

Integrált vízgazdálkodás a természeti és társadalmi folyamatok tükrében a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer területén

Pásztor Dávid^{1,2}, Fehér Zsolt^{1,2}, Tamás János^{1,2}

¹ Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi- és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék

² Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi- és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék (e-mail: feher.zsolt@agr.unideb.hu)

DOI: 10.59258/hk.16461



Kivonat

Jelen tanulmány a MIKE Hydro River és a MIKE SHE hidrológiai modellek bemenő adatainak előkészítését ismerteti a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) területére, a régióban tervezett mezőgazdasági vízgazdálkodás informatikai fejlesztése szempontjából. Részletesen ismertetjük a modellek bemeneti adatigényeit a kapcsolódó modellezési folyamatokat, kiemelve a térinformatikai adatok és a mérőállomásokról származó hidrológiai adatok fontosságát, továbbá az alkalmazott adat integrációs megoldásokat. A tanulmány során a TIKEVIR mintaterületére vonatkozóan a modell alkalmazásának számítógépes hatékonyságát, a kalibrálási folyamatokat, valamint a modellezési eredmények gyakorlati implementációjának lehetőségeit taglaljuk a fenntartható vízgazdálkodási gyakorlatokban.

A téma aktualitását adja, hogy a TIKEVIR rendszer megalakulása óta eltelt fél évszázadban számos, a vízgazdálkodáshoz kapcsolódó új kihívásnak is meg kell felelnie, amely az eddigi működtetési gyakorlat felülvizsgálatát igényli. Az újszerű kihívások között tarthatjuk számon a klímaadaptációt, az urbanizációs és ipari folyamatokat, a mezőgazdasági vízgazdálkodás miatt megemelkedő vízigényt, illetve az ezt kielégíteni hivatott újszerű vízkormányzási és víztározási megoldásokat, és alternatív vízkészlet használati módokat. A közlemény javaslatokat fogalmaz meg a döntéshozók szakmai felkészültségének növelésére, a döntéstámogató rendszerekben való integrálásra, a kockázatelemzésre, az adatgyűjtésre és elemzésre. Ezek az intézkedések hozzájárulhatnak a TIKEVIR területén a mezőgazdasági vízgazdálkodás termelési hatékonyságának növeléséhez, a vízgazdálkodási stratégiák optimalizálásához és elősegíthetik a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok szélesebb körű alkalmazását. A tanulmány hangsúlyozza a folyamatos hidrodinamikai fejlesztés fontosságát is, a pontosabb modellezési folyamatok megvalósításához. Az eredmények alapján a hidrológiai modellezés jelentős potenciált rejt a mezőgazdasági vízgazdálkodási beavatkozások optimalizációjában és alapvető eszköz lehet a környezeti kihívásokra adott válaszok kidolgozásában.

Kulcsszavak

Integrált hidrológiai modellezés, MIKE Hydro River, MIKE SHE, TIKEVIR, adatgyűjtés és -elemzés.

Integrated water management reflecting natural and social processes in the area of the Tisza-Körös Valley Cooperative Water Management System

Abstract

In this study, we carried out the preparation of input data for the MIKE Hydro River and MIKE SHE hydrological modelling software concerning the Tisza-Körös Valley Cooperative Water Management System (TIKEVIR) area, from the perspective of planned agricultural water management IT developments in the region. We detail these models' input data requirements and associated modelling processes, highlighting the importance of geospatial data and hydrological data from measurement stations, as well as data integration and conversion solutions. Throughout the study, we analyse the computational efficiency of model application, calibration processes, and the possibilities of integrating modelling results into sustainable water management practices, specifically for the TIKEVIR area. The relevance of the topic is underscored by the fact that, in the half-century since the establishment of the TIKEVIR system, it must meet numerous new challenges related to water management, necessitating a review of existing operational practices. These novel challenges include climate adaptation, urbanization and industrial processes, the increased water demand due to agricultural water management, and the need for innovative water governance and storage solutions and alternative water resource utilization methods. The publication makes suggestions for improving the professional preparedness of decision-makers, integration into decision support systems, risk analysis, data collection, and analysis. These measures can contribute to increasing the production efficiency of agricultural water management in the TIKEVIR area, optimizing water management strategies, and facilitating the broader application of sustainable agricultural practices. The study emphasizes the importance of continuous hydroinformatics development for more accurate modelling processes. According to the results, hydrological modelling holds significant potential for optimizing agricultural water management interventions and can be a fundamental tool in developing responses to environmental challenges.

Keywords

Integrated hydrological modelling, MIKE Hydro River, MIKE SHE, TIKEVIR, data collection and analysis.

BEVEZETÉS

A klímaváltozás negatív hatása a szélsőséges vízháztartási folyamatokban kétségtelenül megnyilvánul (*Bartholy és társai 2008, Fehér és Rakonczai 2019*). Az aszályok és a

belvizek gyakoriságában és intenzitásában növekedés figyelhető meg, ami a Kárpát-medence alacsonyan fekvő területeire vonatkoztatva a környezeti, természeti, illetve mezőgazdasági adottságainak nagymértékű romlását, az

éves hozamok bizonytalanságát eredményezi (*Mezősi és társai 2017*). Az intenzív csapadékos időszakokban nagy területeket sújt a belvív, amely súlyos termés kiesést eredményez, továbbá lényeges kihívást nyújt a települési vízgazdálkodás területén (*Bozán és Tamás 2008*). Ezzel ellentétben, a csapadékban szegény aszályos évek is, különösen a 2022-es szárazság megsemmisítő erővel hatott a hazai mezőgazdaságra. A közvélekedéssel ellentétben ugyanakkor a 2009-2012 közötti extrém aszályos és csapadékos évek vizsgálata rámutatott, hogy a belvív tájból történő gyors elvezetésének negatív hatásai a hosszantartó aszályos időszakokban csúcsosodik ki, amikor minden csepp víz hozzájárul a mezőgazdasági hozamok biztosításához (*Rakonczi és társai 2023*).

Az éghajlatváltozás következtében a fokozódó csapadékdeficit a térséget izoláltan kiemelkedő, ezáltal a környező vízfolyásokból nem táplálkozó Nyírséget az egyik legveszélyeztetettebb régióvá tette. A Nyírség nyugati előterén elterülő Debrecen térségét, valamint a Hajdúság-Hortobágy régiókat regréviz és a felszínközeli víztestjeit az 1990-es évek óta veszélyezteti a vízhiány (*Marton és Szanyi 1997a, b*). A térség urbanizációs és iparosodási folyamatai a közelmúltban felgyorsultak, ezáltal folyamatosan nő az agrárium, a lakosság és az ipar vízigénye. Ezzel átalakulnak a lefolyási, beszívargási, párolgási viszonyok, amely folyamatokat a szélsőséges időjárási és hidrológiai események (pl. villámárvizek, belvizek és városi hőhullámok) hatásai is felerősítik. Komplex megközelítésre és alapvető paradigmaváltásra van tehát szükség ahhoz, hogy a megváltozó körülmények által támasztott új igényeket mind térben, mind időben a legnagyobb hatékonysággal képesek legyünk kielégíteni.

A vízhiány hatására a dél-nyírségi, hajdúsági területeken nem végezhető nagymértékű, fenntartható vízkivétel a felszín alatti vizekből. Az utóbbi években indult, a térséget érintő nagyléptékű iparosodás, illetve a prognosztizálható népességnövekedés ugyanakkor megköveteli a növekvő vízigények biztosítását. Mezőgazdasági aspektusból lényeges a talajvíztükör mélysége, mely jellemzően 4-8 méterre húzódik, de kisebb foltokban sekélyen, akár 1 m-nél is sekélyebben okozhat szikesedést (Hortobágy), míg máshol nagyobb kiterjedésű foltokban a növényzet számára szinte elérhetetlen (*Fehér 2015*).

A térség számára az egyetlen számba vehető megújuló vízkészletet a Tisza szolgáltatja. A meglévő öntözőcsatorna-rendszer bővítésével és további, magasabb fekvésű öntözőtározók létesítésével (*VGT3 2021*), ezáltal a folyó vizével történő integrált vízgazdálkodás legújabb megvalósulása a Tiszalöki Öntözőrendszer (TÖR) kiterjesztéseként megvalósuló CIVAQUA projekt foglalkozik. A kezdeményezés keretében megépülő 15 km vízkormányzási infrastruktúrától a szakemberek a térség vízproblémáinak hosszú távú megoldását remélik.

A Tisza folyó 100-120 m³/s kisvízi vízhozamából 24-26 m³/s a Keleti-főcsatornába, 26-30 m³/s a Nagykunsági-főcsatornába, 1-3 m³/s a Tiszafüredi-főcsatornába és 2-4 m³/s a Jászsági-főcsatornába kerül. Elmondható, hogy összesen kb. 53-63 m³/s vízhozamból történhet vízkivétel (*Vizi 2020*). A víztározás és a vízkormányzás szempontjait

a főbb vízkivételek időbeli és térbeli optimalizálásával tudjuk meghatározni, figyelembe véve a mederből történő közvetlen vízkivételeket. A főbb vízkivételi pontok: a Tiszalöki vízlépcső, a Kiskörei Vízerőmű, a Szolnoki felszíni vízkivételi mű. Ezek mellett a vízszétosztó csatornákon, főleg a Keleti-, Nyugati-, Nagykunsági-, Jászsági főcsatornákon keletkező vízkivételeket kell figyelemmel kíséreni.

Mindazonáltal, az egyre gyakoribb és egyre hosszabbban elnyúló aszályok során, a Tisza vízhozama jelentősen lecsökken (LKQ Tiszabecs 14 m³/s), ami veszélyezteti a térség biztonságos vízellátását és a már kiépült, illetve kiépítendő vízkormányzási rendszereket. Indokolt tehát a felhasználható vízkészlet időszakos, vagy folyamatos növelése. A lehetőséget és különböző megoldási alternatívákat a 2023-ban, a Debreceni Egyetemen megrendezett „*Trendek és kihívások a területi vízgazdálkodásban*” tudományos szakmai konferencia ajánlásai foglalták össze, amelyet a Hidrológiai Közlöny is közölt (*Tamás és Nagy 2023*). A jövőbeni modellezési célfeladatok közül az ajánlások alapján különösen fontos azt hangsúlyozni, hogy az új természetközeli, vízmegtartásra épülő vízgazdálkodás megvalósításához a vízügyi szervezeteken túl a felhasználóknak is hozzá kell járulniuk víztakarékos technológiák alkalmazásával, illetve a vízvisszatartásban történő aktív közreműködéssel. Szintén kiemelhető a Keleti főcsatornán a CIVAQUA projekt és az ipari vízfelhasználás hatásának jövőbeli értékelése.

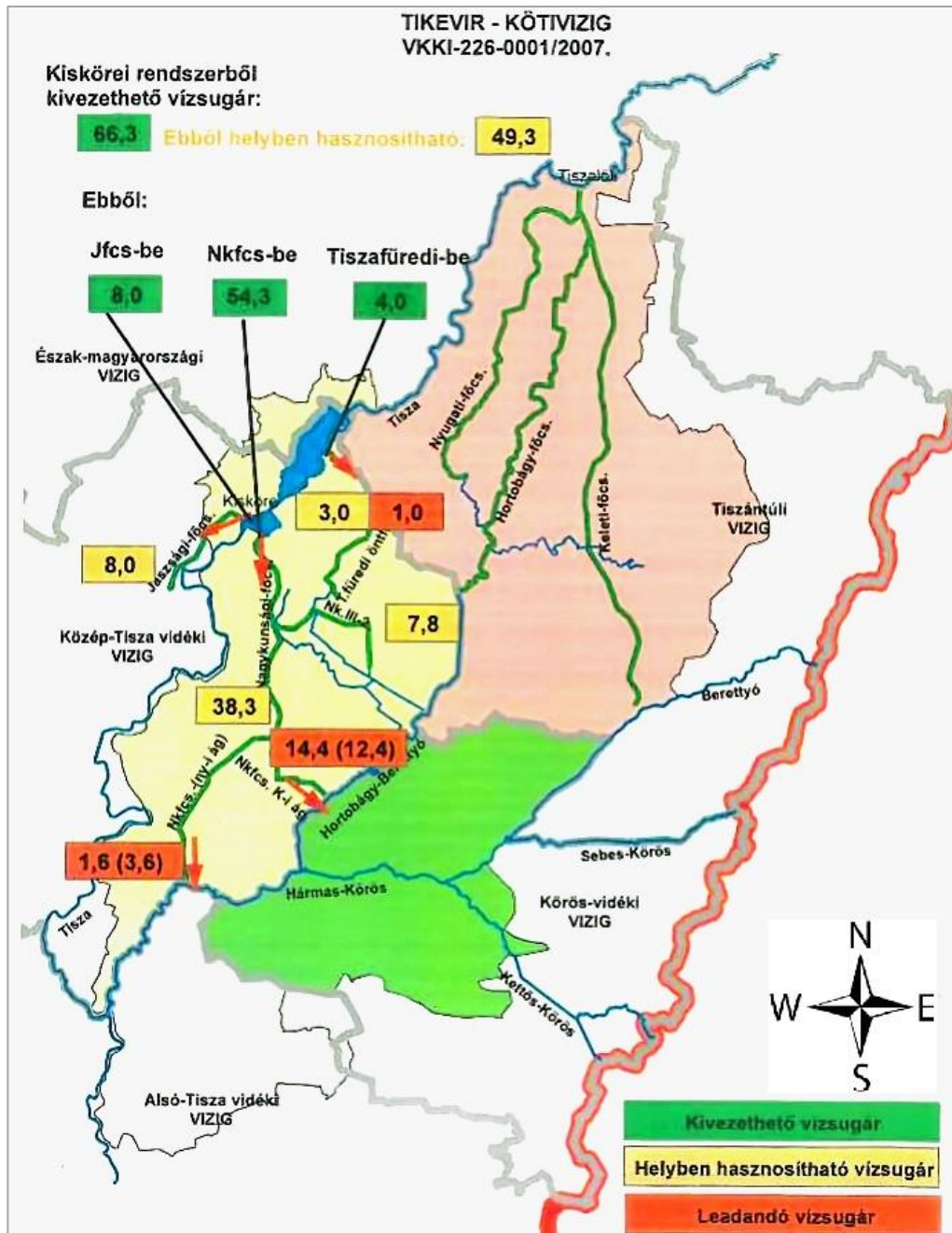
A MINTATERÜLET

A Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) egy innovatív, fenntartható vízgazdálkodásra törekvő multidiszciplináris megközelítés. Ez az együttműködésre épülő megközelítés lehetővé teszi a különböző érdekelt felek, mint például a helyi önkormányzatok, vízügyi hatóságok, vízügyi igazgatóságok, mezőgazdasági termelők és természetvédelmi szervezetek számára, hogy közösen dolgozzanak a vízgazdálkodási kihívások megoldásán. A kezdeményezés operatív területe a Tisza és a Körös folyók völgye (*1. ábra*). Az integrált megközelítés eredményeként elősegíthető a gazdasági fejlődés támogatása és a természeti értékek védelme, valamint a régió fenntartható vízgazdálkodása. A TIKEVIR a vízhasználat és gazdálkodás számos aspektusát ötvözi, a vízminőség, az árvízvédelem, a mezőgazdasági öntözés és a biodiverzitás megőrzésének tekintetében. A rendszer a legmodernebb technológiákat és adatkezelési módszereket alkalmazza, beleértve a távérzékelés és a geoinformatikai rendszerek megoldásait, amelyek segítségével a vízgazdálkodási folyamatok pontosabban értelmezhetők és lehetővé teszik a vízkészlet-változások precízebb előrejelzését, a vízkészletek optimálisabb szétosztását.

