



Innovatív talajjavítás bioszénnel - laboratóriumtól a szabadföldi alkalmazásig

Tudományos Diákköri Kutatás

Készítette

Bacsárdi Szilvia, IV. évf.(BSc)

Máté Rózsa, II. évf. (MSc)

Témavezetők

Dr. Molnár Mónika egyetemi adjunktus

Dr. Feigl Viktória egyetemi tanársegéd

Konzulensek:

Dr. Rékási Márk osztályvezető

Farkas Éva, PhD hallgató

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR
ALKALMAZOTT BIOTECHNOLÓGIA ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI TANSZÉK



MTA ATK TAKI

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA AGRÁRTUDOMÁNYI
KUTATÓKÖZPONT TALAJTANI ÉS AGROKÉMIAI INTÉZET

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani témavezetőnknek, Dr. Molnár Mónikának, aki rengeteget segített a kísérleti terv kidolgozásában és kiértékelésében.

Szeretnénk köszönetet mondani konzulenseinknek, Dr. Feigl Viktóriának, Fekete-Kertész Ildikónak és Farkas Évinek akik értékes tanácsai és segítőkészségük nélkül nem jöhetett volna létre a dolgozatunk.

Köszönettel tartozunk mindnyájuk felé, hogy bármikor fordulhattunk hozzájuk segítségért.

Külön köszönettel tartozunk a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet minden dolgozójának, kiemelten Dr. Uzinger Nikolettnek és Dr. Rékási Márknak a tesztek kiértékelésében nyújtott segítségükért és a Nyírlugosi terület koordinálásáért.

Hálával tartozunk a BME ABÉT Környezeti Mikrobiológia és Biotechnológia Csoport valamennyi dolgozójának segítőkészségükért, amelyet a laboratóriumi munkáink során nyújtottak.

Tartalom

Tartalom.....	3
1. Bevezetés és célkitűzés.....	6
2. Irodalmi áttekintés	8
2.1 A talaj.....	8
2.1.1 A talaj fogalma	8
2.1.2 A talaj funkciói	8
2.2 A talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságai.....	9
2.2.1 A talaj fizikai tulajdonságai.....	9
2.2.2 A talaj kémiai tulajdonságai	12
2.2.3 A talaj biológiai tulajdonságai.....	16
2.3 Talajtípusok.....	17
2.4 A talajok romlása	19
2.4.1 Talajszennyezés	19
2.4.2 Talajdegradáció	20
2.5 Talajvédelem és szabályozás	22
2.5.1 Szabályozás Magyarországon.....	22
2.6 Talajjavítás és hulladékok hasznosítása.....	23
2.7 Innovatív talajjavítási adalékanyag: a bioszén.....	25
2.7.1 Bioszén előállítás.....	26
2.7.2 Bioszén alapanyagok	27
2.7.3 Bioszén felhasználása a környezetvédelemben	28
2.8 Környezeti kockázatmenedzsment.....	29
2.8.1 Környezettoxikológia	31
2.9 Technológia verifikáció	32
3. Anyagok és módszerek.....	34

3.1	Kísérleti összeállítás.....	34
3.1.1	Alkalmazott bioszenek	34
3.1.2	Bioszenek osztályozása	36
3.1.3	A Nyírlugosról származó homoktalaj tulajdonságai	37
3.1.4	Mikrokozmosz kísérletsorozat összeállítása.....	39
3.1.5	Szabadszíri kísérlet összeállítása	40
3.2	Kísérletek követésére alkalmazott módszerek	43
3.2.1	Fizikai és kémiai paraméterek vizsgálata	43
3.2.2	Biológiai aktivitás vizsgálata.....	47
3.2.3	Ökotoxikológia vizsgálatok.....	49
3.2.4	Az eredmények értékelése és értelmezése.....	53
4.	Eredmények és értékelésük	54
4.1	A tesztelt bioszenek minősítése	54
4.2	A bioszén hatásának jellemzése és értékelése a mikrokozmosz kísérletsorozat eredményei alapján.....	56
4.2.1	Fizikai és kémiai paraméterek változása a mikrokozmoszokban.....	56
4.2.2	Biológia aktivitás változása a mikrokozmoszokban.....	64
4.2.3	Toxicitás változása a mikrokozmoszokban	67
4.3	Bioszén és oltóanyag savanyú homoktalaj javítására - szabadszíri kísérletek.....	74
4.3.1	Fizikai-kémiai talajjellemzők változása a kisparcellás kísérletekben	74
4.3.2	Biológiai aktivitás változása a kisparcellás kísérletekben.....	78
4.3.3	Növényekre és talajlakó állatokra gyakorolt hatás változása a kisparcellás kísérletekben - ökotoxikológiai vizsgálatok	79
4.3.4	A szabadszíri kísérlet eredményeinek összefoglaló értékelése.....	83
4.4	Innovatív talajjavítási technológia verifikációja Error! Bookmark not defined.	
4.4.1	Technológiai hatékonyság felmérése..... Error! Bookmark not defined.	
4.4.2	Ökológiai hatékonyság felmérése..... Error! Bookmark not defined.	
4.4.3	SWOT analízis..... Error! Bookmark not defined.	

5.	Összefoglalás	87
6.	Felhasznált irodalom.....	89
7.	Mellékletek:	94

1. Bevezetés és célkitűzés

Magyarországon a savanyú és homoktalajok jellemző talajtípusként vannak jelen, melyeket a leromlott, javítandó talajok közé sorolunk. Javításuk – a jelenlegi mezőgazdasági, illetve környezetvédelmi gyakorlat alapján – hosszútávon, jó hatásfokkal nem érhető el, így folyamatosan romlanak. A "Zöld Ipari Innováció Program" keretében megvalósuló, "Talajoltóanyag és bioszén kombinált alkalmazása leromlott talajokra" c. pályázathoz kapcsolódó TDK dolgozatunk témája a környezeti kockázatmenedzsment két kiemelt jelentőségű problémakörére épül talajjavítás (talajvédelem) és hulladékhasznosítás. A különböző szerves hulladékból pirolízissel előállított bioszenek alkalmazása környezetvédelmi technológiákban egyre jelentősebb kutatási téma, azonban mégis kevés átfogó tanulmány készült a bioszenek kedvező hatásáról leromlott savanyú homoktalajokon alkalmazva. A bioszénrel történő textúrajavítás, szerkezetstabilizálás ezen talajok tápanyag- és vízmegkötését hosszútávon is normalizálhatja.

TDK dolgozatunk célja egyrészt a bioszén többcélú alkalmazása homokos illetve savanyú talajok javítására talajadalékként, valamint mikrobiális talajoltóanyag hordozójaként. Másrészt olyan innovatív, környezetbarát, ökológiailag hatékony (köznyelven zöld) technológia fejlesztése, mely a hulladékgazdálkodás hierarchikus rendszerében a legmagasabb szintet képviseli. Technológiafejlesztést célzó többlépcsős kutatási munkánk lefedi az innovációs láncot (1. ábra) a különböző bioszén termékek tesztelésétől, az azt követő laboratóriumi alkalmazáson át az első szabadföldi demonstrációig és a komplex technológiaértékelésig bezárólag.



1. ábra A technológiafejlesztés lépéseinek folyamatábrája

Kutatási munkánk fő célja, hogy a technológiai kísérletsorozatok követésével, kockázatközpontú komplex metodika alkalmazásával mérje fel a bioszén/bioszenek alkalmazhatóságát savanyú homoktalajok javítására.

Az első kutatási lépcsőben laboratóriumi tesztek végeztünk a bioszenek várható pozitív és negatív hatásainak kiszűrésére. Ezen kísérletek eredményei alapján választottuk ki a bioszeneket a technológiai kísérletekhez. Tizenhárom különböző eredetű bioszén terméket teszteltünk önmagában (előkísérletek - screening), olyan paraméterek vizsgálatát célozva, amelyek kiemelt jelentőségűek a bioszenek savanyú homoktalajok javításra történő felhasználhatóságának szempontjából (például pH, víztartókapacitás, biológiai aktivitás, toxicitás).

A második fázisban a kiválasztott termékekkel laboratóriumi mikrokozmosz kísérleteket indítottunk savanyú homoktalajba keverve komposzttal és NPK forrással kiegészítve, különböző kombinációkban.

Az előkísérletek és a mikrokozmosz kísérletek eredményei alapján került sor a megfelelő bioszén termék kiválasztására, majd alkalmazására szabadföldön, nyírségi savanyú homoktalajba keverve. A kísérleti terület alapműtrágyázása után három különböző dózisban, négy ismétlésben vizsgáljuk a bioszén, az oltóanyag, a bioszén mellett alkalmazott oltóanyag, bioszénre vitt oltóanyag hatását a homoktalaj fizikai, kémiai és biológiai jellemzőire, valamint toxicitására. A talajoltóanyag és a bioszén együttes hatásának tesztelésével tanulmányozzuk a bioszén alkalmazhatóságát baktérium hordozóként, illetve hatását az egyes baktérium törzstenyészetek elszaporodására talajban.

A mikrokozmosz kísérletsorozat és a szabadföldi kísérletek első eredményeire alapozva értékeltük az innovatív eljárást technológiahatékonyság, környezethatékonyság szempontjából.

