

Az erdőállományok talajvíz utánpótlódásra gyakorolt hatásának vizsgálata kecskemét-ménteleki mintaterületen

¹*SZABÓ András, ²GRIBOVSKZI Zoltán, ²KALICZ Péter, ³JÁN SZOLGAY, ⁴GÁCSI Zsolt,
¹BOLLA Bence

¹Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Sárvár, Magyarország
²Soproni Egyetem, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet, Sopron, Magyarország
³Táj- és Vízgazdálkodási Tanszék, Építőmérnöki Kar, Szlovák Műszaki Egyetem,
Pozsony, Szlovákia
⁴Kiskunsági Erdő-Gazda Kft., Nyárlőrinc, Magyarország

(Beérkezett: 2024.03.26.; Elfogadva: 2024.07.05.)

Eredeti közlemény
© Szerző(k) 2024



Összefoglalás

Az Alföldet, azon belül is különösen a Homokhátságot érintő talajvízszint süllyedés, súlyos ökológiai és gazdasági következményekkel is járó problémakör. A jelenség hátterében álló lehetséges okokkal kapcsolatban több évtizede zajlik kutatómunka, ugyanakkor ezek relatív súlyának meghatározása a mai napig tudományos vita tárgyát képezi.

Több szerző is kiemeli az erdőtelepítések talajvízszint csökkentő hatásának fontosságát. Ez a hatás két módon, a vegetáció vízfelvétele, illetve a csapadékból történő utánpótlódás csökkentése (intercepció, talajnedvesség felvétel) által jelentkezhet. Ezen mechanizmusok működését vizsgáltuk meg egy akác (*Robinia pseudoacacia*) és egy fekete fenyő (*Pinus nigra*) állomány esetében a Homokhátságon, Kecskemét-Ménteleken kialakított mintaterületünkön, 90, 150 és 200 cm-es mélységben, nagy időbeli felbontással mért talajnedvesség, illetve talajvíz adatokra alapozva.

Az adatok alapján feltételezhető, hogy a talajvízből nem történik közvetlen, vagy közvetett vízfelvétel, aminek oka vélhetően a gyökérszóna és a talajvíz közti igen jelentős horizontális távolság. A talajnedvesség esetében a sekélyebb rétegekben egyértelműen jelentkezik az erdőállományok szezonális szárító hatása. Ugyanakkor a mélyebb rétegek talajnedvesség adatai alapján kijelenthető, hogy a csapadékból történő talajvíz visszatöltődésre leginkább az akác állomány alatt van elméleti lehetőség. A látszólagos ellentmondás feltételezhetően a gyökérszét által kialakított makropórusok hatásával magyarázható. Ezt támasztja alá az akác és fekete fenyő állományok közti igen jelentős eltérés is.

Következtetésünk, hogy az erdőállományok lokálisan jelentősen eltérő hatást gyakorolhatnak a talajvízszintre. Ezért a lezajló folyamatok hátterét, általános jellegű

*Levelező szerző: SZABÓ ANDRÁS, Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológiai és Erdőművelési Osztály, 1027 Budapest, Frankel Leó út 1.
E-mail: szabo.andras@uni-sopron.hu

megállapítások helyett, az adott hidrológiai rendszer több elemét vizsgáló monitoring adataira alapozva lehetséges csak felderíteni.

Kulcsszavak: talajvíz utánpótlódás, talajnedvesség monitorozás, erdő hidrológia, akác, fekete fenyő

Bevezetés

A talajvízsüllyedés a világ számos térségében megfigyelhető folyamat (AESCHBACH-HERTIG & GLEESON, 2012; ENGEL et al., 2005; FAMIGLIETTI et al., 2011; RODELL et al., 2009), mely jelentős negatív ökológiai és gazdasági következményekkel járhat, mint például a vízminőség romlása, a felső talajrétegek kiszáradása, vagy a talajvíz igényes ökoszisztémák visszaszorulása (ENCARNA & ALBIAC, 2011; JOKANOVIĆ et al., 2024; KONIKOW & KENDY, 2005; PEREZ-QUESADA et al., 2024)

A Homokhátságon az 1970-es évek közepétől figyelhető meg regionális szintű talajvízsüllyedés. A folyamat mögött álló feltételezett tényezők többek közt a klímaváltozás (RAKONCZAI, 2011; RAKONCZAI & BÓDIS, 2002; VÖLGYESI, 2006), a folyószabályozás, a talajvíz ipari, mezőgazdasági és háztartási célú kitermelése (BERÉNYI & ERDÉLYI, 1990; CSATÁRI & CSORDÁS, 1994; SZILÁGYI & VÖRÖSMARTY, 1993), és a földhasználati változások, ideértve az erdősítés hatásait is. Ez utóbbit több szerző elsődleges okként említi (MAJOR, 2002; 1993; SZILÁGYI et al., 2012; TÖLGYESI et al., 2020).

Bár a kutatók világszerte, így Magyarországon is széles körben vizsgálták a témát, a síkvidéki erdők hatása a talajvíz háztartásra és a hidrológiai rendszer egészére továbbra is tisztázatlan (BOSCH & HEWLETT, 1982; FARLEY WOLF et al., 2005; GÁCSI, 2000; IJJÁSZ, 1939; JÁRÓ, 1992; JOBBÁGY & JACKSON, 2004; MAJOR, 2002; 1993; NOSETTO et al., 2007; PÁLFAI, 2010; SZODFRIDT, 1990; TÖLGYESI et al., 2020; WILSKE et al., 2009; WU et al., 2020; Gácsi, 2000). Ennek oka elsősorban a lokális hidrológiai rendszerek összetettsége, illetve az átfogó, hosszútávú, ugyanakkor megfelelő tér-, és időbeli reprezentativitással is rendelkező adatgyűjtések hiánya (SZABÓ et al., 2022). A kérdéskör vizsgálatát tovább nehezíti, hogy a szóban forgó hidrológiai rendszereket a klímaváltozás és egyéb antropogén hatások is jelentősen befolyásolják (ALLEN et al., 2010; CUI et al., 2020; GÁSPÁR & ŠKRINÁR, 2023; GREEN et al., 2011; KESZELIOVÁ et al., 2022; KOVÁCS & JAKAB, 2021; SCIBEK & ALLEN, 2006). A témakörrel kapcsolatban becslések állnak rendelkezésünkre, melyek 10–15% közé teszik a különböző tényezők közt az erdők szerepét a folyamatokban (PÁLFAI, 1994; 1990; SZILÁGYI & VÖRÖSMARTY, 1993; VÖLGYESI, 2006).

Az erdők potenciálisan két mechanizmus révén süllyeszthetik a talajvíz szintjét: a talajvízből történő közvetlen vagy közvetett (kapilláris zónán keresztüli) vízfelvétellel (MAJOR & NEPPEL, 1988), vagy az intercepció, valamint a talajnedvesség felvétel (transzspiráció) által, csökkentve a mélybe szivárgó csapadék mennyiségét (TÖLGYESI et al., 2020).

A Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézete által létrehozott monitoring rendszer a hidrológiai ciklus több paraméteréről gyűjt párhuzamosan adatokat, nagy időbeli felbontással 2018 óta a térség erdeiben (BOLLA & SZABÓ, 2020).

