

EGY NYÍRSÉGI VIZES ÉLŐHELY JÖVŐBELI VÍZPÓTLÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA HIDROLÓGIAI MODELLEZÉssel

Decsi Bence, Ács Tamás, Kozma Zsolt

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudomány Egyetem, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

KIVONAT

Kutatásunkban a kállósemjéni Nyárjas láp vízháztartási vizsgálatát végeztük el. Az élőhelyről elmondható, hogy egykor (lecsapoló munkák előtt) a térség jelentős vizes élőhelye volt. Napjainkban az egykori ingóláp állapota leromlott Természetvédelmi Terület szintű védelmet élvez, állapotát mesterséges vízpótlással igyekeznek megtartani, javítani. A múlt vízállásaira kalibrált egy dimenziós szivárgáshidraulikai modellen tíz, a klímamodellből származtatott jövőbeli meteorológiai idősor alkalmazása mellett vizsgáltuk, hogy (i) az élőhely területén vízpótlás nélkül milyen vízháztartási viszonyok várhatók, (ii) továbbá elemeztük a jelenlegi gyakorlatnak megfelelő volumenű és ütemezésű vízpótlás hatását az élőhely vízellátottságára, (iii) végül megvizsgáltuk egy alternatív klímaadaptív vízpótlási stratégia alkalmazásának lehetőségét és annak hatékonyságát is.

Megállapítottuk, hogy az élőhely a klímamodellek által prognosztizált meteorológiai viszonyok mellett mesterséges vízpótlás nélkül kiszáradna. A vizsgált klímaadaptív vízpótlási stratégia segítségével az egykori ingóláp vízellátottsága tartósan az optimális tartományban tartható. A kidolgozott klimatikus vízhiányon (előrejelzésekből számszerűsíthető) alapuló módszertan segítségével a pótlandó vízmennyiségek, egyúttal az üzemeltetési költségek is optimalizálhatók.

KULCSSZAVAK: FAVÖKO, vízpótlás, klímaadaptív, hidrológiai modellezés, HYDRUS-1D

BEVEZETÉS

A vizes élőhelyek természeti tőként fontos elemei az általuk nyújtott ökoszisztéma szolgáltatások által. A vizes élőhelyek a társadalom számára olyan kevésbé kézzelfogható szabályozó típusú ökoszisztéma szolgáltatásokat nyújtanak, mint: lokális klímaszabályozás, lefolyáskontroll, árvíz kockázat mérséklés, talajvíz utánpótlás, tápanyag szűrés (Mitsch et al., 2015). Emellett a vizes élőhelyek élővilága és biodiverzitása jellemzően környező régiót tekintve kiemelkedő (An & Verhoeven, 2019). A fokozódó éghajlati szélsőségek és antropogén eredetű beavatkozások következményeként az elmúlt évtizedekben számos FAVÖKO esetében az vízhiányos időszakok előfordulásának gyakorisága nőtt, illetve több élőhely végleg kiszáradt (Junk et al., 2013). A vizes élőhelyek említett okokra visszavezethető térvesztése okán az elmúlt évtizedekben a meglévő, érzékeny élőhelyek megőrzését és helyreállítását célzó törekvések erősödtek (Erwin, 2008; Lamers et al., 2015). Ezen rehabilitációs törekvéseket hazai viszonylatban a leromlott állapotú lápok esetében jellemzően mesterséges vízpótlással valósítják meg. A vizes élőhelyek, így a felszín alatti vizektől függő ökoszisztémák (FAVÖKO) állapota jelentős mértékben függ az élőhelyek vízigényének mennyiségi és minőségi kielégítésének határfokától (Ács & Kozma, 2017). A FAVÖKO-k ökológiai vízigényének meghatározására általánosan elfogadott módszertan egyelőre nem terjedt el, így a rehabilitációs célú vízpótlás tervezésének módszertana vízgazdálkodási szempontból nem egyértelmű (Ács & Kozma, 2017).

Kutatásunkban a Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatóságához (HNPI) tartozó Kállósemjéni Mohos-tó Természetvédelmi Területen található, leromlott állapotú vizes élőhely vízpótlásának lehetőségével foglalkoztunk. A Természetvédelmi Területen két, egykor unikális élővilágú vizes élőhely található: a Nyárjas láp, illetve a Mohos-tó. A mintaterületen több, mint 30 éve (megszakításokkal) üzemel mesterséges, felszín alatti vízből származó vízpótlás a két élőhely vízhiányának mérséklésére (Vas, 2016). A vízpótlás a kedvezőtlen hidrológiai viszonyok (térségi talajvízszintsüllyedés (Decsi et al., 2018)), illetve a klimatikus körülmények miatt csupán

a Mohos-tavat tudta megóvni a teljes kiszáradástól, a Nyárjas napjainkban mocsárrétként tartható számon (Vas, 2016). Utóbbira a múltban egy módosított egydimenziós szivárgáshidraulikai modellt építettünk, melyet helyszínen mért vízállásokkal kalibráltunk (Decsi et al., 2020).