2. Irodalmi áttekintés

2.1 A talaj

2.1.1 A talaj fogalma

A talaj a Föld legkülső szilárd burka, amely a növények élőhelyeül szolgál. Alapvető tulajdonsága a termékenysége, vagyis az a képesség, hogy kellő időben és a szükséges mennyiségben képes ellátni a rajta élő növényzetet vízzel és tápanyaggal, és így lehetővé teszi az elsődleges biomassza megtermelését.

A talaj egyben a természeti környezet része, mely biztosítja az anyagok biológiai körforgását. A környezet alkotójaként fogadja a földfelszínre érkező energia- és anyagáramlásokat; részben tárolja, részben átalakítja azokat. A termőföld természeti erőforrásként funkcionál, amely az élővilággal szoros kapcsolatban és kölcsönhatásban megújul, ha az anyagok körforgása zavartalan. Ha azonban az anyagforgalomban fennakadás van, vagy a talaj megsemmisül, mint erőforrás meg nem újítható. (Füleky, 2011)

Másképpen megfogalmazva tehát a talaj „feltételesen megújuló természeti erőforrás”-nak tekinthető. (Várallyay, 2002)

2.1.2 A talaj funkciói

A talajra hagyományosan a mezőgazdaság termelőeszközeként tekintünk, ezért a talaj első és legfontosabb tulajdonságaként a termékenységét tekintjük. (Szalai, 2011)

Mindemellett „sokrétű funkcióin keresztül az egész természeti környezet és az emberi élet minőségét meghatározza”. (Füleky, 2011)

Funkcióit Várallyay (2002) a következőképpen foglalta össze:

- Feltételesen megújuló természeti erőforrás, mely a többi természeti erőforrás hatását integrálva és transzformálva életteret biztosít a benne élő szervezeteknek, továbbá termőhely a természetes növényzetnek és az ember által termesztett kultúráknak.
- A talaj a növényi biomassza termelés alapvető közege, a bioszféra elsődleges tápanyagforrása, ugyanakkor természetes tápanyag-raktár.
- A természetes és az antropogén stressz hatások felvevő, tompító közege.
- A természet hatalmas szűrő- és detoxikáló rendszere.
- A bioszféra jelentős gén-rezervoárja, a biodiverzitás nélkülözhetetlen eleme.
- Természeti és történelmi örökség hordozója.

Egy leromlott talaj elveszítheti azt a képességét, hogy funkcióit betöltse, ekkor az ökoszisztéma egyensúlyának megdőlésére lehet számítani az adott környezetben. Az előbbieken felsorolt funkciók tehát kiemelt jelentőségűek a talaj és a környezet (ökoszisztéma) kapcsolatában; ezeknek a betöltésére pedig megfelelő fizikai, kémia és biológiai tulajdonságai révén lesz képes.

2.2 A talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságai

2.2.1 A talaj fizikai tulajdonságai

➤ *A talaj szemcseösszetétele és textúrája*

A talajszemcsék átmérője között fokozatos átmenet figyelhető meg, de bizonyos szemcseméret alatt és felett ugrásszerű a változás. A talaj összetétele a különböző méretű szemcsékre nézve döntően befolyásolja a talaj fizikai és kémiai tulajdonságait. Az USA Talajtani Szolgálat (USDA) szerint megkülönböztetünk 0,002 mm-nél kisebb agyag talajszemcséket, 0,002–0,05 mm közötti szemcseátmérőjű iszap, 0,05 és 0,2 mm átmérőjű homok, és 0,2 mm átmérőnél nagyobb kötőmelék és kavics talajszemcséket (KÖRINFO 1). A talajok textúrája fejezi ki annak mechanikai összetételét: ez azt mutatja meg, hogy az egyes összetevő szemcsék milyen arányban találhatók meg a talajban. E szerint lehet: durva homok, homok, homokos vályog, vályog, agyagos vályog, agyag, nehéz agyag. (Kátai, 2011)

➤ *A talaj szerkezete*

Sokféle fizikai, biológiai és kémiai folyamat bonyolult kölcsönhatásának eredményeképpen jönnek létre a talaj aggregátumai, amelyek két csoportba sorolhatóak; megkülönböztetünk mikro-, és makroaggregátumokat. A mikroaggregátumok 2 µm-nél kisebb szemcsékből állnak, míg a makroaggregátumok 2 µm-nél nagyobb átmérőjű szemcséket tartalmaznak.

A talaj szerkezeti egysége, alakja és kifejezettsége alapján megkülönböztethetünk szerkezet nélküli és szerkezetes talajokat, amelyeket a talajt alkotó adhéziós, tehát felületen ható erők és a kohéziós, azaz szerkezet belsejében ható erők formálnak. Ennek kialakításában segítenek a kötőanyagok, amelyek lehetnek szerves anyagok, agyagásványok, vas- és alumínium-hidroxidok, kation hidak, kalcium-karbonátok, mikroorganizmus telepek stb. A talaj szerkezetének mutatója a stabilitás, amely a talajnak a vízzel és mechanikai hatásokkal szembeni ellenálló képessége, valamint az agronómiai szerkezet, amely a különböző nagyságú aggregátumok egymáshoz viszonyított arányát mutatja meg (KÖRINFO 1).

Térbeli kiterjedés alapján a talaj szerkezete lehet köbös (ez a típus tér három irányában kb. egyformán fejlett), hasábszerű (a tér két irányában gyengén, egy irányban jól fejlettek) és lemezszerű (két irányban jól, egy irányban gyengén fejlett talajtípus) (Kátai, 2011).

➤ *A talaj térfogattömege és tömörsége*

A talaj igen fontos fizikai jellemzője a térfogattömege (g/cm^3), és a sűrűsége (g/cm^3).

Térfogattömeg: egységnyi térfogatú, bolygatatlan talaj tömege (g/cm^3). Jelölése T_s . A talajok jellemző T_s értéke: $1,1\text{--}1,6 \text{ g/cm}^3$.

A talaj sűrűsége: egységnyi térfogatú, teljesen tömörített talaj tömege (g/cm^3). Jelölése F_s . A talajok átlagos sűrűsége (F_s): $2,65 \text{ g/cm}^3$.

A térfogattömeg függ az alkotó ásványok sűrűségétől, mállottságától, az anyag hézagaitól és víztartalmától. (Füleky, 2011)

➤ *A pórustér nagysága, pórusok méret szerinti eloszlása*

A talaj ásványi szemcséi és különböző méretű aggregátumai között – azok méretétől, alakjától, térbeli elrendeződésétől függően – különböző nagyságú és formájú hézagok rendszere, a pórustér található. A pórus tehát a szerkezeti elemek és az elemi szemcsék közti tér, melyet nagyságától függően különböző arányban a talajlevegő és a talajoldat tölt ki. A talaj víz-, és levegőgazdálkodását döntően befolyásolja a pórusok össztérfogata (összporozitás), valamint a különböző méretű pórusok egymáshoz viszonyított aránya.

Pórustérfogat/porozitás (P): egységnyi térfogatban a szilárd részek által be nem töltött tér (térfogat százalékban).

$$P = \frac{1 - T_s}{F_s} \cdot 100$$

Ahol T_s = a talaj térfogattömege (g/cm^3)

F_s = a talaj sűrűsége (g/cm^3) (Füleky, 2011)

A talajokban ez az érték a legtöbb esetben 35–70% között alakul, míg a legoptimálisabb érték az 50–60%.

A különböző hézagok különböző funkcióval rendelkeznek; a $30 \mu\text{m}$ -nél nagyobb pórusok a levegőellátottságot biztosítják a talaj számára, míg a $3\text{--}30 \mu\text{m}$ közötti hézagok a talaj vízgazdálkodását, vízvezetését biztosítják, a $3 \mu\text{m}$ alattiak pedig a mikroflóra megtelepedésének kedveznek.

➤ *A talajok vízgazdálkodási jellemzői*

A talajokban megtalálható víz mennyisége az abszolút száraz talaj mennyiségéhez viszonyítva a talaj nedvességtartalmaként jelenik meg. A térfogatban kifejezett nedvességtartalom a tömegben kifejezett értéket a talaj térfogattömegével kompenzálja, vagyis azt mutatja meg, hogy egységnyi térfogatú talajban hány térfogategység víz található (Szalai, 2011).

A talajba jutó víz mozgásában és megkötésében a szilárd fázis játszik meghatározó szerepet. A szilárd felületek a nedvességet különböző erősségű kötőerők révén képesek megtartani. A kötés erőssége alapján az alábbi sorrendet állíthatjuk fel:

- Erős felszíni lefolyás típusa (lejtős talajfelszín esetében felszíni lefolyás alakul ki eróziós károkat okozva).
- Kilúgozásos típusú vízforgalom, ekkor a vízmozgás erősen lefelé irányul (a nagy mennyiségű csapadék nagyobbik hányada beszivárog a talajba, a kilúgozás nagymértékű).
- Egyensúlyi vízmérleg típusánál a lefelé és felfelé irányuló vízmozgás egyensúlyt tart egy éven belül, de folyamatos váltakozások vannak jelen.
- Párolgató vízforgalmi típus esetében pedig túlnyomórészt felfelé irányuló vízmozgás, szikesedés a talajvíz sótartalmától függően előfordulhat.