Jelen kutatásunk célja, hogy ezen monitoring rendszer adataira alapozva, annak kecskemét-ménfői mintaterületén megvizsgáljuk az erdőállományok talajvízforgalomra gyakorolt hatását.

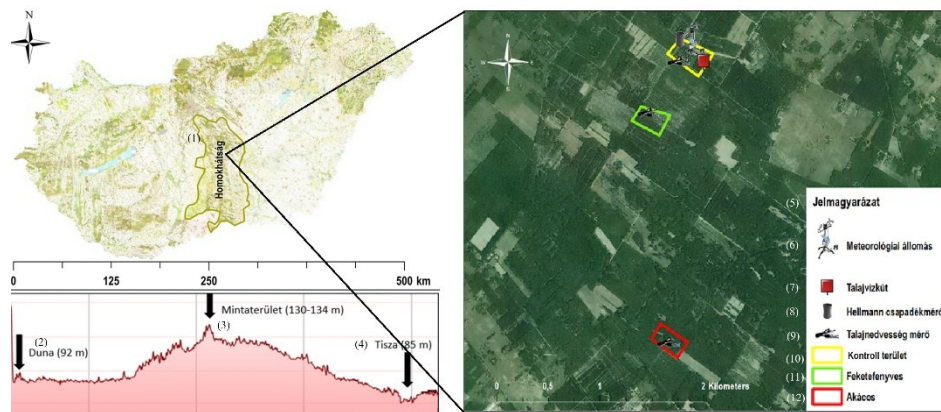
Anyag és módszer

A Homokhátság a Duna-Tisza közének egy körülbelül 10.000 négyzetkilométeren elterülő – hazánk természeti tájainak rendszerébe nem illeszthető – része. A Duna medre a holocén idején megelőző iránytól dél felé tért el, aminek következtében a fő folyóág elérte jelenlegi helyzetét (SOMOGYI et al., 2019). E folyamat során a folyó hordalékaival építette fel a Homokhátságot.

A terület átlagos tengerszint feletti magassága 85–134 méter közt változik. Az eredeti talajfelszínre a szél által kialakított, viszonylag alacsony homokdombok voltak jellemzőek, melyeket az 1950-es évek talajjavítási munkái során jelentős részben elsimítottak. A térségben nem található jelentős természetes vízfolyás. A kialakított meliorációs csatornahálózat elsősorban időszakos vízfolyások létrejöttét eredményezte.

A tájra jellemző a mozaik-szerű, mezőgazdasági-, lakóterületekből és különböző összetételű, korú és méretű erdőkből álló földhasználati mintázat.

Az éves átlagos csapadék mennyisége a területen 500–550 mm év⁻¹, az évi lefolyás becsült értéke 16 mm (SZINETÁR et al., 2018), és az éves átlagos hőmérséklet 10–11°C, a havi minimum –1,5°C januárban és a maximum 21°C júliusban. Az extrém időjárási események, különösen hosszú aszályok és erős esőzések egyre gyakoribbak. Ariditási indexe jellemzően: 0,5–0,65 (UNEP, 1992).



1. ábra

A mintaterület és monitoring pontok elhelyezkedése

A Homokhátság Duna és a Tisza folyók közötti domborzati keresztmetszete az *1. ábrán* látható. Az adatokat a legmagasabb pont közelében, Kecskemét-Méntelek területén található Nagynyíri erdőben gyűjtöttük (*1. ábra*). A mintaterület két erdei és egy kontrol mintapontból áll. A két erdei mintapont a fák faj-, és korösszetételére, illetve telepítési technológiájukat tekintve is eltérő: Az akác (*Robinia Pseudoacacia*) állomány 41 éves, míg a fekete fenyő (*Pinus nigra*) egy 83 éves, első generációs erdő. Kontrollterületként egy lágyszárú növényzettel borított nyílt terület szolgált. A feltalaj textúrája a vizsgált mintapontok mindegyikén a területre jellemző alacsony vagy közepes humusztartalmú homok.

Regionális adatok

A regionális elemzésekhez használt hosszútávú hőmérséklet-, és csapadékátlagokat nyolc, a Homokhátságon elhelyezkedő OMSZ állomás, míg a talajvíz szintjét az azonos községhatárokból elhelyezkedő Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (ATIVIZIG) és Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (ADUVIZIG) kezelésében álló talajvíz monitoring kutak szolgáltatták. Az erdőborítottsági adatokhoz GÖBÖLÖS (2002) és MAJOR & NEPPEL (1988) közlését, továbbá a Nemzeti Földügyi Központ adatszolgáltatását használtuk fel. Az így kapott idősoros adatokból öt éves átlagokat számítottunk, majd ezek változásának kapcsolatát vizsgáltuk lineáris regresszióval.

Talajvízszint adatok

Az automatizált talajvízszint monitoring 2021. májusa óta zajlik 15 perces mérési gyakorisággal egy DA-LUB 222 típusú műszer segítségével (Dataqua Kft., <https://www.dataqua.hu/>) a talajnedvesség-mérések kontrol pontjának közelében.

Talajnedvesség adatok

Az automatizált talajnedvesség-méréseket 2021. májusától TDR szenzorral (TSM-06 típus, Boreas Kft., <http://www.boreas.hu/>) végeztük 10, 25, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 175, 200 cm mélységben. Mivel jelen esetben az erdőállományok talajvízre gyakorolt hatására fókuszáltunk, tanulmányunkban a gyökérszónát reprezentáló 90 illetve a talajvízhez közelebbi, 150 és 200 cm-es mélységben mért adatok kerülnek bemutatásra.

Háttér adatok és statisztikai módszer

A csapadék adatokat a Soproni Egyetem Erdészeti Kutató Intézete által üzemeltetett Erdővédelmi Mérő és Megfigyelő Rendszer keretében működő meteorológiai állomás szolgáltattatta. Ez az állomás a kontrol pont közvetlen közelében található. Emellett a két erdei ponton kézi Hellmann típusú esőmérőkkel végeztünk kiegészítő csapadékmennyiség-méréseket heti időközönként.

Adataink értékelését az MS Excel, R programok segítségével, a leíró statisztikák idősoros megjelenítésének módszerével elemeztük.

A különböző mintapontok koordinátáit és fő paramétereit az *1. táblázat* mutatja be. A mért adatok részben elérhetőek online a http://met.boreas2.hu/erti_test/ és <http://met.boreas2.hu/ertitalaj/> weboldalakon.

