

TENYÉSZEDÉNY KÍSÉRLETEK VÖRÖS ISZAPPAL

POT EXPERIMENT OF RED MUD

TDK DOLGOZAT

KÖRNYEZETMÉRNÖK ALAPSZAK

Készítette: Kónya Anikó

Tanszéki konzulens: Dr. Kovács Gábor

Nyugat-Magyarországi Egyetem
Erdőmérnöki Kar

Környezet- és Földtudományi Intézet
Termőhelyismerettani Intézeti Tanszék

Sopron, 2011

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
2. A vörös iszap tulajdonságai és talajra gyakorolt hatása.....	6
2. 1. A vörös iszap tulajdonságai	6
2.1.1. A vörös iszap létrejötte	6
2.1.2. Összetétele	7
2. 2. A vörös iszap talajra gyakorolt hatása	8
2.2.1. Környezetre gyakorolt hatása	8
2.2.2. Talajra gyakorolt vélhető hatása	9
3. A vörös iszap talajtermékenységet befolyásoló szerepe irodalmi adatok alapján	10
3.1. A Bakony-vidék talajtípusai.....	10
3.1.1. Kolontár és Devecser környéki talajjellemzők.....	11
3.1.1.1. Csernozjom talajok jellemzése	12
3.1.1.2. Szikes talajok jellemzése	13
3.1.1.3. Réti talajok jellemzése.....	14
3.2. A talaj termékenysége	15
3.2.1. Talajadottságok.....	16
3.2.1.1. Morfológiai tulajdonságok és talajjavítási lehetőségek	16
3.2.1.2. Fizikai, kémiai és genetikai tulajdonságok	17
3.2.2. Talajtermékenység	18
3.3. A vörös iszap talajtermékenységet befolyásoló szerepe	20
4. A tenyészedény kísérlet során felhasznált fafajok	31
4.1. Akác (<i>Robinia pseudoacacia</i>).....	31
4.2. Fehér fűz (<i>Salix alba</i>).....	32
4.3. Nemes nyár (<i>Populus x euramericana</i>)	33
4.3.1. AF2 nyár (<i>Populus x euramericana AF-2</i>)	34

5. Tenyészedény kísérletek vörös iszappal.....	34
6. A kapott eredmények értékelése.....	36
6.1. A talajminták analízise	36
6.2. A növényminták analízise	44
6.3. Az elültetett fafajok növekedése	47
7. Következtetések és javaslatok.....	51
8. Összefoglalás.....	53
Irodalmi jegyzék	55
Melléklet	

1. Bevezetés

Tavaly október 4-én bekövetkezett Magyarország eddigi legnagyobb környezetszennyezéssel járó ipari katasztrófája: az ajkai timföldgyár vörösiszap-katasztrófája. Az akkoriban magántulajdonban lévő Magyar Alumínium Termelő és Kereskedelmi Zrt. (MAL) területén lévő zagytározó X. számú kazettájának nyugati gátja 12:10-kor átszakadt, ezzel hatalmas mennyiségű vörös iszapot zúdítva a környező településekre és mezőgazdasági területekre. A történetek után számos vizsgálatot indítottak a kár felmérésére és helyreállítása érdekében. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010 ; WWW.MAL.HU, 2010) Dolgozatom megírása során tenyészedény kísérleteket folytattam Devecserről, az egyik katasztrófa sújtotta településről hozott talajmintákkal.

A kiömlő vörös iszap és víz elegye mintegy 4000 hektáron öntötte el Kolontár, Devecser és Somlóvásárhely mélyebben fekvő részeit. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010) Ezenkívül a Torna patakba is bekerült, kipusztítva annak teljes élővilágát, majd elérte a Marcal folyó középső és alsó részét, ahol szintén teljes körű pusztítást végzett. A katasztrófa bekövetkezése után szakemberek próbálták megmenteni a Marcal élővilágát, és megakadályozni az ipari hulladék továbbterjedését. Több helyen is gipszet és ecetsavat öntöttek a folyóba, ezzel próbálva csökkenteni az erősen lúgos kémhatást. Ez idő folyamán további méréseket végeztek a folyószakaszokon. 2010. október 7-én hajnali 3:00 óra körül jutott el a vörös iszap a Rábába, pH értéke ekkor már 10 alá csökkent. Még ezen a napon délelőtt elérte a Mosoni-Dunát, ahol 9, 3-as pH értéket mutatott. (WWW.DIVERZITI.HU, 2010)

A katasztrófa bekövetkezése után két nappal a Kormány veszélyhelyzetet hirdetett ki, amit később meg is hosszabbítottak. A legsürgetőbb feladatnak az emberi életek megmentését, és az emberek biztonságba helyezését tartották, ezt követte a települések biztonságának garantálása és a gát megerősítése. A vörösiszap-katasztrófában 10 ember vesztette életét, 406-an szorultak egészségügyi ellátásra, közülük 120-an súlyosan megsérültek. 363 ingatlan jelentősen megrongálódott, ennek a többsége lakóház volt. A sérült ingatlanok nagy része Devecserben található, 306 db-ot le kellett bontani. 731 lakónak megsemmisült vagy lakhatatlanná vált az otthona. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010)

A legnagyobb problémát azonban a száradó vörös iszap okozta. A száradást követő hetekben nagy mértékben megnőtt a szállópor koncentrációja, ezért több helyen integrált szállópor-mérési rendszert állítottak fel. A mérési adatok kimutatták, hogy az elmúlt hónapokban a levegő minősége, a szállóporral telített napokon, a zsúfoltabb főváros

levegőjével mutatott hasonlóságot. A levegő és a folyóvizek vizsgálatán kívül az ivóvizet is ellenőrzik. Különböző mérések során megállapították, hogy a katasztrófa sújtotta térségben az ivóvíz nem szennyeződött, továbbra is biztonságosan fogyasztható. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010)

A környezeti kár helyreállítása érdekében teljes körű tájrehabilitációt végeznek. Mintegy 1036 hektár mezőgazdasági területet borított be vörös iszap. A megtisztított földterületeken energiacélú növények termesztése folyik. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010)

Dolgozatomban célom ismertetni a vörös iszap tulajdonságait, talajra gyakorolt vélhető hatását, és termékenységét befolyásoló szerepét. Az elméleti alapok után bemutatom tenyészedény kísérletem folyamatát, és értékelem a kapott eredményeket.

2. A vörös iszap tulajdonságai és talajra gyakorolt hatása

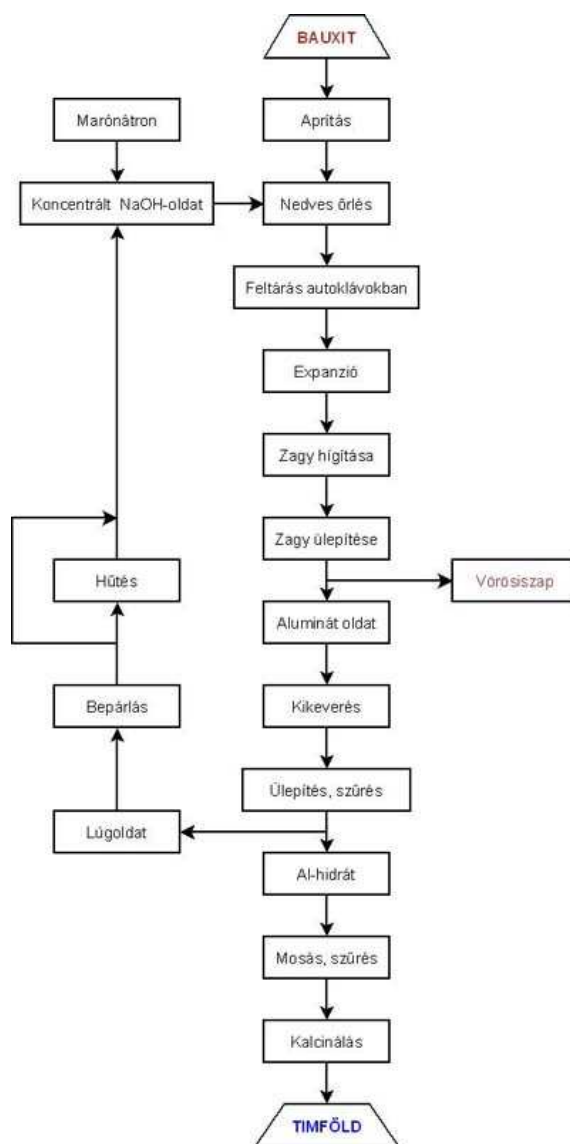
2.1. A vörös iszap tulajdonságai

2.1.1. A vörös iszap létrejötte

A vörös iszap a timföld (alumínium-oxid) gyártásának melléktermékeként jön létre. (WWW.VOROSISZAP.COM, 2010) A timföldgyárakban az ún. Bayer-féle körfolyamat vagy más néven Bayer-eljárás alkalmazása a legelterjedtebb. (1. ábra) A folyamat Karl Joseph Bayer nevéhez fűzhető, aki 1892-ben szabadalmaztatta a bauxit nátronlúgos felhasználását. Innentől kezdve napjainkig a Bayer-eljárást alkalmazzák a timföldtermelés során. Az eljárásban a felhasznált lúgot körfolyamat-szerűen alkalmazzák, hogy a lehető leggazdaságosabb műveletvégzést elérjék.

A timföldgyártás fontos alapanyaga a bauxit. A bauxitból timföldet, majd alumíniumot gyártanak. Az eljárás során a nyersanyagot porrá őrlik, majd nagy nyomáson és magas hőmérsékleten (150-180 °C-on) erős lúggal (nátrium-hidroxiddal) reagáltatják, hogy kinyerjék annak alumíniumtartalmát. A Bayer-körfolyamat révén a bauxitércben lévő alumínium-oxid oldhatósága, magas hőmérsékleten és erős lúgkoncentrációban, nagymértékben megváltozik. Az eljárás során gőz keletkezik. A gőz elvezetése után a visszamaradt vizes szuszpenziót vízzel a kétszeresére hígítják, majd üleptetőbe kerül. Ezek után a vizes oldat a kikeverő medencébe kerül, ahol a vízzeloldható nátrium-aluminátot vízzel elhidrolizálják alumínium-hidroxiddá, és a keletkező marónátront újra felhasználják. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010)

A szétválasztás során megmaradt, fel nem oldódott, nagy vastartalmú zagyot nevezzük vörös iszapnak. Egy tonna timföld előállításakor 1,5-2 tonna vörös iszap keletkezik. Mivel a



1. ábra: Bayer-eljárás [1]

benne lévő vas-oxid erősen színező anyag, ez adja jellegzetes vörösesbarna színét. Ezt az anyagot az ülepítőben választják le és távolítják el. Mosóvízzel a lehető legtöbb marónátront próbálják kiöblíteni belőle, hogy a visszanyert lúgot újra felhasználhassák. Azonban a visszamaradó vörös iszap még így is erősen lúgos kémhatású állapotban kerül a tározó medencékbe, az ún. kazettákba. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010)

2.1.2. Összetétele

A keletkező vörös iszap eredeti nedvességtartalma kb. 40-45 %. Ilyen állapotban még szivattyúzható, és a kazettákba könnyen elhelyezhető. Víztartalmát hosszú ideig megtartja, folyósodásra hajlamos. Ez tette lehetővé Ajkán, hogy a meggyengült gátszakaszon csuszamlások és rogyások következtében, az esővízzel feldúsított zagy nagy távolságra kifolyt a tárolótérből. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010)

Az egyes lelőhelyekről származó vörös iszap összetétele eltérő értékeket mutathat, mivel a bauxit összetétele is meglehetősen változékony. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010) A Magyar Alumínium Termelő és Kereskedelmi Zrt. közvéleménye szerint az Ajkai Timföldgyár vörös iszapjának az összetétele a következők: (WWW.MAL.HU, 2010)

- izzítási vesztesége: 10 %,
- vas-oxid (Fe_2O_3) tartalma 40-45 %,
- alumínium-oxid (Al_2O_3) tartalma 10-15%,
- titán-dioxid (TiO_2) tartalma 4-5 %,
- szilícium-dioxid (SiO_2) tartalma 10-15 %,
- nátrium-oxid (Na_2O) tartalma 5-6 %,
- és kalcium-oxid (CaO) tartalma 6-10%.

Ezenkívül 1% alatti mennyiségben gallium-, vanádium- és ritkaföldfém-oxidokat is tartalmaz. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010) Mindezek mellett lehetnek benne toxikus fémek, mint például ólom (Pb) és cink (Zn), de ezeknek a katasztrófa bekövetkezése után talajba jutott koncentrációja, az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság tájékoztatója szerint határérték alatt van. Radioaktivitása pedig mintegy 10-20-szorosa a talajok átlagának, ezért alacsony aktivitása miatt a sugárzás veszélye is elhanyagolható (maga a bauxit is radioaktív anyag). Azonban az ÁNTSZ Kolontárnál végzett mérései alapján a vörös iszap veszélyessége kémhatásában rejlik, ugyanis az iszap pH-ja 13, ami a tömény hipó pH-jának a tízszerese. (WWW.VOROSISZAP.COM, 2010)

2.2. A vörös iszap talajra gyakorolt hatása

Az MTA Kémiai Kutatóközpont munkatársai vizsgálatok során megerősítették, hogy „*a kiömlött nehézsavas szenny nehézfém tartalma nem közelíti meg a megengedett egészségügyi határértéket, ólom tartalma kevesebb, mint a normál talajoké*” (SZÉPVÖLGYI, 2010). A legnagyobb környezeti problémát az erősen lúgos kémhatása jelenti. Az első eredmények alapján azt állapították meg, hogy a talaj könnyebben át fogja vészelni a katasztrófát, mint a környékbeli élővizek. (INDEX.HU, 2010)

2.2.1. Környezetre gyakorolt hatása

Megállapították, hogy a vörös iszap tulajdonságai közül, erősen lúgos kémhatása miatt válik fokozottan veszélyes hulladékká. Ezen okból adódóan káros mind az élővilágra, mind az épített környezetre. (WWW.EGESZSEGKALAUZ.HU, 2010) A környezetvédelmi szakemberek magas pH értéke és a környezetre gyakorolt hatása miatt a II. veszélyességi kategóriába sorolták. Magyarországon az évente termelt veszélyes hulladék 25-35%-a az alumínium gyártása során keletkező vörös iszapból származik.

Magas nátrium-hidroxid (NaOH) tartalma miatt erősen lúgos kémhatású. A természetbe kerülve rövidtávon kipisztítja a növény- és állatvilágot, hosszú távon azonban önmagában a lúgnak nincsen egyéb környezet-károsító hatása, mivel a víz felhígítja. A felszíni és a felszín alatti vizekbe kerülve nagyobb mennyiségben tömeges halpusztulást okoz. Példa rá, hogy 1972-ben Korzika partjánál lévő vegyipari üzem a festékanyagokhoz használt titán-oxid (TiO_2) gyártása során keletkező vörös iszapot éveken keresztül beleengedte a Földközi-tengerbe. Ennek hatására jelentős élővilág pusztulás következett be. A gyár az eset nyilvánosságra hozása után még két hónapon keresztül engedte bele a tengerbe a veszélyes hulladékot, míg végül 1974-ben a cég öt vezetőjét felfüggesztett börtönre és nagy összegű pénzbírságra ítélték.

Szakemberek megállapították, hogy a vörös iszapban, kis koncentrációban és kis mennyiségben vannak jelen nehézfémek, ezért nem mérgező. Egy vizsgálat igazolta, hogy a vörös iszap csökkentette a bányászati és nehézipari hulladékkal szennyezett talajok nehézfém-felvehetőségét, képes stabilizálni őket. Radioaktív hatása pedig mérsékelt, a talajokra nézve szinte veszélytelen. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010)

A katasztrófa bekövetkezése után kilenc hónappal később, 2011. július 12-ig 329 625 m³ szennyezett hulladékot szállítottak el a belterületekről, ebből 125 929 m³ bontási törmelék volt. A külterületekről 786 997 m³, azaz 52 545 teherautónyi szennyezett hulladékot vittek el a kijelölt kazettákba. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010)

Jó hír az emberiség számára, hogy feladatunk közé tartozik a már meglévő környezeti kár helyreállítása, ami a vörös iszappal szennyezett területekre is vonatkozik. Ugyanis „*a nagy tömegű és nagy kiterjedésű veszélyes ipari hulladékok környezetkárosításának lehetséges csökkentésére a gyakorlatban hasznosítható sikeres módszerek kidolgozása évtizedek óta és napjainkban is időszerű.*” (HORVÁTH, 2002)

A Magyar Közlöny 155. számában megjelent, hogy a környezetkárosodás felszámolásával összefüggő feladatokat a vidékfejlesztési miniszter látja el, a rá vonatkozó jogszabályok szerint. Ez a rendelet 2010. október 6-án 15:00 órakor lépett hatályba. (BORÓKAINÉ, 2010)

2.2.2. Talajra gyakorolt vélhető hatása

A vörös iszap nagy részét elszállították a szennyezett területekről, de mivel féltő volt, hogy a folyékony szennyezés a talajba beszivárog, szükségét érezték a felső talajréteg eltávolítására. (WWW.EGESZSEGKALAUZ.HU, 2010) Az erősen lúgos, maró kémhatású anyag a termőtalajt tönkretette, az ott élő növény- és állatvilágot, valamint a talaj mikroflóráját is kipusztította. Megállapították, hogy a talajt a következő években nem lehet élelmiszer és egyéb haszonnövények előállítására használni. (WWW.GREENMAN.HU, 2010)

Már korábban is megemlítettem a vörös iszap kémhatásának veszélyességét, ami nemcsak a környezetet és az élővizeket károsítja, hanem a talajt is. Ezenkívül nehézfémtartalmát és radioaktivitását is megmérték, hogy milyen befolyással lehet a talajokra. „*A vörös iszap radon-emanáló képessége mintegy kétszerese a sokkal szárazabb talajokénak. Ez a mintaszerkezetek (porozitás, szemcseméret, nedvességtartalom) különbözőségével magyarázható.*” (GYÖRFI, 2011.)

Dr. Horváth Gyula „Veszélyes ipari hulladékok rekultivációja erdősítéssel” című cikkében leírja, hogy a zagy tározó körül már korábban is problémák merültek fel a zagy tárolásával kapcsolatban. A tározók ugyanis fedetlenek, aminek a következménye, hogy az erőműi hulladék szürke porral, a vörös iszap pedig vörös porral szennyezi a környék levegőjét, vizeit és talaját. Ezen kívül nem utolsó sorban tájképrontó hatásuk is van a zagy tározóknak.

