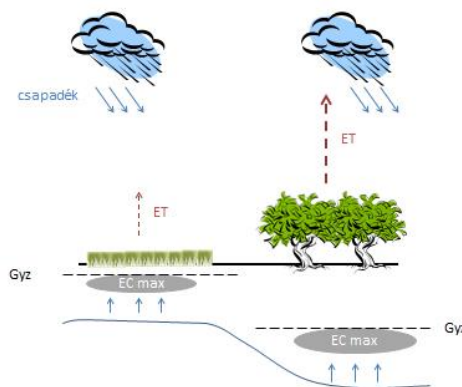


Sekély talajvízű területen telepített ültetvények által a talajban és altalajban okozott sófelhalmozódás statisztikai és hidrológiai modellezése (NN79835) pályázat zárójelentése

Bevezetés

Magyarországon az utóbbi száz évben jelentősen megnövekedett az (újra)erdősített területek nagysága 1.1-ről 1.8 millió hektárra, s ez a tendencia a jövőben várhatóan folytatódni fog. A telepített ültetvények hozzávetőlegesen 60 %-a korábbi, gyengébb termékenyséű legelőkön/szántóterületeken létesült (Nemzeti Erdőstratégia, 2009), melyek legtöbb esetben átfedést mutatnak a sekély és sós talajvízű területekkel. Bár bizonyított, hogy negatív vízmérleggel jellemezhető, sekély és sós talajvízzel rendelkező területeken a fák sófelhalmozódást idézhetnek elő (BAZYKINA 2000, NOSETTO et al., 2007, 2008), a konkrét terület erdősítésével kapcsolatos döntés során nem veszik figyelembe a talajvíz sótartalmát, illetve a talaj fizikai féleségéből adódó helyi szivárgási viszonyokat, ezért a jövőbeli sófelhalmozódási kockázat, s ezáltal a termőhely leromlásának kockázata minden ilyen döntés velejárója. Vizsgálatunk során a természetett haszonnövényeket és gyepeket, melyek a telepített erdők előtti földhasználatban a jellemzők voltak, kontrollként vettük alapul, és ehhez hasonlítottuk a telepített erdők által előidézett változásokat. Következésképpen az értékelés során legtöbbször telepített erdő kontra kontroll szántó/gyep viszonylatában számszerűsítettük a különbségeket, amint azt a következő ábra is mutatja. Számos esetben egy kontroll parcella több erdőtaghoz is viszonyítási alapul szolgált, ezért a vizsgált erdőtagok száma jelentősen meghaladja a kontroll parcellák számát.



Hipotézisünk sematikus vázlata az erdők talaj és talajvíz módosító hatásairól
(ET: evapotranspiráció, Gyz: gyökérszóna, EC max: sómaximum a talajszelvényben)
(SZABÓ et al. 2012)

Hipotézisünk szerint az erdő hatással van:

- a terület **hidrológiájára**. A fák nagyobb levélfelületük, biomasszájuk, mélyre nyúló gyökereik következtében mélyebb rétegekből vesznek fel nagyobb mennyiségű vizet, mint a lágyszárú növények. A nagyobb biomassza nagyobb transzspirációra képes, amihez megnövekedett vízfelvétel szükséges. A telepített faállomány alatt ezért talajvízszint süllyedés (depresszió) alakul ki, mely alföldi sík területen képes a talajvíz áramlás időszakos megváltoztatására.

- a terület **sómerlegére**. A megnövekedett vízfelvétel a talajvízben oldott sótartalom koncentrációját idézi elő a gyökérszóna környezetében, mert a gyökerek vízfelvevétele során visszamarad az oldott alkotók nagy része. Ezért egyrészt a talajvíz sótartalmának koncentrációját tételezzük fel az erdő alatt, másrészt a talajban kivált sók feldúsulását a talajvíz ingadozási zóna és a gyökérszóna átfedő mélységében. Az erdők esetén mélyebben elhelyezkedő és nagyobb mértékű sómaximumra számítunk, mint a gyepek esetében.

Célunk volt fafaj szinten számszerűsíteni a sófelhalmozódási kockázatot az általunk vizsgált fontos termőhelyi-talajtani, klimatikus és biológiai tényezők alapján. Komplex megoldást szeretnénk javasolni az adott területre telepítendő legalkalmasabb fafaj kiválasztásához annak érdekében, hogy minimalizáljuk a felszín alatti sófelhalmozódás kockázatát Magyarországon és Argentínában, ugyanazt a módszert és értékelési módszert alkalmazva.

Módszer

Terepi módszerek

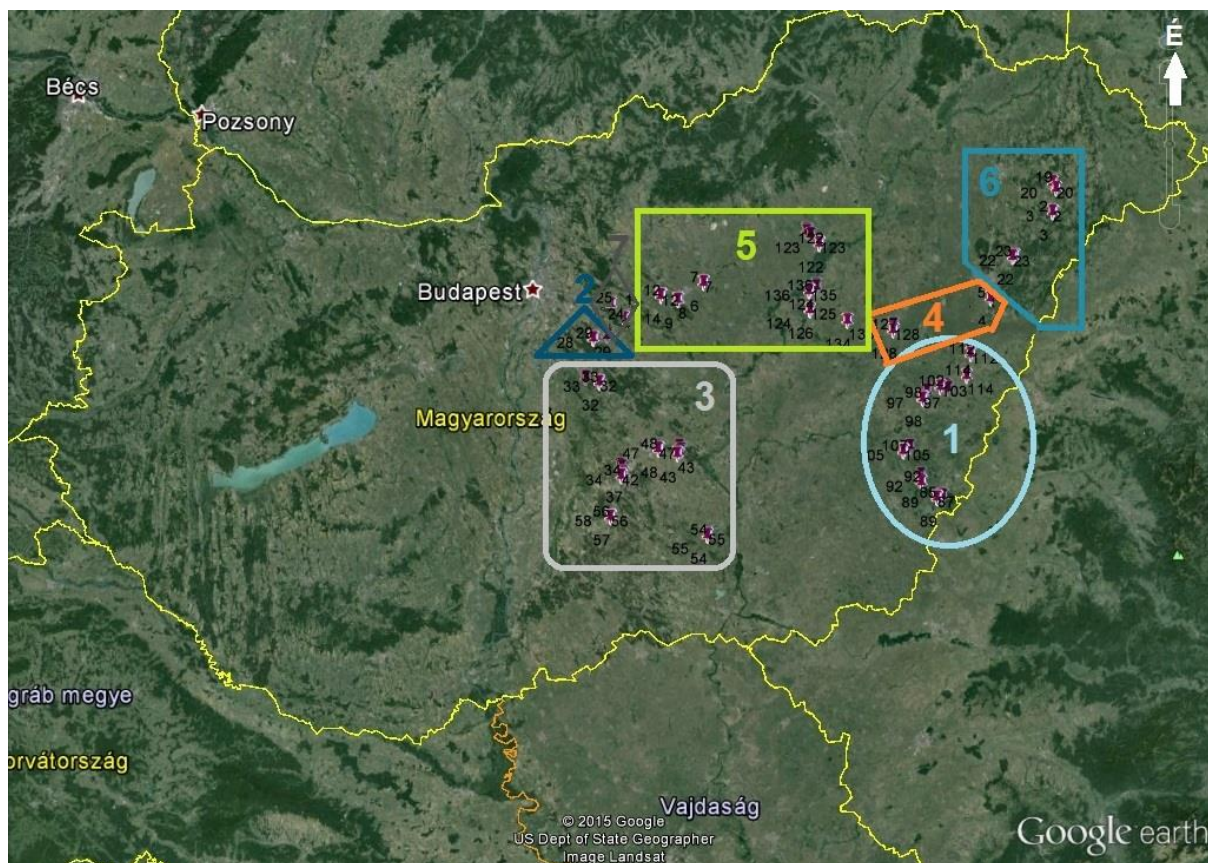
A vizsgálatot két szinten végeztük.

