

A vízpótlás talajvízszintre gyakorolt hatásának értékelése egy délnyugat-magyarországi példán keresztül

^{1,*}HERCEG András, ¹KALICZ Péter, ¹ZAGYVAINÉ KISS Katalin Anita, ²Ján SZOLGAY,
³HORVÁTH László, ¹GALLAI Bence, ¹GRIBOVSKI Zoltán

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet, Sopron, Magyarország; ²Slovak University of Technology in Bratislava, Department of Land and Water Resources, Bratislava, Slovakia; ³Kaszó Zrt., Kaszó, Magyarország

(Beérkezett: 2024.01.03.; Elfogadva: 2024.10.18.)
(Online megjelent: 2024.11.04.)

Eredeti közlemény
© Szerző(k) 2024



Összefoglalás

Az Európát is érintő jelenlegi, napjainkban zajló éghajlatváltozás statisztikailag szignifikáns felmelegedési tendenciával jellemezhető. Az éghajlatváltozás hatása a csapadékviszonyok és az evapotranszpirációs folyamatok megváltoztatásán keresztül érinti a vízkörforgalmat, így a csapadék eloszlásának és mennyiségének várható változásai a folyamatosan emelkedő hőmérséklettel együtt a növények nagyobb vízfelhasználását eredményezhetik, ami változásokat indukálhat a talajnedvességben, a talajvízben és ennek következtében a vízmérlegben. Az emelkedő hőmérséklet hatására a jövőben a növekvő transzspirációs igény valószínűleg a növényi közösségek fokozott talajvízfelvételét eredményezi, ami a talajvízszint további csökkenését is magával vonhatja. Ha ez bekövetkezik, a talajvízfüggő erdei közösségek regenerálódása ezeken a területeken kérdésessé válik, mivel a fiatal fák gyökérzete nem fogja tudni elérni a vízforrást. Következésképpen a Kárpát-medence sík vidékein és vizes élőhelyein a nagy vízigényű erdők fennmaradása kérdésessé válhat. A fás vegetáció számára kiemelten fontos a talajvíz szerepe a vegetációs időszakban, éppen ezért a talajvízszint változását régóta, rendszeresen monitorozzák.

Konkrét megoldás lehet az árhullámok vissza-duzzasztásából származó vízpótlás. A pozitív vízpótlási beavatkozásokra példa a Kaszó LIFE projekt. A projekt célja a leromlott élőhelyek rehabilitációja volt, ami a kedvező ökológiai állapot stabilizálásával teszi lehetővé a hosszú távú megőrzést. A megvalósítás eszközeként tőrehabilitációt és folyó-mederbordákat alkalmaztak, biztosítva a Szentai-erdő (Nyugat-belső-somogyi kistérség) erdeinek, kis lápjainak és gyepterületeinek vízellátás javítását.

Jelen kutatás célja pedig a Kaszó LIFE projekt vízpótlási beavatkozásai után, azok felszín alatti vízszintre gyakorolt hidrológiai hatásainak elemzése volt. A meteorológiai adatok és a monitoring adatok alapján elmondható, hogy a Szentai-

**Levelező szerző:* HERCEG ANDRÁS, Soproni Egyetem, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4.
E-mail: herceg.andras@uni-sopron.hu

erdőben 30 éves szárazodási tendencia volt tapasztalható, amelynek elsődleges mutatója a talajvízszint csökkenése. Kiemelendőek a 2016–2017-es vizsgálati időszak évei, amikor az alapvetően lefolyástalan vizsgálati területen nem volt elegendő csapadék a talajvíz szintjének fenntartásához. Kutatási eredményeink azonban azt mutatták, hogy a vízpótlást célzó beavatkozások (mederbordák és tározótavak) összességében a talajvízszint emelkedését biztosítják.

A két beavatkozási típus talajvízszint emelkedésére gyakorolt hatását vizsgálva arra a következtetésre jutottunk, hogy míg a tavak építése jelentősen befolyásolja a környező kutak vízszintjét, addig a mederbordák esetében kisebb mértékű a hatás.

Kulcsszavak: klímaváltozás, mederborda, talajvíz, tőrehabilitáció, vízpótlás

Bevezetés

Az éghajlatváltozást elsősorban az átlaghőmérséklet globális emelkedése (azaz a globális felmelegedés) és az ebből következő, a hidrológiai ciklusra gyakorolt szignifikáns hatása jellemzi (HLÁSNY ET AL., 2014).

Az 1971 és 2000 közötti referencia-időszakhoz képest (A1B éghajlati klíma-forgatókönyv) az európai felmelegedés várhatóan 2°C-kal lesz magasabb a globálisnál (VAUTARD et al., 2013). Magyarországon a 21. század végére a napi maximum- és minimumhőmérsékletek várhatóan emelkedni fognak, és a hőmérsékleti szélsőségek (hőség és forró napok) is gyakoribbak lesznek (SPINONI et al., 2013; BARTHOLY et al., 2014).

A megemelkedő hőmérséklet a légkör nagyobb energiapotenciálját jelenti, ami a hidrológiai ciklusra is hatással lesz (CUI et al., 2018; SHUKLA et al., 2019; PÖRTNER et al., 2022).

ILONA és munkatársai (2022) átfogó elemzést végeztek Magyarországra nézve, statisztikai tesztek és trendelemzések formájában hőmérséklet- és csapadék idősorokon, hogy összehasonlítsák az 1871–1918 és az 1971–2020 közötti időszakokat. Az eredmények figyelemre méltó hőmérsékleti különbséget mutatnak, az 1971–2020-as időszak 0,77°C-kal volt melegebb, mint az 1871–1918-as időszak. A maximális hőmérséklet minden évszakban jelentős emelkedő tendenciát mutatott, a legjelentősebb felmelegedés a téli időszakban volt megfigyelhető (1,29°C). A felmelegedés következtében csökkent a fagyos napok száma (amikor a napi minimumhőmérséklet 0°C alatt maradt) a 20. század elejéhez képest. (1901 és 2020 között országos átlagban 19 nappal kevesebb). Az utóbbi évtizedekben gyakrabban fordulnak elő hőhullámok (napi átlaghőmérséklet $\geq 25^{\circ}\text{C}$). A felmelegedés az utóbbi 40 évben nagyon intenzív (LAKATOS et al., 2021).

A várható hatások közé tartozik a csapadékmintázatok és a párolgási folyamatok változása (SUN et al., 2011). Következésképpen az olyan szélsőséges események, mint az aszályok és az áradások feltételezhetően gyakrabban fordulnak majd elő (PONGRÁCZ et al., 2009; KJELLSTRÖM et al., 2011; HLÁSNY et al., 2014). A csapadék eloszlásában bekövetkező változások hatására az egyszeri csapadékesemények folyamán gyakran több csapadék hull, bár ez nem befolyásolja az éves

csapadékmennyiséget, amely így változatlan marad, ugyanakkor nagyobb a felszíni lefolyás lehetősége.

Valamennyi klímamodell szerint (12 regionális klímamodell, amely az ENSEMBLES EU FP6 projekt keretében készült) a csapadékmennyiség jövőbeni változása Magyarországon feltehetően nem lesz jelentős, mert egy ún. átmeneti zónában helyezkedik el az ország. Másfelől az évszázad végére a csapadékeloszlás változása valószínűsíthető, ami konkrétan a nyári csapadékmennyiség jelentős csökkenését, ugyanakkor a telek csapadékosabbá válását jelenti (LAKATOS et al., 2012; BARTHOLY et al., 2014; GÁLOS et al., 2014).

Magyarországon a csapadékeloszlás szabálytalan, ezért a csapadék szélsőértékei, heves csapadékesemények és a súlyos aszályok előfordulása egyaránt valószínű (NOVÁKY & BÁLINT, 2013; GÁLOS et al., 2015). Az elmúlt 120 évet vizsgálva a csapadékmintázatokban jelentős elmozdulás volt megfigyelhető. Míg az egész időszak alatt általános csökkenés figyelhető meg, addig az elmúlt 50 évre összpontosítva ellentétes tendencia rajzolódik ki. A 20 mm-nél több csapadékot hozó napok (2 nap) emelkedő tendenciát mutatnak és a napi intenzitás, más néven a napi átlagos csapadékmennyiség is nőtt nyáron. A napi átlagos csapadékmennyiség növekedése arra utal, hogy a csapadék egyre inkább intenzív záporokban és rövid ideig tartó zivatarokban fordul elő. Az 1981–2020 közötti időszakban a nyári csapadékintenzitás több területen, jellemzően az ország középső és északi részén nőtt, meghaladva esetenként a 3 mm/nap értéket (LAKATOS et al., 2021).

A száraz időszakok hossza szintén megnövekedett a 20. század eleje óta. Mindemellett az 1980-as évektől kezdve az aszályok a vegetációs időszakban egyre gyakrabban fordulnak elő (GÁLOS et al., 2007; MÁTYÁS et al., 2018; LAKATOS et al., 2021; TRAN et al., 2022). Magyarországon a csapadék térben is változékony elem, így általában a hegyvidéki területek és a nyugati, délnyugati országrész a csapadékosabb, míg az Alföld középső része a legszárazabb. 2022-ben Magyarországot (és Európa javarészt is) rendkívüli szárazság sújtotta. A korábbi tendenciáknak megfelelően ebben az évben is elsősorban az Alföldön volt a legnagyobb az aszály, amit tovább rontott a XX. század eleje óta tapasztalt legforróbb nyár (SZENTES, 2023).

A csapadék mennyiségi és eloszlást érintő változásai, a folyamatosan emelkedő hőmérséklettel a növények nagyobb vízfelhasználásához vezethetnek, figyelembe véve a hosszabb tenyészidőt és a nagyobb levélfelületet (ABER et al., 2009). Mindez jelentősen hozzájárul a talajnedvességben, a talajvízszintben (MAS-PLA & MENCIO 2019) és végső soron a vízkörforgásban megjelenő változásokhoz (CUI et al., 2018; SHUKLA et al., 2019; PÖRTNER et al., 2022). Az alacsonyabb talajvízszint a talajvízfüggő erdőtársulások, mint komplex ökoszisztémák regenerálódását veszélyezteti, mivel a fiatal fák gyökérzete nem fog tudni hozzáférni a többlet vízforráshoz (GRIBOVSKI et al., 2017). Emiatt bizonyos nagy vízigényű és nagy produktivitású erdei ökoszisztémák fennmaradása válhat kérdésessé a Kárpát-medence síkvidékein (STOJANOVIĆ et al., 2015). Megemlítendő, hogy síkvidéki erdei ökoszisztémák esetén a talajvízkészlet a vegetációs periódus nyári időszakának elsődleges vízforrása.