A vörös iszap, ha kiszárad, felületén néhány cm vastagságú por képződik. Tapasztalatom azt mutatta, hogy a tenyészedényekben lévő vörös iszappal keveredett talaj, két öntözési időszak között „betonszerűvé” keményedett. Dr. Horváth Gyula által végzett fásítási kísérletei után, az 1970-es évek végén arra a megállapításra jutott, hogy az eljárás alkalmas a vörös iszapterek erdősítésére. Vizsgálatai alapján az ajkai hulladékfajták anyagának átlagos összetétele a következő volt (HORVÁTH, 2002):

Név	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Egyéb
	%									
Szénsalak	12,-	18,-	6,-	39,7,-	3,5	18,8	0,6	0,5	–	0,9
Vörösiszap	10–15	13–18	35–40	10–15	0,5–1	V ₂ O ₅ 0,2	5–8	P ₂ O ₅ 0,4	3–4	

Megj.: – A vörösiszapban még jelen van Cr. 500 ppm, Co. 50–60 ppm és Mo. 50 ppm mennyiségű nehezfém.
– A hulladékfajták anyagának átlagos összetétele a gazdálkodó szervezetek laboratóriumai által kimutatott értékek.

1. táblázat: Az ajkai hulladékfajták anyagának átlagos összetétele [2]

3. A vörös iszap talajtermékenységet befolyásoló szerepe irodalmi adatok alapján

3.1. A Bakony-vidék talajtípusai

A katasztrófa a Bakony-vidék környéken következett be, ezért első lépésként bemutatom a vidék jellemzőit és talajtípusait.

A Dunántúli-középhegység három középtájai közül az egyik a Bakony-vidék. Ez a vidék öt kistáj-csoportból áll, amelynek részei a Keszthelyi-hegység, a Balaton-felvidék, a Déli-Bakony, az Északi-Bakony és a Bakonyalja.

Ezek közül a Déli-Bakony erősen tagolt, változatos felépítésű. Részterületeihez tartozik a Veszprém–Nagyvázsonyi-medence, a Kab-hegy Agártető csoport, a Sümeg–Tapolcai-hát, és a Devecseri-Bakonyalja. A talajok nagy része savanyú, agyagbemosódásos barna erdőtalaj. A harmadkori agyagos üledékeken találhatunk barnaföldeket, amelyek néhol vörösesbarna színűek. A mészköves-dolomitos területeken vörös bauxitos, kaolinites vörös agyagok találhatók. „A völgytalpakon és a medencék legmélyebb részén réti talajok képződtek, amelyeket kaszálóként, rétként hasznosítanak.” (STEFANOVITS ET AL, 1999)

Az Északi-Bakony részterületei az Öreg-Bakony, a Bakonyi-kismedencék, a Keleti-Bakony, és a Veszprém–Devecseri-árok, amelyek a középhegység legmagasabb térszintjei közé tartoznak.

A Keleti-Bakonyt többségében karbonátos üledékes kőzet építi fel. A Veszprém–Devecseri-árok kis medencék sorozatából áll, melyek dolomit- és mészkőtörmeléseket, valamint harmadkori üledékeket és kevés löszet tartalmaz.

A Bakonyalja kistáj-csoport főként dombvidékekből áll. Az idősebb vagy homokosabb felszíneken az agyagbemosódásos barna erdőtalajok erősen elsavanyodott változata jellemző. A fiatal vagy löszös, karbonátos felszíneken a barnaföld, a csernozjom barna erdőtalaj, a humuszkarbonát talajok és a karbonátos lejtőhordalék található. (STEFANOVITS ET AL, 1999)

3.1.1. Kolontár és Devecser környéki talajjellemzők

Mintavételi vizsgálatokat végeztünk a katasztrófa helyszínén. Három helyről vettünk talajmintákat: az első mintavétel helye a X-es számú tározó mellett volt (2. ábra), ahonnan kiindult a vörös iszap ár, a második egy mezőgazdasági területen történt (3. ábra), a harmadik pedig csemetekertben. Ezekre a területekre főként csernozjom, szikes és réti talajtípusok jellemzőek. A következő fejezetekben bemutatom ezeknek a talajtípusoknak a jellemzőit.



2. ábra: Az ajkai timföldgyár X. számú kazettája, műholdas felvétel [3]

3.1.1.1. Csernozjom talajok jellemzése



3. ábra: A 2. mintavétel helyének szelvénye, mezőgazdasági terület (fotó: Kovács G., 2010)

Ebben a fejezetben említést teszünk az öntéscsernozjomok és réti csernozjom talajtípusokról. A tenyészfedény kísérlet során felhasznált talajtípus réti csernozjom volt, ami Devecser és Kolontár közötti (a vörös iszappal elöntött) területen jellemző, innen is lett elhozva a tenyészfedény vizsgálat során felhasznált talajminta.

A csernozjom talajokra jellemző a humuszanyagok felhalmozódása, a kedvező, morzsalékos szerkezet kialakulása, valamint a kalciummal telített talajoldat kétirányú mozgása.

Az öntéscsernozjomok típusnál jellemző, hogy a szerves anyag felhalmozódása társul a talaj öntésjellegéből származó tulajdonságokhoz. A talaj szelvényében tovább fennmaradnak az öntésanyag lerakódásának körülményeiből származó különbségek, viszont a humuszosodás elfedi őket.

A fizikai talajféleségtől függően vízgazdálkodásuk különböző lehet, de általában víztartó és vízvezető képessége közepes. Sok nyers ásványi tápanyagot tartalmaznak, tápanyag-gazdálkodásuk a szerves anyag formában felhalmozódott nitrogén mennyiségtől és ásványosodásának ütemétől függ.

A réti csernozjomok kialakulására és tulajdonságaira jellemző, hogy a csernozjom jellegű humusz-felhalmozódást gyenge vízhatás kíséri. Ez lehet a talajvíz közelségének vagy a mélyedésekben összefutó belvíz eredménye. A kicserélhető kationok közül a kalcium az uralkodó, de a magnézium mennyisége sem elhanyagolható.

A nitrogén-, foszfor- és káliellátás miatt kedvező a tápanyag-szolgáltató képessége. Befolyásolhatja az időszakos levegőtlenség a nitrogénfeltáródás késleltetésével, valamint a foszfátok megkötődésével.

Sótartalma szerint létezik gyengén, közepesen és erősen sós változata (0,1–0,1–0,4 és 0,4%-os határértékekkel). Szolonyeces jellegének mértéke szerint megkülönböztetünk közepesen és erősen szolonyeces réti csernozjomot az alapján, hogy a szikesedés által befolyásolt talajszintben a kicserélhető nátrium az S-érték 5-15%-os, ill. meghaladja-e a 15%-át. (STEFANOVITS ET AL, 1999)

3.1.1.2. Szikes talajok jellemzése

A tenyészedény kísérletek során minden héten sókiválást tapasztaltam a talajminták felszínén. A talaj megrepedezett, és betonszerűvé keményedett. Az elszikesedéshez hasonló folyamatokat tapasztaltam.

A szikes talajok kialakulásában és tulajdonságaiban a vízben oldható sók döntő szerepet játszanak. A talaj tulajdonságainak alakításában elsősorban a nátriumsók van nagy szerepe. Ezek a nátriumsók részben oldott állapotban, részben pedig szilárd fázisban, kristályos sók formájában vannak jelen.

Ezek alapján megállapítható, hogy a nátrium bármely formájának mennyisége, minősége és aránya határozza meg a szikes folyamatok jellegét és a szikes talaj tulajdonságait. (STEFANOVITS P. ET AL, 1999)

A talajnak sódinamikája van, mivel a talaj különböző rétegeiben található sók időszakosan változnak, a párolgás és a csapadék viszonyoknak megfelelően. Ez egyben megszabja a talajszelvény sóprofilját is, azaz hogy az egyes talajszintekben mennyi és milyen só halmozódik fel. A sófelhalmozódás jellege nem minden szikes talajban egyforma. A felhalmozódott sókat a kationok és anionok aránya és minősége határozza meg. Ezáltal lehetnek nátrium-, kalcium- és magnéziumsók, ill. ezen belül karbonátok, szulfátok és kloridok. Ezek közül a nátriumos és karbonátos sófelhalmozódás a legkárosabb, a kémiai és fizikai hatásokat figyelembe véve.

Általában a szikesedés és a sófelhalmozódás előfeltétele a hidromorf talajképződés, a sókban gazdag talajképző közet és esetenként a sok sót tartalmazó, nem túl mélyen fekvő talajvíz. Ezen kívül a nyári hosszantartó szárazság is szükséges keletkezéséhez, mely a talajoldatok elpárolgását idézi elő. Ennek következménye a lúgos kémhatás (ami adott volt a vörösiszap-katasztrófánál), valamint a rossz vízgazdálkodás.

A szikes talajok egyik típusa a másodlagos elszikesedett talajok. Ennek a talajtípusnak az a jellemzője, hogy az eredeti talajtípus (pl. csernozjom, réti vagy öntéstalaj) morfológiai bélyegei mellett a szikes talajokra jellemző vízben oldható sók és kicserélhető nátrium is megtalálható bennük. A másodlagos elszikesedett talajok keletkezésében döntő szerepet játszanak az emberi beavatkozások. Az eredeti talajtípus elszikesedik, de a kialakulása során kialakult bélyegei még megmaradnak.

Víz- és tápanyag-gazdálkodása az elsődleges talajtípus jellemző vonásait mutatja, de lényegesen kedvezőtlenebb formában. Víznyelő és víztartó képessége a szikesedés előrehaladtával romlik.

Altípusait az alapján tudjuk meghatározni, hogy milyen típusból keletkezett a talaj. Ez alapján lehet másodlagosan elszikesedett csernozjomról vagy réti talajról beszélni. Változatait csoportosíthatjuk a vízben oldható sók, valamint a karbonát-tartalma alapján. A sók minősége szerint megkülönböztetünk karbonát-szulfátos, karbonát-hidrogén-karbonátos, valamint karbonát-kloridos változatokat. (STEFANOVITS ET AL, 1999)

3.1.1.3. Réti talajok jellemzése

A réti talajok humuszanyaga mindig fekete színű amiatt, hogy a humuszanyag nagyrészt levegőtlen viszonyok között képződött és vassal kapcsolódott. A humuszos szint vastagsága változó lehet. Szerves anyag tartalma általában több mint a környező területeké, de kevesebb, mint az a színéből következne.

A sófelhalmozódás jellemzően az A szintben olyan feltételek között játszódik le, mint a szikes talajoknál (enyhébb formában), de csak a szoloncsákos réti talajokban jelenik meg. Itt inkább a szulfátok felhalmozódása a gyakori. Minden sófelhalmozódási forma sokkal gyengébb, mint a szikes talajokban, de még így is termékenység-csökkentő hatásuk van.

A réti talajokban a kicserélhető nátrium-tartalom növekedése rendszerint követi vagy megelőzi a kicserélhető magnéziumok szaporodását, és értékük meghaladja a 30 S%-ot. Hatásuk kevésbé kedvezőtlen a talajok fizikai tulajdonságaira, mint a kicserélhető nátriumé.

A réti talajok ásványi anyag összetétele a szelvényen belül alig változik (különösen az agyagos részekben). Agyagásványaira általában a montmorillonit jellemző, ezen kívül sok amorf kvasav és alumínium-oxihidrárt is előfordul. A következőkben a réti talajtípusok közül csak az öntés réti talajtípust jellemzem, mivel ilyen talaj fordul elő a 3. mintavételi helyen, a csemetekertben.



4. ábra: A 3. mintavétel helyének szelvénye, csemetekert (fotó: Kovács G., 2010)

Az öntés réti talajokban fellelhetők a talajok öntésjellegének nyomai és a réti folyamatok egyaránt. Ebből következik, hogy egymás mellett jelenik meg az öntésterületek hordalékanyagának rétegzettsége és kialakulatlansága, valamint a réti talajokra jellemző humuszképződés.

Az öntés réti talajok szerkezete is kevésbé kialakult, legtöbbször gyengén szemcsés szerkezetű. A talajszelvényben apró rozsdafoltok és mészerék fordulnak elő a vasmozgás és kalciumdinamikának köszönhetően. Savanyúsági viszonyait és kémhatásukat ugyanúgy az öntés jellege szabja meg, mint a kicserélhető kationok eloszlását és az agyagtartalom változását.

Általában kedvező a vízgazdálkodásuk, ha a talajvíz nincs túl közel a felszínhez, és a tavaszi nedves időszak sem tart sokáig. A talajvíz hasznosan befolyásolja a nyári időszakot a növények számára.

Tápanyag-ellátottságuk is kedvező, de a nitrogénfeltáródás, valamint a nitrogén szolgáltató képességük gyenge a kisebb szervesanyag-tartalom és a talajok lassú tavaszi felmelegedése miatt.

Altípusai is léteznek, amelyek karbonátos és nem karbonátosak lehetnek, a szelvény felső szintjének karbonáttartalma alapján. Változatait a humuszréteg vastagsága és szervesanyag-tartalma alapján különböztetjük meg. (STEFANOVITS ET AL, 1999)

3.2. A talaj termékenysége

Napjainkban a rohamosan növekvő technikai fejlődés mindig is világméretű problémákhoz vezetett, ezért szükség szerű küzdeni a környezeti problémák ellen, amik felmerülnek a fejlődés következtében. A mezőgazdasági termelés fejlesztése során vizsgálni kell a talajok állapotát, és minőségét, ismernünk kell a talaj termékenységét (főként a humusz- és szén-savmész-tartalmat), és törekednünk kell a megőrzésére.

Termőtalajaink a nemzeti vagyon jelentős hányadát képezik, ezért is gondoskodnunk kell átmentésükről, állaguk tartós védelmükről és tervszerű javításukról. A javítási lehetőségeket, a javítási módszereket, az anyagi erőforrásokat és a szervezeti adottságokat úgy lehet hasznosítani, ha a talajadottságokat pontosan ismerjük. (DÖMSÖDI, 1984)

3.2.1. Talajadottságok

Számos talajadottság szoros kapcsolatban áll egymással. Meghatározásuknál fontos ismernünk a talaj szerkezetét, fizikai és kémiai tulajdonságait, valamint genetikai tulajdonságait (osztályozásukat). Mindezek befolyásolják a talaj termékenységét és a talajjavítás lehetőségeit. (FEKETE ET AL, 1967)

3.2.1.1. Morfológiai tulajdonságok és talajjavítási lehetőségek

A talaj szerkezetkialakító hatásában fontos szerepe van a szerves anyagokból keletkező kolloidális humuszanyagoknak, továbbá a talaj élőlényeknek, baktériumoknak, növényzetnek. *„A szerves és az ásványi rész között erősebb vagy lazább kapcsolat alakul ki aszerint, hogy a szerves anyagnak a kevésbé humifikálódott (az ásványi részhez kevésbé kapcsolódó) része vagy a szerves elemekkel szorosabb kapcsolatban álló humuszanyagai vannak-e túlsúlyban.”* (DÖMSÖDI, 1984) A szerves anyagnak vagy humusznak rendkívül fontos szerepe van a talajszerkezet-kialakításban, ugyanis a jó szerkezet nagymértékben elősegíti a talaj tápanyag-és vízgazdálkodását. A talaj szerves anyaga azonban elhasználódhat, vagy bármilyen havária esetén (pl. vörös iszap katasztrófa) megromolhat, ezért folyamatos pótlásáról vagy javításáról mindenképpen gondoskodni kell.

Többféle lehetőség született a megfelelő talajszerkezet, ill. a talajállag fenntartására. Általában a jó szerkezetű talajok szerkezetének fenntartására a talajművelési eljárások a legcélravezetőbbek. A rossz szerkezetű vagy radikálisabb javításra szoruló talajok (pl. vörös iszappal szennyezett talajok) esetében már kémiai anyagok, ásványi kolloidok (agyag, márga), szerves anyagok (tőzeg, lápföld, istállótrágyák, zöldtrágyák, stb.) és mészbevitele szükséges. (DÖMSÖDI, 1984)

Tavaly október 25-én megjelent az építésügyi portálon egy cikk a vörös iszappal szennyezett talajok javításáról, miszerint létezik egy nagyon egyszerű és hatékony megoldás a szennyezett területek újjáélesztésére, ráadásul természetes alapanyagú szerekkel. Dr. Csicsor János vegyész által fejlesztett szer számos helyen alkalmazzák növénytermesztésben, környezetvédelemben, a humán egészségügyi termékek területén, stb. A kifejlesztett szer a „Dudarit” elnevezést kapta, amely egy természetes huminsav tartalmú talajjavító készítmény. A devecei vörös iszappal szennyezett parkban kísérletet hajtottak végre, ahol meglepő eredményt kaptak: a vörös iszappal szennyezett 13 pH kémhatású talajkeverék fél óra alatt 7

pH-ra csökkent a Dudarittal beszórt területen. Ezután a kísérlet után, amit 2010. október 7-én hajtottak végre, elkezdtek a kertek és csatornák beszórását, hogy a patakba bemosott ipari szenny ne károsítson tovább.

A Dudarit a világon egyedülállóan magas huminsav hatóanyagú természetes szer, amely faszén és tőzeg alapanyagú, engedélyezett magyar termék. A szakemberek a mintaterületen elvégzett kísérlet alapján, számításokat és becsléseket végeztek, melyek szerint az erősen katasztrófa-sújtott helyekre (Kolontár, Devecser és Somlóvásárhely) kb. 5 tonna/ha mennyiségre lenne szükség az élőhely helyreállításához.

A Dudarit hatásai bizonyítottak: képes extrém savas vagy lúgos körülményeket pufferálni; megkötö a nehézfémeket, növények számára felvehetetlen formájú vegyületeket kialakítva; a talaj és az élőlények regenerálódását teszi lehetővé; természetes anyag révén könnyen és 100%-osan beépül a szervezetbe; és nincs mellékhatása. (EPITESZFORUM.HU, 2010)

3.2.1.2. Fizikai, kémiai és genetikai tulajdonságok

Visszatérve a talajadottságokhoz, a fizikai és kémiai tulajdonságokból például következtetni tudunk a talaj víz-, hő-, levegő- valamint tápanyag-gazdálkodására, és ezzel együtt a talajhibákra.

Például a sós talajok egyik legszembetűnőbb jellegzetessége a felületi sókivirágzás (amit én is tapasztaltam a tenyészedény kísérlet során). Ez azért fordul elő, mert a talajban lévő vízmozgás a sós talajvizet a felszínre, vagy a felszínközelbe hozza, és a sók kiválnak a talajrétegben, ill. a talaj felületén. A talajtípusok közül, a szikes talajoknál is előforduló jelenség, ami legfőképpen a sós talajvíz, és a felszín száraz (párolgásos) klímaviszonyai miatt keletkeznek (szikesedés).

A csernozjomokra jellemző, hogy főként löszből és öntésanyagból keletkeztek. Termőképességüket a humuszos réteg vastagsága befolyásolja. Hibáik általában az altalajban lehetnek, mint például nátriumakkumulációs szintek, magnézium- és mésztartalom kedvezőtlen aránya, márgás és glejes rétegek fordulnak elő.

Az öntéstalajok meszes kifejlődésekor helyenként tömödött, mészköpados réteg alakulhat ki, közel a felszínhez, ami sekély termőrétegűséget, rossz vízgazdálkodási adottságokat okoz. A talajvíz is közel van, ami lehet kedvező vagy kedvezőtlen.

