

Óbudai Egyetem
RS Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar
Környezetmérnöki Intézet



ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**JÁSZSÁGI TELEPÍTETT ERDŐK
HATÁSA A SZÉNFORGALOMRA
ÉS A TALAJVÍZ IDŐBENI
VÁLTOZÁSÁRA**

Szerző: **Bátor Hajnalka**
Környezetmérnök BSc. szak, IV. évf.

Konzulens(ek): **Tamásné Dr. Nyitrai E. Cecília** docens
Dr. Tóth Tibor
tudományos tanácsadó
Dr. Balog Kitti
tudományos munkatárs

2014.

TARTALOM

1. BEVEZETÉS	1
1.1 HIPOTÉZIS, CÉLKITŰZÉS.....	1
1.2 TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉS	2
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	4
2.1 A VIZSGÁLT TERÜLET JELLEMZÉSE	4
2.2 FÖLDHASZNÁLAT - VÁLTÁS HATÁSA	5
2.2.1 <i>Fásítás</i>	5
2.2.2 <i>A váltás hatása a talajvízre</i>	5
2.2.3 <i>A szén körforgása</i>	6
2.3 A TALAJVÍZSZINT INGADOZÁS MÉRTÉKÉNEK MEGHATÁROZÁSA.....	10
2.4 A TALAJVÍZ KÉMIAI ÖSSZETÉTELE	11
2.5 A GYÖKÉRZÓNA MÉSztARTALMA.....	12
2.5.1 <i>A gyökérzóna talajának fizikai félesége</i>	12
2.5.2 <i>Szerves szén zóna</i>	13
2.5.3 <i>Szervetlen szén zóna</i>	14
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	15
3.1 MINTAVÉTELI TERÜLETEK KIVÁLASZTÁSA, MÉRÉSI MÓDSZEREK, PARAMÉTEREK	15
3.2 MÉRÉSI MÓDSZEREK	16
3.2.1 <i>Terepi módszerek</i>	16
3.2.2 <i>Laboratóriumi módszerek</i>	19
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	25
4.1 A TALAJ SZERVES SZÉN TARTALMA	25
4.1.1 <i>Jászfelsőlőszentgyörgy</i>	25
4.1.2 <i>Jászberény</i>	26
4.1.3 <i>Jászárákóhalma</i>	26
4.2 A TALAJ KALCIUM - KARBONÁT TARTALMA	27
4.2.1 <i>Jászfelsőlőszentgyörgy</i>	27
4.2.2 <i>Jászberény</i>	28
4.2.3 <i>Jászárákóhalma</i>	29
4.3 A SZERVETLEN SZÉNFORMÁK KORRELÁCIÓS PROFILJA	29
4.4 TALAJVÍZSZINT INGADOZÁS.....	30
4.4.1 <i>Jászfelsőlőszentgyörgy</i>	31
4.4.2 <i>Jászberény</i>	31
4.4.3 <i>Jászárákóhalma</i>	32
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	34
5.1 KÖVETKEZTETÉSEK	34
5.2 JAVASLATOK	35
6. ÖSSZEFOGLALÁS	36
7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	37
8. IRODALOM	38

1. BEVEZETÉS

1.1 Hipotézis, célkitűzés

Az Európai Unió támogatásával Magyarországon az elmúlt évtizedekben jelentős erdőtelepítés folyt. Az erdősítés főként az alföldi, kisebb mezőgazdasági potenciállal rendelkező szántóföldeket, illetve legelő területeket érintette. Az erdőtelepítés a jövőben is nagy területeket kb. 700.000 ha (ANDRASEVITS et al., 2005) fog érinteni. A sekélyen húzó sós, (hidro)karbonátos talajvizű, negatív vízmérleggel¹ rendelkező területeken a fák a vegetációs időszakban felfelé irányuló talajvízmozgást, sófelhalmozódást és karbonátkiválást idézhetnek elő, mely szélsőséges esetben gazdasági kockázatot hordoz. Fafajtól függően ugyanis a gyökérzóna talajának bizonyos só, illetve kalcium - karbonát (CaCO_3) koncentrációja felett a fák telepítése illetve életkörülményei kedvezőtlennek válnak.

Kutatásunkban jászszági mintaterületeken jellemeztük az Alföldön legjellemzőbb telepített fafajok (nyár, akác, tölgy) által a szomszédos kontroll (lucerna, kukorica, legelő) területekhez képest a víz- és szénkörforgásban előidézett változásokat. Három különböző mintavételi helyen (Jászfelsőszentgyörgy, Jászfákóhalma, Jászberény) hét telepített talajvíz monitoring kút idősoros adatain keresztül vizsgáltuk az erdők okozta vízszint - ingadozást az erdő és a kontroll terület között.

Továbbá terepi- illetve laboratóriumi vizsgálatok eredményeiből adatbázist állítottunk össze a talaj és talajvíz kémiai, fizikai tulajdonságai, valamint az erdőállományok biológiai paramétereire vonatkozóan, amelyek a víz- és szénforgalom vizsgálatok alapját képezik.

A fák gyökerei által kibocsátott gyökérsavak, illetve a talajszemcsék között lévő levegőből a beszívargó vízben oldódó szén - dioxid (CO_2) savasító hatására a felszín közelében csökken a CaCO_3 mennyisége. A vízben kevésbé oldódó CaCO_3 az enyhén savas oldat hatására oldatba megy, és a mélyebb talajrétegek felé vándorol. A nagyobb csapadék és / vagy hóolvadás hatására a CaCO_3 lemosódik, és - a talajtani rétegződés, a gyökérzóna morfológiája és a talajvíz ingadozási zóna által meghatározott rétegben - egy felhalmozódási maximumot mutat. A felszín alatti CaCO_3 felhalmozódáshoz a talajvízből kicsapódott CaCO_3 is hozzájárul. Korrelációelemzéssel vizsgáltuk a talaj mésztartalmának, illetve a talajvíz karbonát-, hidrokarbonát- és kalcium tartalmának összefüggéseit.

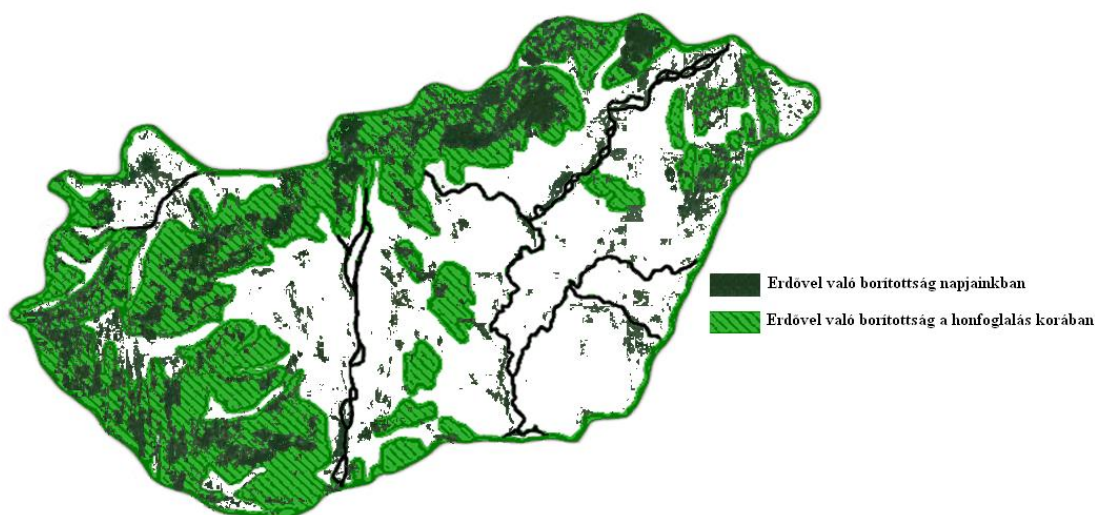
¹ vízmérleg: Egy adott területen a beérkező vízmennyiség térfogatának (légtörzi csapadék, felszíni hozzáfolyás, öntözés, stb.) és a távozó vízmennyiség térfogatának (evaporáció, transzspiráció, felszíni elfolyás, stb.) különbsége. Amennyiben a vízmérleg negatív, a beérkező vízmennyiség kisebb, mint a távozó, ami a növényzetre is hatással van.

A szerves széntartalom tekintetében tanulmányoztuk a mennyiségi különbségeket a fás szárú, illetve a lágyszárú vegetáció (kontroll) között. Elemeztük a szerves széntartalom mélységprofilját és a talaj fizikai típusának (szemcseösszetételének) hatását.

Tanulmányunk célja, hogy ismertesse a fent említett tényezők komplex összefüggéseit, illetve bemutassa a kontroll- és az erdő területek víz- és szénkörforgásának előzetes kutatási eredményeit.

1.2 Történelmi áttekintés

A honfoglalás korában a mai Magyarország területén az erdővel borítottság 85,5% volt. Ez az érték azonban a jelentős erdőirtások miatt 37,2%-ra csökkent, amelyet az 1. ábra szemléltet (MEDZIHRADESKY 1996).



1. ábra. Magyarország erdővel való borítottsága a honfoglalás korában (BARTHA D. et al. (1995) alapján) és napjainkban (Google Earth alapján, 2014)

Ebben az időben legeltetés folyt az erdős sztyeppéken. A letelepedést követően viszont a földművelés vált jellemzővé. A növekvő népességgel megnövekedett az élelmiszer iránti igény is, a művelhető földterületek arányainak növelése érdekében szükségessé vált az erdőirtás, ezért napjainkban a mezőgazdasági térségekre általában jellemző, hogy fában nagyon szegények. Mindemellett Magyarország a trianoni békeszerződés általi területvesztések következtében elveszítette erdőterületei nagy részét. Az erdővel való

borítottság így 11,8%-ra csökkent, ezáltal hazánk Európa egyik erdőben legszegényebb országa lett (NEtP adatai alapján, [http1](#)). Így, főleg az alföldi területeken, a mezőgazdasági szempontból kedvezőtlenebb szántókon és parlagokon – sokszor ott is, ahol a természetes vegetáció soha nem volt erdő (1. ábra) – erdőtelepítésekbe kezdtek. Az erdőtelepítések sokrétű várható hatása miatt feltétlen szükséges azok felmérése, tanulmányozása, s a hatótényezők összefüggéseinek feltárása, mivel a számos előny mellett némi kockázattal is számolni kell. A fák a nagyobb lombfelületük miatt nagyobb párologtató képességűek, így több vizet vesznek fel a talajvízből, mint a mellettük lévő, általunk is vizsgált kontroll területek, melyek az erdősítés előtti állapotot hivatottak tükrözni. Ez komoly problémákhoz vezethet a légyszárú vegetáció dinamikus fejlődése szempontjából, mert a talaj hidrológiai potenciálja kiegyenlítődésére törekszik, így a nagyobb hidrosztatikai nyomású terület felől a kisebb felé áramlik a talajvíz, tehát a kontroll felől az erdő felé. Ez a kontroll területek elégtelen vízellátását idézheti elő. A fák tovább növelhetik a talajvíz karbonát (só) koncentrációját, ami a talajban erősebb vízmegkötést eredményezhet. Így ezeken a negatív vízmérleggel rendelkező területeken csökkenhet a növények számára rendelkezésre álló víz mennyisége.

Az összefüggő állami területeken kívül magánterületeken is folynak fásítások különböző személyes érdekek miatt, amely csekély kontrollálhatósága miatt szintén aggodalomra adhat okot (HALUPA, 1964). Mivel egy magánerdő szomszédságában lévő, más magánszemély által birtokolt szántóterület vízellátását az erdő alapvetően befolyásolja, ezért már gazdasági szempontból is (terméscsökkenés, öntözés pluszköltsége, stb.) elengedhetetlen az erdősítés hatásának feltárása.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A vizsgált terület jellemzése

Az általunk vizsgált járszági terület sík, tengerszint feletti magassága 85,4 - 108 m közé esik. Geológiai rétegződés szempontjából a közép - miocén vulkanizmus anyaga triász, eocén és oligocén rétegsorra települt rá. A terület a mérsékelt meleg - száraz, és a meleg - száraz övezet határán helyezkedik el. Éves napsütéses órák száma 2000, ebből a vegetációs időszakban megközelítőleg 780 - 800, míg nyugalmi időszakban csupán 190 órára tehető az átlagos napsütéses órák száma. Az éves hőmérséklet átlagosan 10,1 - 10,3 °C, míg ugyanez a vegetációs időszakban 17,5°C. Az éves csapadékmennyiség ezen a területen elérheti az 530 mm-t is, mely a vegetációs időszakban 310 mm körüli. A vizsgált terület száraz, gyér lefolyású, erősen vízhiányos. A talajvízmélység 2 és 4 m között változik. Kémiai összetétel szempontjából túlnyomórészt, Na - Ca - Mg - HCO₃-os (DÖVÉNYI, 2010)

A víz keménységét német keménységi fokban (nk°) is kifejezhetjük. Egy német keménységi fok 10 mg/l kalciumoxiddal egyenértékű kalcium és/vagy magnézium ionnak felel meg. Ez az érték az általunk vizsgált területeken 15 - 25 nk° közé esett, ez alapján a víz keménynek tekinthető.