➤ *A talaj levegő- és hőgazdálkodása*

A hőmérséklet rengeteg folyamat szabályozásában vesz részt; egyrészt a növények csírázása, növekedése, légzése és tápanyagfelvétele, valamint a mikrobiológiai folyamatok intenzitása, a tápanyag-feltáródás üteme, a talajképződés fizikai és kémiai folyamatainak sebessége mind függenek a hőmérséklettől (KÖRINFO 1). A talaj hőenergiához sokféle forrásból juthat: a napsugárzás, a Föld belsejéből kiáramló hő, továbbá a szerves anyagok lebontása során keletkező hő, de a talajba kerülő víz (csapadék, termásvíz) is energiával látja el a talajt (Füleky, 2011).

A talaj pórusterének a nedvesség által el nem foglalt részét levegő tölti ki, ahol a víz és levegő aránya folyamatosan változik. A talajlevegő fő komponensei a nitrogén, oxigén, szén-dioxid és a vízgőz; ezek közül az oxigén- és szén-dioxid tartalom a biológiai folyamatokban meghatározó jelentőségű. A talajlevegő vízgőztartalma nagyobb a légkörinél, míg a nitrogén-tartalom gyakorlatilag állandó és megegyezik a légköri levegővel (79 tf%).

Tartósan túlnedvesedett talajokban, a szerves vegyületek anaerob lebontásakor köztitermékként eleinte illékony szerves savak, mint például ecetsav, tejsav és vajsav képződik, majd ezek a metánképződés kíséretében lebomlanak szén-dioxiddá. (KÖRINFO 1)

2.2.2 A talaj kémiai tulajdonságai

Az oldható sók mennyisége és minősége a kolloidkémiai reakciók, a kémhatás és a redoxi feltételek azok a tulajdonságok, amelyek egy talaj kémiai tulajdonságait meghatározzák. Ezen tulajdonságok jelentősen befolyásolják a talaj vízzel szembeni viselkedését, így a talajba került anyagok legyenek azok tápanyagok vagy szennyezőanyagok sorsát is. (Stefanovics, 1999)

➤ *Oldható sók a talajban*

Háromféle oldódási és kicsapódási reakciót különböztetünk meg úgy mint a fizikai oldódás, kémiai oldódás és elektrokémiai oldódás.

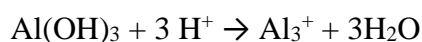
- Fizikai oldódás

Akkor beszélünk ilyen oldódásról, ha az oldott anyag kémiai változás nélkül oldódik az oldószerben pl. a sók oldódása a vízben.



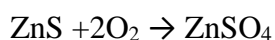
- Kémiai oldódás

Kémiai oldódás során az oldandó anyag és az oldószer között kémiai reakció játszódik le, mely után már a keletkezett oldatból nem tudjuk visszanyerni az eredeti oldandó anyagot kémiai beavatkozás nélkül.



- Elektrokémiai oldódás

Az oldódás elektronátmenettel (oxidációval-redukcióval) jár.(Kátai 2011)



A talaj vízben oldható sókészletét tömeg%-ban (só%) lehet megadni, vagy vizes talajkivonatok elektromos vezetőképességével (electrical conductivity, jelölése: EC) lehet jellemezni, nálunk a gyakorlatban a só% használata terjedt el, külföldön pedig a vizes kivonat EC-je alapján történik az értékelés.

A talaj sótartalma szerint öt csoportba tudjuk sorolni a talajokat, ezeket a csoportokat, illetve növények fejlődésére gyakorolt hatásukat a következő táblázat (1. táblázat) mutatja be (Stefanovics, 1999).

1. táblázat A talaj sótartalom szerinti csoportosítása

Telítési kivonat vezetőképessége (mS/cm)	A talaj sótartalom szerinti csoportosítása	Hatása a növények fejlődésére
<2	nem sós	a mezőgazdasági növények fejlődését nem gátolja
2-4	gyengén sós	néhány nagyon sóérzékeny növény fejlődése gyenge
4-8	közepesen sós	A legtöbb természetett növény fejlődése csökken, csupán a sótűrőké zavartalan
8-16	sós	Csak a sótűrő növények fejlődnek rendszeren
>16	Igen sós	Csak néhány nagyon sótűrő növény él meg

➤ *Kolloidkémiai reakciók*

Mikroszkópos szinten a talaj összetett háromfázisú rendszer, a szilárd-, a folyadék- és a gáz halmazállapotban lévő rengeteg különböző komponens együttlétezése, amelyben a szilárd fázis pórusrendszerének üregeit folyadék (talajoldat: oldott sókat, szerves anyagokat és gázokat tartalmazó vizes oldat) és gáz (talajlevegő: CO₂-ban dús) tölti ki. A talajokban lejátszódó fizikai, kémiai folyamatokat tekintve a kolloidok a talaj szilárd fázisának legaktívabb komponensei. Talajoknál nem az általában elfogadott ~1 µm, hanem a 2 µm ekvivalens átmérő tekinthető a kolloidméret felső határának. Ennek a feltételnek a talaj szilárd fázisában található ásványi komponensek agyagfrakciója és a szerves anyagok (humuszanyagok és nem humuszanyagok pl. fehérjék, szénhidrátok) felelnek meg. Ezek a talajkolloidok a talajszerkezet kialakításáért felelős anyagok, mennyiségük csekély, azonban nélkülözhetetlenek a kedvező tulajdonságok kialakításához. (Füleky, 2011)

A talajkolloidokban lejátszódó folyamatok és jelentőségük:

- a talajoldat és a talajlevegő határfelületen:
 - abszorpció: pl.: O₂ és nagyobb részben CO₂ beoldódása
 - párolgás/kondenzáció

- a talaj szilárd részecskéi és a talajlevegő határfelületén:
 - adszorpció: pl.: illékony szervesanyagok felhalmozódása a talajrészecskék felületén
- a talaj szilárd részecskéi és a vizes oldat határfelületeken:
 - oldódás/kicsapódás
 - adszorpció: ioncsere.

➤ *Kémhatás*

A talaj kémhatása tulajdonképpen a talaj folyékony fázisának kémhatása, melynek értéke térben és időben változik a talaj nedvességi állapotától, továbbá a növényzet élet-folyamatai során keletkezett anyagoktól és sok egyéb más tényezőtől függően. Ezért konvencionálisan a légszáraz talajból 2,5-szeres mennyiségű desztillált vízzel készített szuszpenzió kémhatását mérjük, s az így kapott értékekből tájékozódunk a talaj pH-járól. (Fülek, 2011)

A vizes szuszpenzió kémhatása alapján az alábbiak szerint csoportosítjuk a talajokat:

- | | |
|-------------------|----------------|
| • erősen savanyú | pH<4,5 |
| • savanyú | pH = 4,5 – 5,5 |
| • gyengén savanyú | pH= 5,5–6,8 |
| • semleges | pH= 6,8–7,2 |
| • gyengén lúgos | pH= 7,2–8,5 |
| • lúgos | pH= 8,5–9.0 |
| • erősen lúgos | pH>9,0 |

A kémhatás növényéletteni szempontból igen fontos jellemzője a talajnak, ugyanis a különböző gazdasági növények fejlődése meghatározott pH-tartományban a legmegfelelőbb. A talaj kémhatása közvetve is hat a növényekre pl.: savanyú kémhatásnál bizonyos tápanyagok, elsősorban foszfát-ionok megkötődnek, Al- és Mn-toxicitás léphet fel. A káros folyamatok 5,5 pH alatt már nagymértékben jelentkezhetnek, ezzel szemben a lúgosság pedig a talaj szikesedéséből adódó kedvezőtlen viszonyokra hívja fel a figyelmet. A növények tápanyagfelvétele és mikrobiológiai tevékenysége szempontjából a semleget legjobban megközelítő kémhatás az ideális.

➤ *Redoxi folyamatok a talajban*

A talajok redoxipotenciálját alapvetően a talaj levegőellátottsága szabja meg, ezért minden olyan tényező, amely a talaj levegőzöttségét befolyásolja (pl. a nedvességtartalom, a szemcseösszetétel stb.) a redoxpotenciálra is hatással van.

Így a talaj átnedvesedésekor csökken, száradás során pedig nő a redoxipotenciál. Ebből következik, hogy a talajok aktuális redoxipotenciál értéke (E_h) évszakonként, sőt rövidebb időszakokban is változik., ami a felső rétegekben 100–600 mV körüli lehet. Ezt az E_h értékét azonban a közeg kémhatása is jelentősen módosíthatja: pH-egységenként mintegy 55–65 mV-tal változik a redoxipotenciál, a pH csökkenése (a közeg savanyodása) növeli az adott rendszer E_h -ját. A talajok nedvesedése, száradása vagy vízzel való telítése esetében van kiemelkedő jelentősége a redoxireakciónak. (Stefanovics, 1999)

➤ *Pufferkapacitás*

A talaj egy olyan puffer-rendszernek tekinthető, mely a belekerülő anyagokat bizonyos mértékig lekötni és/vagy átalakítani, így hatásukat közömbösíteni, illetve tompítani képes. Pufferoló hatásának két legfontosabb területe:

- a sav/bázis pufferképesség, valamint
- a tápelem és toxikus elem megkötő képesség

A savas és lúgos behatásokat tompító legfontosabb pufferanyagok a következők:

1. CaCO_3 . A talaj elsavanyodását jelentősen késlelteti a CaCO_3 -tartalom, mert $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ formában oldódva közömbösíti a savat. Ezért a talaj kémhatása mindaddig nem csökken, amíg a rendszerben szilárd Ca- és Mg-karbonát van.
2. Talajkolloidok. A talajkolloidok pH-változást tompító hatását a humuszanyagok és a hidratált oxid típusú felületek (az agyagásványok törésfelületei, az Al- és Fe-oxidok és -hidroxidok felülete) protonfelvevő/protonleadó képességére lehet visszavezetni.
3. Agyagásványokhoz kötött Al- hidroxid-polimerek. Sav hatására nő a polimer össztöltése, míg az oldat lúgosságával csökken.
4. A könnyen málló szilikátok: mállás közben protonok kötődnek meg, képződésükkor pedig protonok szabadulnak fel, s ezek az oldat lúgosságát közömbösítik.