Az emelkedő hőmérséklet és a fokozódó szárazság várható hosszú távú hatásai az erdei ökoszisztémákban a fajok változásában is megmutatkozhatnak (FÜHRER et al., 2011). Az erdők éghajlati stresszre adott várható reakcióira vonatkozó általánosan érvényes szabályok azonban nagyfokú bizonytalansággal terheltek (az éghajlat, a hidrológia és a talaj elválaszthatatlan tényezőegyüttese miatti bizonytalanság), így az erdészetben kiemelten fontos a regionális és helyi ökológiai körülményeket figyelembe venni (MÁTYÁS et al., 2018; MCDOWELL et al., 2018).

A tradicionális folyó- és mederszabályozás az árhullámok minél gyorsabb levonultatását, a belvizes területek lecsapolását célozta meg, amely így a múltban komoly ökológiai problémákat okozott. Ezzel szemben a folyórendszerek rehabilitációja és a vízpótlást vízvisszatartással elősegítő modern eljárások pozitív hatással lehetnek a talajvízszintre és a mikroklimára is egyaránt. Konkrét megoldás lehet az árhullámok levonuló ágából történő vízpótlás (PUSKÁS, 1999, 2006; OLAJOS et al., 2009). Mindezekről erdészeti szaklapokban is olvashatunk (AMBRUS et al., 2023).

A pozitív vízpótlási beavatkozásokra példa a Kaszó LIFE projekt (LIFE12 NAT/HU/000593). Ez a projekt a Nyugat-belső-somogyi kistérségben található Szentai-erdőben (Natura 2000 része) található erdők, kis lápok és gyepek vízellátásának javítását tűzte ki célul. A vízellátás javítását vízvisszatartással, vagyis a területen található kisvízfolyások lefolyásának lassításával, fenékküszöbök és tározóterek létrehozásával valósították meg, biztosítva ezzel a degradált élőhelyek, különösen a fekete éger (*Fraxinus nigra*) és a közönséges kőris (*Fraxinus excelsior*) által dominált ökoszisztémák rehabilitációját. A beavatkozások a kedvező ökológiai állapot stabilizálásával teszik lehetővé a terület hosszú távú megőrzését.

Jelen kutatás célja a Kaszó LIFE projekt keretében megvalósult vízpótlási beavatkozások talajvízszintre gyakorolt hidrológiai hatásainak értékelése.

Anyag és módszer

Kutatási terület

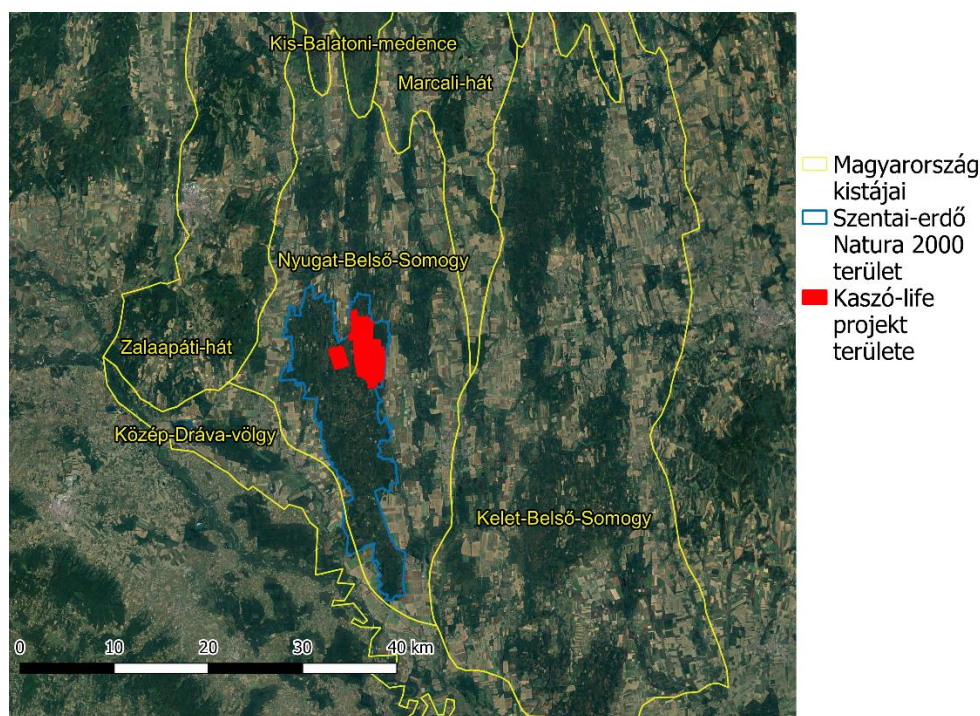
A Nyugat-belső-somogyi kistérséget nyugatról a Zalaapáti-hát, délről a Dráva-völgy, keletről a Marcali-hát, északról pedig a Kis-Balaton veszi körül. Az átlagos tengerszint feletti magasság 130–170 m. A völgyhálózat igen lapos, de széles észak-déli irányú völgyekben alakult ki (DÖVÉNYI, 2010).

A terület éghajlata a mérsékelt meleg, mérsékelt nedves klíma típusba tartozik. Az évi középhőmérséklet 9,8–10,2°C között változik (a vegetációs időszakban 16,5–17°C). Az átlagos éves csapadékmennyiség 750 mm körüli, amelyből 430–450 mm a nyári időszakban hull. Az uralkodó szélirány a területen többnyire északi, de gyakori a déli szél is. Az átlagos szélesség 3 m s⁻¹ (DÖVÉNYI, 2010).

A meteorológiai adatok (hőmérséklet és csapadék) Kaszópusztán (46° 19'14" É 17° 13'23" K) 10 perces gyakorisággal kerültek gyűjtésre egy helyszíni automata meteorológiai állomás segítségével. A vizsgálat időszaka négy hidrológiai évet ölel fel, 2014. október 1-től 2018. szeptember 30-ig. A 2014/2015-ös hidrológiai év első hónapjában a projekt keretében helyi szinten észlelt hőmérséklet- és csapadékadatok

nem álltak rendelkezésre. A hiányzó adatokat a közeli meteorológiai állomások (elsősorban Nagykanizsa és Kaposvár) adataival pótoltuk. A nyers adatokból napi összegeket és átlagokat számoltunk az elemzéshez. A csapadékviszonyok bemutatásához a vegetációs időszakra (április 1-től szeptember 30-ig) vonatkozó elemzést is végeztünk.

A klímaváltozás kiszáradást fokozó hatásai erősen érintik az erdei vizes élőhelyeket. Ha a változások hosszú ideig fennmaradnak, ezeknek a vízigényes erdőknek a fajösszetétele megváltozik (FÜHRER et al., 2011), ami kihatással lesz a teljes ökológiai funkciókra.

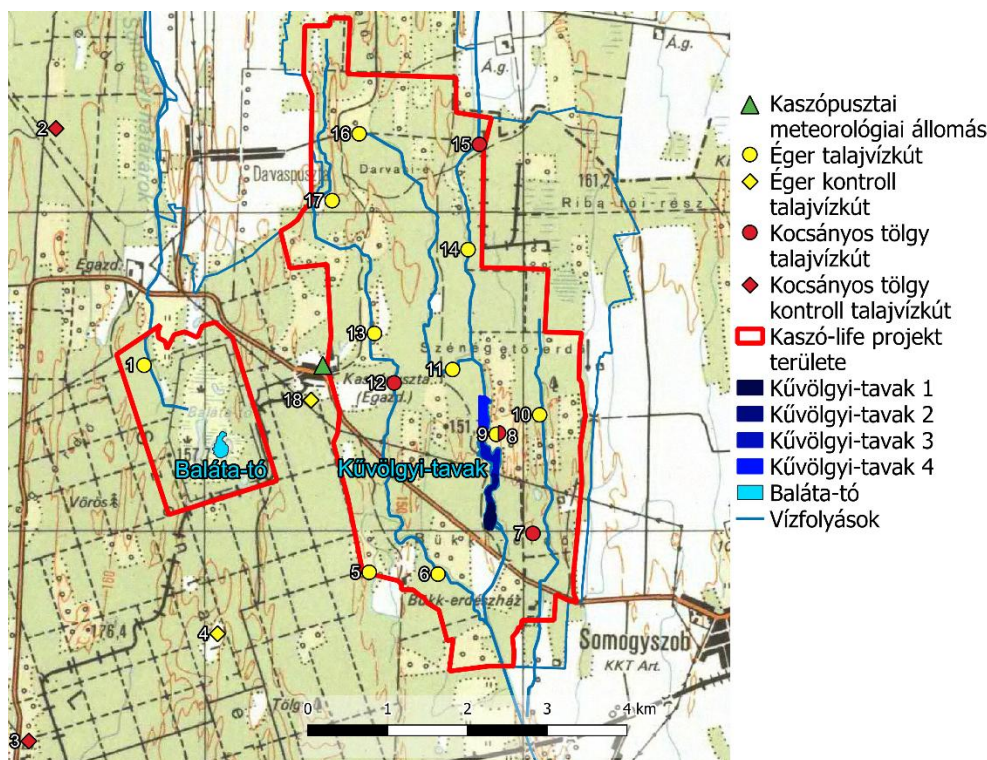


1. ábra
A vizsgálati terület lehatárolása

Földtani szempontból északon a medencealjzat főleg triászi üledékes kőzetekből, délen pedig metamorfitokból áll. A mélyben jelentős elterjedésű a fiatal andezites vulkanizmus. A kistáj teljes egészében feltöltött süllyedék. A pleisztocén ösfolyók (Ős-Duna) által kiépített hordalékkúp kavicsos homokanyaga általában 5–15 m-es mélységben található. A lapályokon, vápákban, szélbarázdákban helyenként vékony lepelhomok-takarók alatt vagy közvetlenül a felszínen lápi anyagok, tőzegmaradványok, lápi mész és kotus láptalajok fordulnak elő. A területen a völgyek alján lévő lefolyástalan területek (depressziók), melyek többnyire nincsenek felszíni hidrológiai összeköttetésben egymással, kis tavak, mocsaras, lápos

zónák alakultak ki, amelyek vízellátását a vízgyűjtőre hulló csapadék biztosítja. A mocsarak azokon a mély területeken alakultak ki, ahol a felszíni és a talajvíz közvetlenül érintkezik egymással (DÖVÉNYI, 2010). Kiemelendők a terület jelentősebb vízfolyásai, a Darvas-patak és a (aránylag magas vízfolyás sűrűségű ($0,6 \text{ km km}^{-2}$)) Taranyi-Rinya, amelyeket a vízpótlást célzó mederbordák és a tározók érintenek.