1. táblázat
A monitoring pontok főbb jellemzői

Az adatgyűjtés típusa (1)	Monitoring pont típusa (2)	Koordináták (3)		A megfigyelt időszak hossza (6)	Mérési gyakoriság (7)
		Szélesség (4)	Hosszúság (5)		
Talaj- nedvesség a)	Kontroll d)	É46°58'3.47"	K19°33'10.65"	2021.05.12.– 2023.07.26.	10 perc
	Akác e)	É46°56'40.75"	K19°32'52.13"		
Talajvízszint b)	Fekete fenyő f)	É46°57'46.72"	K19°32'50.10"		15 perc
	Kontroll d)	É46°58'2.69"	K19°33'12.86"		
Meteorológia c)		É46°58'3.47"	K19°33'10.65"		10 perc

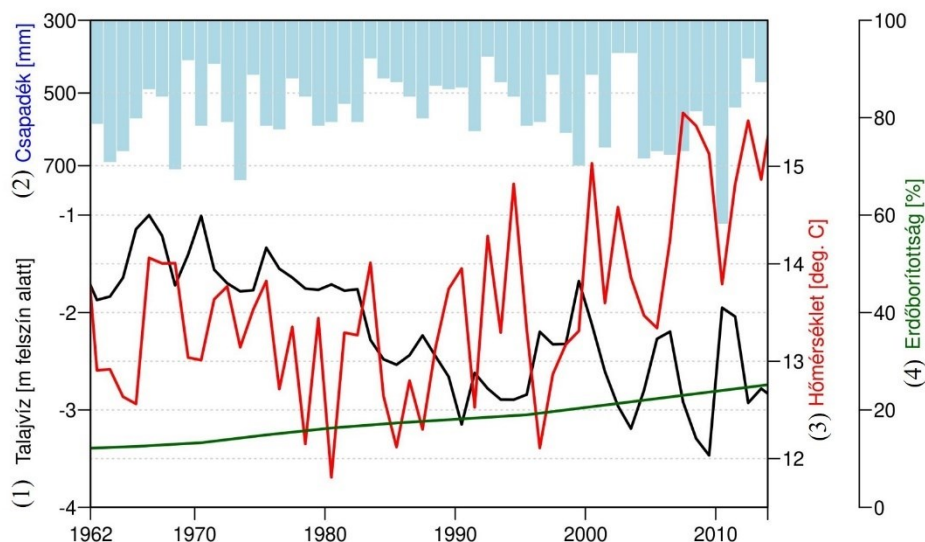
Eredmények és megvitatásuk

Regionális eredmények

A hosszú távú regionális adatsorok alapján nem látható trend jellegű változás az éves csapadék összegével kapcsolatban ($R^2 = 0,002$), ugyanakkor éves talajvízszint-változás és az éves csapadék közötti korreláció viszonylag magas ($R^2 = 0,43$), ami a csapadékból történő visszatöltődés fontosságát mutatja a Homokhátság egészére nézve.

Mindeközben a Homokhátságon is a hőmérséklet egyértelmű emelkedése tapasztalható 1985 után, amit saját méréseink is megerősítenek: 1999 és 2020 között 1,8C°-os növekedés volt tapasztalható a mintaterületen (BOLLA, 2021). Ez a növekedés értelemszerűen növeli a potenciális párolgás (PET) értékét, ami a csapadék változatlan mennyisége mellett egyértelmű negatív hatással van a terület vízmérlegére.

Fontos kiemelni, hogy nyolc homokhátsági talajvíz mérőhely és az elérhető erdőborítottsági adatok alapján nem állapítható meg összefüggés a talajvíz süllyedése és az erdőterületek kiterjedésének növekedése közt (*2. ábra*). A vizsgált tényezők közül a hőmérséklet emelkedése mutatta a legerősebb összefüggést a talajvízszint változással, ugyanakkor ez a kapcsolat sem volt szignifikáns (*2. táblázat*).



2. ábra

Éves csapadék (kék), átlagos talajvízszint (fekete), a hőmérséklet (piros) és az erdősített terület aránya (zöld) a Homokhátságon (Források: GÖBÖLÖS, 2002; MAJOR & NEPPEL, 1988; Nemzeti Földügyi Központ, OMSz, ATIVIZIG, ADUVIZIG)

2. táblázat

A talajvízszint süllyedés és a vizsgált tényezők közti kapcsolatok erőssége

	Csapadék (1)	Hőmérséklet (2)	Erdőborítottság (3)
Korrelációs együttható (R)			
(a)	0,181	0,453	0,078
A lineáris regresszió iránytangense (b)	0,001		0,006

Talajvízszint

A talajvíz ingadozásának megfigyelése rendkívül fontos információkkal szolgálhat a lokális hidrológiai folyamatokkal kapcsolatban. Sajnálatos módon a kecskemét-méntelevi mintaterület esetében folyamatosan csökkenő talajvízszintet figyelhetünk meg, ami a gyökérzet és a talajvíz közti kapcsolat teljes hiányára utal.

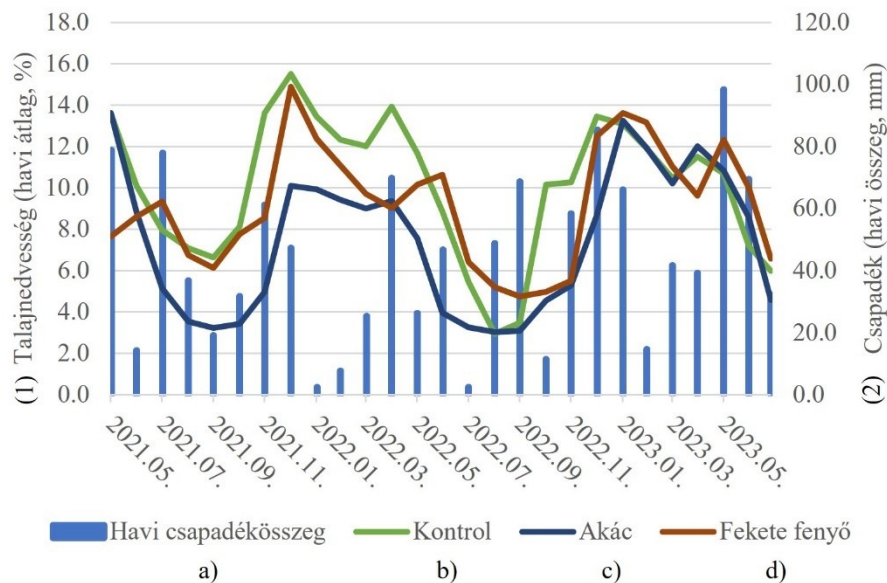
Ez a következtetés látszólag ellentmond a területen az 1970-es és 1980-as években végzett korábbi tanulmányoknak (MAJOR & NEPPEL, 1988). Ennek oka, hogy a területen a talajvízszint az elmúlt évtizedekben 3–5 méterről majdnem 10 méterre süllyedt. Ezt süllyedést az erdőállományok gyökérrendszere feltételezhetően nem volt képes követni. A szakirodalmi adatok alapján akác esetében a gyökérzet fő tömege a talaj felső 30 cm-ében található, maximális mélysége pedig 2,5–3,5 m-re tehető (BOLLA & NÉMETH, 2017; KÁRÁSZ, 1986; MÓRICZ et al., 2016;

TÓTH et al., 2014). Más szerzők hasonló gyökérmélységeket (0,8 és 3,3 m között) mértek fekete fenyő alatt is. (MUSTERS & BOUTEN, 1999; STOKES et al., 2002).

Feltételezésünket erősíti SZABÓ és munkatársai (2023) eredménye is. Itt a vizsgált püspökladányi mintaterületen a 8,5 m alá süllyedő talajvíz esetében egyértelműen kimutatható, hogy az erdőállomány gyökérszete és a talajvíz közt megszűnt a kapcsolat. A kecskemét-méntelevi mintaterületen a kontroll alatt mért talajvízszint is mélyebben (10,5 m) található, továbbá a vizsgált fafajok (akác, fekete fenyő) gyökérszete is jellemzően sekélyebb, mint a Püspökladányban található tölgy esetében. A fentiek alapján tehát feltételezhetjük, hogy a gyökérszét-talajvíz kapcsolat ez esetben sem áll fenn, azaz a vizsgált erdőállományok vízfelvétele a három fázisú zóna talajnedvességére korlátozódik.