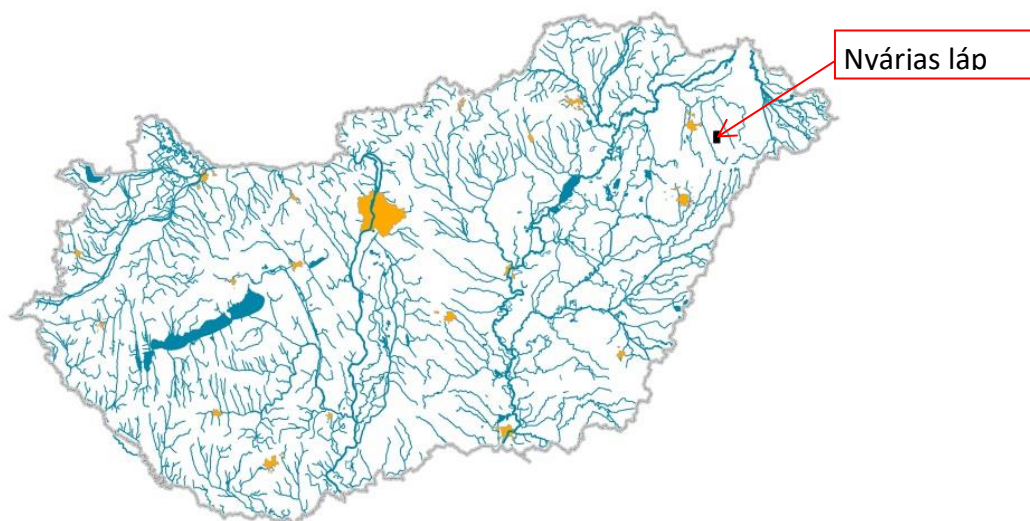
CÉLKITŰZÉSEK

Elemzésünk célkitűzése volt, hogy megvizsgáljuk a mintaterületen általunk korábban használt szivárgáshidraulikai modell továbbfejlesztésével és jövőbeli kiterjesztésével azt, (i) hogy klíma-modellekből származtatott jövőbeli meteorológiai viszonyok között az élőhely vízháztartása miként alakulna, illetve (ii) hogy a vizes élőhely esetén a múltbeli -klimatikus körülményeket negligáló- üzemrenddel szemben egy, a klimatikus vízhiányon alapú vízpótlási stratégia milyen elmozdulást jelentene, (iii) végül meghatározzuk, hogy egy ilyen stratégia miként befolyásolná az élőhely vízháztartását a referencia (vízpótlás nélküli) állapothoz képest.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Mintaterület bemutatása

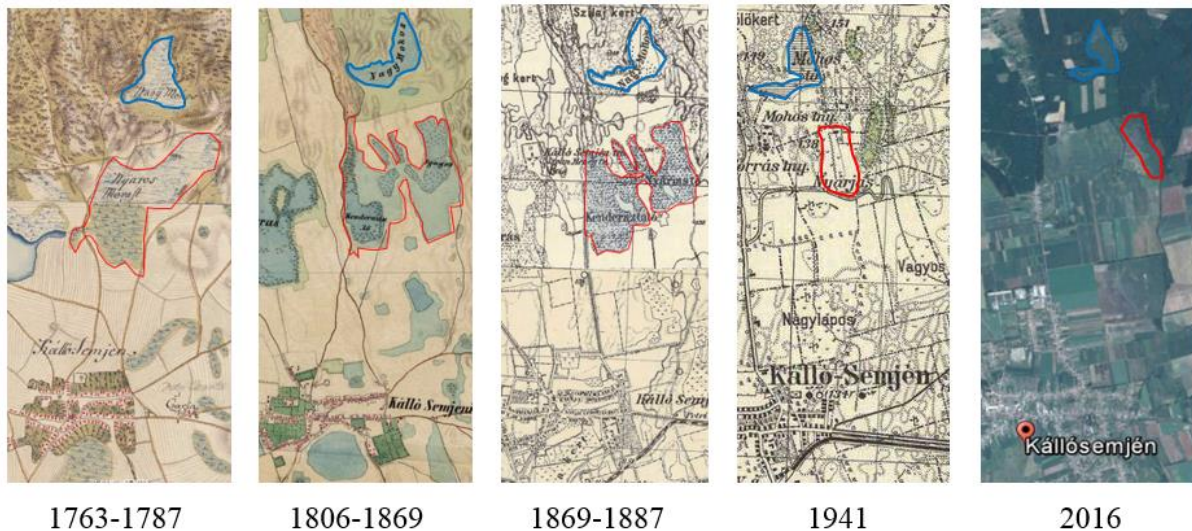
A Nyíregyházától 25 km-re délre található Nyárjas láp a Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatóságához tartozó Kállósemjéni Mohos-tó Természetvédelmi Területen található. A láp 500 méteres szomszédságában, északi irányban található a Mohos-tó. A Nyárjas lápot keleti- és nyugati irányból homokdűnék gerincvonalai övezik, míg délen a Baromlaki (VII./4) -mellékág határolja. A láprét kiterjedése napjainkban közel 15 ha.