A réti talajok pedig legtöbb esetben túlságosan agyagosak. Ezek is lehetnek meszes vagy savanyú kifejlődésűek, kedvezőtlen szerkezetűek. A kedvezőtlen talajszerkezet kialakulását a rossz humuszminőség pedig még inkább fokozza. (DÖMSÖDI, 1984)

3.2.2. Talajtermékenység

A talaj termékenysége állandóan változik a talaj képződése folyamán. A talajképződési folyamatok hatására a terméketlen kőzetből alakulnak ki azok a talajtulajdonságok, amelyek a termékenységet biztosítják. Ezek közül a tulajdonságok közül a legfontosabbak elsősorban a talaj víz- és tápanyag-gazdálkodása.

Megkülönböztetünk különféle termékenységi szinteket abból a szempontból, hogy az emberi tevékenység különböző mértékű és irányú hatásának eredményeként alakultak-e ki. Van természetes termékenység, alaptermékenység, aktuális vagy tényleges termékenység, optimális termékenység, potenciális termékenység és maximális termékenység.

A természetes termékenység (F_n) egyrészt a biomasszát (a természetes növénytakaró által produkált szervesanyag-tömeg) jelenti, ami kifejezhető g/m^2 -ben egy évre vonatkoztatva, másrészt a mezőgazdasági számításokban az első szántóföldi növény által elért termést vagy terméseket.

Az alaptermékenység (F_f) istállótrágyázással, mint tápanyag-utánpótlással és sekély vagy középmély fogatos szántással nyert termeléssel jellemezhető, vetésforgós gazdálkodás keretében.

A jelenleg általánosan használt műtrágyaféleségek mindenkori adagjait, a talajviszonyok által megkívánt talajművelést és az esetleges talajjavítás alkalmazásával elért tényleges termések többéves átlagát, az aktuális vagy tényleges termékenységgel (F_a) fejezhető ki, mind szárazgazdálkodás, mind öntözött viszonyok esetén is.

Az optimális termékenység (F_o) az összes gazdaságosan alkalmazható átlagtermést jelenti, és a területen indokolt melioráció alkalmazásával érhető el.

Többéves termésátlagot jelent a potenciális termékenység (F_p), amely az adott viszonyok között eredményesen alkalmazható melioratív eljárások összességének bevezetésével érhető el.

Az elérhető legnagyobb termésátlag elméletileg a maximális termékenység (F_m), amelyet csak az időjárás és a termesztett növényfajták tulajdonságai határolnak be.

A meliorációs számot (M) úgy kapjuk meg, hogy az aktuális termékenységből kivonjuk az alaptermékenységet ($M = F_a - F_f$). Ez a szám az előálló terméstöbbletet adja meg gabonaegységben.

A reagálási számot (R) pedig megkapjuk a potenciális és az alaptermékenység különbségéből ($R = F_p - F_f$). Az agrotechnika és a melioráció összes, jelenlegi ismeretei szerint hatásos eljárások alkalmazásával érhető el az adott talajon, ez a gabonaegységben előállítható terméstöbblet.

A meliorációs szám és a reagálási szám százalékban kifejezett értéke a meliorációs hatásfok (M%), amit úgy kapunk meg, hogy:

$$M\% = \frac{M \cdot 100}{R}$$

Ez a hatásfok megadja a meliorációs lehetőségek kihasználásának mértékét. A legjobban ezzel az értékkel tudjuk jellemezni a gazdálkodás színvonalát és eredményességét. (STEFANOVITS ET AL, 1999)

Devecser környékén különböző talajtermékenységek jellemzőek. Noszlop, Oroszi, Somlószlós, Devecser és Káptalanfa környékén a humuszos réteg 30-50 cm, a termőréteg 50-100 cm vastag lehet. A legtöbb helyen kavicsos, vályogos homok jellemzi a feltalajt, meszet nem tartalmaz, a pH értéke 6 körüli.

Bodorfa és Devecser környékén a humuszcéteg 20-40 cm, a termőréteg pedig 40-70 cm vastag körüli. A feltalajt mindenütt mésztelen kavicsos homok jellemzi, amelynek a pH értéke 6-6,5 körüli, és néhol löszös vagy agyagos homokra települ.

Meszes, humuszos homoktalajok Noszlop, Ganna, Magyarpolány, Bakonygyepes, Kislód és Devecser környékére jellemzőek. A humuszos réteg 30-60 cm, a termőréteg 40-100 cm vastag lehet.

Kuptól délre, Noszloptól északra, Somlóvecstől északra és délre, Devecsertől pedig nyugatra meszes, humuszszegény homoktalajokat találunk, ahol a humuszcéteg 30-40 cm, a termőréteg 50-60 cm vastag. (DÖMSÖDI, 1984)

3.3. A vörös iszap talajtermékenységet befolyásoló szerepe

Az előző fejezetben szó volt általánosan a talajadottságokról és a talaj termékenységről, valamint Devecser és környékére jellemző talajtermékenységről. Most feladatom bemutatni néhány korábban, szakemberek által végzett vizsgálatok eredményeit.

A Greenman Kft. 2010. október 11-én a devecseri Kastélyparkban végzett helyszíni kísérleteket. Az ősfás növényzet megóvása céljából a helyszínen az iszapból mintát vettek, és speciálisan erre a helyzetre módosított összetételű Greenman Purus mikrobiológiai készítménnyel kezelték a szennyezett területet. A kezeletlen vörös iszapminta pH értéke 12-13 volt, míg a kezelés után 7-8 pH-ra csökkent. Az iszapréteg eltávolítása után is mintát vettek a talajfelszínről, amelynek a pH értéke továbbra is 12-13-as maradt. A 20 cm mélyről vett talajminta már csak 8 pH értéket mutatott. (WWW.GREENMAN.HU, 2010)

Számos kutatócsoport ment ki a katasztrófa helyszínére, és végeztek mind helyszíni, mind laboratóriumi vizsgálatokat. A Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Kutatóközpont Anyag-és Környezettudományi Intézet (továbbiakban: MTA KK AKI) és az MTA Talajtani Kutatóközpont (továbbiakban: MTA TAKI) vizsgálatainak eredményeit közzétették az mta.hu oldalán. Az MTA kutatóiból álló csoportjához számos további szakértő csatlakozott.

A Katasztrófavédelmi Főigazgatóság kérte fel a Magyar Tudományos Akadémia segítségét, a vörösiszap-katasztrófa másnapján. A vegyészekből, ökológusokból, biológusokból és környezetvédelmi szakemberekből álló csoport Devecser környékén végeztek vizsgálatokat, és a Koordinációs Bizottság ülésére elkészítették gyors jelentésüket a helyzetről, és javaslatukat a további szükséges teendőkről.

Az MTA KK AKI vizsgálatainak eredményei a következők voltak: megállapították, hogy a vörös iszap erősen lúgos kémhatású, pH értéke jellemzően 12-14 érték között változik. Az EU szabályozás 94/904/EC direktíva szerint a vörös iszap nem veszélyes anyag. A European Waste Catalogue (hulladékokra vonatkozó európai uniós lista) szerinti kódszáma a 01 03 09.

Ennek ellenére a környezetbe kikerülő vörös iszap potenciális veszélyforrás, amely veszélyezteti a vele érintkező lakosságot, élővilágot és környezetet (levegőt szállópor formájában, vizet, talajt) egyaránt. Elsősorban erősen lúgos kémhatása miatt lehet veszélyforrás. Az elmúlt idők folyamán mintegy 30 millió tonna mennyiségű vörös iszap halmozódott fel Ajkán, tíz tározóban.

A vörös iszap összetételét, tulajdonságait, kezelési és hasznosítási lehetőségeit már korábban is vizsgálták számos hazai intézetben és egyetemen. Szerencsére ennek köszönhetően sok anyag-és technológia ismerete halmozódott fel az évek folyamán, amik segítséget nyújtottak a tavalyi katasztrófa következményeinek felszámolásában.

A kifolyt vörös iszap kémiai összetételét is vizsgálta az MTA, a MÁFI és a Bálint Analitika munkatársai húsz, Kolontár és Devecser térségéből összegyűjtött mintából. A vizsgálat során megállapították, hogy az ipari szenny heterogén anyag, összetétele helyről-helyre bizonyos határok között változik. A környezetre legkárosabb hatást gyakorló fémeket vizsgálták, amelyek eredményit a következő táblázat mutatja:

Minták	Vörös iszap fémtartalma (mg/kg)						
	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
MTA KK AKI 2010.10.05 ^{1a}	135-144	n.d.	632-677	1,64-8,59	192-219	189-195	47,9 56,7
MTA KK AKI 2010.10.05 ^{1b}	33,4-35,7	n.d.	83,4-85,8	n.d.	64,3-73,1	43,2-53,9	36,8-43,6
Bálint Analitika 2010.10.05 ²	43,6-44,5	2,30-2,42	689-721	0,54-0,67	281-289	80,9-83,2	142-155
Bálint Analitika 2010.10.05 ³	27,9-32,3	0,24-0,34	57,6-74,5	0,18-0,28	26,3-36,4	7,52-11,8	64,2-77,9
MÁFI 2010.10.06 ⁴	81,6-131	0,82-1,44	360-694	0,61-2,83	143-322	96,2-177	108-172
Határértékek szennyvíziszapra⁶	75	10	1000	10	200	750	2500

n.d. nem mérhető

^{1a,b} Az MTA KK AKI által 2010.10.05-én a gátszakadástól 100 méterre, illetve Kolontártól 1 km-re nyugatra vett minta adatai;

² A Bálint Analitika által 2010.10.05-én a gátszakadástól mintegy 30, illetve 50 méterre vett 2 iszapminta adatai (határértékek);

³ A Bálint Analitika által 2010.10.05-én Kolontár belterületén vett 2 iszapminta adatai (határértékek);

⁴ A MÁFI által 2010.10.06-án Kolontár és Devecser térségében vett 10 iszapminta adatai (határértékek);

⁵ Az 50/2001 (IV. 3) Korm. rendelet szerint a mezőgazdaságban felhasználásra kerülő szennyvíziszapra megadott határértékek

2. táblázat: A környezeti szempontból legfontosabb fémekre vonatkozó eredmények [4]

A mérési eredményekből kiderült, hogy a vörös iszap határértéke a megengedett szennyvíziszapokéhoz képest kisebb, kevesebb kadmiumot (Cd), krómot (Cr), higanyt (Hg), nikkelt (Ni), ólmot (Pb), cinket (Zn) és arzént (As) tartalmaz.

A fenti eredmények alapján fémtartalma akkor jelent veszélyt, ha a fémek kioldódnak a vörös iszapból, mert mobilizálódhatnak, és az élő szervezetek így könnyebben fel tudják venni. Száraz vörös iszap mintákon figyelték a fémek kioldódását, amiket desztillált vízzel és az MSZ 21420-31 szabvány szerinti pH=4,5-s ammónium-acetátos pufferrel kezeltek. Az eredmények a következők lettek:

Minták	Oldatok fémtartalma (µg/l)						
	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn

MTA KK AKI 2010.10.05 ¹ desztillált víz	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	190	60	k.h.a
MTA KK AKI 2010.10.05 ¹ ammónium-acetát puffer	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a
Mérés kimutatási határa	20	3	1	4	0,7	8	0,8
Határértékek szennyvízre¹²	200	20	2500	10	1000	1000	5000

k.h.a. - kimutatási határ alatt

¹ Az MTA KK AKI munkatársai által 2010.10.05-én a gátszakadás helyének közeléből és Kolontár külterületén vett 2 minta adatai

3. táblázat: A vörös iszap kioldható fémtartalma [4]

A Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetének (MTA TAKI) szakemberei 2010. október 8-án egy méter mélységű talajszelvényt ástak, Kolontáron és Devecserben annak megállapítására, hogy a felszínt borító vörös iszap beszivárgott-e a mélyebb rétegekbe. Az eredmények előtt felvázolták Kolontár és Devecser térségének környezeti jellemzőit.

Az öntés jellegből adódóan a talajszelvények felépítése a mélyebb szintekben rétegzett, magas szervesanyag-tartalmú rétegek, amely vályog, iszap, valamint agyag szinteket is tartalmaz. A felszíni réteg karbonátos, pH értéke 8,2 alatti (tehát gyengén lúgos), a mélyebb rétegek pH értéke a 8,5-t is elérheti (ez már lúgos). A kiemelt, gyengén vízhatású sík jelentős része szántóföldi művelés alatt állt.

Az MTA TAKI kutatócsoportja mintavételi tervet készített, majd az akkreditált Megaterra Kft. közreműködésével mintavételezést végeztek két, vörös iszap által elöntött családi házban. Az egyik Kolontáron, a Kossuth utca 20. szám alatt, a másik Devecseren, a Vadvirág utca 5. szám alatt vételezték, a kertjükben. Gépi fúróval egy méter mélységű talpfúrást készítettek, és a következő rétegenként mintáztak: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 és 50-100 cm. A gépi fúrások környezetében átlagmintákat képeztek botfúróval, 20-20 részmintából a 0-5, 5-10, 10-20 és 20-30 cm talajrétegekből. Kolontáron és Devecserben is történt felszín alatti vízmintavétel.

A mintavételezést, a minták szállítását és tárolását az MSZ 21470-1:1998 (talaj), MSZ 21464:1998 (felszín alatti vizek) és MSZ 21420-17:2004 (hulladék) szabványok szerint hajtották végre. A talajmintákat az MTA TAKI laboratóriumába, valamint a Bálint Analitika Kft-be szállították. A mintavételi helyek koordinátáit (meghatározása az EOV rendszerben történt), a minták kódjait a következő táblázat szemlélteti:

Mintavételezési helyszín	Koordináta	Minta kód	Mintavételi eljárás	Mintázott réteg cm	Mintázott környezeti elem
		V2-MF1A/1	átlagminta	0-5	talaj

Kolontár, Kossuth u. 20.		V2-MF1A/1	átlagminta	0-5	talaj
		V2-MF1A/2		5-10	talaj
		V2-MF1A/3		10-20	talaj
		V2-MF1A/4		20-30	talaj
	Y530691 X194872	V2-MF1/1	pontminta	0-5	talaj
		V2-MF1/2		5-10	talaj
		V2-MF1/3		10-20	talaj
		V2-MF1/4		20-30	talaj
		V2-MF1/5		30-40	talaj
		V2-MF1/6		40-50	talaj
		V2-MF1/7		50-100	talaj
Kolontár, Kossuth u. 20.		V2-MF2A/1	átlagminta	0-5	talaj
		V2-MF2A/2		5-10	talaj
		V2-MF2A/3		10-20	talaj
		V2-MF2A/4		20-30	talaj
	Y530689 X194894	V2-MF2/1	pontminta	0-5	talaj
		V2-MF2/2		5-10	talaj
		V2-MF2/3		10-20	talaj
		V2-MF2/4		20-30	talaj
		V2-MF2/5		30-40	talaj
		V2-MF2/6		40-50	talaj
		V2-MF2/7		50-100	talaj
Kolontár, Kossuth u. 20.	Y 530 691 X 194 872		ásott kút vízmintája	talpmélység 6 m	felszín alatti víz
Devecser Vadvirág u. 8.		V3-MF1A/1	átlagminta	0-5	talaj
		V3-MF1A/2		5-10	talaj
		V3-MF1A/3		10-20	talaj
		V3-MF1A/4		20-30	talaj
	Y527200 X197179	V3-MF1/1	pontminta	0-5	talaj
		V3-MF1/2		5-10	talaj
		V3-MF1/3		10-20	talaj
		V3-MF1/4		20-30	talaj
		V3-MF1/5		30-40	talaj
		V3-MF1/6		40-50	talaj
		V3-MF1/7		50-100	talaj
Devecser Vadvirág u. 5.		V3-MF2A/1	átlagminta	0-5	talaj
		V3-MF2A/2		5-10	talaj
		V3-MF2A/3		10-20	talaj
		V3-MF2A/4		20-30	talaj
	Y527164 X197241	V3-MF2/1	pontminta	0-5	talaj
		V3-MF2/2		5-10	talaj
		V3-MF2/3		10-20	talaj
		V3-MF2/4		20-30	talaj
		V3-MF2/5		30-40	talaj
		V3-MF2/6		40-50	talaj
		V3-MF2/7		50-100	talaj
Devecser, Esze Tamás u. 11.	Y 527 125 X 197 116		ásott kút vízmintája		felszín alatti víz

4. táblázat: A mintavételi helyek koordinátái, MTA TAKI kutatócsoport eredményei [5]

A következő tényezőket vizsgálták: általános talajkémiai, ami magába foglalja a pH, mésztartalom, humusz %, só %, sóösszetétel és kötöttség mérést; valamint tizenhárom nehézfém vizsgálatot végeztek királyvíz, víz, acetát-puffer, és LE oldható frakciók segítségével.

A vizsgálati eredmények értékelése után megállapították, hogy a vörös iszapban található legkockázatosabb, legmobilisabb nehézfémek sem jutottak 10 cm-nél mélyebbre a talajban, és ott sem haladták meg a szennyezettségi határértéket. Kiderült, hogy a mélyebb talajrétegek és az első vízáradó talajréteg közvetlenül nem veszélyeztetett.