A Járságban 9 különböző településen találhatóak artézi kutak, melyek mélysége kevéssel haladja meg a 100 m-t. Az általunk vizsgált települések egyikében, Jászberényben is van egy kút, mely 45°C-os vizet ad.

Növényzetét jellemzően fajszegény magyarországi szikes (szolonyec) legelők, rétek, alföldi mocsárrétek, kisebb mocsarak és javarészt ültetvény jellegű erdők alkotják. Zömében szántó területtel rendelkezik (80,5%; 56 389 ha), kisebb mértékben rét, legelő (8,6%; 6036 ha), illetve erdő (3,1%; 2185 ha) a jellemző.

Talaját tekintve javarészt agyagos vályog mechanikai összetételű, 4% szerves anyagot tartalmazó, mészmentes réti talaj. Emellett nagymértékű, mintegy 20%-os a szikes talajok kiterjedése is, ennek háromnegyede a gyenge termőképességű réti szolonyec talaj. A szikesedés mellett az agyag, agyagos - vályog textúrák is gátolják a megfelelő vízháztartást. Mindezek ellenére ezek a területek mezőgazdaságilag is fontosak.

Az ariditási index² 1,35 körüli. (PÉCZELY GYÖRGY egyszerűsített ariditási indexe).

² Az egyes kistájak szárazsági mértékszámául szolgál.

2.2 Földhasználat - váltás hatása

2.2.1 Fásítás

A korábban legelőként, szántóföldként használt területek újbóli fásítása, illetve eddig erdőhasznosításban még nem állt területek erdősítése jelentős kockázatokat hordozhat magában. A folyamatos haszonnövény termesztések is hozzájárulhattak a talaj termőképességének csökkenéséhez. Az ezekre a területekre ültetett erdős állományoktól pozitív változásokat vártak (pl.: termőtalaj védelme, klímaváltozás hatásainak mérséklése - szén megkötés, fa, mint megújuló nyersanyag, és energiaforrás biztosítása, stb.), ám a fás területek növelésének előnyei mellett hátrányai is lehetnek. Az erdős állományok nagyobb vízfogyasztása miatt veszélybe kerülhet a mellettük lévő lágyszárú vegetáció megfelelő vízellátása, így tovább csökkenthet a haszonnövények termésmennyisége.

2.2.2 A váltás hatása a talajvízre

Talajvízszint változás

Az erdősítés a talajvízszintet is nagymértékben befolyásolja, a rendszer korábbi egyensúlyát megbontja. Általánosságban véve a fák nagyobb vízigényűek, mint a lágyszárú növények (SCHENK & JACKSON, 2002). Ennek az az oka, hogy a fák nagyobb evapotranszpirációja (ET)³ nagyobb vízigényt eredményez. Ez egyaránt függ a fa fajtától és korától (SZODFRIDT, 1990). GÖBÖLÖS (2002) megállapította, hogy a kutatásban vizsgált fafajok vízfogyasztása a következő: nyár 680 mm/év, tölgy 441 mm/év, akác, 273 mm/év.

Ezen adatok alapján megállapítható, hogy szükséges vizsgálni erdőtelepítés előtt az adott terület talajvíz - tulajdonságait, hiszen jelentős különbségek lehetnek fafajonként a vízfelvetelekben a telepítés után.

MÓRICZ és GRIBOVSKI (2012) eredményei alapján a tölgyes becsült evapotranszpirációja mintegy 30%-kal volt magasabb a parlagterületen becsülnél. Ugyanakkor a tölgyes talajvíz - felvétele mintegy háromszorosa volt a parlag vízfelvételének.

³ A növényzet és a talaj együttes párolgása. A vízháztartási mérleg legjelentősebb kiadási tagja.

Kémiai hatás

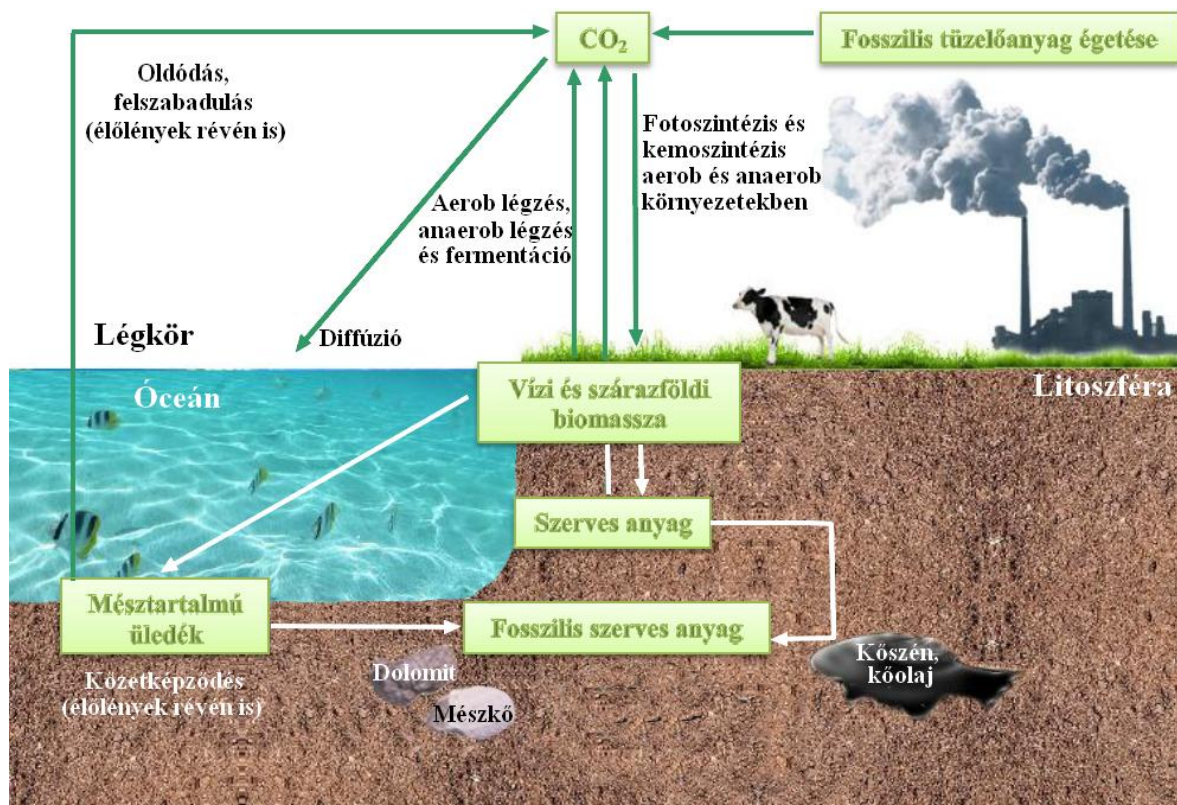
A fásítás által a terület vízigénye is megnövekedett, hiszen a fás vegetációk nagyobb párologtatásuk miatt több vizet is vesznek fel, melyet gyakran közvetlenül a talajvízből nyernek. A talajvíz felvételéhez képest az oldott tápanyagok pl.: a Na^+ -ion felvétele viszont lassabb (MARSCHNER, 1988). MELGAR et al. (2006) szerint a Na^+ -ion felvételt a Ca^{2+} -ion is gátolja, amely fokozza a nátrium akkumulációját, így ezzel arányosan a só felhalmozódás is növekszik.

A talaj CO_2 koncentrációja sokszorosa a légköri koncentrációnak. A csapadékvíz és a CO_2 molekulák reakciója során H_2CO_3 keletkezik. Ez a szénsavas víz könnyebben oldja a talajban lévő meszet, így $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ keletkezik.

2.2.3 A szén körforgása

A szén a leggyakrabban előforduló anyag a Földön, így ennek a négy vegyértékű elemnek a körforgása elengedhetetlen az élet fennmaradásához.

A légköri szén - dioxidot az autotróf növények fotoszintézis útján megkötik, melyet saját tápanyagszükségletük ellátásához szénhidráttá alakítanak át. A herbivor (növényevő) fajok ezeket a szénhidrátokat elfogyasztva, a carnivorok (húsevő, ragadozó) pedig a herbivorok szerves anyagait bioszintézis útján fehérjévé, zsírokká és egyéb szerves vegyületekké alakítják át. Az ily módon az élőlények szervezetébe került szerves anyagok egy része energiatermelő folyamatok során vízre és szén - dioxidra bomlik, mely a légzés során visszakerül a környezetbe. Az elhalt szervezetekből pedig évmilliók során fosszilis szerves anyagok keletkeznek. Emellett az antropogén hatások által - pl.: fosszilis tüzelőanyagok égetése során - is jelentős mennyiségű CO_2 jut a környezetbe (2. ábra).



2. ábra. A szén általános biogeokémiai körforgalma

A talajban

A humusz megközelítőleg 58%-a szén, a talajban, nagy mennyiségben tehát a humusz tárolja ideiglenesen a szenet. A humusz a talajban lévő vagy oda kerülő szerves anyagok és a jelen lévő szervesetlen anyagok mikroorganizmusok általi lebontása során keletkezik. Ezáltal a növények számára könnyen felvehető anionok, kationok, H₂O és CO₂, valamint különböző mértékben oldódó, illetve oldhatatlan humuszanyagok is létre jönnek. Így minél magasabb egy talaj humusztartalma, annál több tápanyagot tud biztosítani a növények számára, ezzel biztosítva azok megfelelő gyarapodását.

A talaj mélyebb rétegeiben, szervesetlen formában a mész (CaCO₃) és a dolomit (CaCO₃ MgCO₃) tartalmazza a szenet. A talaj mész tartalma nagyon fontos tényező nemcsak azért, mert a kalcium a növények nélkülözhetetlen alkotórésze, hanem azért is, mert a mész szabályzó, puffer hatással van a talaj kémhatására (http2). A növények akadálytalan táplálékfelvételéhez pH 7 - 8 szükséges, így a mész azt is biztosítani tudja, hogy az esetleges talajsavanyodás semlegesítése mellett a növényi tápanyagfelvétel optimális szintjéhez is hozzájáruljon.

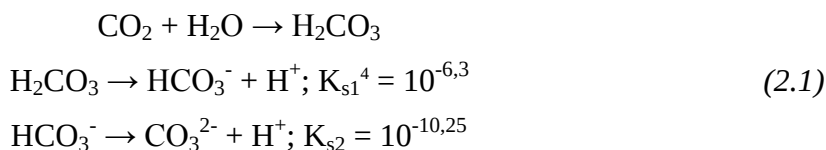
Az élő növények szervezete (biomassza), ezen belül főleg a fák szervezete igen jelentős széntartalommal bír. Számszerűen kifejtve egy teljes erdő felmérése során mért biomassza mennyiségek láthatók az 1. táblázatban. Jelen dolgozatban „az erdők biomasszája” kifejezés alatt a fák teljes föld feletti részét értjük levelek nélkül, melyet m³/ha mértékegységben fejeztünk ki.

1. táblázat. Egy gyertyános - tölgyes erdőben nyáron mért biomassza 1 ha-ra vetített, becsült adatai szárazanyagban (t/ha) és az összes biomassza százalékában (INNES és KRAUCHLI, 1995 adatai felhasználásával) (GODÓ Z., 2011)

Producensek	t/ha	%	Konsumensek	t/ha	%	Lebontók	t/ha	%
Lomb	4	1,3	madarak	0,007	-	giliszták	0,5	0,2
Ágak	30	10,0	nagyemlősök	0,006	-	egyéb talajfauna	0,3	0,1
Törzs	240	76,0	kisemlősök	0,025	-	talajflóra	0,3	0,1
Lágyszárúak	1	0,3	rovarok	0,07	-			
Gyökérzet	38	12,0						
Együtt	313	99,6	együtt	0,108	0,04	együtt	1,1	0,4

A talajvízben

A légköri CO₂ vízben könnyen oldódik, melyre a nyomás és a hőmérséklet is hatást gyakorol. A talajvízben lévő CO₂ mennyisége meghaladhatja a felszíni vizek CO₂ tartalmát, mert a talajon átszivárgó víz különösen gazdag CO₂-ban. Az atmoszférában kb. 400 cm³/m³ mennyiségben van jelen, melyből egyensúlyi állapotban 90 ml/100g CO₂ oldódik a vízben (BARÓTFI I., 2000). Ha a szén - dioxid vízben oldódik, s szénsav keletkezik, az könnyen disszociál, létrejön a szabad szén - dioxid - bikarbonát rendszer, melynek levezetését a (2.1) egyenlet mutatja be:



A (2.1) egyenletekből következik, hogy az adott oldatban és hőmérsékleten a CO₂, HCO₃⁻, CO₃²⁻ vegyületek közötti mennyiségi összefüggés a mindenkori hidrogén - ion koncentráció (tehát a pH) függvénye: pH 4 érték alatt gyakorlatilag szabad szén - dioxid, pH 10,3 fölött karbonát - ion van jelen. A természetes, lúgos pH értékű környezetben viszont mindhárom forma jelen lehet, bár inkább a hidrogénkarbonát - ion dominál.