1. ábra. A Nyárjas lapa elhelyezkedése

Forrás: Decsi et al., 2017

Az első feljegyzések a lapa élővilágáról az 1980-as évekből származnak. Vas Mihály részletes botanikai kutatásokat végzett a Nyárjas lapa és a közeli Mohos-tó területein (Vas, 2016). Egykor nagy számban fordult elő a lapa területén többek között a vidrafű (*Menyanthes trifoliata*), a tündérrózsa (*Nymphaea alba*), a zombéksás (*Carex elata*), a hínáros víziboglárka (*Ranunculus trichophyllus*) (Vas, 2016). A Nyárjas lapa egykori kiterjedéséről és partvonalának alakulásáról a katonai felmérések adnak képet (2. ábra).



2. ábra. A Nyárjas lág partvonalának időbeli alakulása
 Forrás: Decsi et al., 2017

A fenti ábrán a Nyárjas lág partvonalát piros, míg a Mohos-tó szegélyét kék sokszögvonallal ábrázoltuk. A katonai felmérések alapján a Nyárjas lág a XIX.század végéig közel 80 ha-os nyílt vízfelülettel rendelkező vizes élőhely volt. Az 1941-es térképmetszeten látható, hogy kiterjedése közel a negyedére csökkent, de még ekkor is rendelkezett mintegy 20 ha-os nyílt vízfelülettel. Ezek alapján feltételezhető, hogy a Nyárjas lág teljes kiszáradása a XX. század második felében zajlott le.

A helyi hidrológiai viszonyokat nagyban megváltoztatták a lecsapolási munkák, a Nyárjas lág közvetlen közelében létesítették a Baromlaci-mellékágot, mely jelentős szerepet játszott a térség vizes élőhelyeinek eltűnésében és tájkép megváltozásában. Az élőhely partvonalának szűkülésében szerepet játszott az is, hogy a XIX. század elején a térségben a vizes élőhelyeket jellemzően övező tölgyerdőket tarvágással kiirtották, mely következtében tartós száraz időszakok alatt, a futóhomok kiszáradt, majd a szél hatására erodálódott. Ez jelentős mértékben hozzájárulhatott az élőhelyek feltöltődéséhez, az üledékképződés kialakulásához (Vas, 2016).

Az alkalmazott modell és leíró egyenletei

A Nyárjas lápról elmondható, hogy egy tipikus Nyírségi buckaközi lág, közvetlen vízgyűjtő területe közel azonos az egykor vízállásos terület kiterjedésével. A jelenleg rendelkezésre álló talajtani adatok (Pásztor et al., 2017), illetve helyszíni kutatóárok feltárásakor tapasztaltak szerint a felszín közelében jó vízvezetőképességű, jellemzően homoktalajok találhatóak (Decsi et al., 2020). A talajtani viszonyok ismeretében, illetve szakirodalmi leírásokkal összhangban feltételeztük (Jolánkai & Koncsos, 2018), hogy a mintaterületre felszíni lefolyás formájában elhanyagolható mennyiségű víz érkezik a közvetlen vízgyűjtőn kívülről. Így a mintaterület vízháztartási komponensei egy dimenziós (vertikális) összetételűvé egyszerűsödtek. Ezáltal a mintaterület vízháztartását egy vertikális, talajszelvény szintű 1D szivárgáshidraulikai modellel leírhatónak feltételeztük, erre a célra a nyílt forráskódú HYDRUS-1D modellt alkalmaztuk (Simunek et al., 2009).

A HYDRUS-1D modellel a Richards-egyenlet (1) numerikus megoldásával képes szimulálni a felszín alatti víz mozgását, változó telítettségű talajszelvények esetén (Richards, 1931):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S(h) \quad (1)$$

ahol θ a nedvességtartalom [cm^3/cm^3], t az idő [s], z a szelvény vertikális hossza [cm], $K(h)$ a telítetlen hidraulikai vezetőképesség [cm/s], h az összpotenciál [L] és $S(h)$ a gyökérzeti vízfelvétel fogyasztó tényezője [$\text{cm}^3/\text{cm}^3/\text{s}$].

