

A VÍZKÉSZLET-GAZDÁLKODÁSI MODELLEZÉS ÁGAZATI TAPASZTALATAI

Dr. Nagy Gábor

felszíni vízkészlet-gazdálkodási referens
Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság

KIVONAT

A klímaváltozásra való felkészülés szükségessé teszi a korszerű vízgazdálkodás megvalósítását. A numerikus modellezés bevett eljárás a hidrológia számos területén, ahol az előrejelzés vagy változások nyomon követése szükséges. A Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság területén a Fekete-víz és a Karasica dinamikus vízkészlet-gazdálkodási modelleket üzemeltetjük. A modell futtatások jövőbeli célja a vizsgált vízgyűjtő területeken végbemenő vízhozam változások detektálása és vízkészlet-gazdálkodás döntéshozatalának a támogatása lesz. Jelen kutatás célkitűzése a kisvízú időszakban a modell érzékenységének és pontosságának vizsgálata volt dombsági területen. A numerikus modell futtatásokat a 2022 január 15. – április 30. közötti időszakra vonatkozóan végeztem el. Az eredmények azt mutatják, hogy a modellfuttatások a veszteségi paramétereiktől függetlenül a vizsgált időszakban, a modellezett vízhozamok adatsorai erősen korrelálnak egymással $r > 0,9$. A modell túlbecsüli a vízhozam mennyiségét a mért kumulatív vízhozamhoz képest a modellezett részvízgyűjtők többségében. A relatív eltérés mértéke és előjele független a vízgyűjtőn elfoglalt pozíciótól.

KULCSSZAVAK: numerikus modellezés, dinamikus vízkészlet-gazdálkodási modell, kisvízú időszak, tavas vízhasználatok, Dunántúli-dombság

BEVEZETÉS

A klímaváltozásra való felkészülés különleges kihívást jelent, amelyhez elengedhetetlen feltétel a korszerű vízgazdálkodás. A dinamikus vízkészlet-gazdálkodás numerikus modellezése új eszköz és lehetőség egy adott terület tényleges vízforgalmának, valamint időbeli változásainak a megismerésére, amely egyben segítséget nyújthat a lokális vízhasználati feladatok kezelésére, felismerésére. A numerikusmodellezés szükségességét a változó természeti környezet és a klímaváltozáshoz való adaptáció hívja életre. Duna-medence országai számára a klímaváltozás hatására várhatóan, de eltérő mértékben megnövekszik a vízkörforgás intenzitása és így az extrém események időbeli gyakorisága (Ebert et al. 2009, Barthel et al. 2010, Bartholy et al. 2011, Bisselink et al. 2018.). Ennek hatására fokozódik a lefolyás mértéke (Candela et al. 2012; Klug – Oana, 2015), a vízkárok száma és a kiterjedése. A Kárpát-medence szárazabbá válását az éghajlati scenáriók előrevetítik (Bartholy J. et al. 2005, Bartzholy et al. 2007, Adrian et al. 2021), amelyek jelei egyre erőteljesebbé válhatnak már nemcsak az elkövetkezendő évtizedekben (WMO 2021). A különböző klímodellek (például ARPEGE-Climat, ALADIN, PRECIS, REGCM, REMO, stb.) a csapadék-mennyiség tér és időbeli változását és évszakos menetét nehezebben képesek pontosan előre jelezni (Vizi et al. 2007, Bartholy et al. 2011, Houstfather et al. 2019, Suga et al. 2021).

Az ökoszisztéma komplex ellátó és a szabályzó szolgáltatásai közvetlenül vezérelnek a csapadék keletkezését, így a víz biztosítását. A víz a korlátozottan rendelkezésre álló közjavak közé tartozik, általában jellemezője, hogy védelemre szorul, a fenntartható használatát, úgy kell elvégezni, hogy biztosítani tudja a minőség és a mennyiség tekintetében mind a jelen, mind előzetesen az eljövendő nemzedékek igényeit. A rendelkezésre álló vízkészleteket számos ágazat különféle módon és eltérő mértékben használja, ennek hatásai egyre erőteljesebben érzékelhetőek a felszíni és a felszín alatti vizek esetében (Várallyay et al. 2013, Somlyódy 2011, Márton 2019, Labancz et al. 2020).

A vízkészlet-gazdálkodás feladata a vízzel kapcsolatos igények kielégítése, a felhasználható vízkészletek újratermelése, a szükséges vízkészletek visszatartása, a felesleges vizek betározása, káros vizek elvezetése (*Balatonyi et al. 2021*), a mennyiségi viszonyok számontartása, a víz természetben betöltött szerepének megőrzése és rendelkezésre állásának a javítása. A vízkészletekkel való gazdálkodás feladatának megoldásában és vizeink állapotának javításában a víz-keretirányelv („Víz-Keretirányelv” 2000/60/EK irányelve) szolgál segítségül. A Víz-keretirányelv (VKI) általános célja a víztestek jó környezeti állapotának megvalósítása és fenntartása. VKI specifikus célja és eszköze, a fenntartható vízfelhasználás elősegítése, a vízi környezetet megóvása és javítása, a szennyezések számának csökkentése és megakadályozása, valamint vízkárok hatásának mérséklése. A vízgyűjtő-gazdálkodási tervek tartalmazzák a VKI megvalósításához szükséges egyedi intézkedési programokat, amelyek a természetes földrajzi lehatárolású 10 km² nagyobb vízgyűjtőkön alapulnak. A vízgazdálkodásra és a vízkészletre vonatkozó adatok statisztikus jellegűek, jellemzően hosszú távú méréseken és a vízhasználók adatszolgáltatásán (pl.: VH-FEV) alapulnak, ezért felülvizsgálatuk rendszeres időközönként (hat évente) szükséges.

A modern gazdálkodás, így az okos városok (Smart city) és a vertikumok működtetésének egyik alapvető kihívása a valós időben rendelkezésre álló készletek, anyag- és energiaáram nyilvántartása, szabályozása, tárolása és hatékony felhasználása (*Cosgrove - Loucks 2015, Chandran et al. 2021*). Így a vízkészlet-gazdálkodásban is kiemelt jelentőséggel bír és egyben modellezési célkitűzés a valós idejű vízmérlegek készítése (*Láng 2016*). A hatékonyság megvalósíthatósága komplex rendszerek esetén az időben és térben gyorsan változó erőforrás/ készlet pontos nyilvántartása, (*Szilágyi - Major 2021*) változások nyomon követése, valamint előre jelzése szükségessé teszi a készlet numerikus modellezését (*Simonffy 2011, Márton 2019*).

A numerikus modellek csoportosíthatóak a fizikai rendszer leképezésének módja és a folyamatok leírásának módszere szerint. A fizikai rendszer leképezése szerint a numerikus modell halmozott paraméterű és osztott paraméterű lehet (*Liptay et al. 2018*). A halmozott paraméterű modell egy egységként kezeli a fizikai rendszert és egy paraméterkészlettel végzi a vizsgált térrész leképezését, a vizsgált fizikai rendszert egy adott térrészre átlagolva (*Miller et al. 2013*). Az osztott paraméterű modellben számítási egységekre kerül felosztásra a fizikai rendszer, ezért a tér minden pontjában meghatároz egy-egy matematikai összefüggést, parciális differenciálegyenletek formájában (*Sighn – Frevert 2002*). A két modell közötti különbség a paraméterkészlet számában nyilvánul meg.

Az egyes folyamatok leírása determinisztikus és sztochasztikus, valamint matematika alapú – fizikai, konceptuális vagy empirikus (tapasztalati) lehet. Amíg a fizikai numerikus modellekben ismert egyenletek és egyenletrendszerek parciális differenciálegyenletek megoldásával végzik a modellszámítást, addig konceptuális modellek esetében valamilyen természeti analógia mintájára leegyszerűsítésre kerülnek a modellben lejátszódó folyamatok (*Westervelt 2001, Korondi et al. 2014*). Az empirikus modellek tapasztalati egyenletek megoldásával végzik el a modellezést.