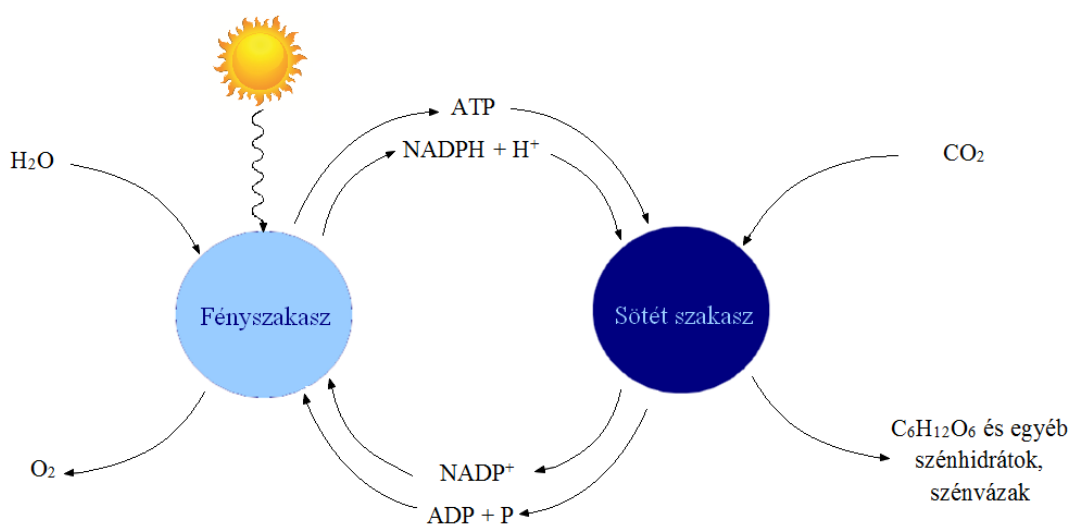
⁴ K_a a sav egyensúlyra vezető bomlásának disszociációs állandója. Egy sav oldatbeli erősségének kvantitatív mértéke.

Ezeknek az anyagoknak nagy szerepe van a talajvíz pH értékének alakításában. Ahol az uralkodó kation a kalcium, ott nagy a víz pufferkapacitása, azaz állandó a pH - értéke. Amennyiben CO_2 jelenik meg a rendszerben, azt a jelenlévő Ca^{2+} -ion CaCO_3 formában megköti. Az eltávozott CO_2 -ot a HCO_3^- és H^+ -ionok egyesülési reakciója kompenzálja. Így a pH érték jelentősebb változása nélkül történhet meg a CO_2 ki- és belépés, tehát az egyensúly fennmaradhat.

A légkörben

A növények kétféle légcserét folytatnak. Az egyik a légzés, mely során a növények oxigént vesznek fel, majd szén - dioxidot bocsátanak ki. Ez mind a nappali, mind a sötét fázisra is vonatkozik. Továbbá a nappali, világos fázis fotolitikus szakaszában a vízmolekula fényenergia hatására bomlik, és elemi oxigén (O_2) kerül a légterbe. A sötét szakaszban pedig a vízmolekula hidrogénjéből képződött H^+ -ionok segítségével ATP keletkezik, mely a sötétreakcióban segíti a CO_2 fixációját, azaz a szénhidrátok képződését (NOVÁK, 1998). A folyamat jelentősége, hogy ezáltal a légkörben csökken a CO_2 mennyisége, míg az O_2 mennyisége megnövekszik. Mindemellett a növény növekedéséhez (biomassza képzéshez) táplálékként hasznosítja az előállított szénhidrátokat (3. ábra).

Légzés során a szerves vegyületek bomlása oxigén felhasználása mellett nagy energia felszabadulással jár, míg mindeközben a légkörbe CO_2 kerül. A fák CO_2 felvétele összefüggésben áll a fák teljes levélfelületével (LAI). Ez persze függ az adott tő- és sortávolságtól is.



3. ábra. A fotoszintézis folyamata

RADÓ (2001) megállapította, hogy egy 40 éves bükkös LAI értéke azonos a 7 - 8 éves cseresznyeültetvényével, melynek fél éves CO₂ asszimilációja⁵ átlagosan 40 t/ha volt. Ebből következik, hogy a mesterséges ökoszisztémák, pl.: gyümölcsösök CO₂ megkötő képessége nagy jelentőséggel bírhat, a területhasznosítás tervezésénél ezt az adatot érdemes figyelembe venni.

A teljesség kedvéért megemlítendő, hogy a CO₂ mellett a levegőben más szénformák is megtalálhatók: CH₄, CO, (CH₃)₂S, terpének, C₅H₈, korom, további szerves aeroszolk, CFC-k (halogénezett szénhidrogének), ezek azonban nem képezték kutatásunk fő irányvonalát.

2.3 A talajvízszint ingadozás mértékének meghatározása

A talajvízszint változásában fontos szerepet játszanak a klimatikus tényezők, a talaj fizikai félesége, az erdőtag kora, a telepített fafaj illetve az állomány sűrűsége (BALOG, 2014).

A vegetációs időszakra jellemző az intenzívebb vízfelvétel illetve párologtatás, míg a nyugalmi időszakban a vízfelvétel megszűnik, a levelek lehullnak. Ekkor történik meg a vízvisszatöltődés. Jelentős eltérés mutatkozhat a vegetációs és a nyugalmi időszakok közötti talajvízszintek között. A talajvíz szintje nyugalmi időszakban tetőzik, vegetációs időszakban viszont a megnövekedett párologtatás miatt eléri minimumát.

JUHÁSZ J. (1976) és PÁLFAI I. (1996) kutatásaik során megállapították, hogy az évi maximum, illetve minimum annál később alakul ki, minél mélyebben van a talajvízszint. Csapadékos időszakban a talajvízszintek késleltetett, kismértékű emelkedése figyelhető meg. Továbbá talajvízből való közvetlen vízfelvétel során tapasztalható egy periodikus (napi, havi) ingadozás is. Hasonló talajtextúrájú területeken, a kontroll és az erdő területeket összevetve az erdős vegetáció a nagyobb biomassa miatt nagyobb vízigénnyel rendelkezik, így ezen a területen mélyebb a talajvízszint is (BALOG et al., 2013).

⁵ Az asszimiláció (anabolizmus) az a folyamat, amelynek során az élő szervezetek a környezetükből felvett anyagokból saját testük anyagait felépítik.

2.4 A talajvíz kémiai összetétele

A talajvíz oldott só- és szerves anyag tartalmát a talaj fizikai félesége, illetve az ott élő vegetáció is befolyásolja.

A talajvízben oldott sók, széntartalmú gázok, szerves- és lebegőanyagok egyaránt megtalálhatók.

A legfontosabb tulajdonságokként a talajvizek oldott sótartalmát, szénsav tartalmát, a kémhatását és keménységét lehet kiemelni. BODÁNE (2009) megállapította, hogy az alföldi talajvizekben a Na^+ -ion fordult elő legnagyobb mennyiségben, emellett pedig HCO_3^- , SO_4^{2-} és Cl^- -ion volt még nagyobb mértékben jelen. Az alföldi talajvizek kémhatását kissé lúgosnak találta, melyben is a HCO_3^- -ion szerepe mutatkozik meg.

A természetesen előforduló anionok mellett viszont szennyező anyagok is kerülhetnek a talajvízbe, méghozzá a talajpórusokon átfolyó víz által, amely ugyan tisztítja a talajszemcsék közti teret, viszont ezáltal szennyező anyagokat moshat a talajvízbe. Ez a szennyezettség főképp oldott anyagok formájában kerül a talajvízbe. Továbbá a talajfelszínre kerülő esetleges (antropogén hatású) szennyezések (pl.: CH (olajok)) is ugyanígy bemosódhatnak, melyek komoly károkat okozhatnak. A humusz vízzoldhatósága kicsi. Na - humát és Fe - humát formában oldódik vízben, és így képes a mélyebb talajrétegekbe is bemosódni.

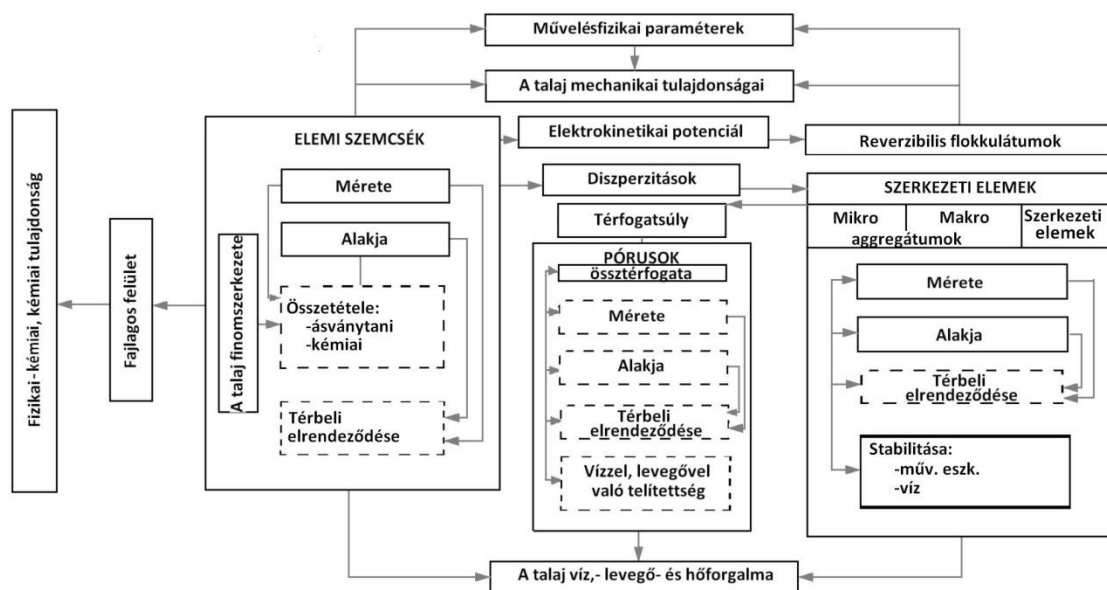
2.5 A gyökérzóna mésztartalma

2.5.1 A gyökérzóna talajának fizikai félesége

A gyökérzóna mélysége lágyszárú növények esetén 1 - 1,5 m, erdők esetén (fafajtól, kortól, termőhelytől, stb.) függően 3 - 5 m mélységre tehető.

A talajban három fő fizikai féleséget (textúra) különböztetünk meg: homok (szemcseátmérő: 0,2 - 2 mm), iszap (szemcseátmérő: 0,002 - 0,2 mm) és agyag (szemcseátmérő: kisebb, mint 0,002 mm). Ez a három textúra osztály az alapja FILEP és FERENCZ (1999) USDA háromszög diagramjának, melyet elemzéseink során mi is felhasználtunk.

A növények zavartalan fejlődése szempontjából fontos a talaj fizikai tulajdonságait vizsgálni a gyökérzónában: textúra, szerkezet, talajvíz - gazdálkodás, levegőgazdálkodás (4. ábra).



4. ábra. A talaj fizikai tulajdonságai (VÁRALLYAY, 2002)

A folyamatos vonallal bekeretezett tényezők közvetlenül meghatározhatók; a szaggatott vonallal bekeretezett tulajdonságok a mérési adatokból számíthatók. A talajalkotó elemi szemcsék legfőbb tulajdonságai a méret szerinti eloszlás, szemcsealak, kémiai- és ásványtani összetétel, illetve térbeli elrendeződés.

Ezek jelentősen meghatározzák a többi tulajdonságot is, mint a talaj termékenységét, levegőellátottságát és vízforgalmát. A szemcseméret osztályozása eltérő lehet

országoként, és a szakemberek különböző meghatározásai szerint is, ami a nemzetközi összehasonlításokat megnehezítheti.

2.5.2 Szerves szén zóna

A fotoszintézis során a producensek a fényenergiát szerves anyaggá alakítják, így biztosítva a növekedésükhöz szükséges táplálékot, mely által tömegük gyarapodásnak indul. Biomassza vizsgálat során egy adott pillanatban adott mennyiségű szervezet van jelen, amelynek mennyisége adja a biomassza tömegét. Ennek egy része a fitomassza (1. táblázat).

Az előbbiekből következtetve a faanyag mennyiségét mérhetjük a biomasszájánál használt, meghatározott nagyságú területre vonatkozó tömeg mértékegységében, viszont az elterjedtebb módszer a területegységre eső térfogat, a m^3/ha mértékegység használata. Ökológiai aspektusból mind a felszín feletti, mind a felszín alatti biomassza jelentőséggel bír, de mi a korlátozott lehetőségek miatt csak a felszín feletti részt határoztuk meg. Továbbá a földalatti biomassza - részek meghatározásának módjáról és lehetőségeiről a szakirodalom is rendkívül korlátozott. A szerves szénmeghatározásban a másik fontos tényező a humusz. Ez a szerves anyag elpusztult élőlények (növények és állatok) maradványainak átalakulása során keletkező, makromolekulákból álló kolloid anyag. A humusz mennyiségével egyenes arányban áll a talaj termékenysége. Továbbá a humusz mennyisége befolyásolja a talaj színét is, hiszen minél magasabb a humusztartalom, annál sötétebb lesz annak színe.