További vizsgálatokat végező intézmények: MTA kutatóintézetei és támogatott kutatócsoportjai, NYME, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vidékfejlesztési Minisztérium MMI, MÁFI, VITUKI, ÁNTSZ, MGSZH, KKB TT, és nemzetközi szervezetek szakértői is érkeztek a katasztrófa helyszínére: EU, WHO és a Greenpeace. A mérési adatokat és elemzéseket bizalmas információként kezelik. (MTA.HU, 2010)

A katasztrófavédelem honlapján közzétették az Országos Közegészségügyi Intézet (továbbiakban: OKI) 1987-es vizsgálatait, az Ajkán keletkezett vörös iszap jellemzőiről:

Vizsgált komponens	Vörösiszap
Nedvességtartalom, %	30,2
Izzítási veszteség, %	8,9
C %	0,11
<i>HNO₃-as kivonatból</i>	
Cu mg/kg	23
Cr mg/kg	8,0
Ni mg/kg	29
Pb mg/kg	13
Cd mg/kg	0,0
Zn mg/kg	11
As mg/kg	4,3
<i>Vizes kivonatból</i>	
pH	11,8
Vezetőképesség $\mu\text{S}/\text{cm}$	1075
F ⁻ mg/kg	19,5

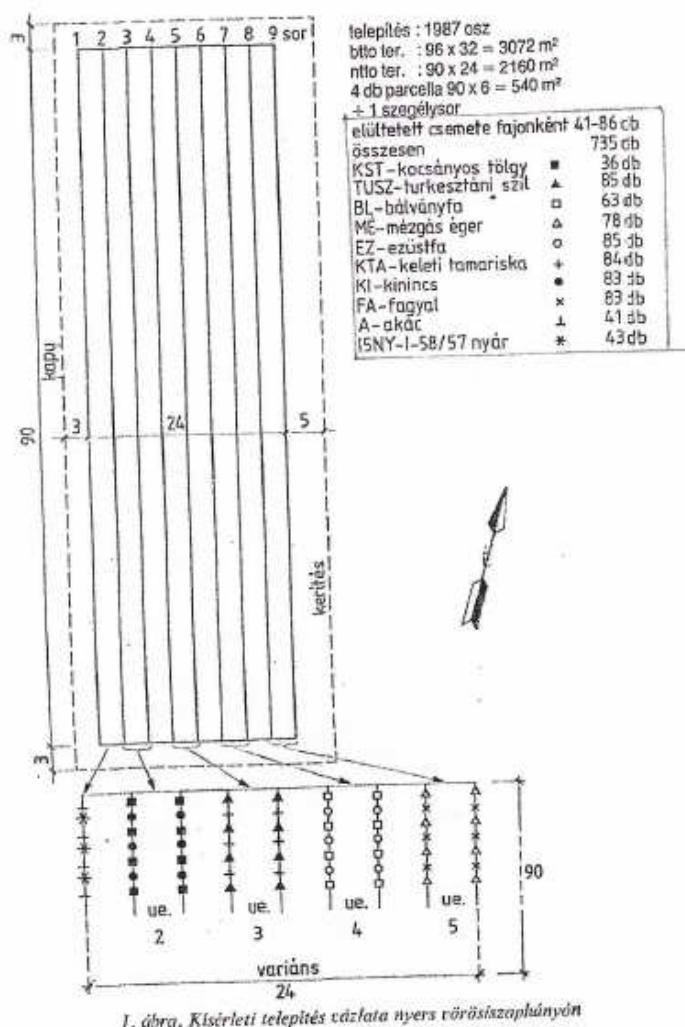
5. táblázat: Az országos közegészségügyi intézet 1987-es vizsgálata az ajkai vörös iszapról [6]

Az OKI vizsgálati eredményei is azt mutatták, hogy nincsen jelentős fémszennyezettség, a toxikus fémek koncentrációja a jelenleg érvényes talaj határértékek (6/2009.(IV.14.) KvVM-EüM-VM együttes rendelet) alatt vannak.

(WWW.KATASZTROFAVEDELEM.HU, 2010)

Alkalmazott teszt	Vizes	DMSO-s
	1:10-es kivonat negatív hígítás mértéke	
Daphnia	5	50
Hal	3	20
Csíránövény	10	50
Alga	10	10

6. táblázat: Ökotoxikológiai vizsgálatok eredményei [6]



5. ábra: Kisparcellás telepítési kísérlet vázlata nyers vörös iszaphányón [7]

1987. októberében Dr. Tompa Károly és Dr. Tihanyi Zoltán a MOTIM Rt. (mosonmagyaróvári timföldgyár) I. számú vörös iszap-tározóján fásítási kísérleteket végeztek. (5. ábra) Kísérletük célja a porzással környezetét szennyező vörös iszap-tározóterek rekultivációja volt, fás növényekkel, azaz fásításra alkalmas fa- és cserjefajok, valamint biológiailag és ökonómiailag legkedvezőbb technológia kikísérletezése üzemi körülmények között.

A bemutatott tanulmányukban az 1988-as és az 1989-es tenyészidő eredményeit értékelik.

Az előültetésre szánt fa- és cserjefajok kiválasztása az intenzív módszerrel nevelt, szigorúan osztályozott, egységes 2– 3 éves

erőteljes csemetére, ill. félsuhángra esett.

A három méteres tengelytávolsággal, árokásával kiképzett 50 cm széles és 60 cm mély árkos talaj-előkészítést tartották a legcélravezetőbbnek. Az árkokat legalább 2% humusztartalmú erdőtalajjal töltötték meg. A sorközökben vörös iszapot halmoztak fel, hogy domború felületet képezzen. Ennek azért volt jelentősége, mert a csapadékvíz az árokba folyt, amely alulról, a vörös iszap mélyebb rétegeiben még meglévő vízből is kapott nedvesség-utánpótlást.

A kitűzést és az árkos talaj-előkészítést 1987. október elején elvégezték, a telepítést pedig jó minőségű gödrös ültetéssel. Ezután a területet drótkerítéssel bekerítették, vad és egyéb károsító ellen.

Méréseket is végeztek a következő két évben: 1988-ban négy, 1989-ben három alkalommal magasság- és töltésmérést cm, ill. mm pontossággal. A károsítás és egészségi állapotot minden esetben figyelték. A tenyésztési idején a fehér nyárat rozsdagomba támadta meg, de a csemeték hamar kiheverték.

Ezek után a talajban és a vörös iszapban bekövetkezett változásokat figyelték. A talaj minőségének időbeli változásait táblázatban tüntették fel (7. táblázat). A hozott talaj majdnem humuszmentes, erősen meszes, kissé sós tési talaj.

1. táblázat. A hozott homoktalaj változása az idő függvényében Mosonmagyaróváron

Vizsgálat neve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pH (KCl)	7,67	7,74	7,67	8,65	8,63	7,60	8,82	7,51	7,85	7,76	7,70
Kötöttség	37	37	36	33	35	36	29	33	36	36	33
Összes só %	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0,06	0,02
CaCO ₃ %	24	23	25	20	20	19	21	27	25	29	30
Humusz %	0,22	0,43	0,54	0,95	0,61	0,91	0,85	0,96	0,94	1,03	0,49
NO ₃ +NO ₂ ppm	8,5	4,3	11,6	3,8	1,5	3,0	1,4	0,1	0,1	0,1	0,7
P ₂ O ₅ ppm	115	66	90	162	84	105	103	85	195	88	36
K ₂ O ppm	141	170	54	63	47	73	34	38	49	37	22
Mg ppm	303	237	229	257	205	159	135	203	184	379	333
Na ppm	400	665	278	1261	1059	337	1069	303	1260	737	332
Zn ppm	1,7	2,0	2,6	2,3	2,1	2,5	1,3	1,8	2,0	3,0	1,8
Cu ppm	2,6	3,3	3,3	3,2	2,4	2,5	2,1	2,4	1,7	2,7	1,5
Mn ppm	17,5	19,7	18,5	72,1	31,4	8,3	7,0	57,8	41,8	58,7	40,9
SO ₄ ppm	13,4	10,7	9,8	3,1	1,8	2,8	3,8	0,5	0,5	0,2	0,3
Fenolft. lug. %								0,058	0,069	0,037	0,040

1., 2., 3. = eredeti állapotban 1987. 11. 10.

4., 5. = egy tél után 1988. 04. 28. a talajtöltés vastagsága 35–42 cm

6., 7. = 11 hónap után 1988. 10. 19. a talajtöltés vastagsága 35–45 cm

8., 9. = 24 hónap után 1988. 10. 16. a talajtöltés vastagsága 32–45 cm

a talajréteg felső feléből

10. 11. = 24 hónap után, talajréteg alsó feléből.

7. táblázat: A hozott talaj eredeti minősége és a minőség időbeli változásai [7]

A pH mérés során megállapították, hogy értéke nem változott jelentősen, lényegében azonos maradt. A kötöttség sem változott, a homokos vályog fizikai talajféléseget mutat.

A talaj eredeti állapotában az összes só 0,02% volt, ami 11 hónap eltelte után 0,0%-ra csökkent, mivel kimosódott. Egy év után az alsó rétegben (19-45 cm között) újra megemelkedett 0,02 %-0,06%-ra. Ennek oka a vörös iszapból kiszivárgó csapadékvíz volt. Az össze sót vizes kioldással vizsgálták, a nátriumot pedig ammóniumlaktátos feltárással. Az összes só-vizsgálat után megállapították, hogy a talajborítás alsó rétege I. osztályú szikes talajnak felelne meg.

Kezdetben és két év múlva is a CaCO_3 értéke túlságosan nagy, 20-25% felett volt, mert nem tudott kilúgozódni. Ez szárazzá és cementálttá tette a homokot, ami nehezítette a növények foszforfelvételét is.

Szervestrágyázás hatására a humusztartalom kb. kétszeresére nőtt, de még így is 1% alatt volt, és a nitrogénellátottság tekintetében is gyengének minősült. Ezért a szerzők feltétlenül javasolnak egy nitrogénműtrágyázást tavasszal, a talajba beledolgozva.

A szervestrágyázás ellenére is igen nagy mértékben csökkentek az NO_3 és NO_2 értékei, ezt jelezte sok fafaj sápadt és apró levele. A felvehető nitrogén általában NO_3 formában van jelen a talajban, és értéke 0,1 ppm. Itt a szerzők szintén megemlítik, hogy nitrogéntrágyázni kell minden évben.

A nátrium értéke nőtt, és már az induláskor is sok volt a talaj Na-tartalma. A fenolftalein lúgosság mérése után megállapították, hogy szikesnek még nem nevezhető, de értéke 0,05% körül mozgott. A rossz minőségű homok ellenére a kiválasztott fafajok növekedése megfelelő volt.

Az erősen lúgos kémhatású vörös iszap vizsgálati eredményei közül a talajborítást a 8. táblázat mutatja, ezen kívül a fasorok között lévő bakhátak felső rétegéből az eredmények a 9. táblázatban láthatók, a depónia vizsgálati eredményeit a 10. táblázatban tüntették fel.

2. táblázat. A vörösiszap vizsgálati eredményei a talajborítás alól Mosonmagyaróváron

Vizsgálat neve	1	2	3	4	5	6
pH (KCl)	9,79	9,70	9,50	9,47	8,47	9,47
Kötöttség	43	42	52	47	67	62
Összes só %	0	0	0,082	0,070	0,43	0
CaCO ₃ %	5,0	7,0	8,0	8,0	15,0	8,0
Humusz %	0,40	0,45	0,41	0,39	0,80	0,53
NO ₃ +NO ₂ ppm	4,2	4,2	6,4	1,3	42,6	1,5
P ₂ O ₅ ppm	1155	1073	1008	954	515	676
K ₂ O ppm	206	188	189	171	419	192
Mg ppm	39	39	48	28	113	71
Na ppm	1260	1260	1257	1257	1260	1260
Zn ppm	2,2	2,3	1,7	2,3	5,2	2,5
Cu ppm	5,9	5,2	4,3	4,5	3,7	5,5
Mn ppm	84,3	28,1	5,1	2,0	12,0	9,3
SO ₄ ppm	4,0	4,0	4,6	0,6	12,1	0,8
Fenolft. lug. %			0,512	0,521	0,045	0,053

1., 2. = 35–42 cm mélység alól 1988. 04. 28.

3., 4. = 35–45 cm mélység alól 1988. 10. 19.

5., 6. = 32–45 cm mélység alól 1989. 10. 16.

8. táblázat: A vörös iszap vizsgálati eredményei a talajborítás alól Mosonmagyaróváron [7]

3. táblázat. A vörösiszap vizsgálati eredményei a fasorok között levő bakhátak felső rétegéből Mosonmagyaróváron

Vizsgálat neve	1	2	3	4
pH (KCl)	8,54	8,52	8,60	8,63
Kötöttség	62	55	62	53
Összes só %	0,089	0,086	0,114	0,640
CaCO ₃ %	16,0	16,0	16,0	15,0
Humusz %	0,40	0,48	0,43	0,37
NO ₃ +NO ₂ ppm	14,1	7,8	11,5	14,4
P ₂ O ₅ ppm	865	850	571	588
K ₂ O ppm	154	141	196	178
Mg ppm	34	35	43	41
Na ppm	1257	1258	1260	1260
Zn ppm	2,9	1,3	2,0	1,7
Cu ppm	2,3	3,5	1,0	2,5
Mn ppm	1,3	1,7	15,5	11,1
SO ₄ ppm	7,8	3,4	7,2	6,3
Fenolft. lug. %	0,326	0,341	0,045	0,053

1., 2. = 1988. 10. 19.

3., 4. = 1989. 10. 16.

9. táblázat: A vörös iszap eredményei a fasorok között levő bakhátak felső rétegéből Mosonmagyaróváron [7]

Növekedésvizsgálatok

Az első két évi növekedés alapján a fa- és cserjefajok sorrendje:

Magasság (cm)		Tőátmérő (mm)	
1. FNY	219	1—2. EZ	34
2. EZ	192	3. FRNY	30
3. A	188	4—6. TUSZ, MÉ,	
4. TUSZ	126	.KI	22
5. BL	117	7. BL	14
6. KI	114	8. FA	11
7. MÉ	103	9—10. KTA, KST	10
8. KTA	92		
9. FA	89		
10. KST	51		

10. táblázat: Az eredeti vörös iszap depónia vizsgálati eredményei Mosonmagyaróváron [7]

A vörös iszap vízvezető képességének megállapítására 1988 nyarán bolygatatlan mintákat vettek a vörös iszap felszínéből, és egy ásonyom mélységéből. A vízzel telített vörös iszap hidraulikus vezetőképessége a felső pár cm porhanyós rétegben 20-10-16 cm/nap, az alsó kenődő rétegben 6-7 cm/nap. Ez a kapott érték az agyagos vályog értékeinek felel meg.

4. táblázat. Az eredeti vörösiszap depónia vizsgálati eredményei Mosonmagyaróváron

Vizsgálat neve	1	2	3	4
pH (KCl)	8,43	7,98	8,39	9,61
Kötöttség	52	30	54	68
Összes só %	0,042	0	0,64	0,43
CaCO ₃ %	18,0	18,0	15,0	5,7
Humusz %	0,44	0,51	0,77	0,32
NO ₃ +NO ₂ ppm	4,9	2,9	4,9	4,9
P ₂ O ₅ ppm	861	816	532	696
K ₂ O ppm	181	178	426	168
Mg ppm	235	489	63	13
Na ppm	1260	1260	1260	1260
Zn ppm	2,1	2,0	4,2	2,5
Cu ppm	2,2	2,0	2,0	5,6
Mn ppm	65,1	30,4	12,4	9,8
SO ₄ ppm	4,6	3,0	10,3	3,1
Fenolft. lug. %	0,042		0,032	0,034

1., 2. = a felső 10 cm rétegből 1988. 04. 28.

3., 4. = a felső 10 cm rétegből 1989. 10. 16.

11. táblázat: Az első kétévi növekedés alapján a fa- és cserjefajok sorrendje [7]

1989. októberében 697 db csemete maradt életben (735-ből), az elültetett fajok 95%-a. Ennek az évnek a tenyészidejében egyetlen csemete sem pusztult ki. Két év után csupán a kocsányos tölgy növénysszázaléka volt rossz, elsősorban levélrágás miatt.

A szerzők összefoglalva megállapították, hogy fák növekedése és gyökérképződése meglepően jó volt a talajviszonyokhoz képest. A hozott termőföld megválasztását technikai okok miatt nem tartották megfelelőnek. Egyszer szükségesnek látták a szerves trágya használatát. 1989. nyarán végre is hajtották, de nem voltak megelégedve a komposzt elhelyezésével, mivel csak a felszínre terítették, és alig dolgozták be a talajba.

A kipróbált fa- és cserjefajok közül a következőket ajánlják telepítésre: fehér nyár, ezüstfa, akác, turkesztáni szil, kinincs, mézgás éger, fagyal, bálványfa, keleti tamariska és kocsányos tölgy. Nem ajánlják a nyírt, a nyugati ostorfát és a feketefenyőt. Megállapították, hogy a fák számára jobb volt a morzsalékos és levegős, jobb vízgazdálkodású vörös iszap, ebbe bele is tudtak nőni a fák gyökerei, de a levegőtlen, kenődő vörös iszap alsóbb rétegeibe a gyökerek nem tudtak behatolni. Ezért feltételezik, hogy a vörös iszapot talaj vagy más anyag bekeverésével morzsalékossá lehet tenni, és akkor megélnék benne a fák. *„A vörös iszap rekultiváció, illetve talajráhordás nélkül nem fásítható”* (GENCSI, 1990)

Belgiumból is érkeztek szakemberek, akik szintén talajvizsgálatokat végeztek a katasztrófa sújtotta helyszínről hozott talajmintákból. 2010. október 15-én vörös iszap mintákat gyűjtöttek Devecserben, és szennyezetlen talajmintákat (0-30 cm-ig) a közelben. További mintákat gyűjtöttek Somlóvásárhelyen.

A devecseri vörös iszap zagyos volt (44%-os száraz tömegű), és összekeverték talajjal, hogy a végső frakció: 0; 0,3; 1; 3; 10 lett. A 30% nedves vörös iszapot légszáraz talajjal keverték össze, ami: 0; 0,1; 0,5; 1,4; 4,9 lett és 16,5%-os sütő-száraz tömegű frakciónak felel meg. A továbbiakban csak a száraz frakciókkal foglalkoztak.

A kísérletet két részre osztották: egy lúgmentes és ez lúgos részre, amit három pórusterfogatú, mesterséges esővízzel öntöztek. A talajmintákat műanyag tálakba helyezték, és addig öntözték, míg a vízszint el nem érte kb. az 1 cm magasságot a talaj felszínén. A vízzel telített talajt egy éjszakára állni hagyták, majd kiszámították a pórusterfogatot a száraz és a vízzel telített talaj súlykülönbségéből. Megfelelő mennyiségű mesterséges esővizet öntöttek le a talajról, így volt lehetősége kiszáradni. A kilúgozás mennyiségét figyelték és egy 0,45 µm-es membránon megszürték, majd savasították, mielőtt egy plazma-optikus, emissziós spektroszkóppal analizálták volna.

Ezen kívül vizsgálták még a NaOH referenciát, a talaj tápanyagtartalmát, a vörös iszap tulajdonságait, a talaj kémhatását és a vörös iszap hatását a növényekre (pl. árpara). (RUYTERS ET AL, 2010)

4. A tenyészedény kísérlet során felhasznált fajok

A tenyészedény kísérlet megkezdése előtt három fajúra esett a választás: akác, fehér fűz és nemes nyár. 2010. novemberében el is ültettük a kiválasztott dugványokat. A kísérlet bemutatása előtt kitérek az elültetett fajok általános jellemzésére.

4.1. Akác (*Robinia pseudoacacia*)

Az akác a Hüvelyesek (*Fabaceae*) családjába, azon belül *Robinia* nemzetségbe tartozik. A nemzetségben belül a négy fa alakú faj közül egyedül a fehér akácnak van erdőgazdasági jelentősége. (KERESZTESI, 1984)

Lombhullató fákat sorolunk közéjük. Leveleik jellemzően szórt állásúak és páratlanul szárnyaltak, átellenesen álló levélkével. (VANCURA, 1960) Európába az 1600-as évek elején került be, hazánkba 1710-1720 között hozták be, és azóta az ország erdőterületének több mint az egyötödét, közel egynegyedét foglalja el. (BARTHA, 2000)

A fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) 25 m magasra is megnőhet. Szívógyökere később megvastagodik, és különösen a laza (homokos) talajon nagyon messzefutó, szétágazó, horizontális gyökérzetet fejleszt.