A modellezés során a modellezés folyamata jellemezhető fehér (White) szürke (grey) vagy fekete (black) doboz analógiával. Ha ismert az összes összefüggés, a modellben és környezetének kapcsolatai és interakciói, az összes paraméter mért és rendelkezésre áll, az eredmény is determinisztikus, akkor white box modellel van dolgunk. Ha ismertek a főbb összefüggések, a modellben és környezetének kapcsolatai és interakciói, az összes paraméter mért és rendelkezésre áll, grey box modellel van dolgunk. Ha csupán a főbb összefüggések ismertek, a modellben és környezetének kapcsolatai és interakciói között, a paraméterek csak részben mértek, főként becsültek, black

box modellel van dolgunk. Egy numerikus modell jósága nagyban függ a vizsgált objektumok fizikai tulajdonságaitól és a modellben lejátszódó folyamatok komplexitásától.

A numerikus modellezés bevett eljárás azokon műszaki és természettudományos területeken, ahol az összetett kérdésekre próbálunk megoldást és válaszokat találni predikciós modellek használatával (*Rajkai 2001, Nagy et al. 2016, Liptay 2018, Liptay 2019*). Ebből következik, hogy egy modellrendszer bonyolultsága megköveteli, az összetett modellstruktúra felépítését, amely során a modellbe így az egyes részmodellekbe is egyszerre kerülnek bele fizikai, konceptuális vagy empirikus elemek.

A cikk célja az Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóságon üzemeltetett vízkészlet-gazdálkodási modellek bemutatása a Karasica és Fekete-víz vízkészlet-gazdálkodási modellek alapján a 2022 január 15 – április 30 terjedő kisvízű időszakokra. Nullhipotézisem szerint, a különböző veszteség beállítások (mint pl. Manning-féle érdességi paraméter, kezdeti és maximális veszteség paraméterek) változtatása, szignifikáns hatással bír a modell futtatás eredményére.

ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK

A mintaterület bemutatása

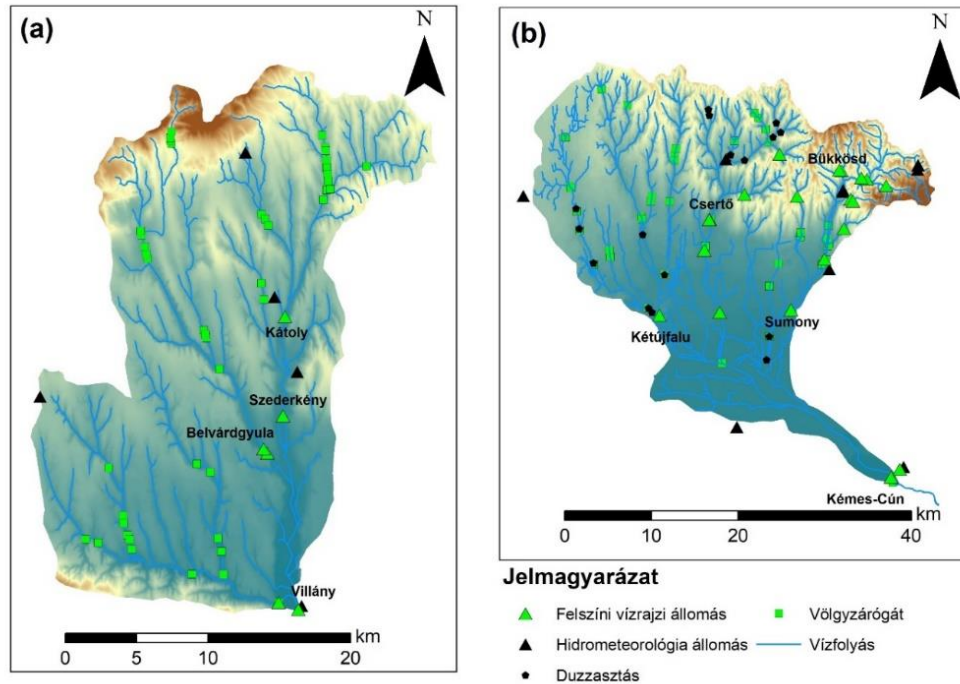
A modellezett területek a Fekete-víz (Pécsi-víz kivételével) és a Karasica vízfolyások dombvidéki vízgyűjtő területe (1. ábra). A Fekete-víz a Nyugat-Mecsek és a Zselic területéről gyűjti össze a vízfolyások vizeit. 1460 km² területű. Főbb részvízgyűjtői Almás-patak, Gyöngyös-patak, Bükkösdi-vízfolyás. Területén 44 völgyzárógátas tó, tórendszer található, víz duzzasztások száma 23. Jellemző vízhasznosítás a tavas vízhasználatok.

A Karasica a Kelet-Mecsek, Geresdi-dombság és Villányi hegység északi területéről gyűjti össze a vizeket. 650 km² területű. Főbb részvízgyűjtői a Villány-Pogányi-vízfolyás, a Vasas-Belvárdi-vízfolyás és a Karasica területén 41 darab völgyzárógátas tó található.

Mindkét területet nedves kontinentális éghajlat jellemez, amelyet az adott évben domináló éghajlati hatás módosít. A másodlagos csapadék csúcsok alapján óceáni kontinentális vagy mediterrán hatás lehet. A területre a magyarországi éves csapadékösszeget meghaladó csapadék hullik 680 -700 mm mennyiségben. A 2021. száraz év a sokéves átlaghoz képest, az éves csapadékösszeg 600 mm volt. A modellezett időszak alatt átlagosan a Karasica vízgyűjtőjére 60,7 mm, a Fekete-víz vízgyűjtőjére 107,2 mm hullott.

A mintaterületekre általánosan jellemző, hogy a feltalajt (0 - 30 cm) döntően vályog, agyagos vályog fizikai féleség alkotja. Különbség a Fekete-víz és a Karasica mintaterületek között, hogy a Fekete-víz modellterületén Belső-Somogy és az Ormánság területén homok és homokos vályog is előfordul. A Fekete-víz vízgyűjtőjének alsó szakaszára jellemzőek, a heterogén többszörösen rétegzett szerkezetű, alluviális eredetű talajok (*Dezső et al. 2019*).

A genetikai talajtípusok szerint a Karasica vízgyűjtőjén döntően barna erdőtalajok fordulnak elő, míg a völgyekben a nedves térszínekre jellemzően réti talajok találhatóak. A vízjárta és az időszakos víz borítású helyekre réti öntés, a lápos-réti és a fiatal, nyers öntéstalajok jellemzők, amelyek előfordulását a terület mikromorfológiai formái és tájhasználata jelentősen módosítják (*Balogh et al. 2012*). A Fekete-víz vízgyűjtőjének felső részén a barna erdőtalajok, míg alsó részén réti és csernozjom talajok fordulnak elő a vízfolyások közelében.



1. ábra Dinamikus vízkészlet-gazdálkodás mintaterületek, (a) Karasica, (b) Fekete-víz (szerkesztette: Nagy Gábor)

A modellterületeken az erdő, a mezőgazdasági és a település felszín borítások heterogén mozaikos eloszlást mutatnak, amely szerint a modellvízgyűjtők felső szakaszán közvetlenül a forrásvidékeken és a völgyekben erdővel borítottak, míg a völgyek közötti részek mezőgazdasági hasznosításúak. A vízgyűjtő közép és alsó szakaszán közvetlenül a vízfolyások mentén rét/legelő felszín borítás jellemző és a mezőgazdasági felszínhasználat dominál (Lóczy et al. 2016). A vízgyűjtő területekre a víz visszatartás és a beszivárgás hatásai erősebbek a felszíni lefolyáshoz képest. A növénytakarások és a tájak antropogén átalakítottasága az erősen átalakított (polyhimerob) kategóriába tartozik (Csorba et al. 2018).