Talajnedvesség

A különböző mélységekben mért talajnedvesség értékek esetében célunk az éves dinamika és a növényzettípusok közti különbségének elemzése volt. Ezért és a csapadékesemények zavaró hatásának tompítása érdekében a talajnedvesség adatok havi átlagértékeit mutatjuk be.



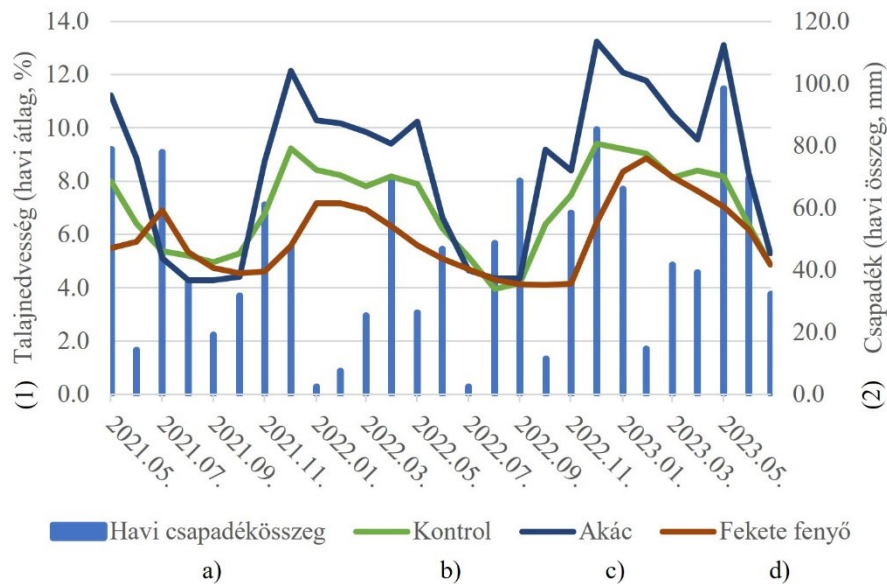
3. ábra

A 90 cm-en mért havi átlag talajnedvesség értékek a három vizsgált mintapont esetében

A 90 cm-en mért talajnedvesség esetében az éves talajnedvesség dinamika a vártaknak megfelelően alakul (3. ábra). Az átlagos talajnedvesség értékek az összes monitoring pont és minden vizsgált év esetében április-májusában kezdenek el

csökkenni, ami a növényi vízfelvétel hatását jelzi. Ezek után a talajnedvesség az aktuális csapadékviszonyoknak megfelelően az őszi visszatöltődési időszak kezdetéig alacsonyabb szinten marad. Ezen száraz időszakok a kontroll alatt jellemzően rövidebbek voltak, itt a visszatöltődés már szeptember-október hónapokban elkezdődött, míg az erdőállományok alatt az egyértelmű talajnedvesség emelkedés csak novemberben volt megfigyelhető. Az átlagos értékeket megvizsgálva néhány kivételes időszaktól eltekintve egyértelműen a kontroll alatti értékek a legmagasabbak (átlagosan 10,0%), majd a fekete fenyő (9,2%) és az akác (7,4%) sorrendjében csökkenő talajnedvességet tapasztalhatunk a teljes megfigyelt időszakot tekintve. A növényzettípusok közti különbség könnyen magyarázható, hisz a lágyszárú vegetáció esetében az intercepció értelemszerűen jóval alacsonyabb és a gyökérszónája is jellemzően sekélyebben helyezkedik el, azaz a növényzet vízfelvétele ebben a mélységben kevésbé érezteti hatását. Az erdők szárító hatása a vizsgált rétegben különösen jól érzékelhető a 2021–2022-es évek különösen aszályos nyugalmi időszakában.

A mélyebb talajrétegekben, a 150 (4. ábra) és 200 cm-en (5. ábra) mért talajnedvességadatok az előbbtől teljesen eltérő képet mutatnak.

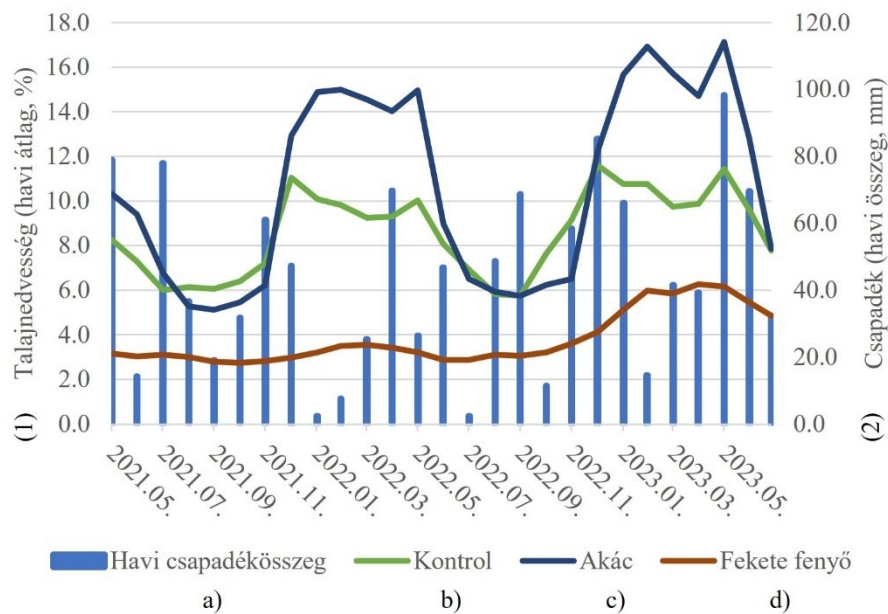


4. ábra

A 150 cm-en mért havi átlag talajnedvesség értékek a három vizsgált mintapont esetében

A kontroll és az akác pontok esetében látható, hogy az értékek emelkedése és süllyedése is jóval meredekebb mindkét pont esetében, mint a fenyő alatt, azaz a talajnedvesség jóval gyorsabban reagál a felsőbb rétegekben bekövetkezett folyamatokra (csapadék, növényzet vízfelvétele).

Az éves ciklust tekintve a kontroll és az akác alatt is jellemzően augusztus-szeptemberben mérhető az éves minimum. A visszatöltődés 2021-ben a két mintapont esetén nagyjából egyidőben, míg 2022-ben, 200 cm-en a kontroll alatt hamarabb (augusztus) jelentkezett. Ugyanakkor a visszatöltődés intenzitása az akác alatt mindkét vizsgált évben és mélységben jóval nagyobbak mutatkozott, aminek következtében a vizsgált talajréteg nedvességtartalma az egész nyugalmi időszak alatt, a 2021-es minimumtól eltekintve, egyértelműen az akác alatt volt a legmagasabb. A feltöltődés időszakában az itt mérhető értékek 2–5%-al is meghaladták a kontroll alatt mért értékeket.



