűjtő területe [km^2];
 $A_{mért}$ - A mért adatokkal rendelkező vízgyűjtő területe [km^2];
 $k_{mért}$ - Az adathiányos vízgyűjtő kalibráló tényezője: $0,9 > k_i > 1,1$.

A vízügyi gyakorlatban elterjedt vízkészlet-gazdálkodási vízmérleg számítási módszerrel gyakorlatilag mért adatokból kizárólag statisztikai eszközök használatával határozzuk meg a vízfolyásokban lévő felszíni vízmennyiségeket. Következésképpen a módszer hátránya, hogy nem képes komplex környezeti visszacsatolásokat leképezni.

2. táblázat. MIKE NAM és MIKE Hydro River modellek bemenő adatai és a felhasznált adatok forrása
 Table 2. MIKE NAM and MIKE Hydro River models input data and data source

Adatok	Formátum	Megjegyzés
Természeti adottságok	Shape	Topográfia, talaj adottságok, vegetáció adatok
Párolgás	Excel táblázat	Kecskemét, Kiskunhalas, Kiskunmajsa, Szeged, Szentes mérőállomáson mért adatok.
Csapadék	Excel táblázat	Vedresszék, Sándorfalva, Kiskunhalas, Csengele mérőállomáson mért adatok.
Felszíni vízhozam	Excel táblázat	Szatymazi mérőállomás adata
Vízhálózat	Shape	
Vízfolyások geometriai adatai	Shape és Excel táblázat	A Dong-ér vízgyűjtőhöz tartozó csatornák geometriai adatait az ATIVIZIG biztosította. A Berettyó részvízgyűjtő esetében csak a Berettyó folyónak vannak mért geometriai adatai. A többi vízfolyásban egyáltalán nincsenek geometriai adatok, így azokat Madarassy (1998) alapján feltételezéssel határoztam meg.
Felszíni vízállás	Excel táblázat	A Dong-ér vízgyűjtő felszíni vízállás adatai az ATIVIZIG szolgáltatta. A Berettyó részvízgyűjtő napi felszíni vízállás adatai az Országos Vízügyi Főigazgatóság által kiadott vízrajzi évkönyvekből kaptuk meg.
Talajvízszint	Excel táblázat	A Dong-ér vízgyűjtő napi talajvízszint adatai az ATIVIZIG szolgáltatta. A Berettyó részvízgyűjtő napi talajvízszint adatok a vízrajzi évkönyvekből kaptuk.
Vízépítési műtárgyak	Excel táblázat	A Dong-ér vízgyűjtő vízépítési műtárgyainak adatai (geometriája és szabályozási ütemezése) az ATIVIZIG szolgáltatta A Berettyó részvízgyűjtő vízépítési műtárgyainak adatai nem állnak rendelkezésre.

A MIKE Hydro River hidrodinamikai modell ismertetése

A MIKE Hydro River modell, mint a vízfolyás hálózatok hidrodinamikai modellező eszköze, képes a vízfolyások hidraulikáját, hidrodinamikáját, vízminőségét, hordalék mozgását és árvízi jelenségeket szimulálni és előrejelezni.

A MIKE Hydro River modell paraméterezése egy dinamikus adatfastruktúrában történik. A szimuláció specifikációjában beállíthatók a szimulációs modulok, a szimulációs periódus és időlépés, valamint a számítás kontroll paraméterei. A térkép konfigurációjában beállítható az alkalmazandó koordináta rendszer is, amely a jelen esetben a HD72 (Hungarian Datum 1972) és az egységes országos vetület (EOV) rendszere volt. A vízhálózat (river network) szerkesztőben fontos az egyes vízfolyások, folyóágak felvétele és kapcsolódásai definiálása. A vízfolyás rendszer egy másik fontos művelete a keresztzelvények felvétele, amely egy külön modulban történik (MIKE Zero/MIKE Hydro/Cross Section). A vízfolyás rendszer szerkesztőben