Vízkészlet-gazdálkodási modell

A vízkészlet-gazdálkodási mérleg egyenlete a vízkészlet-gazdálkodási modellezés alapja. A numerikus modellek a vízháztartási egyenlet alapján számítják ki a ki- és a befolyási pontokon a vízforgalmat egy adott vízgyűjtő területén (Stelczer 2000, Szlávik 2019).

A vízháztartási egyenlet a következő:

$$P - RH = ET + R + I \pm DS$$

ahol P: a csapadék [mm]; ET: az evapotranszspiráció [mm]; R: a felszíni lefolyás [mm]; RH: a felszíni hozzáfolyás [mm]; I: a felszíni beszivárgás [mm]; és DS: a természetes vízkészletváltozás [mm].

Amíg a vízháztartási egyenlet tényezői a belépő, a kilépő és a készlet-változást jellemző vízmenynyiségek, addig a vízkészlet-gazdálkodási mérleg a vízigények és a vízkészletek szerinti elemekből épül fel. A vízháztartási egyenletnél a be- és kilépő elemek egyaránt a vizsgált területegységek határán jelentkeznek a modell alsó és felső peremfeltételeként, a vízgazdálkodási mérleg vízhasználati tételei ellenben a modellezett részmodell-egységen belül oszlanak meg. A mederben maradó vízkészletet az alábbi egyenlet írja le a tervezés és az engedélyezés szempontjából mértékadó augusztusi időszakban:

$$Q_{\text{mederben maradó}} = Q_{\text{aug 80\%}} - Q_{\text{vízhasználat}}$$

ahol $Q_{\text{aug 80\%}}$: augusztusi 80% tartósságú vízhozam, $Q_{\text{vízhasználat}}$: a vízjogi engedélyben lekötött mennyiség.

$$Q_{\text{mederben maradó}} \approx Q_{\text{meder modellezett}}$$

A vízkészlet-gazdálkodás modellezés folyamán a mederben maradó vízhozamok kerülnek meghatározásra a részmodellekben és mint felső peremfeltételként kerülnek továbbításra a következő részmodellbe. A modellezés során ez a lépés ismétlődik a részmodellek és a vízhasználatok számának függvényében.

$$Q_{\text{meder modellezett}} = Q_{\text{modellezett bemenő}} + Q_{\text{modellezett vízgyűjtő}} - Q_{\text{vízhasználat}}$$

ahol $Q_{\text{modellezett bemenő}}$: a modellbe bemenő kezdeti vízmennyiség, $Q_{\text{modellezett vízgyűjtő}}$: a szelvény feletti területről származó vízmennyiség a részmodellben, $Q_{\text{vízhasználat}}$: visszatartott, vagy hozzáadott vízmennyisége a modellben. A szabad vízkészlet az adott szelvényre a $Q_{\text{meder modellezett}}$ -ből számolható ki, a jelenleg üzemelő modellek ezt a lépést még nem végzik el.

$$Q_{\text{szabad modell}} = Q_{\text{meder modellezett}} - Q_{\text{ökológia}}$$

ahol $Q_{\text{ökológia}}$: az ökológiai vízmennyiség.

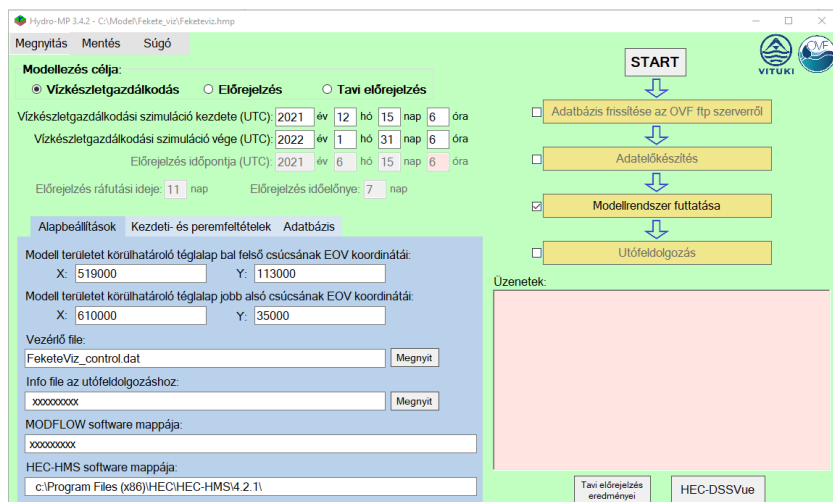
A modellrendszer felépítése

A Hydrologic Modelling Platform (HydroMP) modell vezérlőrendszert dr. Zsuffa István és OVF-fel együttműködésben (*HydroMP 3.5.2 verzió, Viktuki Hungary Kft. 2022*) folyamatosan fejleszti vízkészlet-gazdálkodás modellezés céljából. A vezérlőrendszer végzi az meteorológiai (radarkép, csapadék) és vízrajzi adatsorok letöltését és a modellbe bemeneti paraméterül szolgáló adatsorok előkészítését, valamint a modell futtatását. Az adatelőkészítés során kerül kiszámításra rácshálózat celláira számított potenciális evapotranspiráció (PET) és csapadék értéke. A vezérlőrendszer a Meteorológia állomások és a meteorológia radarképek adatasszimilációjával létrehozza a modellezett térség csapadék eloszlását. Az Országos meteorológiai szolgálat (OMSZ) radarképeinél 1 pixel 1 km² felbontású. Hidrometeorológiai adatok DSS fájlba való mentéssel fejeződik be az adatelőkészítés. Az előkészített adatok a HEC-HMS és a HEC-RAS szoftverekbe kerülnek beolvasásra.

HEC-HMS rendszer az 1 D modell vízgyűjtők vízhozam adatsorainak előállítására szolgál a teljes vízgyűjtő területére. A HEC-HMS modell felépítése, a Basin menüpont alatt került a modellezendő vízhálózat felépítése. A HMS modell mindig üzemvízszintről indul (*HEC-HMS 2016*), ezért szükséges 10-15 napos előzetes futtatás, amely a vizsgált időtartamot megelőzi így a vizsgált időszakra elérheti a valóságban is uralkodó hidrológia környezetviszonyokat. A modellben a *Snyder unit hydrograph* került beállításra, a részvízgyűjtők modellezésére.

$$t_p = 5,5 \cdot t_r$$

ahol a t_r : csapadékesemény időtartama, t_p az árhullám tetőzése.



2. ábra. HydroMP modellplatform kezelő felülete (Vituki Hungary Kft. – OVF)

$$t_{pR} = t_p - \frac{t_r - t_R}{4}$$

ahol t_R : az egység árhullám időtartama; és t_{pR} = a kívánt egységárhullám késleltetése.

$$\frac{U_p}{A} = C \frac{C_p}{t_p}$$

ahol U_p : a standard egységárhullám csúcsértéke; A : a vízgyűjtő területe; C_p : az egységárhullám csúcsértékének együtthatója; és C = az átváltási állandó (2,75).

$$\frac{U_{pR}}{A} = C \frac{C_p}{t_{pR}}$$

Snyder egységárhullám-modell megköveteli a standard késleltetés (*lag time*) megadását. A szoftver a kiszámított egységárhullám-csúcsot és a csúcs idejét használja fel egy Clark-féle egységárhullám modellel egyenértékű árhullám létrehozásához-, ebből határozza meg az időalapot és az összes ordinátát az egységárhullám-csúcson kívül.