A Richards egyenlet megoldáshoz a Mualem-van Genuchten talajhidraulikai modellt alkalmaztuk a retenciós görbe (2) $\theta(h)$, illetve a telítetlen hidraulikai vezetőképesség görbe becsléséhez (3) $K(h)$:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha \cdot h|]^n]^m}, \quad h < 0 \quad | \quad \theta_s, \quad h \geq 0 \quad (2)$$

$$K(h) = K_s \cdot S_e^l \left[1 - \left(1 - S_e^m \right)^m \right]^2 \quad (3)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (4)$$

ahol θ_r és θ_s a reziduális (maradó) és a telített nedvességtartalom [cm^3/cm^3], α [$1/\text{cm}$] és n [-] ($m = 1 - 1/n$) empirikus alaki tényezők, S_e (4) az effektív telítettség [-] és l [-] a pórusok kapcsoltságát jellemző paraméter.

Az alkalmazott peremfeltételek

A modell felső peremfeltételeként a középhőmérsékletet, a csapadékösszeget, illetve a potenciális evapotranszpirációt használtuk, mint napi lépésű légköri peremi idősorokat. Előbbi kettőt közvetlenül a ForeSEE adatbázisból származtattuk (Dobor et al., 2015), míg utóbbit a Hargreaves-Samani összefüggés segítségével számszerűsítettük (H. Hargreaves & A. Samani, 1985). A Közép-Európai régióra fejlesztett, szabadon hozzáférhető ForeSEE meteorológiai adatbázis horizontális felbontása 0.1° . Az adatbázisban a csapadékösszeg [mm], a minimum-, maximum- és középhőmérséklet [$^\circ\text{C}$], a nappali rövidhullámú sugárzás [$\text{MJ m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$] és a napkeltétől napnyugtáig eltelt idő [s] is hozzáférhető napi időbeli felbontás mellett. Az elemzéshez a mintaterülethez legközelebbi rácspont múltbéli idősorait használtuk. A napi csapadékösszeg idősort a mesterséges vízpótlással korrigálva építettük a modellbe (Decsi et al., 2020).

A térségben a talajvíz jól követi a domborzatot, emellett a potenciális evapotranszpiráció a szimulációs időszak során öt év kivételével valahány évben meghaladta az éves csapadékösszeget. Így feltételezhető, hogy a mintaterületre oldalirányból beáramló talajvíz biztosította az időszakos vízborítást a múltban. Az alsó peremfeltételként helyszíni, mért értékek híján egy közeli (3 km távolságra található), törzshálózati talajvízszint észlelő monitoring kút adatait használtuk fel. Ehhez a korábban alkalmazott saját fejlesztésű Robin típusú peremfeltételt használtuk (Decsi et al., 2020), melyet a nyílt forráskódú HYDRUS-1D szoftverbe építettünk. Az oldalirányú talajvízmozgást Darcy-törvénye szerint számítottuk (5):

$$Q_{GW} = \frac{(h_{BC} - h_{bot})}{d_{BC}} \cdot K_{s,BC} \cdot (h_{bot} + m) \cdot \tau \quad (5)$$

majd kifejeztük az alsó peremi fluxust:

$$q_{bot} = \frac{Q_{GW}}{A} = \frac{(h_{BC} - h_{bot})}{d_{BC}} \cdot K_{s,BC} \cdot (h_{bot} + m) \cdot \frac{\tau}{A} \quad (6)$$

ahol Q_{GW} az oldalirányú talajvíz be- vagy kiáramlás, h_{BC} [cm] a modell alsó síkja feletti talajvízszint a modellezett talajszelvénytől a d_{BC} [cm] távolságra található monitoring kútban, h_{bot} [cm] az aktuális nyomás a talajszelvény alsó síkja felett a modellezett szelvényben, $K_{s,BC}$ [cm/s] a közeg telített hidraulikus vezetőképessége amelyen keresztül a talajvíz beáramlik a vizsgált szelvénybe, m [cm] az az elméleti réteg vastagság/mélység, mely kiterjeszti a modelltartományt, hogy az

teljes mélységben figyelembe tudja venni a teljes be- és kiáramlást, τ [cm] a vizsgált élőhely kerülete, q_{bot} [cm/s] az alsó peremi fluxus és A [cm²] az élőhely területe. A szimulációk során d_{BC} , $K_{s,BC}$, τ , A paramétereket összevontuk és az m tényezővel kalibrációs paraméterként használtuk, míg az h_{bot} aktuális talajvízszinteket a HYDRUS-1D modellel számítottuk.