AZ ALKALMAZOTT MIKE HYDRO RIVER MODELL

A MIKE Hydro River hidrodinamikai modell alapadatai

A MIKE Hydro River egydimenziós természetes folyómedrekben a vízmozgás leírására szolgáló hidrodinamikai modell, ami a dinamikus hullám megközelítéssel oldja meg a Saint Venant egyenleteket. Az egyenletrendszer részletes levezetése és az összefüggések vizsgálata számos kiadványban megtalálható (Chow 1959, Cunge és társai 1980, Abbott és Cunge 1982, DHI 2019). A dinamikus Saint Venant áramlási egyenlet számos változót tartalmaz, amelyek egy részét az algoritmus automatikusan számítja a szimuláció során, néhány pedig a felhasználó által megadott paraméter. A 2. táblázatban összefoglalásra kerültek a bemenő adatok:

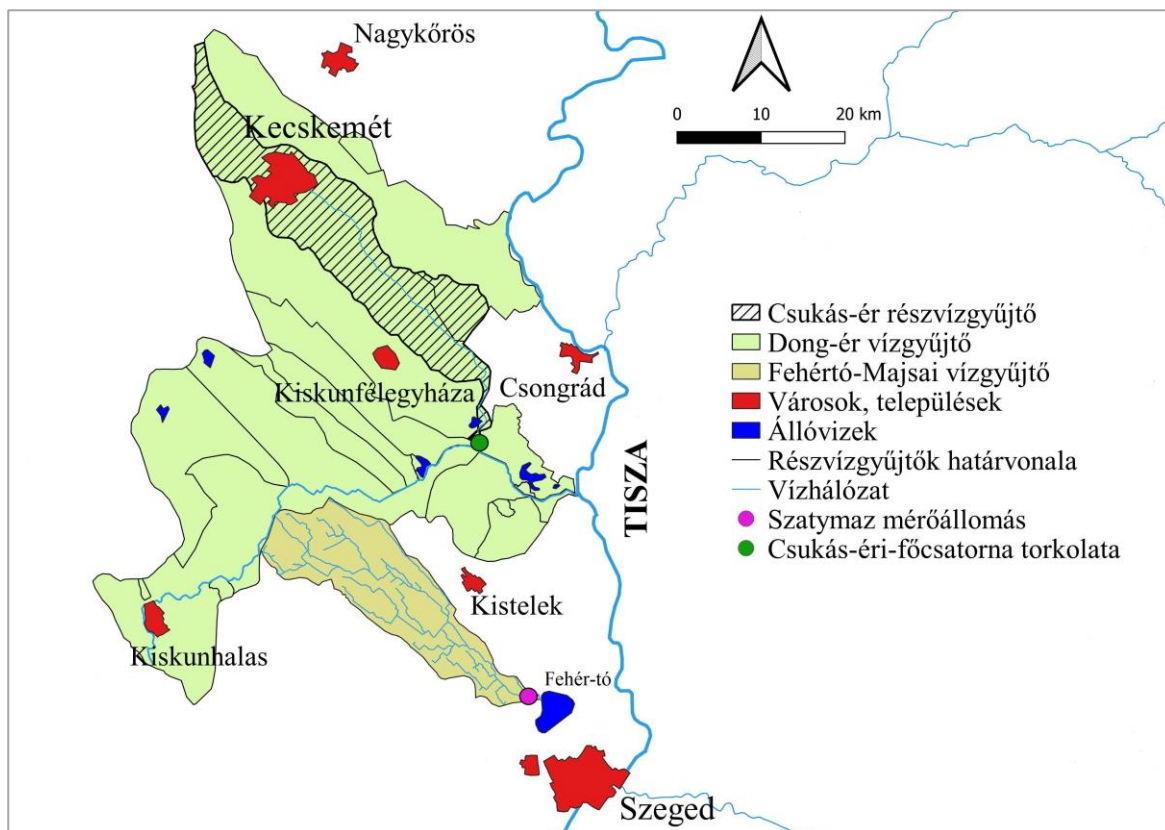
lehetőség van a meglévő vagy a beépítendő/tervezendő műtárgyak felvételére. A hidrodinamikai paraméterek párbeszédpanelben a mederérdességi tényező adható meg. A modell kalibrálása során a mederérdességi tényezőket és a vízhozam értékeit módosíthatjuk. A peremfeltételek panel lehetőséget biztosít az alapértelmezett peremfeltételek, úgymint a vízszintek, a be- és kifolyási hidrográfok, valamint a folyóágak, a felszín alatti áramlások, a különféle meteorológiai adatok, továbbá az egyes műtárgyakkal kapcsolatos peremfeltételek beállítására. A kezdeti feltételek panelben lehet a hidrodinamikai kezdeti feltételeket beállítani, illetve egy permanens futtatás eredményeit alkalmazni. Az eredmények specifikációjában lehetőség van a kimeneti eredményekkel való szabályozásra.