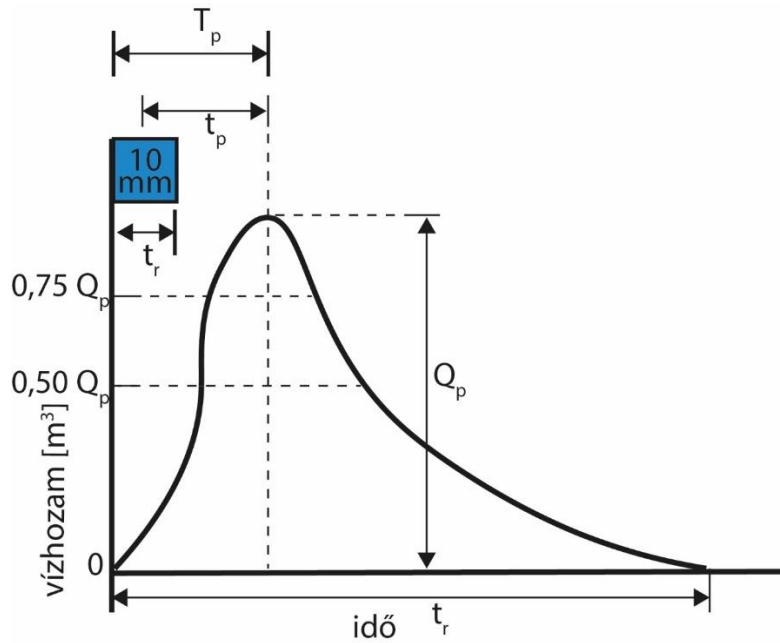
$$t_p = C \cdot C_t (L \cdot L_c)^{0,3}$$

ahol C_t vízgyűjtő koefficiens; L = a vízfolyás hossza a kifolyási pont és a vízválasztó között; L_c = a vízgyűjtő középpontja és kifolyási pont közötti távolság; és C = egy átváltási állandó (0,75).

A vízfolyások késleltetési idejének a modellezése a Muskingum-Cunge féle számítással kerültek meghatározásra (Cunge 1967). A tavak modellezésére a tározók (reservoir) szolgálnak, amelynek vízforgalom változásai a terület – vízállás változás módszerével kerültek meghatározásra. Az egyes vízhálózatok összekapcsolása a junction elemmel történt. A HEC-HMS modellezett és mért vízhozam adatasszimiláció után bemeneti paraméterül szolgált a HEC-RAS modellekbe. A modellben a referencia vízhozam a bejövő árhullám (Q_0 inflow hydrograph) alapján kerül kiszámításra a kifolyási ponton (zsilipek, árapasztó műtárgyak) távozó vízhozam (Nagy 2022).

$$Q_0 = Q_B + \frac{1}{2} (Q_{peak} - Q_B)$$

ahol Q_B : alapvízhozam, Q_{peak} : beáramlási csúcsérték.



3. ábra Snyder-egységárhullám (forrás: HEC-HMS user manual 2016, szerkesztette: Nagy Gábor)

Hec-RAS modell

A nem permanens vízmozgás, az állandó áramlásnak az a speciális esete, amelyben modellezésénél az időben változó (instacionárius) áramlás elemzésekor a szoftvernek két irányadó algebrai egyenletet kell explicit módon megoldania, mivel az áramlás és a vízállás egyaránt ismeretlen (HEC-RAS 2016). Az egyik irányadó egyenlet a víz térfogatának megőrzése, a másik pedig a víz impulzus momentumának a megőrzése. A modellezés során az instacionárius áramlás elemzésénél azonban a vízmennyiség megőrzésének érdekében egyenletrendszerrel kell megoldani az áramlásokra és a vízállás változásokra vonatkozóan.

Az instacionárius áramlás analízisében számítási elemeket és az irányadó egyenletekben szereplő differenciál vagy integrál tagok, algebrai közelítéseit kell használni minden egyes számítási elemre. Az instacionárius áramlás esetében az időt is figyelembe kell venni, a program az időközöket véges lépésekre osztja, amelyek ideális esetben elég rövidek ahhoz, hogy a differenciál- és integráltermek algebrai közelítései kellően pontosak legyenek (Miller et al. 2013).

Meg kell határozni a vízállásváltozás és az áramlásváltozás közötti ismert összefüggésekkel rendelkező ellenőrzési pontokat, a gyorsan változó áramlás helyszíneit, valamint a vízfolyások közötti kölcsönhatások pontjait, amelyeket az algebrai irányadó egyenletek nem írhatnak le. Ezek a pontok határozzák meg az irányadó egyenletek alkalmazhatóságának határait. Az instacionárius áramlás-elemzésben azonban meg kell határozni a modellezés kezdő időpontját, amikor a számítási csomópontokban (általában a vízrajzi állomásoknál és a felosztási egységeknél) az összes áramlási érték ismert. Az áramlás a kezdő időpontban a rendszerben mindenhol állandónak feltételezhető. Az állandó áramlás elemzését el kell végezni az instacionárius áramlás elemzésének kezdeti feltételének megállapításához. A modellezéshez szükséges az alsó és felső peremfeltétel ismerete, mint például az idő függvényében az ismert áramlás, az idő függvényében az ismert vízállás-emelkedés, vagy az áramlás és a vízállás-emelkedés közötti kapcsolatot (Franz et al. 1997).

A belső peremfeltételeket állandósult áramlási viszonyokként közelítjük meg, amelyhez szükséges, hogy az impulzus és vízmennyiség változásai kis mértékűek legyenek. A belső peremfeltételek elkülönítése és leírása a nem permanens áramláselemzés egyik fő eleme.

Mozgás egyenlet:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial x}{\partial y} + \frac{\partial Q^2/A}{\partial x} = g * A * (S_0 - S_f)$$

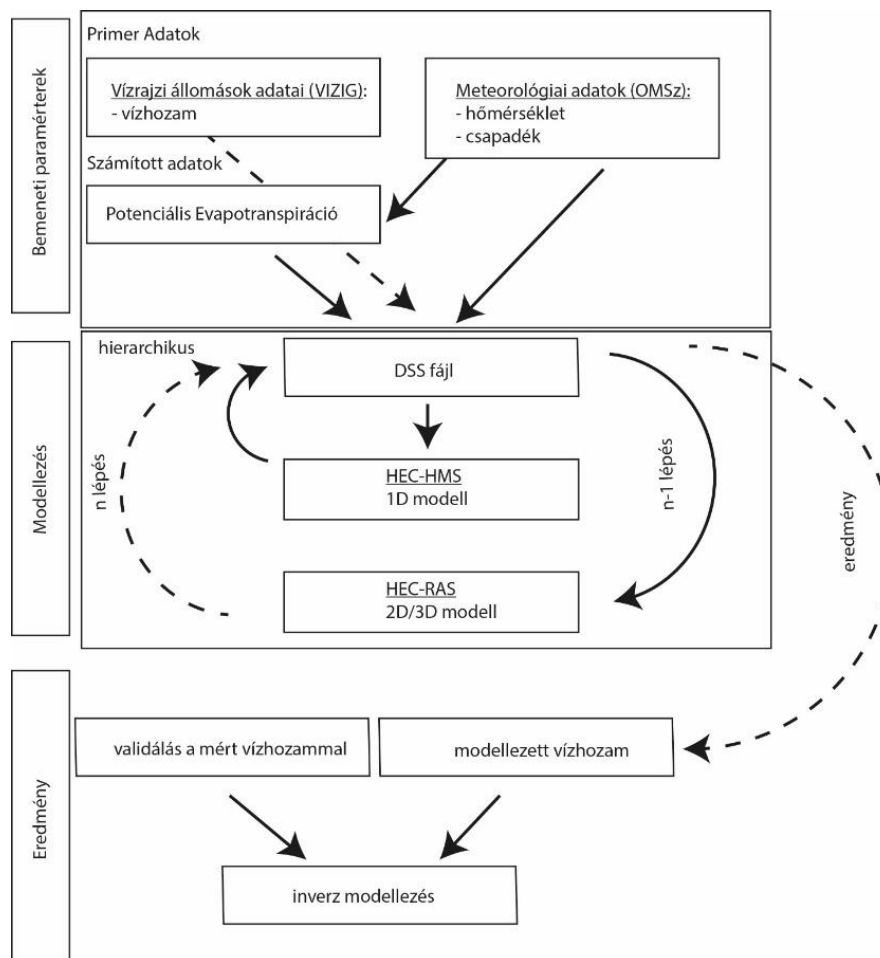
ahol Q, vízhozam; A: áramlási keresztmetszet; y: a vízfelszín magassága a keresztmetszet minimális pontja felett; x: távolság a csatorna mentén; t: idő; g: gravitációs gyorsulás; S₀: a csatorna fenéklejtése, pozitív, lefelé haladva csökken; S_f: súrlódási lejtés.

