

SZENT ISTVÁN EGYETEM  
ÁLLATORVOS TUDOMÁNYI KAR

**Szennyvíziszap kezelés hatása nyárfa csemeték  
fotoszintézisére és növekedésére**

**Készítette:** *Esztergályos Ivett*  
**Évfolyam:** *II. évfolyam MSc*

**Belső konzulens:** *Dr. Csintalan Zsolt*  
**Beosztása:** *egyetemi docens*

**Budapest**

**2013**

## Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS.....	3
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	5
	2.1. Kommunális szennyvíztisztítás menete.....	5
	2.2. Homoktalajok szerkezete.....	6
	2.3. Szennyvíziszap hatása a talaj szerkezetére.....	7
	2.4. Magyarországi szennyvíziszap kísérletek az erdészetben.....	9
	2.5. Külföldi kísérletek a szennyvíziszap hasznosítására az erdészetben.....	11
	2.6. Kommunális szennyvíziszap erdészeti hasznosításának jogi szabályozása Magyarországon.....	14
3.	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	17
	3.1. Tesztnövény.....	17
	3.2. Szennyvíziszap.....	18
	3.3. Produkció vizsgálat.....	18
	3.4. Klorofill fuoreszcencia vizsgálata.....	18
	3.5. CO <sub>2</sub> gáz- és vízgőzcseré vizsgálat.....	19
	3.6. Talajlégzés vizsgálat.....	20
	3.7. Pigment-tartalom vizsgálat.....	20
4.	EREDMÉNYEK.....	21
	4.1. Szennyvíziszap vizsgálati eredményei.....	21
	4.2. Az időjárási viszonyok alakulása a vizsgálat időtartama alatt.....	23
	4.3. Produkció vizsgálat eredményei.....	25
	4.4. CO <sub>2</sub> gáz- és vízgőzcseré vizsgálat.....	28
	4.5. Klorofill fuoreszcencia vizsgálat.....	36
	4.6. A levélemeletenkénti CO <sub>2</sub> gázcsere vizsgálat.....	40
	4.7. A levélemeletenkénti klorofill fuoreszcencia vizsgálat.....	42
	4.8. A fotoszintetikus pigment-tartalom vizsgálat.....	45
	4.9. A talajlégzés vizsgálat.....	46
5.	EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE.....	47
6.	KÖVETKEZTETÉS ÉS JAVASLAT.....	49
7.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	50
8.	SUMMARY.....	51
9.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	52
10.	IRODALOMJEGYZÉK.....	53

## 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Föld népességének növekedésével és a világszerte fellelhető urbanizáció erősödésével a 21. századra egyre jobban növekszik a környezeti problémák száma és súlyossága. Az urbanizáció folyamataként ezek a problémák számos esetben koncentráltan jelentkeznek, de hatásuk nemcsak a szennyező forrás közvetlen közelében, hanem sokkal távolabbra is eljuthat. A szennyvíz elvezetéséről, összegyűjtéséről, kezeléséről és a tisztítás során képződő nagy mennyiségű szennyvíziszap lehetőség szerinti alkalmazásáról humán-egészségügyi és környezetvédelmi szempontból egyaránt gondoskodni kell.

Az emberiség fennmaradásának egyik fontos kritériuma a fenntartható fejlődés, mely Ángyán (1994) megfogalmazásában: „olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen igényeit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő nemzedék esélyét arra, hogy ugyanezekkel az igényekkel a jövőben ők is élni tudjanak”. A fenntartható fejlődés fenntartása érdekében ezekre, a környezetvédelmi problémákra meg kell találni a helyes megoldást.

Hazánkban a növekvő urbanizáció hatására megnőtt a városi lakosság létszáma, amelyet egyenes arányban követett a lakosság vízfelhasználásának növekedése. Bár hazánkban fokozatosan nő a települések csatornázottsága, regionális szennyvíztisztító telepek épülnek, ahol megtörténik a szennyvizek gyűjtése és tisztítása, azonban a telepekről kikerülő szennyvíziszap további sorsa is tisztázandó. A Szennyvíz Program előrehaladásával nőtt a keletkező szennyvíziszap mennyisége, és ez a tendencia 2015-ig folytatódni is fog. A szennyvíziszap kezelése 2000-ben még főleg lerakással történt, 2008-ra azonban jelentősen megnőtt a hasznosítás aránya. Így mintegy negyedével csökkent a lerakásra kerülő szennyvíziszap mennyisége. Magyarországon 2015-re évente 300.000 tonna szárazanyag-tartalmú szennyvíziszap keletkezése várható. A növekvő mennyiségű szennyvíziszap kezelése során a jövőben is cél a hasznosítás (mezőgazdasági, városgazdálkodási, energetikai célú hasznosítás) arányának növelése. A hasznosításra nem alkalmas iszapok mennyiségét a szennyvíz és az iszapok előkezelésével a lehető legkisebbre kell csökkenteni.

A szennyvíziszap alkalmazásának egyik kiváló lehetősége az erdészeti felhasználás lehetne, mivel a legtöbb erdőművelési beavatkozás csökkenti az erdő tápelem tartalmát. Fakitermelés során az erdőt hirtelen nagy tápanyagveszteség éri, mivel a földfeletti tápanyagtartalom tekintélyes része elszállításra kerül a területről. Az elmúlt évtizedekben főként a fejlettebb országokban megnőtt az erdők trágyázásának jelentősége.

A fakitermeléssel az erdőből kivont tápelem mennyiségének trágyázással történő pótlására nagy szükség lenne, ezért olyan alternatív megoldásokat keresünk, amelyekkel ez a folyamat megállítható vagy visszafordítható, így került sor a Püspökladányi Erdészeti Kutató Állomáson kommunális szennyvíziszap nyárfá csemetékre gyakorolt hatásainak vizsgálatára.

Fenti szempontok figyelembevétele mellett az alábbi kérdéseket fogalmaztuk meg:

- A kommunális szennyvíziszap növeli-e a fehér nyár csemeték növekedését?
- A kommunális szennyvíziszap milyen hatással van a fehér nyár csemeték fotoszintézisére?
- A kommunális szennyvíziszap növeli-e a homoktalajban a talajlégzés intenzitást?
- Mutatkozik-e bármiféle gátló hatás a szennyvíziszap dózis emelésével, illetve melyik dózis tekinthető a fahozam szempontjából a leoptimálisabbnak?

## **2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS**

Napjainkban a szennyvíztisztítás során keletkező egyre nagyobb mennyiségű szennyvíziszap elhelyezésére alternatív módszereket kell kidolgozni. Ennek egyik megoldási lehetősége a mezőgazdasági alkalmazáson kívül az erdészeti felhasználás lehetne. A mezőgazdasági termelés az erdőket kedvezőtlenebb termőhelyi adottságokkal rendelkező területekre szorította vissza. A mezőgazdaság jelenleg is olyan területeket enged erdősíteni, amelyek gyenge agroökológiai potenciállal rendelkeznek, tápanyag és vízellátottságuk nem megfelelő.

Az erdészeti kutatások a múltban is rámutattak, hogy a kedvezőtlen vízgazdálkodás jelentősen javítható a megfelelő mennyiségű és minőségű szerves anyagnak a talajba juttatásával. Ezek a kísérletek lehetőséget adnak annak a feltételezésnek, hogy a telepítéssel, felújítással egy munkamenetben kijuttatott és a talaj megfelelő rétegeibe bedolgozott szerves anyag előnyösen befolyásolná a talaj vízforgalmát, a csemeték megmaradását, növekedési erélyét.

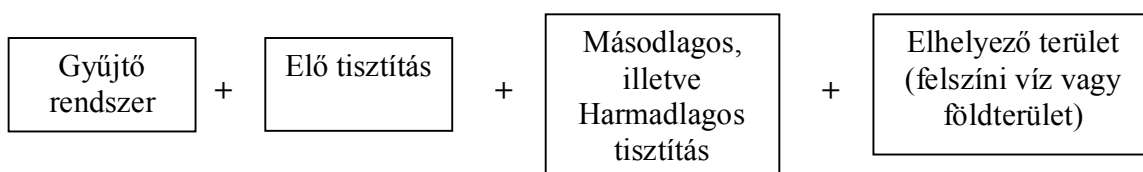
### **2.1. Kommunális szennyvíztisztítás menete**

A kommunális szennyvizek döntően háztartási szennyvizeket tartalmaznak, így ezeket háztartási, települési és városi szennyvízként szokták említeni a keletkezések eredete szerint. A tisztítás mértékét a befogadó viszonyai, a szennyvíz mennyisége, gazdasági szempontok, valamint tisztítási határértékek határozzák meg. A mesterséges rendszerekben a természetes fizikai-, kémiai- és biológiai folyamatok térben és időben koncentráltan mennek végbe, az ehhez szükséges feltételeket (pl. megfelelő mennyiségű oxigén) mesterséges eszközökkel (műtárgyakkal és gépekkel), illetve folyamatos beavatkozással kell biztosítani (Takács et al., 2006) 1. ábra. A városi szennyvizek esetében a tisztítás során három fokozatot különítenek el: elsőfokú, másodfokú, harmadfokú tisztítás.

Az elsődleges tisztítás a mechanikai tisztítás. A mechanikai tisztítás célja a nagyméretű durva úszó és lebegő szennyeződések eltávolítása. A fizikai tisztítás során szűrés és gravitációs elválasztás történik kavicsfogók, szennyvízrácsok, homokfogók, ülepítők alkalmazásával. Ezzel a tisztítási folyamattal 40-60%-os tisztulás is elérhető.

A másodlagos tisztítási fokozatra is szükség van, amelynek célja a nem ülepedhető kolloidok és oldott szerves anyagok eltávolítása. Eleveniszapos tisztítás, ahol a szerves szennyezőanyagok lebontását mikroorganizmusok (biomassza, eleven iszap) végzik. A biológiai tisztítás aerob és anaerob körülmények között zajlik (Vermes, 1998).

A harmadlagos tisztítási fokozat a másodlagos tisztítás eredményeként létrejött sók, illetve a szennyvízben még megtalálható tápelemek (nitrogén, foszfor tartalmú vegyületek) eltávolítására szolgál. A tápanyagok eltávolítása kémiai és biológiai módszerekkel történhet (Tamás, 1998).



**1. ábra** A közcsatornás szennyvíz-elhelyező rendszer elemei

## 2.2. Homoktalajok szerkezete

Hazánk összterületének közel negyedét fedik könnyű mechanikai összetételű talajok. A homoktalajok mind ásványi anyagokban, mind szerves kolloidokban szegények. Ennek következtében termékenységüket az alábbi tényezők korlátozzák: nagy vízáteresztő- és gyenge víztartó-képességük miatt e talajainknak kicsi a hasznosítható vízkészlete, továbbá aszályra és szélrózsióra érzékenyek (Várallyay, 1984).

Alföldi erdőterületeink jelentős része szélsőségesen száraz, gyenge termőképességű, kedvezőtlen vízgazdálkodású területeken található. A probléma jelentőségét az is mutatja, hogy hazánk talajainak: 43%-a kedvezőtlen, 26%-a közepes, 31%-a jó vízgazdálkodású területeken található.

Alföldi – különösen a Duna-Tisza közti – területeinken ezek az arányok még kedvezőtlenebbek (Várallyay, 1984). A talajok kedvezőtlen és közepes vízgazdálkodása főleg a durva talajtextúrára és alacsony humusztartalomra vezethető vissza.

### 2.3. Szennyvíziszap hatása a talaj szerkezetére

A humuszanyagok vízfelvétele nagyobb az agyagásványok víz megkötésénél. Minél nagyobb egy talaj humusztartalma, annál több víz áll rendelkezésre a benne tenyésző növények számára. A humusz növeli a talajok kation cserélő kapacitását, növeli a talaj toxikus anyagokat megkötő képességét, növeli a talaj sav-bázis pufferoló kapacitását, növeli a talajszerkezet víz állóságát, javítja a talaj vízgazdálkodását és hő gazdálkodási tulajdonságait, valamint a talajszerkezet minőségét.

A szennyvíziszap kiegészíti a talaj tápanyag gazdálkodását, fontos növényi tápelemeket tartalmaz, mint például a nitrogént, foszfort, ként, melyek mineralizációs folyamat révén hozzáférhetővé válnak a növények számára.

Egy püspökladányi erdészeti kísérletben lignittel kezelt szennyvíziszap kezelés hatását vizsgálták, ami a talajok humusztartalmának egyértelmű növekedését mutatta az alkalmazott szennyvíziszap mennyiségének függvényében. Ez a lignit-hígtrágya szuszpenzió esetében nem volt tapasztalható. Mindkét anyag (hígtrágya és a szennyvíziszap) ugyanolyan koncentrációjú (10%) lignittel volt kezelve. A két, különböző összetételű anyag különböző mértékben bomlott le a talajban és tápanyag-szolgáltató tartamhatásuk is eltérő volt. A kezelt talajminták minden esetben nagyobb értékeket mutattak a kontroll mintáknál. A kezelésekre hatására a talaj humusztartalma és a fontosabb tápelemek mennyisége minden esetben magasabb volt a kezeletlen minták értékeinél.

A talaj pH-ja nagymértékben befolyásolja a növények növekedéséhez szükséges tápanyag felvehetőségét. Minél savanyúbb egy talaj, annál nagyobb mértékű az anion adszorpció, a talaj lúgos kémhatása ( $\text{pH} > 7$ ) a kation-megkötődését segíti elő. A talaj savanyúsága nagymértékben növeli a foszfátok, vas, alumínium és a mikroelemek felvehetőségét. A talaj pH 7,5 értéke felett a nehézfémek a molibdén kivételével megkötődnek és a növények számára felvehetetlenné válnak. A vizsgálatban minden érték meghaladta a 7,5 pH értéket, a növények a nehézfémekkel szemben „védetté” váltak (Csiha et., 2008).

A szokásos mésztejes kezelés eredményeként a szennyvíziszapok gyakran meszesek, így bennük az ásványi elemek nagy része kevésbé mobilis. Szennyvíziszapok alkalmazása során, a savanyú talajokon a növényi tápelem felvétel csökkenhet, mivel a talaj pH értéke megemelkedhet. Egyes szakvélemények szerint a szerves anyag lebomlása után a fémek

felszabadulhatnak, és egyre oldhatóbbá válnak, és a növények számára toxikussá válhatnak (Berrow és Burrige, 1980). Mások véleménye szerint a kiszabaduló fémek kölcsönhatásba lépnek a talaj, illetve az iszap ásványi alkotóival és hidroxidokként kicsapódnak (Lewin és Beckett, 1980).

McGrath (1997) 15 szabadföldi tartamkísérlet eredményeire támaszkodva azt találta, hogy az iszappal talajba vitt elemek 60-90 %-a volt kimutatható az alkalmazás helyén királyvizes feltárással becsült összes formában. Kilúgozás nem volt bizonyítható. Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, és Cr elemek esetében nem figyeltek meg vertikális mozgást a talajoszlopon végzett laboratóriumi kísérletekben sem, ahol a talajokat 10 év csapadékának megfelelő vízzel kezelték (Giordano és Mortvedt, 1976; Emmerich 1982).

Maximális iszapterheléssel az éves szinten kiadagolható, illetve engedélyezett Zn, Cu, Cr, és Cd mennyiségét a kísérletben 10-14-szeresen lépték túl három éven keresztül (Kádár és Morvai, 2008). Az iszap 6,1 pH-értékkel, 35 % szerves anyag- és 4,6 % Ca - tartalommal rendelkezett. Savanyú talajokon nőtt a pH, karbonátos talajokon mérséklődött a talajok Scheiber-féle  $\text{CaCO}_3$  % - val együtt. A talajok kalciumban gazdagodtak, míg karbonátban elszegényedtek. A maximálisan adott 2 % szerves anyag a talajban kimutatható volt, a szerves anyag nem bomlott el. A homoktalajban a szerves-anyag mennyiség megnégyszereződött. Az iszappal adott cink, réz, króm és kadmium közelítően 100 %-a, a higany 80 %-a megtalálható volt a 3. év végén a talajban. A kísérlet 1. éve után ugyanitt a bevitt Zn-, Cu-, Cr- és Cd-mennyiség csak kb. 60 %-a volt kimutatható cc.  $\text{HNO}_3$  + cc.  $\text{H}_2\text{O}_2$  feltárással, amíg a Hg méréshatár alatt maradt. Az  $\text{NH}_4$ -acetát+ EDTA-oldható frakciókban a kísérlet 1. évében a Zn, Cu, és Cd 30-40 %-át, a Cr kevesebb, mint 1 %-át azonosították. A 3. évben Zn, Cu, és Cd 70-80 %-át a Cr 2-10 %-át találták, amíg a Hg továbbra is a kimutatási határ alatt maradt (Kádár és Morvai, 2008).