A talaj tápelem-pufferoló képessége gátolja a kimosódást és szabályozza a tápanyagok oldatbeli koncentrációját, ezáltal biztosítva azt, hogy egyes tápelemek mennyiségének jelentős növelése (műtrágyázás) vagy elvonása (növény általi felvétel, kimosódás) következtében a talajoldatban az adott elem koncentrációja káros mértékben ne változzon. A tápelemek és a toxikus nehézfémek oldatbeli koncentrációjának szabályozásában kémiai és fizikai-kémiai folyamatok (adszorpció-deszorpció, kicsapódás-oldódás) játszanak döntő szerepet. (Füleky, 2011)

2.2.3 A talaj biológiai tulajdonságai

A talajok fizikai és kémiai tulajdonságai teremtik meg az alapot arra, hogy az élő biológiai alkotórész, közös névvel a "talajbióta" is megtalálhassa az életfeltételeit azokban. Mindez egy lassú folyamat, mely függ az élőlények ökofiziológiai igényétől és egy meghatározott rend szerint alakul.

A talajbiótákba nem csak a szabad szemmel látható élőlényeket, mint például a földigilisztát vagy a rovarokat értjük, hanem a szabad szemmel nem látható nematódák, algák, baktériumok, gombák, protozoák stb is. Becslések szerint 1 hektár területén 20 cm talajvastagságban 800-3000 kg mikroba található. (Fülek, 2011)

A talajok legfontosabb funkcióját, a talajtermelékenységhez nagymértékben hozzájárul a talajok mikro és makrofaunája. „A termékenységet a talajokon termesztett növény-, takarmány-típusokkal is befolyásolhatjuk, mivel a növényi gyökerek az ott megtelepedő mikrobákat és azok tevékenységét is szelektív módon irányítják, befolyásolni képesek. A mikroorganizmusok aktív (anyagcsere) kapcsolatban állnak a növények gyökérzetével, amely olyan anyagokat választ ki, ami a mikroorganizmusoknak szén- és nitrogén-forrásként szolgálhat.” (Hartmann, 2008)

Ennek következménye az, hogy az ún. alternatív, csökkentett műtrágya és növényvédőszer felhasználással járó, környezetbarát organikus rendszerekben a mikroorganizmusok száma magasabb, ennek pedig egyenes következménye, hogy a talajfizikai tulajdonságok egész sora javul. (Szalkay, 2010)

A talaj szerves anyagtartalma állandó változásban van a mineralizáció és humifikáció következtében. A felaprózódott szerves anyagok bontását a sugárgombák, gombák, baktériumok végzik. A szerves anyagok átalakulását befolyásoló tényezők az éghajlat, a növényzet, és a domborzat. A talaj hőmérsékletének növekedésével nő a talaj mikrobiológiai aktivitása, a csapadékos éghajlat mellett dúsabb a vegetáció, kedvez a szerves anyag felhalmozódásának, magasabban fekvő területeken nagyobb a szerves anyag képződése, bőségesebb a csapadék, nagyobb az anyagtartalom. Az anaerob lebontás lassúbb, mint az aerob és nagyobb mennyiségű humusz képződéséhez vezet. (Csubak, 2007)

A humuszanyagok képződése növényi és állati eredetű anyagokból fizikai, kémiai, enzimatis és mikrobiológiai átalakulások során a fent említett humifikációs folyamatban történik. A humuszanyagok kémiai szempontból nem egységesek, hasonló szerkezetű és tulajdonságú, változatos méretű makromolekulák keverékei bizonyos határértékeken belül. A

humusznak fontos szerepe van a szerkezetes talaj kialakulásában, fennmaradásában, tápanyagellátásban. (Szabó, 1983)

2.3 Talajtípusok

Hazánkban az osztályozás alapja mind genetikai (2. ábra), mivel a talajok fejlődésének vizsgálatára alapoz, mind talajföldrajzi, mivel a talajképző tényezőket, a földrajzi törvényszerűségeket alapul véve hozták létre a főcsoportokat. A talajtípusok olyan rendszertani egységek, amelyek hasonló környezeti tényezők együttes hatására alakultak ki, a talajfejlődés folyamán hasonló fejlődési állapotot értek el, és egyazon folyamattársulás által jellemezhetőek. A főtípus a rokon típusok egyesítésével létrejövő rendszertani kategória. (KÖRINFO 1) (Füleky, 2011)

- Váztalajok

A váztalajok főtípusába azok a talajok tartoznak, melyek képződésében a biológiai folyamatok feltételei csak kismértékben vagy rövid ideig adóttak, ezért hatásuk korlátozott.

A felszín változásának oka lehet a folytonos és erőteljes vízerózió, valamint a defláció.

- Közethatású talajok

A közethatású talajok főtípusába azok a sekély rétegű talajok tartoznak, amelyekre az erőteljes humuszképződés, valamint a talajképző kőzet tulajdonságaitól jelentős mértékben függő szerves-ásványi kolloidok kialakulása a jellemző. A közethatású talajok vízgazdálkodása szélsőséges.

- Barna erdőtalajok

A főtípusban egyesített talajok az erdők és a fás növényállomány által teremtett mikroklíma, a fák által termelt és évenként földre jutó szerves anyag, valamint az ezt elbontó, főként gombás mikroflóra hatására jönnek létre. A mikrobiológiai folyamatok által megindított biológiai, kémiai és fizikai hatások a talajok kilúgzását, agyagosodását, elsavanyodását és szintekre tagolódását váltják ki.

- Csernozjom talajok

E főtípusban azokat a talajokat egyesítjük, amelyekre a humuszanyagok felhalmozódása, a kedvező, morzsalékos szerkezet kialakulása, a kalciummal telített talajoldat kétirányú mozgása a jellemző.

- Szikes talajok

A szikes talajok kialakulásában és tulajdonságaikban a vízben oldható sók döntő szerepet játszanak. Ezek részben a talajoldatban oldott állapotban, részben pedig a szilárd fázisban, kristályos sók alakjában vannak jelen, vagy a nátrium ionos formában a kolloidok felületén adszorbeálva találhatóak meg. A sók mennyisége, minősége és a eloszlása szabja meg a szikes talajok tulajdonságait és típusba sorolását.

- Réti talajok

A réti talajok fő típusába azokat a talajokat soroljuk, amelyek keletkezésében az időszakos túlnedvesedés játszott nagy szerepet. Ez lehet az időszakos felületi vízborításnak, vagy a közeli talajvíznek a következménye. A vízhatásra beálló levegőtlenesség a szerves anyag sötét színű felhalmozódását és az ásványi részek redukcióját váltja ki. Általában a táj mélyen fekvő, vízjárta területein található.

- Láptalajok

A láptalajok fő típusába tartozó talajok vagy állandó vízborítás alatt képződtek, vagy az év nagyobb részében víz alatt állottak, és a vízborítás-mentes időszakokban is vízzel telítettek voltak. Az állandó vízhatás következményeként a növényzet elsősorban a vízi növényzet, így a nád, a sás, a káka, tőzegmoha elhalása után a szerves maradványok a víz alatt vagy vízzel telítve, tehát levegőtlen viszonyok között csak részlegesen bomlanak el. Ezt a folyamatot nevezzük tőzegesedésnek.

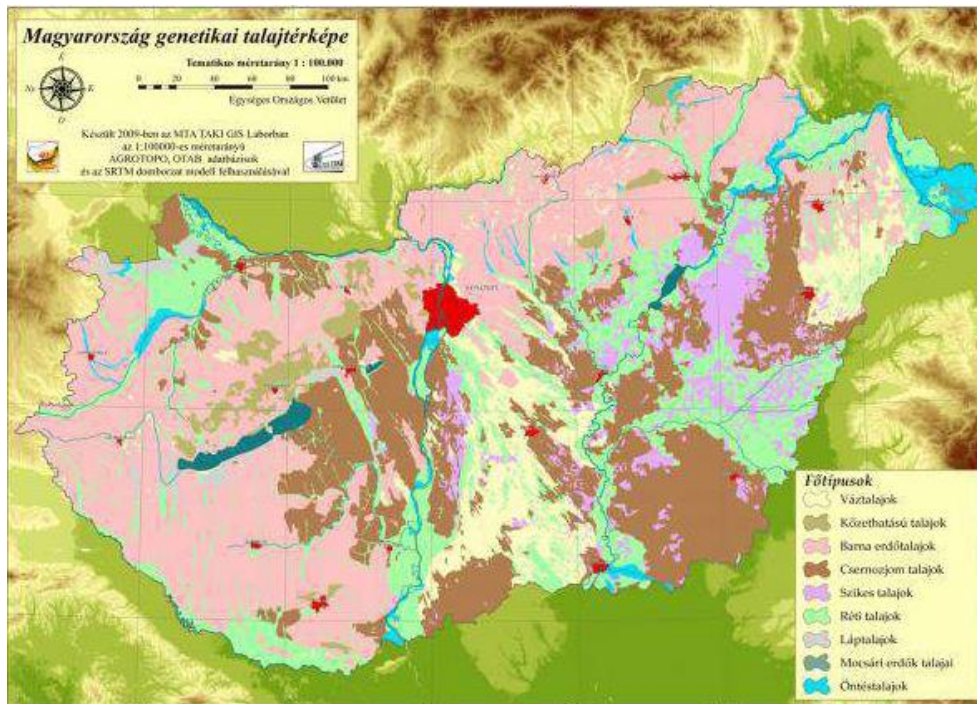
- Mocsári erdők talajai

Az ide sorolt talajok kialakulásában az állandó vízbőség és az erdők talajalakító hatása játszik szerepet. A nedvességbőség azonban nem vezet az erdei növénytakaró alatt szerves anyag felhalmozódáshoz, ezért a talajfejlődés iránya más, mint a réti vagy lápos talajoknál.