A melegebb éghajlatot kedveli, klímaigényeinek legjobban a szőlőtermő vidékek felelnek meg. Rendkívül nagy a termőhely iránti alkalmazkodó képessége. A tápdús, jól szellőzőt homoktalajokat kedveli. Különösen igényes a talaj szellőzőtsége tekintetében, ezért kötött talajra nem ajánlják. Nagy igényeket támaszt a talaj ásványi tápanyagaival szemben, ugyanis növekedése során jelentős mennyiségű ásványi anyagot von el a talajból.

Az akác nitrogénben gazdagítja a talajt (gyökerén nitrogéngyűjtő baktériumok (*Rhizobium leguminosarum*) élnek (BARTHA, 2000)), ezért az akácállományok alatt nitrofil flóra telepszik meg. Szárazságtűrő faj, de meglehetősen nagy a jó növekedéshez szükséges optimális vízigénye. A legfényigényesebb fajokaink egyike, mind a korai, mind a késői fagyok iránt érzékeny.

Gyökérdugványokról szaporítják. Gyorsan növekvő faj, különösen fiatal korában nő gyorsan. Még közepes termőhelyen is eléri, vagy megközelíti 10-12 éves koráig, az évi magassági gyarapodása az egy métert. Nagyon szívós fa, mivel a nagy sebekkel is sokáig él. A tápanyagokban szegényebb talajokkal is megelégszik.

Felhasználhatósága igen nagy: vezetékoszlop, bányafa, vasúti talpfa, parketta is készülhet belőle, és kiváló tűzifa. Ezen kívül sokat felhasznál a bognár-, kádáripár, és általában a mezőgazdaság. (VANCSURA, 1960)

Hazánkban a legjobban elterjedt, gyorsan növő fafaj az akác. Gyorsan növő fafajnak azokat tartják, amelyek évi növedéke meghaladja a 10 m³/ha-t, célszerűnek ítélik azonban száraz anyagban számolni. Magyarországon gyorsan növő fafajnak számít az akác és a nemes nyárak. (KERESZTESI, 1984) Ahol megtelepedett, ott szinte kiirthatatlanná válik. Ezen kívül özönfaj, nagyon sok problémát okoz pl. a védett területeken. (BARTHA, 2000)

4.2. Fehér fűz (*Salix alba*)

A fehér fűz a Fűzfélék (*Salicaceae*) családjába tartozó, lombhullató fafaj, sima hengeres hajtásokkal. Erre a családra jellemző, hogy leveleik szórt állásúak, egyszerűek, lándzsásak vagy elliptikusak, ép szélűek vagy fűrészesek, rövid nyelűek. Barka virágzatuk van.

Főleg patak- és folyópartokon fordulnak elő, és más nedves termőhelyeket kedvelnek. Fája szórt likacsú, lágy és könnyű, ezért lágy lombfák. A fűzek ipari felhasználhatósága sokoldalú, a nyárakhoz hasonlóan. Vesszőik hajlékonyak, emiatt kötözésre és kosárfonásra kiválóan alkalmasak. Faháncsuk pedig jelentős mennyiségű salicint és 6-16%-os csersavat tartalmaz.

A fűzek is gyors növekedésűek, ezért a fahiány gyors pótlására alkalmasak. Hazánk fafajai közül ezek bírják a legjobban a nedves talajokat. Jó a sarjadzó képességük, és dugványról könnyen szaporíthatók. Fényigényességük hasonló a nyárakéhoz, viszont a mély termőhelyek előnyösebben hasznosíthatók fűzekkel, mint nyárakkal.

A fehér fűz 30 m magasra is megnövő fa. A gyökere messzeterjedő és többnyire a felszínhez közel szétágazó. Ha elárasztásnak kitett helyen fordul elő, a törzse az alsó részén sűrű, vékony légző gyökereket növeszt.

Fája puha, könnyű, minden tekintetben nagyon hasonlít a nyárhoz. Lemez és papír ipari célokra ugyanúgy alkalmas, mint a nyár, száraz helyen pedig tartós, így építkezési anyagnak is megfelelő.

Termőhely igényei közül a jó vízellátású homok, vályog vagy nem túl kötött agyagtalajon érzi jól magát. Ha gyökerei a vizet az egész vegetációs idő alatt elérik, akkor jó növekedést várhatunk tőle. Az elárasztásokat nagyon jól tűri, azokra fokozott növekedéssel

reagál, meghálálja. Rövid ideig tűri azonban a stagnáló vizet. Mészkedvelő, de a száraz termőhelyeket elkerüli.

Erősen fényigényes faj, csak akkor van erőteljes vastagsági növekedése, ha koronáját szabadon éri a napfény. Melegkedvelő is, de a fagyok iránt nem érzékeny.

Mesterséges telepítését gyökeres dugványokkal vagy a természetes újulatból szedett csemetékkel végzik. Ajánlatos a nyárákhoz hasonló anyatelepet létesíteni, a megfelelő minőségű erdősítési anyag előállítása céljából.

Jó a sarjadzóképesége, nagy a visszaszerző-képesége, vessző, ill. rúd alakjában egyaránt dugványozható. Ez a képesége teszi lehetővé az ún. fejesfa művelési módot, amely ma már nem igen elterjedt. (VANCSURA, 1960) Mérsékelt hosszú életű (100-120 év (BARTHA, 2000)) faj, de az öreg fűzek belül rendszerint odvasak, vagy teljesen üregesek.

Élőhelyére jellemző, hogy kedveli a mozgóvizes területeket: puhafás ligeterdők állományalkotó faja. Elcserjésedve bokorfüzesekben is előfordul, és pionír voltánál fogva más nedves területen is megjelenhet. Az alapfaja visszaszorulóban van, mivel ma már a szelektált kultúrváltozatát ültetik, és gyakran hibridizálódik a törékeny fűzzel. (BARTHA, 2000)

4.3. Nemes nyár (*Populus x euramericana*)

A nemes nyárok a Fűzfélék (Salicaceae) családjába tartoznak, és lombhullató fák. Leveleik jellemzően szórt állásúak, és általában a rövid hajtásokon állók, alakjukban és nagyságukban eltérnek a hosszú hajtásokon állóktól. Levele lándzsás-tojásdad, rombusz vagy háromszög alakú, ép, ritkábban tenyeresen karéjos, épszélű és fogas. Barka virágban jelennek meg a porzós virágok, amik kocsányosak és többnyire lelógók.

A nemes nyár hibridek többségükben heterózisos hibridek, ami annyit jelent, hogy a hibridek nagyobb termetűek, és gyorsabb növekedésűek az őket létrehozó fajoknál. Ivaros szaporításuk pedig nem célszerű, mivel az utódok túlnyomó többségénél eltűnne a heterózis. Besorolásukat az anyanövény alapján végzik. (VANCSURA, 1960)

Biológiai jellemzőjük, hogy nagyon gyors növekedésű fajták, és rövid vágásfordulóval (15-30 év) lehet őket kezelni. Ökológiai igényük pedig, hogy kiegyenlített hőigényük van, és fényigényesek. Hazánkban főleg a sík vidékeken ültetik őket állományszerűen, faültetvény formájában. Főként a homok-, láp- és öntésterületek kultúrerdői, faültetvényei, illetve fasorokat és erdősávokat alkot.

Elsősorban az amerikai nyár (*Populus deltoides*) és a fekete nyár (*Populus nigra*) korábban spontán, később keresztezés útján létrejött hibridjei a nemes nyárok, melyek szelekciós nemesítésen estek át. Magyarországon közel 20 fajtájukat termesztik. Vagy hímivarú, vagy nőivarú fajtáik vannak, mivel monoklónok. (BARTHA, 2000)

4.3.1. AF2 nyár (*Populus x euramericana AF-2*)

Az AF2 nemes nyár olasz származású klón (*ALASIA New Clones*). Jellemző rá az egyenes, hengeres törzsforma, ágai hegyes szögben állnak hozzá. Alacsony a talaj fizikai féleségével szembeni igénye, a homoktalajoktól az agyagig mindenhol jól nő. Kezdeti növekedése különösen gyors, ezért elsősorban energiaültetvények létesítésére a legalkalmasabb.

Néhány betegséggel szemben, mint a rozsdásodás és barna levélfoltosodás, ellenállóképessége kielégítő, jó pedig a *Marssonina* okozta levélfoltossággal és a *Dothichiza populea* okozta kéreg-fekéllyel szemben. Egyáltalán nem érzékeny a levél mozaikvírusra, és kiváló a szélállósága is. (VANCSURA, 1960)

5. Tenyészedény kísérletek vörös iszappal

2010. november 15-én 15 db Mitscherlich-féle 8 literes tenyészedénybe (7. ábra) Devecserről elhozott, vörös iszappal szennyezett talajt tettünk úgy, hogy szántást utánózva a vörös iszappal szennyezett réteg 9 db tenyészedény aljára került. A maradék 6 db tenyészedénybe olyan talajt tettünk, amelybe különböző koncentrációkban bekevertünk vörös iszapot, a devecserről elhozott szennyezett talajba. Ezen belül kettő tenyészedény a szennyezett talajon kívül még plusz 2 cm vastagságnak megfelelő (egy 600 ml-es mérőpohárral mértük ki, 1 cm ~300 ml) vörös iszapot tartalmazott, kettő plusz 5 cm vastagságnak, utolsó kettő pedig 8 cm vastagságnak megfelelőt.

Az így bekevert talajmintákat elhelyeztük a tenyészedényekbe, majd megszámoztam, felíratoltam őket. A rövidítések a következők:



6. ábra: A tenyészedények előkészítése a dugványozáshoz (fotó: Kovács G., 2010)



7. ábra: A 15 db Mitscherlich-féle 8 literes tenyészedény (fotó: saját készítésű, 2011)

- A= Akác (*Robinia pseudoacacia*)
- F= Fehér fűz (*Salix alba*)
- Ny=AF2 nyár (*Populus x euramericana* AF-2)
- GyD=gyökérdugvány
- VKD= vékony, kis dugvány
- KöD=közepes dugvány
- VD=vastag dugvány.

Miután elkészültek a tenyészedények, akác (*Robinia pseudoacacia*), AF2 nyár (*Populus x euramericana* AF-2) és Fehér fűz (*Salix alba*) dugványokat ültettünk bele (8. ábra). Még aznap meg is öntöztem őket 300 ml desztillált vízzel (1 cm csapadékvíz ~10 ml), és azt tapasztaltam, hogy azokban a tenyészedényekben, amelyeknek a felszínén sok vörös iszap volt, a víz nem szivárgott át könnyen, egy darabig a felszínen maradt. Minden héten 300 ml desztillált vízzel öntöztem őket, és megbolygattam a talajfelszínt, hogy levegőhöz jusson. A további öntözések során nem tapasztaltam azt, amit az elsőnél, később mindegyik tenyészedény szépen elnyelte a vizet.

Az öntözésen és bolygatáson kívül figyeltem a fajok növekedését, a változásokat és feljegyeztem az észrevételeket. Az első héten vékony penészfőteg jelent meg mindegyik tenyészedény felszínén. Sókiválás is jelentős volt, ezt minden héten tapasztaltam, főleg a plusz vörös iszappal bekevert talajmintáknál volt erőteljesebb.

Decemberben megmértem a talaj nedvességtartalmát. Három mérést végeztem, ezeket átlagoltam, majd táblázatba foglaltam. Azt tapasztaltam, hogy az utolsó 6 db tenyészedény (amelyek a plusz vörös iszapot tartalmazták) alján víz maradt, ezeket összegyűjtöttem, lemértem a mennyiségüket, és megmértük a pH értéküket. Az eredményeket táblázatba foglaltam. Ezeknek a vízmintáknak a felszínén, mikroszkóp alatt, ugróvillásokat találtunk.



8. ábra: A kiválasztott dugványok (fotó: Kovács G., 2010)

Sajnos 2010. december 8-án felfedeztem, hogy az akác kivételével az összes fűz és nyár dugvány elszáradt. Így első kísérletem véget is ért. 2011. február 22-én újraültettem őket, a fűz és régi nyárok helyére új nyár dugvány került. A második kísérletem már sikeresebbnek mondható volt.

A tenyészedények szétbontás során két részre osztottam a talajmintákat: 0-10 cm és 10-20 cm-ig különválasztottam, majd zacskóba tettem őket. Így a 15 db tenyészedényből 30 db talajminta keletkezett.

A talajminták vizsgálatát 2011. szeptember 8-án kezdtük meg, Magyar Szabvány szerint, az NYME Termőhelyismerettani Intézeti Tanszék laboratóriumában. Minden mintánál a következő vizsgálatokat végeztük: talajkémhatás (pH H₂O, pH KCL), összes só %, CaCO₃ %, savanyúság (hy), kötöttség (KA), agyag %, iszap %, finomhomok %, durvahomok %, humusztartalom, T érték és kicserélhető Na tartalom. A vizes és savas pH mérését (egy napig állni kellett hagyni) elektrometriásan végeztük MSZ-08-0206/2-1987 szabvány szerint.

A növénymintákat is Magyar Szabvány szerint vizsgáltuk. Ennél a vizsgálatnál tápanyag-ellátottságot mértünk, és megnéztük a Na koncentrációját a levelekben.

6. A kapott eredmények értékelése

A következőkben ismertetem a talajminták és növényminták analízisét, és a kapott eredményeket. Ezen kívül bemutatom, hogy a tenyészedény kísérlet során milyen mértékben változott a fajok növekedése. Végül a kapott eredményeket értékelem.

6.1. A talajminták analízise

A tenyészedény vizsgálatok során 9 ismétlésben vizsgáltuk a talajt (12. táblázat). A talajokban a legfontosabb talajparamétereket vizsgáltuk. A kilenc minta kémhatásának átlaga 8,1 (vizes pH) volt, a minimum 8,0, a maximum 8,3, ami egy szűk pH-tartománynak is mondható. Ebben a tartományban a kémhatás alapján a vörös iszap ill. az azt kísérő lúg nem okozott növekedést a pH-ban. A 10-20 cm közötti mélységben a kémhatás átlaga 8,4, míg a tartomány 8,2-8,5 közötti. A pH-értékeknél az átlagot a H⁺-koncentráció alapján számoltuk, mivel a pH-val számtani átlagot képezni nem lehet.

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
ph H ₂ O	0-10 cm	9	8,1	0,1	0,0	8,0	8,2	8,0	8,3
	10-20 cm	9	8,4	0,1	0,0	8,3	8,5	8,2	8,5
	Total	18	8,3	0,2	0,0	8,2	8,3	8,0	8,5
összes-só %	0-10 cm	1	0,07	.	.	.	.	0,07	0,07
	10-20 cm	8	0,07	0,01	0,00	0,06	0,07	0,05	0,08
	Total	9	0,07	0,01	0,00	0,06	0,07	0,05	0,08
CaCO ₃ %	0-10 cm	9	16	1	0	16	17	14	17
	10-20 cm	9	15	2	1	13	17	11	18
	Total	18	16	2	0	15	16	11	18
hy %	0-10 cm	9	2,33	0,09	0,03	2,26	2,40	2,22	2,41
	10-20 cm	9	2,60	1,17	0,39	1,70	3,49	2,06	5,69
	Total	18	2,46	0,81	0,19	2,06	2,87	2,06	5,69
Arany-féle kötöttség	0-10 cm	9	50	1	0	50	51	50	53
	10-20 cm	9	50	1	0	49	51	49	53
	Total	18	50	1	0	50	51	49	53
T érték	0-10 cm	9	36,5	0,9	0,3	35,8	37,2	35,2	37,6
	10-20 cm	9	31,7	1,9	0,6	30,3	33,2	28,7	35,6
	Total	18	34,1	2,8	0,7	32,7	35,5	28,7	37,6
Kics. Na	0-10 cm	9	2,42	0,40	0,13	2,11	2,73	1,80	3,10
	10-20 cm	9	4,76	1,14	0,38	3,89	5,64	3,30	6,60
	Total	18	3,59	1,46	0,34	2,86	4,32	1,80	6,60
Na_százalék	0-10 cm	9	6,6	1,1	0,4	5,8	7,5	5,0	8,4
	10-20 cm	9	15,1	3,8	1,3	12,2	18,0	9,2	21,3
	Total	18	10,9	5,1	1,2	8,3	13,4	5,0	21,3

12. táblázat: A tenyészedény kísérlet talajmintáinak alapstatisztikái

Az egyes fajok hatása a talajtulajdonságokra, így a kémhatásra sem mutatható ki, mivel térben is időben még ezek a hatásmechanizmusok nem alakulhattak ki. A 13. táblázatban adjuk meg a vizsgálati eredményeket a fajok bontásában.

		cm									
		0-10 cm					10-20 cm				
		Mean	Range	Minimum	Maximum	Count	Mean	Range	Minimum	Maximum	Count
akác	ph H ₂ O	8,1	0,2	8	8,2	2	8,5	0,1	8,4	8,5	2
	összes-só %	.	.	.	.	2	0,08	0,01	0,07	0,08	2
	CaCO ₃ %	15	2	14	16	2	13	2	11	14	2
	Arany-féle kötöttség	50	0	50	50	2	50	1	49	50	2
	T érték	35,3	0,3	35,2	35,5	2	30,2	3,1	28,7	31,8	2
	Na-százalék	6,9	1	6,4	7,4	2	18,1	5,4	15,4	20,8	2
AF-2	ph H ₂ O	8,1	0,3	8	8,3	7	8,4	0,3	8,2	8,5	7
	összes-só %	0,07	0	0,07	0,07	7	0,06	0,02	0,05	0,07	7
	CaCO ₃ %	16	2	15	17	7	15	7	11	18	7

	Arany-féle kötöttség	50	3	50	53	7	50	3	50	53	7
	T érték	36,8	2	35,6	37,6	7	32,2	5,4	30,2	35,6	7
	Na-százalék	6,6	3,4	5	8,4	7	14,2	12,1	9,2	21,3	7

13. táblázat: A tenyészedény kísérlet talajmintáinak alapstatisztikája a növényzet szerint

A 14. táblázatban közöljük a variancia-analízis eredményeit. A pH-értékek F-értéke nagy, így szignifikáns különbség adódott a két mélység mintái között.