A MIKE Hydro River hidrodinamikai modell kalibrációja

A Dong-ér vízgyűjtő és a Berettyó részvízgyűjtő modelljei a 2012. év adataival kerültek kalibrálásra, illetve szimulálásra. Az egy-egy évre történő kalibrációs munka időigényesebb, viszont a hidrodinamikai modell megbízhatóság

gáról pontosabb képet kaphatunk. A Dong-ér vízgyűjtőre felépített MIKE Hydro River hidrodinamikai modell kalibrálása a Csukás-éri-főcsatorna torkolati szelvényére

futtatott MIKE NAM csapadék-lefolyás modell által szimulált felszíni vízhozam idősor alapján került végrehajtásra (2. ábra).



2. ábra. A Dong-ér és a Fehértó-Majszai-főcsatorna vízgyűjtője, illetve a szatymazi mérőállomás
Figure 2. The Dong-ér and Fehértó-Majszai catchments and Szatymaz gauge station

A MIKE Hydro River hidrodinamikai modell és a MIKE NAM csapadék-lefolyás modell szimulációs eredményeinek összehasonlítása alapján megállapítható, hogy mind a négy, hibát kifejező statisztikai paraméter jó illeszkedést mutat a generált eredmények között (Tran és társai 2023). Adathiány miatt a Dong-ér vízgyűjtő modelljére nem tudunk keresztvalidálást végezni. A Berettyó részvízgyűjtő esetében rendelkezésre állnak – az Országos Vízügyi Főigazgatóság által kiadott vízrajzi évkönyvben szereplő –, a Berettyó folyóhoz tartozó Kismarja, Pocsaj, Berettyóújfalú, Darvas mérőállomás, illetve a Kálló-éren a Berettyóújfalú és Bakonszeg mérőállomások vízállás idősorai (3. táblázat). A Berettyó részvízgyűjtőre szintén nem

végezhetünk validálást, mert nem állt rendelkezésre a hidrodinamikai rendszert befolyásoló vízpépítési műtárgyak működési szabályzata. A 3. táblázatban összegezzük a Dong-ér és a Berettyó vízgyűjtő kalibrációjának kiértékeléséhez vizsgált hiba-statisztikai paramétereket: abszolút közép hiba (MAE), négyzetes középhiba (RMSE), korrelációs együttható (r) és a Nash-Sutcliffe hatékonysági együttható (NSE). A statisztikai eredmények alapján a mért és a szimulált értékek közötti illeszkedésnek legalább jó a minősítése ($NSE \geq 0,65$). Egyes mérőállomásokon szinte tökéletes az illeszkedés, mint például a Berettyó esetében Kismarján, ahol az $NSE = 0,99$ és a Kálló-érenél Berettyóújfalúnál, ahol az $NSE = 0,91$ (3. táblázat).

3. táblázat. MIKE Hydro River modell 2012. évre történt kalibrációjának statisztikai jellemzői
Table 3. Calibration statistics of the MIKE Hydro River model for the year 2012

	Vízfolyás	Mérőállomás	Paraméterek			
			MAE	RMSE	r	NSE
MIKE NAM csapadék-lefolyás modell által számított vízhozamra	Dong-ér	Csukás-ér torkolati szelvény	0,156	0,175	0,965	0,665
Mért vízállásra	Berettyó	Kismarja	0,011	0,022	0,999	0,99
		Pocsaj	0,142	0,194	0,925	0,836
		Berettyóújfalú	0,126	0,172	0,956	0,85
		Darvas	0,067	0,107	0,925	0,835
	Kálló-ér	Berettyóújfalú	0,043	0,052	0,957	0,91
		Bakonszeg	0,08	0,105	0,764	0,668

EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A 4. táblázatban található a 2012-es év adataiból statisztikai módszerrel a mérlegegyenlegetől számított, az alsó vízgyűjtőkre továbbadott vízhozamok, nevezetesen a Dong-éri-főcsatorna esetén a Tiszába, illetve a Berettyó esetén a Sebes-Körösbe befolyó vízhozam értékei. A számítások során figyelembe vettem a különböző vízkivételeket, vízvisszavezetéseket, párolgást stb. Az eredmények alapján a Dong-ér vízgyűjtő esetében októberben volt megfigyelhető a legnagyobb (4,04 m³/s) és júliusban a legkisebb (0,24 m³/s) vízhozam, míg az éves átlag 0,77 m³/s.

4. táblázat. Statisztikai megközelítéssel számított havi vízmérleg a Dong-ér, illetve a Berettyó zárószelvényében (VIZITERV Environ Kft. 2022)

Table 4. Monthly water balance at the outflow of the Dong-ér and Berettyó calculated by the statistical method (VIZITERV Environ Kft. 2022)

Statisztikai módszerrel a mérlegegyenlegetől számított, az alsó vízgyűjtőre továbbadott vízkészlet	m ³ /s												Éves átlag
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
Dong-ér	0,60	0,57	0,73	0,78	0,57	0,36	0,24	0,29	0,31	4,04	0,29	0,42	0,77
Berettyó (Kálló-ér+Berettyó alsó szakasz)	6,68	6,30	7,31	10,21	7,82	1,31	0,79	0,61	7,76	5,71	3,04	2,27	4,99

A MIKE Hydro River modellből napi felbontásban exportáltuk a szimulált vízhozam eredményeket, melyekből havi, majd éves átlag számolható. Az 5. táblázatban láthatóak a Csukás-éri-főcsatorna torkolati szelvényében szimulált, a Dong-éri-főcsatornába továbbadott vízhozamok. Ahhoz azonban, hogy a Tiszába befolyó vízhozamot meg tudjuk határozni, figyelembe kell vennünk a Dong-ér torkolati szelvényének vízhozamát, valamint számításba kell venni a különféle vízvesztéseket (vízkivételek, evapotranszpiráció) és a víztöbbleteket (csapadék, külső vízgyűjtőből belépő vízkészlet, vízbevezetések, beszivárgás) is. A Dong-éri-főcsatorna torkolati szelvényében az összegzett, a MIKE Hydro River modell által számított lefo-

A 2012-es évben a Dong-ér vízgyűjtőjén keletkező lefolyás az őszi csapadékból, halastó leürítésből és talajvíz megcsapolásából származott.

A 2012-es évben a Berettyón áprilisban volt a legnagyobb vízhozam (10,21 m³/s), a legkisebb pedig augusztusban (0,61 m³/s). A Berettyó torkolati részén 4,99 m³/s volt az éves átlagos vízhozam. A Berettyó magyarországi szakaszán a lefolyás forrása lehet a külföldi (romániai) csapadék és a magas hegyvidékeken lévő hóolvadás. Továbbá a lefolyást befolyásolja a romániai Berettyószéplaki víztározó és az Ér-főcsatornán üzemelő Endrédi víztározó is.

lyás és a vízkivételek, illetve a vízbevezetések havi átlagos vízhozam egyenlege az 5. táblázatban található. A modell eredménye szerint a Dong-éri-főcsatornának februárban volt a legkisebb vízhozama (0,27 m³/s), míg rögtön ezt követően, márciusban volt megfigyelhető a legnagyobb vízhozam (1,07 m³/s). A vízszállítás ezt követően fokozatosan csökkent. Ha a vízkivételeket és a vízbevezetéseket is figyelembe vesszük, akkor a nyári időszakban (június, július és augusztus) a legkisebb a lefolyás (0,32-0,41 m³/s). Ennek oka, hogy ezekben a hónapokban intenzívebb az öntözési célú vízkivétel. Továbbra is márciusban a legnagyobb a továbbadott vízhozam (1,11 m³/s), a tavaszi csapadék miatt.