Talaj szempontjából az agyagbemosódásos barna erdőtalajok területi részaránya 83%, amely javarészt homokhátakon, helyenként löszös üledékeken képződött. A löszön képződött változatok fizikai talajfélesége homokos vályog. A kistáj északi részén löszön képződött, vályog mechanikai összetételű barnaföldek vannak (3%). A réti öntések, réti talajok és a lápos réti talajok területi kiterjedése (5,5 és 4,0%). Mindhárom közös jellemzője a vályog fizikai talajféleség (DÖVÉNYI, 2010). Az erdészeti célú talajvíz-megfigyeléseket (a vízügyi ágazatot megelőzve) az 1900-as évek elején Roth Gyula indítványozta, majd a kezdeti erdészeti talajvíz-megfigyelő hálózatot Ijjász Ervin munkássága révén fejlesztették tovább (AMBRUS et al., 2023).



2 ábra

A kutatási területen alkalmazott talajvíz kutak helyzete.

1. táblázat

Az erdőrészek alapadatai, ahol a talajvízkutak találhatóak.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Erdőreszlet	Koordináták (WGS84)	Terület típusa	Domináns fafaj	Kor (Év)	Sorszám	2014– 2018 átlagos talajvíz- szint (cm)	Vízpótlás típusa	Erdészeti hidrológiai kategóriák
(a) 46 B	Szenta 46°16'38.6"N 17°10'36.1"E	Kontroll	Kocsányos tölgy	39	3.	–241	Mederborda	Időszakos vízhatású
(b) 1 S	Kaszó 46°20'47.5"N 17°10'43.4"E	Kontroll	Kocsányos tölgy	63	2.	–338	Mederborda	Időszakos vízhatású
(c) 36 C	Szenta 46°17'24.0"N 17°12'25.1"E	Kontroll	Mézőgás éger	40	4.	–208	Mederborda	Állandó vízhatású
(d) 38 J	Kaszó 46°18'59.7"N 17°13'16.6"E	Kontroll	Mézőgás éger	53	18.	–58	Mederborda	Vízzel borított
(e) 27 C	Kaszó 46°19'07.5"N 17°14'05.0"E	Mérőkút	Kocsányos tölgy	30	12.	–152	Mederborda	Időszakos vízhatású
(f) Somogyszob 30 B	46°18'48.2"N 17°15'06.8"E	Mérőkút	Kocsányos tölgy	50	8.	–117	Rezervoár*	Időszakos vízhatású
(g) 12 D	Kaszó 46°20'45.1"N 17°14'51.7"E	Mérőkút	Kocsányos tölgy	53	15.	–170	Mederborda	Időszakos vízhatású
(h) Somogyszob 32 C	46°18'07.7"N 17°15'28.3"E	Mérőkút	Kocsányos tölgy	71	7.	–130	Rezervoár*	Állandó vízhatású
(i) Somogyszob 25 E	46°19'13.5"N 17°14'39.0"E	Mérőkút	Mézőgás éger	19	11.	–79	Mederborda	Vízzel borított
(j) Somogyszob 31 A	46°18'55.9"N 17°15'30.6"E	Mérőkút	Mézőgás éger	21	10.	–36	Mederborda	Vízzel borított
(k) 39 C	Kaszó 46°17'50.3"N 17°14'33.3"E	Mérőkút	Mézőgás éger	27	6.	12	Mederborda	Vízzel borított
(l) 9 I	Kaszó 46°20'48.3"N 17°13'41.1"E	Mérőkút	Mézőgás éger	43	16.	–67	Mederborda	Vízzel borított
(m) 16 C	Kaszó 46°20'02.3"N 17°14'46.5"E	Mérőkút	Mézőgás éger	47	14.	–70	Mederborda	Vízzel borított
(n) 39 L	Kaszó 46°17'50.4"N 17°13'53.0"E	Mérőkút	Mézőgás éger	49	5.	–158	Mederborda	Időszakos vízhatású
(o) 2 K	Szenta 46°19'12.3"N 17°11'38.3"E	Mérőkút	Mézőgás éger	49	1.	–70	Mederborda	Állandó vízhatású
(p) 20 F	Kaszó 46°19'27.4"N 17°13'52.8"E	Mérőkút	Mézőgás éger	50	13.	–48	Mederborda	Vízzel borított
(q) Somogyszob 30 J	46°18'47.6"N 17°15'05.5"E	Mérőkút	Mézőgás éger	50	9.	–55	Rezervoár	Vízzel borított
(r) 18 C	Kaszó 46°20'20.9"N 17°13'26.2"E	Mérőkút	Mézőgás éger	55	17.	–78	Mederborda	Vízzel borított

A hetedik oszlopban a negatív és pozitív talajvízszint értékek, a talajfelszín nulla értékéhez képest értelmezendők. Rezervoár: Kűvölgyi-tavak értendők.

A kutatási területen, a talajvíz átlagos mélysége 2–4 méter. Az *1. ábra* a kutatási terület lehatárolását mutatja be, a *2. ábra* pedig a talajvízkutak, a tározók, a meteorológiai állomás és az időszakos vízfolyások helyzetét illusztrálja.

Az *1. táblázat* összefoglalja a kutatási területen található erdőrészek fontosabb alapadatait (WGS84 koordináták, terület típus, domináns fafaj, annak kora, sorszáma, az átlagos talajvízszint, valamint a vízpótlás típusa).

A talajvíz megfigyelő-hálózatának kialakítása

A Kaszó projekt területén, a KASZÓ-LIFE projekt keretében 2015 júliusában új tározókat (tavakat) és mederbordákat kezdtek építeni, amelyek a korábbi vízszabályozási munkák (lecsapolások) ökológiai szempontból káros hatásainak a visszafordítását szolgálják. A tavak és mederbordák üzembe helyezése jellemzően a 2015/16-os hidrológiai év után történt. A beavatkozások hatásainak vizsgálata érdekében, a beavatkozás előtti időszaknak a 2014–2015-ös és 2015–2016-os hidrológiai évet tekintettük, míg a beavatkozások által érintett időszak a 2016–2017-es és 2017–2018-as volt. Meg kell jegyezni, hogy jelen kutatásban egy hidrológiai év (vízévi) október 1-jétől a következő naptári év, szeptember 30-ig tartott, de az általános magyar és a közép-európai vízügyi gyakorlatban a hidrológiai év viszont november 1-étől október 31-ig tart. Az amerikai gyakorlatnak megfelelő számolás oka, hogy az általunk vizsgált kisvízgyűjtőkön a visszatöltődési folyamatok már legtöbbször októberben megkezdődnek.

Három időszakos vízfolyás medrében 15 km hosszan, összesen 123 mederbordát telepítettek. A mederbordák a jelentősebb csapadékeseményű időszakokban és azt követően, valamint a hóolvadás idején, a terepi tapasztalatok szerint mintegy 30 cm-rel emelik a vízfolyások vízszintjét. A meglévő két tó rehabilitációjával és két új építésével a vízfelület 7,13 hektárról 16,57 hektárra nőtt, a víztározó kapacitás pedig csaknem megduplázódott. A régi tavakban az üzemi vízszint 30 cm volt, míg a műtárgyak felújításával az új tavakban már 110–210 cm-re emelkedett.

A talajvízszint észlelése lehetővé teszi, hogy a vízvisszatartás közvetlen hatásait is nyomon kövessük. 2014 májusában 14 mintaterületen és négy kontrollterületen talajvíz-monitoringkutakat létesítettek (*2. ábra*). A kutak egységesen gépi fúrással létesültek, öt méter mélységig. Anyaguk 63 mm átmérőjű, az alsó 2 méteren réselt és geotextiliával szűrőzött, tokos PVC-cső. A kontroll kutak a beavatkozásoktól távolabb, azok által nem befolyásolt területeken helyezkednek el.

A talajvízszint kézi mérését hetente végezték, mérőszalaggal (a mérési pontosság ~2 cm volt). A hiányzó adatok pótlása átlagolással történt (EÖTVÖS-HORVÁTH, 2018).

A beavatkozással érintett és kontroll kutak tér- és időbeli eltérésvizsgálata

A vízpótlást célzó beavatkozások (mederbordák, tavak) hatásainak vizsgálatára tér, valamint időbeli eltéréseket számítottunk.

Az első lépés a térbeli eltérés kiszámítása volt a mintavételi kutak és a (a fafajok szerint hozzájuk rendelt egyes) kontroll kutak talajvízszint idősorai közötti különbség meghatározásával (cm) (*1. egyenlet*).

$$\text{Térbeli különbség } (\Delta H) = \text{Mintavételi kutak} - \text{Kontroll kutak} \quad (1)$$

A második lépés, az időbeli differencia képzés volt, vagyis a beavatkozás előtti és utáni talajvízszint idősorok térbeli különbségeinek időbeli eltérését számítottuk. Az időbeli különbséget, amely a vízpótlási beavatkozások sikerességét demonstrálja a $\Delta H_{előtt}$ és $\Delta H_{után}$ (2. egyenlet) eltéréseként számoltuk ki. A módszer alapfelvetése, hogy a jelentősebb időbeli különbségekkel, nagyobb valószínűséggel lesz a vízpótlásra nézve szignifikáns pozitív hatás kimutatható.

$$\text{Időbeli különbség (Hatás)} = \Delta H_{után} - \Delta H_{előtt} \quad (2)$$

Ahol:

$\Delta H_{előtt}$: a beavatkozás előtti kontroll és a mintakút közötti különbség

$\Delta H_{után}$: pedig a beavatkozás utáni kontroll és a mintakút közötti időátlagolt talajvízszint különbség (külön-külön a térbeli különbséget jelentik).