Az iszaptrágyával talajba kevert foszfor teljes mennyisége nyomon követhető volt a cc.  $\text{HNO}_3$  + cc.  $\text{H}_2\text{O}_2$  összes tartalomban, a talajok foszfor készlete átlagosan 3-5-szörösére ugrott. Az  $\text{NH}_4$ -acetát + EDTA-oldható frakció ugyanakkor már egy nagyságrenddel nőtt meg, minden talaj extrém magas foszfor tartalmúvá vált. Az iszappal talajba került vas mintegy 50 %-át találták cc.  $\text{HNO}_3$  + cc.  $\text{H}_2\text{O}_2$  oldható összes formában. Az  $\text{NH}_4$ -acetát + EDTA-oldható Fe-tartalom minden talajon többszörösére emelkedett a trágyázással és átlagosan 30% körüli visszamérhetőséget tükrözött. Az iszap szárazanyag 2 % Al-ot tartalmazott, a maximális



terhelés 1,2 g/kg Al-mennyiséget ért el. Dúsulás a cc.  $\text{HNO}_3$  + cc.  $\text{H}_2\text{O}_2$  összes készletben nem volt igazolható, az  $\text{NH}_4$ -acetát + EDTA- oldható frakció mennyisége viszont igazolhatóan 50 %-kal nőtt a trágyázással. A bevitt alumínium mintegy 3 %-a volt kimutatható formában (Kádár és Morvai, 2008).

Sajwan és munkatársai (2003) esettanulmányok alapján közölnek megvalósíthatósági vizsgálatot szénerőművi pernye, szennyvíziszap, ill. keverékek szabadföldi alkalmazhatóságáról. A különböző laboratóriumi, liziméteres, és szabadföldi vizsgálatok eredményei alapján megállapították, hogy a pernyék és a szennyvíziszap együttes alkalmazása csökkentette a nehézfémek kimosódását, illetve talajba történő bemosódását a pernye és az iszap külön-külön történő alkalmazásakor mért értékekhez képest, még olyan magas dózisu kezelés esetén is, mint a 148,2 t/ha 1:1 arányú pernye:iszap elegy. Szabadföldi tartamkísérletben még az 560 t/ha dózisu pernyealkalmazás sem okozott kimutatható változást a talaj- illetve talajvíz minőségben, sem a növények toxikuselem-felvételében. Tenyészedény kísérletben a pernye és a szennyvíziszap különböző arányú elegyei pozitívan befolyásolták a biomassza produkciót, szignifikáns nehéz fémfelvétel, illetve kimosódás nélkül (0-988 t/ha dózisonak megfelelő kezelések). A szerzők rámutatnak az erőművi pernye bizonyos növényi tápelemekben (K, Ca, S, B, Mo, Zn) való gazdagságára.

#### **2.4. Magyarországi szennyvíziszap kísérletek az erdőszetben**

2006-ban az ERTI Püspökladányi Kísérleti Állomásán tenyészedény kísérletet állítottak be. A vizsgálatnak a célja lignit-szennyvíziszap és lignit hígtrágya szuszpenziók elhelyezési lehetőségeinek vizsgálata volt a faanyag termesztésében.

A kísérlet beállítása homoktalajba kevert szuszpenziókkal történt lignites szennyvíziszap (FAN3), lignites hígtrágya (MIX), és, mindkettő 10 %-os lignit tartalommal. Akác, kocsányos tölgy és pusztaszil fajok kerültek beültetésre. Mindhárom fafaj esetében egy kontroll és három eltérő dózisu kezelés került beállításra (1. táblázat).

A lignittel kezelt szennyvíziszap- és hígtrágya szuszpenzióval kezelt növények növekedése és fejlődése normális volt, a növények a kísérlet bontásakor egészségesek voltak. 2007. januári mérések alapján a harmadik kezelés eredményezte a legerőteljesebb növekedést,

a kijutatott dózisokkal a növények növekedése arányos volt. Mindhárom fafajnál a kontroll egyedek mutatták a leggyengébb növekedést. (Keserű, 2008).

**1. táblázat** Erdészeti szennyvíziszap kísérletben kijutatott szennyvíziszap mennyisége.

<b>TAKI által meghatározott referencia értékek</b>	<b>Emelt referencia értékek (Referencia értékek kétszerese)</b>
<i>FAN3</i> ( <i>Lignites szennyvíziszap</i> )	<i>FAN3</i> ( <i>Lignites szennyvíziszap</i> )
I. Dózis: 0,9 l/100 kg homok	I. Dózis: 1,8 l/100 kg homok
II. Dózis: 2,2 l/100 kg homok	II. Dózis: 4,4 l/100 kg homok
III. Dózis: 4,5 l/100 kg homok	III. Dózis: 9 l/100 kg homok
<i>MIX</i> ( <i>Lignites hígtrágya</i> )	<i>MIX</i> ( <i>Lignites hígtrágya</i> )
I. Dózis: 1,3 l/100 kg homok	I. Dózis: 2,6 l/100 kg homok
II. Dózis: 3,1 l/100 kg homok	II. Dózis: 6,2 l/100 kg homok
III. Dózis: 6,3 l/100 kg homok	III. Dózis: 12,6 l/100 kg homok

Gyökérvizsgálatok alapján szenet, nitrogént, és a ként tartalmazott az akác gyökere nagyobb mennyiségben, illetve a lignittel kezelt hígtrágya szén, nitrogén, kén elemek esetében nagyobb értékeket eredményezett. A szárrészeket vizsgálva az akác tartalmazta nagyobb mennyiségben a 3 vizsgált elemet. A növények a lignit-szennyvíziszap szuszpenzió kezelésre nagyobb növekedési eredménnyel reagáltak, mint a lignit-hígtrágya kezelés esetében.

Az Erdészeti Tudományos Intézet Püspökladányi Kísérlet Állomásán 2005 áprilisában szennyvíziszap kompozttal tenyészedény kísérletet állítottak be. Pusztaszil gyökeres csemete, fehér fűz (dugvány) és nemes nyár (dugvány) lett elültetve. Termesztő közegnek alacsony tápanyagtartalmú folyami homokot alkalmaztak. A növekedésben (gyökérmélység, átmérő, magasság) és a fitomassza produkcióban (levéltömeg) mért értékek, a kijutatott kompozttal arányosságot, mutattak, a kapott értékek között szignifikáns különbséget találtak. A szennyvíziszappal kezelt növények fenotípusosan egészségesebbek voltak a kezeletlen növényekhez képest, utóbbi növények lomblevelein a biotikus károsítások (gomba, rovarok) is nagyobb mértékben jelentkeztek (Keserű, 2007).

## 2.5. Külföldi kísérletek a szennyvíziszap hasznosítására az erdészetben

Ferrier és munkatársai (1996) rámutatnak, hogy a kereskedelmi erdészetek eredményesen képesek hasznosítani tápanyagszegény területeken a szennyvíziszapokat.

Vizsgálatában *Pinus sylvestris* állományban hasonlították össze műtrágyák és szennyvíziszap hatását a N és a P kimosódásra, illetve növényi felvételére. Az eredmények szerint a műtrágyákhoz viszonyítva a szennyvíziszap alkalmazás kisebb N és P tartalmat eredményezett a levelekben, és a kimosódás kockázata is elhanyagolható volt.

Mitchell és munkatársai (2000) vizsgálata szerint a 200 m<sup>3</sup>/ha iszapkezelés kb. 400 kg N-nek, 200 kg P-nak felelt meg hektáronként. Az oldott ammónium és foszfáttartalom a szerves, utóbbi a B talajhorizontban is azonnal meg növekedett a kezelést követően. 17 hónapos időszak alatt a teljes N és P fluxus nagyobb volt a kontrollhoz viszonyítva, és szignifikáns NO<sub>3</sub><sup>-</sup> veszteség volt detektálható. Azonban a N és P fluxusok a drénvízben (legmélyebb horizont) 2,5 és <1 %-nak adódtak a teljes alkalmazott iszapmennyiség N és P tartalmához viszonyítva. A jelentősebb kimosódás hiányának okai a csapadékhiány, az N és P immobilizáció az avarban, a meg növekedett N felvétel és a gazdag aljnövényzet felvétele voltak.

Folyékony és víztelenített szennyvíziszap (4 és 20 % szárazanyag-tartalom) alkalmazásának hatását vizsgálta Bramryd (2001) egy 60-70 éves svédországi erdeifenyő állományban (20t szárazanyag/ha). Az iszapok alkalmazása növelte a talaj pH-t, a felvehető N tartalmat és csökkentette a C/N arányát a szerves talajhorizontban, a pH és a C/N arányváltozás 11 év elteltével is szignifikáns maradt. A felvehető N-tartalmak nagyobbak voltak a folyékony, mint a víztelenített iszappal kezelt parcellában. A fenyőhajtásokban is nőtt a N, Ca és Mg tartalom. Az azonos koncentráció ellenére nagyobb volt a hajtások Cu és Ni felvétele a folyékony iszappal kezelt talajból. A szerző következtetése szerint ökológiai szempontból kedvezőbb a víztelenített szennyvíziszap alkalmazása.

Selivanovskaya és munkatársai (2003) kommunális szennyvíziszapból készült komposzt degradált, csekély szervesanyag-tartalmú talaj javítására való alkalmazhatóságát vizsgálták *Pinus sylvestris* magoncok nevelésére szolgáló területen (30 – 90 t komposzt szárazanyag/ha). A komposzt nehézfém-tartalma nem haladta meg az előírt határértékeket.

Az eredményes termelési adatok mellett a talaj mikrobiális biomasszájának és respirációs rátájának növekedéséről is beszámolnak a szerzők.

Luo és Christie (1998) lúgos biohulladékok, köztük szennyvíziszapok alkalmazását vizsgálták savanyú, tőzegetes talajú, 13 éves *Picea sitchensis* állományban. A felszíni alkalmazással kapcsolatos tapasztalatok szerint, habár a nehézfémek nagyrészt a szerves horizontban akkumulálódtak, nem kizárható a Cu és a Zn kimosódásának kockázata.

Szennyvíziszap egyszeri alkalmazásának (13 és 26 mg szárazanyag ha<sup>-1</sup>) hatását vizsgálták erdészeti területen. A vizsgált növény Sitka lucfenyő volt. Olyan területen történt a vizsgálat, ahol a hagyományos műtrágyából és gyomirtószerből nagy mennyiség kijuttatásra lett volna szükség. A hanga-félék nagyszámú megjelenése csökkentette a lucfenyő növekedését. A vizsgálat eredménye szerint a szennyvíziszap alkalmazása csökkentette a hanga-félék mennyiségét. Hét év után az átlagos fámagasság a szennyvíziszappal kezelt parcellákban szignifikánsan nagyobb volt, mint a hagyományos módon kezelt területen növekedett fáké. A szennyvíziszap alkalmazásából származó fémszennyezés a mezőgazdaságban megállapított határértéken belül maradt, ezt igazolja a talaj felső 75 mm-ből 5 év után vett minta is. A területről elvezetett víz minőségét megvizsgálva azt megfelelőnek találták, majd tovább folytatták az iszap alkalmazását. A következő hónapokban alacsony tápanyag kimosódás volt a heves esőzések következtében, de ez a szint még mindig a minőségi előírásoknak megfelelő volt, amelyet a felszíni vizekre és ivóvizekre állapítottak meg (Dutch, 1994).

Nyugat-Washingtonban található tápanyagban szegény területen szennyvíziszap kezelést és szerves műtrágyakezelést alkalmaztak. Szennyvíziszap kezelést kapott három parcella, melynek mértéke 6000 kg N ha<sup>-1</sup>, és nitrogénes műtrágyát kapott két parcella, amelynek mértéke 1082 és 1568 kg N ha<sup>-1</sup>. Minden egyes kezelt területen mért értéket összehasonlították a szomszédos kontroll területtel. A nitrogén mennyisége egy év alatt nagyobb volt szennyvízzel és a trágyával kezelt területen, mint a szomszédos kontroll talajon. A bomlás minden területen két év után ugyanolyan mértékű volt. Vizsgálatot végeztek *Pseudotsuga menziesii* és *Picea abies* a csemeték nagyobb foszfor értéket, mutattak, az eliszaposított erdő talajon. Hosszútávon javította a szennyvíziszap a foszfor forgalmat a kezelt talajon (Prescott et al., 1993).

Szennyvíziszappal (6,7 pH) töltött edényekben neveltek nemes nyárt, zabot, kukoricát, angolperjét, fejes salátát, spenótot és babot, ezt módosították Cd, Cr, Cu, Ni, Pb és Zn acetáttal. Mindezeket egyedül vagy kombinációban hozzáadták a kezeléshez, annak érdekében, hogy megvizsgálják a fémek hatásait a növények növekedésére és fémfelvételére. Fitotoxikus fém dózisosok változtak a növény fajjal, növekvő sorrendben  $Cd < Ni < Cu < Zn < Cr < Pb$ . Az alkalmazott toxikus fémek határdózisa kombinációkban általában alacsonyabb volt, mint amit a fémek egyenként adtak. A növények elemtartalom adatai jól tükrözik a Cd, Ni, Zn hozzáadását, ez kevésbé volt így Cu-nál, amíg a Cr és Pb koncentrációja nem befolyásolta a legtöbb növényt (Smilde, 1981).

A McIntoch és munkatársai (1984) a kijutatott komposztált kommunális szennyvíziszap előnyeit, vizsgálták *Pinus strobus* és hibrid nyárfa növekedésére. Komposztált városi szennyvíziszapot keverték agyag talajba. *Pinus strobus* és hibrid nyárfa csemeték 3 évig növekedtek a területen. A *Pinus strobus* növekedésére nem volt hatással a komposztkezelés, míg a hibrid nyárfák növekedésére fokozott hatással volt. Magasságbeli különbségek voltak a kontroll és a komposztált parcellákon fejlődött növények között, gyorsabb volt a növekedési erély a komposztal módosított területen fejlődött növényeknél. A komposztal módosított talajon magasabb volt a nitrogén és a kálium koncentráció.

Nehézfémekkel (Zn, Cu, Cr, Cd) dúsított szerves hulladékok hatásait vizsgálták. A nehézfém felhalmozódását figyelték növényi szövetekben két nyárfa klónon Eridano (*Populus deltoides* × *maximowiczii*) és I-214 (*Populus* × *euramericana*) júliusban és októberben. A talaj módosítása ipari szerves hulladékkal történt, amely nem gyakorolt toxikus hatást a növényekre. A fa kivágása után mért levél, szár, gyökér biomasszája a kezelt növényeknél szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontrollban mindkét nyárfánál. Júliusban és októberben a fajlagos levélfelület (SLA) nem mutatott semmilyen jelentős változást, a kezelést követően. Szár (SMR) és gyökér tömegarány (RMR) között nem volt szignifikáns különbség a júliusi kezelésnél, míg az októberi mérések eredmények a kezelt talajban szignifikáns különbséget mutatott a szár és gyökér biomassza eloszlásában a kontrollal összehasonlítva. A nehézfémek közül négyet (Zn, Cu, Cr, Cd) tartalmaz az ipari szerves hulladék, csak a Zn, Cu, Cr koncentráció eltérő a növényekben, míg a Cd szintje mindig elérte a kimutathatósági határt. Fitoextrakciós és fitostabilizációs stratégiát figyeltek meg az Eridano és I-214 növényeknél (Sebastiani et al., 2004).