Talajtani és vegetációs paraméterek

Annak ellenére, hogy léteznek szabadon hozzáférhető talajhidrológiai adatbázisok, az ezekben elérhető paraméterek alkalmazása a tanulmány mintaterületéhez hasonló, lokális léptékű elemzések során bizonytalansághoz vezethet. Emiatt a modell számára szükséges talajtani paramétereket, helyszínen vett talajmintákon (10 cm mélység menti lépésközzel, 220 cm mélységig vettünk mintákat) laboratóriumi körülmények között végzett kisminta kísérletek segítségével határoztuk meg. A kisminta kísérletek során a talajmintákat telítettük, majd ismert magasságú vízoszlopot helyeztünk a minta tetejére, majd szabad kifolyás mellett mértük az alsó peremi fluxust. A mérések eredményeit felhasználva meghatároztuk valamennyi minta esetén a telített szivárgási tényezőt. Az alsó peremi fluxus mérési eredmények felhasználásával a retenciós görbékhez szükséges, további talajhidrológiai paraméterek becslését automatizált kalibrációval végeztük.

A modell számára az aktuális párolgás számításához szükséges a vegetációt jellemző levélfelületi index (LAI) idősoros meghatározása. A LAI idősoros értékeit a mintaterületen korábban készített cönológiai felmérések (Vas, 2016), illetve szakirodalmi ajánlások alapján határoztuk meg (Anda et al., 2017), mely során a múltban lezajló élőhely degradáció hatását is figyelembe vettük. A LAI idősort így három időszakra bontottuk, ezek esetében a paraméter szezonálisát trapéz- vagy úgynevezett kalapgörbékkel közelítettük. Így a kezdeti nedves időszakra (i) 1961-1984 között $0.5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ - $2.5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ értékeket használtunk; a már kiszáradt állapotra (ii) 1990-2020 között $0.8 \text{ m}^2/\text{m}^2$ - $3.5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ értékeket alkalmaztunk; (iii) míg az átmeneti időszakban (1985-1989 között), lineárisan interpoláltuk a görbéket. Mivel a HYDRUS-1D modell alapkonfigurációban nem számít transzspirációt ha vegetáció gyökérszónájában a talaj nedvességtartalma közelíti a telített állapotot (vagy felszíni vízborítás alakul ki), így ezt a beállítást módosítanunk kellett, mivel vizes élőhelyek esetén ez koncepcionális hibához vezetett volna. Ehhez a Feddes-féle transzspirációs stressz-függvény beépített paramétereit módosítottuk úgy, hogy a modell alkalmas legyen a vizsgált vizes élőhely párolgási viszonyainak megfelelő leírására.

A modellezési műveletek során a saját fejlesztésű BHR keretprogramot használtuk (Kozma et al., 2013).

A vízpótlás menete

Az általunk alkalmazott vízpótlási módszer alapja a klimatikus vízhiány, illetve annak görgetett összege volt. A vízpótlási stratégiát a jövőben teszteltük, a meteorológiai idősorokat a ForeSEE adatbázisból gyűjtöttük, 10 klímamodellel jövőre prognosztizált adatait használtuk 2050-ig. A jövőbeli alsó peremi talajvízszint idősort egy saját fejlesztésű, még nem publikált eljárással számítottuk, mely során jövőbeli meteorológiai- és egyéb környezeti tényezőket használtunk (Ács et al., 2021). A generált talajvízállás idősort a múltban mért értékekre kalibráltuk és validáltuk.

A vizsgálatban tesztelt vízpótlási stratégia során vegetációs időszakban tapasztalható tartós száraz időszakok alatt többletcsapadék formájában juttattunk vizet az élőhelyre. A többletcsapadék idősorokat a következő szerint számítottuk, néhány kitüntetett paraméter-kombinációban:

$$A_i = \sum_{i-1}^{i-j} (PREC - PET) \quad (7)$$

ahol A [cm] az i -edik szimulációs napon, a j [nap]hosszúságú múltbeli ablakban összegzett klimatikus vízhiány, $PREC$ [cm] a napi csapadékösszeg, PET [cm] a napi potenciális párolgás.

A napi betáplálendő vízmennyiséget a következő összefüggéssel számszerűsítettük, majd többletcsapadékként beépítettük a peremi idősorba:

$$WR_i = \begin{cases} -A/c * j, & A < 0 \\ 0, & A \geq 0 \end{cases}$$

ahol WR_i [cm] adott napi vízpótlás, j [nap] múltbeli visszatekintés ablakának hossza, míg c [-] vízmennyiséget szabályozó arányszám.

A módszer előnye, hogy a betáplált vízmennyiségek a folyamatos üzemrendhez képest kisebbek, mivel csak akkor tápláltunk be vizet többletcsapadék formájában, ha a klimatikus vízhiány összegzett értéke negatív volt a j nap hosszú időszak alatt. A vízpótlást csak vegetációs időszakban alkalmaztuk. A c paraméterrel vízpótlás mennyiségének szabályozási lehetőségét kívántuk beépíteni.