Regionális szinten: Alföld-szerte 79 mintavételi pontot tártunk fel (55 erdő, 24 kontroll) s végeztünk egyszeri adatgyűjtést a talajvízről, talajról és a növényzet jellemzőiről.

Az **állomány szintű** vizsgálatokat ezen kívül 30 helyen hajtottunk végre (18 erdő és 12 kontroll) talajvízszint monitoring kutak telepítésével (15 percenkénti adatrögzítés), kiválasztott helyeken meteorológiai állomás felállításával (csapadék mennyiség, sugárzás, szélirány és sebesség, hőmérséklet), szivárgási tényező méréssel (visszatöltődéses módszer) és részletes talaj textúra vizsgálattal (pipettás módszer).

A kutatási terv újdonsága a vizsgálatok vertikális és horizontális integrációjában rejlik, a párhuzamosan zajló argentin vizsgálatokkal.

Terepi felvételezéskor minden esetben azonos mintavételi elrendezést alkalmaztunk. Ügyeltünk, hogy az erdő és kontroll vegetáció között megmutatkozó különbségek azonosítását ne zavarja az erdő szegélyhatása, ezért legalább 50 méterre a szegélytől jelöltük ki az egyes fúrások helyét. A talajfúratokat motoros talajfúróval mélyítettük maximálisan 11 m-ig. A talajmintákat 0-1 m-ig 20 cm-enként, mélyebben pedig fél méterenként vettük, minden esetben a megütött talajvízszint alatti 1 m-ig. Talajvíz mintavétel, illetve erdők esetén mellmagasságban mért törzskerület és fmagasság felvételezés történt. A fúrólyuk körüli mintateres erdőfelvételezés sűrű faállományok esetén körös mintavétellel (1/100 ha, vagyis egy 5,64 m sugarú körön belüli összes fa átmérőjének és magasságának felvétele), ritka és idős állományok esetén pedig Prodan-próbával (a fúrólyukhoz legközelebbi 5 fa törzsmérőjének és magasságának felvétele és a legtávolabbi fa távolságának meghatározása sugárirányban a fúrólyuktól) történt. Mivel a felvételezést saját magasságmérő műszer hiányában kölcsön mérőeszközökkel (egyik évben lézeres mérőeszközzel, a másik évben optikai magasságmérő műszerrel) tudtuk megoldani, a felvételezés pontossága nem egységes. Az állományfelmérés terepi adatai, majd az abból származtatott dendromassza adatok így csak becslésnek tekinthetők. (Dendromassza: a fás szárú növények földfelszín feletti részének szárazanyag tömege.) A vizsgált erdőállományok előéletét térképelemzéssel derítettük fel a legkorábbi hozzáférhető katonai térképek és későbbi térbeli adatbázisok alapján, így meghatározva azt az évet, mikor a területen először történt erdőtelepítés, és azóta az erdőborítás folyamatos volt.



1. Berettyó-Körös vidék			2. Duna-menti térség			3. Duna-Tisza közi vidék			4. Hajdúság			5. Kőszép-Tisza vidék			6. Nyírség			7. Csorháti vidék		
Hely neve	Mintapont száma	Területhasznosítás	Hely neve	Mintapont száma	Területhasznosítás	Hely neve	Mintapont száma	Területhasznosítás	Hely neve	Mintapont száma	Területhasznosítás	Hely neve	Mintapont száma	Területhasznosítás	Hely neve	Mintapont száma	Területhasznosítás	Hely neve	Mintapont száma	Területhasznosítás
Berettyóújfalva	112	kontroll tarló	Vasad	29	kontroll	Bécsa	56	kontroll homokpusztagyep nyár				Egerlővő	117	kontroll kaszáló	Nyírbogát	3	kontroll kukorica nyár	Monor	26	kontroll
	113	akác		27	akác		57		Pusztakaladány	128	kontroll kaszáló		116	nyár		2			24	nyár
	103	kontroll legelő		28	akác		58	erdői fenyő		127	tölgy		118	kontroll szántó parlag batarán	Máriapócs	20	kontroll kukorica		25	nyár
Zsáka	102	akác				Dabas	31	kontroll		129	tölgy		119	akác	Nyíregyháza	19	akác			
	104	kontroll természetes szikes puszta tölgy					30	akác		132	kontroll tisztás		120	kontroll tarló	Hajdúszámson	22	kontroll napraforgó nyár			
	111	tölgy és fekete dió eleges erdő				Ortágy	33	kontroll	Debrecen-Miklóspércs	5	kontroll réti tölgy		121	nyár		23	akác			
	109	tölgy					32	nyár		4		Forrázó	123	kontroll kaszáló						
Furta	114	kontroll szántó tölgy					42	kontroll					122	nyár						
	115					Hévíria	34	tölgy				Jászjákóhalma	7	kontroll kukorica						
	93	kontroll lucerna					35	akác					6	akác						
Debrecen	90	akác					36	akác					9	kontroll lucerna						
	91	akác					37	nyár				Jászberény	8	akác						
	92	nyár					38	nyár					53	akác						
	94	akác					39	tölgy					14	kontroll gyepek						
	95	tölgy					40	akác (eleges nyár)				Jászfalu-szentgyörgy	12	nyár						
	96	kontroll legelő					41	nyár					13	tölgy						
	97	nyár				Kecskemét	49	kontroll tarló				Berekfürdő	133	kontroll legelő						
	98	tölgy (eleges)					47	nyár					134	nyár						
Füzesgyarmat	99	nyár					48	akác					136	kontroll kaszáló						
	100	kontroll tisztás (réti)					61	kontroll felhagyott szántó				Abádszalók	135	nyár						
	101	tölgy					43	akác												
	106	kontroll napraforgó				Nyárlőrinc	44	tölgy				Tiszadarnas	137	nyár						
Bélmegyer	105	nyár					45	akác					138	nyár						
	107	akác					46	nyár												
	108	kontroll szántó					50	nyár				Kunhegyes	124	kontroll repcetarló						
Cyulavár	82	kontroll parlag				Pusztaszer	54	kontroll parlag					125	nyár						
	83	nyár					55	akác					126	nyár						
	84	akác																		
	81	tölgy																		
	89	kontroll																		
Cyulai Városerdő	85	nyár																		
	86	akác																		
	87	tölgy																		
	88	tölgy																		

Az ábrán a mintaterületek elhelyezkedése látható az Alföldön, a táblázat pedig az ábrával azonos számozással kistáj szinten besorolva mutatja az összes vizsgált erdőtagot és kontroll parcellát, kiemelve a talajvíz monitorozott ellátott helyeket.