A meglévő TIKEVIR rendszer fő gerincét a Keleti-, a Nyugati-, a Jászsági- és a Nagykunsági főcsatorna alkotja. A főcsatornák a kisebb csatornákkal együtt az Alföld területén képeznek hálózatot és biztosítják a régió vízellátását. Az említett hálózat nélkül a Körös-völgy és a Tisza-völgyének nagy része kiszáradna a csapadék-szegény nyári hónapokban. E rendszer célja, hogy a tényésidőszakban vízhiányos térségek elsősorban a Kö-

rős-völgy vízkészletét pótolja, a térségben nem ritkán jelentkező belvizet a környező vízfolyásokba juttassa, végső soron az Alföldre jellemző hidrometeorológiai szélsőségek hatását az összehangolt vízkormányzás ré-

vén csökkentse. A TIKEVIR elsősorban az ökoszisztéma vízellátására, öntözésre, halastavak táplálására és a felesleges víz elvezetésére szolgál (*Virágné Kőházi-Kiss és Fejes 2016*).



1. ábra. TIKEVIR vízkormányzási rendszere (Virágné Kőházi-Kiss 2017)
Figure 1. TIKEVIR water management system (Virágné Kőházi-Kiss 2017)

A TIKEVIR összesen 10, az alföldi nagytájhoz tartozó Közép-Tisza vidéki középtájon lévő földrajzi kistájakat érint (1. táblázat). Ezek mindegyikén jelentős környezeti kockázati tényezőt jelent az aszály, az alacsonyabb, egykori árterek agyagos talajain a belvíz, a magasabb fekvésűeken a szélerezózió, a folyók mentén pedig az árvíz. A vízfelületek aránya a Hajdúhát, és a Lősös-Nyírség, mint beszivárgási zóna, a Debrecen-Ligetelja kistáj pedig a városi vízkitermelés hatására kialakult depresszió miatt alacsony. A jelentősebb kiterjedésű nyílt vízfelületeken

elsősorban halászati célú hasznosítás folyik a Hortobágy, Szoboszlói-Hajdúság, Nagy-Sárrét, Berettyó-Kálló köze, Bihari-sík, Mezőtúr-Karcagi-sík, Kunhegyes-Tiszafüredi-sík kistájakon.

Kutatásunk szűkebb középpontjában a tengerszint feletti 93-162 méter magasságban elhelyezkedő Hajdúhát kistáj (2. ábra) áll. A Hajdúhát kiemelkedik környezetéből, így természetes felszínközeli vízutánpótlása nem biztosított, a mezőgazdasági vízigényt a Keleti, illetve Nyugati főcsatorna vízkészlete adja (Rónai 1975). A terület a

pleisztocén földtörténeti kor végén és a holocén elején alakult ki, litológiaiailag kvarter felső-pleisztocén lösz, löszös homok, infúziós lösz és folyóvízi aleurit, valamint holocén deluviális aleurit fedi (Csorba 2021). A Hajdúhát jelentős részben fedő homokoslösz-, illetve lösztakaró vastagsága helyenként eléri a 4 métert.

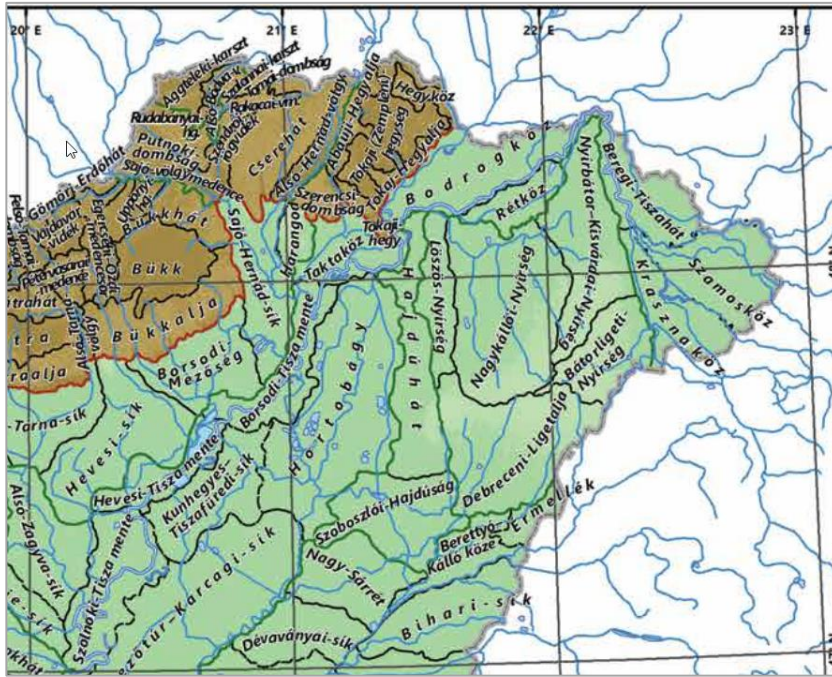
A hordalékkúp síkság üledékein képződött talajok jó termékenységűek (Rónai 1985). A kistáj fő talajtípusa az

alföldi mészlepedékes csernozjom, emellett megjelenik a területen a réti csernozjom és a mélyben szolonyeces réti csernozjom talajtípus. A csernozjomtalajok jó vízgazdálkodású talajok, de a foltszerűen megjelenő homokos jellegű talajjal fedett részek a rossz és a közepes vízgazdálkodású kategóriákba esnek (Rónai 1963). Ez a mozaikosság kihívást jelent a növénytermesztés számára.

1. táblázat. A TIKEVIR területén fekvő kistajak természeti adottságai (Csorba 2021 nyomán)

Table 1. Natural features of the small landscapes in the TIKEVIR area (after Csorba 2021)

Tájegység	Terület (km ²)	Mezőgazdaság jellemzői	Vízgazdálkodás jellemzői	Topográfia és domborzat jellemzői	Éghajlat	Földhasználat	Kockázati tényezők			
							Szél-erő-zió	Bel-víz	Aszály	Árvíz
Hortobágy	1796	Gyep és szántóföld dominál, 47% és 39% arányban.	Nyílt vízfelszínnek, mocsarak, halastavak (9% területen)	Alacsony síkság, réti szolonyec talajú ártér, hordalékkúpok	Meleg és száraz	Gyep és szántóföld, mikromorfológiai változatosság		X	X	
Hajdúhát	741	Főként szántóföldi gazdálkodás (84% területen), csökkenő tendenciával.	Alacsony vízfelszín arány, horgásztavak.	Enyhén hullámos síkság	Meleg és száraz	Szántóföld, kevés erdő, mészlepedékes talaj	X	X	X	
Löszös-Nyírség	374	Mezőgazdasági területek dominálnak (85% területen).	Alacsony vízfelszín arány, Hosszú-háti-tó.	Enyhén hullámos síkság	Mérsékelt meleg és száraz	Szántóföld, enyhén közepes veszélyeztetettség	X		X	
Debreceni-Ligetlaja	1205	Szántóföld és erdők, buckaközi mélyedések.	Kiemelkedő vízfelszínnek, horgásztavak.	Hullámos síkság, buckaközi mélyedések	Mérsékelt meleg és száraz	Erdők, szántóföldek, buckaközi mélyedések	X		X	
Szoboszlói-Hajdúság	774	Főként szántóföld (77% területen), növekvő beépített területek (6,5%).	Nyílt vízfelszínnek és mocsarak, szél-erő-zió veszély.	Enyhén hullámos síkság	Meleg és száraz	Szántóföld, kevés erdő, löszös talajok		X	X	
Nagy-Sárrét	613	Szántóföld, kevés erdő, szikes talajok.	Kiemelkedő vízfelszínnek, tavak, árvíz- és belvízveszély.	Alacsony síkság, földszülyedés	Meleg és száraz	Szántóföld, kevés erdő, szikes talajok	X	X	X	
Berettyó-Kállóköze	374	Szántóföld, gyep, árvíz- és belvízveszély.	Kiemelkedő vízfelszínnek, halastavak, árvíz- és belvízveszély.	Ártéri síkság, alacsony ármentes területek	Meleg és száraz	Szántóföld, gyep, árvízveszély, belvíz, aszály	X	X	X	X
Bihari-sík	704	Főként szántóföldi gazdálkodás (63% területen), csökkenő tendenciával.	Alacsony vízfelszín arány, homokbuckák.	Ártéri sík és ármentes sík	Meleg és száraz	Szántóföld, gyep, erdők, homokbuckák	X	X	X	X
Mezőtúr-Karcagi-sík	788	Szántóföld és gyep dominál (81% és 9% arányban).	Nyílt vízfelszínnek és mesterséges tavak, belvíz- és aszályveszély.	Ármentes sík és homokbuckás ármentes területek	Meleg és száraz	Szántóföld, gyep, homoktalajok, árvíz- és aszály	X	X	X	X
Kunhegyes-Tiszafüredi-sík	685	Szántóföld és gyep (66% és 17% arányban).	Nyílt vízfelszínnek és mesterséges tavak, árvíz- és aszályveszély.	Ármentes sík és homokbuckás ármentes területek	Meleg és száraz	Szántóföld, gyep, homoktalajok, árvíz- és aszály	X	X	X	X



2. ábra. A TIKEVIR területén található kistáják elhelyezkedése (Csorba 2021 nyomán)
Figure 2. Location of the TIKEVIR's small areas (after Csorba 2021)

AZ INTEGRÁLT HIDROLÓGIAI MODELLALKOTÁS KONCEPCIÓJA

A hidrológiai kutatások egyik fontos célja (3. ábra) a vízgyűjtőkben működő vízháztartást és vízmozgást szabályozó fizikai folyamatok, valamint a vízmennyiségre és -minőségre gyakorolt hatások megértése a vízgyűjtőt érintő környezeti hatástanulmányok és döntéshozatali mechanizmusok számára (Mungai és társai 2004). Az infokommunikáció térnyerése és a távmérő állomások elterjedésének köszönhetően a valós idejű adatokkal feltöltött hidrológiai modellek a vízgazdálkodás hatékony eszközei. A vízkészletekkel történő gazdálkodás döntéshozatali folyamatában, az árvízi előrejelzésben, a hidrológiai előrejelzések elkészítésében és ezáltal a katasztrófák elkerülésében és a károk enyhítésében fontos szerepet töltenek be (Irimuş és társai 2015).

A mért környezeti paraméterek felhasználásával különféle környezeti modelleket építhetünk. Bár az antropogén és természetközeli hidrológiai folyamatok nem definiálhatók egzakt módon, a különféle modellekkel mégis valamilyen jövőbelátás a célunk. A modellek segítenek megérteni a végbemenő környezeti folyamatokat. Különböző modellparaméterek megváltoztatásával jövőbeli események környezeti, illetve társadalmi-gazdasági hatásait is képesek vagyunk szimulálni (IPCC 2023). A modell megbízhatósága ugyanakkor nagymértékben függ a megválasztott modelltől, a bemenő adatok mennyiségétől, minőségétől, illetve a modell kalibrációtól és validációtól (Leandro és társai 2009, Fehér 2015).

A hidrológiai modellek matematikai ábrázolásai a vízkörforgásnak és a kapcsolódó folyamatoknak, amelyek a természetes és épített környezetben zajlanak. Az integrált hidrológiai modellek döntő szerepet játszanak a vízkészletek megismerésében, előrejelzésében és kezelésében, biztosítva azok fenntartható és hatékony felhasználását. A hidrológiai modelleket számos módon csoportosíthatjuk,

ahol a fő értékelési szempontok: a modellek alkalmazási célja, a modellezett rendszerek típusa a figyelembe vett hidrológiai folyamatok, az alkalmazott határfeltételek, a folyamatok összetettsége alapján, valamint az alkalmazott térbeli és időbeli lépték figyelembevételével (Somlyódy 2011, van den Bout és Jetten 2020, McManamay 2022).