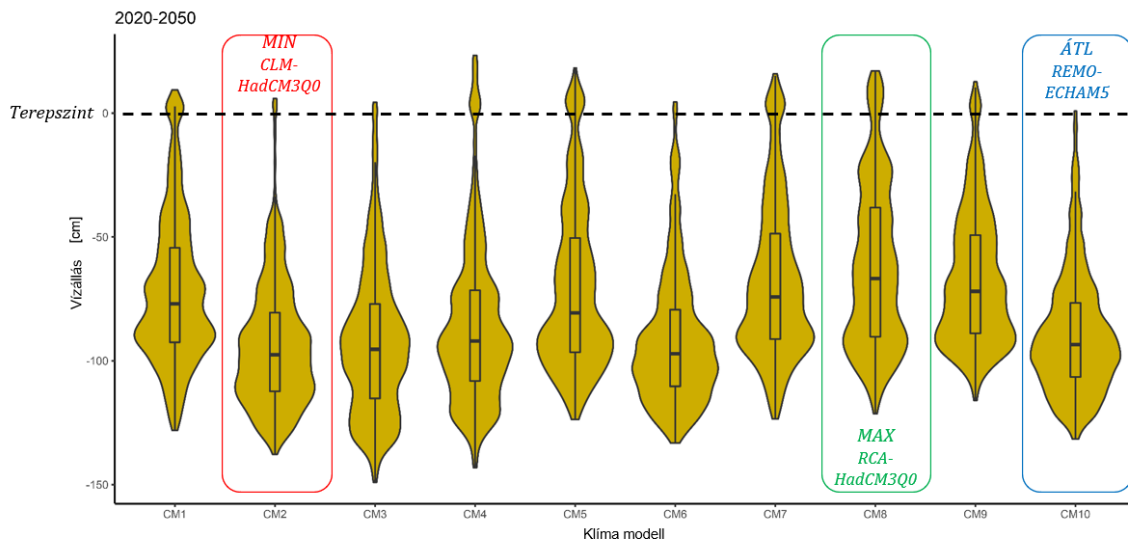
EREDMÉNYEK

A modell kalibrációját 357 darab helyszínen mért vízszinthez tudtuk végrehajtani, ezek a helyszínen rögzített vízállások változó időlépéssel (átlagos mérési gyakoriság: 14 nap) az 1994-2003 és a 2007-2010 közötti időszakból származnak (Vas, 2016). A kalibráció eredménye szakirodalmi javaslatok szerint jó egyezést mutatott a mért- és számított vízállások között, a Nash-Sutcliffe modellhatékonysági mutató vonatkozásában ($NSE=0.77$). A kalibrációs eredmények fényében a modellt alkalmasnak találtuk arra, hogy a jövőre kiterjesztett idősorok segítségével mesterséges vízpótlási stratégiák összehasonlításához használjuk (D. N. Moriasi et al., 2007).

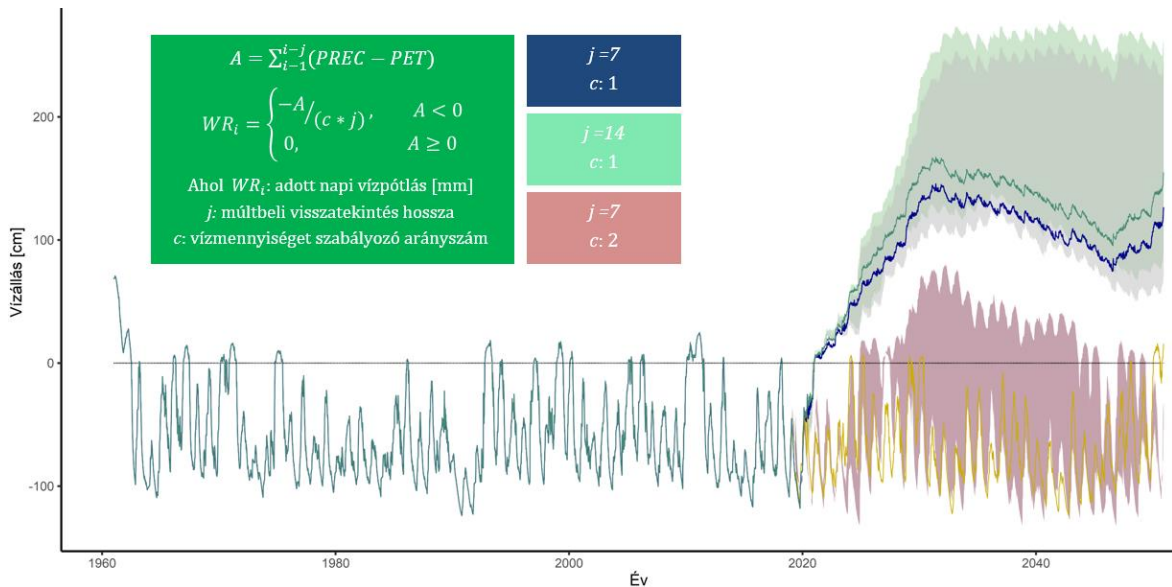
A jövőbeli peremfeltételi idősorok alkalmazása melletti szimulációk eredményeként elmondható, hogy az élőhely vízellátottsági állapota emberi beavatkozás nélkül tovább romlana, degradációja folytatódna (3. ábra). A terület mélyebb pontjain csak nagyobb csapadékok következtében alakulna ki rövid, időszakos vízállás, melynek mélysége nem érné el a 20 cm-t sem, ezek előfordulása elenyésző (4. ábra sárga görbe). Az átlagos talajvízállások továbbra is a felszínhez közel, a térszín alatti szűk 70-100 cm-es intervallumban várhatók (3. ábra). Megállapítható tehát, hogy az élőhely rehabilitációjához, a biodiverzitás, valamint a múltban nyújtott ökoszisztéma szolgáltatások helyreállítása csak mesterséges vízpótlás útján lehetséges.