## **2.6. Kommunális szennyvíziszap erdészeti hasznosításának jogi szabályozása**

### **Magyarországon**

Az elmúlt fél évszázadban a települések szennyvíziszapjának összetétele lényegesen megváltozott. Az iszap növényi tápanyagait hasznosító – kezdetben szinte egyeduralkodó – mezőgazdasági felhasználást ma a különféle szennyező anyagokkal (gyógyszerekkel, vegyszerekkel, nehézfémekkel) terhelt iszapok esetében szigorú környezetvédelmi előírások szabályozzák.

A **91/271/EGK Irányelv** a tagországok számára előírja, hogy a felszíni és felszín alatti vizek védelme érdekében a településeken keletkező szennyvizek ártalommentes elhelyezéséről gondoskodni kell. Minden 2000 lakos-egyenértéknél (LE) nagyobb szennyezőanyag-kibocsátású agglomerációban a szennyvizet össze kell gyűjteni és azokat biológiai tisztítás után szabad élővízbe vezetni. A gazdaságosan nem csatornázható településeken (településrészek) egyedi, környezetbarát szennyvízelhelyezésről kell gondoskodni. Az irányelv a tagországok részére szennyvízelvezetési és –tisztítási fejlesztéseikről nemzeti megvalósítási program készítését és az Európai Bizottság részére történő benyújtását írja elő. Az irányelv hazai jogrendbe illesztésével összefüggő feladatokról a **2168/2000. (VII. 11.) Kormányhatározat** rendelkezik.

A Kormány **25/2002. (II.27.) rendelettel** jóváhagyta a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Programot („A” program), a **174/2003. (X. 28.) Kormányrendelettel** pedig a közműves szennyvízelvezető és -tisztító művel gazdaságosan el nem látható területekre vonatkozóan az „Egyedi Szennyvízkezelés Nemzeti Megvalósítási Program”-ot. A program közel 700 db 2000 LE feletti szennyvízelvezetési agglomerációt (1700 település) és több mint 800 vízbázis-védelmi szempontból érzékeny területen fekvő, 2000 LE alatti települést foglal magába, ahol 2015. december 31-ig meg kell oldani a közműves szennyvízelvezetést és a teljes biológiai tisztítást.

**2009. évi XXXVII. Törvény** kimondja, hogy olyan módszerek alkalmazását kell előnyben részesíteni, amelyek biztosítják azt, hogy az erdő megőrizze biológiai sokféleségét, természetességét vagy természetszerűségét, termőképességét, felújuló képességét, életképességét. Az erdővagyonnal való gazdálkodás lehetőségei a jövő nemzedékei számára is fennmaradjanak.

A törvény hatálya kiterjed a **4. § (e)** pontja szerint a szennyvíz, szennyvíziszap és hígrágya elhelyezés általi hasznosítására szolgáló fával borított területre, a **4. § (h)** pontja pedig az energetikai célból termesztett, fás szárú növényekből álló, külön jogszabály szerint létesített ültetvényekre.

A **62. § (2)** bekezdés alapján az erdő talajának védelméről az erdőgazdálkodó köteles gondoskodni. Az erdő talajának védelme érdekében az erdőgazdálkodó köteles a külön jogszabályokban meghatározott termőföldvédelmi, természetvédelmi, környezetvédelmi és vízvédelmi követelményeknek is megfelelő erdőgazdálkodási tevékenységet folytatni.

A **63. § (1)** bekezdés alkalmazásával az erdőfelújítás, az erdőnevelés, a fakitermelés, a faanyag mozgatása, valamint a feltáró úthálózat kiépítése során az erdő talajának erózió és tömörödés elleni védelméről gondoskodni kell.

**2008. évi V. törvény** A szakaszában vázolt megelőző intézkedéseken kívül az elérhető legjobb technikák meghatározásakor a következő csökkentési intézkedéseket is meg kell fontolni, mint a maradékok, a szennyvíz, a hulladékok és a szennyvíziszap kezelése például hőkezeléssel vagy inertté tételükkel, vagy olyan kémiai eljárással, amely méregteleníti azokat.

**2007. évi CXXIX. törvény 49. §** szerint a talajvédelmi hatóság engedélye szükséges:

- talajjavításhoz,
- hígrágya termőföldön történő felhasználásához az állattartás során keletkező egyéb szerves trágya kivételével,
- szennyvíz, szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználáshoz.

Az engedély legfeljebb 5 évre adható meg, melynek letelte után a tevékenység ismételen 5 évi időtartamra engedélyezhető a külön jogszabály szerinti ellenőrző vizsgálatok alapján.

**50. §** szerint a talajvédelmi hatóság eljárásához az alábbi esetekben a külön jogszabály szerinti talajvédelmi terv szükséges:

- ültetvény telepítéséhez,
- mezőgazdasági célú hasznosítást lehetővé tevő rekultivációhoz, újrahasznosításhoz.

**147/2010 (IV. 29.) Kormányrendelet** alapján gondoskodni kell a tisztított szennyvíz elhelyezéséről és a keletkezett szennyvíziszap kezeléséről, elhelyezéséről, valamint meg kell vizsgálni a tisztított szennyvíz hasznosításának lehetőségét, és törekedni kell a szennyvíziszap mezőgazdasági, energetikai, illetve alternatív hasznosításáról.

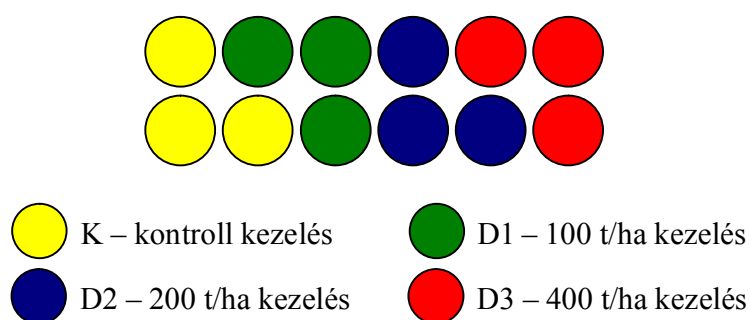
A magyar kormány a már módosult **2000. évi XLIII. Hulladékgazdálkodási törvény** alapján megalkotta az **50/2001. (IV. 3.) Kormányrendeletet** a szennyvizek és a szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól. Ez tartalmazza a szabályokon túlmenően a szükséges vizsgálatokat, a káros anyagok megengedhető koncentrációit a talajban, szennyvízben, szennyvíziszapban.



### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A Püspökladányi Erdészeti Kutatóintézet Arborétumában 2011. május elejétől – 2011. szeptember közepéig került sor a kísérlet beállítására és elvégzésére. A kísérletsorozatban egy kontrollt és három eltérő dózisu kezelést állítottunk be fehér nyár (*Populus alba* L.) hajtásdugványokkal. A kísérlethez a sívó homoktalaj a Dél-Alföldről származott. A kísérletben alkalmazott szennyvíziszap a püspökladányi szennyvíztisztító üzemből érkezett.

Kontroll talajként szennyvíziszaptól mentes homoktalaj szolgált. Az első kezelésben 100 liternyi homokhoz 5 kilogramm szennyvíziszapot adtunk, ez hektáronkénti 100 tonna szennyvíziszap felhasználásnak felel meg. A második kezelésben 100 liter homokhoz 10 kilogramm iszapot, a harmadik kezelésben pedig 20 kilogramm iszapot kevertünk, ami hektáronkénti 200, illetve 400 tonna szennyvíziszapnak felel meg. Tenyészedényként 50 centiméter átmérőjű, 100 literes műanyagbordók szolgáltak. Minden kezelésből három-három tenyészedény került beállításra három blokkban megismételve (2. ábra). A blokkok tájolása megközelítőleg észak–déli irányú volt. A vizsgálati eredményeket SPSS statisztikai program segítségével elemeztük.



**2. ábra** A kísérleti blokk elrendezése a kontroll (K) és a három szennyvíziszap kezelés (D1, D2, D3) 3-3 tenyészedényével

#### 3.1. Tesztnövény

Az elvégzett vizsgálatokhoz fehér nyár (*Populus alba* L.) hajtásdugványokból fejlődött csemetéket alkalmaztunk. A hajtásdugványok a püspökladányi Erdészeti Kutató Állomásról származtak. Minden konténerbe 3-3 darab fehér nyár dugványt ültettünk. A nyárfákat talaj

előkészítőként alkalmazzák erdőtelepítésnél, illetve gyors növekedésük miatt más facsemeték kezdeti védő árnýékolásaként.

A szennyvíziszap bekeverésére, a tenyészedenyek előkészítésére és a hajtásdugványok elhelyezésére 2011. május 6-án került sor. A csemeték megerősödése után minden tenyészedenyben minden dugványnak a legerősebb hajtását hagytuk csak meg, a többit kimetszettük. Néhány edényben nem minden dugvány hajtott ki, ezeket a későbbiekben nem pótoltuk. Az első mérésekre július legelején került sor.

### **3.2. Szennyvíziszap**

A kísérletben felhasznált szennyvíziszap a püspökladányi szennyvíztisztító üzemből származott. Püspökladányban nagyobb ipari létesítmény nem üzemel, így a szennyvíz alapvetően kommunális eredetű.

### **3.3. Produkció vizsgálat**

A fehér nyár (*Populus alba* L.) csemeték magasságát, és a dugványokból kifejlődött hajtások átmérőjét (a továbbiakban „gyökérnyak”átmérő) határoztuk meg minden konténerben.

A magasságot mérőszalaggal mértük, a gyökérnyak átmérőt pedig digitális tolómérővel a talajfelszín felett egy centiméterrel.

### **3.4. Klorofill fluoreszcencia vizsgálata**

A fluoreszcencia intenzitás meghatározásához Plant Efficiency Analyser fluorométert (Hansatech Instruments Ltd, UK) használtunk (1. kép). A műszer gerjesztő fényforrása egy nagy teljesítményű, vörös színű LED mátrix. A fluoreszcencia intenzitását a fluoreszcencia emissziós spektrum 690 nm-nél lévő maximumánál méri. A vizsgálatokhoz a nyárfá csemeték már teljesen kifejlett második leveleit használtuk. A mérések előtt a leveleket mindenkor 25 percig sötétadaptáltuk az erre szolgáló levélklipszek segítségével, az egyensúlyi fluoreszcencia elérése érdekében pedig az indukciós görbék vizsgálata 4 percig történt.

A fluoreszcencia indukciós görbe gyors szakaszából számítható a változó fluoreszcencia ( $F_v$ ), ami a maximum ( $F_m$ ) és az alap ( $F_o$ ) fluoreszcencia intenzitás közötti különbség. Felhasználásával meghatározható az  $F_v/F_m$  hányados, amely a PSII-ben végbemenő fotokémiai folyamatok maximális kvantumhasznosítási efficienciáját (hatékonyságát) adja

meg. Értéke normál körülmények közt 0,80 és 0,85 között változik. A fluoreszcencia különböző kioltások következményeként a maximum értékről az egyensúlyi, avagy steady-state értékre csökken ( $F_s$ ). Mértékéből ( $F_d = F_m - F_s$ ) számítható a fluoreszcencia csökkenési arány, az  $R_{Fd} = F_d / F_s$ , ami a teljes fotoszintetikus rendszer, a fény- és sötétszakasz aktivitását is tükrözi.



**1. kép** Fluorométer

### **3.5. CO<sub>2</sub> gáz- és vízgőzcseré vizsgálat**

A fehér nyár csemeték levélszintű CO<sub>2</sub> gázcsere mérését nyílt rendszerű CIRAS-2 hordozható infravörös gázanalizátor készülékkel mértük (PP Systems, Boston, USA) (2. kép). A méréseket a már teljesen kifejlett második levélen (azaz a csúcstól általában a 4. levélen) végeztük, illetve egy alkalommal több levélemeleten is: a legfelső és a második fiatal, fejlődő levélen, az előbb is említett már teljesen kifejlett második levélen, a legalsó, még zöld, egészséges levélen, valamint egy közepes magasságban elhelyezkedő levélen mértük.



**2. kép** Ciras infravörös gázanalizátor

### 3.6. Talajlégzés vizsgálat

A talajlégzés méréseket LI-6400 infravörös gázanalizátor (LI-COR Inc, Lincoln, USA) segítségével végeztük el, kifejezetten a talajlégzés méréséhez kifejlesztett mérőkamrát alkalmazva (3. kép). A műszer a talaj CO<sub>2</sub> kibocsátását méri infravörös gázanalizátorral, ami a talajlégzést adja meg, amelynek egyik alkotórésze a rizoszféra CO<sub>2</sub> kibocsátása, a másik pedig a mikrobiális tevékenység. A vizsgálatokhoz megelőzően a homokba műanyag gyűrűket helyeztünk, annak érdekében, hogy a talaj mérés alatti bolygatását elkerüljük. A talajlégzés vizsgálata mellett talajnedvesség és talajhőmérséklet mérésére is sor került.



3. kép Licor-6400 infravörös gázanalizátor

### 3.7. Pigment-tartalom vizsgálat

A pigment-tartalom vizsgálat elvégzéséhez a fehér nyár csemetékről levélmintát gyűjtöttünk a csemeték felső egyharmadán lévő teljesen kifejlett levelek közül.

Mintánként mélyhűtőbe lehűtött dörzsmozsárba két darab levélkorongot (3.68 cm<sup>2</sup>) 2 cm<sup>3</sup> acetonnal felöntve eldörzsöltünk és Eppendorf csőbe töltöttünk. 10 percig 5000 fordulatszámon centrifugába helyeztük a vizsgálati anyagokat. A 2 cm<sup>3</sup> felhígított mintákon spektrofotométeres mérést végeztünk. A felülülő abszorbancia mérése 662, 644, 440.5, és 750 nanométer hullámhosszon zajlott. A kl-a, kl-b és összes karotinoid meghatározására alkalmas volt ez a módszer (Lichtenhaler és Pfister, 1978).

Az egyes pigment komponenseket a következő képletek alapján számítottuk:

$$kl-a = (11,75 \times (E_{662} - E_{750}) - 2,35 \times (E_{644} - E_{750})) \times V/A$$

$$kl-b = (18,16 \times (E_{644} - E_{750}) - 3,96 \times (E_{662} - E_{750})) \times V/A$$

$$x+c = (4,695 \times (E_{440.5} - E_{750}) - 0,268 \times (5,13 \times (E_{662} - E_{750}) + 20,41 \times (E_{644} - E_{750}))) \times V/A$$

ahol V az extraktum végső térfogata (2 ml), A pedig az eldörzsölt levélminta felülete (3.68 cm<sup>2</sup>).

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1. Szennyvíziszap vizsgálati eredményei

A vizsgálatunk célja a kommunális szennyvíziszap hatásának vizsgálata volt. Püspökladányi Városüzemeltető és Vízzolgáltató Kft.-től nagy mennyiségű szennyvíziszap állt a rendelkezésünkre, amelyet a püspökladányi Erdészeti Kutató Állomáson bekevertünk homoktalajjal. A szennyvíziszap pH értéke 6.57 volt, szárazanyag tartalma 12.86 %, amelynek 22.9 % hamu, míg több mint háromnegyed része 77.1 % - mint izzítási veszteség – szerves összetevőnek tekinthető. A szennyvíziszap szerves szén tartalma 36 m/m % és a szén/nitrogén aránya 7.68 volt (2. táblázat). A kommunális szennyvíziszapon elemtartalom vizsgálatot végeztek a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetében, induktív csatolású plazma atomemissziós spektroszkópia módszerrel, melynek eredményét a 3. táblázat tartalmazza. A kapott vizsgálati eredményeket összevetve az 50/2001 (IV. 3.) Kormányrendelet 5. számú mellékletével (*Szennyvíziszapban megengedett mérgező elemek és káros anyagok határértékei mezőgazdasági felhasználás esetén*) a következő eredmények mutatkoztak (3. táblázat).