Tömeg megmaradás egyenlete:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

ahol q, a mederben az oldalirányú áramlás.

A modellrendszer a kváziosztott paraméterű modellek közé tartozik, amely azt jelenti, hogy a részmodellek osztott paraméterű modellek és az adatasszimiláció után csak a vízhozam értéke kerül betáplálásra mint felső peremfeltétel (Nagy 2022).



4. ábra A vízkészlet-gazdálkodás modellrendszer felépítése (szerkesztette: Nagy Gábor)

A HEC-RAS részmodellek nagyon érzékenyek a kezdeti peremfeltételekre és a modell felépítő mederszakaszok morfológiájára, valamint a mőtárgyak üzemelésére. A modellezés során szükséges, hogy a modellezett mederszakasz vízszállítása folytonos legyen.

Alkalmazott statisztikai módszerek

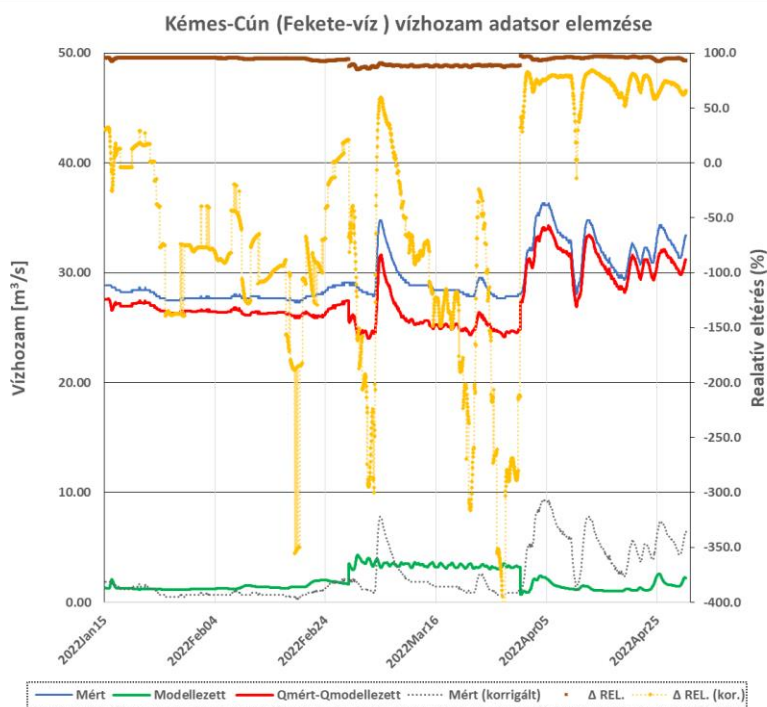
Az eredmények kiértékelésére a *Sperman korrelációt* használtam a mért és a modellezett vízhozam adatsorok összevetésekor, amely elemzés a nemparaméteres eljárások csoportjába tartozik. A mért és modellezett vízhozamok összehasonlítására a relatív eltérést alkalmaztam, negatív eredmény esetében az eredmény a modellezett javára tér el, pozitív eredmény esetében a mért vízhozam a nagyobb.

ANOVA analízist a Manning-féle érdesség paraméter, a kezdeti és a maximális veszteség paraméter változtatás hatásainak összehasonlítására használtam, $p < 0,05$ szignifikancia szint mellett.

EREDMÉNYEK

Fekete-víz modell

A Fekete-víz modell esetében a mért és modellezett vízhozam adatsor korrelációja közepes erősségű ($0,3 < r < 0,7$) Hetvehely, Sumony és Kétújfalu állomásoknál. Szentlőrinc, Csertő Kémes-Cún állomásoknál korrelálatlan az összefüggés. A Fekete-víz vízkészlet-gazdálkodási modellrendszer vizsgálata azt mutatja, hogy a modellezett vízhozam átlag értéke nagyobb (többszöröse), mint a mért vízhozamé (1. táblázat), ez alól a Kémes-cún állomás a kivétel (5. ábra).



5. ábra A Fekete-víz Kémes-Cúni állomásnál mért és modellezett idősora (szerkesztette: Nagy Gábor)

		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>medián</i>	<i>átlag</i>	<i>szórás</i>	<i>korreláció (r)</i>
Hetvehely (Bükkösdi- víz f.)	<i>mért</i>	0,013	0,097	0,021	0,024	0,012	0,719
	<i>modell</i>	0,184	0,979	0,205	0,227	0,085	
Szentlőrinc (Bükkösdi- víz k.)	<i>mért</i>	0,016	0,050	0,019	0,021	0,005	0,012
	<i>modell</i>	0,300	1,075	0,355	0,363	0,075	
Sumony (Bükkösdi- víz a.)	<i>mért</i>	0,021	0,151	0,067	0,067	0,025	0,380
	<i>modell</i>	0,142	1,735	0,156	0,178	0,107	
Csertő (Almás-patak f.)	<i>mért</i>	0,014	0,360	0,034	0,074	0,076	-0,090
	<i>modell</i>	0,078	2,305	0,441	0,622	0,614	
Kétújfalu (Egyesült Gyöngyös)	<i>mért</i>	0,130	2,064	0,261	0,363	0,289	0,459
	<i>modell</i>	0,994	9,100	2,091	2,410	1,221	
Kémes-cún (Fekete-víz)	<i>mért</i>	27,310	36,360	28,430	29,513	2,294	-0,040
	<i>modell</i>	0,690	4,317	1,455	1,982	0,957	

1. táblázat Fekete-víz modell mért és modellezett vízhozam idősorok korrelációja
(szerkesztette: Nagy Gábor)