Valójában a tájhasználat és az éghajlatváltozással kapcsolatos vízgazdálkodási döntések bizonytalansága éppen a környezeti folyamatok és kapcsolatrendszerek tökéletlen megfigyeléseinek köszönhető. E tekintetben a hatékony vízkészlet-gazdálkodáshoz megbízható információk szükségesek a hidrológiai ciklus valamennyi komponenséről. Ezért a hatékony és fenntartható fejlődés érdekében a vízgyűjtő léptékű gazdálkodás erősen ajánlott. Jelen tanulmányban a Közép-Tiszántúl térségére egy vízgyűjtő léptékű, integrált, felszíni és felszín alatti hidrodinamikai kapcsolt modell folyamatban lévő fejlesztését mutatjuk be. A megoldás teljesen elosztott és fizikai alapú modell, a MIKE SHE és a MIKE Hydro River modellezőrendszer segítségével. Az elosztott hidrológiai kapcsolt modellt a vizsgált térség teljes vízmérlegének részletes értékelése és felügyelete érdekében fejlesztjük. Célunk információt szolgáltatni a modellezett vízgyűjtőn belül rendelkezésre álló vízkészletekről, vízigényekről a szűkösen rendelkezésre álló vízkészletek optimális elosztása érdekében.

A vízgyűjtők vízmérlegének részletes becslése információt nyújt a hidrológiai ciklus különböző összetevőinek alakulásáról. A vízgyűjtők hidrológia elméleti ábrázolása fizikai törvényeken alapul, különösen a tömegmegmaradás, Newton mozgástörvényei és a termodinamikai törvényekre építkeznek. A feltételezés szerint a vízgyűjtőbe belépő vízmennyiség megegyezik a vízgyűjtőből kilépő vízmennyiséggel és a vízgyűjtő nettó tárolt vízkészletével. Továbbá, a vízgyűjtők vízháztartása a különböző hidrológiai összetevők (csapadék, párolgás, intercepció, visszatartó tározás, felszíni és felszín alatti be-, illetve kiáramlás)

közötti függvénykapcsolat határozható meg. A különböző hidrológiai komponensek közötti modellkapcsolatoknak széles szakirodalma áll rendelkezésre (*Tamás és társai 2002, Mensah és társai 2022, Stadnyk és Holmes 2023*).

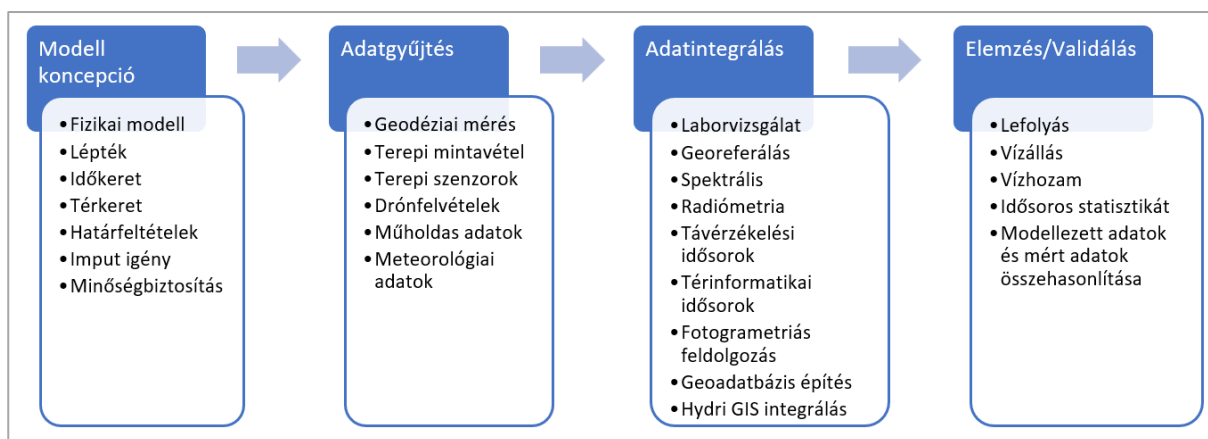
A determinisztikus hidrológiai modellek értékelése

Tamás és társai (2002) alapján a hidrológiai modellek az ok-okozati kapcsolatok feltárása során elsősorban determinisztikus megközelítést alkalmaznak, melynek célja a fizikai folyamatok valóságghú, dinamikus rekonstrukciójának biztosítása. E megközelítésben az egyes hatótényezők kölcsönös interakciójának realiztikus modellezése áll a középpontban, ami a determinisztikus modellek előnyben részesítését indokolja azokkal a modellekkel szemben, amelyek kevésbé pontosan, de rugalmasabban képezik le az adott jelenség fizikai összefüggéseit. A determinisztikus modellek, mint amilyen a MIKE SHE, a fizikailag összetettebb modellezési lehetőségeik révén hitelesebbnek tűnhetnek a viszonylag egyszerűbb modellekkel szemben, melyek kevesebb hatótényezőt vesznek figyelembe. Azonban, a modell összetettségével arányosan nő az adat-, paraméter- és számításiigényesség is, ami fokozza a mérési és kalibrációs hibák lehetőségét (*Wani és társai 2019*). Ezt különösen fontos figyelembe venni, amikor a csapadékeloszlás térben és időben történő kaotikus változékonyságát modellezzük (*Kemény és társai 2013, Fehér 2015*). Komplex hidrológiai folyamatok esetén, ahol a tér- és időbeli folyamatok komplexitását értékeljük, elengedhetetlen a hiba terjedési folyamatok (*Carless és társai 2021*) és az érzékenység vizsgálatok figyelembevétele a vizsgálati eredmények kiértékelése során (*Kozma 2013, Tran 2023*).

A modell bonyolultságával – ami arra utal, hogy részletes és nagy mennyiségű adatok beépítése történik a modellbe, így növelve az általa végzett számítások összetettségét és ezzel együtt a modell összességében vett bonyolultságát – arányosan nő a számítási idő is, tehát a több adat és részletesség beépítése jelentősen megnöveli azt az időt, amely a modell futtatásához szükséges. Ennek következtében csupán néhány alternatív modell futtatására nyílik lehetőség adott időkereten belül. Ekkor fennáll a

veszélye annak, hogy nem a „valóságghú alternatívát” fogadjuk el, vagyis azokat a modelleket, amelyek a leginkább megközelítik vagy tükrözik a valóságot, figyelmen kívül hagyva, amiatt, hogy korlátozott idő áll rendelkezésre a számításokra és a modellértékelésre (*Bárdossy és társai 2000*). A modell teljesítménye és alkalmazhatósága szorosan kapcsolódik a kiválasztott paraméterhalmazhoz, mivel ezek a paraméterek határozzák meg a modell konfigurációját és beállításait. A számítási igény növekedése miatt azonban korlátozott lehetőségek állnak rendelkezésre a paraméterek különböző kombinációinak vizsgálatára, ami befolyásolhatja a modell optimalizálásának és a valós viszonyokhoz való illeszkedésének mértékét (*Caers 2011*). Végző soron a modell bizonytalanságának meghatározása válik lehetetlenné, így pedig a modell kimenetele a valóságnak csupán „egy lehetséges alternatívájaként” értelmezhető. *Popper (2002)* szerint „a felállított modell semmiképpen se legyen összetettebb, mint amit a kívánt cél elérése érdekében ténylegesen szükséges figyelembe venni”. Minél bonyolultabb modellt alkalmazunk, annál több releváns információval kell rendelkezünk, illetve annál több modell paramétert kell megfelelően meghatározunk. Ha az egyszerűbb és a bonyolultabb modell eredményei közötti különbségek a modellek összes többi bizonytalansági tényezőjével szemben jelentéktelenek, akkor érdemes az egyszerűbb modellt előnyben részesíteni (*Caers 2011, Rubin 2003*).

A modellek másik nagy csoportja sztochasztikus megközelítés melyben a vizsgált hidrológiai változók tulajdonságaihoz valószínűségi értékeket rendelnek, pl. Fuzzy algebra, ARIMA modellek (*Hipel 2010*). A sztochasztikus modell alapfelvetése, hogy az egyes környezeti tényezők egymással determinisztikus kapcsolatot alkotnak. Ugyanakkor a lépték függvényében mindig előfordulnak olyan kiszámíthatatlan tényezők, amelyeket nem tudunk megfigyelni. Ezért csak általánosítani tudunk, azonban a megfigyelések ettől az általánosítástól többé-kevésbé eltérnek. Az eltérések mértéke határozza meg a különféle eredetű bizonytalanságokat, illetve valószínűségeket.



3. ábra. A hidrológiai modell építés folyamata
Figure 3. The hydrological model building process

2. táblázat. Adatforrások a TIKEVIR integrált hidrológiai modellezéséhez
Table 2. Data sources for TIKEVIR integrated hydrological modelling.

Adatforrások	Adatok	Adatformátum	Lépték
TIVIZIG	Vízrajzi adatok, Vízi mérőállomások adatai	.csv	1-3 napi, interpolált
Országos Meteorológiai Szolgálat	Hőmérséklet, Csapadék, Referencia ET	.csv	1 nap
Aszálymonitoring	Hőmérséklet, Csapadék, Referencia ET	.csv	1 óra
KITE	Hőmérséklet, Csapadék, Referencia ET	.csv	10 p
ESA – Sentinel 2	LAI, CORINE Land Cover 2018	.JP2, .shp	5 nap
TIVIZIG	Talajvízmérő kutak adatai	.csv	1-3 nap, interpolált
DTA-50	Domborzati modell	.GeoTIFF	1:50 000
MTA ATK TAKI	AGROTOPO	.shp	1:100 000

ADATMINŐSÉG

Az adatminőség szempontjából két alapvető koncepcionális tényezőt fontos figyelembe venni. Egyfelől a vízgyűjtő-modellezés során az egyes környezeti tényezők értelmezése minden esetben generalizált módon történik, ami lehetővé teszi a különböző skálájú jelenségek modellezését. Másfelől az operatív döntéshozatali rendszerek úgynevezett időkritikus rendszerek, ahol a környezeti modellek differenciálegyenleteinek numerikus megoldása szorosan összefügg a modell diszkretizálásának mértékével, azaz azzal, hogy a folyamatos jelenségeket milyen részletességgel és milyen diszkrét pontossággal közelítjük meg. Még a geodéziai eszközökkel, milliméter pontossággal felmért tényezők esetében is a modell diszkretizálása határozza meg a felhasznált adatok részletességét és ezáltal a modell általánosítási képességét. Másik oldalról egy vízgyűjtő felszín alatti hidrológiai folyamatainak mérnöki pontosságú leképezése tökéletesen szükségtelen, amennyiben a modell célja a regionális vízkészlet-szétosztás optimalizálása.

Érdeemes megjegyezni, hogy jogrendszerünk sem képes kezelni azt a paradoxont, mely szerint észszerű körülmények között a rendelkezésre álló eszközökkel nem vagyunk képesek a környezeti hatótényezők determinisztikus összefüggéseinek tökéletes meghatározására. Ezt a kihívást a hidrológiai kutatásokban gyakran a különböző módszerek eredményeinek összehasonlításával és korábban közölt kutatási eredményekkel való összevetésével kezelik, ami lehetővé teszi a bizonytalanságok mértékének csökkentését és a döntéshozók számára releváns, megbízhatóbb információk szolgáltatását. A kutatási jelentésekben azonban továbbra is kihívást jelent a módszertani bizonytalanságok kommunikálása úgy, hogy az ne hártsa át a felelősséget a döntéshozókra. Mindazonáltal, üzleti szempontból előnyös lehet a hangsúlyozás, hogy a kínált megoldás „tökéletesebb” eredményt nyújt, mint amit a konkurencia kínál, miközben figyelembe vesszük és kommunikáljuk a kutatási módszertan inherens korlátait és a bizonytalanságok kezelésére tett lépéseket.

Amennyiben lokális vízkészletek optimális szétosztásáról beszélünk egy homogén mezőgazdasági kultúrán, a megfigyelni kívánt folyamatok körét lényegesen lecsökkentjük, ezáltal bizonyos, regionális szempontból trendszerű folyamatok (pl. hőmérséklet) konstanssá válnak. A regionális léptékben kiátlagolva jelentkező, egyébként jelentős területi vagy időbeli heterogenitást mutató környezeti hatásokról (pl. gyökérszóna vagy levélfelületi index időbeli alakulása) az arányaiban megnövekedő (fiskális,

technikai, időbeli) megfigyelési kapacitásainknak köszönhetően részletesebb képet alkothatunk. Mindazonáltal a megnövekedett információmennyiség feldolgozásához szükséges számítási kapacitások is lényegesen megnövekednek, következésképpen a modellezni kívánt terület méretének növekedésével elérhetünk egy olyan kritikus méretet, melyen túlmenően a modell futásideje meghaladja a hatékony beavatkozás elvégzéséhez szükséges időkeretet.

RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ MODELLEK ÁTTEKINTÉSE, ÉRTÉKELÉSE

Az elmúlt négy évtizedben hidrológiai rendszerek értelmezése és hipotézisvizsgálatok végrehajtása érdekében vízgyűjtő-modellek sokaságát (AnnAGNPS, ANSWER-2000, CREAMS, EPIC, HEC-1, HSPF, SWAT, HEC-HMS) fejlesztették (Arnold és társai 1993, Singh 1995, Parsons és társai 2004). A fenti modellek hatékonysága a részletes vízmérleg-számítás során ugyanakkor a ma rendelkezésre álló hatalmas adatmennyiséghez képest már nem felel meg (Brun és Band 2000, Albek és társai 2004, Bosch és társai 2004, Gassman és társai 2007). Az AnnAGNPS a felszíni lefolyás modellezését gyengén kezeli (Yuan és társai 2002, Suttles és társai 2003), az alapvízhozamot nem képes meghatározni, illetve a csapadék eloszlásának térbeli mintázatait sem kezeli. Következésképpen nem alkalmas a be- és kiáramló vízmérleg számítására. Az ANSWERS-2000 nem tudja meghatározni az alapvízhozamhoz szükséges felszín alatti áramlásokat, vagyis térségünkben a talajvíz sokéves alakulását (Connolly és társai 1997). A CREAM modellben nem tudjuk meghatározni az alapvízhozamot. Továbbá a modell homogén talajtani viszonyok között, egy kiválasztott növényfajra és gazdálkodási gyakorlatra, valamint a vízgyűjtőn belül térben homogén hidrometeorológiai tényezőkkel számol. Így integrált vízgazdálkodási megfontolásból nem használható a térség egységes antropogén és környezeti megfontolású hidrodinamikai modellezésére (Knisel és Williams 1995). Az EPIC modell sem képes szimulálni az alapvízhozamot, továbbá az időjárás, a talaj és a gazdálkodási tényezőket homogénnek tekinti a területen (Williams 1995). A HEC-1 modellben mind a kezdeti csapadékvesztés, mind az állandó veszteségráta olyan egyszerűsítések, amelyeknek a vihar jellemzőivel kell változniuk, és így nem fizikai alapú paraméterek. A HEC-1 hátránya továbbá, hogy a mederáramlást és a medertölcsördulást dinamikus hullámmódel helyett egydimenziós (1D) Muskingum-Cunge módellel szimulálja, ezáltal a gyorsulási feltételeket figyelmen kívül hagyja (Merkel 2002). A HSPF módel egy részben osztott, részben fizikai alapú módel, amely fizikai

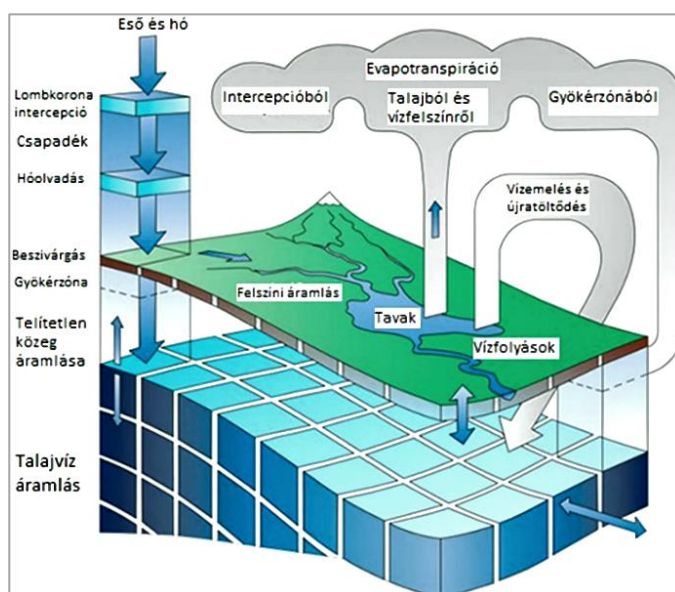
és empirikus egyenletek alapján számítja a vízáramlást, továbbá a vízgyűjtő jellemzőit és az éghajlati paramétereket területileg homogénnek tekinti (*Brun és Band 2000*). A SWAT modell is hasonló problémákkal jellemezhető, mint a fent ismertetett modellek: egy félig elosztott modell, amelyben a szimuláció homogén éghajlattal, talajjal, földtakaróval és gazdálkodási gyakorlattal jellemezhető részvízgyűjtőkön történik. A szakirodalmi források alapján a MIKE SHE számos megközelítést kínál a víz mozgásának egyidőben leírására, beleértve a felszíni áramlásokat, a folyók és tavak áramlását, a telítetlen és telített áramlásokat és az evapotranspirációt (*Tran, 2023*), illetve integráltan képezi le a felszíni- és felszín alatti víztestek közötti kapcsolatokat (*Sun és társai 2006*). A MIKE SHE nagyobb hatékonysággal képes prognosztizálni a folyók vízhozamának általános változását, mint a SWAT (*El-Nasr és társai 2005; Ndomba és Birhanu 2008*). A MIKE SHE, mint integrált hidrológiai modell, hátrányai közé tartozik, hogy számos bemeneti adatra van szüksége, ami jelentős mennyiségű adatgyűjtést és előkészítést igényel, növelve ezzel a modellezési folyamat bonyolultságát és időigényét. Ezenkívül a telítetlen áramlás modellezésének korlátozottsága csupán a függőleges, egydimenziós szimulációra – bár elegendő lehet bizonyos szituációkban, mint például mélyebb talajrétegek vízmozgásának vizsgálatakor – korlátozza a modell alkalmazhatóságát olyan esetekben, ahol a víz horizontális áramlása vagy a telítetlen és telített zónák közötti komplex interakciók is fontos szerepet játszanak. A DHI szoftvercsalád korai hazai alkalmazására a Tisa Catchment Area Development Spatial Decision Support System (*TICAD SDSS 2012*) projekt keretében került sor. A Tisza-völgyi árvizek hidrológiai, hidrodinamikai és gazdasági modellezésére, valamint a levonuló árhullámok előrejelzésére, beleértve a Tisza-völgyi árapasztó tározók optimális működtetését is, egy komplex hidrodinamikai modellrendszer kialakítása szükséges. E célból az Országos Műszaki Irányító Törzs (OMIT) 2020-ban létrehozta a Tisza-völgyi Árvízvédelmi Elemző Központot (TÁREK),

amely nem csak egy szakcsoport, hanem egy integrált modellrendszer, beleértve hidrológiai, hidrodinamikai és kár-számítási modulokat, amely a Tisza teljes vízgyűjtőjére kiterjed. A TÁREK munkáját a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszerhez (TIKEVIR) kapcsolódó modellezési eredmények is segítik, remélhetőleg előmozdítva a térség árvízvédelmi és vízgazdálkodási hatékonyságát.

INTEGRÁLT HIDROLÓGIAI MODELLEZÉS MIKE SHE KÖRNYEZETBEN

A hagyományos és generalizált vízgyűjtő modellek a vízkörforgás teljes komponenshalmazát nem képesek hatékonyan ábrázolni. Mindazonáltal nemzetközi és hazai kutatásokra támaszkodva a MIKE SHE modellezési rendszer hatékonyan alkalmazható különféle léptékű vízgyűjtők vízgazdálkodásának integrált irányítására (*Jayatilaka és társai 1998, Singh és társai 1999, Illangasekare 2001, Thompson és társai 2004, Nazrul és társai 2006, Sahoo és társai 2006, Stisen és társai 2008, DHI 2014, Tran 2023*).

Más vízgyűjtőmodellektől eltérően a MIKE SHE modell a hidrológiai ciklust a felszíni, valamint a két- és háromfázisú zóna együttes integrált szimulációjával írja le (*4. ábra*). A MIKE Hydro River hidrodinamikai modell segítségével az egydimenziós kereteken belül elemezhetjük a medrek hidrodinamikai viszonyait, nyomon követhetjük a medertározást és a vízállás változások hatásait, bár ez a megközelítés korlátokat jelent a hidrodinamikai viszonyok teljes körű részletességében való ábrázolására. A MIKE SHE-vel a felszín alatti és felszíni víz között fellépő kölcsönhatások determinisztikus módon képezhetők. A modell alkalmas az eltérő vízháztartási helyzetek szimulációjának eredményeinek kidolgozására, hozzájárulva a hatékonyabb területi vízgazdálkodási stratégiák kidolgozásához (*van Leeuwen és társai 2016, Nagy és társai 2019, Tran és társai 2022*).



4. ábra. Konceptcionális hidrológiai folyamat (DHI 2014, saját fordítás)
Figure 4. Conceptual hydrological process (DHI 2014, own translation)

A MIKE SHE modell a hidrológiai folyamatokat az energia- vagy impulzusmegmaradás törvényei alapján írja le. A vízgyűjtők fizikai paramétereit, az éghajlati változókat és a hidrológiai tényezőket ortogonális rácshálón modellezi (Refsgaard és társai 2010). Az áramlásokat háromfázisú zóna esetében háromdimenzióban, a vadózus zónában vertikálisan kezeli, míg a felszíni lefolyást kétdimenzióban modellezi, amely magában foglalja a víz felszíni elterjedését és interakcióját a folyókkal. A folyókkal való kapcsolatot kifejezetten laterálisan, azaz oldalirányban kezeli, figyelembe véve a víz folyók és a szomszédos területek közötti mozgását (DHI 2023a, 2023b). Más vízgyűjtőmodellekkel szemben a MIKE SHE modell egyidejűleg és integrált módon szimulálja a hidrológiai ciklus minden folyamatát, mint a csapadék, lefolyás, beszivárgás és párolgás. Emellett képes a különböző vízáramlási komponensek, mint a felszíni lefolyás és a talajvíz mozgásának interakcióit is modellezni, biztosítva ezzel a felszíni és a talaj alatti vízáramlás közötti kapcsolatok átfogó ábrázolását. Bár a hóolvadás dinamikus beépítésére is lehetőség van, de az elmúlt 20 év adatai alapján ennek vízhozartási szempontból elhanyagolható a jelentősége a vizsgált térségben. A felszíni lefolyás meghatározásához a Soil Conservation Service görbe szám (SCS-CN) megközelítés helyett a MIKE SHE modell a Saint Venant-egyenletek egy egyszerűsített, diffúziós megközelítését alkalmazza, ami elkerüli a visszaduzzasztás részletes modellezésének szükségességét.

A MIKE Hydro River egy hidrodinamikai modell, amely kulcsfontosságú eszköz a vízhálózatok definiálásában. Ez a modell egy modulként funkcionál az integrált MIKE SHE modellrendszeren belül, támogatva a vízkörforgás és a vízgazdálkodási folyamatok szimulációját. A MIKE Hydro River szimulációi különösen hasznosak lehetnek a vízgazdálkodási infrastruktúra optimalizálásában, lehetővé téve a döntéshozók számára, hogy hatékonyabban kezeljék a vízerőforrásokat és javítsák a vízrendszerek működését (Chen és Liu 2017). A MIKE SHE hidrológiai rendszer modulja és a MIKE Hydro River modell összekapcsolásával lehetővé válik a felszíni és felszín alatti vízmozgások, valamint a folyómedrek áramlásának integrált szimulációja. Ez az integráció kiterjed a hidrológiai ciklus teljes körű elemzésére, beleértve a víz felszíni lefolyását, a talajvíz mozgását, és a folyók hidrodinamikáját (Yan és Zhang 2005). A MIKE Hydro River modell natívan beimportálható a MIKE SHE modellbe (DHI 2023a).

A modell moduláris felépítésének köszönhetően az egyes komponensek között dinamikus adatcsere, illetve az egyes hidrodinamikai alkomponensek önálló, szofisztikáltabb fejlesztése érhető el (DHI 2004). Ennek a fejlesztési koncepciónak köszönhetően egy felépített regionális modell összekapcsolható különféle, nagyobb felbontású (így nagyobb adat- és számításigényű) részmodellekkel. Ilyen részmodell a MIKE Urban, mellyel települések antropogén vízhálózatát, illetve záportározók, villámárvizek hatásait modellezhetjük. A szakirodalomban a MIKE+ szoftvercsalád implementációs területeibe beletartoznak a felszíni hidrológiai (Zölch és társai 2017), a felszín alatti hidrológiai (Lévesque és társai 2023) és a különböző speciális vízhasználati célok (He és társai 2019), így a városi hidro-

lógiai vizsgálatok térbeli és időbeli értékelése (Haghig-hatafshar és társai 2018). Másik előnye az ilyen típusú modellkoncepciónak, hogy egy nagy kiterjedésű regionális hidrodinamikai modellen belül egy-egy mezőgazdasági, erdészeti, természeti vagy árvízvédelmi szempontból kifinomultabb modellezésre kijelölt területre almodelleket dolgozhatunk ki. Az integrált megközelítésnek köszönhetően a modell – mint időkritikus rendszer – számításigénye lényegesen csökken, nagyobb mozgásteret biztosítva ezáltal a döntéshozatali hatóságok számára.

A MIKE SHE modell rugalmassága abban rejlik, hogy képes ötvözni a koncepcionális és a fizikai alapú modellezési módszereket, tehát a rendelkezésre álló adatokhoz és projektspecifikus követelményekhez adaptálható (Graham és Butts 2005). A MIKE SHE modell ezáltal alkalmas a TIKEVIR vízgazdálkodási döntéseinek operatív, valós idejű támogatására, illetve az infrastrukturális és vízviszszatartási döntések stratégiai megalapozására.

Az általunk kiválasztott paraméterek szimulált eredményeit a program térképek, grafikonok, táblázatok, idősorok, animációk formájában állítja elő. A modell segítségével az alábbi paraméterek értelmezésére nyílik lehetőség: terményegyüttható, referencia párolgás, $ET_{ref} \times K_c$, tényleges párolgás, tényleges transzspiráció, tényleges evaporáció, tényleges párolgás az intercepcióból, tényleges párolgás a tározott vízből, lombkorona felfogásból adódó tárolás, párolgás a telített zónából, a felszíni vizek mélysége, felszíni áramlás, felszínről a folyóba áramlás, felszíni vízszintemelkedés, vízmélység, vízhozam, beszivárgás a telített zónába (negatív), cserélődés az telített zóna és a telített zóna között (felfelé), telített zóna vízhiánya, telített zóna teljes feltöltődése (lefelé), a telített zónában tárolás változásának mértéke, a telített zóna áramlása, a telített zóna víztartalma, nyomásmagasság a telített zónában, nedvességtartalom a telített zónában, gyökér vízfelvétel, nyomásmagasság a telített zónában, szivárgás telített zónából - felszíni áramlás, felszínáramlás - szivárgása a telített zónában (negatív), talajvíz áramlása, a tárolt telített zóna vízszintmagasság a telített zóna áramlásával, telített zóna cserélődés a folyóval (DHI 2023c).