Ezen felül a talaj kedvező szerkezetének kialakításában is fontos szerepet játszik a humusz, hiszen a mennyiségének növekedése növeli a morzsalékosságot, amely nagyon kedvező a talajban lejátszódó (biológiai és kémiai) folyamatokhoz. A morzsás talajszerkezet létrejöttéhez a humuszon kívül a mésztartalom is jelentősen hozzájárul. Ilyen talajszerkezetűek az alföld mezősegi talajai és a lombos erdők erdőtalajai (<http> 3).

2.5.3 Szervetlen szén zóna

A hazai talajvizsgálati és szaktanácsadási gyakorlatban általánosan 14 vizsgálati tényezőt különböztetünk meg a talajok legfontosabb tulajdonságainak a meghatározására. Ezek egyike a mésztartalom.

A talajok mésztartalmuk szerint négy kategóriába sorolhatók (2. táblázat):

2. táblázat. CaCO_3 %-os aránya szerinti besorolás

CaCO_3 %	
0	nincs mész
0 - 1	nagyon gyengén meszes
1 - 5	gyengén meszes
5 - 15	közepesen meszes
> 15	erősen meszes

A CaCO_3 mennyisége és eloszlása a talajban a talajtípusok alapvető ismertetője. A gyengén meszes talajokban a fizikai és kémiai tényezőkre kedvezően hat a CaCO_3 jelenléte. Így a talaj szerkezetére és elemeinek stabilitására. Ezáltal a talaj víz,- hő- és levegőgazdálkodására serkentően hat, valamint a mikrobiológiai folyamatokat is kedvezően befolyásolja. A talajok CaCO_3 tartalma alapvetően befolyásolja azok kémhatását, így a különböző tápelemek felvehetőségét is.

A mészhiányos talajok meszezése elősegíti az aggregátumok⁶ képződését.

A túlzottan meszes talajban a kálium és egyéb, a növények számára létfontosságú elem felvétele akadályozott lehet, valamint fiziológiailag szárazzá teheti a talajt, így zavarhatja a növények növekedését (BELLÉR, 1997).

⁶ Olyan elemi szemcsék halmaza, melyek másodlagos fizikai hatások, illetve kötőanyagok (agyagásvány, szerves kolloid, kalcium - karbonát) hatására nagyobb szerkezeti elemmé állnak össze, s melyek nagyobb fizikai/kémiai hatásra újra elemi szemcsékké bontható.

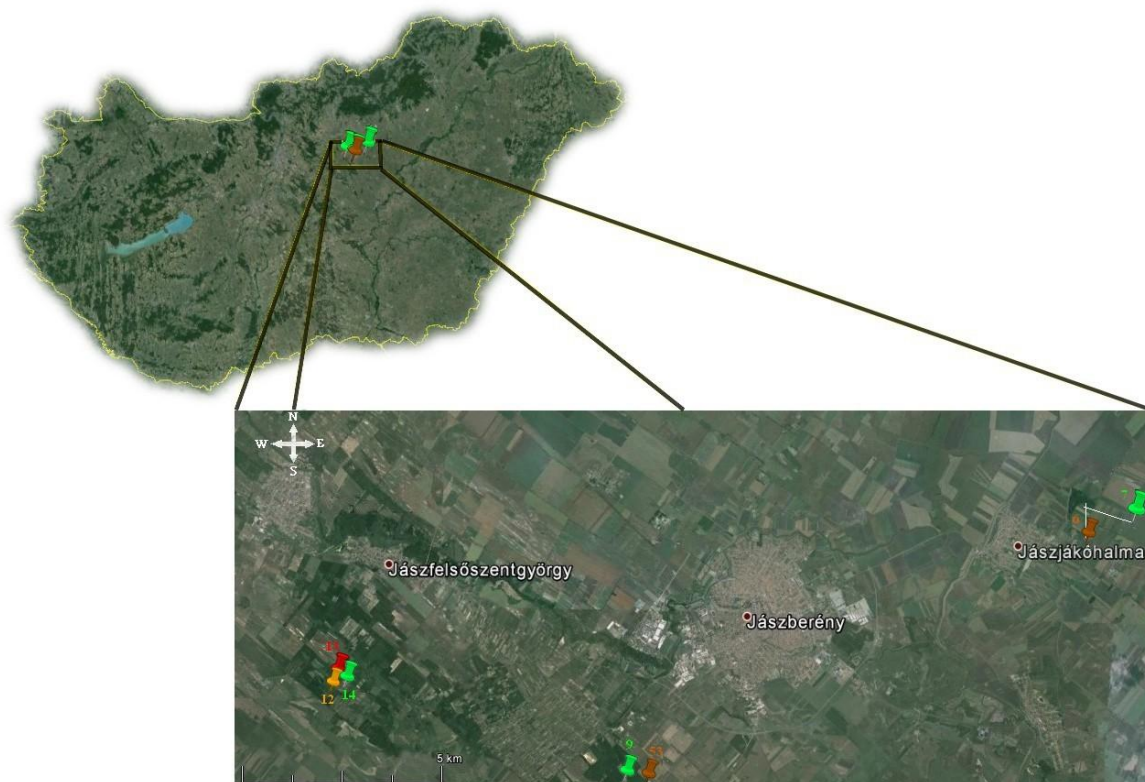
3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 Mintavételi területek kiválasztása, mérési módszerek, paraméterek

A mintaterületek kiválasztását az OTKA NN 79835 projekt keretében vizsgált talajparaméterek (talajvízszint, talajvíz sótartalom, talajtextúra) tematikus térképek metszetei alapján, illetve a fafaj- és állománykor kategóriáinak figyelembe vételével határoztuk meg (TÓTH et al. 2001).

A szegélyhatás⁷ elkerülése érdekében a monitoring kutak távolsága minimum 50 m volt az erdő szegélyétől mindkét irányban. A fúrások mélysége maximum 11 m volt, mert a fúróberendezés a mélyebb fúrást nem tett lehetővé.

Munkánkban három település mellett összesen hét mintavételi helyen hasonlítottuk össze az erdős- és kontroll területeket (5. ábra).



5. ábra. Területhasználat és talajvíz monitoring kutak elhelyezkedése. A zöld színű területek kontroll, a barnák akác, a narancssárga nyaras, a piros, pedig tölgyes vegetációkat jelölnek.

⁷ Abiotikus és biotikus paraméterek megváltozási sávja két élőhely között

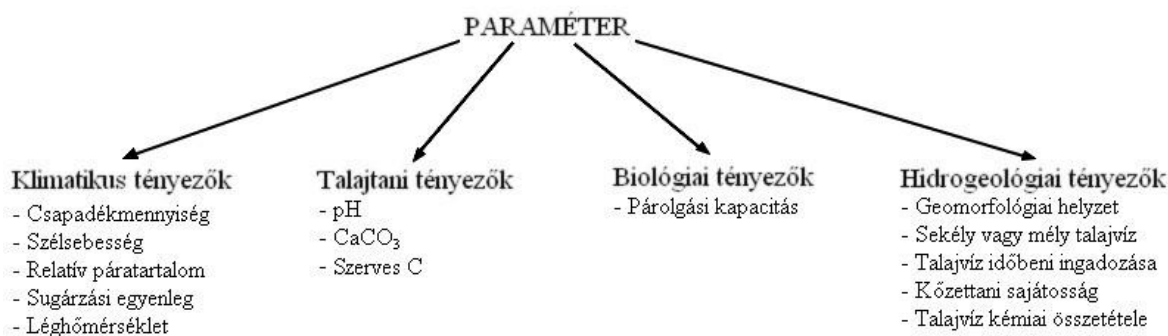
A terület sík domborzatú. Geológiai felmérések alapján megállapítható, hogy a területet folyóvízi üledékek, főleg homok, és iszap borítja. A mintavételi pontok területhasználatát és pontos helyét a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat. Mintavételi területek és koordinátáik

Mintavételi terület	Mintavételi pont száma	Területhasználat	WGS'84 kooordináták
Jászfelsőszentgyörgy	12	nyár	47° 28' 40.5" N, 19° 46' 20.8" E
	13	tölgy	47° 28' 50.7" N, 19° 46' 25.7" E
	14	kontroll legelő	47° 28' 45.0 " N, 19° 46' 37.4" E
Jászberény	9	kontroll szántó	47° 27' 44.3" N, 19° 52' 11.6" E
	53	akác	47° 27' 44.8" N, 19° 52' 39.1" E
Jászfákóhalma	6	akác	47° 31' 45.5 " N, 20° 00' 56.3" E
	7	kontroll szántó	47° 31' 42.2" N, 47° 00' 54.0" E

3.2 Mérési módszerek

A mérési módszereket klimatikus, talajtani, biológiai és hidrogeológiai tényezők szerint csoportosítottuk. Ezen paramétereket és főbb alpontjait a 6. ábra foglalja össze.

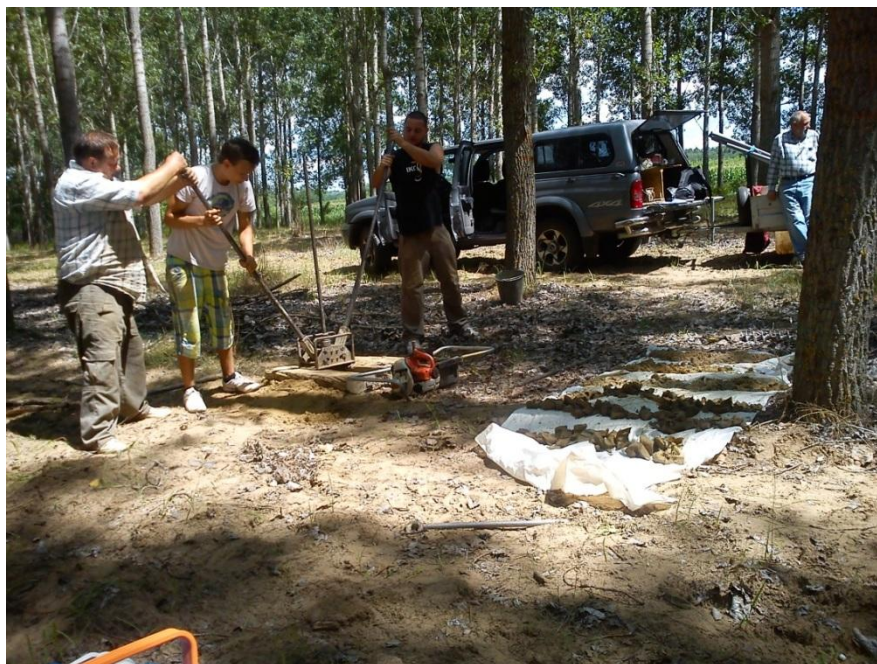


6. ábra. A mért talajtani paraméterek kategorizálása

3.2.1 Terepi módszerek

A furatokat a 3. táblázatban közölt, előre GPS segítségével kijelölt pontokban motoros spirálfúróval mélyítettük maximum 10 m-ig a 2012. július 06 - 2014. július 17. közötti időszakban. A talajmintákat a megütött talajvízszint +1 m-es mélységig vettük (7. ábra). A talajvíz elérésekor megmértük a vízszintet hangjelzést adó vízszintérzékelővel rendelkező mérőszalaggal, majd ugyanezt megismételtük nyugalmi állapotban is. A terepen

talajszelvény - leírást végeztünk a fent említett rétegekben, majd laboratóriumi vizsgálatokhoz ugyanígy bezacskozóztuk a mintákat.



7. ábra. Talajminták kiemelése

Ezek alapján az értékek alapján háromszög - diagramon ábrázoltuk a mintákat (BRADY et al. (1999) alapján). A színek a mintavétel mélységével világosodnak, tehát a legsötétebb színek a legfelsőbb, a legvilágosabb az általunk vizsgált legmélyebb mintákat jelölik. Minden furatból, kézi vákuumpumpa segítségével vízmintákat vettünk a laboratóriumi vizsgálatokhoz.

A k - tényező (szivárgási tényező) meghatározásának két terepi módja van. Az egyik a beszivárgásos módszer, amikor a fúrt kútba ismert mennyiségű vizet töltenek, majd ennek a víznek a talajba való szivárgásának idejét mérik. A másik pedig, a visszatöltődési módszer, amikor a kútból kiemelik a vizet, majd ennek a víznek a visszaszivárgásához szükséges időt jegyzik fel, időegységenként mérve a vízszint növekedését. Mi az utóbbi módszerrel határoztuk meg a k - tényezőt. Tehát vákuumos pumpával kiemeltük a talajvizet, majd annak visszatöltődési szintjét egy hangjelzéses vízszintérzékelővel rendelkező mérőszalaggal 30 másodpercenként feljegyeztük. Az idősoros vízszint adatokra görbét illesztettünk, melyből számítottuk a k - tényező értékét.

A vízmérleget az evapotranszspiráció és a csapadékmennyiség vizsgálatával határozhatjuk meg. Az előzőt a kutakba telepített monitoring szenzor idősoros adatai alapján

számíthatjuk ki, míg utóbbit a kutakra telepített meteorológiai mérőállomás adatai szolgáltatják. Meteorológiai állomást csak a jászberényi kontroll területünkre telepítettünk, mert nem volt olyan tényező, mely akadályozta volna az itt begyűjtött klimatikus adatok környező kutakra való kiterjeszthetőségét

A biomasszára a terepi erdőfelméréssel következtettünk. Ezt a mérést úgy végeztük, hogy egységnyi területen megmértük a fák magasságát, és mellmagassági törzskerületét, így a fatérfogat függvény alapján a fafaj, a magasság és a törzskerületből kiszámított törzsátmérő ismeretében meghatároztuk a biomassza hektáronkénti térfogatát.