Így adatbázisunk újabb tényezővel bővült, amellyel a hosszantartó erdősisítés, illetve a fiatal erdő talajmódosító hatásainak különbségeiről nyerhetünk információt.

A terepi és laboratóriumi mérési módszerek összefoglaló táblázata

	PARAMÉTER	MÉRÉSI METÓDUS	
		Terepi	Laboratóriumi
1	klimatikus tényezők		
A	csapadékmennyiség	mérés meteorológiai állomással (5 db kiválasztott monitoring kút esetén, 15 percenkénti adatrögzítéssel)	
B	szélsebesség		
C	relatív páratartalom		
D	sugárzási egyenleg		
E	léghőmérséklet		
2	hidrogeológiai tényezők		
A	geomorfológiai helyzet		
	sekély vagy mély talajvíz	megütött és nyugalmi talajvízszint meghatározása	
	talajvíz időbeni ingadozása (rövid távú, hosszú távú)	18 mintaterületen folyamatos talajvízszint monitoring (talajvíznyomás szenzor, 15 percenkénti adatrögzítés) - idősoros talajvízszint adatok	
B	kőzettani sajátosság		
	víztartó, vízáteresztő tulajdonság	k-tényező (szivárgási tényező) meghatározása talajfuratból visszatöltődéses módszerrel (csak a monitoring kutak esetében) - effektív porozitás kiszámítása	
			a talaj szemcseösszetételének meghatározása pipettás módszerrel (csak a monitoring kutak esetében), hy1 (higroszkóposság) meghatározása (minder talajminta esetében) *
C	talajvíz kémiai összetétele	EC, pH (minden talajvíz minta esetében)	EC, pH, pNa, pCl (minden talajvíz minta esetében), anion és kation vizsgálat (csak a monitoring kutak esetében)
3	biológiai tényezők		
A	párolgási kapacitás: magas, pl: erdő; alacsony, pl: gye	erdő állományfelmérés (egységnyi területen a fák magasságának és mellmagassági törzskerületének felvétele) - dendromassza kiszámítása (fatérfogat függvény alapján, a fafaj, a magasság és a törzsátmérő ismeretében)***	
B	sótűrő képesség: sótoleráns, sóérzékeny növény		szakirodalomból
4	talajtani tényezők		
A	EC	pH és EC mérő elektród (1:2,5 talajszuszpenzióból)	
B	pH(H2O)		
C	pNa		ionszelektív elektród (1:2,5 talajszuszpenzióból)
D	pCl		
E	CaCO3		Scheibler-féle kalciméter
F	szerves C		Tyurin módszer

*: ez jelzi a talaj vízmegkötő képességét, ami szemcseösszetételével arányos

**: pNa, pCl: az adott ion (Na, Cl) koncentrációjának negatív, 10-es alapú logaritmus

***: ebből következtethetünk az adott erdő által a talajvízből felhasznált és elpárologtatott víz mennyiségére

Vizsgálati anyag

Vizsgált tényezők

1, FAFAJ

Jelenleg az Alföld fásításának leggyakoribb fafajai a **kocsányos tölgy** (*Quercus robur* L.), a fehér **akác** (*Robinia pseudoacacia* L.) és különböző **nyárfafajok** (*Populus alba*, *P. × canadiensis* Moench). Ezeket a fajokat különböző növekedési erély, vízfelvétel, gyökérmorfológia (CROW, 2005) és talajigény jellemzi. A sótűrő képesség feltételezett sorrendje a különböző fajok közt a következőképpen alakul: *Q. robur* > *P. species* > *R. pseudoacacia*, de mindhárom faj rendelkezik bizonyos sótűrő képességgel (UMES, 2004)

2, ÜLTETVÉNYKOR

A sófelhalmozódást befolyásoló további biológiai faktor az ültetvény kora. Ez a tényező meghatározza a gyökérmélységet, a növekedési erélyt, ezzel összefüggésben a vízfelvételt, és idővel növekvő felszín alatti sófelhalmozódást okoz (BAZYKINA, 2000).

3, A TALAJVÍZ MÉLYSÉGE

Meghatározza, hogy az állomány fel tudja-e venni a növekedéséhez szükséges optimális vízmennyiséget, illetve irányítja a sófelhalmozódás talajszelvényen belüli megjelenési mélységét.

4, A TALAJVÍZ SÓTARTALMA

Befolyásolja a sófelhalmozódás mértékét, ionösszetétele megmutatja, hogy a terület szikesedésre érzékeny-e.

5, A TALAJ FIZIKAI FÉLESÉGE

A talaj vízháztartását, illetve a felszín alatti vízáramlás irányát horizontálisan és vertikálisan is meghatározza, így a vízfelvétel és sófelhalmozódás szempontjából kulcsfontosságú talajtényező.

A terepi felmérések és laboratóriumi vizsgálatok eredményeiből felépített adatbázis strukturálva tartalmazza a talajok kémiai (EC, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, pNa, pCl, CaCO_3 és szerves C profilok) és fizikai (hy1 érték és szemcseösszetétel, k-tényező) mutatóit, a talajvizek (EC, pH, anion és kation összetétel, megütött talajvíz szint) adatait, illetve a biológiai paramétereket (fafaj, ültetvénykor, dendromassza).

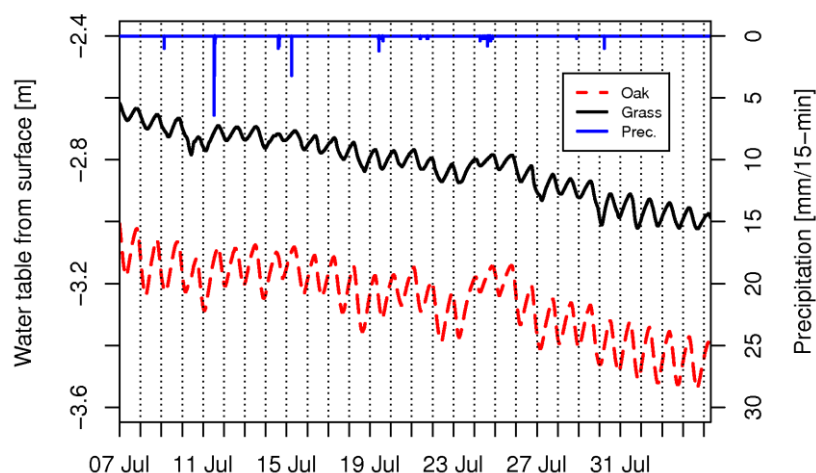
Az egyes erdőtagok esetében a LANDSAT műholdfelvételek adatai alapján számított vegetációs indexek (NDVI, EVI, SAVI, LAI) és a dendromassza közötti összefüggéseket is megvizsgáltuk.

Az eredmények értékelése

- Az Alföldön a korábbi lágyszárú vegetációjú (füves) területek helyét elfoglaló erdők erőteljes hatást gyakorolnak a talajtani közegre, a talajvíztükör szintjére és mozgására. Az erdő nagyobb dendromassza tömege nagyobb párologtatást (ET, evapotranszpiráció) idéz elő, melyhez – szárazabb (szubhumid) területeken - már nem elég a csapadékból származó vízmennyiség, a vizet az erdő mélyre nyúló gyökerei révén a talajvízből vonja ki (ET_{tv}= talajvízből történő párologtatás, kiszámítása napi talajvízszint változás alapján). Mivel a faállományok vízfelvétele

meghaladja a szomszédos lágyszárú vegetáció (kontroll) vízfelvételét, az erdők (bizonyíthatóan a nyár és tölgy) alatt talajvíz depresszió alakul ki: Az esetek (n=66) 78,8%-ában a terepszinttől mért talajvízszint mélyebben volt az erdők alatt, mint a szomszédos kontroll területek alatt.