5. táblázat. MIKE Hydro River modellel meghatározott havi vízmérleg a Dong-éri-főcsatorna zárószelvényében (Table 5. Monthly water balance at the outflow of the Dong-ér calculated by MIKE Hydro River model)

Mértékegység		m ³ /s												Éves átlag
Hónapok		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
MIKE Hydro River modellből számított	Csukás-éri fcs. továbbadott vízhozama	0,30	0,27	1,09	1,00	0,63	0,69	0,72	0,64	0,55	0,47	0,40	0,36	0,59
	Dong-ér továbbadott vízhozama	0,36	0,27	1,07	1,01	0,63	0,69	0,72	0,64	0,56	0,48	0,41	0,36	0,60
Közvetlen felszíni vízkivételek a vízmérleg egy- ségben		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Öntözőrendszerben megvalósuló felszíni vízkivételek és rendszer veszteség		0	0	0	-0,14	-0,15	-0,36	-0,34	-0,35	-0,01	0	0	0	-0,11
Felszín alatti eredetű szennyvíz bevezetés		0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Felszíni eredetű szenny- és használtvíz bevezetések összesen		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Dong-ér vízgyűjtő összesen		0,39	0,31	1,11	0,9	0,51	0,36	0,41	0,32	0,58	0,5	0,44	0,39	0,52

A 6. táblázatban láthatóak a Berettyó zárószelvényében – Sebes-Körösbe való befolyásnál – a MIKE Hydro River modellből számított havi átlagos vízhozamok, amelyekhez hozzá kell még adni azokat a vízvesztéseket, víztöbbleteket is, amelyeket a Tisza-völgy tizenkét havi vízkészlet-gazdálkodási mérleg modelljében (VIZITERV Environ Kft. 2022) a mért adatok alapján határoztak meg. A MIKE Hydro River modellből számított vízhozamok alapján áprilisban van a legnagyobb vízhozam (9,90 m³/s) – egyezően a vízgyűjtő bemutatásában leírtakkal –, míg a júliusi és augusztusi vízhozamok a legkisebbek (0,78 és 0,75 m³/s). Itt az éves átlag 5,11 m³/s.

Ha még itt is figyelembe vesszük a Kálló-ér, illetve a Berettyó alsó vízgyűjtőjének vízkivételeit és -bevezetéseit, akkor látható, hogy a két számítási módszer sem az értékekben, sem időbeli eloszlásban nem mutat lényeges különbséget. A modellezett és a mért eredmények összege éves átlagban 5,05 m³/s, ami lényegesen nem tér el a modellezett éves átlagtól. Megállapítható, hogy a Berettyó részvízgyűjtőhöz hasonló intenzív mezőgazdasági tevékenységgel és nagy népsűrűséggel jellemezhető területeken a MIKE Hydro River modellből számított eredmények alapján hatékonyan tudunk mértékadó fel-színi vízkészletet számítani.

6. táblázat. MIKE Hydro River modellel meghatározott havi vízmérleg a Berettyó zárószelvényében
Table 6. Monthly water balance at the outflow of the Berettyó, calculated by the MIKE Hydro River model

Mértékegység	m ³ /s												
Hónapok	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Éves átlag
MIKE Hydro River model alapján a Berettyó alsó vízgyűjtőjére szimulált, továbbadott vízkészlet	6,63	6,44	8,04	9,90	8,14	2,73	0,78	0,75	7,94	5,33	2,66	2,03	5,11
Kálló-ér vízgyűjtőn a vízkivételek és -bevezetések a vízmérleg egységben													
Közvetlen felszíni vízkivételek	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,08	-0,07	-0,07	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,02
Öntözőrendszerben megvalósuló felszíni vízkivételek és rendszer veszteség	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Felszín alatti eredetű szennyvíz bevezetés	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Felszíni eredetű szenny- és használtvíz bevezetések összesen	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Berettyó alsó vízgyűjtőn a vízkivételek és -bevezetések a vízmérleg egységben													
Közvetlen felszíni vízkivételek	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Öntözőrendszerben megvalósuló felszíni vízkivételek és rendszer veszteség	0,00	0,00	0,00	-0,14	-0,15	-0,36	-0,34	-0,35	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,11
Felszín alatti eredetű szennyvíz bevezetés	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Felszíni eredetű szenny- és használtvíz bevezetések összesen	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Kálló-ér vgy.* + Berettyó alsó vgy.* összesen	6,7	6,52	8,12	9,83	8,06	2,37	0,45	0,41	7,99	5,39	2,73	2,1	5,05