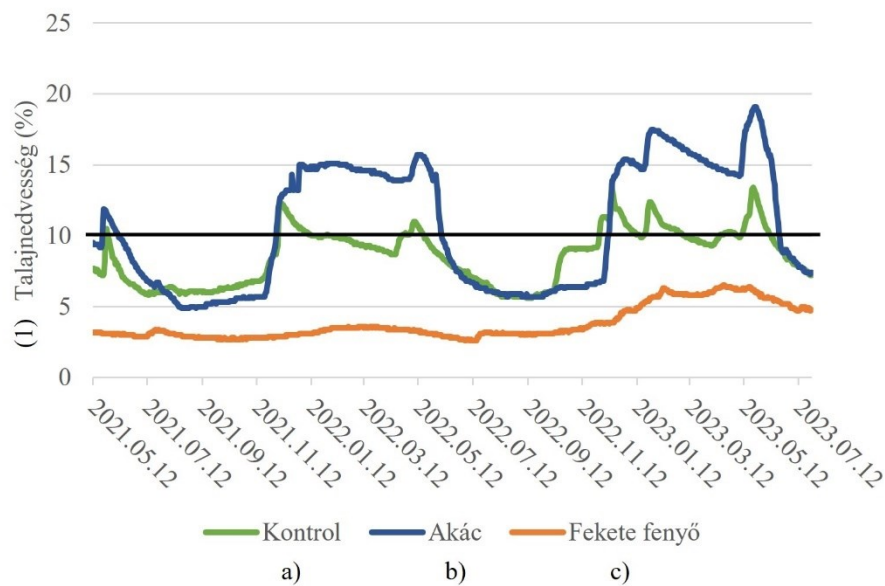
5. ábra

A 200 cm-en mért havi átlag talajnedvesség értékek a három vizsgált mintapont esetében

A teljes vizsgált időszakban egyértelműen a fenyő alatt a legalacsonyabb talajnedvesség. 150 cm-en az itt mért értékek az őszi minimumok idején rövid időszakokra megközelítették, vagy meghaladták a másik két mintapont talajnedvesség értékeit, miközben 200 cm-es mélységben stabilan a legszárazabb mintapont volt. Érdekesség, hogy ebben a mélységben a fenyő állomány alatt a 2021 novemberével kezdődő visszatöltődés gyakorlatilag elmaradt, és csak 2022 novemberétől tapasztalható egy relatíve nagyobb növekedés. Ennek valószínűsíthető oka szintén a már említett aszályos időszakhoz köthető. Ugyanakkor maximálisan mért talajnedvesség a 2022-ben mutatkozó emelkedés után is csak 6,5%.

A teljes időszakra vonatkozóan, 150 cm-en az átlagos talajnedvesség 8,5%, 7% és 5,9%, míg 200 cm-en 10,6%, 8,6%, és 3,8% volt az akác, a kontroll és a fekete fenyő állományok alatt.

Fontos megjegyezni ugyanakkor, hogy a talajvíz-visszatöltődés szempontjából nem az átlagos talajnedvesség értékek, hanem a mélybeszivárgó víz mennyisége a döntő. A telítetlen talajrétegek esetében ez a talaj szántóföldi vízkapacitásának függvénye, azaz a talajnedvességnek csak a vízkapacitást meghaladó hányada képes tovább szivárogni az alsóbb rétegek felé. Mivel a mintaterületre jellemző a homok textúrájú talajok esetében a szabadföldi vízkapacitás megközelítőleg 10%-ra tehető (STEFANOVITS et al., 1999), jól látható, hogy a talajnedvesség 200 cm-nél mélyebbre történő beszivárgására, a három vizsgált pont közül leghosszabb ideig egyértelműen az akác alatt van lehetőség (6. ábra, 3. táblázat).



6. ábra

A 200 cm-en mért napi talajnedvesség értékek a három vizsgált mintapont esetében. A vízszintes fekete vonal a homoktalajokra jellemző szabadföldi vízkapacitás értékét (10%) jelöli

3. táblázat

A szabadföldi vízkapacitást (10%) meghaladó talajnedvesség értékekkel rendelkező napok száma és aránya a teljes megfigyelt időszakhoz képest

	Mintapont típusa (1)		
	Kontroll (2)	Akác (3)	Fekete fenyő (4)
10% feletti talajnedvesség értékek (napok száma) (a)	207	396	0
10% feletti talajnedvesség értékek (%) (b)	25.68	49.13	0.00
Összes nap (n) (c)	806	806	806

Megállapítható tehát, hogy a 90, 150 és 200 cm mélységben mért talajnedvesség-adatokban is egyértelműen megmutatkozik a szezonális, azaz a fotoszintetikus ciklus által okozott talajnedvességből történő vízfelvétel. Azonban a megfigyelt talajnedvesség dinamika a különböző mérőpontokon lényegesen eltérő. 90 cm-en kimutatható az erdő vízfelvételenek szárító hatása, ami egybevág TÖLGYESI és munkatársai (2020) eredményivel.

Ugyanakkor a mélyebb talajrétegekben ettől jelentősen eltérő folyamatokat figyelhetünk meg. A legalacsonyabb talajnedvesség értékek egyértelműen a fenyő alatt mutatkoztak. Relatív nagyobb változások voltak az akác és a kontrol pontok esetében, ugyanakkor a teljes időszakra vonatkozóan átlagosan 1,5–2%-kal magasabb talajnedvesség értékeket mértünk az akác alatt.

Ennek magyarázata a bypass flow (RADCLIFFE & SIMUNEK, 2010) jelenség lehet, ami által a talajba szivárgó csapadék a teljes talajszelvény benedvesítése helyett, a gyökérrendszer által kialakított nagy mennyiségű makropóruson keresztül nagyobb mennyiségben érik el a mélyebb talajrétegeket. A mérési pontok közti eltérő talajviszonyok hatását sem lehet kizárni, hisz a mintaterületre jellemző homoktalajok esetében egy-egy nagyobb humusz tartalommal rendelkező – esetleg eltemetett – talajréteg szignifikánsan képes megváltoztatni annak hidrológiai tulajdonságait.

További fontos tényező a szezonálitás, melynek hatásait a viszonylag rövid időszakot felölelő adatsorok miatt nem volt lehetőségünk megvizsgálni, ugyanakkor eredményeinkben a 2021–22-es év rendkívül száraz időjárása is minden bizonnyal megmutatkozik.

A homoktalajok szabadföldi vízkapacitása és a bemutatott talajnedvesség adatok összevetése alapján kijelenthető tehát, hogy mintaterületünkön egyedül csak az akác állomány alatt van lehetőség nagyobb mértékben a talajnedvességből való talajvíz utánpótlódásra. Feltételezhető ugyanakkor, hogy ez is csak elviekben érvényesülhet, hisz a 200 cm-es mért réteg és a talajvíz közti több, mint 8 méteres távolság igen valószínűtlen teszi jelentős mennyiségű talajnedvesség talajvízbe történő tényleges lejutását.

Következtetés

Jelen munkánkban az erdőállományok potenciális talajvízszint-süllyesztő hatását vizsgáltuk a Homokhátság tetején elhelyezkedő mintaterület esetében.

Hosszútávú regionális szintű adatgyűjtés alapján vizsgáltuk az összefüggést a csapadék, a hőmérséklet, a talajvíz és az erdőborítás változása közt. Eredményeink alapján megállapítható, hogy a térségben megfigyelhető talajvízszint csökkenés elsődleges oka nem az erdőállományok potenciális talajvízszint süllyesztő hatása.