A teljes hidrológiai évek összehasonlításán túlmenően elemeztük a beavatkozások hatását kifejezetten a vegetációs időszakban. A tenyészidőszakot vizsgálva a hatás a tározók esetében szemléletesebb. Ezt az is alátámasztja, hogy a tározókat a szokásos üzemrend szerint általában tavasszal töltik fel, ősszel pedig leürítik.

A hatások számszerű értékeléséhez t-próbákat használtunk, ahol a szignifikancia szintet $p = 0,05$ -ben határoztuk meg.

A talajvízkút párpainak beavatkozások előtti értékeit az y tengelyen 0 értékhez igazított mediánértékek segítségével normalizáltuk. A normalizálás oka, hogy a kezelt és a kontroll talajvízkutak párpaira vonatkozó, tér és időbeli eltéréseinek vizuális érthetőségét és értelmezhetőségét megkönnyítsük és kiküszöböljük az évjáráthatást.

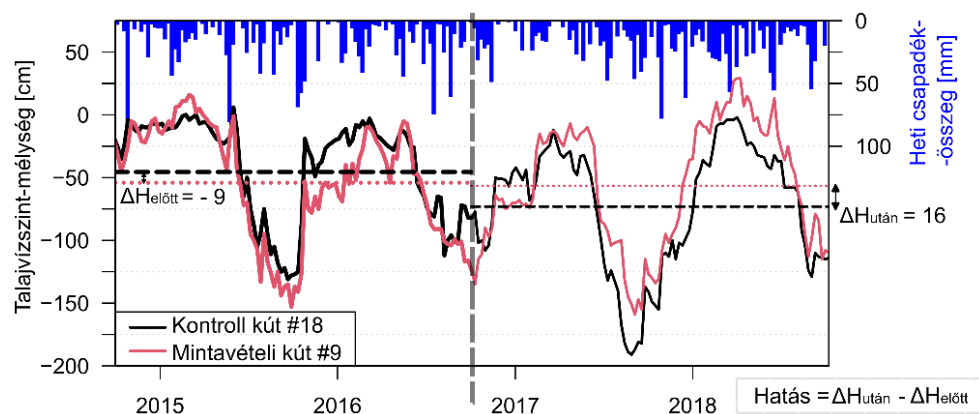
Eredmények és az eredmények megvitatása

A 3. ábra – a számítási módszer grafikus szemléltetéseként – egy reprezentatív kútpár (#18 (kontroll) és #9 (mintavevő kút)) talajvíz mélységének változását mutatja a vizsgálati időszak (4 hidrológiai év) alatt (a heti csapadékösszeggel).

A kontrollkút (#18) átlagos talajvízszintje a beavatkozás után csökkent (fekete szaggatott vonal), míg a mintakút (#9) átlagos talajvízszintje emelkedett (piros szaggatott vonal).

A mintakút talajvízszintje a vízpótlás után magasabban volt (vagyis emelkedett), mint a kontrollkút vízszintje.

Az egyes területeken jelentkező hatások szemléletesebb összehasonlíthatósága céljából bizonyos ábrakon (9., 10. ábra) nem az abszolút talajvízszint különbségeket, hanem annak beavatkozási időszakra normalizált értékeit használtuk.



3. ábra

A 9. számú minta talajvízkút és a hozzá tartozó 18. számú kontroll kút talajvízszint-változása, valamint a heti csapadékösszegek alakulása a vizsgálati időszakban. Ahol: $\Delta H_{előtt}$: a beavatkozás előtti kontroll és a mintakút közötti különbség, $\Delta H_{után}$: pedig a beavatkozás utáni kontroll és a mintakút közötti időátlagolt talajvízszint különbség (külön-külön a térbeli különbséget jelentik (1. egyenlet)).

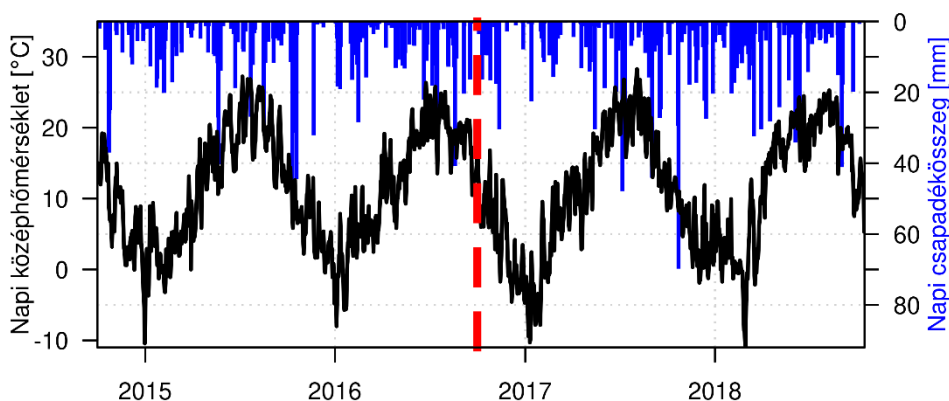
Meteorológiai adatok és talajvízszint dinamika

A négy hidrológiai év átlaghőmérséklete $11,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt. A hőmérsékleti minimumok decemberben, januárban és februárban $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt voltak. Ugyanezekben a hónapokban a legmagasabb hőmérséklet 4 és $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ között mozgott. A nyári hónapokban a legalacsonyabb hőmérséklet $14\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$, míg a legmagasabb $27\text{--}29\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt.

A napi hőmérsékletet és a havi csapadékösszegeket a 4. ábra szemlélteti a vizsgált évekre vonatkozóan. A négy hidrológiai év átlagos havi adatai azt mutatják, hogy általában a legcsapadékosabb hónapok október, május és szeptember (118, 94, 93 mm), a legszárazabbak pedig április, december és november (27, 44, 50 mm). Az átlagos éves csapadékmennyiség 852 mm volt, ebből 436 mm a vegetációs időszakra jutott.

A vizsgált hidrológiai években az esős napok átlagos száma havonta 7 és 14 nap között változott (4. ábra). A legkevesebb csapadékos nap augusztusban volt, a legtöbb februárban és májusban. Évente átlagosan 11 kiadós (20 mm -nél nagyobb) esőzés volt.

Az éves átlaghőmérséklet 2014-ben $11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2015-ben $11,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2016-ban $10,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, míg 2017-ben $11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, azaz a beavatkozások éve tért el jelentősen a többitől. ($\sim 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal volt hidegebb). A 2014-es hidrológiai évben 14 alkalommal, a 2015-ben 5, a 2016 során 12, 2017 folyamán pedig 2 alkalommal volt $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ feletti a napi átlaghőmérséklet. Összességében erős az ingadozás, de a beavatkozásokat megelőző két évben 25%-kal több volt az érintett nap, mint a későbbi években. A vizsgált években nem volt $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ feletti a napi átlaghőmérséklet.



4. ábra

A napi csapadékösszeg és a napi átlaghőmérséklet alakulása a vizsgált években (2014.10.01-től 2018.09.30-ig). A függőleges szaggatott vonal a beavatkozások kezdetét mutatja (a tavak vízszint-beállításának kezdete).

A 2014–2015-ös hidrológiai évben az éves csapadékmennyiség 807 mm volt, amelyből 442 mm esett a vegetációs időszakban (4. ábra). A következő évben valamivel több, közel 858 mm csapadék hullott, ebből 420 mm a vegetációs időszakban. A 2016–2017-es hidrológiai évben (a beavatkozások évében) jóval kevesebb csapadék, összesen 727 mm esett, ebből 461 mm a vegetációs időszakban, ami mindazonáltal a legnagyobb érték a négyéves periódus vegetációs időszakain belül. A legjelentősebb éves csapadékmennyiség 2017–2018-ban volt, 1028 mm, amelyből 428 mm esett a tenyészidőszakban. A beavatkozásokat megelőző években kiegyensúlyozottabb csapadékvizonyok voltak megfigyelhetők (2014/15: 67, 21 mm átlagos, és 63,05 mm medián értékkel, 163,3 mm-es májusi maximummal és 9,9 mm-es áprilisi minimummal, 2015/16: 71,51 mm átlagos, és 67,6 mm medián értékkel, 175,4 mm-es októberi maximummal és 3,8 mm-es decemberi minimummal). A második két év csapadékmennyisége jelentősen eltért (2016/17: 60,58 mm átlagos, és 60,4 mm medián értékkel, 150,8 mm-es szeptemberi maximummal és 9,7 mm-es decemberi minimummal, a 2017/18: 85,70 mm átlagos és 91,8 mm medián értékkel, 137,1 mm-es júniusi maximummal és 34,1 mm-es júliusi minimummal). Összességében a második két évben átlagosan 44 mm-rel (kb. +5%) több csapadék hullott, a vegetációs időszakban pedig 14 mm-rel (3%), de a beavatkozás évében 100 mm-rel kevesebb csapadék hullott, mint az előző évek átlagában, a negyedik évben pedig közel 200 mm-rel több csapadék hullott, mint a beavatkozást megelőző években.