INTEGRÁLT HIDROLÓGIAI MODELL INTEGRÁLÁSA A MIKE SHE KÖRNYEZETBE A TIKEVIR TERÜLETÉRE

A projekt keretében felépített modell két komponensből tevődik össze. A MIKE SHE modell a mintaterület körvonalát, a területre vonatkozó digitális domborzatmodellt, a hidrometeorológiai adatsorokat, a területhasználati és felszínborítás adatokat, a talajfizikai és sekélyföldtani paramétereiket, valamint a talajvíztükör alakulására vonatkozó fedvényeket igényli. A MIKE Hydro River futtatásához medergeometriai és mederállapot adatokra (kereszt- és hosszszelvények, mederérdesség), a vízszabályozó műtárgyakra és azok üzemelési szabályzataira, valamint a vízkivételi pontokra, és az ott kivett vízkészletekre vonatkozó adatokra van szükség. Az alábbiakban áttekintjük és értelmezzük a rendelkezésre álló adatok körét, feldolgozásuk, tárolásuk módját, valamint azokat a dinamikus adat-asszimilációs lehetőségeket, melyek lehetővé teszik a valós idejű integrált hidrológiai modellezést MIKE SHE szoftverkörnyezetben.

A talaj és sekélyföldtani adatokat a modellezés időléptékében értékelhetjük statikus térbeli adatként. Ezen adatok előkészítését ArcGIS Pro szoftverkörnyezetben végeztük. A területborítottságot és a területhasználati adatokat első iterációban szintén statikus adatnak tekintettük, ugyanakkor megjegyzendő, hogy eltérő mezőgazdasági haszonnövények eltérő módon befolyásolják a beszivárgást és a párolgási folyamatokat, így lényeges bizonytalansági faktorként tekinthetünk a fenti tényezőkre. A mezőgazdasági haszonnövények valós idejű evapotranszpiráció-becsülésének területi térképezésére a műholdas távérzékelés és mesterséges intelligencián alapuló növényzet-felismerő mobil térképészeti platform fúziójával jelenleg is aktív kutatásokat folytatunk (*Tamás és társai 2023*). A térinformatikai környezetben előállított dinamikus térinformatikai adatokat MIKE IO interfészen keresztül közvetlenül tápláljuk a MIKE SHE modellkörnyezetbe. A MIKE IO egy ingyenes, nyílt forráskódú Python könyvtár a MIKE adattípusok kezelésére, támogatva az adatok olvasását, írását, elemzését és a hidrológiai modellezési folyamatok automatizálását.

A hidrometeorológiai és vízrajzi monitoring adatok folyamatosan frissülő idősorok, melyek egy-egy monitoring állomás közvetlen közelében tekinthetők reprezentatívnak. A MIKE SHE modell ugyanakkor a rácsáló minden egyes pontjára megköveteli a pontos térbeli kiterjesztését. Ez a kiterjesztés történhet a legközelebbi szomszéd elve alapján (Theissen / Delaunay háromszögeléssel), vagy alternatívaként valamilyen interpolációs megoldással. Az előbbi megoldás térben homogén módon kezeli az adott állomáshoz legközelebb álló területeket, és mivel további paraméterezést nem igényel, ezért az időszaki megfigyelések közvetlenül összekapcsolhatók egy-egy területtel. Jelen tanulmányban ezt a megközelítést mutatjuk be. Ugyanakkor, a monitoring állomásokon mért adatok között térben egyfajta átmenetet figyelhetünk meg. Ezt az átmenetet a megfigyelések tér-időbeli dinamikájának elemzésével, a MIKE szoftverkörnyezeten kívül, jóval kifinomultabb előrejelző módszerekkel (sztochasztikus szimulációkkal), sokkal valóságosabban képezhetjük le (*Fehér 2015*). Az említett módszert a hőmérséklet, referencia evapotranszpiráció és a csapadék adatok térbeli kiterjesztésére alkalmaztuk. Az így kapott fedvény idősorokat szintén MIKE IO interfész segítségével tudjuk beépíteni a modellbe.

A dinamikus fedvények alapadatai, csakúgy, mint a hidrológiai állomásadatok egy-egy megfigyelési pontra vonatkozó idősorok. Ezek az idősorok időben folyamatosan frissülnek. Az adatok rendezett tárolása Microsoft SQL adatbázisban történik. Az adatbázisunk az egyes hidrológiai, hidrometeorológiai paraméterek adatait állomásonként tartalmazza. Az állomások térbeli koordinátái alapján térinformatikai fedvényeket hoztunk létre, majd a fedvények egyes objektumaihoz a megfelelő időszaki megfigyeléseket ODBC adatbázis-kapcsolaton keresztül a MIKE IO Python interfész segítségével rendeltük hozzá.

A hidrodinamikai modell készítése előtt először is tisztázni kell, milyen adatokra lesz szükségünk. Fontos megvizsgálni az adatformátumok követelményeit, és ezek

alján beszerezzük a szükséges adatokat. Ezután meghatározhatjuk a szükséges bemeneti adattípusokat. Ezt követően dönthetünk arról, mely további adatok beszerzése szükséges és indokolt a modell pontosítása érdekében. A továbbiakban a TIKEVIR integrált hidrodinamikai modelljének bemenő adatait értékeljük.

Hidrometeorológiai adatsorok

A klímaadatok integrációjához a MIKE SHE hidrológiai modell három fő adatkategóriát igényel: csapadékmennyiség, légköri hőmérséklet és referencia párolgási potenciál (Referencia evapotranszpiráció). A csapadékmennyiség kiemelt jelentőséggel bír a lefolyásmodellek számára, mivel ez képezi a hidrológiai rendszer fő vízbevitelét. A vizsgálati területen 30 meteorológiai állomás adatai álltak rendelkezésre (Országos Meteorológiai Szolgálat, Aszálymonitoring, KITE forrásokból), melyeket óránkénti rögzítések formájában gyűjtöttek. A modell alkalmazásában ezen adatokat napi felbontásra alakítottuk, a csapadék esetén napi csapadék összeg, míg légköri hőmérséklet és referencia párolgási potenciál esetén a napi átlagot hoztuk létre. Az így kapott állományosított értékeket alkalmaztuk az egyes mérőállomások által reprezentált területeken. A Thiessen poligonok alkalmazása lehetővé tette a mérőállomások által gyűjtött adatok az egész területre történő kiterjesztését, így a modellezés során az adatok minden részletre kiterjedő, folytonos képet adnak a terület állapotáról. Ez a módszer különösen hasznos lehet olyan helyzetekben, ahol az adatok gyűjtése korlátozott, vagy a mérőállomások távolsága miatt az adatok közötti területi folytonosság hiányos.

A modell szerint a csapadék képes a lefolyásra, a talajba történő beszivárgásra, vagy ideiglenes tárolódásra a talajban. A beszivárgásának és a felszíni lefolyásnak a modellezése során kiemelt jelentőséget kapnak a vegetáció jelenléte, a talajborítás állapota és a telítetlen talajzóna jellemzői. Ezek a paraméterek alapvetően befolyásolják a vízmegmaradás és mozgás mechanizmusait a hidrológiai ciklusban. A csapadék fizikai formája legyen szó esőről vagy hóról, továbbá szükségessé teszi a hőmérsékleti adatok figyelembevételét a szimuláció időtartama alatt, mivel ezek a tényezők döntően befolyásolják a víz állapotát és rendelkezésre állását a környezetben. A hőmérséklet közvetlen hatással van a modellezett hidrológiai folyamatokra, így a víztárolásra fagyos időszakokban, valamint a párolgás intenzitására magas hőmérsékleti értékek esetén. Ezek a dinamikák alapvetően meghatározzák a vízkészletek eloszlását és a hidrológiai rendszer általános működését.

A referencia párolgási potenciál kulcsfontosságú szerepet játszik a tényleges párolgás meghatározásában, amely a rendelkezésre álló vízkészletek és a vegetáció jelenléte függvényében dinamikusan változik. Ez lehetővé teszi a modell számára, hogy modellezze a víz transzferét a talajfelszínről és a vegetációból a légkörbe, figyelembe véve a növényzet transzpirációs igényeit. Ennek eredményeként a modell képes reprezentálni a vegetáció által felhasznált vízmennyiséget. Emellett a modell dinamikusan modellezi a talajvíz, a felszíni víz és a vegetáció közötti vízcsere, biztosítva ezzel, hogy a hidrológiai ciklus összetevői közötti interakciók valóságosan legyenek ábrázolva.

Előnyök közé sorolható, hogy felhasznált klímaadatok bárki számára ingyenesen elérhetőek és letölthetőek. A meteorológiai állomások által mért adatok általában jó minőségűek és pontosak, mivel szigorú szabványok szerint gyűjtik őket, ez biztosítja, hogy a bemeneti adatokon alapuló modell megbízható legyen. Ezek az állomások folyamatosan gyűjtnek adatokat, lehetővé téve a valós idejű vagy közel valós idejű adatok integrálását a modellezésbe, ami növeli a döntéshozatali folyamatok aktualitását és relevanciáját. Többféle klimatikus és talaj paramétert is mérhetnek, lehetővé téve egy komplex hidrológiai modell kialakítását. A Thiessen poligonok alkalmazásával a meteorológiai állomások adatainak területi reprezentativitása javítható, így a modellezés során az adatok folytonos képet adnak a vizsgált terület állapotáról.

Hátrányok közé sorolható, hogy különböző meteorológiai állomások esetében eltérő mérési protokollok és eszközök használata standardizációs problémákat okozhat, ami nehezíti az adatok összehasonlítását és integrálását, emellett befolyásolhatja a modell általános pontosságát. Az eszközhibák, emberi tévedések vagy természeti események befolyásolhatják az adatgyűjtés folyamatosságát és pontosságát, ami torzíthatja a modell bemeneti adatokat. Előfordulhat, hogy néhány meteorológiai állomás adatgyűjtése nem folyamatos, lehetnek adatkihagyások vagy hosszabb időszakokra vonatkozó adathiányok, amelyek akadályozzák a folyamatos időszakokra vonatkozó analíziseket. Így mindenképpen fontos, hogy a modellbe bemenő adatok felhasználás előtt egy előfeldolgozáson menjenek keresztül, amely során felismerésre (környező állomások adatainak összehasonlításával, statisztikai eloszlásokkal, előre meghatározott határértékekkel) és pótlásra (interpolációs módszerekkel, szomszédos meteorológiai állomásról származó adatokkal, gépi tanulási modellekkel) kerülnek a pontatlan értékek és az adathiányok az adatbázisban. A távoli állomásokról származó adatok esetén az adatátviteli hibák vagy késedelmek befolyásolhatják az adatok időszerezését és pontosságát, ezzel hátráltatva a valós idejű vagy közel valós idejű adatok integrálását a modellbe. A meteorológiai állomások területi eloszlása nem homogén, illetve nem mindenhol érhető el. Ez korlátozhatja a modell térbeli részletességét és pontosságát, különösen a nagyobb kiterjedésű időjárás állomás nélküli, tehát adattal nem rendelkező területeken.

Felszínhasználati adatok

A modellezett vízgyűjtő területen jellemző növényzeti borítás hatásának értékeléséhez a 1:100 000 méretarányú Corine Land Cover (CLC) adatbázist alkalmaztuk. A felszínhasználati adatok kulcsfontosságúak a hidrológiai modellezés során, mivel befolyásolják az infiltrációt, a víz eloszlását, az evaporációt és a felszíni lefolyást. A felszínborítás befolyásolja a felszíni áramlást és az evapotranspirációs komponens a modellezés során.

A CLC adatbázis az Európai Unió kiterjedt földhasználati és földborítási adatgyűjteménye, amely részletes információkat szolgáltat a táj használatáról. A CLC 2018 adatok felhasználásával a MIKE SHE modellben meghatároztuk a különböző földhasználati típusok paramétereit. Ezek a paraméterek magukban foglalják többek között a

növényzettípusokat és a felszínborításhoz kapcsolódó paramétereket.

Modellezés szempontjából, különböző évek összehasonlítása esetén ideálisabb lenne, az adott évre jellemző felszínborítást alkalmazni. A CLC térkép új, frissített változata körülbelül ötévente készül el, tehát csak bizonyos évekre érhetőek el a felszínborítás adatok, nagy időbeli kihagyásokkal. Az területi elemzéseket befolyásolja, hogy az adatbázis 100 méteres rácsfelbontással rendelkezik, amely nem elegendő a kis területű változások vagy részletek pontos azonosításához. A kategóriák szélességi körűek lehetnek, ami korlátozhatja a specifikus földhasználati típusok részletes elemzését. Ilyen lehet például a mezőgazdasági terület kategória, mely nincs tovább részletezve specifikusan a természetű növényfajtákra, ezzel általánosítva a regionális elemzést. Komplex és változatos tájak, mint például a mozaikszerű mezőgazdasági területek vagy az átmeneti ökoszisztémák, nehezen modellezhetőek és osztályozhatóak a CLC rendszerben, ami pontatlanságokhoz vezethet az ilyen területek reprezentációjában.

Vegetációs adatok

Az evapotranspirációs és intercepciós komponens kiszámításához a MIKE SHE-nek szüksége van a levélterület-indexre (LAI) és gyökérszóna mélységére, melyeket minden felszínhasználati kategóriához meg kell határozni.