Esettanulmány: 2012 júliusában végzett vizsgálatunk alapján tölgyerdő és a mellette lévő legelő esetében az erdő alatt a talajvíz szint 0,44 m-rel mélyebben volt, és a talajvíz napi ingadozása duplája volt a legelő alatt kimutathatónak. Tehát az erdő több talajvizet vesz fel és használ el, mint a lágyszárú vegetáció, talajvíz depressziót előidézve az állomány alatt.



Terepszinttől számított talajvíz szint két különböző vegetációs típus (tölgy és legelő kontroll) esetén.

A felső kék vonal a csapadék mennyiségét és időbeli eloszlását mutatja.

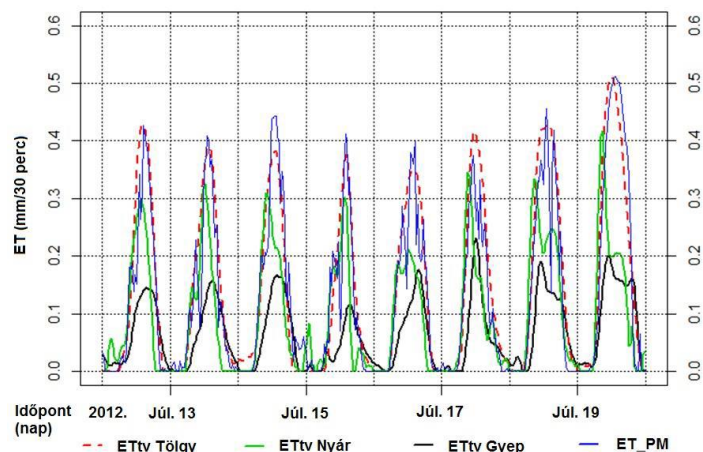
Megfigyelési időszak: 2012. július 7- augusztus 4., Jászfelsőszentgyörgy
(tölgy: 13. pont, kontroll: 14. pont)(GRIBOVSKI et al. 2012.)

- A vízfelvételt befolyásolja, hogy a mintaterület megcsapolási vagy beszivárgási zónában található, illetve hogy milyen fafajról van szó (eltérő vízigény).

(Esettanulmány: Az Alföldön telepített két minta állomány 2 hónapos talajvízszint adatai alapján végzett vizsgálat: telepített nyár állomány és a szomszédos kukorica ültetvény megcsapolási területen, illetve akác állomány és a szomszédos kukorica ültetvény beszivárgási területen helyezkedik el:

ETtv nyár: 3,6 mm/nap, ETtv kukorica: 0,0 mm/nap, mivel a nyár mélyre nyúló gyökerei elérték a 3,1-3,3 m mélységben lévő talajvizet, a kukoricáé pedig nem. A nyár ültetvény alatt talajvíz depresszió alakult ki, így a talajvízszint kiegyenlítődésére a megcsapolási területen lokálisan talajvízáramlás indult meg.

ETtv akác: 0,7 mm/nap, ETtv kukorica: 0,0 mm/nap; ebben az esetben, bár az akác gyökerei képesek voltak talajvíz felvételre, a beszivárgási zónában nem alakult ki laterális talajvízáramlás. Az állomány igen fiatal volt, sekély gyökézzettel, így párologtatása jóval a nyár állományé alatt maradt.)



30 perces talajvízszint változás alapján számított ET (ETtv) összevetve a Pennman-Monteith módszer szerint számított ET-vel (ET_PM) a jászfelsőszentgyörgyi mintaterületen (nyár: 12. pont, tölgy: 13. pont, kontroll: 14. pont), Megfigyelési időszak: 2012. július 12-20 (GRIBOVSKI 2013)

- A vegetáció típusa befolyásolja az adott területen nem csak a víz-, de a sóháztartást is. A nagyobb talajvíz felvétellel együtt felmerül a fák gyökérzónájában a sófelhalmozódás problémája, hiszen a talajvízben oldott anyagokat a fák gyökerei lassabb ütemben veszik fel, mint a vizet. A faültetvények telepítése a talajvíz sótartalmát kis mértékben növeli. Az esetek (n=68) 52,9 %-ában volt tapasztalható, hogy az erdőtag alatt a talajvíz sóartalma nagyobb volt, mint a kontroll talajvízé. Az erdő alatt a talajban a sók koncentrálódnak és hosszútávon sófelhalmozódási zónát hozhatnak létre. Az esetek (n=68) 52,9 %-ában volt kimutatható a sók feldúsulása a teljes szelvényben. Az erdők esetén a sók feldúsulása az altalajra volt jellemző, a lágyszárú vegetáció esetén pedig a feltalajra (0-1,5 m).

Az erdő és kontroll talajok EC különbségének (Δ) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) leíró statisztikája a teljes szelvényben, illetve feltalaj (0-1 m) és altalaj (1-talajvíz szintig) bontásban a teljes adatbázis adatainak felhasználásával („C” tervezett publikáció táblázata)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
ΔEC (mikroS/cm) erdő-kontroll átlag	71	-517,90	1301,40	69,2324	260,94934
ΔEC (mikroS/cm) erdő-kontroll átlag 0-1 m (feltalaj)	71	-1335,00	768,50	-94,5789	309,52249
ΔEC erdő-kontroll átlag 1 m-tvsz (altalaj)	71	-451,50	1904,30	154,6479	368,34656

A vizsgált talajszelvények kis sótartalmúak voltak, a teljes adatbázis (n=108) sómaximumainak 27%-a érte el a közepes sótartalmú kategóriát. Megállapítható, hogy az erdőtelepítés növeli a talaj átlagos sótartalmát, de ez nem éri el azt a szintet, ami veszélyeztethetné az erdő állományok fennmaradását.

Az erdősítés által indukált folyamatok példája jászfelsőszentgyörgyi esettanulmány alapján (tölgy: 13. pont, kontroll: 14. pont) (GRIBOVSKI et al. 2014)

Paraméter	Tölgyerdő	Legelő	Folyamat
EC talajvíz (μS/cm)	1023	960	A talajvíz sókoncentrációja növekszik az erdő alatt
EC feltalaj 0-20 cm	272	145	sók feldúsulása a feltalajban
EC altalaj 300-350 cm (μS/cm)	204	134.9	sók feldúsulása az altalajban
Talajvíz szint [mBf]	101.5	102.4	Talajvízszint depresszió az erdő alatt
Talajvíz mélység terepszinttől (m)	3.26	2.82	A talajvíztükör süllyedése az erdő alatt
Napi talajvíz ingadozás (cm)	16	7.2	Nagyobb talajvíz felvétel az erdőben

A dendromassa és ΔEC (mikroS/cm) erdő-kontroll átlag közötti korrelációs koefficiens értékét bemutató táblázat jelzi a vizsgálat sorozat során tapasztalt egyik legfontosabb megfigyelésünket („C” tervezett publikáció táblázata)

Minta	N	Korrelációs koefficiens	Szignifikancia szint	Talajvízszint (m)	Talajvíz EC (ms/cm)	Erdő kora (év)
Összes erdőtag	70	0,22	0,067			
Nyár	28	0,42	0,026	5,8	1,32	20
Tölgy	18	0,152	0,547	7,1	2,32	48
Akác	23	0,248	0,253	6,1	1,07	25

A vizsgált fafajok hatása jelentősen eltért a talajvízből való sófelhalmozódás szempontjából annak ellenére, hogy a talajvízszint és talajvíz elektromos vezetőképessége (kivéve tölgy kontra akác) és kor (kivéve tölgy) szempontjából nem volt szignifikáns eltérés. Csak a nyár esetén figyeltünk meg jelentős hatást, amit a nyár kiemelkedő vízfogyasztásával magyarázunk.