Az EC (telítési kivonat vezetőképessége, [mS/cm]) és a pH mérést terepen is elvégeztük WTW Multi 340i SET két pontos kalibrációval rendelkező pH mérővel és EC mérővel. A terepi módszereket a 4. táblázatban összegeztük.

4. táblázat. A tanulmányban használt terepi mérési módszerek és paraméterek listája

PARAMÉTER	TEREPI MÉRÉSI METÓDUS
Klimatikus tényezők	
Csapadékmennyiség	Mérési meteorológiai állomással (csak kiválasztott monitoring kutak)
Szélesség	
Relatív páratartalom	
Sugárzási egyenleg	
Léghőmérséklet	
Hidrogeológiai tényezők	
Sekély vagy mély talajvíz	Megütött és nyugalmi talajvízszint meghatározása
Talajvíz időbeni ingadozása (rövid távú, hosszú távú)	7 mintaterületen folyamatos talajvízszint monitoring – idősoros talajvízszint adatok
Talajvíz kémiai összetétele	EC, pH (minden talajvíz esetében)
Biológiai tényezők	
Párolgási kapacitás: magas, pl.: erdő, alacsony pl.: gyepek	Erdőfelmérés (egységnyi területen a fák magasságának és mellmagassági törzskerületének felvétele) – biomassza kiszámítása (fatérfogat függvény alapján, a fafaj, a magasság és a törzsátmérő ismeretében*)
Talajtani tényezők	
pH, EC	pH és EC mérő elektród 1: 2.5 talaj:víz szuszpenzió

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

3.2.2 Laboratóriumi módszerek

Az EC és a pH laboratóriumi meghatározása WTW Multi 350i, három pontos kalibrációt biztosító készülékkel történt. A talajokat kiszárítottuk, majd kézi aprítás, illetve 2 mm-es lyukbőségű szitán való átszitálást követően 1:2,5 arányú talaj: desztillált víz szuszpenziót készítettünk, melyből a pH, EC és pNa értékeket meg tudtuk határozni. A pNa mérést Radelkis OP-113 MiniDigi pXmeterrel végeztük el, mely cserélhető ionszelektív elektródos műszer. Ugyanilyen módszerrel határoztuk meg a pCl-t, a megfelelő Cl-elektrod alkalmazásával.

Az EC mS/cm-ről könnyedén átszámítható mg/l-ben kifejezett sókoncentrációra. Szolonyec talajoknál FILEP és WAFI szerint (3.1):

$$c_{tk} \text{ mg/l} = 797 EC_e \quad (3.1)$$

(r=0,981)

Melyben az „r” a korrelációs együttható, a szorzófaktor pedig kb. 1,24-szerese a RICHARDS (1954) által az USA szikes talajaira megadott 640-es értékének. Az eltérést a sóösszetétel különbözőségére lehet visszavezetni.

A higroszkóposági vizsgálatot exszikkátorban $CaCl_2 \times 6H_2O$ segédanyaggal (Sík - féle higroszkóposág, hyl), 2 hetes periódusokban végeztük el. Ez a vizsgálat a talaj vízmegkötő képességét is megadja, amely a szemcseösszetétellel arányos. Ugyanis minél nagyobb a finom frakció aránya az adott talajban, annál nagyobb mennyiségű víz megkötésére alkalmas.

A talaj fizikai féleségének kategóriáit FILEP & FERENCZ (1999) alapján határoztuk meg. A laboratóriumban végzett 4 frakciós (< 0,002 mm, 0,002 - 0,05 mm, 0,05 - 0,25 mm, > 0,25 mm) pipettás vizsgálat alapján meghatároztuk a mintákban az agyag, iszap, finom és durva homok arányát. Utóbbi kettőt összeadva megkaptuk a homok talajmintán belüli %-os összetételét. A három frakció %-os ismeretében az USDA háromszög diagramja alapján meghatároztuk a talaj fizikai féleségét.

Mivel a dolgozat a szénkörforgás vizsgálatával foglalkozik, az ezzel kapcsolatos laboratóriumi módszereket az alábbiakban részletesebben tárgyaljuk.

Szerves széntartalom meghatározása

A talaj szerves széntartalmának mérését csupán 1 m-es mélységig hajtottuk végre, mert ez alatt a mélység alatt ennek értéke általában elhanyagolható. A humusztartalom vizsgálatokat a Tyurin - módszerrel (MSZ - 08 - 0210:1977) végeztük el. Ennek alapja, hogy mivel a króm erősen savas közegben erős oxidálószer, melegítés hatására ennek a folyamatnak a végbemenetele még biztosabb, vagyis az összes szén oxidálódik. A redukálódott króm só mennyisége arányos az oxidált szén mennyiségével.

A talajmintákból analitikai mérleggel 10 - 25 g-ot mértünk ki, majd 0,25 mm-es szitán átszitáltuk. A talajminta mennyisége attól függött, hogy mennyi humusztartalmat vártunk. Vagyis minél világosabb volt a minta (kevesebb volt benne a humusz), annál többet mértünk ki belőle (0,2 - 0,25 g-ot).

A talajmintához adagolóból óvatosan 10 ml 0,4 n kénsavas $K_2Cr_2O_7$ -ot adtunk.

Az Erlenmeyer - lombik „szájába” desztillált vízzel töltött kis hűtőt tettünk, amellyel a gőzőket kondenzáltuk, és így melegítettük egyenletesen 5 percig a mintákat. Vigyázni kellett, hogy csak a kis „tűszerű” buborékok képződéséig melegítsük a lombikokat, mert erősen forrásnál a $K_2Cr_2O_7$ elbomlik. A hőmérséklet kb. 225 °C volt.

A melegítés utáni sárgásbarnás vagy halványzöld szín arra utalt, hogy még elegendő Cr^{6+} -ion volt a mintában. Ha azonban mélyzöld vagy kékeszöld színű lett, akkor meg kellett ismételni a mérést kisebb mennyiségű talajmintával (8. ábra).



8. ábra. Szerves szén vizsgálata

Lehűlés után a hűtőt óvatosan desztillált vízzel lemostuk, a lombik falát is leöblítettük, a térfogatot desztillált vízzel kb. 50 - 100 ml-re egészítettük ki.

A mintát 3 csepp ferroin indikátor jelenlétében a Mohr - só oldattal (Vas (II) - ammónium - szulfát - 6 - hidrát) megtitráltuk 50 ml-es bürettával bíborvörös színig (sárgásbarna → zöld → kékeszöld → bíborvörös).

A talajmintás mérések mellett három vak vagyis talajminta mentes titrálást is végeztünk. Ennél a vizsgálatnál semmi nem alakul át, vagyis az összes krómmennyiséget meg tudtuk határozni, attól függően, mennyi Mohr - só oldat fogyott. A talajmintára és a vakpróbára fogyott Mohr - só oldatok különbségével számoltunk.

A Mohr - só oldat faktorát úgy kaptuk meg, hogy a 0,2 N Mohr - sótól 12,5 cm³ fogyást vártunk, ha ennyi lett volna, akkor a faktor értéke 1 lett volna, de nekünk 12,2 cm³ fogyott.

$$f = \frac{12,50}{12,20} = 1,025 \quad (3.2)$$

$$Szerves C\% = \frac{f * 0,0006 (V_v - V_m)}{m} * 100 \quad (3.3)$$

f : Mohr - só oldat faktora,

0,0006: azt fejezi ki, hogy 1 cm³ 0,2 N Mohr - só oldat 0,0006 g szenet mér,

V_v : vakra fogyott Mohr - só térfogata, [cm³]

V_m : mintára fogyott Mohr - só oldat térfogata, [cm³]

m : bemért minta tömege. [g]

Mivel azt feltételeztük, hogy a humusznak 58%-a szerves szén, ezért a két érték közötti átváltás egy szorzószámmal történik

$$Humusz\% = Szerves C\% \times 1,724 \quad (3.4)$$

Szervetlen széntartalom mérése

A karbonát mérést Scheibler - féle kalciméter segítségével (9. ábra), az MSZ - 08 - 0206 - 2:1978 szabvány szerint végeztük el.



9. ábra. Scheibler - féle kalciméter

A mérést azzal kezdtük, hogy egy óraüvegre kiskanálnyi talajmintát helyeztünk, majd először vizet csepegtettünk rá légtelenítés céljából, ezt követően sósavat. A pezsgés alapján pontosan meg tudtuk határozni, mennyi talajmintát mérjünk ki a Scheibler – üvegbe (reakcióedénybe) (5. táblázat).

5. táblázat. Karbonát tartalom sósav cseppentéssel

Észlelés	Jelölés	Kb. karbonáttartalom (%)	Bemérendő talaj (g)
nincs pezsgés	0	0	-
fűlünkhöz tartva serceg	0+	0 - 1	kb. 10
kis pezsgés	+	1 - 5	5 - 10
közepes pezsgés	++	5 - 15	3 - 5
erőteljes pezsgés	+++	> 15	kb. 1

A táblázat alapján megfelelő mennyiségű mintákat kimértük, majd a Scheibler - üveg „szájába” savtartó csövet helyeztünk, amelybe 10 ml 10%-os sósavat pipettáztunk, majd a csapok gondos ellenőrzése után a nívóedényt 10%-os NaCl oldattal (+kénsav, metilvörös) töltöttük fel.

A nívóedényt felemeltük, csapját kinyitottuk mindaddig, amíg az U-alakú csőben a folyadék a skála 0-pontjáig nem ért, utána elzártuk a csapot.

A 3-furatú csapot úgy fordítottuk el, hogy a reakciótér (Scheibler - üveg légtere) a készülék (U-alakú cső) légterével összeköttetésben került. A reakcióedény eldöntésével a sósavat a talajra öntöttük; majd a CO₂ fejlődés megindulásakor a folyadék szintet csökkentettük a nívóedény csapjának kinyitásával. A folyadékszint csökkentése során az U-cső beosztás nélküli szárában a folyadékszint mindig valamivel magasabb volt, mint a beosztásos szárban. A mintatartó üvegedényt közben rázogattuk.

A reakciót akkor tekinthettük befejezettnek, ha a rázás után 2 perc elteltével 1 ml térfogatú CO₂ fejlődést sem észleltünk (általában 5 perc után befejezettnek tekinthettük a reakciót). Ekkor a folyadékszintet az U-cső 2 szárában egy szintbe hoztuk (a nívóedény csapjának óvatos nyitásával, zárásával), majd a beosztott száron leolvastuk a keletkezett CO₂ ml-nek a számát.

Az aktuális hőmérsékletet és légnyomást feljegyeztük, ezek segítségével táblázatból kikerestük az „a” állandót.

A talaj összes karbonát tartalma CaCO₃ %-ban kifejezve:

$$CaCO_3 \% = \frac{V_{CO_2} \times a \times 100}{m_{minta}} \quad (3.5)$$

ahol:

V_{CO_2} : a fejlődött CO₂ térfogata [cm³],

a : táblázati érték (MSZ - 08 - 0206 - 2:1978 szabvány 1. táblázatából); amely megmutatja, hogy adott hőmérsékleten és nyomáson 1 cm³ CO₂ hány g CaCO₃-tal egyenértékű [g/cm³]

m_{minta} : bemért talaj tömege [g]

A laboratóriumi mérési módszereket a 6. táblázat foglalja össze.

6. táblázat. A tanulmányban használt mérési módszerek és paraméterek listája

PARAMÉTER	LABORATÓRIUMI MÉRÉSI METÓDUS
<i>Hidrogeológiai tényezők</i>	
Kőzettani sajátosság	Talajszemcse összetételének meghatározása, pipettás módszer (csak a monitoring kutak esetében), hyl (higroszkóposság) meghatározása (minden talajmintán)*
Talajvíz kémiai összetétele	A főbb anionok és kationok koncentrációjának vizsgálata (csak a monitoring kutak esetében)
<i>Talajtani tényezők</i>	
pH	pH és EC mérő elektród 1 : 2.5 talaj:víz szuszpenzió
CaCO ₃	Scheibler – féle kalkiméter
Szerves szén	Tyurin módszer

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

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

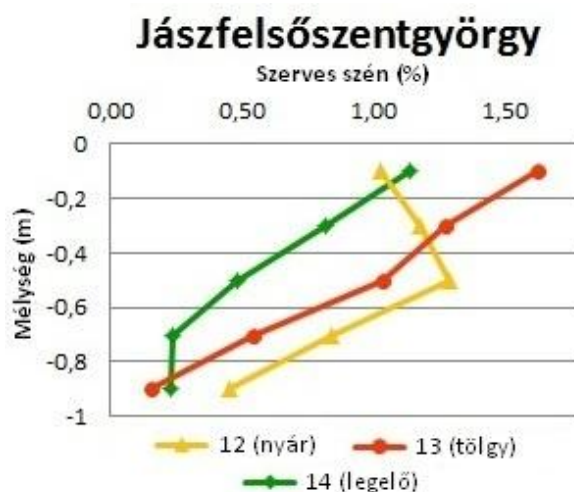
4.1 A talaj szerves szén tartalma

Általánosságban a fás állományok alatt nagyobb a szerves szén felhalmozódás, mint a kontroll területeken (10., 11., 12. ábra) (JOBÁGY és JACKSON, 2000). Ennek az az oka, hogy az erdőben a talaj tetején maradó avar anyag folyamatosan és lassan bomlik, a csapadék segítségével a feltalajba szivárgó szerves anyag tovább növeli annak szerves szén tartalmát. Ezzel szemben a kontroll területeken elszállították, illetve beforgatták a növényi szerves anyagot, amely gyorsan bomlik.