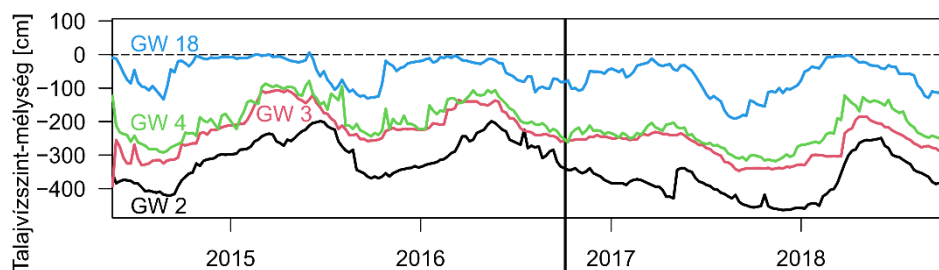
A 2014-es és 2015-ös hidrológiai évben a heves esőzések száma 11 (7 és 5 a vegetációs időszakban), a 2016-ban kezdődő hidrológiai évben 9 (7 a vegetációs időszakban), 2017-ben pedig 14 (6 a vegetációs időszakban). Ez esetben nem volt szignifikáns különbség a beavatkozás előtti és utáni időszakban.

Az elemzés szempontjából fontos annak vizsgálata is, hogy volt-e aszály által sújtott időszak. A szárazság a következőképpen definiált a 2017. évi XVI. törvény

(XVI. tv., 2017) 1§-ának (a) és (b) bekezdése szerint: "egy adott növény fejlődési időszakában harminc egymást követő napon belül: (a) a csapadék összmenyisége nem éri el a tíz millimétert, vagy b) a csapadék összmenyisége nem éri el a huszonöt millimétert, és a napi maximális hőmérséklet legalább 15 napon keresztül meghaladja a 31 °C-ot. Ez alapján 2015 áprilisában - a beavatkozás előtti időszakban (a), valamint 2018 augusztusában – a beavatkozás utáni időszak (a és b) – tekinthető aszályos időszaknak.

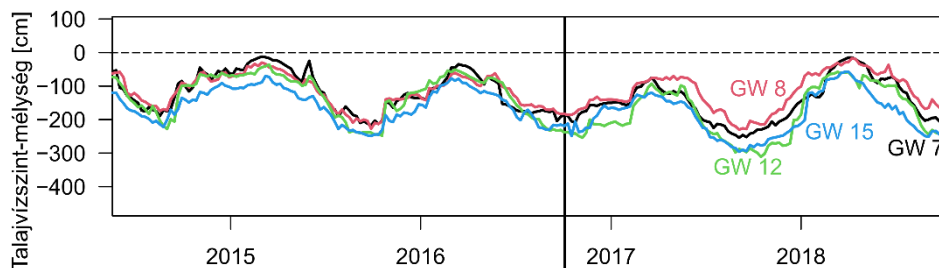
Szakirodalmi adatok alapján Somogy-szob területén a több, mint harmincéves adatsorok csökkenő talajvízszintet mutatnak (NÉMETH, 2014).

A vizsgálati időszakban az 5–8. ábra a talajvíz dinamikáját (szezónális trendeket) szemlélteti az egyes kutak esetében.



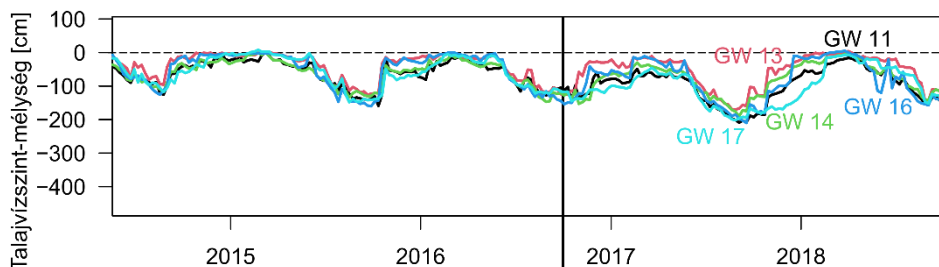
5. ábra

A kontroll kutak talajvíz dinamikája 2014.10.01-től, 2018.09.30-ig



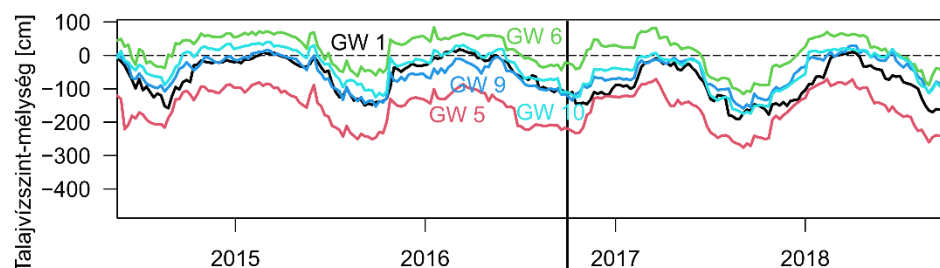
6. ábra

A kocsányos tölgy kutak talajvíz dinamikája 2014.10.01-től 2018.09.30-ig



7. ábra

Az éger kutak (#11–16) talajvíz dinamikája 2014.10.01-től 2018.09.30-ig

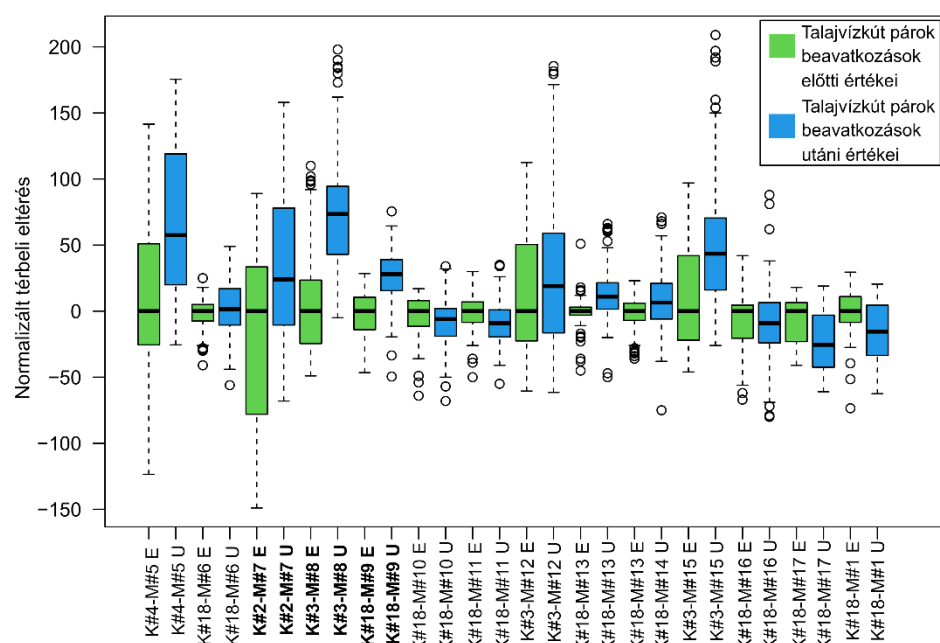


8. ábra

Az éger kutak (#1–10) talajvíz dinamikája 2014.10.01-től 2018.09.30-ig

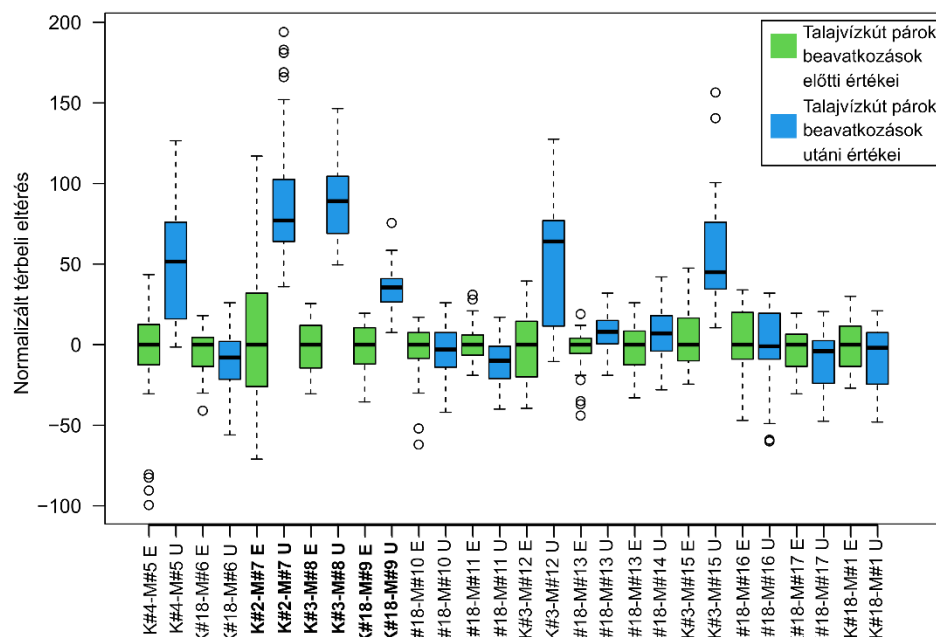
A kontroll kutak a minta kutak teljes talajvízmélység-tartományát lefedik (–500 cm-től 0 cm-ig). Az égeres talajvízszint ingadozása a vizsgálati időszakban 200 cm (~0 cm-től -200 cm-ig), míg a tölgyesek talajvízkútjai esetében az ingadozás 300 cm (~0 cm-től -300 cm-ig) volt.

A beavatkozással érintett („kezelt” vagy „minta”) és a kontroll kutak térbeli eltérései



9. ábra

A kezelt („minta”) és a kontroll talajvízkút-párok normalizált térbeli eltérései. K: „kontroll”, M: „minta”, E: „előtt”, U: „után”, vagyis „K#4-M#5 E” a 4. számú kontroll kút és hozzá tartozó 5. számú mintavételi kút normalizált térbeli eltéréseit mutatja a beavatkozás előtt. Az x tengely feliratait közül a vastaggal szedett a tározókat jelöli



10. ábra

A kezelt („minta”) és a kontroll talajvízkút-párjok normalizált térbeli eltérései a vegetációs időszakokban. K: „kontroll”, M: „minta”, E: „előtt”, U: „után”, vagyis „K#4-M#5 E” a 4. számú kontrollkút és hozzá tartozó 5. számú mintavételi kút normalizált térbeli eltéréseit mutatja a beavatkozás előtt. Az x tengely feliratait közül a vastaggal szedett a tározókat jelöli

A vízpótlás hatásainak részleteit vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a hetedik, nyolcadik, kilencedik és 15. kutak esetében sikerült jelentősebb talajvízszint emelkedést bizonyítani. A nyolcas és kilences kutak a duzzasztott tavak közvetlen közelében elhelyezkedő erdőállományokban találhatóak. A hetes kút esetében is az újabb tározók hatásai jelennek meg. A mederbordák közelében a 15. kútnál volt jelentősebb javulás, ennek oka a mederborda alatti hídnál jelentkező uszadéktorlasz okozta jelentősebb duzzasztás. Megjegyzendő továbbá, hogy a hetedik, nyolcadik, és 12. kút esetén a vegetációs időszakban jelentősebb pozitív hatás volt kimutatható.