**2. táblázat.** A püspökladányi kommunális szennyvíziszap általános talajkémiai vizsgálatának eredményei

<b>száraz.</b> <b>tartalom</b>	<b>nedv.</b> <b>tartalom</b>	<b>izzítási</b> <b>veszteség</b>	<b>hamu</b>	<b>pH<sub>H2O</sub></b>	<b>szerves C</b>	<b>C/N</b>
m/m %	m/m %	m/m %	m/m %		m/m %	
12,86	87,14	77,13	22,87	6,57	36,0	7,68

**3. táblázat.** Szennyvíziszapon mért elemtartalmi értékek összehasonlítása az 50/2001 (IV. 3.) Kormányrendelet 5. számú mellékletével

<b>Elem</b>	<b>Határérték mg/kg sz.a.</b>	<b>Mért érték mg/kg sz.a.</b>	<b>Mért érték a határérték %-ában</b>
<b>As</b>	75	22,4	29,9%
<b>Cd</b>	10	0,884	8,8%
<b>Co</b>	50	3,06	6,1%
<b>Cr</b>	1000	31,1	3,1%
<b>Cu</b>	1000	99,0	9,9%
<b>Hg</b>	10	0,856	8,6%
<b>Mo</b>	20	5,71	28,6%
<b>Ni</b>	200	19,0	9,5%
<b>Pb</b>	750	19,9	2,7%
<b>Se</b>	100	1,18	1,2%
<b>Zn</b>	2500	561	22,4%

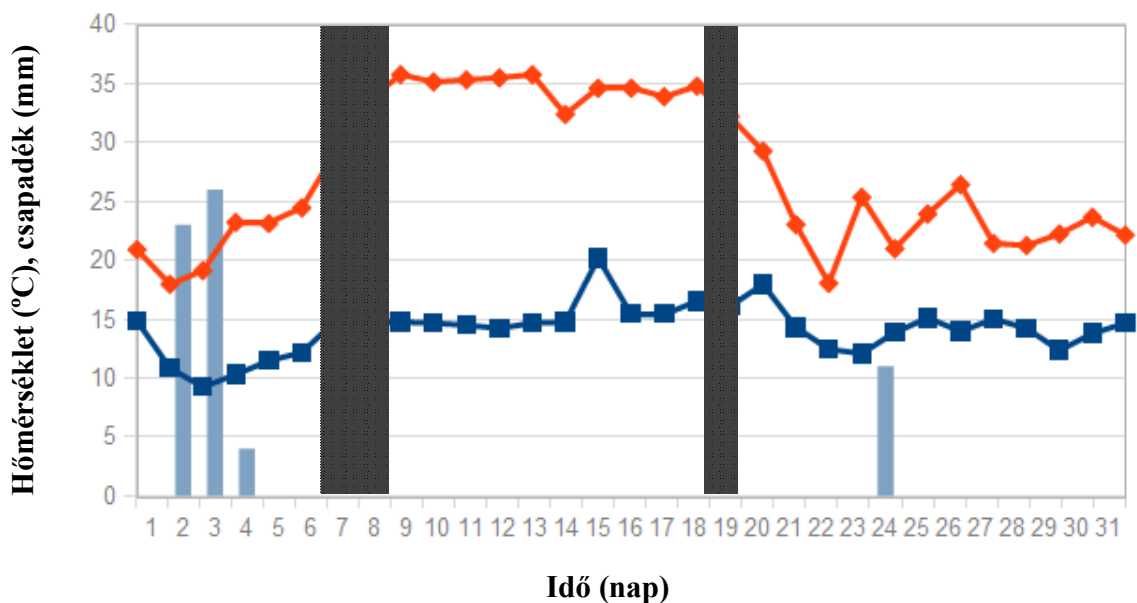
A vizsgált értékek nem haladják meg az 50/2001 Kormányrendeletben meghatározott határértékeket, tehát a kommunális szennyvíziszap ezek alapján felhasználható. Az alacsony káros anyagtartalmával szemben a szennyvíziszap tápelem tartalma rendkívül magas volt (4. táblázat).

**4. táblázat.** A püspökladányi kommunális szennyvíziszap tápelem tartalma

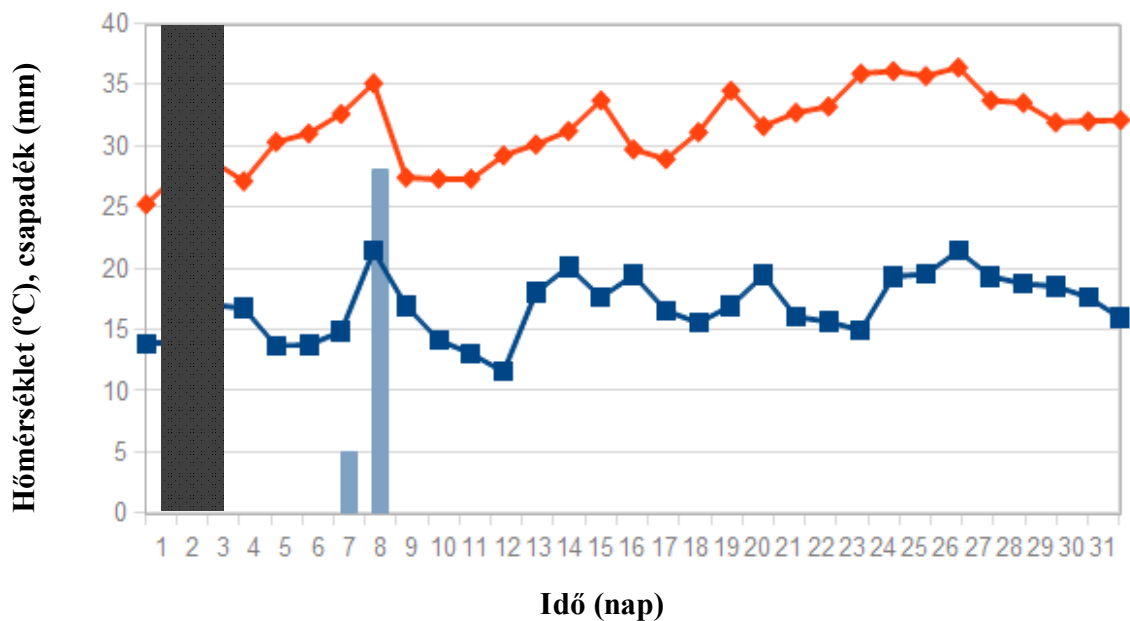
<b>Összes N</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>	<b>NO<sub>3</sub>-N</b>	<b>P</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Ca</b>
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
46900	4320	62,9	16320	7981	4041	2855	32228

#### 4.2. Az időjárási viszonyok alakulása a vizsgálat időtartama alatt

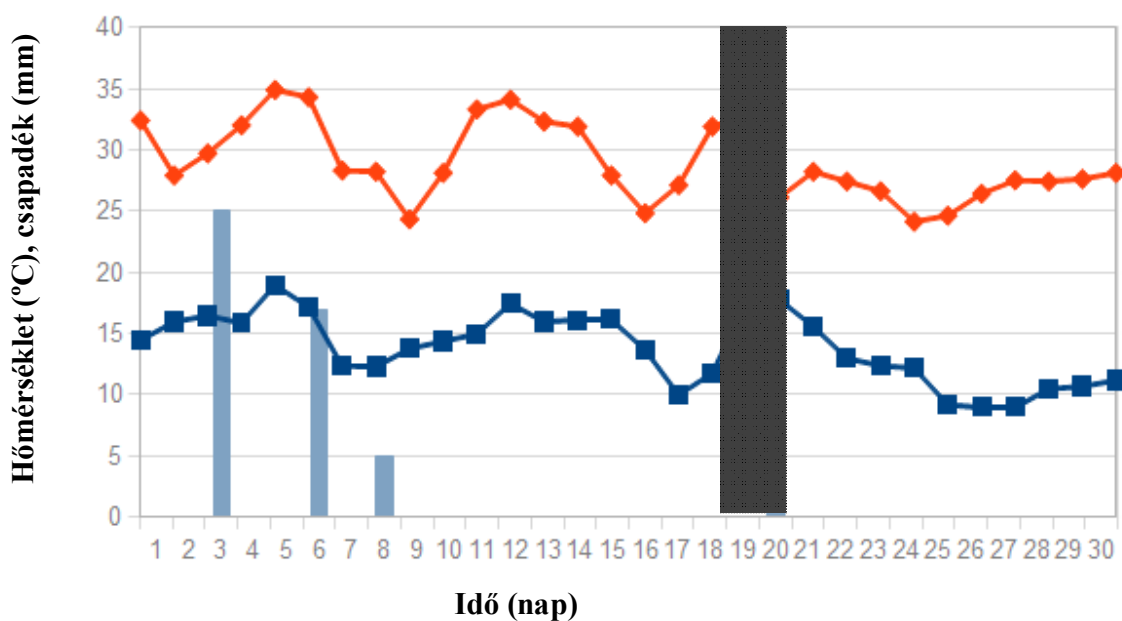
A kísérlet ideje alatt a Püspökladányi Erdészeti Kutatóintézet Arborétumában meteorológiai állomás rögzítette az időjárási paramétereket (3, 4, 5. ábrák): maximum hőmérséklet (°C), minimum hőmérséklet (°C), csapadék (mm).



**3. ábra** A napi minimum (kék szimbólum) és maximum (piros szimbólum) hőmérséklet, és a csapadék (kék oszlopok) alakulása 2011 júliusában, Püspökladányban. A szürke sáv a terepi ökofiziológiai mérések időpontját jelöli.



4. ábra A napi minimum (kék szimbólum) és maximum (piros szimbólum) hőmérséklet, és a csapadék (kék oszlopok) alakulása 2011 augusztusában, Püspökladányban. A szürke sáv a terepi ökofiziológiai mérések időpontját jelöli.



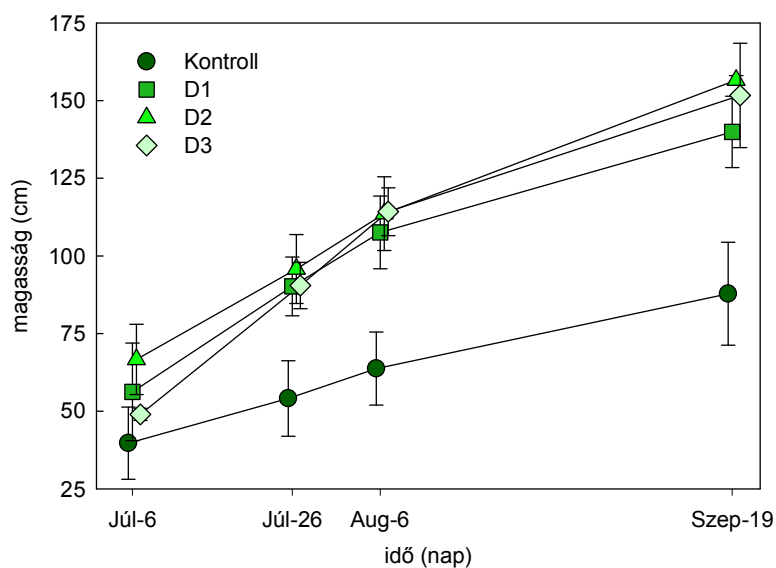
5. ábra A napi minimum (kék szimbólum) és maximum (piros szimbólum) hőmérséklet, és a csapadék (kék oszlopok) alakulása 2011 szeptemberében, Püspökladányban. A szürke sáv a terepi ökofiziológiai mérések időpontját jelöli.



A vizsgálati időszak alatt nagyon kevés csapadék hullott, júliusban 173 mm, augusztusban 33 mm, míg szeptemberben 49 mm. A napi maximális hőmérséklet júliusban és augusztusban is tartósan 35 °C felett volt, és még szeptemberben is, a vizsgálatok befejezéséig is, tartósan 30 °C felett volt.

#### 4.3. Produkció vizsgálat eredményei

A szennyvíziszap kezelés már a hajtásdugványokból kifejlődött fiatal csemeték kezdeti fejlődésére is kedvező hatással volt, de a legoptimálisabb nem a legnagyobb, hanem a közbenső dózis alkalmazása volt. A legnagyobb dózis a kedvező hatások mellett toxikus hatást is gyakorolt a csemetékre fejlődésük legérzékenyebb időszakában. Ez a kedvezőtlen hatás a későbbiekben megszűnt, július végére, augusztus elejére a szennyvíziszappal kezelt növények magassága közötti kezdeti különbség eltűnt (6. ábra).



**6. ábra** A 2011. május elején homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemeték átlagmagasságának (cm) időbeni változása.

A legintenzívebb növekedésre július hónapban került sor, amihez az erre a hónapra jellemző kedvezőbb csapadékelátottság is hozzájárult. A napi átlagos növekedés a július eleji mérés előtt átlagosan 6 mm volt a kontroll egyedek esetében, 9, 10, illetve 8 mm a D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, és

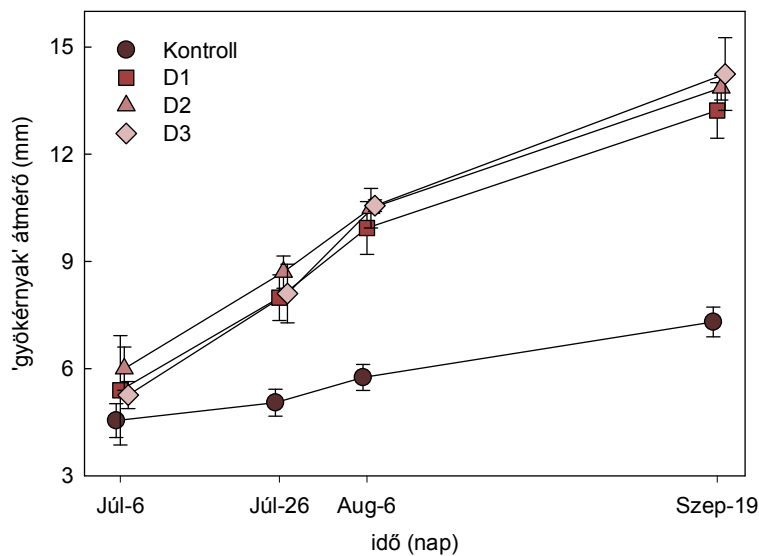
D<sub>3</sub> kezelések egyedeinél. Július 6-a és augusztus 6-a között ez az érték a kontrollnál 8mm, a három kezelésnél pedig átlag 16, 15, és 21 mm volt.

Egy-egy időpontban a kezelések összehasonlítását egyváltozós általános lineáris modell segítségével, és Tukey-féle *post-hoc* páronkénti összehasonlítással elemeztük. A legelső mérés alkalmával, július 6-án, a kontroll növények szignifikáns mértékben alacsonyabbak a D<sub>1</sub> és D<sub>2</sub> kezelés növényeihez képest. Az iszapkezeléseket összehasonlítva a D<sub>3</sub> különbözik a D<sub>2</sub> kezeléstől. A későbbi időpontokban az iszapkezelések között nincs eltérés a magasságban, kontroll növények viszont mindig alacsonyabbak.

A július 26 és az augusztus 6 között eltelt rövid idő alatt bekövetkezett növekedés mértéke nem, de az első és második, valamint a harmadik és negyedik időpont közötti növekedés szignifikáns mértékű valamennyi kezelés esetében.

A magasságbeli növekedés ütemének összehasonlítása ANCOVA segítségével (mérések ideje, az idő, a kovariáns) történt. A szennyvíziszap eltérő dózisa nem okoznak szignifikáns eltérést a növekedés ütemében, viszont jelentősen intenzívebb növekedést eredményeznek a kontrollhoz viszonyítva.

A gyökérnyak átmérő vizsgálatok hasonló eredményt adtak a magasság vizsgálatokéhoz. A legnagyobb dózis korai fejlődésre gyakorolt toxikus hatása itt is érvényesült, ami a tenyészedőszak későbbi időszakára megszűnt (7. ábra).