4.1.1 Jászfelsőszentgyörgy

A kontroll szerves széntartalmának mélységbeli lefutása eltérő lehet a területhasználatától függően. Ez látható a jászfelsőszentgyörgyi legelő területen, ahol az állatok szerves anyag kibocsátása is növeli a talaj szerves anyag tartalmát. A 10. ábrán jól látható, hogy 0,1 m mélységben a nyár, 0,9 m mélységben a tölgy mutat eltérést.

Ezek a mintavételi helyek (vályog, homokos vályog, helyenként agyagos) textúrával rendelkeznek, a szerves széntartalom csökkenése 70 cm mélységben illetve 1 m mélységben jelentős. Az organo - minerális komplex⁸ képződés miatt kimosódásuk kevésbé nyilvánul meg a jászfelsőszentgyörgyi területen.

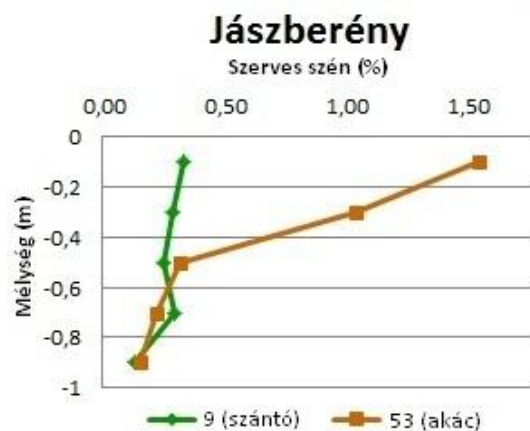


10. ábra. Szerves széntartalom mélységi eloszlása

⁸ A szerves anyag primer részecskéi az ásványi anyagok primer részecskéihez kötődnek.

4.1.2 Jászberény

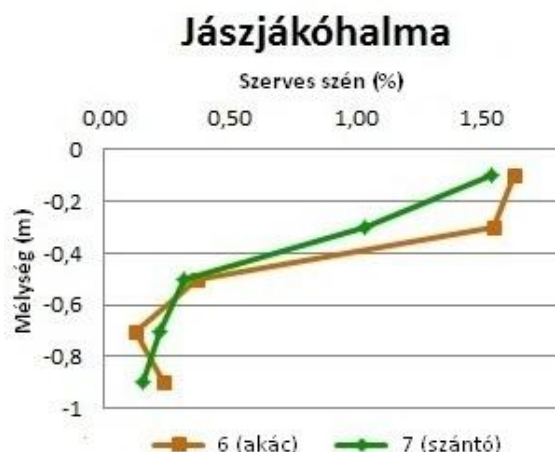
A 11. ábrán bemutatott esetben a mélységgel szinte alig változó alacsony széntartalmat látunk a kontroll területnél. Erről a lucerna területről ugyanis a folyamatos kaszálás folyamán elszállítják a képződő szerves anyagjelentős részét. A kontroll terület egy ponton kicsit nagyobb értéket mutat, 0,7 m-es mélységben, bár ez nem számottevő. A jászberényi durvább textúrájú talajok (homok, homokos vályogrétegződéssel) miatt a talaj szerves szén tartalma már 50 cm mélységben nagyon lecsökken.



11. ábra. Szerves széntartalom mélységi eloszlása

4.1.3 Jászfákóhalma

A jászfákóhalmi mintaterületen az előzőekhez hasonlóan javarészt az erdős terület szerves széntartalma a magasabb, viszont 0,7 m-es mélységben ez az érték a kontroll javára megfordul, bár ez az eltérés nem jelentős, így itt is kijelenthetjük, hogy a várt eredményeket kaptuk. Az előzőekhez hasonlóan ezen a mintavételi területen is durvább textúrájúak a talajok, így szintén 50 cm-től jelentősebb csökkenés volt tapasztalható a szerves szén mennyiségét illetően (12. ábra).



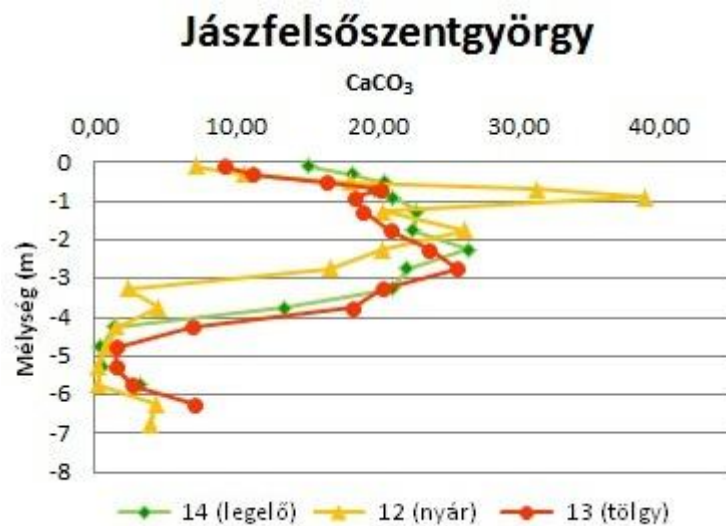
12. ábra. Szerves széntartalom mélységi eloszlása

4.2 A talaj kalcium - karbonát tartalma

Szénforgalom - vizsgálataink alapját a növényzet és a feltalaj esetében elvégzett szerves szén és biomassza vizsgálatok, illetve az altalajban mért CaCO_3 tartalom és az ingadozó talajvíz Ca^{2+} , CO_3^{2-} és HCO_3^- koncentrációjának összefüggés - vizsgálata képezi. A leszivárgó csapadékvíz által a felsőbb talajrétegekből lemosott CaCO_3 elindul a mélyebb rétegek felé, majd az értéke elér egy maximumot.

4.2.1 Jászfelsőszentgyörgy

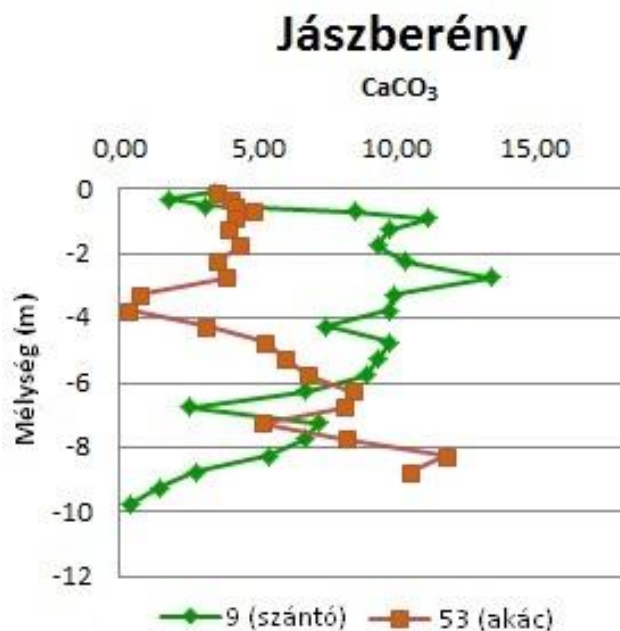
A jászfelsőszentgyörgyi mintaterületen mértük a legsekélyebb talajvíz szintet (3,1 - 3,8 m). Itt a talajvíztükör közelében több gyökér helyezkedik el, melyek gyökérsava oldja a CaCO_3 -ot. A talajvízben oldott kalcium-, karbonát- és hidrogén - karbonát - ionokból meleg és csapadékmentes, intenzív párolgású időszakokban karbonát válik ki, mely növeli a talaj CaCO_3 tartalmát. A mésztartalom a kontrollnál és a nyárnál 4,5 - 5,5 m mélységben nullára csökken (13. ábra).



13. ábra. CaCO_3 tartalom mélységi eloszlása

4.2.2 Jászberény

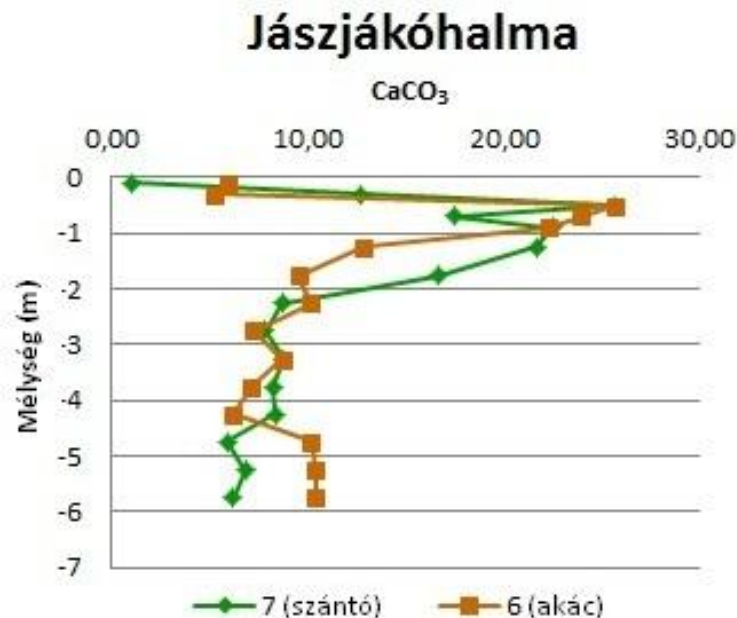
A Jászberényben mért talajvíztükör volt a legmélyebben, így a CaCO_3 mélyebbre le tudott mosódni (14. ábra). Ennek tudható be, hogy az akácerdő talajában a gyökérzóna alatt szinte folyamatos a karbonát mennyiségének növekedése. Az akác és szántó közötti eltérések alátámasztják a kiindulási feltételezéseinket.



14. ábra. CaCO_3 tartalom mélységi eloszlása

4.2.3 Jászfákóhalma

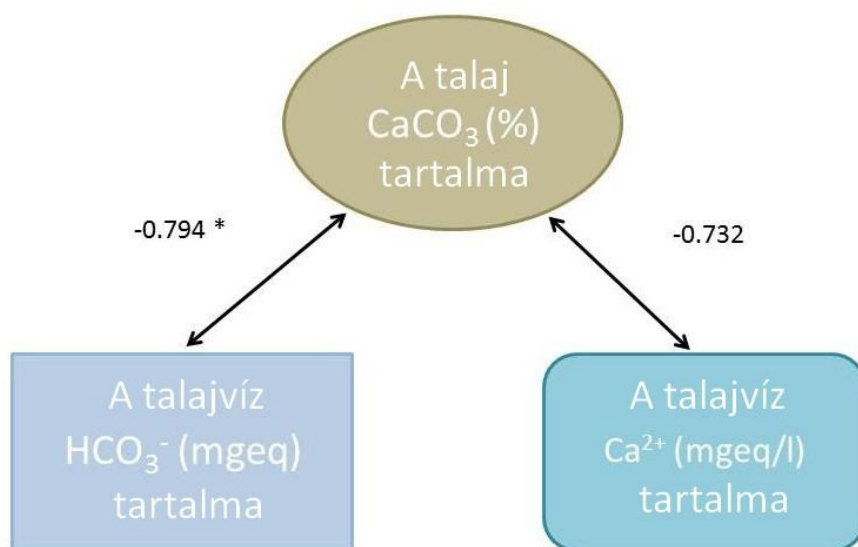
Jászfákóhalmán az előzőekhez hasonlóan a lemosódott karbonát 0,5 m környékén éri el a maximumát, majd mennyisége csökken. A két állomány alatti CaCO_3 tartalom nem mutatott jelentős különbséget (15. ábra).



15. ábra. CaCO_3 tartalom mélységi eloszlása

4.3 A szervesetlen szénformák korrelációs profilja

A szervesetlen szénformák korrelációs profilja azt mutatja, hogy a talaj mésztartalma, és a talajvíz hidrogén - karbonát tartalma között szignifikáns, negatív lineáris kapcsolat áll fent. A talaj mésztartalma és a talajvíz kalcium tartalma között szintén lineáris negatív kapcsolatot tártunk fel, ám ez nem szignifikáns. Ez azt jelenti, hogyha a talaj mésztartalma csökken, a talajvíz hidrogén - karbonát és kalcium tartalma nő, és ez fordítva is igaz. A szénformák ezen kapcsolata arra utal, hogy a talaj mésztartalma oldódva a talajvízbe kerül és növeli az említett ionok koncentrációját, illetve hosszabb száraz periódus esetén a talajvízből a talajban CaCO_3 válik ki. Ezt az egyensúlyi folyamatot főleg a klimatikus tényezők illetve a talaj kémhatás - változásai szabályozzák (16. ábra).