A kecskemét-ménfői mintaterület adatai alapján megvizsgáltuk a lokális erdőállomány potenciális talajvíz süllyesztő hatását, ami két módon jelentkezhet: A talajvízből történő közvetlen vagy közvetett (kapilláris zónán keresztüli) vízfelvétellel, illetve a talajvíz utánpótlódásának mennyiségét csökkentve, a talajnedvesség felvétele és az intercepció következtében.

A területen folyamatos talajvízszint-süllyedést figyelhetünk meg. A vizsgált fajok gyökérmélységére, illetve gyökér-talajvíz kapcsolatokra vonatkozó

szakirodalmi adatok alapján feltételezhető, hogy a lokális növényzet nem hasznosítja a talajvizet aminek fő oka, a talajvíz rendkívül mély szintje. (A legfrissebb adatok alapján a talajvízszint már megközelíti a 10,5 m-es mélységet.)

Az erdőállományok potenciális talajvíz utánpótlódást csökkentő hatását talajnedvesség adatok alapján elemeztük. A 90 cm-en mért talajnedvesség értékek alapján kimutatható az erdőállományok vízfelvételenek szárító hatása, ugyanakkor a mélyebb talajrétegek (150 és 200 cm) adatsorai rávilágítottak, hogy a talajvíz csapadékból történő esetleges utánpótlódására túlnyomó részt csak a vizsgált akác állomány alatt van lehetőség. Ezt a gyökérzet által kialakított makropórusokkal magyarázhatjuk. A gyökérzet hatására utalhat az is, hogy a két vizsgált erdőállomány (akác és fekete fenyő) közt igen jelentős eltéréseket tapasztaltunk.

A bemutatott eredmények alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy a vizsgált mintaterületen található akác állomány a lokális talajvíz szintjére potenciálisan pozitív, míg az erdei fenyő potenciálisan negatív hatással van a légyszárú vegetációhoz viszonyítva.

Jelentős eltéréseket tapasztaltunk továbbá a csapadékból történő talajvíz-utánpótlás jelentőségével kapcsolatban a Homokhátság egészére, illetve a mintaterületre vonatkozóan.

Ehhez kapcsolódóan szeretnénk kiemelni, hogy eredményeink térbeli kiterjeszhetősége korlátozott. Az erdők talajvízre gyakorolt hatása értelemszerűen más, olyan sekélyebb talajvízzel jellemezhető területeken, ahol az az erdő gyökérzete eléri és hasznosítja a talajvizet. Az eredményeinkből látható az is, hogy erdőállományok talajvíz utánpótlódásra gyakorolt esetleges pozitív hatása nagy mértékben függ a fafajtól, annak gyökérzetétől, és az adott talaj szabadföldi vízkapacitásától is.

Látható tehát, hogy a rendkívül összetett lokális hidrológiai rendszerekben lezajló folyamatok megértéséhez az egyes tényezőkre vonatkozó általános jellegű megállapítások (ilyen pl.: az erdőállományok általában nagyobb fajlagos vízfelhasználása) nem tekinthető megfelelő kiindulópontnak.

Ehelyett hosszútávú, az adott lokális rendszer lehetőleg minél több elemét vizsgáló monitoring eredményeire szükséges támaszkodnunk. Különösképpen igaz ez a területhasználati döntések tudományos megalapozása esetében.

Köszönetnyilvánítás

Jan Szolgay jelen kutatásban való részvétele a Szlovák Kutatási és Fejlesztési Ügynökség támogatásával az APVV 19-0340 számú, valamint a VEGA Támogatási Ügynökség támogatásával a VEGA 1/0782/21 számú támogatási szerződés alapján valósult meg."

Jelen publikáció a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú projekt keretében a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalom

- AESCHBACH-HERTIG, W., GLEESON, T., 2012. Regional strategies for the accelerating global problem of groundwater depletion. *Nature Geosciences*. **5**. 853–861.
- ALLEN, C.D., MACALADY, A.K., CHENCHOUNI, H., BACHELET, D., McDOWELL, N., VENNETIER, M., KITZBERGER, T., RIGLING, A., BRESHEARS, D.D., HOGG, E.H. (TED), GONZALEZ, P., FENSHAM, R., ZHANG, Z., CASTRO, J., DEMIDOVA, N., LIM, J.-H., ALLARD, G., RUNNING, S.W., SEMERCI, A., COBB, N., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management, Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate*. **259**. 660–684.
- BERÉNYI, P., ERDÉLYI, M., 1990. A rétegvíz szintjének süllyedése a Duna–Tisza közén. *Vízügyi közlemények*. **72**. (4) 377–397.
- BOLLA B., 2021. Erdészeti meteorológiai mérőhálózat, mint az erdővédelmi mérő- és megfigyelő rendszer alrendszere. *Légtér*. **66**. 13–14.
- BOLLA, B., NÉMETH, T., 2017. Monitoring of the Hydrological Balance in the Area of the Kiskunság National Park Directorate. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* **13**. 97–11.
- BOLLA, B.K., SZABÓ, A., 2020. A NAIK-ERTI hidro-meteorológiai monitoring rendszerének kezdeti eredményei a 2019. évi mérések alapján. *Erdészettudományi közlemények*. **10**. 41–54.
- BOSCH, J.M., HEWLETT, J.D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*. **55**. 3–23.
- CSATÁRI, B., CSORDÁS, L., 1994. A Duna-Tisza közti hátság településfejlődése és hatásai a vízháztartásra. In: PÁLFAI, I. (szerk.) *A Duna-Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái*. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba. pp. 33–36.
- CUI, Y., LIAO, Z., WEI, Y., XU, X., SONG, Y., LIU, H., 2020. The Response of Groundwater Level to Climate Change and Human Activities in Baotou City, China. *Water*. **12**. 1078.
- ENCARNA, E., ALBIAC, J., 2011. Groundwater and ecosystems damages: Questioning the Gisser–Sánchez effect. *Ecological Economics, Special Section - Earth System Governance: Accountability and Legitimacy*. **70**. 2062–2069.
- ENGEL, V., JOBBÁGY, E.G., STIEGLITZ, M., WILLIAMS, M., JACKSON, R.B., 2005. Hydrological consequences of Eucalyptus afforestation in the Argentine Pampas. *Water Resources Research*. **41**. W10409.
- FAMIGLIETTI, J.S., LO, M., HO, S.L., BETHUNE, J., ANDERSON, K.J., SYED, T.H., SWENSON, S.C., DE LINAGE, C.R., RODELL, M., 2011. Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley. *Geophysical Research Letters*. **38**. L03403.
- FARLEY WOLF, K., JOBBÁGY, E., JACKSON, R., 2005. Effects of Afforestation on Water Yield: A Global Synthesis With Implications for Policy. *Global Change Biology*. **11**. 1565–1576.
- GÁCSI, Z., 2000. A talajvízszint észlelés, mint hagyományos, s a vízforgalmi modellezés, mint új módszer Alföldi erdeink vízháztartásának vizsgálatában. (PhD Tézis). Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron.