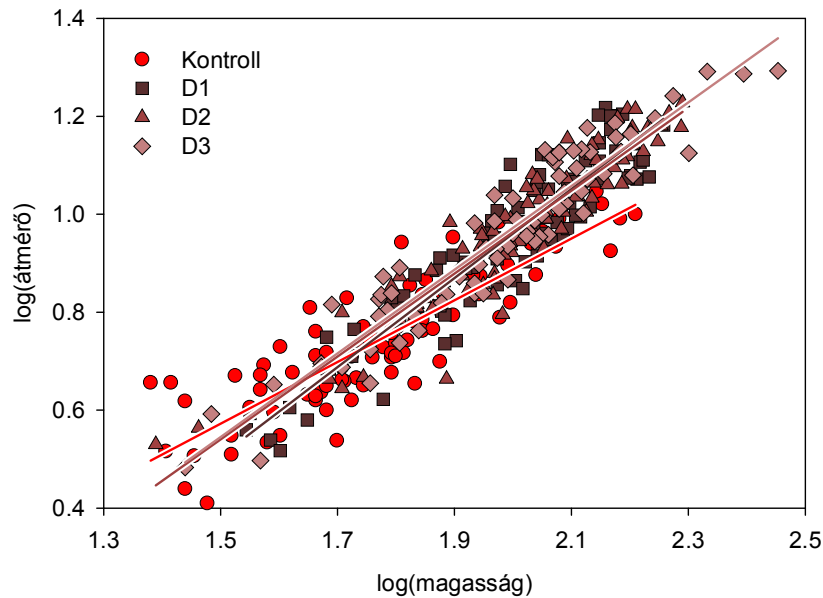
**7. ábra** A 2011. május elején homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemeték talajfelszín felett mért átlagos átmérőjének (mm) időbeni változása.

Egy-egy időpontban a kezelések összehasonlítását általános lineáris modell és Tukey-féle *post-hoc* páronkénti összehasonlítás segítségével végeztük el. Az első vizsgálat időpontjában a kontroll növényeknek átmérője szignifikáns mértékben alacsonyabb a D<sub>1</sub> és D<sub>2</sub> kezelés növények gyökérmék átmérőjéhez képest. A későbbi időpontokban az iszapkezelések között nincs eltérés az átmérő tekintetében, a kontroll növények viszont mindig vékonyabbak.

A július 26. és az augusztus 6. között eltelt rövid idő alatt bekövetkezett növekedés mértéke nem, de az első és második, valamint a harmadik és negyedik időpont közötti vastagságbeli növekedés szignifikáns mértékű valamennyi kezelés esetében. A gyökérmék átmérő növekedés ütemének összehasonlítását ANCOVA segítségével (kovariáns az idő) végeztük. A szennyvíziszap eltérő dózisa nem okoznak szignifikáns eltérést a vastagságbeli növekedés ütemében, viszont jelentősen intenzívebb növekedést eredményeznek a kontroll növényekéhez viszonyítva.

A magasság és az átmérő között korreláció vizsgálatot végeztünk annak érdekében, hogy megnézzük van-e eltérés a kontroll és az egyes kezelések között a hosszanti és vastagságbeli növekedés kapcsolatában. A magasságbeli növekedéssel párhuzamosan a

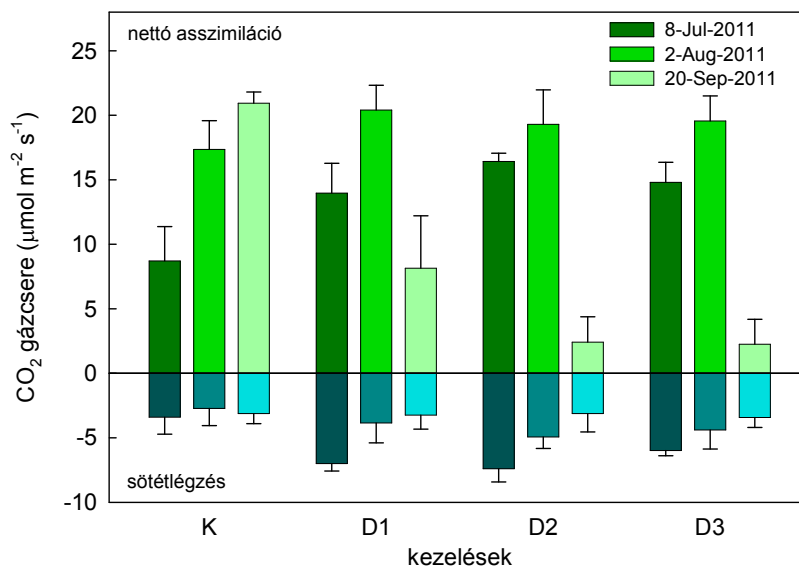
szennyvíziszap kezelés hatására intenzívebb a vastagodás a kontrollhoz képest, az eltérő dózisok között ugyanakkor nem mutatkozik eltérés (8. ábra).



**8. ábra** A homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemeték magassága és átmérője közötti korreláció.

#### 4.4. CO<sub>2</sub> gáz- és vízgőzcseré vizsgálat

A szennyvíziszap kezelés hatása már a hajtásdugványokból kifejlődött fiatal csemeték nettó asszimilációjának intenzitására kedvező hatással volt, a kontroll egyedek fotoszintézis aktivitásához képest mindhárom kezelés esetében szignifikánsan magasabb nettó asszimilációt mértünk július 8-án (9. ábra). A második időpontra az eltérés mértéke csökkent, és már csak a kontroll és a D<sub>1</sub> kezelés közötti különbség volt jelentős. A harmadik időpontban az iszappal kezelt egyedeknél jelentős nettó asszimiláció csökkenés következett be, míg a kontrollnál ez a csökkenés nem jelentkezett. A meteorológiai adatokat figyelembe véve az augusztusi és a szeptemberi időszakban az átlag hőmérséklet 30 °C felett volt, és ebben az időszakban nagyon kevés csapadék hullott.



**9. ábra** A 2011. május elején homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemeték legfelső, már teljesen kifejlett leveleinek nettó asszimilációja (A) és sötétlégzés (Rd) intenzitása (μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) július 8-án, augusztus 2-án és szeptember 20-án. „T” a standard deviáció nagyságát jelöli.

Az egyes időpontokban az egyes kezelések között legalább 5 %-os szignifikancia szinten igazolt eltéréseket a következő táblázat tartalmazza. Soronként az azonos betűk az egymástól szignifikáns mértékben nem különböző kezeléseket jelöli (a különböző sorok jelölései egymástól teljesen függetlenek) (5. táblázat).

**5. táblázat** Időpontonként a kezelések közötti nettó asszimiláció különbségek statisztikai próbája

	kontroll	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
7/8	a	b	b	b
8/2	a	b	ab	ab
9/20	c	b	a	a

A szárazság-stressz során kialakuló válaszreakció lényeges védelmi vonalát a sztómák képezik a párologtatás során fellépő vízvesztés korlátozásával. Ez az oka annak is, hogy a harmadik mérési időpontban a kezelt növények nettó asszimilációja kisebb volt a kontroll növényekhez képest, amely a sztomatikus gátlás következménye (9. ábra).

Egy-egy kezeléson belül a különböző időpontokban mért nettó asszimiláció intenzitásában mutatkozó szignifikáns eltéréseket szintén az általános lineáris modell és a Tukey-féle páronkénti összehasonlítás segítségével ellenőriztük, melynek eredménye (melyet szintén soronként kell értelmezni) (6. táblázat).

**6. táblázat** Kezelésenként a nettó asszimiláció időbeli változásának statisztikai próbája

	7/8	8/2	9/20
kontroll	a	b	c
D <sub>1</sub>	ab	b	a
D <sub>2</sub>	b	c	a
D <sub>3</sub>	b	c	a

A kontroll esetében a három különböző mérési időpont közötti változás szignifikáns növekedés, ugyanakkor az iszapkezeléseknél a második mérési időpontban szignifikáns növekedést, míg a harmadik mérési időpontban egy szignifikáns mértékű csökkenést tapasztaltunk.

A sötétlégzés intenzitás tekintetében a kontrollnál a három mérési időpontban nem volt statisztikailag igazolható különbség (9. ábra és 7. táblázat). A D<sub>1</sub> és a D<sub>3</sub> kezelésben a sötétlégzés intenzitása az első mérési időpontban, szignifikáns mértékben magasabb volt, mint a későbbi két mérési időpontban. A D<sub>2</sub> kezelésben ugyanakkor sötétlégzés intenzitása a teljes vizsgálati időszakban, jelentős mértékben csökkent (7. táblázat).

**7. táblázat** Kezelésenként a sötétlégzés időbeli változásának statisztikai próbája

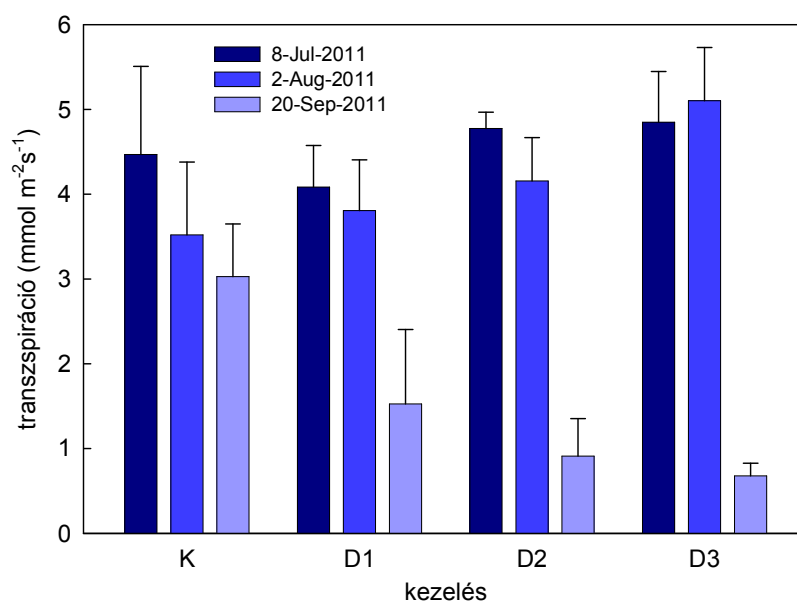
	7/8	8/2	9/20
kontroll	a	a	a
D <sub>1</sub>	b	a	a
D <sub>2</sub>	c	b	a
D <sub>3</sub>	b	a	a

Egy-egy időpontban van-e szignifikáns eltérés a különböző kezelések sötétlégzés intenzitásában. A július 8-i, és az augusztus 2-i mérési időpontban a kontrollhoz képest az iszappal kezelt növények sötétlégzés intenzitása lényegesen magasabb volt. A harmadik mérési időpontban nem volt igazolható eltérés a kezelések között (8. táblázat).

**8. táblázat** Időpontonként a kezelések közötti sötétlégzés intenzitás különbségek statisztikai próbája

	kontroll	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
7/8	a	b	b	b
8/2	a	ab	b	b
9/20	a	a	a	a

A párologtatás tekintetében a kezeletlen homoktalajban fejlődött fehér nyár csemetéknél egyenletes időbeli csökkenést figyeltünk meg, de a változás mértéke az egyedek közötti jelentős variabilitás miatt nem tekinthető szignifikánsnak (10. ábra). A kezelt növények transzspirációja ugyanakkor szeptember 20-án rendkívül jelentős mértékben lecsökkent, a kontrollé viszont jóval kisebb mértékben, így a kontroll és a kezelt növények transzspiráció intenzitása között szignifikáns különbség alakult ki (9. táblázat).



**10. ábra** A 2011. május elején homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemeték legfelső, már teljesen kifejlett leveleinek transzspirációja (E) ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) július 8-án, augusztus 2-án és szeptember 20-án. Az oszlopok tetején a “T” a standard deviáció nagyságát jelöli.

**9. táblázat** Egy-egy kezeléson belül a különböző időpontok közötti eltérések statisztikai próbája

	7/8	8/2	9/20
kontroll	a	a	a
D <sub>1</sub>	b	b	a
D <sub>2</sub>	c	b	a
D <sub>3</sub>	b	b	a

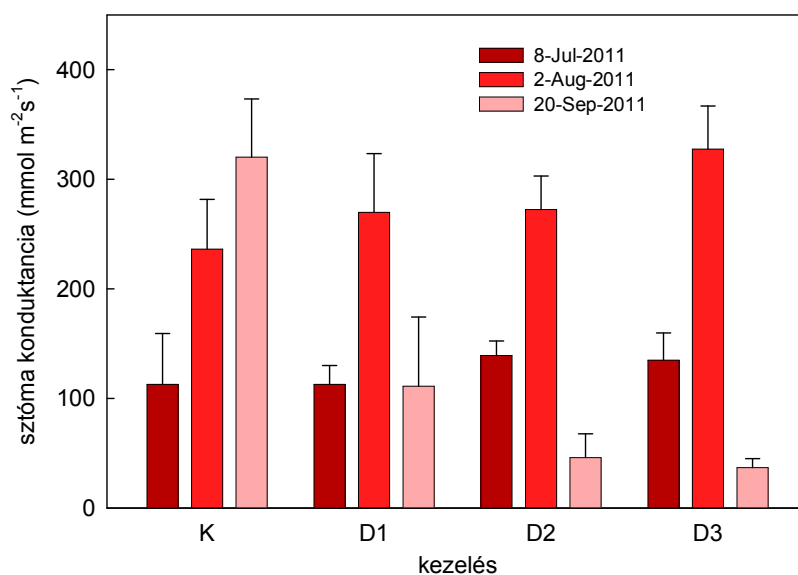
Az első mérési időpontban a kontroll és a kezelt növények transzspiráció intenzitása között nincs szignifikáns különbség. A második mérési időpontban a kontroll, D<sub>1</sub> és D<sub>2</sub> kezelésekhöz képest szignifikáns mértékben nagyobb a D<sub>3</sub> kezelés transzspiráció intenzitása. A harmadik mérési időpontban minden kezelt növény transzspiráció intenzitása szignifikáns mértékben csökkent a kontroll növények transzspiráció intenzitásához képest (10. táblázat).



**10. táblázat** Időpontonként a kezelések közötti transzspiráció intenzitás különbségek statisztikai próbája

	kontroll	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
7/8	a	a	a	a
8/2	a	a	a	b
9/20	c	b	ab	a

A kontroll növények teljesen kifejlett leveleinek sztóma konduktanciája a teljes vizsgált időszak alatt szignifikáns mértékben növekedett, a növekedés mértéke ugyanakkor az egyes időpontok között nem azonos (11. ábra). A három különböző dózisú kezelésben fejlődött növények teljesen kifejlett leveleinek sztóma konduktanciája augusztus 2-án szignifikáns megnőtt, amíg a szeptember 20-i mérésnél egy rendkívül jelentős csökkenést tapasztaltunk. A tartós vízhiány okozta szárazság-stressz hatására a szennyvíziszappal kezelt nyárfák csemeték sztóma záródással reagáltak, amelyet a sztóma konduktancia értékek szignifikáns csökkenése jelzett a szeptember 20-i mérési időpontban (11. táblázat).



**11. ábra** A 2011. május elején homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemeték legfelső, már teljesen kifejlett leveleinek sztóma konduktanciája (gs) (mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) július 8-án, augusztus 2-án és szeptember 20-án. Az oszlopok tetején a "T" a standard deviáció nagyságát jelöli.

**11. táblázat** Egy-egy kezeléson belül a különböző időpontok közötti eltérések statisztikai próbája

	7/8	8/2	9/20
kontroll	a	b	c
D <sub>1</sub>	a	b	a
D <sub>2</sub>	b	c	a
D <sub>3</sub>	b	c	a

A júliusi mérési eredmények alapján nem volt szignifikáns különbség a kezelések között. Az augusztusi mérési eredmények alapján a K, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> kezelésekhöz képest D<sub>3</sub> kezelésben fejlődött fehér nyár csemeték sztóma vezetőképessége szignifikánsan nagyobb. A szeptember 20-i mérésnél a szárazság stressz hatással volt a kezelt növények sztóma konduktancia intenzitására, amely szignifikáns mértékben csökkent a kontrollhoz képest (12. táblázat).