*: A korreláció szignifikáns a 0,05 szintnél (kétirányú)

Paraméterek	Átlag	Standard eltérés	N
A talaj CaCO_3 (%) tartalma	10.54	8.03	122
A talajvíz HCO_3^- (mgeq/l) tartalma	56.63	68.41	7
A talajvíz Ca^{2+} (mgeq/l) tartalma	6.09	3.17	7

16. ábra. A szervetlen szénformák korrelációs profilja a talajban és a talajvízben

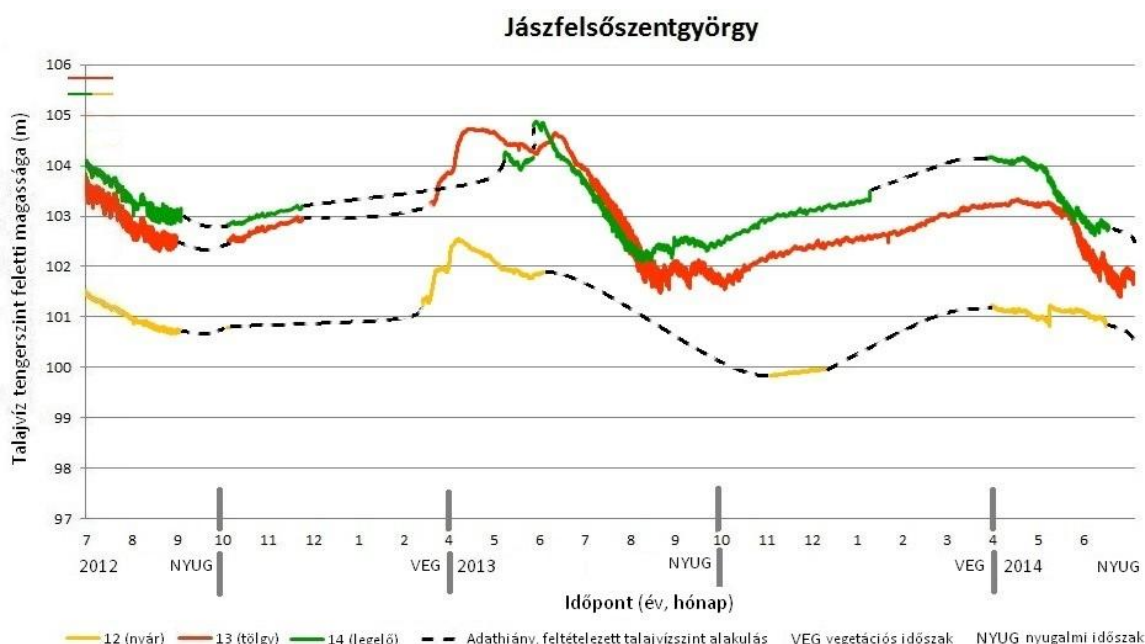
4.4 Talajvízszint ingadozás

Az erdőtagok biomassa mennyiségtől (közvetetten a fafajtól, növekedési erélytől, vízfelvételtől és állománykortól) függően különböző mértékű depressziót idéznek elő a talajvízben. Jellemzően a vegetációs időszakokban talajvízszint csökkenést figyeltünk meg, mely azzal magyarázható, hogy a megnövekedett párologtatással a növényzet több vizet vesz fel, amely a csapadékkal nem tud teljes mértékben pótlódni. Ebben az időszakban érte el a talajvízszint a minimumát. A nyugalmi időszakban lezajló folyamat ennek az ellentéte. A tavaszi hóolvadás és csapadékok következtében a talajvízszint megemelkedett, itt elérte maximumát. Majdnem minden esetben megfigyelhető az is, hogy nagyobb mennyiségű csapadék esetén késleltetett talajvízszint emelkedés következett be.

Nagyobb mértékű napi talajvíz - ingadozást figyeltünk meg a 6., 7., 9., 12. és a 14. mintavételi pontban, viszont a 13. és az 53-as mintavételi pontban ennek értéke csekély volt.

4.4.1 Jászfelsőszentgyörgy

Jászfelsőszentgyörgyön két erdőt, egy kontroll (gyep) területtel hasonlítottunk össze (16. ábra). A tölgy talajvízszintjének minimuma a kontroll alá esett, míg a nyáré a tölgy minimumánál is kisebb volt. Ez azért lehetséges, mert a nyárerdeknek nagyobb a vízfelvétele, mint a tölgyesnek. A vízszint ingadozás amplitúdója a teljes vizsgálati idő alatt mindhárom vizsgálati területen hasonló: 2,8 m körüli volt. Ennek az erős hatásnak az oka, hogy a talajvíz (a másik két terület talajvízszintjéhez viszonyítva) sekélyen helyezkedett el, így több gyökér tudta innen közvetlenül felvenni a vizet. Szintén a sekélyebb talajvíznek tulajdonítható, hogy a görbék egymással való kereszteződése kevésbé volt kifejezett (17. ábra), mint Jászjákóhalmán (19. ábra).



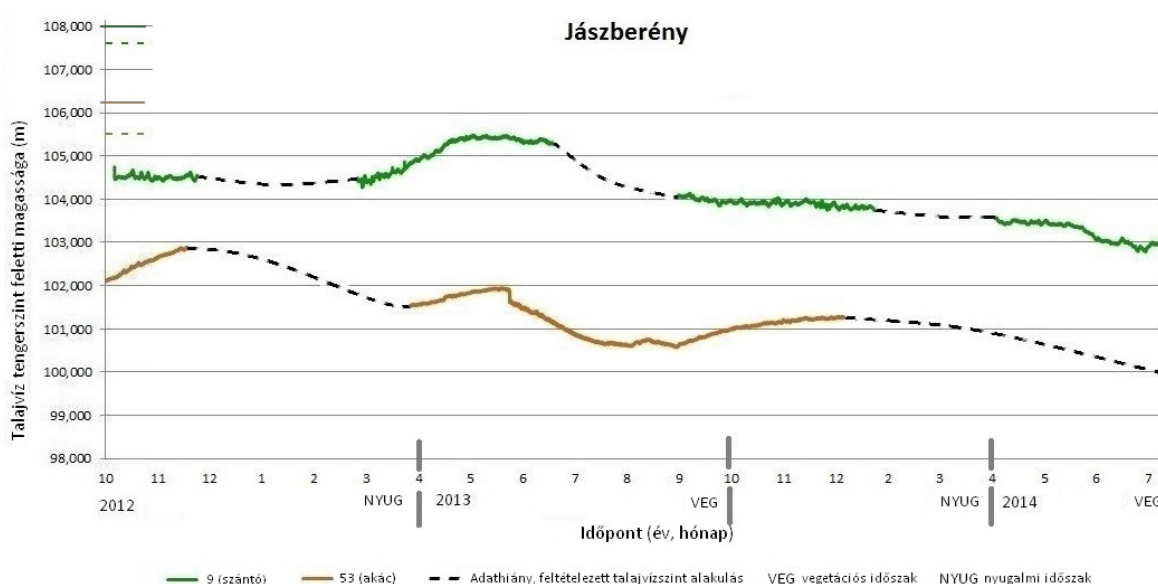
17. ábra Talajvíz magasság időfüggése

4.4.2 Jászberény

Jászberényben szintén a kontroll szántóföld (lucerna) és a közeli akácos talajvizének ingadozását vetettük össze. Az 18. ábrán látható, hogy az erdők alatt folyamatosan mélyebben volt a talajvíztükör, mint a kontroll terület alatt. Ezen a területen a kontrollnál megütött talajvízszint a felszíntől mérve eléri a 8 m-t.

Továbbá még az is megfigyelhető az a 18. ábrán, hogy a nyugalmi és a vegetációs időszakok között a periodikus változások szépen kirajzolódtak. A 2012. évben a nyugalmi

időszakban bekövetkezett heves esőzések csapadékmennyisége az avaron illetve a homokos - homokos vályog talajon át könnyebben beszivárgott a talajba, mint a kontroll területen, majd elérte a talajvizet is. A talajvízszint ingadozás amplitúdója a 2013. évben az akác és a lucerna esetében is 1,5 m.



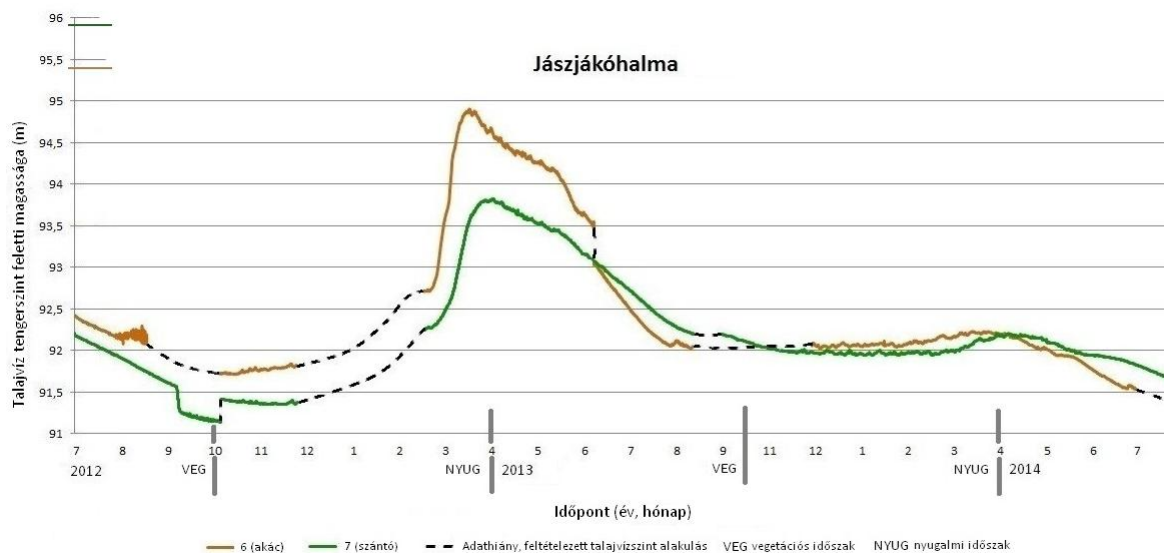
18. ábra Talajvíz magasság időfüggése

4.4.3 Jászfákóhalma

Jászfákóhalmán az akácerdő és a mellette elterülő szántóföld talajvizeinek ingadozását hasonlítottuk össze (19. ábra). A diagramon jól láthatóak a periodikus ingadozások. A 2013 évi vegetációs időszak kezdeténél megfigyelhető, hogy a kontroll területen nagyobb léptékű talajvízszint ugrás következett be, viszonylag rövid időn belül. Ez nagyrészt az akkori heves esőzéseknek és hóolvadásnak tudható be. Amint a csapadékos időszak alábbhagyott, tovább csökkent a talajvíz szintje. A 2013. évben az akácerdő talajvízszint amplitúdója elérte a 2,75 m-t, míg a mellette elterülő szántóföld amplitúdója 1,9 m volt. Megfigyelhető, hogy csaknem 1 m különbség volt a két terület vízszint ingadozása között, ami a vízfelvétel különbségét mutatta meg. Továbbá a szántóföld talajvízszintjének minimuma magasabb volt, mint a fás szárú vegetáció alatt, valamint általában a kontroll területnek volt magasabban a talajvíztükre⁹.

⁹ Az a kitétetett felület, ahol a pórusnyomás egyenlő az atmoszferikus nyomással.

Ennek magyarázata, hogy az erdő szintjei és az akác sekélyen szétterülő gyökerei a felülről érkező csapadékvizet nagymértékben hasznosították, míg a kontroll területen a szántó csupasz talajában leszivárgott a csapadék a talajvízig, így annak szintjében növekedés volt tapasztalható.



19. ábra Talajvíz magasság időfüggése

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

5.1 Következtetések

JAKAB et al. 2014-ben már bizonyította, hogy a fás szárú vegetációk alatt nagyobb mértékű a szerves szén felhalmozódás, mint a lágyszárú növényzet alatt. Ez a jelenség az erdők alatti avar folyamatos képződésének tudható be, mert az avart nem távolítják el, így annak bomlása folyamatos szerves szén ellátást biztosít a termőtalajban. Ezzel szemben, a lágyszárú vegetációk területén kaszálással, legeltetéssel, vagy termény - betakarítással a szerves anyagot elszállították.

Szoros negatív korrelációt mutattunk ki a felszín alatti vizek kalcium- és a hidrogén - karbonát tartalma, valamint a talaj CaCO_3 tartalma között, mely a talaj és a talajvíz határfelületén lejátszódó egyensúlyra vezető oldódási/kicsapódási reakciónak volt köszönhető.

A járszági talajok kisebb különbséget mutattak a talajtextúra tekintetében - a CaCO_3 mélységi profilját a víztükör szintje és ingadozása határozta meg.