- GÁSPÁR, V., ŠKRINÁR, A., 2023. The Impact of Climate Change and Regulation of the Water Regime on the Morphological Structure of the Floodplain Forests in Petržalka, Slovakia. *Slovak Journal of Civil Engineering*. **31**. (1) 52–57.
- GÖBÖLÖS, A., 2002. A „vízhiányos” erdőgazdálkodás kérdései a Duna Tisza közti homokháton.. *Hidrológiai Közlöny*. **82**. (6) 324–326.
- GREEN, T.R., TANIGUCHI, M., KOOL, H., GURDAK, J.J., ALLEN, D.M., HISCOCK, K.M., TREIDEL, H., AURELI, A., 2011. Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*. **405**. 532–560.
- IJJÁSZ, E., 1939. A fatenyészet és az altalajvíz, különös tekintettel a nagyalföldi viszonyokra. *Erdészeti Kísérletek*. **42**. 107.
- JÁRÓ, Z., 1992. A talaj szerepe az Alföldfásítás múltjában és jövőjében., in: RAKONCZAI, J. (szerk.), *Az Alföld-Fásítás Aktuális Kérdései: tudományos emlékülés Kaán Károly születésének 125. évfordulója alkalmából. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. Nagyalföld alapítvány, Békéscsaba*. pp. 41–46.
- JOBBÁGY, E.G., JACKSON, R.B., 2004. Groundwater use and salinization with grassland afforestation. *Global Change Biology*. **10**. 1299–1312.
- JOKANOVIĆ, V.N., JOKANOVIĆ, D., SAVIĆ, R., PETROVIĆ, N., MARINKOVIĆ, M., TUBIĆ, B., VASIĆ, I., 2024. Soil moisture regime in lowland forests – quantity and availability of water. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. **72**. 15–24.
- KÁRÁSZ, I., 1986. Gyökérvizsgálatok Magyarországon. *Botanikai közlemények*. **72**. 19–23.
- KESZELIOVÁ, A., VÝLETA, R., DANÁČOVÁ, M., HLAVČOVÁ, K., SLEZIAK, P., GRIBOVSZKI, Z., SZOLGAY, J., 2022. Detection of Changes in Evapotranspiration on a Catchment Scale Under Changing Climate Conditions in Selected River Basins of Slovakia. *Slovak Journal of Civil Engineering*. **30**. 55–63.
- KONIKOW, L.F., KENDY, E., 2005. Groundwater depletion: A global problem. *Hydrogeological Journal*. **13**. 317–320.
- KOVÁCS, A., JAKAB, A., 2021. Modelling the Impacts of Climate Change on Shallow Groundwater Conditions in Hungary. *Water*. **13**. 668.
- MAJOR, P., 2002. Síkvidéki erdők hatása a vízháztartásra. *Hidrológiai Közlöny*. **82**. (6) 319–323.
- MAJOR, P., 1993. A nagy-Alföld talajvízháztartása. *Hidrológia Közlöny*. **73**. (1) 40–43.
- MAJOR, P., NEPPEL, F., 1988. A Duna-Tisza közti talajvízszintsüllyedések. *Vízügyi Közlemények*. **70**. (4) 605–626.
- MÓRICZ, N., TOTH, T., BALOG, K., SZABO, A., RASZTOVITS, E., GRIBOVSZKI, Z., 2016. Groundwater uptake of forest and agricultural land covers in regions of recharge and discharge. *iForest-Biogeosciences and Forestry*. **9**. 696.
- MUSTERS, P. A. D., BOUTEN, W., 1999. Assessing rooting depths of an austrian pine stand by inverse modeling soil water content maps. *Water Resources Research*. **35**. 3041–3048.
- NOSETTO, M.D., JOBBÁGY, E.G., TÓTH, T., DI BELLA, C.M., 2007. The effects of tree establishment on water and salt dynamics in naturally salt-affected grasslands. *Oecologia*. **152**. (4) 695–705.
- PÁLFAI, I., 2010. A Duna-Tisza közti hátság vízháztartási sajátosságai. *Hidrológiai Közlöny*. **90**. (1) 40–44.

- PÁLFAI, I., 1994. Összefoglaló tanulmány a Duna-Tisza közti talajvízszint-süllyedés okairól és a vízhiányos helyzet javításának lehetőségeiről. In: PÁLFAI, I. (szerk.) A Duna-Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba. pp. 111–126.
- PÁLFAI, I., 1990. Alapozó szakvélemények a Duna – Tisza közti vízrendezések hatásvizsgálatához. VITUKI, Budapest.
- PEREZ-QUESADA, G., HENDRICKS, N.P., STEWARD, D.R., 2024. The Economic Cost of Groundwater Depletion in the High Plains Aquifer. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*. **11**. 253–285.
- RADCLIFFE, D.E., SIMUNEK, J., 2010. *Soil Physics with HYDRUS: Modeling and Applications*. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 388.
- RAKONCZAI, J., 2011. Az Alföld tájváltozásai és a klímaváltozás. In: RAKONCZAI, J. (szerk.), *Környezeti Változások És Az Alföld*. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba. pp. 137–148.
- RAKONCZAI, J., BÓDIS, K., 2002. A környezeti változások következményei az Alföld felszín alatti vízkészleteiben. In: MÉSZÁROS, R., SCHWEITZER, F., TÓTH, J. (szerk.), *Jakucs László, a Tudós, Az Ismeretterjesztő És a Művész*. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet - SZTE Gazdaságés Társadalomföldrajzi Tanszék, Szeged. pp. 227–232.
- RODELL, M., VELICOGNA, I., FAMIGLIETTI, J.S., 2009. Satellitebased estimates of groundwater depletion in India. *Nature*. **460**. 999–1002.
- SCIBEK, J., ALLEN, D.M., 2006. Modeled impacts of predicted climate change on recharge and groundwater levels. *Water Resources Research*. **42**. 004742.
- SOMOGYI, Z., SZABÓ, A., BOLLA, B., MOLNÁR, T., 2019. Az erdők vízháztartását monitorozó rendszer és annak fejlesztési lehetőségei a Kiskunságban. *Erdészettudományi Közlemények*. **4**. (2) 21–31.
- STEFANOVITS, P., FILEP, G., FÜLEKY, G., 1999. *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- STOKES, A., FOURCAUD, T., HRUSKA, J., CERMÁK, J., NADYEZDHINA, N., NADYEZHDIN, V., PRAUS, L., 2002. An Evaluation of Different Methods to Investigate Root System Architecture of Urban Trees in Situ: I. Ground-Penetrating Radar. *Journal of Arboriculture*. **28**. 2–10.
- SZABÓ, A., GRIBOVSZKI, Z., KALICZ, P., SZOLGAY, J., BOLLA, B., 2022. The soil moisture regime and groundwater recharge in aged forests in the Sand Ridge region of Hungary after a decline in the groundwater level: an experimental case study. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. **70**. 308–320.
- SZABÓ, A., GRIBOVSZKI, Z., SZOLGAY, J., KALICZ, P., BALOG, K., SZALAI, J., HLAVČOVÁ, K., BOLLA, B., 2023. Groundwater Recharge from Below under Changing Hydro-Meteorological Conditions in a Forested and Grassland Site of the Great Hungarian Plain. *Forests*. **14**. 2328.
- SZILÁGYI, J., KOVÁCS, Á., JÓZSA, J., 2012. Remote-sensing based groundwater recharge estimates in the Danube-Tisza sand plateau region of Hungary. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. **60**. (1) 64–72.
- SZILÁGYI, J., VÖRÖSMARTY, CH., 1993. A Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedések okainak vizsgálata. *Vízügyi Közlemények*. **75**. (3) 280–294.