*vízgyűjtő

A 7. táblázatban összehasonlítottuk a statisztikai módszerrel és a MIKE Hydro River modell segítségével számított továbbadott vízkészletek alakulását (szimulált vízhozam és a vízkivételek, vízbevezetések). A Dong-ér vízgyűjtő esetében lényeges eltérés mutatkozik a két módszer eredményei között. A MIKE Hydro River modellből számított éves átlagérték kisebb, mint a statisztikai módszerrel számított továbbadott vízkészlet (0,31 m³/s-mal kevesebb). Valószínűleg ennek oka lehet, hogy a statisztikai módszerrel történő számítás során a hidrológiai analógiaként felvett Kígyós-főcsatorna vízjárása nem reprezentálja kellőképp a Dong-éri főcsatorna vízjárását az eltérő természeti – talaj, domborzat stb. – adottságok miatt. A MIKE Hydro River modellből számított vízhozamoktól inkább várható, hogy a valósághoz közelebb állnak, hiszen az azonos természeti adottságokkal rendelkező „szomszédos” Fehértó-Majsai vízgyűjtőn belül

a szatymazi mérőállomásra kalibráltuk azokat. Az időbeli eloszlás is körülbelül azonos, minthogy március és április hónapban vannak a legnagyobb, illetve a nyári hónapokban (június, július és augusztus) a legkisebb vízhozamok.

A Berettyó vízgyűjtővel kapcsolatban a statisztikai módszerrel számolt havi eredmények és a MIKE Hydro River modellből számított, továbbadott havi vízkészlet között nagyon jó az illeszkedés (NSE= 0,979). Az eredmények azt mutatják, hogy a mért adatokkal rendelkező vízgyűjtőkön egyszerűbb a továbbadott vízkészlet számítása, így a két módszerrel számított eredmények egymáshoz közeli értéket adnak. Megállapítható, hogy a MIKE Hydro River modellből számított vízhozamok a valósághoz és a statisztikai módszerrel számított értékekhez illeszkednek, alátámasztva a módszer alkalmazhatóságát és hatékonyságát.

7. táblázat. A statisztikai alapú vízmérleg-számítás és MIKE Hydro River modell által számított továbbadott vízkészlet értékeinek összehasonlítása

Table 7. Comparison of water resources calculated by the statistical water balance method and the MIKE Hydro River model

Vízgyűjtő neve	Dong-ér vízgyűjtő												
Mértékegység	m ³ /s												
Hónapok	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Éves átlag
Statisztikai módszerrel számított, az alsó vízgyűjtőre továbbadott vízkészlet	0,6	0,57	0,73	0,78	0,57	0,36	0,24	0,29	0,31	4,04	0,29	0,42	0,77
MIKE Hydro River modellből számított, az alsó vízgyűjtőre továbbadott vízkészlet	0,39	0,31	1,11	0,9	0,51	0,36	0,41	0,32	0,58	0,5	0,44	0,39	0,52
Vízgyűjtő neve	Berettyó részvízgyűjtő (Kálló-ér vízgyűjtő + Alsó-Berettyó vízgyűjtő)												
Statisztikai módszerrel számított, az alsó vízgyűjtőre továbbadott vízkészlet	6,68	6,3	7,31	10,21	7,82	1,31	0,79	0,61	7,76	5,71	3,04	2,27	4,99
MIKE Hydro River modellből számított, az alsó vízgyűjtőre továbbadott vízkészlet	6,7	6,52	8,12	9,83	8,06	2,37	0,45	0,41	7,99	5,39	2,73	2,1	5,05

ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálataink bizonyították, hogy amennyiben két szomszédos vízgyűjtő természeti adottságai közel azonosak, akkor annak ellenére, hogy az egyik vízgyűjtőt jelentős adathiánnyal jellemezhetjük, a felépített MIKE NAM és MIKE Hydro River modellek együttes használatával megbízható kiindulási modell paraméterek nyerhetők. A hazai vízügyi gyakorlatban rutinszerűen alkalmazott statisztikai módszerrel és a MIKE Hydro numerikus modellezéssel számított eredmények összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a mért, és MIKE NAM csapadék-lefolyás modell által szimulált felszíni adatokra kalibrált MIKE Hydro River hidrodinamikai modell képes a valósághoz közeli megoldásokat generálni. A hidrológiai analógia elvének alkalmazása során a referencia vízgyűjtőt körültekintően kell megválasztani, figyelembe véve a táj természeti adottságait és a hidrológiai viszonyok (folyásirány, vízfelszín esése, műtárgyak hatása stb.) sajátosságait. A statisztikai módon kiszámított eredmény lehet egy referencia érték, amelyhez a vízgazdálkodási modell kalibrálható, de a modellek eredményei is kiegészíthetők a statisztikai módszerrel számított eredményeket az adathiányok ellenére is. Összefoglalva elmondható, hogy a modellek vízmérleg eredményei és az azokból levonható következtetések hozzájárulhatnak a területi vízkészlet-megosztási döntések, alternatív vízgazdálkodási javaslatok hatásainak tanulmányozásához, valamint a jövőbeni éghajlati változások a vízkészletre gyakorolt hatásainak elemzéséhez.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A jelen kutatás elkészültét az Országos Vízügyi Főigazgatóság Vízgyűjtő-gazdálkodási Osztálya támogatta. A szerző köszönetét fejezi ki Rakonczai János professzor úrnak és Fehér Zsolt Zoltánnak a dolgozat írásában nyújtott hasznos tanácsokért, észrevételekért. Kiténtetett köszönet

illeti Szalay Miklós kollégámat a szakmai iránymutatásért és a szerkesztési munkában nyújtott segítségért.

Ezúton szeretnénk megköszönni a DHI Magyarország Kft.-nek, hogy biztosították számomra a hozzáférést a MIKE SHE modellezési környezetéhez.

IRODALOMJEGYZÉK

- Abbott, M.B., Cunge, J.A. (1982). Engineering Applications of Computational Hydraulics, Vol. I. Pitman Advanced Publication Program, London.
- Chow, V.T. (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 (2019). MIKE SHE Volume 2: Reference Guide. https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2019/Water_Resources/MIKE_SHE_Printed_V2.pdf (Letöltés dátuma: 2023. 07. 03.)
- Dövényi Z. (2010). (szerk.) Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajtudományi Kutatóintézet. Budapest. ISBN 978-963-9545-29-8
- EEA (2022). Drought impact on ecosystems in Europe. <https://www.eea.europa.eu/ims/drought-impact-on-ecosystems-in-europe> (Letöltés dátuma: 2023. 07. 03.)
- Európai Bizottság (2015). Guidance document on the application of water balances for supporting the implementation of the WFD. Technical Report - 2015 – 090. ISBN 978-92-79-52021-1.
- Fehér, Z.Z. (2019). Large scale geostatistical modelling of the shallow groundwater time series on the Southern Great Hungarian Plain. Two approaches for spatiotemporal stochastic simulation of a non-complete monitoring dataset. PhD dissertation. University of Szeged. doi:10.14232/phd.10122 (Letöltés dátuma: 2023. 07. 03.)

Fehér Z.Z., Rakonczai J. (2019). Analysing the sensitivity of Hungarian landscapes based on climate change induced shallow groundwater fluctuation. *Hungarian Geographical Bulletin* 4. pp. 355-372.

IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Kozák P. (2011). Belvízi jelenségek az Alsó-tiszai vízgyűjtőkön az 1955–2012. közötti időszakban. *Nagyalföld Alapítvány Kötetei* 7. pp. 127-136.

Kozák P. (2020). Changes in surface runoff on the south-eastern slope of the Danube-Tisza Interfluvial Sand Ridge in the context of climate change. In: Farsang, A., Ladányi, Zs., Mucsi, L. (Ed.) *Climate change challenges – From global to local.* (in Hungarian). *GeoLitera*, pp. 109-115.