A levélterület-index (LAI) azt mutatja meg, hogy egy adott területre vetítve mennyi levélterület van. Az LAI egy dimenzió nélküli szám, amely kifejezi a levelek területének és a földfelszín alatti terület arányát, általában m^2 levélterületet m^2 földterületre vetítve. Ez az index fontos a növényzettel kapcsolatos különböző ökológiai és hidrológiai folyamatok, mint a transzpiráció modellezéséhez. A gyökérszóna mélysége fontos ökológiai és hidrológiai paraméter, amely jellemzi azt a talajréteget, ahol a növények gyökerei aktívan vizet és tápanyagokat vesznek fel. Ez a mélység jelentősen befolyásolja a növények vízellátását, növekedését és életfolyamatait, valamint a talajvíz töltődését és a talaj nedvességtartalmának dinamikáját. A gyökérszóna mélysége változó, függ a növényfajától, a talajtípustól, a vízellátástól és az éghajlattól.

A vegetációs adatok minősége és gyűjtésük módja jelentősen befolyásolja a modellezés pontosságát és megbízhatóságát. A LAI és a gyökérszóna mélységének ismerete elengedhetetlen a növényzettel kapcsolatos ökológiai és hidrológiai folyamatok, például a transzpiráció és a talajvíz töltődésének modellezéséhez. A modellezés szempontjából előnyös a pontosabb és részletesebb vegetációs adatok használata, mert lehetővé teszik a MIKE SHE modell finomhangolását. Hátrányok között kell megemlíteni a terepi mérések magas költségeit és időigényességét, amely korlátozhatja a vegetációs adatok széles körű gyűjtését. Emellett az elérhető távérzékelés, alacsony felbontású műholdas adatoknak korlátozott a részletessége és a pontossága, amelyek negatív hatással vannak a modellezési eredmények megbízhatóságára. Ezek alapján elmondható, hogy a vegetációs adatok, különösen a gyökérszóna mélysége, gyakran nehezen mérhetőek, ami pontossági problémákat okozhat. A legpontosabb adatokat terepi mérések

kel lehet megszerezni, amelyek nagy térbeli felbontást biztosítanak. Ez azonban jelentős emberi erőforrás és költségigényt jelent, valamint hosszú időt vehet igénybe. Bár a műholdas technológiák lehetővé teszik a vegetációs adatok nagy területre való gyűjtését, ezek gyakran alacsony térbeli és időbeli felbontásúak, ami kevésbé részletes és pontos adatokat eredményez.

Talajfizikai és sekélyföldtani adatok

Az AGROTOPO térkép egy részletes agrotopográfiai adatbázisra épülő térképsorozat, amely Magyarországon készült a talajtípusok, talajadottságok és mezőgazdasági területek jellemzésére. A projekt az 1970-es évek végén indult, célja pedig az volt, hogy feltérképezze Magyarország agroökológiai potenciálját, azaz a mezőgazdasági tevékenységek számára elérhető termőhelyi adottságokat és korlátokat. Az AGROTOPO térképsorozat az ország talajviszonyait 1:100 000-es méretarányban ábrázolja, alapját pedig a Kreybig-féle Átnézetes Talajismereti Térképek képezték, amelyeket később digitálisan feldolgoztak és a magyar egységes vetületi és topográfiai rendszerhez igazítottak.

A talajfizikai adatok a talaj fizikai tulajdonságaira vonatkoznak, beleértve a porozitást (a talaj pórustérfogatának aránya), a vízvisszatartási képességet (a talaj képessége a víz megőrzésére és növények számára való elérhetővé tételére), a hidraulikai vezetőképességet (a talajon keresztüli vízáramlás képessége), valamint más specifikus jellemzőket, mint a fedett és fedetlen víztartók, a talajban történő víztározás és fajlagos tározás, a pF-görbe, ami a vízpotenciál és a talaj nedvességtartalmának összefüggését írja le. Ezek a jellemzők kulcsfontosságúak a talajvíz áramlásainak, tározási folyamatainak és a növények vízfelvételének pontos modellezésében.

Az AGROTOPO térkép és a talajfizikai adatok összefüggése abban rejlik, hogy az AGROTOPO adatbázis biztosítja a talajfizikai paraméterek térbeli eloszlásának alapját. A térkép segítségével meg lehet határozni a különböző talajtípusok elhelyezkedését Magyarországon, valamint ezek fizikai és hidraulikai tulajdonságait. A talajtípusok meghatározása és a hozzájuk kapcsolódó fizikai adatok integrálása a modellekbe lehetővé teszi a talaj-víz rendszer dinamikájának pontosabb megértését és előrejelzését, így hozzájárulva a mezőgazdasági tervezéshez, a vízgazdálkodáshoz és az agrár-környezeti kockázatkezeléshez.

Ezek az adatok, amikor integrálódnak a hidrológiai modellbe, fontos eszközt biztosítanak a talaj és víz interakciók, a vízmozgások és a vízvisszatartási képesség összetett elemzéséhez. Viszont a 1:100 000-es méretarányú adatok korlátai miatt ezek az információk nem mindig elegendően részletesek a helyi szintű elemzésekhez. E hiányosságok ellenére a nagyobb felbontású adatok, amelyek pontosabb modellezést tesznek lehetővé, gyakran csak korlátozott mértékben érhetők el vagy helyszíni adatgyűjtéssel és mérésekkel kell kiegészíteni.

A talajviszonyok időbeli változásai befolyásolhatják az adatok relevanciáját. Ez kihívást jelent, mivel az adatbázis esetleg nem tartalmazza a legfrissebb talajváltozásokat, ami a modellek aktualitását és relevanciáját befolyásolhatja. Az alacsony felbontású adatok, általánosíthatják a területi adottságokat, ami pontatlanságokhoz vezethet a

vízmozgás és eloszlás modellezésében, ezzel csökkentve a modell megbízhatóságát. E megbízhatóság ugyanis közvetlenül függ az alapul szolgáló adatok pontosságától és aktualitásától, amelyek így döntő szerepet játszanak a hidrológiai modellezés sikerességében.

Talajvíz adatok

A talajvíz a földfelszín alatti vízkészletek egyik fő formája, amely a talajpórusokban és kőzetek repedéseiben található meg és változó szintje jelentős hatást gyakorol az ökoszisztémákra és a mezőgazdaságra. A talajvízszint, amely időről időre változik az esőzések, talajjellemzők, növényzet és egyéb tényezők függvényében, létfontosságú a növények vízellátásában és a felszíni víztömegek, mint folyók és tavak vízmérlegében. Ennek monitorozása és modellezése elengedhetetlen a vízgazdálkodási stratégiák és a mezőgazdasági öntözés tervezése során, valamint az aszályok és árvizek előrejelzésének javításában.

A talajvízszintek pontos mérésére és modellezésére irányuló erőfeszítések kulcsfontosságúak a vízkészletek megfelelő kezelése szempontjából. Automata talajvízkutak és gyakori mérések segítenek a változások nyomon követésében, növelve az előrejelzések megbízhatóságát és elősegítve az integrált vízgazdálkodási megközelítések kidolgozását. Azonban a kutak elhelyezkedése és a gyűjtött adatok reprezentativitása jelentős kihívásokat jelenthet, ami torzított képet adhat a talajvízszint valós állapotáról, így hangsúlyozva a pontos és kiterjedt adatgyűjtés fontosságát.

A hidrológiai modellek, amelyek a talajvíz és a felszíni víz kölcsönhatását elemzik, segíthetnek az öntözési stratégiák és vízkészletek hatékony kezelésében. Az adatok gyűjtése és az interpoláció révén történő területi kiterjesztése lehetővé teszi a talajvízszintek pontosabb modellezését, bár bizonyos bizonytalanságokkal jár, különösen nagy távolságú mérőkutak és alacsony adatfelbontás esetén.

MIKE HYDRO RIVER MODELL

A MIKE Hydro River egy önálló modellező szoftver a folyók áramlásának elemzése, a hidrológiai változások értékelésére alkalmas, amely egyúttal a MIKE SHE modellkomponenseként is funkcionál. Ez a rendszer hid szerepet tölt be a környezeti elemzések és a vízhálózati adatok között, lehetővé téve egy integrált hidrológiai modell megvalósítását. Azáltal, hogy a MIKE Hydro River ötvözi a vízhálózat adatait a szélesebb környezeti kontextussal, egy olyan összetett modellt nyújt, amely képes a vízi erőforrások komplex elemzésére és kezelésére. Az alábbi fejezetekben a MIKE Hydro River modell bemenő adatait ismertetjük.

Vízrajzi térinformatikai rétegek

3. táblázat. Vízrajzi térinformatikai rétegek típusai
Table 3. Types of hydrographic GIS layers

Réteg típusa	Felhasználás és adat típus
Kép	Műholdkép (RGB) – JPEG
Shape	Munkaterület – Polygon Vízhálózat hossz-szelvény – Vonal Vízállás és vízhozam mérés helye – Pont Vízi műtárgyak helye – Pont Vízikivétel helye – Pont
Raszter	Domborzati modell – GeoTIFF/.dfs2

A digitális domborzati modellt (DDM) egy 3D-s adatstruktúra, amely a Föld felszínének vagy egy adott terület

domborzatának magassági adatait tárolja digitális formában, fontos eszköz a geográfiai információs rendszerekben, mérnöki tervezésben és modellezésben. A 100 méter felbontású DDM-ek széles körben alkalmazhatóak vízgyűjtő területek határainak meghatározására, folyók és csatornák hálózatának tervezésére és a felszíni lefolyás modellezésére, általános áttekintést nyújtva a domborzatról, de korlátozott részletességgel a finomabb topográfiai jellemzők tekintetében.

A modellezés során két fontos adatminőségi kritérium a felbontás és az adatok frissessége. Míg egy magasabb felbontású DDM lehetővé teszi a domborzat részletesebb ábrázolását, javítva ezzel a modell előrejelzési képességét és segítve a pontosabb medergeometria meghatározását, nagyobb számítási erőforrást igényel. Az adatok frissessége létfontosságú a domborzat aktuális állapotának pontos tükrözésében, ami növeli a modellezés relevanciáját és pontosságát, míg a régebbi adatok téves következtetésekhez vezethetnek.

Ezt jelenti, hogy a DDM-ek kulcsfontosságúak a hidrológiai és a földrajzi tervezési folyamatokban, ahol a domborzat pontos ábrázolása szükséges, ugyanakkor a választott felbontás és az adatok frissessége meghatározó tényezők a modellezési eredmények minőségében és használhatóságában.

Hidrológiai mérőállomás adatsorok

A hidrológiai mérőállomásokról származó adatok elengedhetetlenek a MIKE Hydro River modell kalibrációs és validációs folyamatához. Ezek az állomások széles körű hidrológiai és hidraulikai információkat szolgáltatnak, amelyek magukban foglalják a vízhozamokat, a vízszinteket és a vízkivételek időbeli változásait. A modell kalibrációját és validációját ezen adatok integrálása és alapos elemzése lényeges mértékben befolyásolhatja, ami alapvetően hozzájárul a szimulációk megbízhatóságához. Az alábbi hidrológiai és hidraulikai adattípusok, mint a vízhozamok, a vízszintek és a vízkivételek, kulcsfontosságú információkat szolgáltatnak a vízhálózat állapotáról és viselkedéséről.

A hidrológiai adatgyűjtés automatizált mérőállomásokon és emberi helyszíni mérésekkel történik, amelyeknek egyedi előnyei és hátrányai vannak, beleértve az adatminőségi szempontokat is. Az emberi megfigyelők adaptívabbak és döntéshozatali képességgel rendelkeznek a változó körülmények között, ami speciális helyzetekben pontosabb eredményeket eredményezhet, bár ezek a mérések szubjektívek és hajlamosak az emberi hibára, korlátozott gyakoriságúak és költségesebbek.

Automatizált mérőállomások használata minimalizálhatja az emberi hibákat, lehetővé téve a folyamatos, objektív adatgyűjtést emberi beavatkozás nélkül, még távoli helyszíneken is. Bár a kezdeti beruházási költségek magasak lehetnek, hosszú távon ezek a rendszerek költséghatékonyabbak lehetnek az emberi mérésekkel összehasonlítva. A szenzorok azonban karbantartást igényelnek, és korlátozott pontosságúak lehetnek extrém körülmények között.

A hidrológiai adatgyűjtés legjobb gyakorlata az emberi megfigyelések és az automatizált szenzoros adatgyűjtés

kombinációja lehet, amely együttesen javítja az adatok pontosságát és megbízhatóságát, különösen változatos környezeti feltételek között. Ez az integrált megközelítés kulcsfontosságú lehet a pontos és megbízható hidrológiai modellek fejlesztésében.

Vízfolyások keresztmetszései

A vízfolyás keresztmetszései egy adott ponton a vízfolyás vertikális metszete, amely a szélességét, mélységét, meder alakját és meredekségét ábrázolja. Ez a metszet kulcsfontosságú a hidraulikai és hidrológiai modellezésben, árvízvédelmi tervezésben és vízpépítési munkákban, lehetővé téve a vízfolyás vízhozamának kiszámítását és az árvizek előrejelzését. A meder geometriája és keresztmetszete idővel változhat a feliszapolódás és a növényzet jelenléte miatt, amelyek befolyásolják a vízfolyás mélységét és vízhozamát, valamint az áramlási sebességet.

A meder változásainak nyomon követése érdekében a hidraulikai szimulációkhoz naprakész keresztmetszeti adatokra van szükség, amit részletes terepi felmérésekkel lehet biztosítani. Ezek a felmérések frissíthetők a modell bemenő paramétereit a meder aktuális állapotának megfelelően, de időigényesek és költségesek lehetnek. Bizonyos esetekben, mint a Keleti főcsatornánál, már elkezdődtek az ilyen felmérések, de a hiányzó friss adatok miatt gyakran szükséges az adatok általánosítása a modellben, a szabványos előírások figyelembevételével.