- SZINETÁR, M., CSÁKI, P., GÁBOR, K., GRIBOVSKI, Z., 2018. Változó klimatikus viszonyok hatásai a vízháztartási mérlegre – Esettanulmány a Bácsbokodi-Kígyós vízgyűjtőjén (Effects of the changing climatic conditions on the water balance – Case study on the Bácsbokodi-Kígyós watershed). *Hidrológiai Közlöny*. **98**. (1) 50–59.
- SZODFRIDT, I., 1990. Hozzászólás Major Pál és Neppel Ferenc: „A Duna–Tisza közti talajvízszint süllyedése” című cikkéhez. *Vízügyi Közlemények*. **72**. (3) 287–291.
- TÖLGYESI, C., TÖRÖK, P., HÁBENCZYUS, A.A., BÁTORI, Z., VALKÓ, O., DEÁK, B., TÓTHMÉRÉSZ, B., ERDŐS, L., KELEMEN, A., 2020. Underground deserts below fertility islands? Woody species desiccate lower soil layers in sandy drylands. *Ecography*. **43**. 848–859.
- TÓTH, T., BALOG, K., SZABÓ, A., PÁSZTOR, L., JOBBÁGY, E.G., NOSETTO, M.D., GRIBOVSKI, Z., 2014. Influence of lowland forests on subsurface salt accumulation in shallow groundwater areas. *AoB PLANTS*. **6**. plu054.
- UNEP, 1992. *World Atlas of Desertification*. Edward Arnold, London.
- VÖLGYESI, I., 2006. A homokhátság felszínalatti vízháztartása. *Vízpótlási és visszatartási lehetőségek*, in: MHT XXIV. Országos Vándorülés Kiadványa. Pécs, Hungary. pp. 753–760.
- WILSKÉ, B., LU, N., WEI, L., CHEN, S., ZHA, T., LIU, C., XU, W., NOORMETS, A., HUANG, J., WEI, Y., CHEN, JUN, ZHANG, Z.-Q., NI, J., SUN, G., GUO, K., MCNULTY, S., JOHN, R., HAN, X.-G., LIN, G., CHEN, JIQUAN, 2009. Poplar plantation has the potential to alter water balance in semiarid Inner Mongolia. *Journal of environmental management*. **90**. 2762–2770.
- WU, W.-Y., LO, M.-H., WADA, Y., FAMIGLIETTI, J., REAGER, J., YEH, P., DUCHARNE, A., YANG, Z.-L., 2020. Divergent effects of climate change on future groundwater availability in key mid-latitude aquifers. *Nature Communications*. **11**. 3710.

Investigation of the impact of forest stands on groundwater recharge in the Kecskemét–Ménfőcsanak study area

¹*András SZABÓ, ²Zoltán GRIBOVSKI, ²Péter KALICZ, ³Ján SZOLGAY,
⁴Zsolt GÁCSI, ¹Bence BOLLA

¹Forest Research Institute, University of Sopron, Sárvár, Hungary

²Institute of Geomatics and Civil Engineering, University of Sopron, Sopron, Hungary

³Department of Land and Water Resources Management Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia

⁴Kiskunsági Erdő-Gazda Kft., Nyárlőrinc, Hungary

Summary

The issue of groundwater depletion which affecting the Great Hungarian Plain, especially its Sand Ridge region, brings about severe ecological and economic consequences. Research on the possible causes behind this phenomenon has been

ongoing for decades, yet determining their relative importance remains a subject of scientific debate to this day.

Several authors highlight the significance of afforestation in reducing groundwater levels. This can occur through two mechanisms: water uptake by vegetation and reduction in recharge from precipitation (interception, soil moisture uptake). We examined these mechanisms based on soil moisture and groundwater data measured at depths of 90, 150, and 200 cm with high temporal resolution at a black locust (*Robinia pseudoacacia*) and a black pine (*Pinus nigra*) stands in our sample area which was established in the Sand Ridge at Kecskemét-Ménfőtelek.

Based on the data, it can be concluded that there is no direct or indirect water uptake from the groundwater, presumably due to a significant horizontal distance between the root zone and the groundwater. In the case of soil moisture, the drying effect of forest stands is clearly evident in the shallower layers during the growing season. However, based on soil moisture data from deeper layers, it can be stated that theoretical groundwater recharge from precipitation is only possible beneath the black locust stand. The apparent contradiction can presumably be explained by the influence of macropores formed by the root system. This is supported by the significant difference observed between the black locust and black pine stands.

Our conclusion is that forest stands can have significantly different local effects on groundwater levels. Therefore, rather than making general conclusions, understanding the processes behind these effects requires monitoring data examining several elements of the specific hydrological system.

Keywords: groundwater recharge, soil moisture monitoring, forest hydrology, black locust, black pine

Tables and figures

Table 1. The main characteristics of the monitoring points.

(1) Type of data (2) Type of monitoring site (3) Coordinates (4) Latitude (5) Longitude (6) Length of the investigated period (7) Measurement frequency (a) Soil moisture (b) Groundwater level (c) Meteorological parameters (d) Control (e) Black locust (f) Black pine

Figure 1. The location of the study area and monitoring points.

(1) Sand Ridge region (2) Danube river (3) study area (4) Tisza river (5) Legend (6) Meteorological station (7) Groundwater monitoring well (8) Hellmann-type rain gauge (9) Soil moisture monitoring site (10) Control point (11) Black pine (12) Black locust

Figure 2. Annual precipitation (blue), average groundwater level (black), temperature (red), and the proportion of forested area (green) in the Sand Ridge region. (Sources: GÖBÖLÖS, 2002; MAJOR & NEPPEL, 1988; National Land Survey, National Meteorological Service, Lower Tisza River Basin Water Directorate, Lower Danube River Basin Water Directorate) (1) Groundwater level (from surface, m) (2) Precipitation (mm) (3) Temperature (C°) (4) proportion of forested area (%)

Table 2. The strength of the relationships between groundwater level decline and the investigated factors. (1) Precipitation (2) Temperature (3) Forest cover (a) Correlation coefficient (b) Slope of the linear regression

Figure 3. Monthly average soil moisture values at the three studied monitoring points measured at 90 cm depth. (1) Soil moisture values (monthly average, %) (2) Precipitation (monthly sum, mm) (a) Monthly sum of precipitation (b) Control point (c) Black locust (d) Black pine

Figure 4. Monthly average soil moisture values at the three studied monitoring points measured at 150 cm depth. (1) Soil moisture values (monthly average, %) (2) Precipitation (monthly sum, mm) (a) Monthly sum of precipitation (b) Control point (c) Black locust (d) Black pine

Figure 5. Monthly average soil moisture values at the three studied monitoring points measured at 200 cm depth. (1) Soil moisture values (monthly average, %) (2) Precipitation (monthly sum, mm) (a) Monthly sum of precipitation (b) Control point (c) Black locust (d) Black pine

Figure 6. Daily soil moisture values at the three studied monitoring points measured at 200 cm depth. (1) Soil moisture values (%) (a) Control point (b) Black locust (c) Black pine

Table 3. The number and proportion of days with soil moisture values exceeding the field capacity (10%) during the observed period.

(1) Type of monitoring site (2) Control (3) Black locust (4) Black pine (a) values above 10% Soil moisture (number of days) (b) values above 10% Soil moisture (%) (c) Number of days (n)

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)