**12. táblázat** Időpontonként a kezelések közötti sztóma vezetőképesség különbségek statisztikai próbája

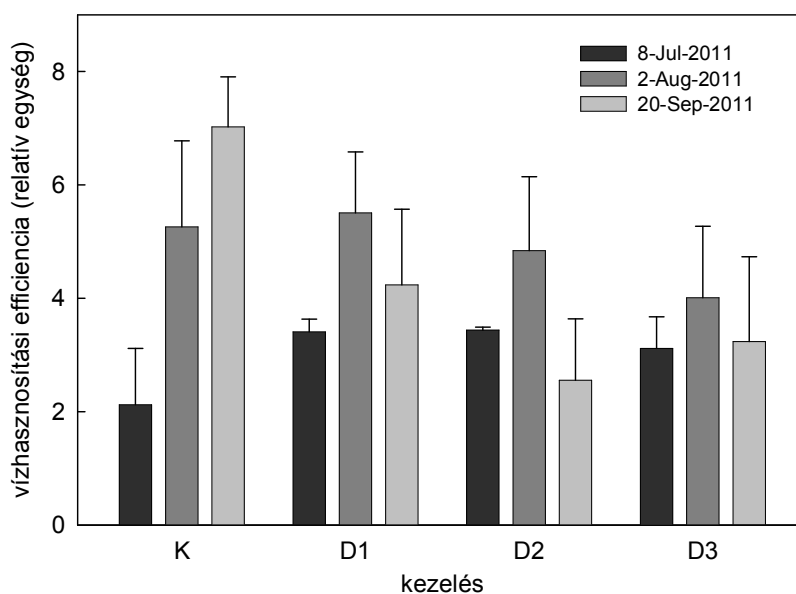
	kontroll	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
7/8	a	a	a	a
8/2	a	a	a	b
9/20	c	b	a	a

A fotoszintézis vízhasznosítási efficienciája azt mutatja, hogy a levél 1 mmol víz elpárologtatása közben hány  $\mu\text{mol CO}_2$ -t köt meg.

A kontroll növények vízhasznosítási efficienciája szignifikáns mértékben nőtt az augusztusi időpontban (12. ábra). A D<sub>1</sub> kezelésben az augusztusi mérési időpontban egy szignifikáns növekedést tapasztaltunk. A D<sub>2</sub> kezelésben az augusztus 2-i időpontban egy szignifikáns növekedést, amíg a szeptember 20-i időpontban vízhasznosítási efficiencia intenzitása szignifikáns mértékű csökkenést mutatott. A D<sub>3</sub> kezelésben fejlődött fehér nyár csemetéknél nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget (13. táblázat).

**13. táblázat** Kezelésenként a vízhasznosítási hatékonyság időbeli változásának statisztikai próbája

	7/8	8/2	9/20
kontroll	a	b	b
D <sub>1</sub>	A	B	AB
D <sub>2</sub>	ab	b	a
D <sub>3</sub>	A	A	A



**12. ábra** A 2011. május elején homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemeték legfelső, már teljesen kifejlett leveleinek vízhasznosítási efficienciája (A/E) július 8-án, augusztus 2-án és szeptember 20-án. Az oszlopok tetején a “T” a standard deviáció nagyságát jelöli.

A júliusi mérések alapján a homoktalajban fejlődött nyárfá csemetékhez viszonyítva a szennyvíziszappal kezelt talajban fejlődött csemeték vízhasznosítási efficienciája szignifikánsan magasabb volt. A második mérés során nem tapasztaltuk a vízhasznosítási

efficiencia mértékében szignifikáns különbségeket. A szeptemberi mérések során a kontroll növények vízhasznosítási efficienciája szignifikánsan nagyobb a három eltérő szennyvíziszap dózisban fejlődött növényekéhez képest (14. táblázat). A kezelt egyedeknél tapasztalt kedvezőtlen csökkenés oka az, hogy a szárazság-stressz miatt jelentős mértékben záródott gázcserenyílások a nettó asszimiláció intenzitását jelentősebb mértékben korlátozták a transzspiráció intenzitásához képest.

**14. táblázat** Időpontonként a kezelések közötti vízhasznosítási hatékonyság különbségek statisztikai próbája

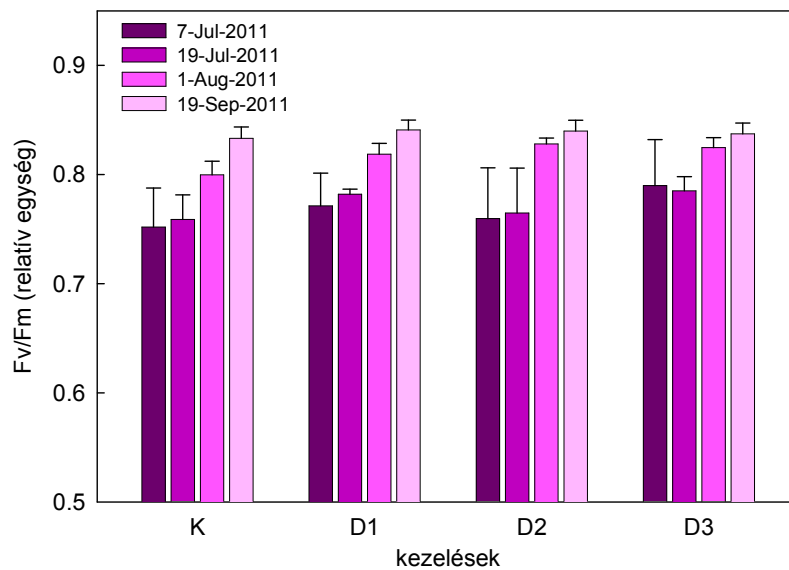
	kontroll	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
7/8	a	b	b	b
8/2	a	a	a	a
9/20	b	a	a	a

#### 4.5. Klorofill fuoreszcencia vizsgálat

Az Fv/Fm a kettes fotokémiai rendszer maximális fotokémiai hatékonyságát jellemző paraméter. Ez az érték a legtöbb növény fajnál 0,83 körül optimális.

Júliusban mindkét mérés alkalmával a maximális fotokémiai hatékonyság alacsonyabb volt az augusztusi és a szeptemberi mért értékekhez képest a kontroll és a szennyvíziszap kezelt egyedeknél egyaránt (13. ábra). Míg az utóbbi két időpontban a 0,79-0,83 közötti Fv/Fm értékek az optimálishoz közeli voltak az egyre fokozódó szárazság-stressz ellenére is, a júliusi értékek 0,75-0,78 között változtak, elmaradva a normálistól a növényeket ért kedvezőtlen hatást jelezve. Ennek hátterében a kontroll és a kezelt növényeket egyaránt sújtó júliusi 30 °C feletti magas hőmérséklet okozta hőstressz áll, amivel szemben a fotoszintetikus apparátus fokozott zeaxantin szintézissel reagál a fotoszintetikus membránok védelme érdekében, ami egyben Fv/Fm csökkenést is eredményez.

A fehér nyár csemeték már teljesen kifejlődött leveleinek maximális fotokémiai hatékonysága általában 78-80% között változott, így nem tapasztaltuk a szennyvíziszap gátló hatását (13. ábra).



**13. ábra** A 2011. május elején homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemeték legfelső, már teljesen kifejlett leveleinek maximális fotokémiai hatékonysága (Fv/Fm) július 7-én, július 19-én, augusztus 1-jén és szeptember 19-én. “T” a standard deviáció nagyságát jelöli.

Júliusi időpontokhoz képest a kontroll, dózis egy, dózis kettő növények teljesen kifejlett leveleinek maximális fotokémiai hatékonysága az augusztus 1, és szeptember 19-i időpontoknál szignifikánsan nőtt. A dózis három kezelésben a július 19-i mérésnél volt a legkisebb a teljesen kifejlett levelek maximális fotokémiai hatékonysága, a legnagyobb a szeptember 19-i mérésnél (15. táblázat).

**15. táblázat** Kezelésként az Fv/Fm időbeli változásának statisztikai próbája

	7/7	7/19	8/1	9/19
kontroll	a	a	b	b
D <sub>1</sub>	a	a	b	b
D <sub>2</sub>	a	a	b	b
D <sub>3</sub>	ab	a	bc	c

A júliusi 7, júliusi 19 időpontok során a négy különböző kezelésben a maximális fotokémiai hatékonyság tekintetében nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget. Az augusztusi és a szeptemberi mérések során a kontroll növények maximális fotokémiai hatékonysága szignifikáns mértékben alacsonyabb volt a három eltérő dózisban fejlődött növények maximális fotokémiai hatékonyságához képest (16. táblázat).

**16. táblázat** Időpontonként a kezelések közötti Fv/Fm különbségek statisztikai próbája

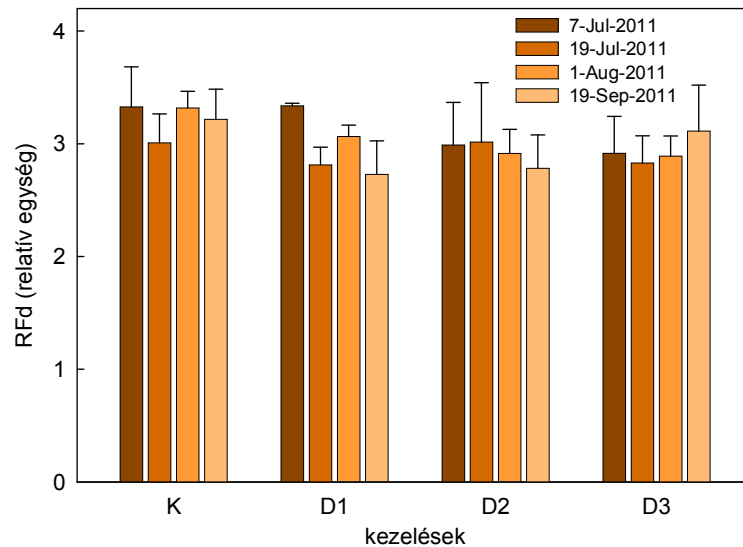
	kontroll	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
7/7	a	a	a	a
7/19	a	a	a	a
8/1	a	a	b	b
9/19	a	ab	b	b

A másik fluoreszcencia paraméter – az RFd – a potenciális tilakoid aktivitással hozható összefüggésbe, erre utal a vitalitási index elnevezése is (14. ábra).

A különböző időpontokban a kontroll, D<sub>2</sub> és D<sub>3</sub> kezeléseknél nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a teljesen kifejlett levelek vitalitás indexében. A D<sub>1</sub> kezelésben a július 7-i mérésidőpontban a legnagyobb, míg a szeptember 19- mérésnél legkisebb a teljesen kifejlett levelek RFd értéke (17. táblázat).

**17. táblázat** Kezelésenként az RFd időbeli változásának statisztikai próbája

	7/7	7/19	8/1	9/19
kontroll	a	a	a	a
D <sub>1</sub>	c	ab	bc	a
D <sub>2</sub>	a	a	a	a
D <sub>3</sub>	a	a	a	a



**14. ábra** A 2011. május elején homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemeték legfelső, már teljesen kifejlett leveleinek vitalitási indexe (RFd) július 7-én, július 19-én, augusztus 1-én és szeptember 19-én. Az oszlopok tetején a “T” a standard deviáció nagyságát jelöli.

Egy-egy időpontban van-e szignifikáns eltérés a különböző kezelések teljesen kifejlett levelek vitalitás indexében.

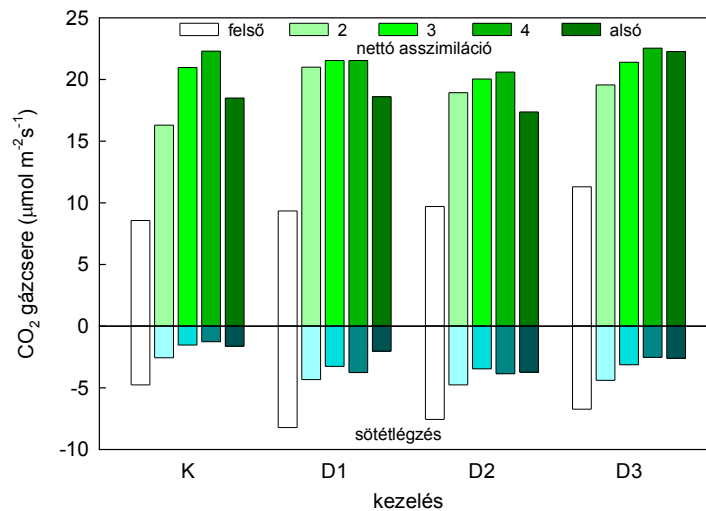
A júliusi 7, júliusi 19 időpontok során a négy különböző kezelésben a levelek vitalitás indexe tekintetében nem tapasztalunk szignifikáns különbséget. Az augusztusi és a szeptemberi mérések során a kontroll növények teljesen kifejlett leveleinek vitalitás indexéhez képest a három eltérő dózisban szignifikáns mértékű csökkenést tapasztaltunk (18. táblázat).

**18. táblázat** Időpontonként a kezelések közötti különbségek statisztikai próbája

	kontroll	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
7/7	a	a	a	a
7/19	a	a	a	a
8/1	b	ab	a	a
9/19	b	ab	a	a

#### 4.6. A levélemeletenkénti CO<sub>2</sub> gázcsere vizsgálat

A kontroll növény esetében az augusztus 3-án elvégzett mérések alapján a két felső, fiatal és az alsó, idős levelek fotoszintézis aktivitása elmarad a már teljesen kifejlett levelek aktivitásától. A kezelt talajon fejlődött növények esetében a lényegi különbség, hogy már a csúcstól számított második fiatal levél fotoszintézis aktivitása is igen magas, a lejjebb elhelyezkedő kifejlett levelekéhez hasonló, a D<sub>3</sub> kezelésnél pedig a legalsó, még zöld levél fotoszintézise is igen intenzív (15. ábra). A legmagasabb légzésintenzitással minden növénynél az intenzíven növekedő legfiatalabb levelek rendelkeznek (úgynevezett növekedési légzés), az alsóbb levelek sötétlégzése lényegesen alacsonyabb (úgynevezett fenntartási légzés).



**15. ábra** A 2011. május elején homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemetek már mérhető legfiatalabb (felső), fejlődő fiatal (2), teljesen kifejlett fiatal (3), kifejlett idősebb (4), és legalsó leveleinek nettó asszimiláció és sötétlégzés intenzitása augusztus 3-án.

Általános lineáris modell segítségével megvizsgáltuk a kezelések közötti eltérést minden levélemeletet figyelembe véve. A statisztikai elemzésben a levélemelet, mint random faktort vettük figyelembe, hogy a kezelések Tukey-féle *post-hoc* összehasonlítása levélemeletenkénti páros összevetést végezzen el. A teszt alapján a levélemeletenkénti nettó asszimiláció tekintetében nem mutatkozik különbség a kontroll és a D<sub>2</sub> kezelés között, és szintén nincs



eltérés a D<sub>1</sub> és a D<sub>3</sub> növények között, a két csoport közötti eltérés viszont jelentős. A sötétlégzés intenzitás tekintetében a legkisebb értékekkel a kontroll növény rendelkezik (19. táblázat). Azonos környezeti körülmények között a légzésintenzitást alapvetően meghatározó belső tényező a rendelkezésre álló légzési szubsztrát, ami a kontroll növények esetében lényegesen alacsonyabb a kezelt növényekhez viszonyított lényegesen kevesebb számú levélből álló és szintén lényegesen kisebb összes asszimiláló felülettel rendelkező lombozata miatt a kezelt növényekéhez hasonló fotoszintézis aktivitás ellenére is.

**19. táblázat** A kezelések közötti különbségek statisztikai vizsgálata a levélemeletenkénti nettó asszimiláció és a sötétlégzés alapján)

	<b>nettó asszimiláció</b>	<b>sötétlégzés</b>
kontroll	a	a
D <sub>1</sub>	b	c
D <sub>2</sub>	a	c
D <sub>3</sub>	b	b

#### 4.7. A levélemeletenkénti klorofill fluoreszcencia vizsgálat

A különböző korú levelek maximális fotokémiai hatékonysága a kontroll növénynél a nettó asszimiláció levélemeletenkénti változását követte (16. ábra), a kezelt növényeknél viszont csak a D<sub>3</sub> kezelés legfiatalabb és legidősebb levele közötti különbség tekinthető szignifikánsnak (20. táblázat).