14. táblázat: Variancia-táblázat a talajvizsgáló eredmények alapján 0-10 cm és 10-20 cm-es rétegű talajminták vonatkozásában

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ph H2O	Between Groups	0,344	1	0,344	39,592	0
	Within Groups	0,139	16	0,009		
	Total	0,484	17			
összes-só %	Between Groups	0	1	0	0,205	0,665
	Within Groups	0,001	7	0		
	Total	0,001	8			
CaCO3 %	Between Groups	8,575	1	8,575	2,432	0,138
	Within Groups	56,416	16	3,526		
	Total	64,991	17			
hy %	Between Groups	0,324	1	0,324	0,473	0,501
	Within Groups	10,937	16	0,684		
	Total	11,261	17			
Arany-féle kötöttség	Between Groups	0,056	1	0,056	0,051	0,825
	Within Groups	17,556	16	1,097		
	Total	17,611	17			
T érték	Between Groups	101,081	1	101,081	45,928	0
	Within Groups	35,214	16	2,201		
	Total	136,295	17			
Kics. Na	Between Groups	24,712	1	24,712	33,967	0
	Within Groups	11,641	16	0,728		
	Total	36,353	17			
Na_százalék	Between Groups	322,179	1	322,179	40,83	0
	Within Groups	126,253	16	7,891		
	Total	448,432	17			

Az összes-sótartalom százalék a felső 0-10 cm-ben 0,07% és csupán egy talajmintában volt mérhető mennyiségben. A mélyebb, 10-20 cm közötti minták esetében már 8 talajmintában volt mérhető mennyiség, nagysága 0,05-0,08%. Ez a sótartalom természetesen előforduló talajok esetében gyenge szikességet mutat.

A talaj szénsavas mésztartalma átlagosan a felső 0-10 cm-ben 16% volt, alatta pedig 15%. A szórása is kicsi, a legkisebb szénsavas mésztartalom 11%, míg a legmagasabb 18%. A talajra gyakorolt hatásuk, valamint a növényekre gyakorolt növényélettani hatásuk is csupán kis mértékben térhet el egymástól. A variancia-analízis alapján szignifikáns különbség nem adódott, azonban a 10-20 cm-es mélységben nagyobb volt a szénsavas mész terjedelme.

A talajok fizikai tulajdonságait, a fizikai talajféleséget a higroszkópos nedvesség százalékkal (hy%) és az Arany-féle kötöttséggel vizsgáltuk. A hy% a felső 0-10 cm-ben 2,33%-ot, míg a 10-20 cm-es rétegben 2,60%-ot mutatott, ami részben magyarázható azzal is, hogy a vörös iszap leforgatásával nagyobb mennyiségű adszorbens került a talajba. A legkisebb érték 2,06%, ami alapján a talaj homokos vályog – vályog határán van, míg a legmagasabb érték 5,69%, ami már agyag fizikai féleségre utal. Ez a jelentős eltérés már magyarázható a vörös iszap nagyobb adszorpciós képességével.

A Mehlich-módszerrel meghatározott potenciális adszorpciós képesség a talajmintákban jó adszorpciót mutat. Abszolút értéke 28,7-37,6 1/z mmol/100 g talaj. Az egyes vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a feltalaj adszorpciós képessége szignifikánsan nagyobb, mint a 10-20 cm közötti talajréteg adszorpciós képessége, azonban hatásában a különbség nem kimutatható. A felső 0-10 cm magasabb adszorpciós képessége inkább a humusztartalomra vezethető vissza, miszerint a feltalajban legerősebb a mineralizáció és a szántás következtében ez a réteg került a mélyebb rétegbe. A humusztartalom méréseink hiányában azonban ezt csak feltételezhetjük.

A kicserélhető Na-tartalom a 0-10 cm-ben átlagosan 2,73 mmol/100 g 1,80-3,10 mmol/100 g közötti tartományban. 10-20 cm között az átlagérték mintegy kétszeres a felső 0-10 cm-es értéknek, nevezetesen 5,64 mmol/100 g-ra, 3,30 – 6,60 mmol/100 g közötti tartományban. A statisztikai vizsgálatok alapján egyértelmű szignifikáns különbség van a két mélység kicserélhető-Na-tartalma között, ami a vörös iszap jelenlétével magyarázható. Ugyanez az eset látható a T-érték százalékában kifejezett Na-tartalom esetén is. A felső szintben a kicserélhető Na-tartalom átlagosan 6,6%, 5,0 – 8,4% közötti tartományban, jelezvén a többlet-Na-jelenlétét a talajban. Vörös iszappal nem szennyezett talajok esetében ekkora Na-telítettségi százalék csak valamilyen formában a szikességgel rendelkező talajokon fordul elő. 10-20 cm között az átlagos százalék 15,1%, 9,2 – 21,3% közötti értékkel. A

maximális értékek már azt mutatják, hogy jelentős a kicserélhető Na-tartalom a talajban, hosszútávon a Na-ionok kedvezőtlen hatása megjelenne, ha a folyamatok nem lennének reverzibilisek. A statisztikai vizsgálatok is egyértelműen mutatják a szignifikáns eltérést a két mélység között a Na-telítettségi százalék vonatkozásában.

Tenyészedény kísérletünk második részében különböző iszaprétegek bekeverését és az így létrehozott homogenizált „talaj-vörösiszap” keverékbe ültettük növényeinket. Az eltérő mennyiség jelölésére a 2 cm, 5 cm és 8 cm vörös iszap réteg megnevezést használtuk, mivel ennek megfelelően történt a keverék létrehozása a vörös iszappal.

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
ph H2O	0-10 cm	6	8,8	0,2	0,1	8,6	9,0	8,5	9,0
	10-20 cm	6	9,0	0,2	0,1	8,8	9,2	8,7	9,2
	Total	12	8,9	0,2	0,1	8,8	9,0	8,5	9,2
összes-só %	0-10 cm	6	0,15	0,03	0,01	0,12	0,18	0,11	0,17
	10-20 cm	6	0,07	0,01	0,00	0,06	0,08	0,06	0,09
	Total	12	0,11	0,05	0,01	0,08	0,14	0,06	0,17
CaCO3 %	0-10 cm	6	17	2	1	15	19	15	20
	10-20 cm	6	17	2	1	15	19	14	19
	Total	12	17	2	0	16	18	14	20
hy %	0-10 cm	6	2,18	0,14	0,06	2,02	2,33	2,03	2,37
	10-20 cm	6	2,21	0,09	0,04	2,11	2,31	2,10	2,32
	Total	12	2,19	0,12	0,03	2,12	2,27	2,03	2,37
Arany-féle kötöttség	0-10 cm	6	54	3	1	50	57	50	57
	10-20 cm	6	53	3	1	50	55	50	56
	Total	12	53	3	1	51	55	50	57
T érték	0-10 cm	6	33,0	2,1	0,9	30,8	35,2	29,5	35,5
	10-20 cm	6	32,0	1,3	0,5	30,7	33,4	30,3	33,4
	Total	12	32,5	1,7	0,5	31,4	33,6	29,5	35,5
Kics. Na	0-10 cm	6	13,74	3,73	1,52	9,83	17,65	8,60	17,70
	10-20 cm	6	10,88	1,87	0,76	8,92	12,83	7,90	12,70
	Total	12	12,31	3,18	0,92	10,29	14,33	7,90	17,70
Na_ százalék	0-10 cm	6	42,2	13,0	5,3	28,5	55,8	24,8	54,4
	10-20 cm	6	34,1	6,8	2,8	27,0	41,2	23,8	41,9
	Total	12	38,1	10,7	3,1	31,3	45,0	23,8	54,4

15. táblázat: A különböző mennyiségű vörös iszap hatása a tenyészedények talajtulajdonságaira 240 napos öntözés után a felső 0-10 és 10-20 cm-es rétegek vonatkozásában

A vörös iszap térfogat százaléka kb. 2 g/cm^3 , a talajé 1 g/cm^3 . Ezáltal ki tudtuk számolni a különböző arányban bekevert vörös iszap tömegszázalékát. Úgy számoltuk ki, hogy a talaj kb. 89%, a vörös iszap kb. 11% volt. Az átlagos térfogattömeg a következőképpen számítható ki:

$$\frac{2,0g * 11\% + 1,0g * 89\%}{100} = 1,1$$

Ekkor megkaptuk azt az eredményt, hogy $1\text{g/cm}^3 \cdot r^2 \cdot \pi \cdot x_2 = 16\text{ g}$ a talaj mennyisége (ahol az x_2 a talajt), a vörös iszapé pedig $2\text{g/cm}^3 \cdot r^2 \cdot \pi \cdot x_1 = 4\text{ g}$ (ahol az x_1 a vörös iszapot jelöli). Így 2 cm vörös iszappal bekevert talajminta esetén 25 tömegszázaléknak, 5 cm esetén 33 tömegszázaléknak és 8 cm esetén 50 tömegszázaléknak felelt meg a vörös iszap tömegaránya.

A 15. táblázatban látható, hogy a folyamatos öntözés hatására a kémhatás átlagosan 8,8 (pH-vizes) az alatta található 9 pH-értékkel szemben. A vörös iszap hatása azonban mindkét mélységben látható, azonban a kilúgozás már érezteti hatását a pH-értékek alakulásában.

Az összes-sótartalom változása meglepő. A felső 0-10 cm-es réteg 0,15% összes só mennyisége kétszerese az alatta található 10-20 cm 0,07% sótartalmának. A sók a felső szintekben halmozódtak fel inkább, azaz az öntözés utáni nedvesedési-száradási folyamatokban meghatározó volt a vízdoldható sók felső szintek felé történő áramlása (9. ábra). Ezt láttuk a talajok felületén, amikor az öntözést követő napokban a száradás hatására jelentős sókivirágzás indult el (10. ábra).

A szénsavas mésztartalom átlagosan 16-17%, mennyisége nem nagyon változik. Ez a változás is az eredeti talajbeli különbségek alapján már fennállhatott. Szignifikáns különbséget ugyancsak nem mutatnak.



9. ábra: Só-kiválás a felszínen (15. számú tenyészedényben, fotó: saját készítésű, 2010)



10. ábra: Sókivirágzás mikroszkóp alatt (fotó: Kovács G., 2010)

A $h_y\%$ értékek statisztikája alapján 95%-os valószínűséggel nem, de 90%-os valószínűséggel mondható különbség az eltérő mennyiségű vörös iszapos talajok között. Hasonló eredményeket mutat az Arany-féle kötöttség is. Ezzel ellentétben azonban a 17. táblázat alapján, a T-érték, a kicserélhető-Na-tartalom valamint a Na-telítettségi százalék alapján is van szignifikáns különbség az egyes kezelések között. Azt, hogy melyik kezelések között van szignifikáns eltérés a Duncan-tesztel vizsgáltuk. A 7. táblázatban a 2 cm-es vörös iszapos kezelés szignifikánsan kisebb pH-értékeket mutatott a 8,7-es pH-értékkel, mint az 5 cm-es, vagy 8 cm vastag kezelés. A pH-érték mindkét esetben átlagosan 9,0 volt.

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
ph H2O	2 cm vörös iszap	4	8,7	0,1	0,1	8,5	8,9	8,5	8,8
	5 cm vörös iszap	4	9,0	0,1	0,1	8,8	9,2	8,9	9,2
	8 cm vörös iszap	4	9,0	0,1	0,0	8,9	9,1	9,0	9,1
	Total	12	8,9	0,2	0,1	8,8	9,0	8,5	9,2
összes-só %	2 cm vörös iszap	4	0,09	0,03	0,01	0,05	0,14	0,06	0,12
	5 cm vörös iszap	4	0,11	0,06	0,03	0,02	0,20	0,06	0,17
	8 cm vörös iszap	4	0,12	0,06	0,03	0,03	0,22	0,07	0,17
	Total	12	0,11	0,05	0,01	0,08	0,14	0,06	0,17
CaCO3 %	2 cm vörös iszap	4	18	2	1	15	20	16	20
	5 cm vörös iszap	4	16	1	0	15	17	15	17
	8 cm vörös iszap	4	17	2	1	14	20	14	19
	Total	12	17	2	0	16	18	14	20
hy %	2 cm vörös iszap	4	2,26	0,13	0,07	2,05	2,47	2,06	2,33
	5 cm vörös iszap	4	2,23	0,09	0,05	2,08	2,37	2,17	2,37
	8 cm vörös iszap	4	2,09	0,05	0,03	2,01	2,17	2,03	2,15
	Total	12	2,19	0,12	0,03	2,12	2,27	2,03	2,37
Arany-féle kötöttség	2 cm vörös iszap	4	52	2	1	48	55	50	55
	5 cm vörös iszap	4	52	3	1	48	57	50	56
	8 cm vörös iszap	4	56	2	1	53	58	54	57
	Total	12	53	3	1	51	55	50	57
T érték	2 cm vörös iszap	4	34,0	1,2	0,6	32,1	36,0	32,7	35,5
	5 cm vörös iszap	4	32,6	1,2	0,6	30,6	34,5	30,8	33,4
	8 cm vörös iszap	4	31,0	1,3	0,7	28,8	33,1	29,5	32,5
	Total	12	32,5	1,7	0,5	31,4	33,6	29,5	35,5
Kics. Na	2 cm vörös iszap	4	8,95	0,88	0,44	7,54	10,35	7,90	10,00
	5 cm vörös iszap	4	13,37	2,46	1,23	9,45	17,28	11,30	16,80
	8 cm vörös iszap	4	14,61	2,59	1,30	10,48	18,74	12,20	17,70
	Total	12	12,31	3,18	0,92	10,29	14,33	7,90	17,70
Na_százalék	2 cm vörös iszap	4	26,3	2,3	1,2	22,6	30,0	23,8	28,4

	5 cm vörös iszap	4	41,0	6,7	3,4	30,3	51,6	35,3	50,1
	8 cm vörös iszap	4	47,2	8,1	4,0	34,3	60,0	38,7	54,4
	Total	12	38,1	10,7	3,1	31,3	45,0	23,8	54,4

16. táblázat: A különböző mennyiségű vörös iszap hatása a talajtulajdonságokra

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ph H2O	Between Groups	0,305	2	0,153	11,935	0,003
	Within Groups	0,115	9	0,013		
	Total	0,42	11			
összes-só %	Between Groups	0,002	2	0,001	0,31	0,741
	Within Groups	0,022	9	0,002		
	Total	0,024	11			
CaCO3 %	Between Groups	6,052	2	3,026	1,307	0,317
	Within Groups	20,834	9	2,315		
	Total	26,886	11			
hy %	Between Groups	0,065	2	0,032	3,325	0,083
	Within Groups	0,087	9	0,01		
	Total	0,152	11			
Arany-féle kötöttség	Between Groups	43,167	2	21,583	4,068	0,055
	Within Groups	47,75	9	5,306		
	Total	90,917	11			
T érték	Between Groups	18,697	2	9,348	5,817	0,024
	Within Groups	14,463	9	1,607		
	Total	33,16	11			
Kics. Na	Between Groups	70,844	2	35,422	7,837	0,011
	Within Groups	40,676	9	4,52		
	Total	111,52	11			
Na_százalék	Between Groups	920,716	2	460,358	11,94	0,003
	Within Groups	347	9	38,556		
	Total	1267,716	11			

17. táblázat: A különböző mennyiségű vörös iszap hatásának statisztikája a talajtulajdonságok alapján

kezelés	N	Subset for alpha = .1	
		1,0	2,0
2 cm vörös iszap	4	8,7	
5 cm vörös iszap	4		9,0
8 cm vörös iszap	4		9,0
Sig.		1,0	0,8

18. táblázat: Duncan-teszt a pH-értékek vizsgálatára

Az összes-só és a szénsavas mésztartalom vonatkozásában nem adódott szignifikáns eltérés. Határozott elkülönülést csak a Na-tartalom és a Na-telítettség százaléka hozott.

Kezelés	N	Subset for alpha = .1	
		1	2
2 cm vörös iszap	4	8,95	
5 cm vörös iszap	4		13,37
8 cm vörös iszap	4		14,61
Sig.		1,00	0,43

19. táblázat: Duncan-teszt a kicserélhető-Na-tartalom vizsgálatára

A pH-val igen jól korrelálva hasonló eredményeket hozott a kicserélhető Na-tartalom is. A legkevesebb mennyiségű vörös iszap mellett átlagosan 8,95 mmol/100 g volt a Na mennyisége, míg az 5 cm-es kezelés esetén 13,4 mmol/100 g, és a 8 cm-es kezelés esetén 14,6 mmol/100g.

Kezelés	N	Subset for alpha = .1	
		1	2
2 cm vörös iszap	4	26,3	
5 cm vörös iszap	4		41,0
8 cm vörös iszap	4		47,2
Sig.		1,0	0,2

20. táblázat: Duncan-teszt a Na-telítettségi százalék vizsgálatára

A kicserélhető-Na-százalék a 2 cm-es vastagságnál 26,3% nátrium-telítettséget mutatott, míg az 5 cm-es kezelésnél már 41%-ot és a 8 cm-es kezelésnél pedig 47,2%-ot. Ezek az értékek az erősen szikes talajokra jellemzőek, amelyet a pH is jelez. A kísérlet során az tapasztalható, hogy a talajtípus megváltozott, a tenyészedényben lévő talajok elszikesedtek.

A szikesek fásításának helyes megtervezése és végrehajtása során figyelembe kell venni a talajok tulajdonságait és a fák ökológiai igényét. Ahol a szikesség alapvető oka a talajokban található nagy sótartalom, mindenekelőtt sótűrő fás növényzet telepítésére törekednek. A szikes talajok erdészeti hasznosításával kapcsolatban jóval kevesebb ismeret és tapasztalat áll rendelkezésre, mint a mezőgazdasági hasznosítást illetően. (TÓTH, 1972)

6.2. A növényminták analízis

A 21. táblázatban a növényminták eredményeit tüntettük fel. A makrotápelemek közül vizsgáltuk a nitrogént, foszfort és a káliumot, a mezoelemek közül a kalciumot és a magnéziumot, míg a nyomelemből a vas-, mangán-, réz-, cinktartalom meghatározására került sor. A nátriumtartalom volt vizsgálatunk fő tárgya, miszerint a vörös iszappal szennyezett talajokból a növény mennyi nátriumot épített be a sejtjeibe, és ez hogyan befolyásolta a többi tápelem felvételét, jelentkezhetett-e ennek következtében tápelem-ellátottsági zavar.

Helység	N%	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Na mg/kg
optimális ellátottság (Ulrich 1990/91,	3,5	18	5-10	4-7	1-2	50-500	50-500	5-12	13-50	-

Lyr et al.)										
Devecser Akác leforgatott átlag	-	18,3	27,8	10,6	2,4	379	171	8,9	45,9	462
Nyár leforgatott átlag	-	23,8	43,5	6,7	2,8	245	123	18,8	122,7	1 071
Akác+2cm vői	-	-	20,9	14,6	3,1	388	201	6,7	31,1	392
Akác +5 cm vői	-	-	28,9	15,0	4,1	642	122	9,1	33,6	1 987
Akác +8cm vői	-	-	40,5	6,4	3,2	355	79	11,6	52,0	983
Devecser1	3,20	3,3	8,3	9,3	4,1	208	91	9,9	25,8	299
Devecser 2	0,99	4,7	4,0	8,2	4,3	319	156	13,2	23,0	219

21. táblázat: A növényminták tápelem-tartalmi értékei tenyészedény kísérletben

Mivel nem volt elegendő mintánk valamennyi tápelem meghatározására, ezért valamennyi tápelemet nem tudtunk megmérni minden minta esetében. Az elmaradt elemzés a nitrogénre, ill. foszforra vonatkozott.