- Öntéstalajok

Ennél a talajtípusnál a talajképződési folyamatokat az időszakonként megismétlődő áradások és az utánuk visszamaradó üledék, illetve az erózió által elmozdult talajrészek másodlagos lerakódása gátolja. A szelvényekben nincs szintekre tagolódás, az egyes rétegek közötti különbségek csak az üledék tulajdonságaitól és nem a talajképző folyamatok hatásától függenek. Tulajdonságaik elsősorban a folyók által lerakott vagy a lejtőn lehordott anyag összetételétől függenek. (Füleky, 2011)

A 2. ábrán látható Magyarország genetikai talajtérképe.



2. ábra Magyarország genetikai talajterképe

2.4 A talajok romlása

A talajképződés folyamatában nemcsak a termőföld kedvező tulajdonságai alakulnak ki, hanem a kedvezőtlenek is, amelyek következménye a talajpusztulás (Stefanovits és mtsai, 1999).

A szakemberek nagy része a talajromlási folyamatokat két nagy csoportra osztja: a talajdegradációra (pl.: az erózió különböző formái) és a talajszennyeződésre. Kutatási munkánkban a degradált talajnak van kiemelt szerepe, ezért a romlási folyamatok közül is ezt ismertetjük részletesebben.

2.4.1 Talajszennyezés

Stefanovics és mtsai (1999) kétféle eredetű talaj szennyező forrást különböztet meg, úgy mint természetes eredetű és mint az emberi eredetű forrást. Mindkét csoportot fel lehet bontani szintén kétféle jellegű szennyezésre: pontszerű és diffúz szennyező-források. Természetes pontszerű szennyező-források az ásványi lelőhelyek és egyes geológiai képződmények, míg a diffúz források a természetes eredetű nedves és száraz kiülepedések a légkörből, árvizek, eső és szél szállított anyagok és a természetes eredetű radioaktív sugárzó anyagok lehetnek. Emberei eredetű pontszerű forrásokhoz soroljuk a szennyvizet, szennyvíziszapokat, híg trágyák talajba jutását, hulladékokat, és az ipari emissziót, míg a

diffúz a szennyező forrásokat a légszennyezésből származó száraz és nedves kiülepedés, mezőgazdasági vegyszerek (műtrágya, peszticid, tüzelőanyagok égetéséből származó anyagok) és a közlekedésből származó szennyezők alkotják.

A talajszennyezések okozta kockázat csökkentésére különféle talajremediációs technológiák alkalmazhatóak a szennyezőanyagok és a szennyezett közeg tulajdonságaitól függően. A kezelés alapja lehet biológiai, kémiai, vagy fizikai folyamat, mely történhet helyben, a talaj elmozgatása nélkül, azaz *in situ* módszerrel, illetve *ex situ*, azaz a szennyezett talaj kiemelésével és külön helyen való kezelésével.

A talajremediációs módszerek további csoportosítása a szennyezőanyag mozgékonyságának, mobilitásának kontrollálásán alapszik. Használhatunk *immobilizációt*, azaz a szennyezőanyag megkötésére, hozzáférhetőségének csökkentésére épülő technológiát, illetve *mobilizáláson* alapuló eljárásokat, ami a szennyezőanyag ártalmatlanítását, eltávolítását a szennyezés talajból való kimosztásával, áthelyezésével éri el. Ilyen például a talaj atmoszára különféle anyagokkal, az extrakció, vagy a biodegradáción alapuló bioremediáció technológiája. (KÖRINFO 2)

2.4.2 Talajdegradáció

Talajdegradációs folyamatok természeti okok és/vagy emberi beavatkozások hatására egyaránt bekövetkezhetnek. Ezen folyamatok és kedvezőtlen következményeik többnyire megelőzhetők, megszüntethetők, de legalább bizonyos tűréshatárig mérsékelhetők.

A talajdegradáció rendszerint egy komplex folyamat, amely a talaj anyagforgalmának számunkra kedvezőtlen irányban történő megváltozását jelenti.

Ennek következményei a következők lehetnek:

- talaj- és termőfelület-veszteség;
- zavarok a talaj normális funkcióiban;
- kedvezőtlen változások a talaj anyagforgalmi folyamataiban;
- talajtermékenység csökkenés; kedvezőtlenebbé váló talajökológiai körülmények a természetes növényzet vagy a termesztett növények számára – csökkenő biomassza hozam, kisebb termés;
 - nehezebb mezőgazdasági hasznosíthatóság, növekvő termelési költségek;

- rövidebb időtartam az agrotechnikai műveletek időben és megfelelő minőségben történő energiatakarékos elvégzéséhez (nagyobb géppark igény, csökkenő lehetőségek kapcsolt gépsorok alkalmazására, növekvő energiaigény);
- növekvő vízpótlás (öntözés) és vízelvezetés (drénezés) igény;
- nagyobb műtrágyaszükséglet (nagyobb műtrágyaveszteségek, rosszabb műtrágya-érvényesülés).
- káros környezeti mellékhatások:
 - növekvő aszályérzékenység;
 - belvizes, pangó vizes területek növekedése, tározók és csatornák eliszapolódása;
 - felszíni lefolyás növekedése – fokozódó árvízveszély;
 - felszíni- és felszín alatti vízkészletek fokozódó szennyezése;
 - tájrombolás.
- ökológiai körfolyamatok felbomlása;
- kockázatos anyagok felhalmozódása és azok megjelenése az élelmiszerekben (élelmiszerbiztonság);
- az élővizek és az ivóvízkészlet elszennyeződése;
- a szárazföldi élet feltételeinek romlása.

(KVVM, 1997)

A továbbiakban a Nyírlugosi savanyú homoktalajra jellemző talajdegradációs formákat mutatjuk be részletesen, mivel a léptéknövelés utolsó fázisa a szabadföldi demonstráció volt, melynek kivitelezése az MTA ATK TAKI modellterületén, Nyírlugoson történt. Az itt található talaj jellemzően savas kémhatású homoktalaj.

➤ Savanyú kémhatás

A talaj kémhatása az egyik legfontosabb kémiai jellemző, amely nagymértékben megszabja a növények életfolyamatait, hatással van a tápanyagok feltáródására és felvehetőségére, a talajban lévő különböző toxikus elemek megkötődésére, illetve mozgékonyosságára.

Az ilyen kategóriába sorolt talajoknál az erősen savanyú kémhatás közvetlen (növények zavartalan anyagcsere folyamatainak akadályozása stb.), és közvetett hatásai (tápanyagfelvételt akadályozó fixáció, kedvezőtlen ionantagonizmusok, mérgező anyagok

megjelenése, mikrobiális tevékenység kedvező arányainak megbomlása, ritkábban a talaj vízgazdálkodási és fizikai tulajdonságainak leromlása stb.) gátolják elsősorban a talaj termékenységet.

Megállapítást nyert, hogy Magyarországon a három legfontosabb talajsavanyodást kiváltó tényező az ésszerűtlen műtrágyahasználat, a légköri savas ülepedés, valamint a különböző savanyú kémhatású ipari melléktermékek és hulladékok. Legnagyobb szerepe a nagyadagú N-műtrágyázásnak (ammónium-nitrát, ammónium-szulfát, karbamid) és a gyakran jelentős savmaradékot is tartalmazó szuperfoszfátnak volt. (KVVM, 1997)

➤ Szélsőségesen könnyű mechanikai összetétel, nagy homoktartalom

Ide tartoznak a szerves és ásványi kolloidokban szegény homoktalajok. Ezek termékenységet a szerves és ásványi kolloidok kis mennyisége, egyes esetekben teljes hiánya, valamint a túl nagy homoktartalom, illetve ennek következményei korlátozzák: nagy vízáteresztő-, gyenge víztartóképeség, kis hasznosítható vízkészlet, nagy aszály- és szélérózióérzékenység és a kis természetes tápanyagkészlet. Racionális hasznosításuk előfeltétele a rajtuk termesztett növény víz- és tápanyagellátásának biztosítása, a talaj szerves és ásványi kolloidokban történő gyarapítása, hatékony szélérózió-védelem és megfelelő vetésszerkezet. (KVVM, 1997)

A leromlott, degradálódott talajok esetén a növények ökológiai igényeinek biztosítása, a talajtermékenység fenntartása, a talajt érő stressz hatások mérséklése, valamint a talaj biológiai tevékenységének biztosítása leggyakrabban talajjavítási technológiákkal, illetve talajvédelmi szabályozással érhető el.