Láng I. (2016). A vízkészlet-gazdálkodás megújítása. XXXIV. Országos Vándorgyűlés. Debrecen, 2016. július 6-8. http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/34/dolgozatok/word/0108_lang_istvan.pdf (Letöltés dátuma: 2023. 07. 03.)

Madarassy L. (1998). *Síkvidéki vízrendezés.* EJF, Baja.

MTA TAKI (2009). *Magyarország genetikus talajtérképe.* <https://enfo.hu/index.php/keptar/622> (Letöltés dátuma: 2023. 07. 03.)

NÉS-2 (2018). *Második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia.* Innovációs és Technológiai Minisztérium. <https://nakfo.mbfisz.gov.hu/sites/default/files/files/N%20C3%20Ogy%20C3%A1%20elfogadott.PDF> (Letöltés dátuma: 2023. 07. 03.)

OMSZ (2023). https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/Szeged/grafikonok/

Pálfai I. (1994). (szerk.). *A Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái.* A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 3. Békéscsaba. p. 126.

Rakonczai J. (2021). *Elfogyasztott jövőnk? Globális környezeti és geopolitikai kihívásaink.* Budapesti Corvinus Egyetem. ISBN 978-963-503-872-5. http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/6726/1/BCE_MNB_Elfogyasztott_jovonk_ebook_final.pdf (Letöltés dátuma: 2023. 07. 03.)

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

Szalai J.M., Nagy Gy. (2020). A regionalitástól a lokalitásig: Változás és változatlanosság pillanatképek a Duna-Tisza köze talajvízszintjének alakulásáról. In: Farsang A., Ladányi Zs., Mucsi L. (szerk.). *Klimaváltozás okozta kihívások – globálitól lokálisig.* *GeoLitera*, Szegedi Tudományegyetem, TTIK Földrajzi és Földtudományi Intézet, p. 216, Szeged. ISBN 978-963-306-734-5.

Szatmári, J., van Leeuwen, B. (2013) (szerk.). *Inland Excess Water – Belvíz – Suvišne Unutrašnje Vode.* Szeged, University of Szeged. Novi Sad, University of Novi Sad.

TIVIZIG (2016). 2-15 Berettyó Alegység. *Vízgyűjtő Gazdálkodási Terv.* http://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/9E4A885B-BF24-4BC7-B9B7-3CB2C2452A81/VGT2_2-15_Berettyo_vegleges.pdf (Letöltés dátuma: 2023. 07. 03.)

Tran Q.H., Fehér Z.Z., Túri N., Rakonczai J. (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. pp. 567-599. doi:10.5937/gp26-37271 (Letöltés dátuma: 2023. 07. 03.)

Tran Q.H., Fehér Z.Z., Rakonczai J. (2023). A hidrológiai és hidrodinamikai modellek alkalmazása a felszíni vízállás adatok becslésére adathiányos vízgyűjtőkön. A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XL. Országos Vándorgyűlés dolgozatai. ISBN 978-963-8172-45-7. https://hidrologia.hu/vandorgyules/40/word/0621_tran_quang_hop.pdf (Letöltés dátuma: 2023. 07. 03.)

VIZITERV *Environ Kft.* (2022). KEHOP-1.1.0-15-2016-0008 azonosítószámú „A Víz Keretirányelv előírásai szerinti állapotértékelések, elemzések, vizsgálatok, valamint a vízgyűjtő-gazdálkodási tervek második felülvizsgálata és korszerűsítése”. A Tisza-völgy tizenkét havi vízkészlet-gazdálkodási mérleg modellje.

VKI (2014). Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve (2000. október 23.) a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:02000L0060-20141120> (Letöltés dátuma: 2023. 07. 03.)

A SZERZŐ



TRAN QUANG HOP MSc okleveles infrastruktúra-építőmérnöki diplomát szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen 2012-ben. Ezt követően 6 évig a Hanoi Természeti Erőforrások és Környezeti Egyetemen oktatott és kutatott. 2020-tól a Szegedi Tudományegyetem Földtudományok Doktori Iskolájának doktorjelöltje. Kutatási témája a numerikus hidrológiai, hidrodinamikai, illetve a vízmérleg modellezés. Jelenleg az Országos Vízügyi Főigazgatóság kiemelt műszaki referense. 2020-tól a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.