Jelentősebb különbségek figyelhetők meg, ha a térbeli és időbeli eltéréseket a vegetációs időszakra számoljuk (10. ábra). A tavak esetében a vegetációs időszaki kedvezőbb vízállapotok az üzemrendből eredhetnek, ahol tavasszal duzzasztják, ősszel pedig lecsapolják azokat. A javulás a mederbordák esetében is jelentősebb a vegetációs időszakban, mivel a nyugalmi időszakban az árhullámok kevésbé gyakoriak ezeken a kisvízfolyásokon.

A 9. és 10. ábráról látható, hogy a tározóknál a vízpótlás hatására az adatok szóródása csökken. Ez a jelenség a nagyobb állóvíztestek környezetében tapasztalható kiegyenlítettebb talajvízviszonyokkal függhet össze. A pozitív hatással jellemezhető mederbordák esetében a szóródás növekedése a beavatkozás hatására

arra utalhat, hogy a mederbordák mögötti mikrotározóterek vízállása sokkal dinamikusabb reagál az árhullámokra.

18-as kontroll kúttal jellemzett területeken nem volt jelentős a beavatkozások hatása, mert ezesetben nagyon közel van a talajvíz a felszínhez. Ezek mélyfekvésben levő vízenyős, égerdomináns területek.

A 2. és 3. táblázat a teljes vizsgálati időszakra vonatkozóan (9. ábra) és tenyészedőszakra vonatkozóan (10. ábra) mért vízszintek alapstatisztikáit mutatja be, figyelembe véve a különbségekre készített t-próba p-értékeit és a próbához kiszámított kétoldali 95%-os konfidencia intervallumokat.

2. táblázat

A talajvízkút-párok alapstatisztikai adatai a teljes vizsgálati időszakra vonatkozóan

(5) talajvízszint							
(1) Kezelt	(2) Kontroll	(3) Fafaj	(4) Kezelés típusa	átlag, utána – átlag, előtte [cm]	(6) alsó konf. intervall.	(7) felső konf. intervall.	(8) p- érték
5	4	Éger	Mederborda	52,22	36,93	67,49	<0,001
6	18	Éger	Mederborda	4,15	–0,44	8,73	0,076
7	2	Tölgy	Tározó	55,27	39,31	71,23	<0,001
8	3	Tölgy	Tározó	69,23	57,2	81,26	<0,001
9	18	Éger	Tározó	28,10	22,87	33,34	<0,001
10	18	Éger	Mederborda	–4,68	–9,34	0	0,05
11	18	Éger	Mederborda	–7,00	–11,08	–2,92	0,001
12	3	Tölgy	Mederborda	19,11	4,07	34,16	0,013
13	18	Éger	Mederborda	14,05	9,41	18,69	<0,001
14	18	Éger	Mederborda	9,43	4,03	14,84	0,001
15	3	Tölgy	Mederborda	41,48	28,79	54,17	<0,001
16	18	Éger	Mederborda	–2,27	–8,88	4,34	0,499
17	18	Éger	Mederborda	–16,82	–21,92	–11,71	<0,001
1	18	Éger	Mederborda	–15,17	–20,56	–9,79	<0,001

Az ötödik oszlop a vízpótlást megcélzó beavatkozások (mederbordák, tározók) utáni és előtti időszakának talajvízszint különbségeit mutatja centiméterben kifejezve. A dőlt és vastag betűk jelölik azokat a kútpárokat, amelyek esetén sikerült kimutatni eredményes vízpótlást. Az "alsó konf. intervall." az alsó, míg "felső konf. intervall." az időbeli különbségek konfidencia-intervallumának felső határértékét jelenti.

A p-értékek kicsik ($p < 0,05$), ha a kezelt kutak értékei szignifikánsan eltérnek a kontrollkutak értékeitől, ami azt jelenti, hogy a vízpótlási beavatkozások jelentősnek bizonyultak ezekben az esetekben.

Meg kell jegyezni, hogy a p-értékek azonban félrevezetőek lehetnek, ha a "talajvízszint átlag, utána – átlag, előtte" értékek negatívak, mivel ez azt jelenti, hogy nincs kimutatható talajvízszint emelő hatás (inkább csökkenés), azaz ezen a talajvízkút-párok esetén a vízpótlás eredménytelen volt. Összefoglalva, ha 1) a p-értékek kicsik ($p < 0,05$), és 2) az „talajvízszint átlag előtte – utána” pozitív, akkor

kimutatható a vízpótlás hatása. Következésképpen, míg minden tározó pozitív hatást gyakorolt a talajvízszintre, addig a 11 mederbordából csak 4.

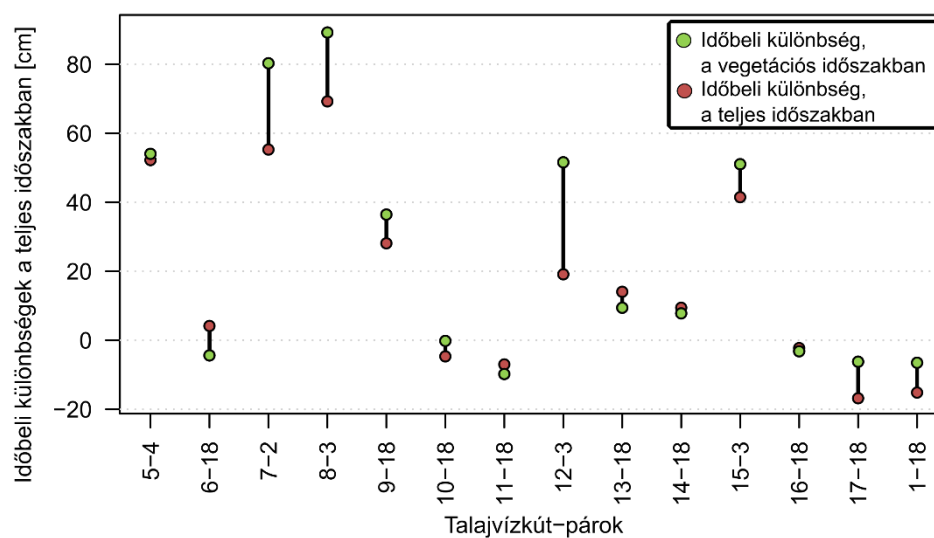
3. táblázat

A talajvízkút-párok alapstatisztikái a vizsgálati időszak vegetációs időszakaira vonatkozóan

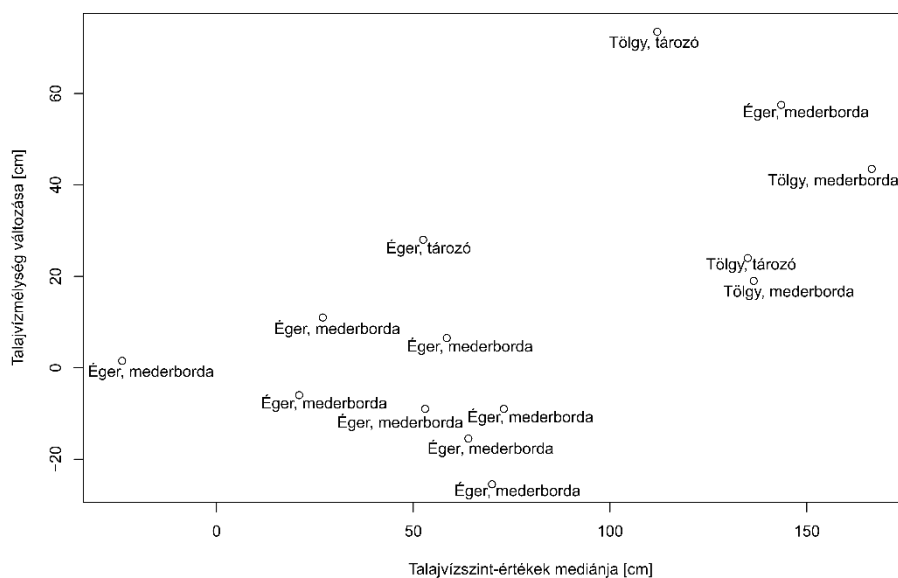
(1) Kezelt	(2) Kontroll	(3) Fafaj	(4) Kezelés típusa	(5) talajvíz- szint átlag, utána – átlag, előtte [cm]	(6) alsó konf. intervall.	(7) felső konf. inter- vall.	(8) P- érték
5	4	<i>Éger</i>	<i>Mederborda</i>	–21	41,41	66,67	<0,001
6	18	Éger	Mederborda	65,06	–10,51	1,74	0,159
7	2	<i>Tölgy</i>	<i>Tározó</i>	127,65	63,45	97,13	<0,001
8	3	<i>Tölgy</i>	<i>Tározó</i>	55,62	81,5	96,92	<0,001
9	18	<i>Éger</i>	<i>Tározó</i>	–10,42	31,24	41,64	<0,001
10	18	Éger	Mederborda	21,67	–6,35	5,97	0,951
11	18	Éger	Mederborda	–18,48	–14,79	–4,79	<0,001
12	3	<i>Tölgy</i>	<i>Mederborda</i>	37,4	40,18	62,98	<0,001
13	18	<i>Éger</i>	<i>Mederborda</i>	–0,69	4,93	13,91	<0,001
14	18	<i>Éger</i>	<i>Mederborda</i>	–20,37	1,71	13,87	0,013
15	3	<i>Tölgy</i>	<i>Mederborda</i>	14,83	41,69	60,39	<0,001
16	18	Éger	Mederborda	–18,13	–11,52	5,13	0,448
17	18	Éger	Mederborda	–11,31	–12,11	–0,35	0,038
1	18	Éger	Mederborda	–3,81	–13,35	0,31	0,061

Az ötödik oszlop a vízpótlást megcélzó beavatkozások (mederbordák, tározók) utáni és előtti időszakának talajvízszint-különbségeit mutatja centiméterben kifejezve. A dőlttel és vastagítással megjelölt kútpárok esetén sikerült kimutatni eredményes vízpótlást. Az "alsó konf. intervall." az alsó, míg "felső konf. intervall." az időbeli különbségek konfidencia-intervallumának felső határértékét jelenti.