Ennek megfelelően azok a regressziós egyenletek, amelyek az erdő és kontroll talajok EC különbségét (ECA mikroS/cm) jelezték elő fafajonként nagyon eltérőek voltak. Lépcsőzetes (stepwise) független változó (Budyko ariditási index-dimenzió nélkül (BAI), hy1 átlagos értéke (%) (hy1á), Talajvízszint, Talajvíz EC (mikroS/cm) (TVEC), Az erdők kumulatív kora, Az erdőtag kora, Az évi csapadékmennyiség, Tengerszint feletti magasság (m) (TSZF) beléptetéssel csupán a nyár esetén tapasztaltunk erős összefüggést több változóval, ami a következő alakban határozható meg:

Nyár esetén: $ECA = 2573 \cdot BAI + 112 \cdot hy1á + 4,926 \cdot TSZF - 3978$ || $R = 0,78$

Tölgy esetén: $ECA = 0,090 \cdot TVEC - 129$ || $R = 0,658$

Akác esetén nem lehetett regressziós egyenletet felállítani lépcsőzetes független változó beléptetéssel.

Hasonlóképpen, amikor a függő változó az erdők dendromasszája (m^3/ha) (DM) volt a következő regressziós egyenleteket számoltuk és az algoritmus az erdők kora (év) (EK), a talajvízszint mélysége (m) (TVM), a talajvíz EC értéke, az átlagos hy1, a pH és $CaCO_3$ maximális mennyisége, mint független változók közül válogatható.

Nyár esetén: $DM = 370 - 26 \cdot TVM$ || $R = 0,414$

Tölgy esetén: $DM = 7,439 \cdot EK - 135$ || $R = 0,768$

Akác esetén nem lehetett regressziós egyenletet felállítani lépcsőzetes független változó beléptetéssel.

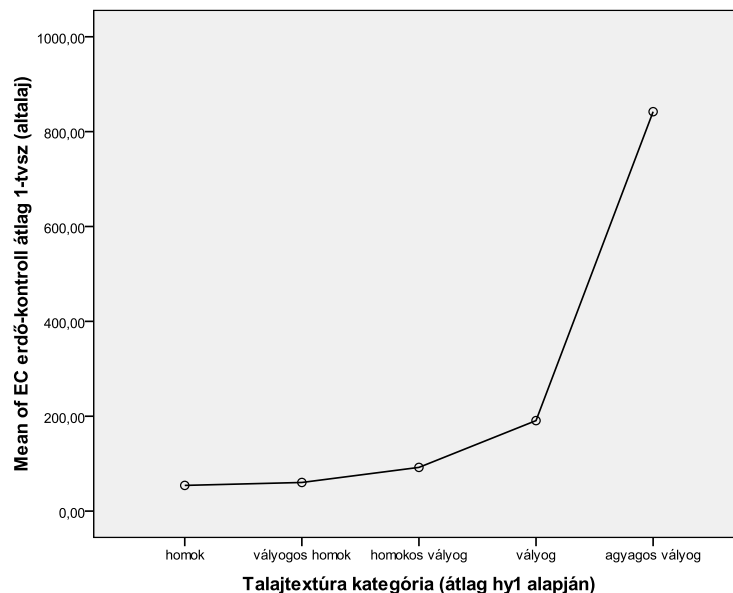
- Kimutattuk, hogy a talajvíz ingadozási zónájában a talaj textúrája befolyásolja az erdőállomány talajvízből történő vízfelvételét. Igazoltuk, hogy a durvább talajtextúrájú és kisebb talajvíz sótartalommal rendelkező területeken telepített erdőállományok kevésbé érzékenyek az erdőtelepítés hidrológiai hatásaira. A durvább textúra osztályok (durva homok és homok) korlátozzák a növények nettó talajvíz felhasználását, ennek következményeképpen:

- i) kevésbé jellemző a sófelhalmozódás,
- ii) kisebb a talajvízszint csökkenés mértéke, és
- iii) nem vagy alig mutatható ki talajvízszint fluktuáció.

(TÓTH et al. 2014.)

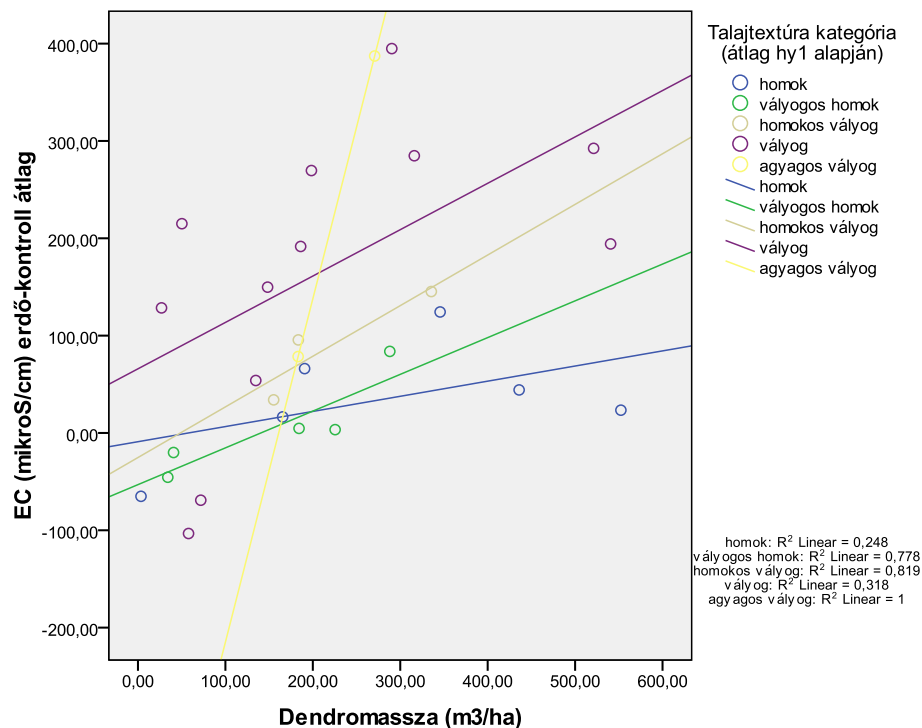
Jelentős eltérés volt az egyes fafajok között. Ismét a nyár esetében tapasztaltuk a legszorosabb összefüggéseket.