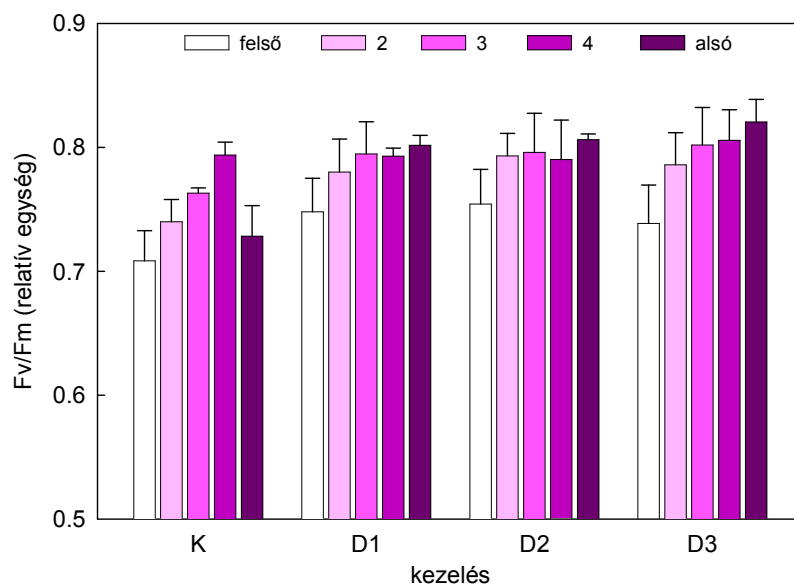
**20. táblázat** Kezelésenként a levélemeletek Fv/Fm értékeinek statisztikai próbája

	felső	2.	3.	4.	alsó
kontroll	a	ab	bc	c	ab
D <sub>1</sub>	a	a	a	a	a
D <sub>2</sub>	a	a	a	a	a
D <sub>3</sub>	a	ab	ab	ab	b

Levélemeletenként a kezelések között kizárólag a kontroll növény legsó leveleinek fotokémiai hatékonysága alacsonyabb jelentős mértékben a kezelt levelek legsó leveleinek hatékonyságához képest (21. táblázat).

**21. táblázat** Levélemeletenként a kezelések közötti Fv/Fm különbségek statisztikai próbája

	kontroll	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
felső	a	a	a	a
2.	a	a	a	a
3.	a	a	a	a
4.	a	a	a	a
alsó	a	b	b	b

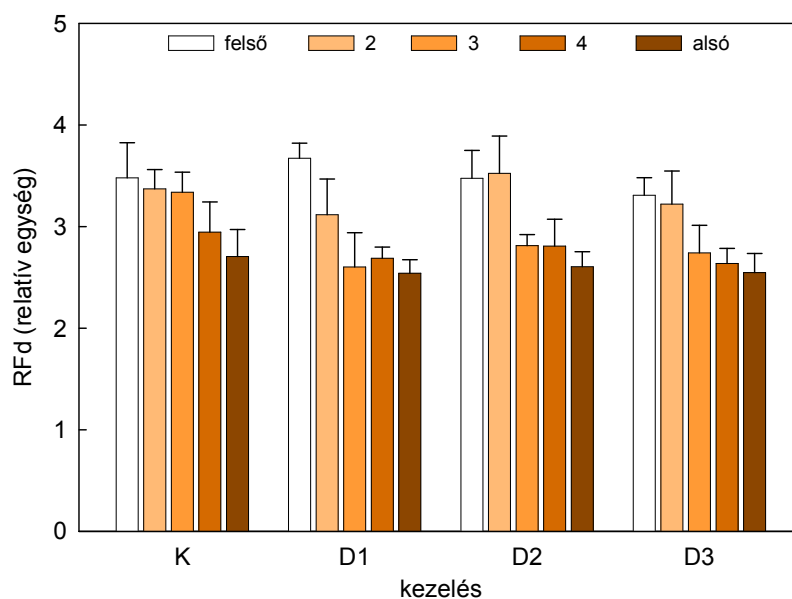


**16. ábra** A 2011. május elején homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemeték már mérhető legfiatalabb (felső), fejlődő fiatal (2), teljesen kifejlett fiatal (3), kifejlett idősebb (4), és legalsó leveleinek maximális fotokémiai hatékonysága (Fv/Fm) augusztus 3-án.

A kontroll és D<sub>3</sub> növények legfelső levelének vitalitás indexe volt a legnagyobb, míg a legkisebb a legalsó leveleké és ez szignifikáns különbséget mutatott (17. ábra). A D<sub>1</sub> kezelésben a legfelső levélnek a vitalitás indexe volt a legnagyobb, míg a legkisebb teljesen kifejlett fiatal (3), kifejlett idősebb (4), és legalsó leveleinek volt, és ez szignifikáns különbséget is mutatott. A D<sub>2</sub> kezelésben fejlődő fiatal (2) levélnek a vitalitás indexe a legnagyobb, a legkisebb a legalsó levél vitalitási indexe, és ez szignifikáns különbséget mutatott (22. táblázat).

**22. táblázat** Kezelésenként a levélemeletek vitalitási indexének statisztikai próbája

	felső	2.	3.	4.	alsó
kontroll	b	ab	ab	ab	a
D <sub>1</sub>	b	ab	a	a	a
D <sub>2</sub>	bc	c	ab	ab	a
D <sub>3</sub>	c	bc	abc	ab	a



**17. ábra** A 2011. május elején homoktalajba (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homokba (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) ültetett fehér nyár (*P. alba*) dugványokból kifejlődött csemetek már mérhető legfiatalabb (felső), fejlődő fiatal (2), teljesen kifejlett fiatal (3), kifejlett idősebb (4), és legalsó leveleinek vitalitási indexe (RFd) augusztus 3-án (“T” az oszlopok tetején SD-t jelöli).

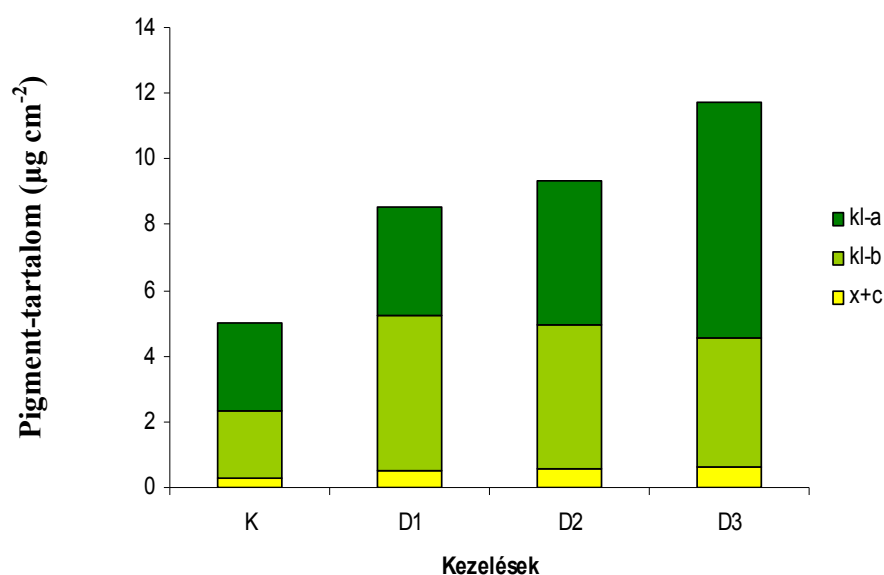
Az egyes kezelések között alapvetően nem volt szignifikáns eltérés a különböző korú levelek vitalitási indexében, az egyedüli szignifikáns eltérés a már teljesen kifejlett fiatal (3) leveleknél mutatkozott a kontroll és a D<sub>1</sub> között (23. táblázat).

**23. táblázat** Levélemelelenként a kezelések közötti RFd különbségek statisztikai próbája

	kontroll	D1	D2	D3
felső	a	a	a	a
2.	a	a	a	a
3.	b	a	ab	ab
4.	a	a	a	a
alsó	a	a	a	a

#### 4.8. A fotoszintetikus pigment-tartalom vizsgálata

A homoktalajban fejlődött fehér nyár csemeték klorofill-a, klorofill-b és összes karotinoid tartalma alacsonyabb volt a szennyvíziszappal kezelt növényekéhez képest (18. ábra). Az Fm érték fordított arányban áll a levelek klorofill tartalmával, minél kisebb ez az érték annál több klorofill található benne. A homoktalajban fejlődött növényeknél az alsó és felső levél klorofill tartalma alacsonyabb a többi levélénél. A középső levelek aktívak voltak, ők feleltek az asszimilátumok előállításáért. Azonban a megfelelő tápanyag hiányában a felső levelek nem voltak képesek intenzív fotoszintézist végezni.



**18. ábra** A homoktalajon (K), valamint a különböző mennyiségű szennyvíziszappal kezelt homoktalajon (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) fejlődött öt hónapos fehér nyár növények pigment tartalmának értékei (klorofill-a, klorofill-b és összes karotinoid)

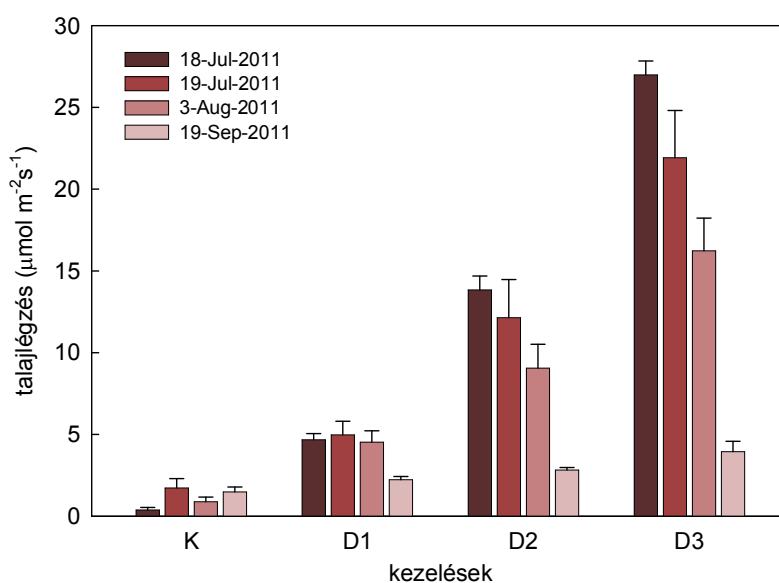
A homoktalaj tápanyagtartalma nagyon alacsony, pedig a klorofill szintézishez vasra és magnéziumra is szükséges van, ebből a növények hiányt szenvedtek, ami magyarázatot ad a kontroll növények lényegesen alacsonyabb fotoszintetikus pigment-tartalmára. A szennyvíziszap kezelés a pigment-szintézishez mindkét tápelemet biztosítani tudta.

#### 4.9. A talajlégzés vizsgálata

A mérési eredmények alapján azt tapasztaltuk, hogy a szerves anyag mennyiségének növekedésével arányosan nőtt a talaj szén-dioxid kibocsátásának mértéke. A kezelések között minden időpontban szignifikáns különbség mutatkozott (19. ábra).

A talajlégzés intenzitása és időbeli változása ugyanakkor nem mutat összefüggést sem a víztartalommal, sem a talajhőmérséklettel. Ennek elsődleges oka, hogy valamennyi kezelésnél a legfelső 10-15 cm a bekeveréshez használt tiszta homokréteg volt, és a rendelkezésünkre álló műszerekkel csak ebben a mélységben tudtuk mérni a – a bekevert iszap mennyiségétől végül is független – talajhőmérsékletet és nedvességtartalmat.

A CO<sub>2</sub> kibocsátás időbeli jelentős csökkenése a bekevert szennyvíziszap fokozatos bakteriális lebontásával áll kapcsolatban, amihez mindenképp hozzájárul a nyárvégi csapadékhiány miatt csökkenő talajnedvesség tartalom, de ezt mérni sajnos nem tudtuk.



**19. ábra** A kontroll homoktalaj (K), valamint három különböző dózisban szennyvíziszappal kevert homoktalaj (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>) talajlégzés (R<sub>s</sub>) intenzitása július 18-án (közvetlenül 13 mm csapadék lehullását követően), július 19-én, augusztus 3-án és szeptember 19-én. Az oszlopok tetején a “T” a standard deviáció nagyságát jelöli.

## 5. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A *Bevezetés és célkitűzés* című fejezetben megfogalmazott kérdésekre az elvégzett vizsgálatok a következő válaszokat adták.

### **A kommunális szennyvíziszap növeli-e a fehér nyár csemeték növekedését?**

A kísérlet során megállapítható, hogy a fehér nyár ültetvények alá kiváló tápanyag utánpótlás a szennyvíziszap, mivel a kezelés kedvező hatását jelzi, hogy a kontroll növények teljes tenyészidőszak alatti növekedése nem haladta meg a kezelt egyedek július végén mért értékeit. A tenyészidőszak végére a kezelt egyedek átlagmagassága közel kétszerese volt a kontroll egyedekének.

A tenyészidőszak végi gyökérnyak átmérő adatok figyelembe vételével megállapítható, hogy a három alkalmazott dózis nem eredményezett eltérő mértékű növekedést és szárvastagodást, azaz a fehér nyár esetében a kezdeti különbségek ellenére is (D3 enyhe toxikus hatása) a legnagyobb dózis is alkalmazható nyárfatelepítések esetén. A magasság és gyökérnyak átmérő értékei a kezelt egyedek biomassza produkciójában és fahozamában meghaladta a homoktalajban fejlődött kontroll egyedekét.

### **A kommunális szennyvíziszap milyen hatással van a fehér nyár csemeték fotoszintézisére?**

A fiziológiai mérések eredményei alapján nem tapasztaltuk a szennyvíziszap toxikus hatását. A kifejlett levelek maximális fotokémiai hatékonysága 80% volt, amely optimálisnak tekinthető. A fehér nyár csemeték kifejlett leveleinek vitalitási indexe egyik szennyvíziszap kezelés esetén sem csökkent a stressz helyzetet jelentő 2-es szint alá. A szeptemberi méréskor a szennyvíziszappal kezelt növényeknél tapasztalt jelentős sztómazáródás és az ebből adódó nettó asszimiláció intenzitás csökkenés a kontrollhoz viszonyítva a szennyvíziszap kezelés egy kedvezőtlen hatására hívja fel a figyelmet. Az szennyvíziszappal a homokba juttatott jelentős nitrogén a gyökerekben a citokinin növényi hormon túltermelését indukálja, ami a gyökérnövekedés gátlást eredményezi. Így a növények a talajfelszínhez közelebb elhelyezkedő

gyökérzónát fejlesztenek ki a szárazság által erősebben befolyásolt talajrétegben, ami által ezek a növények érzékenyebbé válnak a szárazság-stresszel szemben. A szennyvíziszap bekeverésének mélységére emiatt jelentős figyelmet kell fordítani.

### **A kommunális szennyvíziszap növeli-e a homoktalaj talajlégzés intenzitását?**

A különböző kezeléseken mért talajlégzés során szignifikáns növekedést tapasztaltunk. A légzés folyamatos és drasztikus csökkenése a kezeléseknél azért lehetett, mert a bekevert iszap gyorsan elbomlott, de lehetett amiatt is, mert csapadék híján az iszappal bekevert rétegben drasztikusan csökkent a nedvességtartalom, amit viszont nem tudtunk megmérni.

### **Mutatkozik-e bármiféle gátló hatás a szennyvíziszap dózis emelésével, illetve melyik dózis tekinthető a fahozam szempontjából a legoptimálisabbnak?**

A kísérletünk azt igazolta, hogy a kontroll mintán kapott eredmények szignifikánsan kedvezőtlenebbek voltak a szennyvíziszap tartalmú kezelésekhöz képest. A fiziológiai mérések alapján a legnagyobb dózisonál sem tapasztaltuk a szennyvíziszap toxikus hatását. A szennyvíziszappal összekevert talaj tápanyagtartalma jelentősen megnőtt a kontroll homoktalajhoz képest. Vizsgálati eredményeink alapján a legnagyobb dózis is kijuttatható, a fahozam tekintetében ugyanakkor már a közepes dózis is elegendő.