A 11. ábra a teljes vizsgálati időszakok időbeli különbségének és a vegetációs időszakok időbeli különbségének differenciáját mutatja a talajvízkút-párok esetében. Ha a zöld-narancs pontpárok közül a zöld pontok vesznek fel nagyobb értéket, mint a hozzátartozó narancssárga pontok, azaz a különbség nagyobb a vegetációs időszak esetében, mint a teljes vizsgálati időszakban, akkor a vízpótlás ott volt hatékonyabb. Ez az információ azért lényeges, mert az erdők elsősorban a vegetációs időszakban igénylik a kedvezőbb hidrológiai viszonyokat.



11. ábra
A teljes vizsgálati időszakok időbeli és a vegetációs időszakok időbeli eltérésének
különbsége



12. ábra
A talajvízszint-értékek mediánja és a talajvízmélység változása, a fafajok és a beavatkozási típusok figyelembevételével. Az y tengely a talajvízkút-párok értékkülönbségeit jelöli a beavatkozások után és előtt (azaz az időbeli különbségeket) (válaszérték), míg az x tengely (magyarázó érték) a talajvízkút-párok értékeinek mediánját jelenti a beavatkozás után (azaz a térbeli különbségeket)

Ha a két növénytársulást (éger és kocsányos tölgy) nem külön-külön vizsgáljuk (12. ábra), akkor a beavatkozások hatása a mélyebb talajvízszintekkel egyre jelentősebbnek tűnik.

Konklúzió

Jelen kutatás célja a Kaszó LIFE projekt vízpótlást megcélzó beavatkozásai után, azok felszín alatti vízszintre gyakorolt hidrológiai hatásainak elemzése volt.

A Szentai-erdőben megjelenő 30 éves szárazodási tendencia elsődleges mutatója a talajvízszint csökkenése. Kiemelendők a 2016–2017-es vizsgálati időszak évei, amikor az alapvetően lefolyástalan vizsgálati területen nem volt elegendő csapadék a talajvíz szintjének fenntartásához. EÖTVÖS-HORVÁTH (2018) kutatásai szerint az általuk létesített víztározók és mederbordák pozitív hatással vannak a talajvízszint alakulására, így elősegítik az élőhelyek megőrzését. Erre alapozva javasolják a vizes élőhelyek megőrzésére a jövőben hasonló megoldások alkalmazását.

Jelen kutatási eredményeink azonban rámutatnak, hogy a vízpótlást célzó beavatkozások (mederbordák és tározótavak) összességében a talajvízszint emelkedését biztosítják. A két beavatkozási típus, talajvízszint emelkedésére gyakorolt hatás fő konklúziója, hogy míg a tavak építése és a meglévők rehabilitációja jelentősen befolyásolja a környező kutak vízszintjét, addig a mederbordák esetében kisebb mértékű a hatás.

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció a 143972SNN azonosítószámú OTKA pályázat és a TKP2021-NKTA-43 számú projekt támogatásával valósult meg. „A TKP2021-NKTA-43 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.”

Irodalom

- ABER, J., NEILSON, R., MCNULTY, S., LENIHAN, J., BACHELET, D. & DRAPEK, R., 2009. Forest processes and global environmental change: predicting the effects of individual and multiple stressors. *BioScience*. **51**. 735–751.
- AMBRUS, A., BOLLA, B., CSÓKA, G., DELI, T., FRANK, T., GRIBOVSZKI, Z., HALMAI, L., HEIL, B., HORVÁTH, L., KALICZ, P., KOVÁCS R., KUCSARA, M., LUKÁCS, B. A., MAGAS, G., PAPP, B., PUSKÁS., L., SÁFRÁNY, L., SZABÓ, A., SZITA, R. & ZAGYVAINÉ K. K. A., 2023. Erdő és víz – Erdészeti vízgazdálkodás, In: GRIBOVSZKI, Z. & KUCSARA, M. (szerk.), OEE Szaktudás füzetek, Országos Erdészeti Egyesület, Budapest. pp. 52.
- BARTHOLY, J., 2006. A globális éghajlatváltozás valószínűsíthető klimatikus következményei Magyarországon. ‘Agro-21’ füzetek. **48**. 12–18.

- BARTHOLY, J., PONGRÁCZ, R. & PIECZKA, I., 2014. How the climate will change in this century? Hungarian Geographical Bulletin. **63**. 55–67.
- CUI, Y., CHEN, X., GAO, J., YAN, B., TANG, G. & HONG, Y., 2018. Global water cycle and remote sensing big data: overview, challenge, and opportunities. Big Earth Data. **2**. (3) 282–297.
- DÖVÉNYI, Z. (szerk.), 2010. Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. pp. 345–353.
- EÖTVÖS, C. B. & HORVÁTH, L., 2018. A Szentai erdő talajvízszint változásai a Kaszó-life projekt hatására. Erdészettudományi Közlemények. **8**. (2) 17–23.
- FÜHRER E., MAROSI G., JAGODICS A. & JUHÁSZ I., 2011. A klímaváltozás egy lehetséges hatása az erdőgazdálkodásban. Erdészettudományi Közlemények. **1**. (1) 17–28.
- GÁLOS, B., LORENZ, P.H. & JACOB, D., 2007. Will dry events occur more often in Hungary in the future? Environmental Research Letters. **2**. 034006.
- GÁLOS, B., ANTAL, V., CZIMBER, K. & MÁTYÁS, C., 2014. Forest ecosystems, sewage works and droughts – possibilities for climate change adaptation. In: SANTAMARTA, J., HERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, L.E. & ARRAIZA, M. (eds.), Natural Hazards & Climate Change. Colegio de Ingenieros de Montes, Madrid. pp. 91–104.
- GÁLOS, B., FÜHRER, E., CZIMBER, K., GULYÁS, K., BIDLÓ, A., HÄNSLER, A., JACOB, D. & MÁTYÁS, C., 2015. Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County. Időjárás: Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service. **119**. (4) 425–441.
- GRIBOVSZKI, Z., KALICZ, P., BALOG, K., SZABÓ, A., TÓTH, T., METWALY, M. & SZALAI, S., 2017. Groundwater uptake of different surface cover and its consequences in great Hungarian plain. Ecological Processes. **6**. 39–47.
- HLÁSNY, T., MÁTYÁS, C., SEIDL, R., KULLA, L., MERGANIČOVÁ, K., TROMBIK, J., DOBOR, L., BARCZA, Z. & KONÔPKA, B., 2014. Climate change increases the drought risk in Central European forests: what are the options for adaptation? Central European Forestry Journal. **60**. 5–18.
- ILONA, J., BARTÓK, B., DUMITRESCU, A., CHEVAL, S., GANDHI, A., TORDAI, Á.V. & WEIDINGER, T., 2022. Using Long-Term Historical Meteorological Data for Climate Change Analysis in the Carpathian Region. Atmosphere. **13**.(11) 1751.
- KJELLSTRÖM, E., NIKULIN, G., HANSSON, U., STRANDBERG, G. & ULLERSTIG, A., 2011. 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. Tellus A. **63**. 24–40.
- LAKATOS, M., SZÉPSZÓ, G., BIHARI, Z., KRÜZSELYI, I., SZABÓ, P., BARTHOLY, J., PONGRÁCZ, R., PIECZKA, I. & TORMA, C. (szerk.), 2012. HREX jelentés: Éghajlati szélsőségek változásai Magyarországon: Közelmúlt és jövő. ELTE, Budapest.
- LAKATOS M., BIHARI, Z., IZSÁK, B., MARTON, A. & SZENTES, O., 2021. Megfigyelt éghajlat változások Magyarországon. Légekör. **66**. (3) 5–11.
- MAS-PLA, J. & MENCIO, A., 2019. Groundwater nitrate pollution and climate change: learnings from a water balance-based analysis of several aquifers in a western Mediterranean region (Catalonia). Environmental Science and Pollution Research. **26**. 2184–2202.
- MÁTYÁS, C., BERKI, I., BIDLÓ, A., CSÓKA, G., CZIMBER, K., FÜHRER, E., GÁLOS, B., GRIBOVSZKI, Z., ILLÉS, G., HIRKA, A. & SOMOGYI, Z., 2018. Sustainability of forest cover under climate change on the temperate-continental xeric limits. Forests. **9**. 489.