2.5 Talajvédelem és szabályozás

Az Országos Talajvédelmi Stratégia elsődleges feladata a talaj, mint környezeti elem védelme, mely különbséget tesz mennyiségi és minőségi védelem között. Az EU-konform talajvédelmi stratégia legfontosabb célkitűzései közé tartozik az ésszerű talajhasználat, a talajdegradációs folyamatok mérséklése, a talaj vízháztartásának szabályozása beleértve az árvíz, belvíz és az aszály megakadályozását, illetve a talajba jutott anyagok biogeokémiai ciklusának szabályozását.

2.5.1 Szabályozás Magyarországon

A hazai szabályozásból kutatási munkánkhoz kapcsolódóan a 36/2006, a 29/2006 és a 90/2008 rendeleteket emeljük ki.

A **36/2006 (V. 18.) FVM rendelet** a termésmnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szól. Termésmnövelő anyagnak tekinthető többek között a komposztot, talajkondicionáló- és mikrobiológiai készítményeket és talajjavító anyagokat. (Ez utóbbiak iparilag előállított termésmnövelő anyagok.)

A **29/2006. (IV. 10.) FVM rendelet** a talajtani szakvélemény készítésének részletes szabályairól szól. E rendelet értelmében a termőföldön folytatott mezőgazdasági tevékenységekkel, illetve beavatkozásokkal, valamint a termőföld igénybevételel járó vagy arra hatást gyakorló beruházásokkal kapcsolatos talajvédelmi követelmények meghatározásához talajtani szakvélemény készítése szükséges. Ilyen tevékenységek például a savanyú, a szikes és a homoktalajok javítása; a mezőgazdasági célú hasznosítást lehetővé tévő rekultiváció, újrahasznosítás; a tereprendezés; az öntözés; vagy hígtrágya termőföldön történő felhasználása.

A **90/2008. (VII.18.) FVM rendelet** A jogszabály tartalmazza a talajvédelmi terv készítésének részletes tartalmi és formai szabályait ügýtípusonként, meghatározza a talajvédelmi tervek érvényességének időtartamát, rendelkezik a talajvédelmi terv készítésének jogosultságáról, egyes tevékenységek ismételt engedélyezéséhez szükséges ellenőrző vizsgálatokról, továbbá tartalmazza a talajvédelmi terv elkészítését megalapozó laboratóriumi vizsgálatokhoz szükséges talajmintavétel szabályait és a vizsgálati szabványokat (FVM 2008).

2.6 Talajjavítás és hulladékok hasznosítása

Talajaink mezőgazdasági hasznosíthatóságát számos eredendő és "szerzett" talajhiba (pl. kövesség) korlátozza, ezek egy részét nem érdemes javítani, továbbá a gyenge termőképességű talajok pedig nem javíthatóak gazdaságosan. Azonban azokat a talajokat, melyek egykor kedvező tulajdonságokkal rendelkeztek, ám a mezőgazdasági tevékenység miatt károsodtak, különböző talajjavítási eljárásokkal termékennyé tehetőek, tehát a korábbi állapot helyreállítására (rekultivációra) van szükség. Javításra szoruló talajaink közel 70%-a savanyú talajok közé tartozik, ennek 15%-át a homoktalajok teszik ki. (Füleky, 2011). Stefanovics három talajjavítás típust különböztetett meg, melyeket illetve az általánosan régóta alkalmazott eljárásokat az alábbi 2. táblázat foglalja össze (Stefanovics, 1999):

2. táblázat Talajjavítás típusai

Talajjavítás típusa és célja	Alkalmazott eljárások
Fizikai: a talajhibák mechanikai hatásokkal való megszüntetése vagy az adott talajszelvényben nem található anyagokkal való javítás	<ul style="list-style-type: none"> • mélyforgatás • altalajlazítás • drénezés • márgázás • réteges homokjavítás
Kémiai: talajhibák kémiai anyagokkal való megszüntetése, illetve káros hatásuk csökkentése	<ul style="list-style-type: none"> • meszezés • altalajterítés • gipszezés
Biológiai: a talaj kedvezőtlen tulajdonságainak természetű növények segítségével történő mérséklése	<ul style="list-style-type: none"> • Westisk-féle zöldtrágyázásos homokjavítás • erőteljes gyökérzetet fejlesztő növények termesztése

Egyszerre két problémakört is tudunk orvosolni azáltal, ha különböző emberi tevékenységből származó hulladékot, illetve mellékterméket használunk fel talajjavítás céljából, hiszen minden nagy szerves anyag tartalmú, természetes eredetű anyag növeli a talaj szerves anyag koncentrációját, elősegíti a humuszképződést, javítja a talaj szerkezetét és kedvezőbbé teszi annak víz- és tápanyaggazdálkodását (Vermes, 2005). Természetesen az innovatív hulladékmenedzsment része az, hogy a felhasználni kívánt hulladék kockázatait, azaz a veszélyességét, fizikai, kémiai valamint biológiai tulajdonságait feltérképezzük, illetve a javításra szoruló talaj talajromlási folyamatait, alkalmazható technológiákat ismernünk kell. (SOILUTIL 2010)

Gruiz és munkatársai mikrokozmosz kísérletek során vörösiszap (0–50%), valamint vörösiszappal kevert talaj (0–50%) talajjavításra való felhasználhatóságát tanulmányozták nyírségi savanyú homoktalajokba keverve. Három hónap után az 50% vörösiszap bekeveréssel 20%, míg az 50% vörösiszappal kevert talaj 37%-os víztartóképeség növekedést eredményezett a homoktalajon. Továbbá azt is megállapították, hogy ha vörösiszappal kevert talaj javításához aprított olajos PET palackot használnak 1%-ban bekeverve szintén szignifikánsan növeli a víztartóképeséget és a biológiai aktivitást is. (SOILUTIL 2010)

2.7 Innovatív talajjavítási adalékanyag: a bioszén

Az európai Bioszén Alapítvány (*European Biochar Foundation*) 2012-es definíciója szerint a bioszén egy olyan faszén jellegű anyag, amely környezeti fenntarthatósági szempontok alapján beszerzett és feldolgozott biomassza pirolízise során keletkezik, kontrolált körülmények között, és amelynek hasznosítása nem jelenti annak gyors mineralizációját CO₂ termelődésével (EBC 2012).

Quilliam és munkatársai (2013) úgy fogalmazzák, hogy a bioszén alkalmazása talajok minőségének és gabonatermésének javítására egy újfajta kialakulóban lévő technológia, mely potenciálisan nyerő stratégia lehet az ökoszisztéma kiszolgáltatásában. Tehát a bioszén elsősorban leromlott minőségű talajok javítására szolgál, ugyanis porózus szerkezete és a nagy fajlagos felületének köszönhetően javítja a talaj víztartókéességét, a tápanyaghasznosítását és nagy felületet biztosít (Sohi és mtsai, 2009). Megváltoztatja a talaj kémhatását, ugyanis a bioszén mészhatással bír, így a pH növekedés hatására az adszorpciós kapacitás is növekedik, illetve megakadályozhatja a tápanyagok kimosódását a talajból. (Rékási és Uzinger, 2015) A bioszén a talajban megváltoztathatja a biológia közösség összetételét és eloszlását, ugyanis hosszú távon a pórusok lakhelyet jelentenek a mikroorganizmusok számára, míg rövid távon a bioszén környezetében lejároló változások miatt növekszik a mikrobiális biomassza és aktivitás, azonban a talajlakó növényekre és állatokra kockázatot is jelenthet (Lehmann és mtsai, 2011). Mindezek mellett a bioszén rendkívül stabil anyag, évszázadokon át változatlan marad így ennek a tulajdonságának köszönhetően a talajból származó üvegházhatású gázok emisszióját csökkenti (Sohi és mtsai, 2009).

A bioszén gyártása során nemcsak a hulladék biomassza hasznosul, hanem energia is termelődhet, ugyanis pirolízis alkalmazása esetén a bioszénből –az energia termelése mellett– olyan hasznok realizálhatóak, melyekkel a pirolízis behozhatatlan környezeti, gazdasági és társadalmi előnyökre tehet szert a többi energiatermelési technológiával szemben; ilyenek a talajjavítószerként és szilárd talajoltó-anyag hordozó anyagaként történő hasznosítás. Ezek a környezeti és társadalmi-gazdasági hasznok messze túlkompenzálhatják a technológiai szempontból jelenleg mutatkozó hátrányokat, melyek a jól bevált és rutinszerűen gyakorolt energiatermelő technológiákkal összehasonlítva esetleg felléphetnek. (Zöld Ipari Innováció, 2013) Azonban szerves anyag pirolízise során PAH (policiklusos aromás szénhidrogén) vegyületek keletkeznek, melynek egy része a bioszén felületére abszorbeálódik, míg egy

másik hányada az atmoszférába kerül más gázokkal és a pernyével együtt. A bioszénben leggyakrabban előforduló PAH a naftalin (Fabbri és mtsai, 2013).