Az általunk alkalmazott klimatikus vízhiányon alapuló vízpótlási stratégia, a vízállások helyreállítására és azok emelése szempontjából megfelelő alternatívának bizonyult. A jelen tanulmányban bemutatott, kísérleti jellegű paraméterkészlettel végzett szimulációk eredményei szerint, a múltban észlelt maximum vízállások tartósan visszaállíthatók (4. ábra). A lenti, 4. ábrán a zöld görbe a $j = 14$ nap és $c = 1$ paraméter-kombinációval számított, a 10 klímamodell közül az átlaghoz legközelebbi változat eredményét szemlélteti, míg a zöld sáv a 10 klímamodell számított eredményeinek teljes tartományát szemlélteti. A kék görbe a $j = 7$ nap és $c = 1$ paraméter-együttessel szimulált, a 10 klímamodell közül az átlaghoz legközelebbi változat eredményét mutatja be, míg a szürke sáv a 10 klímamodell szimulációival számított vízállásainak teljes tartományát szemlélteti. Végül a bordó-lila sáv a $j = 7$ nap és $c = 1$ paraméter-kombináció 10 klímamodell által lefedett tartomány eredményeit szemlélteti. Megfigyelhető,

hogy a várakozásoknak megfelelően a c tényezőre (a felhalmozódott vízhiány élőhelyen ténylegesen betáplált aránya) jelentősen érzékenyebb az élőhely, mint j (a múltra való visszatekintés hossza) paraméterre (4. ábra).



3. ábra. A jövőbeli szimulációk vízállásainak eloszlása violin plot formátumban, a 10 vizsgált klímamodell esetén



4. ábra. Az alkalmazott vízpótlási stratégia eredményei, három paraméter kombináció esetében

A vízpótlásos scénáriók esetén megfigyelhető, hogy az átlagos vízállás közel 200 centiméterrel is emelhető a vízpótlás nélküli állapothoz képest. Mindez a mintaterület legmélyebb pontján átlagosan 100-250 cm vízállást jelentene (az alkalmazott klímamodelltől függően), azaz az élőhely mélyebb fekvésű pontjain a vízállás akár folyamatosan fenntartható lenne. A szimulációs eredmények alapján megállapítottuk, hogy a területről történő elszivárgás továbbra is problémát okozna, mely hatásainak pontos vizsgálatára térben kiterjesztett 2D vagy 3D hidrológiai modellezésre van szükség.

KÖVETKEZTETÉSEK

Kutatásunkban egy leromlott állapotú, Nyírségi vizes élőhely vízháztartását vizsgáltuk változó környezeti kihívások mellett az 1961-2050 időszakon. Vizsgálatunk eredményei alapján elmondható, hogy a napjainkra kiszáradt, egykor hazánkban unikális élővilágú ingóláp a jövőben beavatkozás nélkül továbbra is száraz maradna, állapotromlása folytatódna. Jövőbeli, klímaadaptív mesterséges vízpótlási stratégia alkalmazhatóságát tanulmányoztuk, ennek hatása a vízállásokra egyértelműen pozitív. A vizsgált vízpótlási üzemrend hatékonynak bizonyult, ugyanakkor a betáplálendő vízmennyiség jelentős. Alkalmazása mellett relatív kis számítási igénnyel ütemezhető a mesterséges vízpótlás mennyisége akár múltbeli meteorológiai észlelések, akár jövőbeli előrejelzések alapján, a rendelkezésre álló vízmennyiség ismeretében. Kutatásunk szerint a mesterséges vízpótlás mennyiségének és annak hatása közötti optimum keresése a legfontosabb jövőbeli feladat, erre alkalmas lehet az ökoszisztéma szolgáltatás szempontú elemzés.