A talajvíz ingadozással kapcsolatban a következőket állapítottuk meg:

- Az erdős vegetációk alatti talajvíztükör a tenyészidőszak során lesüllyedt a kontrollhoz viszonyított nagyobb párologtatás miatt.
- Talajvíz depresszió volt kimutatható az erdős vegetációk alatt. Ez az eredmény megegyezik JOBBÁGY és JACKSON (2004), valamint SZODFRIDT és FARAGÓ (1968) eredményeivel. JOBBÁGY és JACKSON (2004) megállapította, hogy az általuk vizsgált erdők alatti talajvízszint 75 cm-rel alacsonyabban volt, mint a mellettük lévő kontroll terület alatt. SZODFRIDT és FARAGÓ (1968) úgy találta, hogy kiskunsági területeken a fás szárú vegetáció alatti talajvíz általában 50 - 60 cm-rel csökkent a kontrollként vizsgált lágyszárú vegetációhoz képest. Az általunk vizsgált járszági területeken az idősoros talajvízszint adatokat figyelembe véve ez az érték 60 - 180 cm. Ez pl.: a geológiai rétegződéstől és a fafajtól függhet.
- A talajvízszint depresszió a tenyészidőszak és a nyugalmi időszak között eltérő értékeket mutatott. Ezt a jelenséget mutatta ki IJJÁSZ (1939) is. Megállapította, hogy az erdő alatti talajvízszint mélyebben helyezkedik el, mint a lágyszárú

vegetáció alatt, hogyha a fák közvetlen fogyasztói voltak a talajvíznek. A talajvízszint - különbségek a tenyészidőszakban magasabbak voltak, mint a nyugalmi időszakban. A mi adatsoraink azt mutatták, hogy az erdős és lágyszárú vegetáció alatti talajvízszint különbség a nyugalmi időszak végére megnőtt, a vegetációs időszak végére pedig lecsökkent.

- Az ültetvények által előidézett talajvíztükör - depresszió kiegyenlítődött a nyugalmi időszakban, horizontális vízáramlás jött létre a környező területekkel, illetve csapadék szivárgott be a talajba a nyugalmi időszakban.
- A nyár és a tölgy állományoknál ugyanazon mintaterületen a nyár okozta talajvíz depresszió nagyobb volt a kontroll területhez képest, mint a tölgy által okozott talajvíz depresszió, mert a nyár vízigénye és növekedési erélye nagyobb volt.
- A talajvízszint - különbség a nyugalmi és a vegetációs periódus között 2,8 m körüli volt a jászfelsőszentgyörgyi területen. Jászberényben a talajvízszint ingadozás amplitúdója 1,5 m, míg Jászfákóalmán 1,9 - 2,75 m volt.

5.2 Javaslatok

Az erdőtelepítésre szánt területeket mélyreható vizsgálatoknak kell alávetni. Fontos meghatározni a talajvíz mélységét, valamint az ebben a mélységben lévő talajrétegének fizikai féleségének megfelelő vízáteresztő képességet, hogy az adott területre ültetett vegetációk vízfelvételével kapcsolatos információkhoz juthassunk. Az erdős és a mellette elterülő lágyszárú vegetációval rendelkező terület vízháztartása, a növények vízfelvételének mennyisége és klímától való függésének vizsgálata is fontos. Úgy kell ezeket az egymás közelébe ültetendő növényfajokat kiválasztani, hogy egymást ne akadályozzák a fejlődésben illetve a talajtextúra vízáteresztő képessége és a növény vízigénye a lehető legnagyobb összhangban legyen. Folyamatos vizsgálatokra van szükség a talajban lévő szén szempontjából is.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az Európai Unió támogatásával Magyarországon az elmúlt évtizedekben jelentős erdőtelepítés folyt. Az erdősítés főként az alföldi, kisebb mezőgazdasági potenciállal, sekély talajvízzel rendelkező szántóföldeket, illetve legelő területeket érintette. A telepített erdők általában eltérnek az eredeti vegetációtól, mely jelentős hatással volt annak talajvíz- és anyagforgalmára. Egyes fás vegetációk vágásfordulója akár az egy évszázadot is elérheti, ezért fontos a fent említett tényezők vizsgálata.

Kutatásunkban az alábbi kérdésekre kerestünk választ:

Kontroll területekhez képest megfigyelhető-e talajvízszint változás;

- Milyen mértékben befolyásolják a különböző erdős területek a kontrollokhoz képest a talaj szerves széntartalmát;
- Milyen mértékű a CaCO_3 akkumuláció az egyes vegetációk alatt és fellelhető-e különbség a fás és a lágyszárú területek között.

A fenti kérdések megválaszolására az alföldi Jászság területén 3 régiót (Jászfelsőszentgyörgy, Jászberény, Jászfákóhalma) vizsgáltunk. Mindhárom esetben az erdőtagokhoz kontroll is tartozott, amely az erdősítés előtti állapotot hivatott képviselni. Méréseinket 7 mintavételi területen végeztük. Mind a 7 területen telepített monitoring kutakkal is dolgoztunk, melyek 15 percenként rögzítették a talajvízszint adatokat. Jászfelsőszentgyörgyön napi ritmusú vízmozgást figyeltünk meg a tölgy és nyár erdőtag esetében, viszont a másik két területen lévő akác-erdők esetében nem.

Fentiek alapján megállapítottuk, hogy a telepített erdős területek alatt talajvíz depresszió figyelhető meg. Ezek a hatások azonban fafajonként eltérőek, így telepítés előtt fel kell mérni a telepítésre váró terület tulajdonságait.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondok mindazoknak, akik elősegítették munkámat.

Munkámat a

Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézetében végeztem.

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni:

Külső konzulenseimnek **Dr. Tóth Tibornak** és **Dr. Balog Kittinek** munkámhoz nyújtott önzetlen segítségükért és értékes tanácsaiért, sok szakmai és emberi segítségükért, valamint a kísérleti háttér biztosításáért.

A kutatás az **OTKA (NN 79835)** projekt támogatásával valósult meg.

Továbbá köszönettel tartozom belső konzulensemnek **Tamásné Dr. Nyitrai E. Cecéliának** dolgozatom megírásához adott önzetlen szakmai és emberi segítségéért.

8. IRODALOM

- ANDRASEVITS Z., BUZÁS GY., SCHIBERNA E. (2005): Current afforestation practice and expected trends on family farms in West Hungary. *Journal of Central European Agriculture*, (5): 297–302.
- BALOG K., SZABÓ A., GRIBOVSKI Z., KALMÁR J., FODOR N., KISS K., PÁSZTOR L., BÁTOR H., TÓTH T., KUTI L., CSIHAI I. (2013): Egy telepített erdőállomány alatti sófelhalmozódás sekély talajvízű területen, *Talajvédelem. Különszám 2013.* 447–457.
- BALOG K. (2014): Alföldi telepített erdők hatása a talaj só- és vízforgalmára szakmérnöki értekezés. Szent István Egyetem, Gödöllő.
- BARÓTFI I. (szerk. 2000): *Környezettechnika; Mezőgazda kiadó.*
- BARTHA D., KEVEY B., MORSCHHAUSER T., PÓCS T. (1995): Hazai erdőtársulásaink. *Tilia*, 1: 8–85.
- BELLÉR P. (1997): *Talajvizsgálati módszerek. Jegyzet, Sopron*
- BODÁNE K. R. (2009): *Környezeti elemek védelme I. vízminőség – védelem jegyzet.*
- CALDER I. R. (1998): Water use by forests, limits and controls. *Tree Physiol*, (18): 625–631.
- DÖVÉNYI Z. (szerk.) 2010. Magyarország kistájainak katasztere. 2. átdolgozott és bővített kiadás. Bp., MTA FKI, 876 p
- FILEP GY., FERENCZ G. (1999): Javaslat a magyarországi talajok szemcseösszetétel szerinti osztályozásának pontosítására. *Agrokémia és Talajtan.* (48). 305–317.
- FÜHRER E., JÁRÓ Z. (2005): Az erdővagyon bővítése a mezőgazdaságilag gazdaságosan nem hasznosított földterületek beerdősítésével [Forest cover enlargement by afforestation of economically non rentable agricultural lands] (in Hungarian) In: Molnár S. (Szerk.): *Erdő-fa hasznosítás Magyarországon. NyME FMK. Sopron.* 130–136.
- GODÓ Z. (2011): http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0021_Agro-okologia/ch01s03.html
- GÖBÖLÖS A. (2002): A „vízhiányos” erdőgazdálkodás kérdései a Duna-Tisza közti homokháton, *Hidrológiai Közlöny*, (82). 1. p. 324–326.
- HALUPA L. (1964): Gondolatok a fásítás történetéről és jelenlegi problémáiról
- IJJÁSZ E. (1939): A fatenyészet és az altalajvíz, különös tekintettel a nagyalföldi viszonyokra [Forest and groundwater connections in Hungarian Great Plain] (in Hungarian) *Erdészeti Kísérletek*, (42): 1–107.
- JAKAB G. –SZALAI Z. (szerk. 2014): Role of soil erosion in carbon dynamics. *Talajpusztulás Térben és Időben* pp. 9–17.

- JOBÁGY E. G., JACKSON R. B. (2000): The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10(2), 2000, pp. 423–436.
- JOBÁGY E. G., JACKSON R. B. (2004): Groundwater use and salinization with grassland afforestation. *Global Change Biol.*, (10): 1299-1312.
- JUHÁSZ J. (1976): Hidrogeológis. – Akadémiai Kiadó, Bp., 766 p.
- MAGYAR P. (1961): Alföldfásítás II. [Afforestation in Hungarian Great Plain II.] (in Hungarian) Akadémiai Kiadó. Budapest.
- MARSCHNER H. (1988): Mineral Nutrition of Higher Plants, Second Edition, Academic Press, London, p. 889
- MEDZIHRADSKY ZS. (1997): A magyarországi erdők rövid története. (The short history of Hungary's forests). – *Földrajzi Közlemények* CXX. 1996. 2-3. szám, 181–186.
- MELGAR J.C., M. BENLLLOCH R. FERNANDEZ-ESCOBAR (2006): Calcium increases sodium exclusion in olive plant. *Sci. Hort.*, (109), 303-305.
- MÓRICZ N., GRIBOVSKI Z. (2012): Erdő hatása a talajvízszintre: egy nyírségi erdő és parlagterület vízforgalmának összehasonlító vizsgálata – Alföldi Erdőkért Egyesület – Kutatónap kiadvány (Püspökladány), 82-88.
- MÓRICZ N., MÁTYÁS C., BERKI I., RASZTOVITS E., VEKERDY Z., GRIBOVSKI Z. (2012): Comparative water balance study of forest and fallow plots. *iForest* 5: 188–196
- NOSETTO M. D., ESTEBAN E. G., PARULEO J. M. (2005): Land use change and water losses. The case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina. *Global Change Biol.* (11): 1101-1117.
- NOVÁK B. (1998): Sejtbiológia – BME, Mezőgazdasági Kémiai Technológiai Tanszék.
- NOSETTO M. D., JOBÁGY 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.
- PÁLFAI I. (1996): A talajnedvesség és a talajvízállás változásai az Alföldön – Vízügyi Közlemények (78). 2. pp. 207-218.
- RADÓ D. (2001): A növényzet szerepe a környezetvédelemben, Zöld Érdek Alapítvány és a Levegő Munkacsoport, Budapest, 148p
- SCHENK, H. J., JACKSON, R. B. (2002): The global biogeography of roots. *Ecol. Monogr.* (72). p. 311–328.
- SCHINDLER U., VERCH G., WOLFF M., MÜLLER L. (2008): Bedeutung der unteren Randbedingung in Lysimetern für die Sickerwassermessung. Kurzfassung der Vorträge

- zur Tagung: Wasserkreislaufparameter, 31.03.-01.04.2008, Schloss Seggau bei Leibnitz (Österreich), 31-34.
- SCHLESINGER W. H. (1997): Biogeochemistry: an analysis of global change. Second edition. Academic Press, Boston, Massachusetts.
- SHIMEL, D. S., HOUSE J. I., HIBBARD K. A., BOUSQUET P., CIAIS P., PEYLIN P., BRASWELL B. H., APPS M. J., BAKER D., BONDEAU A., et al. (2001): Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*. (414). 169-172.
- SZODFRIDT I. (1990): Hozzászólás Major Pál és Neppel Ferenc: „A Duna–Tisza közti talajvízszint süllyedése” című cikkéhez *Vízügyi Közlemények*. (72). 3. p. 287–291.
- SZILÁGYI J., KOVÁCS Á., JÓZSA J. (2012): Remote sensing based groundwater recharge estimates in the Danube-Tisza Sand Plateau region of Hungary. *J. Hydrol. Hydromech.* (60): 64–72, doi: 10.2478/v10098-012-0006-3
- SZODFRIDT, I., FARAGÓ S. (1968): Talajvíz és vegetáció kapcsolata a Duna-Tisza köze homokterületén [Vegetation and groundwater connections in Kiskunság sand areas] (in Hungarian) *Bot. Közlem.* (55): 69-75.
- TÓTH T., L. KUTI S. KABOS L. PÁSZTOR L. (2001): Use of digitalized hydrogeological maps for evaluation of salt-affected soils of large areas. *Arid Land Research and Management*. 15. p. 329-346.
- VÁRALLYAY GY. (2002): A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Budapest.
- http1: <http://erdo.kormany.hu/nemzeti-erdotelepitesi-program> [Megtekintve: 2014. szeptember 15]
- http2: <http://www.tuja.hu/kerteszeti-lexikon/mesztartalom.html> [Megtekintve: 2014. szeptember 30.]
- http3: <http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/termesztismeret/ember-a-termeszetben-5-osztaly/a-talaj-keletkezese-talajvizsgalat/a-talajok-tulajdonsagai> [Megtekintve: 2014. október 19.]