2.7.1 Bioszén előállítás

A bioszeneket pirolízissel állítják elő. Három különböző pirolízis technikáról beszélhetünk, úgymint a lassú pirolízis, gyors pirolízis, valamint az elgázosítás és az ehhez kapcsolható flash és hidrotermális karbonizáció. Az alkalmazott hőmérséklet szerint a pirolízis lehet alacsony (500 °C alatti), közép (500–800 °C) és magas hőfokú (800 °C felett). A lassú karbonizációs technológiát alkalmazzák már évek óta a faszén gyártásánál is, és megvan az az előnye a többi eljárással szemben, hogy a berendezés olcsó, mérete kicsi, változatos lehet a kiindulási biomassa és több bioszént termelnek a többi termokémiai folyamathoz képest. Ennél az eljárásnál alacsony hőmérsékletet, lassú hevítési sebességet és hosszú tartózkodási időt alkalmaznak a bioszén előállítására.

A gyors pirolízisre jellemző az 550 °C hőmérséklet a nagyon rövid tartózkodási idő (<2s), és a gyors felfűtési sebesség mely nagyobb, mint 2 °C/min. Ennek a technikának az elsődleges terméke a bioolaj, mely az eredeti biomassa 60–70%-t tesz ki, míg a bioszén jellemzően csak 15–25%-ot.

Az elgázosítás igen magas hőmérsékleten történik (800–1000°C), hosszú tartózkodási idővel, ezzel a technológiával legnagyobb arányban pirolízis gáz keletkezik, illetve a keletkezett faszén igen nagy koncentrációban tartalmazhat fémeket, emiatt a felhasználhatóságuk köre csökken.

A flash karbonizáció maximum 600°C-on 1–2 MPa kezdeti nyomással történik, melynél a tartózkodási idő kevesebb, mint 30 perc; ilyen körülmények között az illóanyagok kondenzálódnak, és másodlagos szenesedés történik, így akár az eredeti biomassa szénttartalmának 65%-a visszanyerhető. A hidrotermális karbonizáció lehetőséget teremt nedves hulladékok hasznosítására, az eljárás 200°C-on és 20 bar nyomáson megy végbe, melynek során keletkező zagy víztartalmát kipréselik, a szilárd bioszén pogácsát pedig kiszárítják. (*Terra Preta* Pályázat - HU09-0029-A1-2013)

A folyamat végén az eredeti szerves anyag szerkezete megváltozik és alapvetően három különböző frakció alakul ki. Legnagyobb részt az úgynevezett perzisztens frakció képződik, amely grafitszerű kristályos struktúrát tartalmazó amorf anyag, és jellemzően ellenálló a

további biológiai és kémiai bomlással szemben. A következő frakció a labilis frakció, amely annál nagyobb, minél gyorsabb a pirolízis folyamata, tehát minél tökéletlenebb a szenesedés növényi eredetű bioszén esetén pedig főleg cellulózból és hemicellulózból áll. A labilis frakció akár néhány hét alatt is mineralizálódhat, így a benne lévő tápanyagok viszonylag gyorsan elérhetővé válnak. A harmadik frakció a hamu frakció, melyet a talaj élővilága azonnal tud hasznosítani. Ez a frakció a pirolízis során alkalmazott hőmérséklet nagyságával és oxigén mennyiségével nő. (Rékási és Uzinger, 2015)

A bioszenek tulajdonságai, a talajra gyakorolt hatásai, toxicitása így a későbbi felhasználhatóságuk függ mind a kiindulási biomassza összetételétől, mind a pirolízis technológiai megvalósításától és az alkalmazott hőmérséklettől.

2.7.2 Bioszén alapanyagok

Elméletben minden széntartalmú anyag potenciális bioszén lehet a pirolizálást követően; a pirolizálni kívánt anyag származhat mezőgazdasági hulladékból, erdőgazdálkodási maradványokból, (fűrészpor, gabonahéj, csonthéj) használt gumibroncsokból, öreg építőanyagokból, állati trágyából, szennyvíziszapból vagy akár háztartási szilárd hulladékból. (Brewer, 2012). A 3. és 4. ábrán két különböző kiindulási anyagból készült bioszén szerkezeti eltérése figyelhető meg.



3. ábra: Bioszén, kínai nádból



4. ábra: Bioszén, mogyoróhéjból

A bioszenek összetétele nagymértékben változik a kiindulási anyag függvényében, például keményfa pirolízise során keletkezett bioszén széntartalma 90% fölötti, addig a köles karbonizációja során keletkezett bioszén széntartalma csak 35%. Általánosságban elmondható, hogy minél nagyobb a hőmérséklet és minél hosszabb a tartózkodási idő, annál kevesebb szén, oxigén és hidrogén marad a szilárd termékben. A bioszén tartalmaz makro- és

mikrotápanyagokat, mint például a kalcium, réz, vas, kálium, molibdén, nikkel, foszfor és kén; természetesen ezen elemek aránya és mennyisége függ a kiindulási biomasszától. A növényi biomasszából, valamint trágyából készült bioszenek N, P, K és S tartalma nagyobb, mint a fa-alapú bioszenek termékeké, a csirketrágya alapú bioszén például 45%-os ásványianyag-tartalommal bír.

2.7.3 Bioszén felhasználása a környezetvédelemben

A bioszenek környezetvédelmi célú alkalmazásához kapcsolódóan legtöbb irodalom talajjavítást célzó felhasználásukkal foglalkozik, illetve egyre több publikáció jelenik meg talajremediációban való alkalmazhatóságukról is.

Uchimiya és munkatársai (2011) például nehézfémekkel szennyezett talajban vizsgálták hatását. Úgy találták, hogy a nagy oxigén tartalmú gyapotmaghéj alapú bioszén magas nehézfém (Cu, Ni, Cd és Pb) felvételt produkál.

Sheng-Gao Lu és munkatársai (2014) rizshéjből készült bioszén és pernye hatásait vizsgálták agyagos talajon. Úgy találták, hogy mindkét adalékanyag szignifikánsan növelte a talaj aggregátumok stabilitását.

Továbbá a rizshéj alapú bioszén fokozta a makroaggregátumok képződését, növelte a talaj víztartókéességét és az elérhető víz mennyiségét. Azt tapasztalták, hogy a bioszén és a pernye alkalmazásával szignifikánsan csökkenthető az agyagos talaj szakítószilárdsága, ezáltal könnyebben művelhetővé válik.

Kiemelt szerep az üvegházhatású gázok kibocsátására gyakorolt hatás tanulmányozása is. Case és munkatársai (2015) egy hosszú távú szabadföldi kísérletben figyelték a nitrifikáció, denitrifikáció és a N₂O kibocsátás alakulását. Úgy találták, hogy a közel telített műtrágyázott talajban közel 91%-al szorították vissza a N₂O kibocsátást, míg az összesített denitrifikációt 37%-al csökkentette a keményfából készített bioszén használata.

Basso és munkatársai (2012) szerint a bioszén növeli a homokos agyagtalajok víztartókéességét, és a tápanyag elérhetőséget, illetve összességében fokozza a homokos talajok minőségét.

Pellera és munkatársai (2012) többféle alapanyagból, lassú karbonizációval készült bioszeneket vizsgáltak Cu²⁺-nek vízből történő adszorpciója szempontjából. Megállapították, hogy a 300°C-on történő karbonizáció ebben az esetben előnyösebb, mint a 600°C, így pl. a

narancs hulladék eredetű bioszén adszorpciós kapacitása 10,26 mg/g, míg a komposzt eredetű bioszéné 10,14 mg/g.

A talajjavításon kívül számos más környezetvédelmi célú felhasználási területe van a bioszeneknek. Ezek közül az egyik a szennyvíztisztítás. Li Shi és munkatársai (2014) festékmарadványok, pontosabban a szennyvizekben megtalálható, és nehezen biodegradálható metilénkék festék adszorpcióját vizsgálták anaerob szemcsés szennyvíziszap alapú bioszénnel. Kísérleteik során arra jutottak, hogy az adszorpció megfelelően illeszkedik a Langmuir izoterm modellre, és hogy a szennyvíziszap alapú bioszén nagyon ígéretes adszorbens lehet festékekkel szennyezett vizek tisztításánál.

2.8 Környezeti kockázatmenedzsment

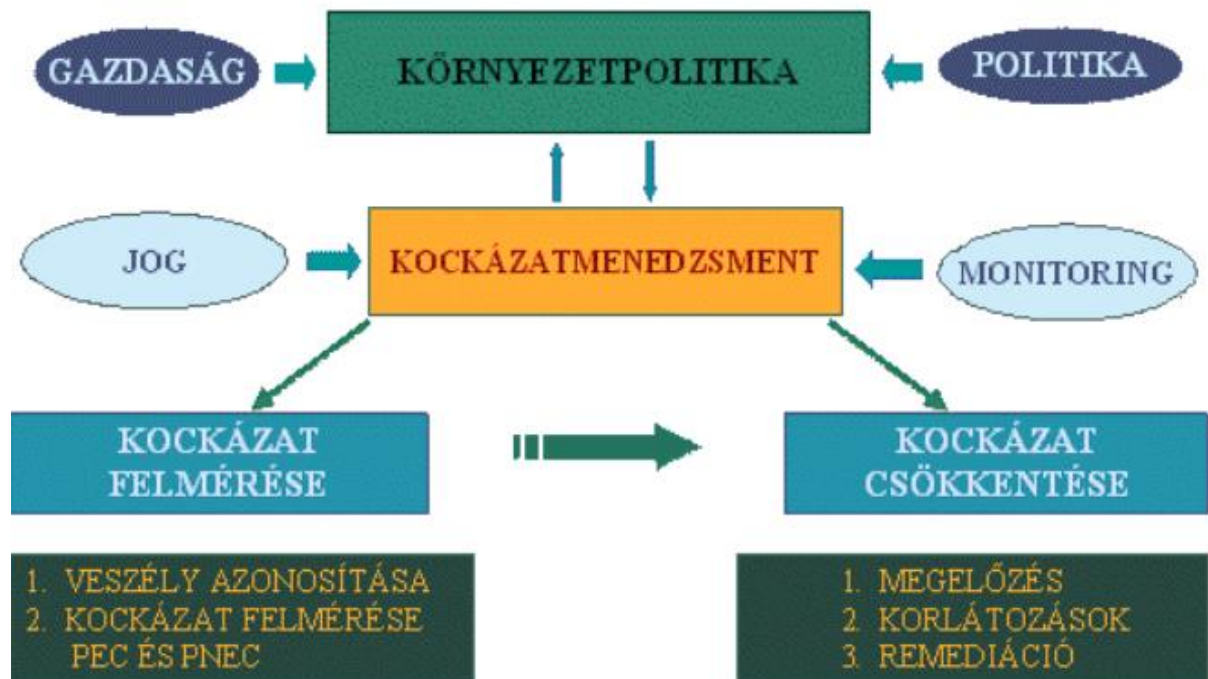
A bioszenek talajra történő alkalmazása a környezetmenedzsment tevékenységei közé tartozik, mivel célunk a talajromlás vagy a talajszennyeződés kockázatának csökkentése bioszén alkalmazásával.