Általánosan megállapítható azonban, hogy a szakirodalomban közölt irodalmi határértékekhez viszonyítva a minták tápelem-tartalma mind az akác, mind pedig a nemes nyár esetében az optimális szintet elérte.

A foszfor esetében a nyárok tartalmaztak kicsit több foszfort, 23,8 g/kg-ot, szemben az akáccal, amelyben 18,3 g/kg volt a foszfor mennyisége. A káliumellátottság ugyancsak optimálisnak nevezhető, mivel a határértéket jelentő 5-10 g/kg-os értéket messze meghaladóan 43,5 g/kg-ot ill. 27,8 g/kg-ot mértünk a nyárok ill. az akác esetében. A magnézium-ellátottság ugyancsak optimálisnak tekinthető, 2,8 és 2,4 g/kg-os értékkel az optimálisnak tartott 1-2 g/kg-hoz képest. Mindkét növényfajnál az optimális ellátottsági értékeket mutatták a növényminták eredményei.

A rézre ugyancsak elmondható, hogy az optimális ellátottságot elérte a réztartalom, azonban a nyárokban található réz mennyisége 18,8 mg/kg-os koncentrációt, míg az akác esetén 8,9 mg/kg-os koncentrációt ért el. Hasonló mondható el a cinktartalomról is, miszerint az optimális határértéket a nyárok cinktartalma jóval meg is haladta, értéke 122,7 mg/kg volt, míg az akác esetén az optimális tartományba esett a mennyisége.

A nátrium nem tartozik a szorosan vett növényi tápelemek közé, azonban a vörös iszap nagy nátrium-telítettsége miatt érdemes vizsgálni, hogy a növények mennyire képesek diszkriminálni a nátrium felvételét egy ilyen közegből. A két faj közötti különbség jelentős, annak ellenére, hogy mindkét faj jelentős mértékben halmozta fel a nátriumot. Az akácnál

462 mg/kg-os koncentrációt mértünk, míg a nyárok esetén ez az érték 1071 mg/kg. A nyárok ebben a tekintetben hasonlóan viselkednek, mint a nehézfémek esetén, ahol az egyes kutatások szerint más fafajokhoz vagy növényfajokhoz képes lényegesen nagyobb mennyiséget tudnak felvenni anélkül, hogy az élettani folyamataikat az hátrányosan befolyásolná. Ezért is javasolják a nyárat többek között a bioremediáció egyik jól alkalmazható eszközének (VOLKHARD, 2005).

A káliumtartalomban van jelentős különbség, nevezetesen a legnagyobb kezelést kapott tenyészvényekben kaptuk a legnagyobb tartalmat 40,5 g/kg értékkel. A kalcium ezzel szemben itt volt a legalacsonyabb, a 15,0 g/kg-mal szemben csak 6,4 g/kg-ot mutatott, azonban ez is még az optimális ellátottsági szinten belül mozgott. A kálium-kalcium ionantagonizmusát azonban a mérési eredmények jól mutatják. A magnézium esetén nincs látható különbség a vizsgálati eredmények között. A nyomelemek mennyisége nem mutat tendenciát, a kezeléseket figyelembe véve. Eltérő a vas-, mangán-, réz-, és cink mennyisége, azonban az optimális ellátottsági szinthez tartoznak.

A nátriumtartalomban azonban van jelentős különbség az egyes növéyminták között. Míg a 2 cm-es vastagságú vörös iszapos mintában a nátriumtartalom 392 mg/kg, addig a növekvő vörös iszap mennyiséggel 1987 mg/kg-ra, ill. 983 mg/kg-ra emelkedik. Végeredményben azonban ez a koncentráció sem okoz mérgezési tüneteket az akácnál. A nátrium mennyisége 1-2 %, eléri a makroelemekre vonatkozó értékeket.

Tudósok felfedezték, hogy a Na kis mennyiségben nélkülözhetetlen a növények számára. A sejt kiválasztja a nátriumot, enzimaktiváló, vízháztartásban van fontos szerepe és szabályozó szerepet is betölt. Egyes növényeknél a Na felvétele nagyon eltérő lehet, mint ahogy a nátrium többletének hatása is. (WWW.KERTESZEKARUHAZA.COM)

A Devecser 1-, és 2 minták a vörös iszappal szennyezett területen, de attól megtisztított talajon nőtt nyákról származnak. Ami feltűnő, hogy a humuszos feltalaj elhordása következtében a növényekben jóval kisebb a foszfor- és a káliumtartalom, mint a vörös iszappal szennyezett mintákban. A foszfor 3,3-4,7 g/kg értéke jóval alatta marad az optimális ellátottságnak. Hasonló látható a kálium esetében is, ahol a minták káliumtartalma 4,0-8,3 g/kg közötti, ami már latens hiányt is mutat.

Ugyanakkor jól látszik, hogy a nátriumtartalom is jóval alacsonyabb, csupán 219-299 mg/kg, mint a vörös iszappal szennyezett növényeknél, ahol a nyár esetén a nátrium 1071 mg/kg-ot mutatott.

6.3. Az elültetett fafajok növekedése

2010. november 15-én ültettük el a fafajokat az elkészített tenyészedényekbe, innentől kezdve figyeltem heti rendszerességgel a fafajok növekedési ütemét (megmértem a levelek hosszát és a fafajok magasságát), ezen kívül feljegyeztem, ha bármiféle változást láttam rajtuk. Ebben az évben november 16-ától kezdve mindegyik tenyészedényt 300 ml (1 cm csapadékmennyiség~10 ml→ kb. 30 cm víz) desztillált vízzel öntöztem meg.

Az első hét elteltével vékony penészszerűt fedeztem fel a legtöbb tenyészedény felszínén, és mindegyikben megjelentek a sókristályok. Először a nyár és a fűz dugványok indultak meg, az akácokra kis időt várni kellett.

A dugványok heti növekedését átlagoltam tenyészedényenként, mivel egy tenyészedényben 5 dugvány volt. Erről táblázatot és diagramokat készítettem fafajonként, amik a következőképpen alakultak:

Akác (<i>Robinia pseudoacacia</i>) növekedése								
tenyészedény	2010.11.23	2010.11.30	2010.12.08	2010.12.16	2011.01.04	2011.01.19	2011.02.01	2011.02.08
1. számú	0,00	0,00	0,00	12,00	60,00	75,00	84,00	86,10
2. számú	0,00	0,00	6,30	34,00	50,00	65,00	80,00	81,50
10. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12. számú	0,00	0,00	0,00	5,50	18,00	27,00	33,20	42,33
14. számú	0,00	0,00	0,00	6,17	45,00	60,00	63,50	64,10

magasság (cm)

22. táblázat: Az akác növekedési üteme (1. kísérlet)

Fehér fűz (<i>Salix alba</i>) növekedése								
tenyészedény	2010.11.23	2010.11.30	2010.12.08	2010.12.16	2011.01.04	2011.01.19	2011.02.01	2011.02.08
3. számú	0,00	1,00	3,20	4,00	2,50	2,50	0,00	0,00
4. számú	0,50	3,00	9,10	16,00	14,10	14,10	0,00	0,00
5. számú	0,00	2,00	3,80	4,60	3,00	3,00	0,00	0,00
6. számú	0,00	5,00	5,98	13,00	10,00	10,00	0,00	0,00
7. számú	0,20	4,00	4,80	6,00	4,60	4,60	0,00	0,00
8. számú	0,00	3,00	4,58	7,00	4,30	4,30	0,00	0,00
9. számú	0,00	3,00	5,30	7,80	5,00	5,00	0,00	0,00
11. számú	0,40	5,00	6,14	8,20	5,00	5,00	0,00	0,00
13. számú	0,00	0,00	0,40	4,80	11,00	11,00	0,00	0,00
15. számú	0,20	6,40	13,00	14,30	15,00	15,00	0,00	0,00

magasság (cm)

23. táblázat: A fehér fűz növekedési üteme (1. kísérlet)

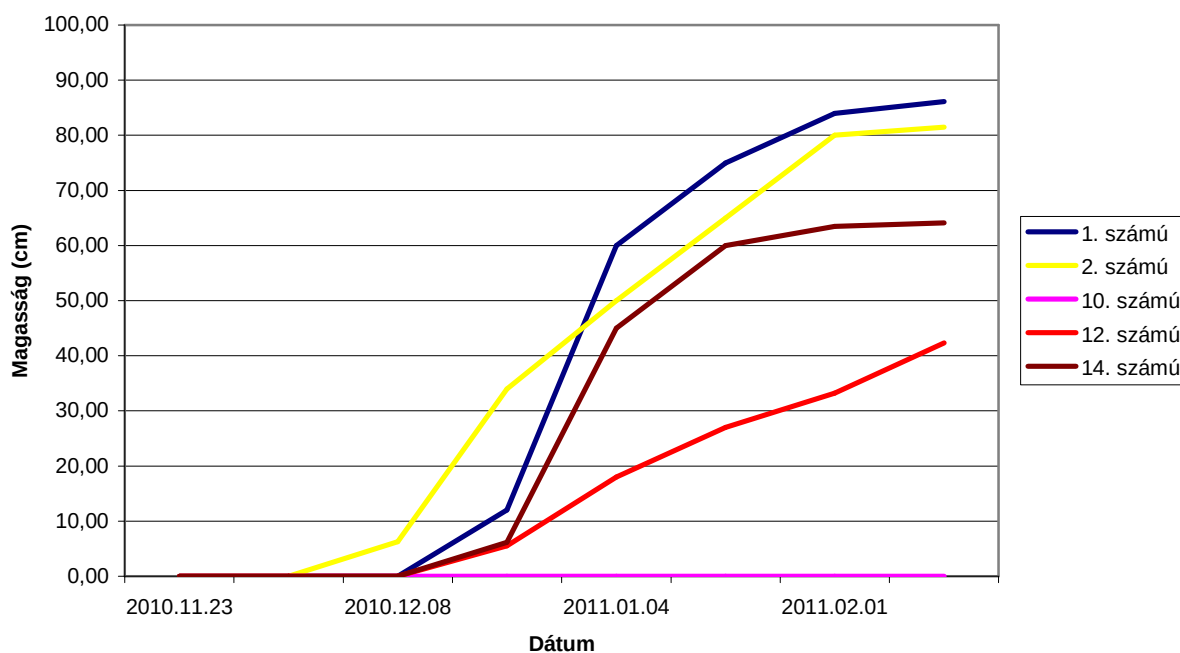
AF2 nyár (<i>Populus x euramericana</i> AF-2) növekedése								
tenyészedény	2010.11.23	2010.11.30	2010.12.08	2010.12.16	2011.01.04	2011.01.19	2011.02.01	2011.02.08
3. számú	0,50	5,00	10,20	11,30	11,30	11,00	0,00	0,00
4. számú	0,00	0,00	3,50	9,30	9,30	9,00	4,00	5,00
5. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,80
7. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8. szám	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9. számú	0,00	0,30	13,70	17,60	17,60	17,00	0,00	0,00
11. számú	0,20	5,00	21,60	22,00	10,00	10,00	0,00	0,00
13. számú	0,30	3,00	16,70	19,20	20,00	20,00	0,00	0,00
15. számú	0,00	0,00	6,90	15,80	15,00	15,00	0,00	0,00

magasság (cm)

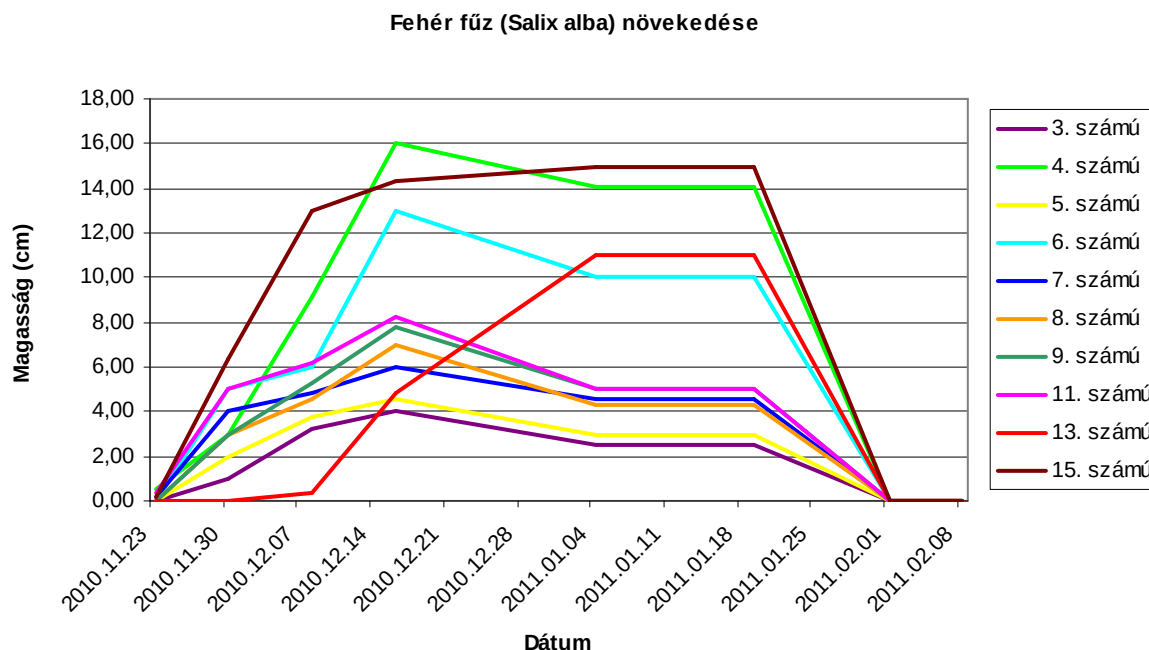
24. táblázat: Az AF2 nyár növekedési üteme (1. kísérlet)

Az első kísérletem 2011. február 8-ig tartott, mivel január közepén kezdtek elszáradni, míg végül a fehér fűz teljesen elpusztult, a nyár dugványok nagy része is erre sorsa jutott, a 10. számú tenyészedényben lévő akác pedig még mindig nem akart megindulni. Ezért került sor egy második kísérletre, ekkor már csak nyár és akác dugványokkal folytattuk. Az első kísérlet fafajainak növekedési ütemét a 11-es, 12-es és 13-as ábra szemlélteti:

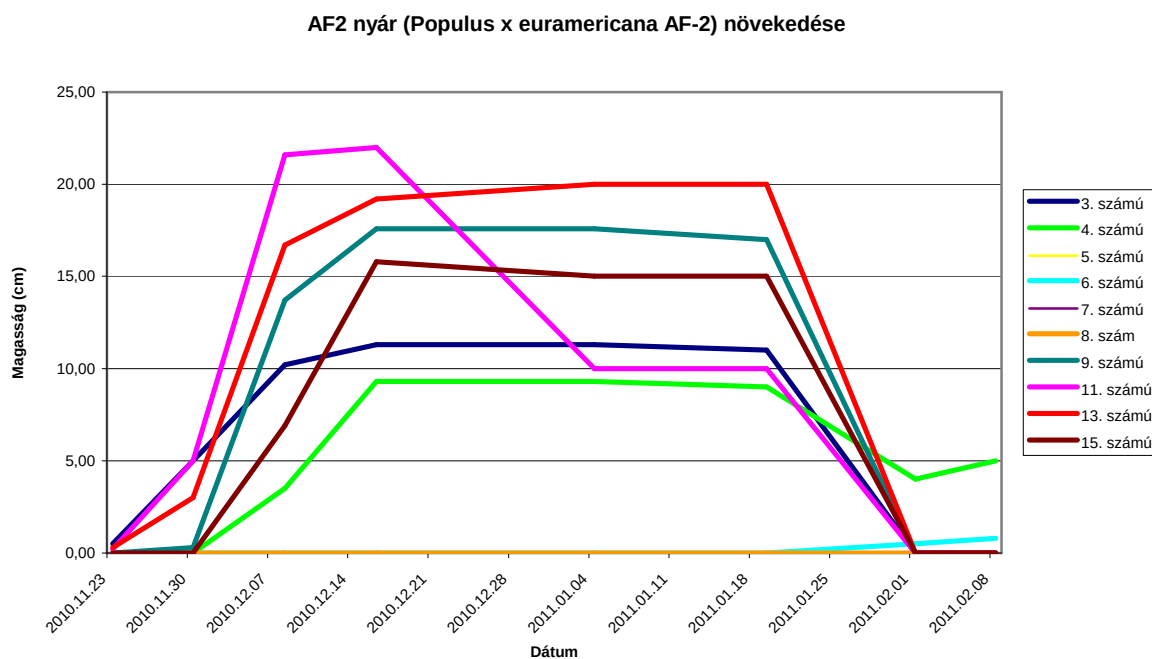
Akác (*Robinia pseudoacacia*) növekedése



11. ábra: Az akác növekedési üteme (1. kísérlet)



12. ábra: A fehér fűz növekedési üteme (1. kísérlet)



13. ábra: A nyár növekedési üteme (1. kísérlet)

2011. február 1-jén megmértük a tenyészedényekben lévő talaj nedvességtartalmát. Egy tenyészedényben három mérést végeztünk, majd a kapott értékeket átlagoltuk. Felfedeztük, hogy a plusz vörös iszappal bekevert edények alján (10. számútól-15. számúig) víz maradt, amiből vízmintákat készítettünk. Először megmértük a mennyiségüket, majd 10 ml-t kimértünk, és egy műanyag flakonba tettük. Ezeknek a mintáknak megmértük a pH értékét. Mikroszkóp alatt megvizsgálva a vízmintákat, kis élőlényeket (ugróvillásokat,

collembola-kat) fedeztünk fel (14. ábra). A mérési eredményeket az alábbi táblázatok szemléltetik:

Nedvességtartalom mérése %-ban (2011.02.01)				
tenyészedény	1. mérés	2. mérés	3. mérés	átlag
1. számú	63	57	66	62
2. számú	67	68	62	66
3. számú	68	66	66	67
4. számú	62	54	70	62
5. számú	64	51	65	60
6. számú	68	76	66	70
7. számú	61	63	59	61
8. számú	66	67	62	65
9. számú	61	58	60	60
10. számú	59	70	80	70
11. számú	71	50	69	63
12. számú	58	55	68	60
13. számú	71	87	74	77
14. számú	67	65	50	61
15. számú	68	30	31	43

Vízminták és pH értékük (2011.02.01)		
tenyészedény	vízmenyiség (ml)	pH értéke
10. számú	205	8,4
11. számú	145	8,6
12. számú	520	8,3
13. számú	275	8,3
14. számú	590	8,3
15. számú	620	8,0

26. táblázat: A megmért víz mennyisége, és a vízminták pH értéke



14. ábra: Élőlények a vízmintában, mikroszkóp alatt (fotó: Kovács G., 2011)

A második kísérlet megkezdésénél (2011. február) talajmintákat vettünk, hogy megmérhessük a talaj kémhatását, az azonos „kezelésű” és azonos fafajjal beültetett talajokat összekevertük, majd analizáltuk.