IRODALOMJEGYZÉK

- ÁCS, T., DECSI, B., & KOZMA, Z.: (2021): Felszín alatti vízkészlet-gazdálkodás támogatása új talajvízjárás számító eljárással: Első Országos Interdiszciplináris Éghajlatváltozási Tudományos Konferencia.
- ÁCS, T., & KOZMA, Z.: (2017): Ökológiai talajvízigény cél és lépték szerint: In V. Blanka (Ed.), *Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században : a VII. Magyar Tájökológiai Konferencia tanulmányai*. (pp. 10–16).
- AN, S., & VERHOEVEN, J. T. A.: (2019): *Wetland Functions and Ecosystem Services: Implications for Wetland Restoration and Wise Use BT - Wetlands: Ecosystem Services, Restoration and Wise Use* (S. An & J. T. A. Verhoeven (eds.); pp. 1–10): Springer International Publishing.
- ANDA, A., SOÓS, G., & DA SILVA, J. A. T.: (2017): Leaf area index for common reed (*Phragmites australis*) with different water supplies in the Kis-Balaton wetland, Hungary, during two consecutive seasons (2014 and 2015): *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 121(3), 265–284.
- D. N. MORIASI, J. G. ARNOLD, M. W. VAN LIEW, R. L. BINGNER, R. D. HARMEL, & T. L. VEITH: (2007): Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations: *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900.
- DECSI, B., ÁCS, T., & KOZMA, Z.: (2017): A kállósemjéni Nyárjas láp vízháztartási vizsgálata: In V. Blanka & Z. Ladányi (Eds.), *Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században : a VII. Magyar Tájökológiai Konferencia tanulmányai* (pp. 127-135 PG – 9): Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézet. <https://m2.mtmt.hu/api/publication/3271725>
- DECSI, B., ÁCS, T., & KOZMA, Z.: (2018): Magyarország törzshálózati talajvíz monitoring hálózatának adatellátottsági elemzése: In V. Molnár (Ed.), *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX*. (pp. 7–99): Debreceni Egyetemi Kiadó. <https://m2.mtmt.hu/api/publication/3377099>
- DECSI, B., ÁCS, T., & KOZMA, Z.: (2020): Long-term Water Regime Studies of a Degraded Floating Fen in Hungary: *Periodica Polytechnica Civil Engineering*.
- DOBOR, L., BARCZA, Z., HLÁSNY, T., HAVASI, HORVÁTH, F., ITTÉS, P., & BARTHOLY, J.: (2015): Bridging the gap between climate models and impact studies: the FORESEE Database: *Geoscience Data Journal*.
- ERWIN, K. L.: (2008): Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world: *Wetlands Ecology and Management*, 17(1), 71.
- H. HARGREAVES, G., & A. SAMANI, Z.: (1985): Reference Crop Evapotranspiration from Temperature: *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96–99.
- JOLÁNKAI, Z., & KONCSOS, L.: (2018): Base Flow Index Estimation on Gauged and Ungauged Catchments in Hungary Using Digital Filter, Multiple Linear Regression and Artificial Neural Networks: *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(2 SE-Research Article), 363–372.
- JUNK, W. J., AN, S., FINLAYSON, C. M., GOPAL, B., KVĚT, J., MITCHELL, S. A., MITSCH, W. J., & ROBARTS, R. D.: (2013): Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis: *Aquatic Sciences*, 75(1), 151–167.

- KOZMA, Z., ÁCS, T., & KONCSOS, L.: (2013): Hydrological modeling of the unsaturated zone — Evaluation of uncertainties related to the FAO soil classification system: *Pollack Periodica*, 8(3), 163–174.
- LAMERS, L. P. M., VILE, M. A., GROOTJANS, A. P., ACREMAN, M. C., VAN DIGGELEN, R., EVANS, M. G., RICHARDSON, C. J., ROCHEFORT, L., KOOIJMAN, A. M., ROELOFS, J. G. M., & SMOLDERS, A. J. P.: (2015): Ecological restoration of rich fens in Europe and North America: from trial and error to an evidence-based approach: *Biological Reviews*, 90(1), 182–203.
- MITSCH, W. J., BERNAL, B., & HERNANDEZ, M. E.: (2015): Ecosystem services of wetlands: In *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*.
- PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., BAKACSI, Z., SZABÓ, J., & ILLÉS, G.: (2017): DOSoReMI as the national implementation of GlobalSoilMap for the territory of Hungary: In D. Arrouay, I. Savin, J. Leenaars, & A. B. McBratney (Eds.), *Proceedings of the Global Soil Map 2017 Conference* (pp. 17–22): CRC Press.
- RICHARDS, L. A.: (1931): Capillary conduction of liquids through porous mediums: *Journal of Applied Physics*.
- SIMUNEK, J., SEJNA, M., SAITO, H., SAKAI, M., & VAN GENUCHTEN, M. T.: (2009): The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 4.08. HYDRUS Softw. Ser. 3.: In *Dep. of Environ. Sci., Univ. of Calif., Riverside*.
- VAS, M.: (2016): A Nyárjas-tó fitocönózisainak átalakulása: *Kitaibelia*, 21(1 SE-), 63–77.