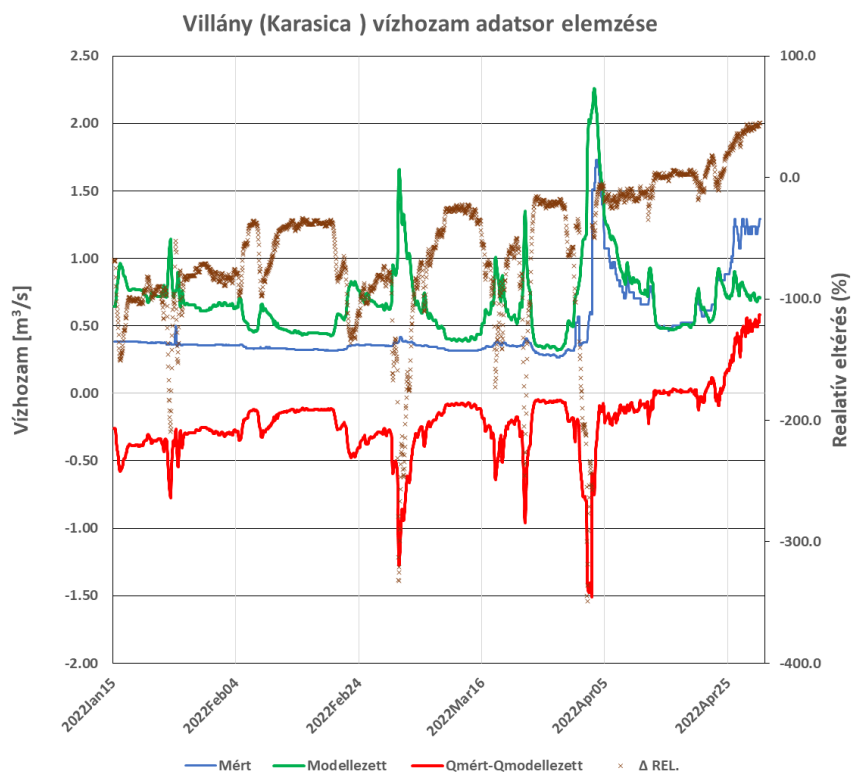
Fekete-víz modell futtatás vízmennyiség								
		<i>min [m³]</i>	<i>max [m³]</i>	<i>medián [m³]</i>	<i>átlag [m³]</i>	<i>szórás [m³]</i>	<i>összeg [m³]</i>	<i>Rel. (%)</i>
Hetvehely (Bükkösdi- víz f.)	<i>mért</i>	1,116	6,746	1,814	2,050	1,043	215,296	-853
	<i>modell</i>	14,050	57,369	17,627	19,549	6,392	2,052,651	
Szentlőrinc (Bükkösdi- víz k.)	<i>mért</i>	1,210	3,127	1,598	1,762	447	184,995	-1670
	<i>modell</i>	14,050	57,369	17,627	19,549	6,392	2,052,651	
Sumony (Bükkösdi- víz a.)	<i>mért</i>	2,689	11,956	5,514	5,761	1,902	604,896	-165
	<i>modell</i>	11,141	62,059	13,595	15,269	6,444	1,603,275	
Csertő (Almás-p.)	<i>mért</i>	1,345	27,571	3,099	6,337	6,384	665,373	-744
	<i>modell</i>	6,995	192,925	42,193	53,504	51,301	5,617,950	
Kétújfalu (Egyesült Gyöngyös)	<i>mért</i>	13,511	114,710	22,504	31,237	21,710	3,279,887	-562
	<i>modell</i>	137,507	687,423	177,272	206,853	95,086	21,719,591	
Kémes-Cún (Fekete-víz)	<i>mért</i>	1,803,996	3,127,500	2,456,352	2,537,132	218,244	266,398,884	93
	<i>modell</i>	80,851	333,605	127,160	170,548	82,289	17,907,546	

2. táblázat Modellezett időszakban a vízhozam mennyisége a vízrajzi állomásokon
(szerkesztette: Nagy Gábor)

A vízhozam mért és a modell futtatás mennyiségi összevetése azt mutatja, hogy a modell túlbecsüli a vízhozam mennyiségét, kivéve Kémes-cún vízrajziállomásnál. A relatív eltérés a modellezett vízgyűjtő felső és középső szakaszán tapasztalható (2. táblázat). A különbség oka a Kémes-Cúni duzzasztó üzemelése, ez okozta a vízrajzi állomásnál tapasztalható eltérést (5. ábra).

Karasica modell

A Karasica modell esetében a mért és a modellezett vízhozam adatsor korrelációja gyenge erősségű ($0 < r < 0,3$) Karasica – Belvárdgyula és Villány állomásoknál, míg a Kátoly, Villány-Pogányi-vízfolyás, Villány és Karasica – Kátoly állomásoknál korrelálatlan az összefüggés. A Karasica víz-készlet-gazdálkodási modellrendszerben a Manning-féle érdesség hatását az ANOVA analízis mutatja, hogy a kisvízű időszak esetén a modellfuttatások idősorai között $p_{modellezett} < 0,05 < p_{mért}$, a paraméter beállítások változtatásai nem okoznak szignifikáns különbséget, egymáshoz képest korrelációjuk $0,9 < r$.



6. ábra A Karasica villányi állomásnál mért és modellezett időszora (szerkesztette: Nagy Gábor)

		Karasica modell futtatás [m ³ /s]					
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>medián</i>	<i>átlag</i>	<i>szórás</i>	<i>korreláció (r)</i>
Villány (Villány-pogányi-vf.)	<i>mért</i>	0,067	0,598	0,100	0,159	0,100	0,046
	<i>modell</i>	0,097	0,828	0,230	0,254	0,108	
Belvárdgyula (Vasas-Belvárdi-vf.)	<i>mért</i>	0,051	0,479	0,194	0,169	0,087	0,230
	<i>modell</i>	0,033	0,265	0,047	0,093	0,084	
Kátoly	<i>mért</i>	0,037	0,529	0,130	0,131	0,075	0,087

(Karasica)	<i>modell</i>	0,042	0,592	0,197	0,213	0,073	
Szederkény	<i>mért</i>	0,034	1,285	0,151	0,169	0,149	0,075
(Karasica)	<i>modell</i>	0,135	0,851	0,260	0,275	0,109	
Villány	<i>mért</i>	0,268	1,728	0,363	0,476	0,270	0,149
(Karasica)	<i>modell</i>	0,320	2,260	0,648	0,685	0,290	

3. táblázat A Karasica modell mért és modellezett vízhozam idősorok korrelációja
(szerkesztette: Nagy Gábor)

A vízhozam mért és modell futtatás mennyiségi összevetése azt mutatja, hogy a modell alulbecsüli a vízhozam mennyiségét Vasas-Belvárdi vízgyűjtőn, a Karasicán és a Villány-Pogányi-vízfolyáson a modell túlbecsüli azt. A relatív eltérés a modellezett vízgyűjtő felső és az alsó szakaszán tapasztalható (3. táblázat).

		Karasica modell futtatás vízmennyiség						
		<i>min</i> [m ³]	<i>max</i> [m ³]	<i>medián</i> [m ³]	<i>átlag</i> [m ³]	<i>szórás</i> [m ³]	<i>összeg</i> [m ³]	<i>Rel.</i> (%)
Villány	<i>mért</i>	5.914	39.324	9.873	13.696	8.369	1.438.082	
(Villány-Pogányi-vf.)	<i>modell</i>	8.426	43.841	19.913	21.788	8.644	2.287.749	-59
Belvárdgyula	<i>mért</i>	3.473	39.579	15.766	14.581	7.383	1.531.040	
(Vasas-Belvárdi-vf.)	<i>modell</i>	2.835	22.844	4.070	7.997	7.240	839.688	45
Kátoly	<i>mért</i>	4.061	36.066	11.092	11.274	5.949	1.183.734	
(Karasica)	<i>modell</i>	4.982	49.328	16.911	18.346	6.343	1.926.308	-63
Szederkény	<i>mért</i>	4.245	89.464	12.641	14.575	12.023	1.530.400	
(Karasica)	<i>modell</i>	12.336	64.407	22.561	23.613	8.959	2.479.403	-62
Villány	<i>mért</i>	21.820	139.885	31.003	40.798	23.039	4.283.762	
(Karasica)	<i>modell</i>	28.165	183.455	55.813	58.936	24.604	6.188.293	-44

4. táblázat Modellezett időszakban a vízhozam mennyisége a Karasica vízgyűjtőjén
(szerkesztette: Nagy Gábor)

A vízhozam mért- és modellezett eredményeinek mennyiségi összevetése azt mutatja, hogy a modell alábecsüli a vízhozam mennyiségét a Vasas-Belvárdi-vízfolyás vízgyűjtőjén, míg a Karasica főágán és a Villány-Pogányi-vízfolyáson a részmodellek túlbecsülik a vízhozamot. Jelentős (45 %-ot meghaladó) relatív eltérés a modellezett vízgyűjtő felső és a középső szakaszán tapasztalható (4. táblázat, 6. ábra), az alsó szakaszon értéke – 44%.