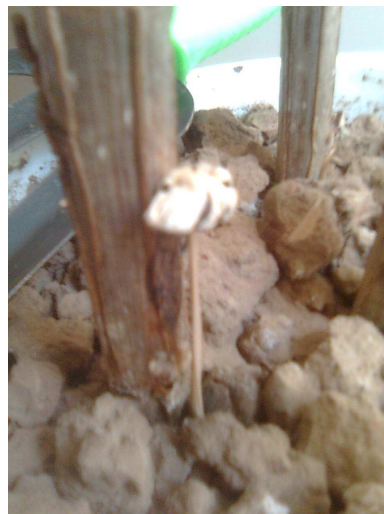
Az elkövetkező időszakban is nagyon száraz volt a talaj, kirepedezett (mint a szikes talajok) a felszíne.

Márciusban felfedeztem, hogy egy-két nyárnak a levele besárgult, és a levél formája is megváltozott. Volt olyan is, ahol még zölden (látszólag épen és egészségesen) lehullottak a

levelek. A hónap végén örömmel vettem észre, hogy a 10. számú tenyészedényben az akác megindult, pedig már nem fűztünk hozzá reményt, hogy növekedni fog. Április elején az elszáradt akácokat metszőollóval visszavágtam. A talaj felszínén ismét sókiválás volt tapasztalható, ezen kívül az elszáradt, lehullott levelek bepenészesedtek. A nyárák úgy tűntek,

nem fogják sokáig bírni, egyre több száradt el, és a leveleik is fodrosodtak. A hónap végén észrevettem, hogy a nyárok levelei (ami még nem potyogott le) és a kéreg is megfeketedett.

Június elején több tenyészedényben egyfajta gombát véltem felfedezni (15. ábra). Június 7-én szétbontottam a tenyészedényeket. Azokat a tenyészedényeket is szétszedtem, amiben még egészséges volt az akác. A kísérletet egyedül három akác élte túl. A fafajok elpusztulásáról táblázatot készítettem. (A második kísérlet fafajainak növekedési ütemét szemléltető táblázatok és diagramok a mellékletben megtalálhatók.)



15. ábra: Gomba nőtt a tenyészedényekben (saját fotó)

Fafajok elpusztulása					
Faj	Ültetés napja	Növekedés megállt	Elpusztult	Élethossz [nap]	Max. magasság [cm]
1. Akác	2010.11.15	2011.02.22	2011.03.01	106	86,10
2. Akác	2010.11.15	-	2011.06.24*	221	81,50
3. Nyár	2011.02.22.	2011.04.12	2011.04.28	65	9,90
4. Nyár	2011.02.22.	2011.04.05	2011.04.12	49	9,00
5. Nyár	2011.02.22	2011.04.12	2011.05.17	84	11,05
6. Nyár	2011.02.22	2011.03.22	2011.05.17	84	12,23
7. Nyár	2011.02.22	2011.03.22	2011.05.17	84	6,80
8. Nyár	2011.02.22	2011.04.28	2011.05.17	84	9,46
9. Nyár	2011.02.22	2011.04.28	2011.05.17	84	9,21
10. Akác	2010.11.15	-	2011.06.24*	221	46,90
12. Akác	2010.11.15	-	2011.06.24*	221	42,33
14. Akác	2010.11.15	2011.02.08	2011.02.22	99	64,10
11. Nyár	2011.02.22	2011.03.22	2011.04.05	42	10,23
13. Nyár	2011.02.22	2011.03.22	2011.04.28	65	6,33
15. Nyár	2011.02.22	2011.04.05	2011.04.28	65	9,33

27. táblázat: A fafajok elpusztulása (Megjegyzés: A * -gal megjelölt dátumok a tenyészedények szétbontásának napját mutatják, a növények tovább éltek volna.)

7. Következtetések és javaslatok

A talajvizsgálati eredményekből a következők állapíthatók meg:

- a vörös iszap hatása a szántás szimulálásával kimutatható. Szignifikáns különbség adódott a pH-értékekben, a kicserélhető-Na-tartalom valamint Na-

telítettségi százalék között. Az alsó 10-20 cm értékei voltak a magasabbak (ahol a vörös iszap nagyobb mennyiségben volt jelen).

- laboratóriumi körülmények között a sókiválás a felszín közelében jelentkezett, a sók távozásának, kimosódásának a feltétele a kilúgozási vízháztartás. A felszíni sókiválás a laboratóriumi körülményeknek köszönhető (magas hőmérséklet, alacsony páratartalom, megnövekedett párolgás).
- Mind a felső 0-10 cm-ben, mind pedig a 10-20 cm-ben a vörös iszap hatása kimutatható volt, még ha eltérő mértékben is.
- a különböző mennyiségben bekevert vörös iszap 2 cm esetén 25 tömegszázaléknak, 5 cm esetén 33 tömegszázaléknak és 8 cm esetén 50 tömegszázaléknak felelt meg. Az egyes kezelések közötti különbségek a pH-, kicserélhető Na-, és kicserélhető-kationok százalékában megadott értékek szignifikánsan eltértek egymástól, leginkább a 2 cm-es vastagságú vörös iszap bekeverés volt szignifikánsan kisebb.
- A talajok szénsavas mésztartalmára, fizikai tulajdonságokat mutató értékekre a kezeléseknek nem volt alapvető hatásuk.
- a talajok tulajdonságai a szikes talajok tulajdonságait hordozzák bizonyos mértékben, mivel reverzibilis folyamatokról van szó, ezért kérdés és a továbbiakban vizsgálándó, hogy ez a kedvezőtlen talajtulajdonság meddig tart.

A növényvizsgálati eredményekből a következők állapíthatók meg:

- a három fafaj közül az akác még a legnagyobb, 50 tömegszázalékos szennyezés mellett sem mutatott növekedés-gátló tüneteket laboratóriumi körülmények között, heti 10 mm csapadék mellett.
- a fűzek és a nyárok mintegy 220 nap után elpusztultak.
- a növényminták tápelem-ellátottsága valamennyi tenyészedenyből származó mintánál kielégítő volt, ami azt mutatta, hogy a tápanyag-ellátottsággal összefüggő növekedésük kezdetben a vörös iszap jelenléte mellett is zavartalan volt.

- a nemes nyár jóval nagyobb mértékben akkumulálta a számára nem releváns nátriumot, mint az akác.
- a rekultivált területen üzemi méretekben létrehozott ültetvény tápelem vizsgálati elsőnek azt mutatják, hogy a szennyezett humuszos feltalaj elhordása után legalább is a makrotápelemek vonatkozásában tápelem hiánnyal számolhatunk.

A növények növekedési üteméből a következők állapíthatók meg:

- a fehér fűz (*Salix alba*) kevésbé bírta a kísérlet kimenetelét, mint a többi fafaj. Ez pusztult ki a legelőször, ezért ezt a fafajt nem ajánlanám a vörös iszapos területek fásítására.
- Az AF2 nemes nyár (*Populus x euramericana AF-2*) már jóval tovább élt, mint a fűz, ennek ellenére tapasztaltam elváltozásokat a fafaj növekedése során (levelek színe, és formája, a fakéreg megfeketedett, ahol vörös iszappal érintkezett).
- A kísérlet során telepített fafajok közül egyértelműen az akác (*Robinia pseudoacacia*) telepítése javasolható a vörös iszap által szennyezett területeken. Ez a fafaj számított a három közül a legszívósabbnak.
- a növények növekedés menete egyben mutatja a három fafaj szikes tulajdonságokat hordozó talajokkal szembeni alkalmazkodóképességet is.

8. Összefoglalás

Dolgozatomban a vörös iszap hatását vizsgáltam tenyészvényekben, szakirodalom és egyszerű adatelemző módszerek segítségével. 15 db tenyészvényben vizsgáltunk három fafaj –akác (*Robinia pseudoacacia*), fehér fűz (*Salix alba*) és AF2 nyár (*Populus x earamericana AF-2*)– növekedésének heti ütemét, az elszáradt levelek és a vörös iszapos talaj– „kezelt és kezeletlen” talajminták– analízisét. Az elemzés során azt vizsgáltuk, hogy a vörös iszap milyen hatással van a talajra és a növényzetre.

A talajminták analízise során kimutatható volt, hogy ahol vörös iszap volt a talajban, a talaj kémhatása szignifikánsan eltért a szennyezetlen talajrétegtől, ezen kívül magas volt a

kicserélhető Na-tartalom és Na-telítettségi százalék. A talaj felszínén erőteljes sókiválást tapasztaltunk, aminek a feltétele a felfelé áramló párolgás volt. A vörös iszappal szennyezett talaj gyorsan kiszáradt, részben elszikesedett talajtulajdonságokat vett föl.

A növényminták analízise során kiderült, hogy az elültetett fafajok közül az akác növekedett jól, a fűzek és a nemes nyárok egy idő után elpusztultak. A növényminták tápelem-ellátottsága kielégítő volt, valamennyi mintánál. A kísérlet során elmondható, hogy a szennyezett humuszos feltalaj elhordása után a makrotápelemek vonatkozásában tápelem hiánnyal számolhatunk majd.

A növények növekedési ütemét figyelve arra következtettünk, hogy a vörös iszapos területek fásítására az akác lenne a legalkalmasabb. Ez a fafaj élt a legtovább, a fűz pusztult ki legelőször, majd őt követte a nemes nyár.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani azért, hogy ez a szakdolgozat megszülethetett, dr. Kovács Gábor egyetemi docensnek, Varga Zsófia laboránsnak és munkatársainak a vizsgálatokért, és Toronyay Péter Áron erdőmérnök hallgatónak, hogy segített összeállítani a tenyészedényeket.

Irodalmi jegyzék

- BARTHA, D. (2000): Növényrendszertan I. Dendrológia. Mezőgazda Kiadó, Sopron. 202. o, 244. o, 264. o.
- BORÓKAINÉ, V. É. (2010): Kormányrendeletek. Magyar Közlöny, Budapest. 155. szám, 23308
- DÖMSÖDI, J. (1984): Talajjavítási útmutató. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 5. o, 25. o., 30. o., 32. o., 60. o.
- FEKETE, Z.- HARGITAI, L.- ZSOLDOS, L. (1967): Talajtan és agrokémia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 33. o., 117. o.
- GENCSI, L. (1990): Erdészeti és faipari tudományos közlemények Erdészet-Faipari-Geodézia. Mezőgazdasági Kiadó, Szeged. 1989. év 2. sz., 59-60. o., 63-68. o., 75-76. o.
- KERESZTESI, B. (1984): Az akác. Akadémiai Kiadó, Budapest. 9. o., 15. o.
- LYR, H.- FIEDLER, H.J.-TRANQUILLINI, W. (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.
- RUUTERS, S.-MERTENS, J.- VASSILIEVA, E.- DEHANDSCHUTTER, B.- POFFIJN, A.- SMOLDERS, E. (2010): The Red Mud Accident in Ajka (Hungary) Plant Toxicity and Trace Metal Bioavailability in Red Mud Contaminated Soil. Environmental Science & Technology (Article). 2.o.
- STEFANOVITS, P.- FILEP, GY.- FÜLEKY, GY. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 279-282. o., 287-293. o., 301-303. o., 308-309. o., 424-426.o., 439.o., 441. o.
- TÓTH, B. ET ALL (1972): Szikesek fásítása, Szikes fásítási kutatás és gyakorlat Magyarországon. Akadémiai Kiadó, Budapest. 23-24. o.
- ULRICH, B. (1990): Stoffhaushalt von Wald-Ökosystem Bioelement-haushalt. Vorlesungsskript Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität, Göttingen.
- VANCSURA, R. (1960): Lombos fák és cserjék. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 199. o., 226. o., 304-311. o., 321-329. o.
- EPITESZFORUM.HU/node/17127
- ERDESZETILAPOK.OSZK.HU/00273/pdf/09horvath.pdf (Horváth, Gy. (2002): Veszélyes ipari hulladékok rekultivációja erdősítéssel, Erdészeti Lapok CXXXVII. évf. 1. szám
- HDL.HANDLE.NET/2437/109239 (Györfi Tamás, 2011. jún. 14: Atommagfizika az oktatásban, Környezeti radioaktivitás vizsgálata és szemléltetése)
- HU.WIKIPEDIA.ORG/wiki/Vörösiszap

HU.WIKIPEDIA.ORG/wiki/Ajkai-vorosiszap-katasztrofa

INDEX.HU/tudomany/kornyezet/2010/10/07/mi_lesz_most_a_talajjal/(dr.Szép-völgyi János (2010))

MTA.HU/mta-hirei/tajekoztato-a-kolontari-vorosiszap-tarozó-környezetben-vegzett-vizsgalatairól-125761

VOROSISZAP.BM.HU

WWW.DIVERZITI.HU/2359/a_marcal_teljes_elovilaga_kipusztult/

WWW.EGESZSEGKALAUZ.HU/orvosmeteorologia/a-vorosiszap-jellemzoi-es-hatasa-a-környezetre-105682.html

WWW.GREENMAN.HU

WWW.KATASZTROFAVEDELEM.HU/index2.php?pageid=lakosság_kolontar_vorosiszap

WWW.KERTESZEKARUHAZA.COM/tapanyagellatas/tapelemek/natrium.html

WWW.MAL.HU/engine.aspx?page=showcontent&content=Vorosiszap_HIR_HU

WWW.VOROSISZAP.COM/mi-a-vorosiszap.html

[1] UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/wikipedia/commons/e/e7/Bayer_eljaras.jpg

[2] ERDÉSZETI LAPOK CXXXVII. ÉVF. 1. SZÁM (2002. január);
erdeszetilapok.oszk.hu/00273/pdf/09horvath.pdf

[3] GOOGLE EARTH

[4] MTA.HU/mta_hirei/tajekoztato-a-kolontari-vorosiszap-tarozó-környezetben-vegzett-vizsgalatokrol-125761

[5] MTA.HU/mta_hirei/tajekoztato-a-kolontari-vorosiszap-tarozó-környezetben-vegzett-vizsgalatokrol-125761

[6] WWW.KATASZTROFAVEDELEM.HU/index2.php?pageid=lakosság_kolontar_vorosiszap

[7] GENCSI, L. (1990): Erdészeti és faipari tudományos közlemények 1989. év 2. szám. Mezőgazdasági kiadó, Szegedi nyomda. 60. o., 62. o., 64. o., 65. o., 68. o.

Melléklet

Az akác (*Robinia pseudoacacia*) növekedése:

tenyészedény	2011.02.22	2011.03.01	2011.03.08	2011.03.17	2011.03.22	2011.03.30
1. számú	46,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2. számú	11,30	11,70	12,30	12,30	12,30	12,30
10. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
12. számú	31,95	33,45	33,75	33,75	33,88	34,00
14. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

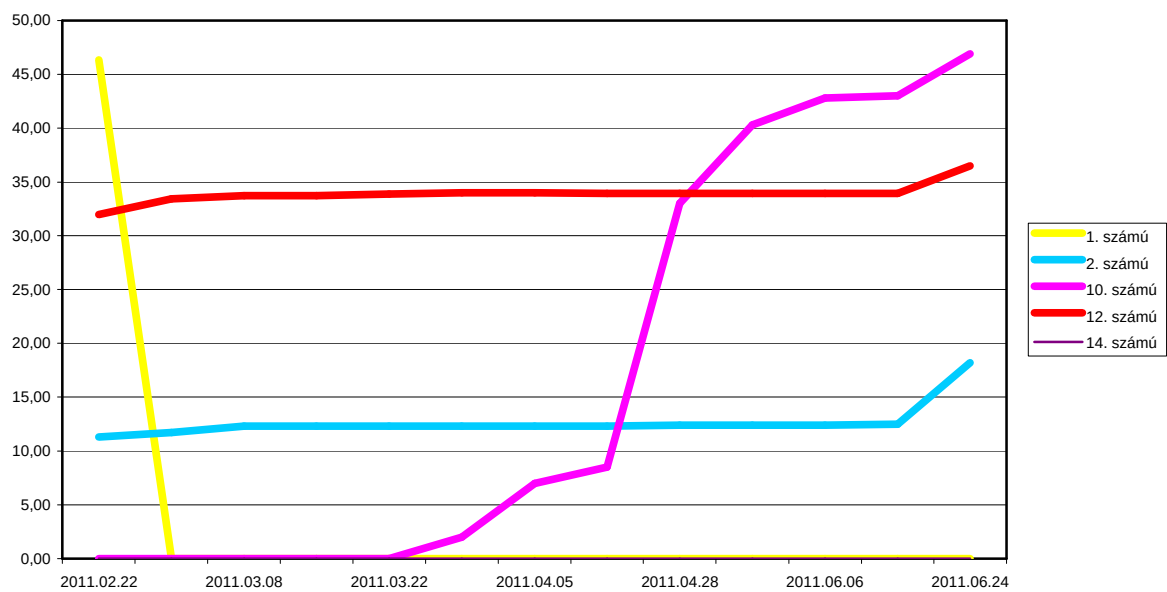
2011.04.05	2011.04.12	2011.04.28	2011.05.17	2011.06.06	2011.06.16	2011.06.24	magasság (cm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
12,30	12,30	12,40	12,40	12,40	12,50	18,20	
7,00	8,50	33,00	40,30	42,80	43,00	46,90	
34,00	33,95	33,95	33,95	33,95	33,95	36,50	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Az AF2 nemes nyár (*Populus x euramericana* AF-2) növekedése:

tenyészedény	2011.02.22	2011.03.01	2011.03.08	2011.03.17	2011.03.22
3. számú	0,00	1,03	2,75	6,40	7,47
4. számú	0,00	2,28	3,45	6,86	8,71
5. számú	0,00	1,70	4,66	9,45	9,78
6. számú	0,00	2,40	5,65	11,16	12,23
7. számú	0,00	1,50	3,14	6,74	6,80
8. szám	0,00	2,00	3,92	7,14	9,46
9. számú	0,00	2,30	2,20	6,87	9,21
11. számú	0,00	1,33	3,76	9,46	10,23
13. számú	0,00	0,68	2,23	5,10	6,33
15. számú	0,00	1,80	2,96	3,92	5,93

2011.03.30	2011.04.05	2011.04.12	2011.04.28	2011.05.17	2011.06.06	magasság (cm)
7,84	7,45	9,90	0,00	0,00	0,00	
8,70	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9,39	9,35	11,05	9,00	0,00	0,00	
12,00	6,40	2,00	2,25	0,00	0,00	
6,31	6,10	5,00	5,70	0,00	0,00	
9,06	8,50	4,50	8,75	0,00	0,00	
9,00	6,25	2,50	1,50	0,00	0,00	
8,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,30	4,80	6,00	0,00	0,00	0,00	
7,90	9,33	8,50	0,00	0,00	0,00	

Akác növekedése



AF2 nyár növekedése