- MCDOWELL, N., ALLEN, C. D., ANDERSON-TEIXEIRA, K., BRANDO, P., BRIENEN, R., CHAMBERS, J., CHRISTOFFERSEN, B., DAVIES, S., DOUGHTY, C., DUQUE, A., ESPIRITO-SANTO, F., FISHER, R., FONTES, C. G., GALBRAITH, D., GOODSMAN, D., GROSSIORD, C., HARTMANN, H., HOLM, J., JOHNSON, D. J., KASSIM, A. R., KELLER, M., KOVEN, C., KUEPPERS, L., KUMAGAI, T., MALHI, Y., MCMAHON, S. M., MENCUCCINI, M., MEIR, P., MOORCROFT, P., MULLER-LANDAU, H. C., PHILLIPS, O. L., POWELL, T., SIERRA, C. A., SPERRY, J., WARREN, J., XU, C. & XU, X., 2018. Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical forests. *New Phytologist*. **219**. 851–869.
- NÉMETH, G., 2014. Vízvisszatartó mederbordák és tiltós áteresztő építése a Kaszói Erdőgazdaság területén. Kiviteli dokumentáció, Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság. 22.
- NOVÁKY, B. & BÁLINT, G., 2013. Shifts and modification of the hydrological regime under climate change in Hungary. In: BHARAT, R. S. (ed.), "Climate Change - Realities, Impacts Over Ice Cap, Sea Level and Risks". IntechOpen, London, UK. pp. 163–190.
- OLAJOS, P., MOLNÁR, A., LESKU, B. C. & DEÁK B., 2009. A Közép-Beregi sík komplex élőhely-rehabilitációja. LIFE program eredményei (2005–2008). In: KÖRMÖCZI, L. (szerk.), 8. Magyar Ökológus Konferencia, Szeged. pp. 167.
- PONGRÁCZ, R., BARTHOLY, J., GELYBÓ, G. & SZABÓ, P. 2009. Detected and expected trends of extreme climate indices for the Carpathian Basin. STŘELCOVÁ, K., et al. (eds.), *Bioclimatology and Natural Hazards*. Springer, Dordrecht. pp. 15–28.
- PÖRTNER, H.-O., ROBERTS, D.C., TIGNOR, M. POLOCZANSKA, E.S., MINTENBECK, K. ALEGRIA, A., CRAIG, M., LANGSDORF, S., LÖSCHKE, S., MÖLLER, S., OKEM, A. & RAMA B. (eds.), 2022. *Climate Change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. pp. 8–19.
- PUSKÁS, L., 1999. Ökológiai vízpótlás a Körös-völgy erdeiben. In GÁCSI Z. (szerk.), ERDŐ-VÍZ - Szemelvények az erdészeti és gyakorlati munkákból. Magyar Hivatalos Közlönykiadó, Lajosmizse. pp. 50–63.
- PUSKÁS, L., 2006. Ökológiai vízpótlás a mályvádi tározóban. In: SZULCSÁN, G. (szerk.), AEE kutató nap kiadványa. Kecskemét, 2007. november 30. pp. 39–47.
- SHUKLA, P. R., SKEA, J., CALVO BUENDIA, E., MASSON-DELMOTTE, V., PÖRTNER, H.-O., ROBERTS, D. C., ZHAI, P., SLADE, R., CONNORS, S., VAN DIEMEN, R., FERRAT, M., HAUGHEY, E., LUZ, S., NEOGI, S., PATHAK, M., PETZOLD, J., PORTUGAL PEREIRA, J., VYAS, P., HUNTLEY, E., KISSICK, K., BELKACEMI, M. & MALLEY, J. (eds.), 2019. *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. pp. 131–249.
- SPINONI, J., ANTOFIE, T., BARBOSA, P., BIHARI, Z., LAKATOS, M., SZALAI, S., SZENTIMREY, T. & VOGT, J., 2013. An overview of drought events in the Carpathian Region in 1961–2010. *Advances in Science and Research*. **10**. 21–32.
- SUN, G.K., ALSTAD, J., CHEN, S., CHEN, C.R., FORD, G., LIN, C., LIU, N., LU, S.G., McNULTY H, MIAO, A., NOORMETS, J.M., VOSE, B., WILSKE, M., ZEPPEL, Y. & ZHANG, Z., 2011. A general projective model for estimating monthly ecosystem evapotranspiration. *Ecohydrology*. **4**. (2). 245–255.

- STOJANOVIĆ, D.B., LEVANIČ, T. & MATOVIĆ, B., 2015. Growth decrease and mortality of oak floodplain forests as a response to change of water regime and climate. *European Journal of Forest Research*. **134**. 555–567.
- SZENTES, O., 2023. Szárazság Magyarországon 2022-ben és a múltban. *Légekör*. **68**. (1) pp. 20–28.
- TRAN, H. Q., FEHÉR, Z., TURI, 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*. **26**. (3) 184–199.
- VAUTARD, R., GOBIET, A., JACOB, D., BELDA, M., COLETTE, A., DÉQUÉ, M., FERNÁNDEZ, J., GARCÍA-DÍEZ, M., GOERGEN, K., GÜTTLER, I., HALENKA, T., KARACOSTAS, T., KATRAGKOU, E., KEULER, K., KOTLARSKI, S., MAYER, S., VAN MEIJGAARD, E., NIKULIN, G., PATARČIĆ, M., SCINOCCA, J., SOBOLOWSKI, S., SUKLITSCH, M., TEICHMANN, C., WARRACH-SAGI, K., WULFMEYER, V. & YIOU, P., 2013. The simulation of European heat waves from an ensemble of regional climate models within the EURO-CORDEX project. *Climate Dynamics*. **41**. 2555–2575.
- XVI. TV., 2017. évi XVI. törvény a mezőgazdasági termelést érintő időjárás és más természeti kockázatok kezeléséről szóló 2011. évi CLXVIII. törvény módosításáról, 1§ <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A1700016.TV×hift=ffffff4&txtreferer=00000001.TXT> (Letöltés dátuma: 2023.09.01.)

Evaluation of the water supply's impact on groundwater levels, with an example from South-West Hungary

^{1,*} András HERCEG, ¹Péter KALICZ, ¹Katalin Anita ZAGYVAI-KISS, ²Ján SZOLGAY, ³László HORVÁTH, ¹Bence GALLAI, ¹Zoltán GRIBOVSKI

¹Institute of Geomatics and Civil Engineering, Faculty of Forestry, University of Sopron, Sopron, Hungary; ²Department of Land and Water Resources, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia; ³Kaszó Zrt., Kaszó, Hungary

Summary

The ongoing climate change that is currently affecting Europe is characterized by a statistically significant warming trend. The impact of climate change on the hydrological circle is manifesting through the changes in precipitation patterns and evapotranspiration. Expected changes in the distribution and amount of precipitation, together with steadily rising temperatures, could lead to increased water use by plants, which could induce changes in soil moisture, groundwater and consequently the water cycle. Increased transpiration demand in the future as a result of rising temperatures is likely to result in increased soil water uptake by plant communities, which could lead to further declines in soil water levels. If this occurs, the regeneration of soil water-dependent forest communities in these areas will become questionable, as the root systems of young trees will not be able to reach the water source. Consequently, the survival of high water-demanding forests in the lowlands and wetlands of the Carpathian Basin may be in question. The role of groundwater in

the growing season is of particular importance for the forest vegetation, which is why changes in groundwater levels have been regularly monitored for a long time.

A specific solution could be the replenishment of water from the backwash of tidal surges. An example of positive water recharge interventions is the Kaszó LIFE project. The aim of the project was the rehabilitation of degraded habitats, which will allow long-term conservation. The implementation was carried out through lake rehabilitation and the establishment of log weirs, in order to improve the water supply to forests, small bogs and grasslands in the Szentai Forest (West Upper Somogy sub-region) by stabilizing the favorable ecological status.

The aim of the present study was to analyze the hydrological effects on the groundwater table after the water recharge interventions of the Kaszó LIFE project.

According to the meteorological data and the monitoring, the Szentai forest has experienced a 30-year drying trend, the primary indicator of which is the decline in the groundwater table. Of particular note are the years of the 2016–2017 study period, when there was insufficient precipitation to maintain groundwater levels in the essentially undrained study area. However, our research results showed that, overall, water recharge interventions (log weirs and reservoir lakes) are ensuring an increase in groundwater levels.

By examining the impact of the two types of intervention on groundwater level rise, we concluded that while the construction and rehabilitation of lakes has a significant effect on the water level of surrounding wells, but lesser positive impact for the log weirs.

Keywords: climate change, groundwater, log weir, lake rehabilitation, water supply

Tables and figures

Table 1. Basic data for the sub-compartments where the groundwater wells are located. (1) Sub-compartment (2) Coordinates (google) (3) Area type (4) Dominant species (5) Age (year) (6) Number (7) Mean GW depth (cm) (8) Intervention. (9) Forest hydrological categories, a-r: name of sub-compartments

Table 2. Basic statistics for groundwater well pairs for the whole study period. (1) Treatment (2) Control (3) Tree species (4) Intervention type (5) groundwater level average, after - average, before (6) conf.int.lwr (7) conf.int.upr (8) P-value

Table 3. Basic statistics of groundwater well pairs for the growing seasons of the study period. (1) Treatment (2) Control (3) Tree species (4) Intervention type (5) groundwater level average, after - average, before (6) conf.int.lwr (7) conf.int.upr (8) P-value

Figure 1. Delimitation of the study area.

Figure 2. Location of groundwater wells in the study area.

Figure 3. Changes in groundwater level and weekly rainfall sum over the study period for sample groundwater well No 9 and its associated control well No 18. Where ΔH_{before} : the difference between control and sample well before the intervention, and ΔH_{after} : the difference in time-averaged groundwater level between control and sample well after the intervention (they separately representing the spatial difference (eq. 1)).

Figure 4. Evolution of daily precipitation sum and daily mean temperature during the study period (01 October 2014 – 30 September 2018). The vertical dashed line shows the start of the interventions (lake water level adjustment).

Figure 5. Groundwater dynamics of the control wells from 01.10.2014 to 30.09.2018.

Figure 6. Groundwater dynamics of the common oak wells from 01.10.2014 to 30.09.2018.

Figure 7. Groundwater dynamics of alder wells (#1–10) from 01.10.2014 to 30.09.2018.

Figure 8. Groundwater dynamics of the alder wells (#11–16) from 01.10.2014 to 30.09.2018.

Figure 9. Normalized space deviation of treated and control groundwater well pairs. K: „control”, M: „sample”, E: „before”, U: „after”, thus „K#4-M#5 E” means the 4th control well and the coupled sample well, number 5, before the treatments.

Figure 10. Normalized spatial deviations of treated and control groundwater well pairs over the growing seasons. K: „control”, M: „sample”, E: „before”, U: „after”, thus „K#4-M#5 E” means the 4th control well and the coupled sample well, number 5, before the treatments. Well’s pairs with bold characters mean the reservoirs.

Figure 11. Difference in the temporal variation of the total study periods and the growing seasons.

Figure 12. Median groundwater levels and changes in groundwater depth, taking into account tree species and intervention types. The y-axis represents the differences in groundwater well pairs after and before the interventions (i.e. the temporal differences) (response value), while the x-axis (explanatory value) represents the median of the groundwater well pairs after the intervention (i.e. the spatial differences).

Open Access nyilatkozat: A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID_1)