Vízszintszabályozó műtárgyak üzemelési szabályzatai

A vízpépítési és vízszintszabályozó műtárgyak olyan szerkezetek vagy építmények, amelyek a vízgazdálkodás, az árvízvédelem, a vízellátás, a hajózás támogatása és egyéb hidraulikai rendszerek céljait szolgálják. Ezek a műtárgyak lehetővé teszik a víz irányítását, szintjének szabályozását, tárolását, valamint az árvizek megelőzését és kezelését. A vízpépítési műtárgyak esetében, például zsilipekre, átvezetésekre, szivattyúkra és tározókra vonatkozó adatokat, valamint azok működési szabályait határozzuk meg.

A vízszintszabályozó műtárgyak üzemelési szabályzatai olyan irányelvek és előírások gyűjteményei, amelyek meghatározzák, hogyan kell ezeket a műtárgyakat (mint például gátakat, zsilipeket, szivattyúállomásokat és tározókat) biztonságosan és hatékonyan üzemeltetni. Ezek a szabályzatok részletezik az üzemeltetési eljárásokat, a karbantartási követelményeket, az árvízvédelmi intézkedéseket, a vízminőség-kezelési eljárásokat, valamint az emberi és környezeti biztonságot érintő előírásokat. A területileg felelős vízügyi igazgatóságok az említett műtárgyak esetén irányelveket és előírásokat alkotnak az üzemeltetési körülmények biztosítása érdekében.

Megtervezett üzemrendek szerint történik a vízkormányzás a Kiskörei Vízlépcsőnél, meghatározva ezzel a Tisza-tó üzemvízszintjeit. A tenyészidőszakban (aszályos helyzet kialakulása esetén) a Kisköre-felső vízmércén tartott 735 ± 5 cm-es duzzasztott vízszint beállításra kerül, ezzel is biztosítva plusz vízkészlet tározását mezőgazdasági célú hasznosításra. Ekkora vízfelületen minden egyes többlet cm, több mint $1\,000\,000\text{ m}^3$ többlet vízkészletet jelent a Kiskörei tározóban (Lovas 2018).

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A TIKEVIR területére alkalmazott MIKE Hydro River és MIKE SHE modellek alkalmazása jelentős mértékben hozzájárulhat a mezőgazdasági vízgazdálkodás és a precíziós növénytermesztés fejlődéséhez. Ezek a modellek lehetővé teszik a vízügyi szakemberek számára, hogy mélyebb betekintést nyerjenek a vízhasználat és a termelési gyakorlatok közötti összefüggésekbe, ami alapján optimalizálhatják a vízfelhasználást és javíthatják a termelési folyamatok hatékonyságát, emellett nagy segítség a klímaváltozás hatásainak előrejelzésében is (*van Delden és társai 2011*). Ennek eléréséhez a következő lépések javasoljuk:

- Kezeljük proaktívan az adatgyűjtés és feldolgozás kihívásait, különös figyelmet fordítva a mérési pontatlanságok és az adatrögzítési hibák minimalizálására. Ez tartalmazza a mérési technikák finomítását és az adatkezelési eljárások optimalizálását, amelyek segítségével javíthatjuk a felmerülő hiányzó vagy hibás adatokat. Az idősoros adatok integritásának biztosítása elengedhetetlen a modell alapú előrejelzések és elemzések megbízhatóságához. Ezáltal prioritást élvez az adatgyűjtési és kezelési módszerek folyamatos fejlesztése és finomhangolása, amivel garantálható, hogy a modellezés során felhasznált adatok a lehető legpontosabbak és legfrissebbek legyenek. Ez különösen lényeges azokban az esetekben, ahol az adatok beszerzése nagy kihívást jelent, valamint olyan helyzetekben, ahol a modell eredményességét jelentősen befolyásolja az elérhető adatok mennyisége és minősége. A mélyreható adatismeretünkkel és az elérhető információk felhasználásával képesek vagyunk azonosítani és kezelni a modellezési folyamatokban felmerülő potenciális gyengeségeket. Ezáltal növeljük a modellek megbízhatóságát és pontosságát, amely közvetlenül hozzájárul a döntéstámogató rendszerek hatékonyabb működéséhez.
- Integráljuk a modellezési eredményeket a döntéstámogató rendszerekbe, így lehetővé téve a döntéshozók számára, hogy valós időben támaszkodjanak a modell által szolgáltatott adatokra, amikor vízgazdálkodási és növénytermesztési stratégiáikat alakítják. A stratégia hosszú távon az infrastruktúra-fejlesztés és klímadaptáció átfogó céljaira és irányelveire összpontosít, míg a taktika a valós idejű alkalmazkodást és operatív döntéseket segítik, amelyek az aktuális feltételekhez való gyors és hatékony alkalmazkodást teszik lehetővé. Ezáltal a döntéshozók képesek lesznek a stratégiai irányelvek mentén tervezni, ugyanakkor rugalmasan reagálni a taktikai szinten felmerülő kihívásokra és lehetőségekre.
- Végezzünk részletes kockázatelemzést a modellezési eszközök segítségével. Fedjük fel a fenntartható vízgazdálkodási gyakorlatok esetleges kockázatait, és azonosítsuk azokat a tényezőket, amelyek az optimális vízszétosztást és a termelés sikerességét befolyásolhatják.
- Biztosítsunk folyamatos adatgyűjtést és elemzést, amely elengedhetetlen a modell paramétereinek finomításához és a modellezési eredmények pontosságának javításához.

- Alakítsunk ki támogatási rendszereket, amelyek ösztönzik a vízügyi igazgatóságokat a modellezési eszközök használatára és a fenntartható vízgazdálkodási technikák alkalmazására.
- Ne feledkezzünk meg a modellezési eszközök és technológiák folyamatos fejlesztéséről, hogy azok még pontosabb és felhasználóbarátabb eredményeket szolgáltatassanak.
- Ezeknek az intézkedéseknek a megvalósítása elősegítheti a TIKEVIR területén működő vízügyi igazgatóságok vízgazdálkodási gyakorlatainak fejlesztését, a termőhely specifikus növénytermesztés hatékonyságának növelését és hozzájárulhat a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok szélesebb körű alkalmazásához.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnénk megköszönni a TIVIZIG és a DHI Magyarország a támogatását és az értékes hozzájárulásukat, amely nélkülözhetetlen volt a kutatásunk során. A közleményben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- Albek, M., Ogutveren, U.B., Albek, E. (2004).* Hydrological Modelling of Seydi Suyu Watershed. *J. Hydrol.*, 285 (1-4). pp. 260-271. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.09.002>
- Arnold, J.G., Allen, P.M., Bernhardt, G. (1993).* A Comprehensive Surface-Groundwater Flow Model. *J. Hydrol.*, 142 (1-4). pp. 47-69. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90004-S](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90004-S)
- Bárdossy Gy., Fodor J., Molnár P., Tungli Gy. (2000).* A bizonytalanság értékelése a földtudományokban. *Földtani Közlöny.* 130. pp. 291-322
- Bartholy J., Pongrácz R., Gelybó Gy., Szabó P. (2008).* Milyen mértékű változás várható a Kárpát-medence éghajlati szélsőségeiben a XXI. század végére? *Léggör.* 53/3. pp. 19-23.
- Bosch, D.D., Sheridan, J.M., Batten, H.L., Arnold, J.G. (2004).* Evaluation of the SWAT Model on a Coastal Plain Agricultural Watershed. *Trans. ASAE*, 47 (5). pp. 1493-1506. <https://doi.org/10.13031/2013.17629>
- Bozán C., Tamás J. (2008).* Land use risk evaluations on the Békés-Csanád loess plateau. *Cereal Research Communications*, 36. pp. 615-618. <http://www.jstor.org/stable/90002779>
- Brun, S.E., Band, L.E. (2000).* Simulating Runoff Behavior in an Urbanizing Watershed. *Comput. Environ. Urban Syst.*, 24 (1). pp. 5-22. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(99\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(99)00040-X)
- Carless, D., Kulesa, B., Booth, A.D., Drocourt, Y., Sinnadurai, P., Alayne Street-Perrott, F., Jansson, P., (2021).* An integrated geophysical and GIS based approach improves estimation of peatland carbon stocks, *Geoderma*, Volume 402, 115176, ISSN 0016-7061. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115176>
- Caers, J. (2011).* Modeling uncertainty in the earth sciences. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119995920>

- Chen, W.B., Liu, W.C. (2017). Modeling the influence of river cross-section data on a river stage using a two-dimensional/ three-dimensional hydrodynamic model. *Water*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/w9030203> Connolly, R.D., Silburn, D.M., Ciesiolka, C.A.A. (1997). Distributed Parameter Hydrology Model (ANSWERS) Applied to a Range of Catchment Scales Using Rainfall Simulator Data. III. Application to a Spatially Complex Catchment. *J. Hydrol.*, 193 (1-4). pp. 183-203. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03136-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03136-8)
- Csorba P. (2021). Magyarország kistájai. Meridián Táj- és Környezetföldrajzi Alapítvány, Debrecen. ISBN 978-963-89712-4-1
- DHI (2004). *MIKE 11 User & Reference Manual*. Danish Hydraulic Institute.
- DHI (2014). *MIKE SHE User Manual, User Guide, DHI Software 370 p*
- DHI (2023a). *MIKE HYDRO River User Manual. DHI Software. 26 p*
- DHI (2023b). *MIKE SHE User Manual. User Guide DHI Software. 42 p*
- DHI (2023c). *MIKE SHE User Manual. User Guide DHI Software. 212 p*
- El-Nasr, A., Arnold, J.G., Feyen, J., Berlamont, J. (2005). Modelling the Hydrology of a Catchment Using a Distributed and a Semi-Distributed Model. *Hydrological Process.*, 19 (3). pp. 573-587. <https://doi.org/10.1002/hyp.5610>
- Fehér Zs. (2015). Talajvízkészletek változásának geostatistikai alapú elemzése – a rendelkezésre álló információk természete és feldolgozása. *Hidrológiai Közlöny* 85 (2). pp. 15-31.
- Fehér Zs., Rakonczai J. (2019). Analysing the sensitivity of Hungarian landscapes based on climate change induced shallow groundwater fluctuation. *Hungarian Geographical Bulletin*, 68(4). pp. 355-372. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.68.4.3>
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., Arnold, J.G. (2007). The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. *Trans. ASABE*, 50 (4). pp. 1211-1250. <https://doi.org/10.13031/2013.23637>
- Graham, D.N., Butts, M.B.(Eds.) (2005). *Flexible Integrated Watershed Modelling with MIKE SHE*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Haghighatafshar, S., Nordlöf, B., Roldin, M., Gustafsson, L.G., la Cour Jansen, J., Jönsson, K. (2018). Efficiency of blue-green stormwater retrofits for flood mitigation – Conclusions drawn from a case study in Malmö, Sweden, *Journal of Environmental Management*, Volume 207. pp. 60-69. ISSN 0301-4797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.018>
- He, X., Lucatero, D., Ridler, M-E., Madsen, H., Kidmose, J., Hole, Ø., Petersen, C., Zheng, C., Refsgaard, J.C. (2019). Real-time simulation of surface water and ground-water with data assimilation, *Advances in Water Resources*, Volume 127. pp. 13-25. ISSN 0309-1708, <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.03.004>
- Hipel, K.W. (Ed.) (2010). *Stochastic and Statistical Methods in Hydrology and Environmental Engineering: Time Series Analysis in Hydrology and Environmental Engineering*. Publ. Springer, p. 496. ISBN-10: 9048143799
- Illangasekare, T.H. (2001). MIKE SHE Code Verification and Validation for RFETS Site-Wide Water Balance Model. Colorado School of Mines, Golden, Colorado, USA. http://integratedhydro.com/websitePages/MSHE-Verification_summary
- IPCC (2023). Section 3: Long-Term Climate and Development Futures - Long-Term Climate Change, Impacts and Related Risks. p. 68.
- Irimuş, I.A., Rus, M.I., Cioban, T.D., Bilaşco, S. (2015). Quantitative Estimation of Annual Average Rate of Soil Erosion in the Almas Hydrographical Basin, Using USLE and GIS. In: 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Conference Proceedings/Vol.II, Geodesy & Mine Surveying, Cartography & GIS, STEF92 Technology Ltd 51”Alexander Malinov”, Sofia, Bulgaria, pp. 1071-1079.
- Jayatilaka, C.J., Storm, B., Mudgway, L.B. (1998). Simulation of Water Flow on Irrigation Bay Scale with MIKE SHE. *J. Hydrol.*, 208. pp. 108-130. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00151-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00151-6)
- Kemény G., Varga T., Fogarasi J., Nemes A. (2013). The effects of weather risks on micro-regional agricultural insurance premiums in Hungary. – *Studies in Agricultural Economics* 115, pp. 8-15. <https://doi.org/10.7896/j.1305>
- Knisel, W.G., Williams. J.R. (1995). Hydrology Components of CREAMS and GLEAMS Models. In Singh, V.P. (ed). *Computer Models of Watershed Hydrology*, pp. 1069-1114. Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO.
- Kozma, Zs. (2013). *Belvízi szélsőségek kockázatalapú értékelésének és modellezési módszertanának fejlesztése*. PhD értekezés, BME
- Leandro, J., Chen, A.A., Djordjevic, S., Savic, D.A. (2009). Comparison of 1D/2D coupled (sewer/surface) hydraulic models for urban flood simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6), pp. 495-504. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000037](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000037)
- Lévesque, Y., Chesnaux, R., Walter, J. (2023). Using geophysical data to assess groundwater levels and the accuracy of a regional numerical flow model. *Hydrogeol J* 31. pp. 351-370. <https://doi.org/10.1007/s10040-023-02591-z>
- Lovas A. (2018). *Negyven éves a Tisza tó*. Kiadó TIKÖVIZIG Szolnok 144. Online elérhetőség: https://kotiweb.vizugy.hu/doksik/tiszato_2018_05_16.pdf ISBN 978-615-00-1647-4