## 6. KÖVETKEZTETÉS ÉS JAVASLAT

A vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy a kontroll mintán kapott eredmények szignifikánsan kedvezőtlenebbek voltak a szennyvíziszap tartalmú konténerektől. A magassági adatok alapján a végső magasság elérését a szennyvíziszap kezelések nem befolyásolták, a kezelt egyedek biomassa produkciója és fahozama nagyobb volt, mint a homoktalajban fejlődött kontroll egyedekét.

Fiziológiai mérések eredményei során sem tapasztaltuk a szennyvíziszap toxikus hatását. A teljesen kifejlett fehér nyár leveleinek maximális fotokémiai hatékonysága 80 % volt, amely a növénynél optimálisnak tekinthető.

A teljesen kifejlett levelek vitalitási index értéke egyik szennyvíziszap kezelés esetén sem csökkent a stressz helyzetet jelentő 2-es szint alá.

A homoktalajban fejlődött fehér nyár csemeték klorofill-a, klorofill-b és összes karotinoid tartalma alacsonyabb volt a szennyvíziszappal kezelt növényekéhez képest. A talajlégzés intenzitás nőtt a szennyvíziszap kezelések hatására szignifikáns mértékben.

Szennyvíziszap kezelés javasolható, mert számos jótékony hatást gyakorolt a növények fejlődésére, növekedésére. Abban az esetben, ha vizsgálatokat szabadföldön folytatják, a növények megfelelő vízellátottsága kritikus kérdés egyrészt a szárazság stressz elkerülése, másrészt a tápanyagok optimális hasznosulása érdekében.

Ha a vizet esetleges öntözéssel tudják és kívánják pótolni, kiemelt figyelmet kell fordítani a kimosódás veszélyére, amely elsősorban termőhely kérdés és a felhasznált anyag mennyiségének, kijuttatási állapotának és a kijuttatás módjának függvénye.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A szennyvíziszap káros anyag tartalma nem haladta meg az 50/2001. Kormányrendeletben megállapított határértékeket. Kísérletünkben egy kontroll és három eltérő dózisu kezelést alkalmaztunk. Kísérleti növényünk a fehér nyár hajtás dugványokból kifejlődött fehér nyár csemeték voltak. A kezelésben alkalmazott szennyvíziszap a növények által közvetlenül felhasználható tápanyagokban gazdagnak bizonyult. A vizsgálatok során elkészített diagrammokról megállapíthatóvá vált, hogy a növények szennyvíziszap kezelésre nagyobb növekedési eréllyel reagáltak, mint a homoktalajban fejlődött fehér nyár csemeték. A kezelt egyedek biomassza produkciója és fahozama nagyobb volt, mint a homoktalajban fejlődött kontroll egyedeké.

A szennyvíziszappal kezelt növények fenotípusosan egészségesebbek voltak, leveleik színe élénkebb, sötétebb volt a kezeletlen növényekéhez képest. A magasabb tápelem következtében intenzívebb növekedésű, nagyobb számú és nagyobb felületű levelek fejlődtek ki, amelyek magasabb klorofill tartalommal rendelkeztek. A püspökladányi szennyvíziszap több tápelemet tartalmazott, ami intenzívebb fotoszintézist eredményezett. A fehér nyár csemeték legfelső leveleinek számára is megfelelő mennyiségű tápanyag állt rendelkezésre, így aktív fotoszintézisre voltak képesek.

A fiziológiai mérések eredményeit figyelembe véve nem tapasztaltuk a szennyvíziszap toxikus hatását a fehér nyár csemetéken, ezt igazolja a növények kifejlett leveleinek maximális fotokémiai hatékonysága is, amelyek 80 %-os értéket mutattak, a legtöbb növényfajnál ez optimális. A fehér nyár csemeték vitalitási index értéke egyik szennyvíziszap kezelés esetén sem csökkent a stressz helyzetet jelentő 2-es szint alá.

A bevitt szennyvíziszap megnövelte a homoktalaj szerves anyagtartalmát, javult a talaj termékenysége, tápanyag szolgáltató képessége és mikrobiológiai aktivitása. A különböző szennyvíziszap kezeléseken mért talajlégzés során szignifikáns növekedést találtunk. A talaj légzést a gyökérlégzés és a mikrobiális légzés együttesen adja. A szennyvíziszap kezelés hatására a dózis három kezelésben növekedett fehérnyárfá csemetéknél tapasztaltuk a legintenzívebb talajlégzést.

Vizsgálati eredményeink alapján mind három szennyvíziszap kezelés alkalmazható lenne.

## 8. SUMMARY

Pollutant content of the sewage sludge did not exceed the 50 / 2001 Limits laid down in the Government Decree. In our experiment, one control and three different doses of therapy applied. Our experimental plants were from sprout of the white poplar were grown white poplar seedlings. In treatment employed sewage sludge by the plants are rich in immediately useable nutrient.

The examinations made from diagrams we could establish, that the plants reacted on treatment of sewage sludge bigger with growth rate as in sandy soil were grown white poplar seedlings.

With sewage sludge employed the plants, were healthier phenotypically, the color of letters were vividder, darker than the untreated plants. In consequence higher nutrient is intense growth, higher density and larger surface leaves developed, which had higher chlorophyll content. From Püspökladányi sludge contained more nutrients, this has resulted in intense photosynthesis. The top leaves of the white poplar seedlings got available amount the nutrients, so they were able to actively photosynthesis.

The results of the physiological tests were not observed toxicity of the sewage sludge on the white poplar, the leaves of plants measured maximum photochemical efficiency, which reached 80% value, that this is optimal for most plant species.

The vitality index value of the white poplar seedlings has not fallen below the significant stressors level 2 because of sewage sludge treatment. The sewage sludge increased organic material content of sand soil, so it improved soil fertility, microbial activity and nutrient supplying capacity.

On the various sludge treatments measured soil respiration therefore we found significant growth. The soil respiration, root respiration and microbial respiration were given together. The sludge treatment effect in the third dose therapy increased white poplar seedling was observed the most intensive soil respiration.

Our test results showed that the three sewage sludge treatment would be applicabled.

## **9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Köszönetemet fejezem ki konzulensemnek, Dr. Csintalan Zsolt egyetemi adjunktusnak, és a Püspökladányi Kísérleti Állomás és Arborétum dolgozóinak elsősorban Keserű Zsolt tudományos munkatársnak és Csiha Imre állomásigazgatójának, akik végig figyelemmel kísérték és segítették munkámat a diplomadolgozat teljes folyamatában. Gyakorlati és elméleti kérdésekben nyújtott segítségük és támogatásuk nélkül ez a munka nem születhetett volna meg.

## 10. IRODALOMJEGYZÉK

- ÁNGYÁN J. (1994): Környezetbarát gazdálkodási rendszer és struktúraváltás a szántóföldi növénytermesztésben, „Agro 21” kutatási program, Gödöllő 47.
- BERROW M. L., BURRIDGE J. C. (1980): Trace element levels in soils: effects of sewage sludge. In *organic Pollution and Agriculture*. MAFF Reference Book 326. HMSO. London. 159-183.
- BRAMRYD T. (2001): Effects of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scots pine stand (*Pinus sylvestris* L.) in central Sweden, *Forest Ecology Management*, 147(2/3). 197-216.
- CSIHA J., BÁRÁNY G., KESERŰ ZS. (2008): A természet közeli erdőfelújítás lehetőségei alföldi erdőterületeken. *Alföldi Kutatói Napok, Kecskemét, Szeged, 2008.* 11. 06.
- DUTCH J., WOLSTENHOLME R. (1994): The effects of sewage sludge application to a heathland site prior to planting with Sitka spruce. *Forest Ecology and Management*, 66. 151-163.
- EMMERICH W. E. (1982): Movement of heavy metals in sewage sludge-treated soils. *Journal Environmental Quality*, 11. 174-178.
- FERRIER R. C., EDWARDS A. C., DUTCH J., WOLSTENHOLME R., MITCHELL D. S. (1996): Sewage sludge as a fertilizer of pole stage forests: Short-term hydrochemical fluxes and foliar response. *Soil Use and Management*, 12. 1-7.
- GARDENER G. (1998): A szerves hulladék újra hasznosítása. *Föld Napja Alapítvány. Budapest.* In: *A világ helyzete*, 110-128.
- GIORDANO P. M., MORTVEDT J. J. (1976): Nitrogen effects of mobility and plant uptake of heavy metals in sewage sludge applied to soil columns. *Journal of Environmental Quality*, 5. 165-168.
- KÁDÁR I., MORVAI B. (2008): Városi szennyvíziszap-terhelés hatásának vizsgálata tenyészedény-kísérletben II. *Agrokémia és Talajtan*, 57. 97-112.
- KÁDÁR I., MORVAI B. (2008): Városi szennyvíziszap-terhelés hatásának vizsgálata tenyészedény-kísérletben III. *Agrokémia és Talajtan*, 57. 305-318.
- KESERŰ ZS. (2007): A szennyvíziszap- komposzt erdészeti hasznosíthatóságának kérdései. *Erdészeti Tudományos Konferencia, Sopron, 2007. december 11.*

- KESERŐ ZS. (2008): Lignittel kezelt szennyvíziszap és hígtrágya szuszpenziók felhasználási lehetőségeinek vizsgálata degradált mezőgazdasági területek erdőtelepítéseinél. Alföldi Kutató Napok, Kecskemét
- K.W. SMILDE (1981): Heavy-metal accumulation in crops grown on sewage sludge amended with metal salts. *Plant and Soil*, 3-14.
- LEWIN V. H., BECKETT P. H. T. (1980): Monitoring heavy metal accumulation in agricultural soils treated with sewage sludge. *Effluent and Water Treatment Journal*, 20. 217- 221.
- LICHTENTHALER, H. K., PFISTER, K. (1978): *Praktikum der Photosynthese*. Quelle and Meyer, Heidelberg, Heidelberg.
- LICHTENTHALER H. K., RIENDLE U. (1988): The role of chlorophyll fluorescence in detection of stress conditions in plants. *Critical Reviews in Anal. Chem.*, 19: S29-S85 Suppl. 1
- LUO Y. M., CHRISTIE P. (1998): Bioavailability of Copper and Zinc in soils treated with alkaline stabilized sewage sludges. *Journal Environmental Quality*. 27: 335- 342.
- MCGRATH S. P. (1997): Long-term studies of metal transfers following application of sewage sludge. In: *Pollutant Transport and Fate in Ecosystems*. (Eds: COUGTHREY G. et al.) Blackwell Scientific Publ. Oxford-London- Edinburgh-Boston-Palo Alto-Melbourne, 301-317.
- MCINTOSH M. S., FOSS J. E, WOLF D. C., BRANDT K. R., DARMODY R. (1984): Effect of Composted Municipal Sewage Sludge on Growth and Elemental Composition on White Pine and Hybrid Poplar. *Journal of Environmental Quality*, 13. 60-62.
- MITCHELL D. C., EDWARDS A. C., FERRIER R. C (2000): Changes influxes of N and P in water draining a stand of Scot. pine treated with sewage sludge *Forest Ecology Management*,13. 203-213.
- NAGY Z., TAKÁCS Z., SZENTE K., CSINTALAN ZS., LICHTENTHALER H. K., TUBA Z. (1998): Limitation of net CO<sub>2</sub> uptake in plant species of a temperate dry loess grassland. *Plant Physiol. Biochem*, 36 (10). 753-758.
- PRESCOTT C. E. McDONALDA M. A., GESSELB S. P., KIMMINS J. P. (1993): Long-term effects of sewage sludge and inorganic fertilizers on nutrient turnover in litter in a coastal Douglas fir forest. *Forest Ecology and Management*, 59. 149-164.

- SAJWAN K. S., PARAMASIVAM S., ALVA A. K., ADRIANO D. C., HOODA P. S. (2003): Assessing the feasibility of land application of fly ash, sewage sludge and their mixture. *Advances in Environmental Research*, 8. 77-91.
- SEBASTIANI L., SCEBBA F., TOGNETTI R. (2004): Heavy metal accumulation and growth responses in poplar clones Eridano (*Populus deltoides* × *maximowiczii*) and I-214 (*Populus* × *euramericana*) exposed to industrial waste. *Environmental and Experimental Botany*, 52. 79–88.
- SELIVANOVSKAYA S. Y., LATYPOVA V. Z., ARTAMONOVA (2003): Use of sewage sludge compost as the reclamation agent on the degraded soil of Tatarstan. *Journal of Environmental Science and Health Part A, Toxic/Hazardous Substance and Environmental Engineering*, 38. 1549-1556.
- SMILDE K.W. (1981): Heavy-metal accumulation in crops grown on sewage sludge amended with metal salts. *Plant and Soil*, 62. 3-14.
- TAKÁCS J., SALLAY F., LIPTÁK M. (2006): Javaslatok a kommunális szennyvíztisztítás és szennyvíziszap kezelés fejlesztésére, Észak- magyarországi Stratégiai Füzetek, Miskolc, 2006. III. évfolyam, 2. 42-59.
- TAMÁS J. (1998): Szennyvíztisztítás és szennyvíziszap elhelyezés. Debreceni Agrártudományi Egyetem. Debrecen, 5-162.
- VÁRALLYAY GY. (1984): Magyarországi homoktalajok vízgazdálkodási problémái. *Agrokémia és Talajtan* 33. 1-2, 159-169.
- VERMES L. (1998): Hulladékgazdálkodás és hulladékhasznosítás. 2. Kiadás. Mezőgazda Kiadó. Budapest, 7-175.
2000. ÉVI XLIII. TÖRVÉNY a hulladékgazdálkodásról. <https://magyarország.hu/>
- 50/2001 (IV. 3.) KORMÁNYRENDLET a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól. <https://magyarország.hu/>
- 91/271/EGK irányelv a települési szennyvizek kezeléséről. CD Complex jogtár
2009. ÉVI XXXVII. TÖRVÉNY az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról. CD Complex jogtár
2008. ÉVI V. TÖRVÉNY a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyező anyagokról szóló Stockholmi Egyezmény kihirdetéséről. CD Complex jogtár
2007. ÉVI CXXIX. TÖRVÉNY a termőföld védelméről. CD Complex jogtár

- 147/2010. (IV. 29.) KORMÁNY RENDELET a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról. CD Complex jogtár
- 25/2002. (II. 27.) KORMÁNY RENDELET a Nemzeti Települési Szennyvíz-elvezetési és -tisztítási Megvalósítási Programról. CD Complex jogtár
- 2168/2000. (VII. 11) KORMÁNY HATÁROZAT a települési szennyvíztisztításról szóló 91/271/EGK irányelv hazai jogrendbe illesztésének gyorsításával összefüggő feladatokról és feltételekről. CD Complex jogtár
- 174/2003. (X. 28.) KORMÁNY RENDELET a közműves szennyvízelvezető és -tisztító művel gazdaságosan el nem látható területekre vonatkozó Egyedi Szennyvízkezelés Nemzeti Megvalósítási Programjáról. CD Complex jogtár



## ***Nyilatkozat***

a szakdolgozatról

Alulírott Esztergályos Ivett II. éves biológus hallgató **kijelentem**, hogy a "Szennyvíziszap kezelés hatása nyárfa csemeték fotoszintézisére és növekedésre" című szakdolgozatom saját kutató munkám eredménye. Hozzájárulok, hogy a szerzői jogok tiszteletben tartása mellett a SZIE Állatorvos-tudományi Könyvtárban és az egyetemi adattárban elhelyezett nyomtatott és elektronikus példányokat az érdeklődők felhasználhatják az alábbi feltételekkel:

**Nyomtatott**, másolható: részben / egészben

**Elektronikus**, megjeleníthető: belső hálózaton / szabad hozzáféréssel, interneten

Esztergályos Ivett

Budapest, 2013. április 30