Az ábra megmutatja, hogy a talaj-altalaj fizikai félesége milyen összefüggésben van a kontrollhoz viszonyított sófelhalmozódással. Az agyagtartalom növekedésével együtt erősen nő a felszín alatti sófelhalmozódás.



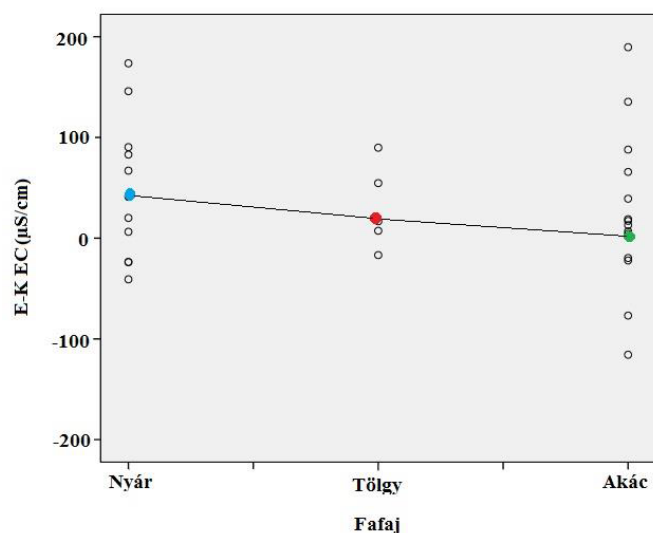
Összefüggés a talaj (és altalaj) mélységben átlagolt fizikai féleség kategóriája és a nyárerdő és kontroll talajok EC különbsége között („C” tervezett publikáció ábrája)

Ugyancsak a nyár esetén szoros összefüggés mutatkozott a fatömeg és a kontrollhoz viszonyított sófelhalmozódás között, amit a talajtextúra (nyár erdőtagok esetén homok: 6, vályogos homok: 5, homokos vályog: 3, vályog: 12, agyagos vályog: 2 eset) egyértelműen befolyásol. Növekvő agyagtartalomhoz növekvő sófelhalmozódás köthető. Az ábrán a kis elemszámú osztályokra illesztett egyenesek a várttól eltérő tendenciát mutatnak.

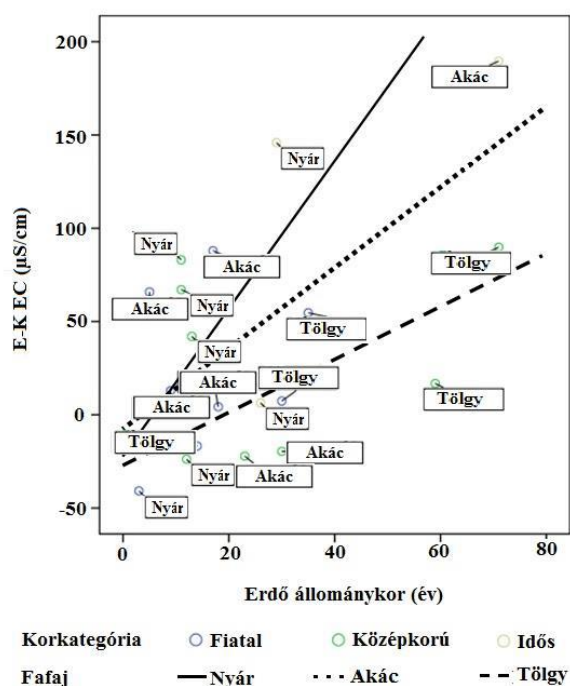


Összefüggés a nyárfatömeg és a nyárerdő és kontroll talajok EC különbsége között a talaj (és altalaj) mélységben átlagolt fizikai féleség kategóriája függvényében („C” tervezett publikáció ábrája)

- A talajvízszint vizsgálati eredményeink megmutatták, hogy a nyugalmi időszakban a lombhullatás miatt csökkenő ET, illetve az őszi csapadékos időszak együttes hatására lefelé irányuló mély csapadék-beszívargás eredményezi a sók kimosódását, illetve esetenként a talajvíz áramlási irányának megfordulását. Ezért a sófelhalmozódás nem olyan mértékű, mint melegebb és szárazabb klimatikus körülmények között, pl. Argentína pampáin és gyors növekedésű, örökzöld fenyő és eukaliptusz erdőiben. Magyarországon a talajvíz sótartalma is sokkal kisebb volt, mint az argentin mintaterületen, ami szintén hozzájárult a kisebb mértékű sófelhalmozódáshoz. Argentínában – negatív klimatikus vízmérleg mellett - nagyobb az ültetett (örökzöld) állományok párologtatása (300 mm/év) és az év folyamán egyenletesebb is, így a talajvíz szintben megfigyelhető időbeli fluktuáció kisebb. Ezzel párhuzamosan a nagy növekedési eréllyel jellemezhető erdőállomány vízfelvétele 1100-1500 mm/évre tehető, így az erdő és a kontroll terület talajvízszint különbsége akár a 75 cm-t is elérheti. A teljes évben többnyire felfelé irányuló talajvízmozgás a sófelhalmozódási folyamatok számára kedvez. Minél negatívabb a terület vízmérlege, annál nagyobb mértékű sófelhalmozódás azonosítható. A sófelhalmozódás szelvényen belüli mintázata megegyezett a magyar és argentin területeken, a kontroll esetében a sómaximum a feltalajban, erdő esetében pedig az altalajban volt megfigyelhető, ami utal a gyökérszóna hatására a sófelhalmozódási mélység kialakításában.
- Vizsgáltuk a fafaj és az állománykor hatását a talaj sófelhalmozódására: a telepített erdők esetében a dendromassza pozitív összefüggést mutatott a talaj sófelhalmozódásának mértékével, amit a fafaj (nyár > tölgy > akác) és az állománykor befolyásolt. A három vizsgált fafaj között megmutatkozó különbségek a fák eltérő növekedési erélyével és párologtatásával mutatnak összefüggést. A sófelhalmozódás mértékét a fafajok eltérő, kumulatív vízfelvétele is befolyásolta.



Az erdő és kontroll terület talajának EC-különbsége eltérő fafajú ültetvények esetén (N=31)
 [Az ábra SPSS 11,5 programban létrehozott Post Hoc Test, Többszörös összehasonlítás (tölgy-akác, nyár-akác, nyár-tölgy) során létrejött átlagok ábrázolása és Nemparaméteres korreláció (kétváltozós Erdő EC-Kontroll EC és fafaj) eredménygrafikonjainak ötvöztetésével készült.] (BALOG, 2014.)



Az állománykor és az erdő és kontroll talajszelvény átlagos EC értéke közötti különbség pontdiagramja, fafajonként illesztett regressziós egyenessel.

A számított korrelációs koefficiens a két változó összes adatára vonatkozóan 0,466* (szignifikancia=0,044).