A vízgyűjtők felső részén, valamint a kisméretű részvízgyűjtőkön mért és modellezett vízhozam közötti vízhozam különbségek kisebbek a vízgyűjtő alsó részéhez képest. Az eredmények azt mutatják, hogy a jelenlegi paraméter beállítások a lefolyást erősítik a beszivárgással, a vízvisszatartással és az időbeli késleltetéssel szemben.

Ezek okai részben a Snyder Unit Hydrograph beállításában és a meder morfológiában, valamint a vízhasználatokban keresendők. A mért és modellezett vízhozamok relatív eltérése azt mutatja,

hogy a vízhasználatok és a bemeneti paraméterek beállítása a modellterületeken rendszeres felülvizsgálatra szorulnak (5. ábra). A Karasica modell esetében csekély eltérés tapasztalható a vízgyűjtő felső részén, míg a vízgyűjtő alsó területén 50%-os eltérést mutat a modellfuttatás javára. A Fekete-víz modell esetében a fentiek fordítottja tapasztalható, a vízgyűjtő felső szakaszán nagy (-1670%) a relatív eltérés a mért vízhozamok és a modellfuttatási eredmények között, míg az alsó szakaszon jelentősen csökken (93%).

Eredmények vízgazdálkodási értelmezése

A 2022. január 15. – 2022. április 31. közötti időszak modellezett eredményei jelentősen eltérnek a kisvízú időszak mért értékeitől. A Fekete-víz és a Karasica esetében is mellékvízfolyásaiknak átlagos vízhozamaira való tekintettel akár egy-egy tó feltöltése vagy feltöltésének a hiánya is jelentős eltérést okozhat. Ez a hatás tavak és tórendszerek esetén már egy részvízgyűjtő területén is multiplifikálódik. A modellben tavak esetében a bejövő árhullám (Q_0 inflow hydrograph) alapján kerül kiszámításra a távozó víz mennyisége a kifolyási ponton, amely értéke jelentősen eltér a tényleges vízforgalom értékétől. A modell a kisvízú időszakban nem érzékeny a kezdeti veszteség paraméterére, késleltetési időkre és a felszíni érdességre (Manning-féle paraméter), változtatásuk nem okoz jelentős változást ($r > 0,9$) a modell futtatások eredményében. A modell futtatás a lefolyás-beszivárgás arányát és a felszínhasználatot csak, mint bemeneti paramétert veszi figyelembe, ezért megváltoztatása a futtatás közben nem lehetséges. A lefolyás-beszivárgás aránya a vegetáció fejlődése révén (márciustól- júliusig) jelentősen változik mind a mederben, mind a vízparton, mind a vízgyűjtő területén. A mért és modellezett vízhozamok mérési pontokon való összevetése rámutat arra, hogy a vízforgalom mérése kiemelt jelentőséggel bírhatna a tavas vízhasználatok esetében. Különösen komplikálja a kezdeti peremfeltételeket a tavak vízforgalma, valamint a Fekete-víz esetében például a cúni duzzasztás, amelyek már az egyes részmodellek futtatási eredményét is nagyban befolyásolhatja. A modell nem képes a vízkészlet-gazdálkodási mérleg összes elemének a számítására. A fenti okok miatt kisvízú időszakban, dombsági területeken a bemutatott modellek jelenlegi formájukban a vízmérleg készítésre és az aktuálisan rendelkezésre álló szabad vízkészletek becslésére még nem használhatóak.

Összefoglalás

Jelenleg az Igazgatóságunk területén két különböző méretű, de hasonló jellegzetességeket mutató modellrendszer üzemel. A modellekben a tavas vízhasználatok dominálnak. A részvízgyűjtők gazdasági hasznosítása és a vízhasználatok együttesen jelentősen módosítják a vízhozam mennyiségét.

Az eredmények kiértékelése során a vízhozam modellezéssel kapcsolatban az alábbiakat tapasztaltam:

- I. A vízkészlet-gazdálkodási modell futtatások a kisvízú időszakban a veszteségi paraméterektől függetlenek.
- II. A különböző veszteség (Manning-féle érdességi paraméter, kezdeti és maximális veszteség paraméterek) beállítású modell futtatások adatsorai erős korrelációt ($r > 0,9$) mutatnak egymással.
- III. A modell túlbecsüli a vízhozam mennyiségét a mért kumulatív vízhozamhoz képest.
- IV. A relatív eltérés mértéke és előjele független a vízgyűjtőn elfoglalt pozíciótól.

A vízkészlet-gazdálkodási real-time numerikus modellezés még gyerekcipőben jár, ezért szükség van további összehasonlító közép- és hosszú távú modellfuttatásokra. Jelen tanulmány alapjául szolgálhat a jelenleg üzemelő modellek fejlesztéséhez és pontosításához. A megszerzett tapasztalatok felhasználhatóak lehetnek a gyakorlati vízkészlet-gazdálkodási modellezés során, mely a jövőben valóságosabb modelleket biztosíthat a felhasználók és a döntéshozók számára.

IRODALOMJEGYZÉK

- Adrian, Gerhard – Michel Jean - Sue Barrell – Lars Peter Riishojgaard (2021): Unified Data Policy for the 21th century. *Bulletin - World Meteorological Organization* 70(2) 8-14 o.
- Balatonyi László – Lengyel Bálint – Berger Ádám (2022): Nature-based solutions as water management measures in Hungary. *Modern Geográfia*, 17(1), 73–85. o.
- Balogh Réka – Dezső József – Kovaliczky Gergely. (2012): Régészeti feltárást megelőző geoarcheológiai kutatások Belvárdgyula példáján. *Tájökológiai Lapok* 10 : 1 pp. 9-16. o.
- Bartholy Judit – Pongrácz Rita (2005): Néhány extrém éghajlati paraméter globális és Kárpát-medencére számított tendenciája a XX. században. – *AGRO-21 Füzetek* 40. pp. 70–93. o.
- Bartholy Judit – Pongrácz Rita – Gelybó Györgyi (2007): Regional climate change expected in Hungary for 2071–2100. – *Applied Ecology and Environmental Research* 5/1. pp. 1–17. o.
- Bartholy Judit – Pongrácz Rita – Torma Csaba (2010): A Kárpát-medencében 2021–2050-re várható regionális éghajlatváltozás, RegCM-szimulációk alapján. – „*Klíma-21*” *Füzetek* 60. pp. 3–13. o.
- Bartholy Judit – Bozó László – Hapszra László (2011): Klímaváltozás, 2011. *Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére.* – A Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke, Budapest. 281 o.
- Barthel, Roland – Stephan Janisch – Darla Nickel – Aleksandar Trifkovic – Thomas Hörhan (2010): Using the Multiactor-Approach in Głowa-Danube to Simulate Decisions for the Water Supply Sector Under Conditions of Global Climate Change. *Water Resource Manage* 24, 239 (2010). <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9445-y>
- Bisselink, Berny – Ad de Roo – Jeroen Bernhard – Emiliano Gelati (2018): “Future Projections of Water Scarcity in the Danube River Basin Due to Land Use, Water Demand and Climate Change”. *Journal of Environmental Geography* 11 (3-4):25-36. o. <https://doi.org/10.2478/jengeo-2018-0010>.
- Candela, Lucila – Karim Tamoh – Gonzalo Olivares – Manuel Gomez (2012): Modelling impacts of climate change on water resources in ungauged and data-scarce watersheds. – Application to the Siurana catchment (NE Spain). *Science of The Total Environment* 440. pp. 253–260. o.
- Cosgrove, William J. – Daniel P. Loucks (2015): Water management: Current and future challenges and research directions. *Water Resource Research*, 51, 4823–4839 o., doi:10.1002/2014WR016869.
- Cunge, J. A. 1969: "On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum Method)," *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 7, No. 2, 205-230.
- Csorba Péter – Ádám Szilvia – Bartos-Elekes Bata Teodóra – Bede-Fazekas Ákos – Czúcz Bálint – Csima Péter – Csüllög Gábor – Fodor Nándor – Frisnyák Horváth Gergely – Illés Gábor – Kiss Gábor – Kocsis Károly – Kollányi László – Konkoly-Gyuró Éva – Lepesi Nikolett – Lóczy Dénes – Malatinszky Ákos – Mezősi Gábor – Mikešy Gábor – Molnár Zsolt – Pásztor László – Somodi Imelda – Szegedi Sándor – Szilassi Péter – Tamás László István – Tirászi Ágnes – Vasvári Mária (2018): Tájak. In: Kocsis K. (főszerk.): *Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet.* Budapest, MTA CSFK Földrajztudományi Intézet. 112-129. o
- Dezső József – Czigány Szabolcs – Nagy Gábor – Pirkhoffer Ervin. – Slowik, Marcin. – Lóczy Dénes. (2019): Monitoring soil moisture dynamics in multilayered Fluvisols. *Bulletin Of Geography-Physical Geography Series* 16 : 1 pp. 131-146. o.
- Ebert, Suzanne – Orieta Hulea – David Strobel (2009): Floodplain restoration along the lower Danube: A climate change adaptation case study. *Climate and Development*, 1:3, 212-219 o. DOI: 10.3763/cdev.2009.0022

- Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve (2000. október 23.) a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról (HL L 327., 2000.12.22., 1–73. o.)
- Franz, D. Delbert – Linsley, Kraeger Associates – Melching. Ch. S. 1997: Full Equations (FEQ) Model for the Solution of the Full, Dynamic Equations of Motion for One-Dimensional Unsteady Flow in Open. U.S. GEOLOGICAL SURVEY *Water-Resources Investigations Report* 96-4240. 264 o.
- Hausfather, Zeke – Henri F. Drake – Tristan Abbott – Gavin A. Schmidt (2019): Evaluating the Performance of Past Climate Model Projections. *Geophysical Research Letters* 1-10 o. <http://dx.doi.org/10.1029/2019GL085378>
- HEC-HMS 2016: Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual Version 4.2 US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center 609 Second Street Davis, CA 95616
- HEC-RAS 2016: River Analysis System User's Manual Version 5.0 US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center 609 Second Street Davis, CA 95616
- Hydro-MP Hydrologic Modelling Platform 3.5.2. (2022): Felhasználói Kézikönyv. Budapest Vituki Hungary Kft. OVF. 34. o.
- Korondi Péter – Huba Antal – Graff József – Aradi Petra – Czmerk András – Bojtos Attila – Fekete Róbert – Lakatos Béla (2014): Rendszertechnika. Budapest, Magyarország : BME Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék (2014) , 364 p.
- Klug, Hermann – Liviu Oana (2015): A multi-purpose weather forecast model for the Mondsee Catchment. – Journal for Applied Geoinformatics. *GI_Forum*, 2015/1. pp. 602–611.
- Labancz Viktória – Makó András – Bakacsi Zsófia. 2020: A klímaváltozás hatása a talajok vízgazdálkodására. *Mezőhír: Országos Agrárinformációs Szaklap* (2020): 2 pp. 48-50. o..
- Láng István (2016): „A vízkészlet-gazdálkodás megújítása,” XXXIV. Országos Vándorgyűlés, július 6–8, 2016, Debrecen, Hungary [Online]. Elérhető: www.hidrologia.hu/vandorgyules/34/dolgozatok/word/0108_lang_istvan.pdf (Letöltve: 2022. 03. 30.)
- Liptay Zoltán Árpád – Czigány Szabolcs – Pirkhoffer, Ervin. – Klug Hermann (2018): Hydrological modelling of small Alpine watersheds with the Nam model. *CARPATHIAN JOURNAL OF EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCES* 13: 1, 235-248. o.
- Liptay Zoltán Árpád 2019: Numerikus hidrológiai modellezés és folyami jégviszonyok előrejelzése. Doktori disszertáció 108 p.
- Lóczy Dénes – Gál-Balogh Réka – Prokos Hédi (2016): Ártérhelyreállítási lehetőségek a Dráva magyarországi szakaszán. *Acta Climatologica Et Chorologica* 50/B pp. 63-75. o..
- Lovász György (1977): Baranya megye természeti földrajza. *Baranya Megyei Levéltár*, Pécs 384 p.
- Márton Attila. (2019): A hazai vízkészlet-gazdálkodási gyakorlat változásainak bemutatása a 20. századtól. *Hadmérnök* 14: 3. pp. 65–74. o. DOI: 10.32567/hm.2019.3.6
- Miller, Cass T. – Clint N. Dawson – Matthew W. Farthing – Thomas Y. Houd – Jingfang Huang – Christopher E. Kees – C.T. Kelley – Hans Petter Langtangen (2013): Numerical simulation of water resources problems: Models, methods, and trends. *Advances in Water Resources*, 51, 405-437, ISSN 0309-1708, [10.1016/j.advwatres.2012.05.008](https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.05.008)
- Nagy Gábor – Ronczyk, Levente. – Czigány, Szabolcs. (2016): Numerikus modellezés lehetőségei az Orfűi-tórendszer példáján. *Földrajzi Közlemények* 140 : 3 pp. 189-203. , 15 p.
- Nagy Gábor (2022): A vízkészlet-gazdálkodási modellek használatának tapasztalatai. *Drávától a Balatonig A Dél-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság Időszaki Lapja*. 2022. I. 17-23. o.
- Rajkai Kálmán (2001): Modellezés és modellhasználat a talajtani kutatásban. *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN* 50. (2001) No. 3–4. 469-508
- Simonffy Zoltán (2011): Vízkészletek és igények. In Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok, szerk. Somlyódy L. *Köztisztületi Stratégiai Programok sorozat*. MTA, Budapest, 2011. 103-167 o.
- Singh, Vijay Singh – Donald K. Frevert 2002: Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications. *Water Resources Pubns* Chelsea, Michigan, USA 972 pp, ISBN:1-887201-35-1
- Snyder, F. F. (1938): Synthetic Unit-graphs - Eos, Transactions American Geophysical Union <https://doi.org/10.1029/TR019i001p00447>

- Somlyódy László (2011): Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok Köztisztviselési Stratégiai Programok sorozat. MTA, Budapest, 2011. 336. o.
- Suga Réka – Megyeri-Korotaj Otília Anna – Allaga-Zsebeházi Gabriella (2021): Sensitivity study of the REMO regional climate model to domain size. *Advances. Sciences & Research* 18, 157–167 <https://doi.org/10.5194/asr-18-157-2021>
- Stelczer Károly (2000): A vízkészlet-gazdálkodás hidrológiai alapjai. ELTE, Budapest, 410 o.
- Szilágyi Ferenc – Major Veronika (2021): Vízkészleteivel való okos gazdálkodás lehet Magyarország számára a XXI. század egyik meghatározó gazdasági erőforrása. *Hidrológia közlöny* 101 különszám 9-21.
- Szlávik Lajos – Kozák Péter – Mohácsiné Simon, Gabriella – Papp Ildikó – Gondárné Sőregi Katalin – Jakab András (2019): Vízgazdálkodás. Budapest, Magyarország : Nemzeti Közszolgálati Egyetem Közigazgatási Továbbképzési Intézet, 231 o.
- ISBN: 9789634981619 Várallyay György (2013): A talajok vízgazdálkodása, MAGYAR TUDOMÁNY, 2013/11.
- Westervelt, James 2001: Simulation Modeling for Watershed Management. Springer-Verlag New York, Inc. 2001. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0197-4>
- Vizi, Ladislav – Tomáš Hlásny – Aleš Farda – Petr Štěpánek – Petr Skalák – Zuzana Šitková (2007): Geostatistical modeling of high resolution climate change scenario data. *Időjárás Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* Vol. 115, 71–85 o.