- Marton J., Szanyi J. (1997a).* Kelet-magyarországi pleisztocén üledékek geostatistikai vizsgálata. 1. A transzmisszivitás térképezése. *Hidrológiai Közlöny*. 77 évf. 5. szám. pp. 233-241.
- Marton J., Szanyi J. (1997b).* Kelet-magyarországi pleisztocén üledékek geostatistikai vizsgálata. 2. A rétegek közötti átszivárgás területi meghatározása. *Hidrológiai Közlöny*. 77(5). pp. 241-248.
- McManamay R.A. (2022).* Hydrology and Classification of Rivers for Management, Editor(s): Thomas Mehner, Klement Tockner, Encyclopedia of Inland Waters (Second Edition), Elsevier. pp. 258-275. ISBN 9780128220412. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819166-8.00080-3>
- Mensah, J.K., Oforu, E.A., Yidana, S.M., Akpoti, K., Kabo-bah, A.T. (2022).* Integrated modeling of hydrological processes and groundwater recharge based on land use land cover, and climate changes: A systematic review, *Environmental Advances*, Volume 8, 100224, ISSN 2666-7657. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100224>
- Merkel, W.H. (2002).* Muskingum-Cunge Flood Routing Procedure in NRCS Hydrologic Models. Proceedings of the Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference. Riviera Hotel, Las Vegas, Nevada. 28 July-1 August.
- Mezősi G., Bata T., Blanka V., Ladányi Zs. (2017).* A klímaváltozás hatása a környezeti veszélyekre az Alföldön. *Földrajzi Közlemények* 141. pp. 60-70.
- Mungai, D.N., Ong, C.K., Kiteme, B., Elkaduwa, W., Sakthivadivel, Ramaswamy. (2004).* Lessons from two long-term hydrological studies in Kenya and Sri Lanka. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104. pp. 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.011>
- Nagy Zs., Pálfi G., Priváczkíné Hajdu Zs., Benyhe B. (2019).* Csatornarendszerek üzemeltetése és integrált vízgazdálkodás – a Dong-ér vízgyűjtő területe. In: Ladányi, Zs., Blanka, V. (szerk.): *Aszály és belvíz monitoring és menedzsmet, valamint a kapcsolódó kockázatok a Dél-Alföldön és a Vajdaságban: Konferenciakötet*. pp. 83-96. <http://acta.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/66847>
- Nazrul, I., Wallender, W.W., Mitchell, J.P., Wicks, S., Howitt, R.E. (2006).* Performance Evaluation of Methods for the Estimation of Soil Hydraulic Parameters and Their Suitability in a Hydrologic Model. *Geoderma*, 134. pp. 135-151. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.09.004>
- Ndomba, P.M., Birhanu, B.Z. (2008).* Problems and Prospects of SWAT Model Applications in NILOTIC Catchments: A Review. *Nile Basin Water Eng. Sci. Mag.*, 1. pp. 41-52. *Parsons, J.E.*, pp. 41-52.
- Thomas, D.L., Huffman, R.L. (2004.)* Model Summary Tables. In *Agricultural Non-Point Source Water Quality Models: Their Use and Application*. pp. 10–23. Raleigh, North Carolina State University. Southern Cooperative Series Bulletin No. 398. ISBN: 1-58161-398-9. <http://s1004.okstate.edu/S1004/Regional-Bulletins/Modeling-Bulletin/> <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100608>
- Popper, K. (2002).* The Logic of Scientific Discovery (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203994627>
- Rakonczi J., Tran Q.H., Fehér Z. (2023).* Vízkészleteink és a változó klíma – Ne csak ötleteljünk, számoljunk is! Konferencia előadás. XVIII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Szeged.
- Refsgaard, J.C., Storm, B., Clausen, T., (2010).* Système Hydrologique Européen (SHE): review and perspectives after 30 years development in distributed physically based hydrological modelling. *Hydrol. Res.* 41. pp. 355-377. <https://doi.org/10.2166/nh.2010.009>
- Rónai A. (1963).* Az Alföld negyedkori rétegeinek vízföldtani vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny*, 43(5). pp. 378-390.
- Rónai A. (1975).* A talajvíz és rétegvizek kapcsolata az Alföldön. *Hidrológiai Közlöny*, 55(2). pp. 49-53.
- Rónai A. (1985).* Az Alföld negyedidőszaki földtana. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- Rubin, Y. (2003).* Applied Stochastic Hydrogeology. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195138047.001.0001>
- Sahoo, G.B., Ray, C., De Carlo, E.H. (2006).* Calibration and Validation of a Physically Distributed Hydrological Model, MIKE SHE, to Predict Streamflow at High Frequency in a Flashy Mountainous Hawaiian Stream. *J. Hydrol.*, 327 (1-2). pp. 94-109. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.11.012>
- Singh, R., Subramanian, K., Refsgaard, J.C. (1999).* Hydrological Water Balance Modelling of a Small Watershed Using MIKE SHE for Irrigation Planning. *Agric. Water Manag.*, 41 (3). pp. 149-166. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00022-0)
- Singh, V.P. (1995).* Computer Models of Watershed Hydrology. Rev. ed. Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO.
- Somlyódy L. (szerk.) (2011).* Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok. Magyar Tudományos Akadémia, Köztestületi Stratégiai Programok, Budapest.
- Stadnyk, T.A., Holmes T.L. (2023).* Large scale hydrologic and tracer aided modelling: A review, *Journal of Hydrology*, Volume 618, 129177, ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129177>
- Stisen, S., Jensen, K.H., Sandholt, I., Grimes, D.I.F. (2008).* A Remote Sensing Driven Distributed Hydrological Model of the Senegal River Basin. *J. Hydrol.*, 374 (1-4). pp. 131-148. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.03.006>
- Sun, G., Lu, J., McNulty, S.G., Vose, J.M., Amayta, D.M. (2006).* Using the hydrologic model MIKE SHE to assess disturbance impacts on watershed process and responses across the Southeastern U.S. In: Secondary Interagency Conference on Research in the Watersheds, May 16-18.

- Suttles, J.B., Vellidis, G., Bosch, D.D., Lowrance, R., Sheridan, J.M., Usery, E.L. (2003).* Watershed-Scale Simulation of Sediment and Nutrient Loads in Georgia Coastal Plain Streams Using the Annualized AGNPS Model. *Trans. ASAE*, 46 (5). pp. 1325-1335. <https://doi.org/10.13031/2013.15443>
- Tamás M., Fehér Z., Buday-Bódi E., Tamás J., Nagy A. (2023).* Modeling of soil moisture and water fluxes in a maize field for the optimization of irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213, Article 108159. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108159>
- Tamás J., Kovács B., Bíró T. (2002).* Vízkészlet-modellzés. Debreceni Egyetem p. 200. ISBN 963-472-657-7.
- Tamás J., Nagy A. (2023).* A Tiszántúl területi integrált vízgyűjtőgazdálkodási problémáinak és megoldási lehetőségeinek azonosítása, a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) hatásterületén. *Hidrológiai Közlemények* 103/3. pp. 64-68.
- Thompson, J.R., Sorenson, H.R., Gavin, H., Refsgaard, A. (2004).* Application of the Coupled MIKE SHE/MIKE 11 Modelling System to Lowland Wet Grassland in Southeast England. *J. Hydrol.*, 293. pp. 151–179. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.017>
- TICAD SDSS (2012).* Tisa Catchment Area Development Spatial Decision Support System. Online elérhetőség: <http://www.terport.hu/vezercikkek/ticad-sdss-%E2%80%93-a-tervezes-uj-dimenzioja.html>
- Tisa Catchment Area Development Spatial Decision Support System (TICAD SDSS) (2012).* Online elérhetőség: <http://www.terport.hu/vezercikkek/ticad-sdss-%E2%80%93-a-tervezes-uj-dimenzioja.html>
- 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* 18 (4). pp. 567-599. <https://doi.org/10.5937/gp26-37271>
- Tran, Q.H. (2023).* Kisvízgyűjtők vízmérlegének változása a várható klímaváltozás következtében az Alföldön. PhD értekezés, SZTE.
- Yan, J., Zhang, J. (2005).* Evaluation of the MIKE SHE Modelling System. <http://s1004.okstate.edu/S1004/Regional-Bulletins/Modeling-Bulletin/MIKESHEfinal>.
- Yuan, Y., Bingner, R.L. and Rebich, R.A. (2002).* Application of AnnAGNPS for Analysis of Nitrogen Loadings from a Small Agricultural Watershed in the Mississippi Delta. Total Maximum Daily Load (TMDL) Environmental Regulations. In Gassmann, P.W. (ed). ASAE Publication No. 701P0102. Proc. Watershed Management to Meet Water Quality Standards and Emerging TMDL (Total Maximum Daily Load). pp. 268-279. ASAE, Fort Worth, Texas, USA. <https://doi.org/10.13031/2013.7568>
- van Delden, H., Seppelt, R., White, R., Jakeman, A.J. (2011).* A methodology for the design and development of integrated models for policy support, *Environmental Modelling & Software*, Volume 26, Issue 3. pp. 266-279. ISSN 1364-8152, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.021>
- van den Bout, B., Jetten V. (2020).* Catchment-scale hydrology simulations using inter-variable multi-parameter terrain descriptions, *Journal of Hydrology*, Volume 589, 125118, ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125118>.
- van Leeuwen B., Právetz T., Liptay Z. Á., Tobak Z. (2016).* Physically based hydrological modelling of inland excess water. *Carpathian Journal of Earth and Environmental sciences*, 11 (2). pp. 497-510. ISSN 1842-4090
- Virágné Kőházi-Kiss E., Fejes L. (2016).* A Tisza-tó szerepe az aszály mérséklésében. Budapest, XXXIV. Országos Vándorgyűlés konferencia kiadványa, Online elérhetőség: www.hidrologia.hu/vandorgyules/34/dolgozatok/word/0329_viragne_kohazi_kiss_edit.pdf
- Virágné Kőházi-Kiss E. (szerk.) (2017).* KÖTIVIZIG öntözésfejlesztési stratégiája I. kötet 1744/2017. (X.17.) Kormányhatározat 3. pont. Aquarex. Szolnok. 173. online elérhető: https://kotiweb.vizugy.hu/on-tozesfejlesztis/doksik/kotivizig_on-tozesfejlesztis_strategiaja_1_kotet.pdf
- VGT3 (2021).* Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 3. Online elérhetőség: https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2022/05/VGT3_elfogadott_fuggelekek.zip
- Vizi D.B. (2020).* Felszín alatti beáramlás hatása a Tisza vízminőségére a Közép-Tisza vidékén. *Műszaki Katonai Közlemény*, 30. évfolyam (2020) 2. szám. <https://doi.org/10.32562/mkk.2020.2.1>
- Wani, O., Scheidegger, A., Cecinati, F., Espadas, G., Rieckermann J. (2019).* Exploring a copula-based alternative to additive error models—for non-negative and autocorrelated time series in hydrology, *Journal of Hydrology*, Volume 575. pp. 1031-1040, ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.006>
- Williams, J.R. (1995).* The EPIC Model. In Singh, V.P. (ed). *Computer Models of Watershed Hydrology*. pp. 909-1000. Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO.
- Zölch, T., Henze, L., Keilholz, P., Pauleit, S. (2017).* Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – An assessment at the micro-scale, *Environmental Research*, Volume 157. pp. 135-144, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.023>.

A SZERZŐK

PÁSZTOR DÁVID a Debreceni Egyetem Víz-és Környezetgazdálkodási Intézetének PhD hallgatója, Szakterület: Hidrológiai modellezés és térinformatika. 2022 óta a Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola hallgatója, Kutatás: Öntözőrendszerek regionális optimalizálása, Képzettségek: BSc Mezőgazdasági mérnöki, MSc Mezőgazdasági vízgazdálkodási mérnöki, 2022-ben Magyar Öntözési Egyesület Öntözési Különdíjának 1. helyezése MSc kategóriában, 2023-ban a 36. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Agrárműszaki Tagozatában 3. helyezése. 2023 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.



FEHÉR ZSOLT ZOLTÁN, PhD. 2021-től a Debreceni Egyetem Víz-és Környezetgazdálkodási Intézetének adjunktusa. Tanulmányait a Szegedi Tudományegyetemen folytatta, okleveles geográfus, 2019-ben doktori fokozatot szerzett, disszertációjának címe: A Dél-Alföld talajvíz idősorainak nagy léptékű, geostatistikai alapú modellezése: Két megközelítés a nem folytonos monitoring adatok együttes térbeli és időbeli szimulációjára. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja 2021 óta. Az International Association for Mathematical Geography hazai hallgatói szervezetének alapító tagja, az European Geography for Young Geographers tudományos bizottságának korábbi titkára. Az European Institute for Technology klímainnovációs díjazottja, a Climate KIC klímainnovációs alumni tagja. 2022 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.



TAMÁS JÁNOS a Debreceni Egyetem Víz-és Környezetgazdálkodási Intézetének igazgatója; agrármérnök, agrokémiai, vízgazdálkodási és térinformatikai szakmérnök. 2007-ben megkapta a Magyar Tudományos Akadémia Doktora címet. Elismerései: Az év publikációja díj, Környezetért díj, Sajó Elemér vízgazdálkodásért díj, Hatvani professzori kutatási díj, Magyar Köztársaság Lovagkeresztje. Publikációinak száma közel 500, tankönyvek száma 16. Több szakkönyvet jegyzett a precíziós mezőgazdaság és a vízgazdálkodás területén. Szűkebb szakterülete a talaj és a környezet állapotának modellezése térinformatikai és távérzékelési eszközökkel. A Magyar Hidrológiai Társaság és a Hidrológiai Közlöny szerkesztőbizottságának 2015 óta tagja.



*A 2022-es aszályos év hatása a kukoricatáblára (Fotó: Getty Images)
The impact of the 2022 drought year on the corn field (Photo: Getty Images)*