- A terepen mért dendromassza és a műholdképek alapján kiszámolt vegetációs indexek összefüggésvizsgálata („B” tervezett publikáció része):
 A Landsat 7 ETM SLC-off és Landsat 8 OLI / TIRS műhold felvételeket korrekció után alkalmaztuk különböző vegetációs indexek (NDVI, EVI, SAVI, LAI) kiszámításához. A vegetációs indexek kalkulációja megtörtént egyrészt azokra a pixelekre, melyeken az adott mintavételi pont található, másrészt a mintaterületet körülvevő 8 pixellel együtt számított átlagértékekre is (3x3 pixeles mátrix). Ezeket hasonlítottuk össze statisztikai vizsgálatban a terepi állományfelmérésből

származó dendromassza adatokkal. A számításokat több évre (2006, 2010 és 2015) vonatkozóan végeztük el, hogy az állományok növekedéséről információt nyerjünk.

Az összes mintavételi helyet tekintve a vegetációs indexek és a dendromassza között nem volt statisztikailag erős kapcsolat.

Régiónkénti leválogatással két területen találtunk összefüggést:

A Berettyó-Körös vidéken ($n=24$) a dendromassza a legerősebb kapcsolatot az NDVI 2010 évre 9 pixel átlaga alapján számolt értékével mutatta (Spearman-féle korrelációs együttható (Spe): 0,517, szignifikancia szint (p): 0,01). Az NDVI és SAVI értékekkel pozitív összefüggést találtunk, a LAI-val pedig negatív.

A Közép-Tisza vidéken ($n=15$) az NDVI és SAVI 2010-re 9 pixel átlagértéke alapján számított értékével mutatott korrelációt a dendromassza (mindkét esetben Spe: 0,547, p : 0,05).

Fafajonkénti csoportképzés után a következő összefüggések mutatkoztak:

előzetes várakozásainkkal ellentétben nyár erdők esetén ($n=28$) nem mutatható ki kapcsolat a vegetációs indexek és a dendromassza között.

tölgy erdők esetén ($n=16$) a dendromassza az NDVI-vel, SAVI-val (2006 évi, 1 pixelre számított érték) és LAI-val mutatott szignifikáns kapcsolatot (Spe: -0,579, p : 0,05)

akác erdők esetén ($n=25$) a dendromassza csak a LAI 2015 1 pixelértékkel áll kapcsolatban (Spe: 0,478, p : 0,05).

Ezek alapján az NDVI és SAVI értékek lennének alkalmasak arra, hogy további vizsgálatnak vessük alá őket.

A műholdfelvételekkel végzett vizsgálatnak sok nehézsége van: a műholdfelvétel ideje meghatározott, ritkán esik egybe a terepi felvételezéssel, a növényzetborítottság mértéke (kontrolloknál aratás, illetve helyenként időszakos felszíni vízborítás), egyéb talajhibák és felhőtakarás mind hibaforrásként szolgálnak. Mivel az összefüggések statisztikailag szignifikánsak, de gyengék, eltérő évekre és csak bizonyos régiókra mutatnak korrelációt, úgy véljük a műholdfelvételek alapján a dendromassza növekedésére illetve ezzel kapcsolatosan a sófelhalmozódásra megfelelő pontosságú eredményt nem tudunk elérni.

- Az erdők sűrű gyökérzete által termelt, illetve a lombhullatók avarbomlásból származó savas komponensek csökkentik a feltalaj pH-ját, ezzel párhuzamosan elősegítik a kalcium-karbonát oldódását. Az esetek ($n=71$) 77,5 %-ában figyelhetjük meg a feltalaj pH-jának csökkenését az erdő alatt.
- Ezzel párhuzamosan a vizsgált erdők ($n=48$) feltalajában (0-1 m) a humusztartalom nagyobb az esetek 68,8%-ában, mint a szomszédos kontroll vegetációban. Ásványtani vizsgálattal megállapítottuk a korábban bemutatott tölgyerdő és kukorica kontroll ültetvény vizsgálatán keresztül, hogy az erdő feltalajában növekszik a növényi törmelék mennyisége (0-20 cm: erdő 15, 82 %, kontroll: 2,3%-ban fedi a szemcsék felületét növényi törmelék) (BALOG et al, 2013).
- Vas-hidroxid akkumuláció mutatható ki a folyamatosan tölgyerdővel borított terület feltalajában (0-20 cm: erdő 10,46%, kontroll: 5,83%-ban fedi a szemcsék felületét limonit réteg) (BALOG et al, 2013).
- Az erdővel huzamosan fedett területen az intenzívebb mállás miatt a kvarc/földpát arány nagyobb, mint a füves kontroll területeken. A szemcsemorfológiailag éles-hegyes szemcsék szintén az „in situ” felaprózódást jelzik, ami az erdő alatt inkább biológiai, míg a kontroll területeken kifagyásos jellegű. Az ásványi szemcsék morfológiai vizsgálata bizonyította, hogy az erdőkben a kifagyási folyamatok mérsékeltebbek, mint a nyílt gyepterületeken, amiből az erdő mikroklimatikus kiegyenlítő hatására is következtethetünk (BALOG et al, 2013).

- A fent ismertetett, a sófelhalmozódásra és dendromasszára vonatkozó prediktív (regressziós) egyenletek jelentős mértékben eltérnek fajonként. Ezek általános alkalmazhatóságát tovább vizsgáljuk és a tervezett közleményünkben ezt a kérdést tekintjük a legfontosabbnak.

Változtatások az eredeti projekttervhez képest (A weblapon közöltek karakterszámokkal nem korlátozott kifejtése)

- Az eredeti tervek alapján 108 db erdő esetében végeztünk volna fúrásokat. A fúrásokhoz a költségvetési tervet a folyóméterenkénti ár alapján végeztük el. Mivel a talajvízszint a legtöbb esetben jelentősen mélyebben volt, mint az erről tájékoztató MÁFI térképek jelezték, emiatt a fúrásokra szánt összeg csupán 71 db erdő talajának feltárására volt elegendő.
- A sófelhalmozódás dinamikájáról szóló új hipotézisünket (nyugalmi időszak kiűgázás, talajvíz áramlás irányának változása a vegetációs és nyugalmi időszakok között) csak hosszútávú talajvíz adatsor kiértékelésével tudjuk tesztelni, így az eredetileg tervezett kút áthelyezések helyett a monitoring kutak átrendezése és a hálózat anyagi kereteken belül megengedett kibővítése mellett döntöttünk. Továbbá kiterjesztettük az adatgyűjtést a téli időszakokra is. Így nem csupán két, de több mint három éves időszakok is rendelkezésre állnak.
- Nem vizsgáltuk laboratóriumban a kontroll területek növényzetét. Mivel a kontroll területek leg többjén évente változott a termesztett haszonnövény, a széntartalom, biomassza és terméshozam ezen egynyári növények esetén nem mutatott volna olyan stabil értéket, amihez hasonlítani tudtuk volna az erdőben mért adatainkat.

Szakmai egyeztetések, rendezvények

- A két kutatócsoport közötti együttműködés: A projekt magyar kutató tagjai közül Tóth Tibor (2013) illetve Gribovszki Zoltán (2014) volt egy-egy alkalommal Argentínában, onnan pedig Esteban Jobbágy (2013) volt egy alkalommal Magyarországon az eredmények kiértékelése miatt, melyből egy impakt faktoros közös publikáció is született (Tibor Tóth, Kitti Balog, András Szabó, László Pásztor, Esteban G. Jobbágy, Marcelo D. Nosetto and Zoltán Gribovszki, Influence of lowland forests on subsurface salt accumulation in shallow groundwater areas, AoB PLANTS (2014): plu054 doi: 10.1093/aobpla/plu054)
- Eredményeinket széles körben tártuk a nemzetközi és hazai kutatóközönség elé: 2013-ban a munkacsoportunk által megrendezett nemzetközi rendezvény: COST Action FA0901 Workshop and Conference ("Utilization and protection of halophytes and salt-affected landscapes" September 4-6, 2013, Kecskemét, Hungary) keretén belül bemutattuk a pusztaszeri talajvízszint monitoring állomáspár (54. pont: kontroll, 55. pont: akác erdő) működését a kiskunsági terepi kirándulás egyik bemutatóhelyeként, illetve szóbeli angol nyelvű előadásban és poszteren ismertettük legújabb eredményeinket. 2014-ben a Talajtani Világkongresszuson (Korea) és a 3. Szikesedési Fórumon (USA), valamint a magyar Talajtani Vándorgyűlésen (Keszthely) is beszámoltunk tudományos eredményeinkről.

Eredmények tudományos hasznosítása

- A pályázat eredményeiből felépített adatbázis, illetve talajvízszint monitoring adatok alapján Szabó András PhD dolgozatot fog készíteni várhatóan a jövő évben.

- A Jaeni Egyetem Ph.D. hallgatója, Juan Manuel Peragon doktori fokozat szerzéséhez megkívánt külföldi szakmai gyakorlat keretében kutatócsoportunkkal vizsgálta a LANDSAT felvételek alapján számított vegetációs index értékek (NDVI, EVI, SAVI, LAI) és az általunk végzett állományfelmérés terepi adataiból számított dendromassza közti kapcsolatot.
- Az projekt eredményeiből eddig 2 szakdolgozat készült:
- Balog Kitti 2014. Alföldi telepített erdők hatása a talaj só- és vízforgalmára, 2014. Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Talajvédelmi szakelőadó, levelező posztgraduális képzés
 - Bátor Hajnalka 2014. Jászsági telepített erdők hatása a szénforgalomra és a talajvíz időbeni változására, Óbudai Egyetem, Rejtő Sándor Könyvűipari és Környezetmérnöki Kar, Környezetmérnöki Intézet, B. Sc. diploma
- Folyamatosan egyeztetünk az ERTI-vel, illetve a Nyírerdő Zrt-vel, a KEFAG-gal és NEFAG-gal. A jövőben tervezzük, hogy a vonatkozó területek adatait, illetve a sófelhalmozódást becslő modellt részükre megküldjük.
 - A projekt keretében kiépített talajvízszint monitoring hálózat (30 db monitorozásra kiképzett furat, melyből jelenleg 18 db talajvíznyomás szenzorral felszerelt), ezen felül 5 db meteorológiai állomás, mely a csapadékmennyiségnek, napsugárzásnak és hőmérsékletnek, illetve a széliránynak mérésére alkalmas, a pályázat zárása után az ERTI mérőhálózatának részét fogja képezni. Ily módon biztosított lesz az erdők hosszú távú hatásainak megfigyelése, mely az erdészeti kutatások számos vitatott kérdésére adhat majd választ.
 - Az adatok tudományos kiértékelésében és publikálásában a projektrésztvevőkön kívül a Nyugat-magyarországi Egyetem Termőhelyismerettani Tanszékéről Bidló András is részt vesz, ami lehetőséget biztosít az eredmények felsőoktatásban történő hasznosulására.
 - A projekt keretében gyűjtött adatok egy része (a talaj pH-ja, szerves széntartalma és mésztartalma, a talajvízszint idősoros adatok, a klímaadatok és az állománykor) képezi alapját Balog Kitti, Tóth Tibor témavezetésével elnyert MTA Posztdoktori pályázatának. (Pályázat címe: Az erdősítés hatására kialakult sekélyföldtani folyamatok azonosítása talaj és talajvíz adatbázis alapján; Időtartama: 2015. szeptember 1 - 2017. augusztus 31.).

Folyamatban lévő publikációk

- (A) NORBERT MÓRICZ, TIBORTÓTH, KITTI BALOG, ANDRÁS SZABÓ, ZOLTÁN GRIBOVSZKI. 2016. Groundwater Evapotranspiration of Forest and Agricultural Land Covers in Regions of Recharge and Discharge. iForest. benyújtva.
- (B) JUAN MANUEL PERAGON. 2016. Az NDVI, EVI, SAVI, LAI értékek és a dendromassza közti kapcsolat alföldi erdőtagok példáján. (tervezett cím) Előkészületben.
- (C) TELJES KUTATÓCSOPORT. 2016. A talajviszonyok szerepe alföldi erdőtagok sófelhalmozódásában. (tervezett cím) Előkészületben.

Forrásirodalom

BALOG K., KALMÁR J., KUTI L., SZABÓ A., FODOR N. és TÓTH T. 2013. Homokos talajok összehasonlító ásványtani és szemcsemorfológiai vizsgálata tiszántúli erdős és füves területeken, AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 62 (2013) 2, 267–284.

BALOG K. 2014 Alföldi telepített erdők hatása a talaj só- és vízforgalmára, szakdolgozat, SZIE MEZŐGAZDASÁG- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR

BAZYKINA, G. S., 2000. Ecological assessment of meadow-chestnut soils of the solonetzic complex ameliorated by means of afforestation in nonirrigated conditions in the Northern Caspian Region. *Pochvovedenie*. 11. 1340–1348

CROW, P., 2005. The influence of soils and species on tree rooting depth. Forestry Commission Information Note. November 2005. 8.

GRIBOVSKI, Z., BALOG, K., FODOR, N., SZABÓ, A. AND TÓTH, T. 2012. Impact of lowland forests on water table in shallow groundwater areas of the Hungarian Great Plain, International conference, Catchment processes in regional hydrology: from experiment to modeling in Carpathian drainage basins Sopron, Hungary, 28-30 October 2012

GRIBOVSKI, Z., KALICZ P., BALOG K., SZABÓ A., TÓTH T. 2014. Comparison of an Oak Forest and of a Pasture Groundwater Uptake and Salt Dynamics on the Hungarian Great Plain, *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 10, Nr. 1 (2014) 103–114, DOI: 10.2478/aslh-2014-0008

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. 695–705.

NOSETTO M.D., JOBBÁGY M. G., TÓTH T., JACKSON R. B., 2008. Regional patterns and controls of ecosystem salinization with grassland afforestation along a rainfall gradient. *Global Biogeochemical Cycles*. 22 doi:10.1029/2007GB003000

SZABÓ A, KISS K, GRIBOVSKI Z és TÓTH T 2012. Erdők hatása a talaj és altalaj sóforgalmára, valamint a talajvíz szintjére *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN* 61 (2012) 1, vitarovat, 195–209

TÓTH, T., BALOG, K., SZABÓ, A., PÁSZTOR, L., JOBBAGY, E. G., NOSETTO, M. D., & GRIBOVSKI, Z. 2014. Influence of lowland forests on subsurface salt accumulation in shallow groundwater areas. Click for the full article *AoB Plants*.. 2014:6: plu054 doi:10.1093.

UMES (University of Minnesota Extension Service) 2004. Protecting Trees & Shrubs Against Winter Damage. Advocate. Winter 2004