A kockázatmenedzsment a környezetmenedzsment legfontosabb eszköze; a környezeti kockázatmenedzsment függvénye a környezetpolitikának, az pedig a *nagypolitikának* és a gazdasági helyzetnek.

A környezeti kockázat a vegyi anyagok okozta káros hatás bekövetkezésének valószínűsége, tényleges vagy előre jelzett előfordulási gyakorisága, amennyiben az ember vagy az élőlények expozíciója bekövetkezik. (Molnár, 2015)

A környezeti kockázatmenedzsment két legfontosabb támogatója a környezetmonitoring és a környezetvédelmi jogi háttér, a rendeletek. A monitoring által szolgáltatott adatok alapján követjük nyomon a környezet állapotváltozásait, és próbáljuk előre jelezni a jövőben várható állapotokat. Ezt kell összehasonlítani az elfogadható, törvénybe is beiktatott kívánatos minőséggel, ha az előre vetített állapot rosszabb, mint a kívánatos, akkor kockázatcsökkentő intézkedéseket kell végrehajtani, úgy, mint a megelőzés, remediálás, vagy korlátozás, melyek alkalmazását jogi háttér biztosítja. (KÖRINFO 4)

A környezeti kockázatmenedzsment felépítését az 5. ábra foglalja össze.



5. ábra Környezeti kockázatmenedzsment

Forrás: KÖRINFO

A kockázatmenedzsment főbb tevékenységei a következők:

1. Kockázattervezés: magába foglalja a kockázatok feltérképezését, azonosítását, azok elemzését és a kockázatok elleni védekezés megtervezését.
2. Kockázatkezelés megszervezése: itt folyamatszervezés zajlik, a különböző technológiák, eljárások, ügyrendek, munkaköri feladatok szabályozása, illetve a vonatkozó kézikönyvek, kezelési útmutatók elkészítése.
3. Kockázatkezelés végrehajtásának irányítása
4. Ellenőrzés: ebben a munkaszakaszban a kockázattervezés, kockázatkezelés megszervezésének és a kockázatkezelés végrehajtásának ellenőrzése folyik.
5. Kockázatmenedzsment továbbfejlesztése: tanulságok feljegyzése, hasznosítása (Czakó, 2006)

A hulladékhasznosítás kockázatközpontú tevékenységeiben, a hulladékok talajra alkalmazásába kiemelt fontosságú a környezettoxicológia. Környezettoxicológiai tesztek alkalmazunk az alkalmazott adalékok esetleges kockázatának felmérésére, az adott környezeti elem (esetünkben talaj) toxicitásának vizsgálatára; továbbá a kifejlesztett innovatív

technológia komplex monitoringjában is a kockázat jellemzését szolgálják a környezettoxikológia módszerei.

2.8.1 Környezettoxikológia

A környezettoxikológia a környezetbe került vegyi anyagoknak az ökoszisztéma tagjaira gyakorolt hatását méri és ebből törekszik előrejelzést adni a teljes ökoszisztémára. Mivel a teljes ökoszisztéma vizsgálata nem megvalósítható ezért a felmérés egy-egy kiválasztott jellemző faj, vagy laboratóriumi tesztorganizmusok válasza által történik. Ez alapján következtetünk a teljes ökoszisztémára. (Gruiz és mtsai, 2001)

A környezetünkbe kerülő vegyi anyagok az ökoszisztéma szerkezetére, funkciójára, ezen keresztül az emberre is hatással vannak, tehát globális veszélyt jelentenek. A környezettoxikológia ezen vegyi anyagok káros hatását hivatott kimutatni. Azonban nem csak a természetidegen vegyi anyagok, xenobiotikumok, hanem természetes eredetű szerves és szervetlen anyagok a megszokottól eltérő eloszlásban is terhelhetik a környezetet, ha extrém nagy értékek kerülnek a földi anyagforgalomba.

A vegyi anyagoknak az emberre és az ökoszisztémára gyakorolt hatásaira a toxikológiai illetve ökotoxikológiai tesztek eredményéből következtethetünk. Az emberre gyakorolt hatást az emberi anyagcserével hasonlóságot mutató, jól bevált tesztorganizmusok eredménye alapján, extrapolációval kapjuk meg.

A környezettoxikológia a vegyi anyagok környezeti kockázatának meghatározásához szükséges alapvető adatokat szolgáltatja, vagyis a vegyi anyag hatására vonatkozó információkat. A vegyi anyag hatásán, a dózis-válasz, illetve a koncentráció-válasz összefüggés ismerete alapján meghatározható károsan még nem ható környezeti koncentráción kell alapulniuk a környezeti minőségi kritériumoknak, a határértékeknek is. A környezettoxikológia multidiszciplináris tudományág. Számos tudományterület közreműködésére szüksége van a környezeti toxikológiának pl.: ökológia, biológia, mikrobiológia, biokémia, biometria, szerves és szervetlen kémia, matematika.

A vegyi anyagok hatásának három fontos alapfolyamata van:

- A vegyi anyag a környezetbe kerülése után kölcsönhatásba lép a környezetével. Terjed, megoszlik a különböző fázisok között, átalakul, degradálódik, stb. Ezek a folyamatok határozzák meg a vegyi anyag környezeti koncentrációját.

- A vegyi anyag molekuláris szinten kölcsönhatásba lép az élőlényel és elérheti annak létfontosságú szerkezeti részét vagy valamely fontos feladatot ellátó molekuláját pl.: enzimfehérje, genom.
- Ennek eredményeképp a hatás magasabb szintekre is áttérjed és megjelenik pl.: biokémiai vagy fiziológiai szinten, viselkedés szintjén, a populáció vagy akár az egész ökoszisztéma szintjén.

(Gruiz és mtsai, 2001)

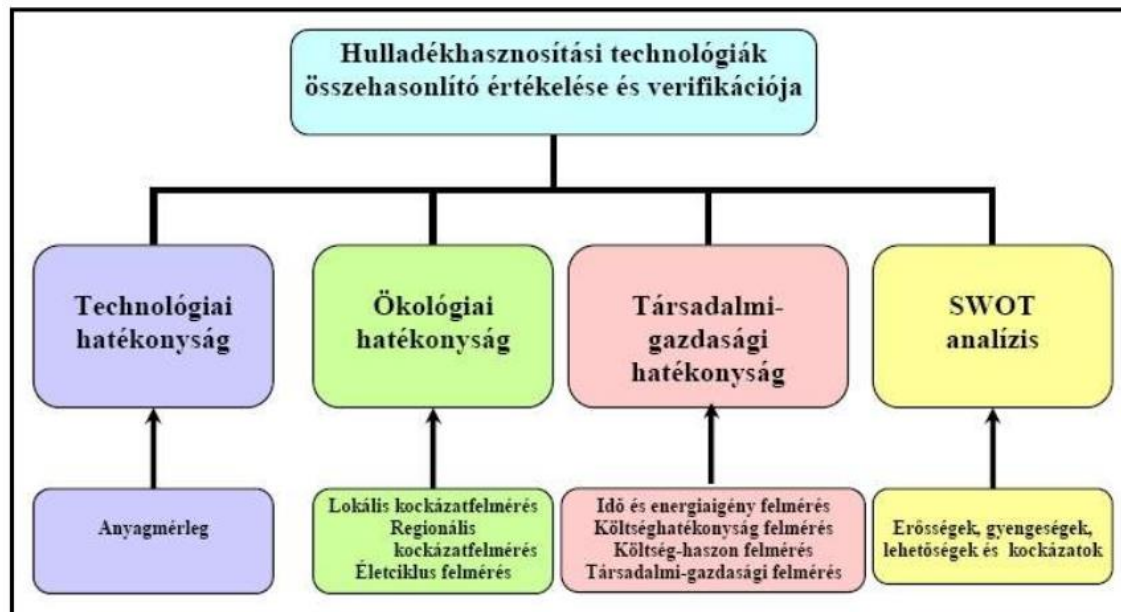
A hulladékhasznosítás kockázatközpontú menedzsmentjének elsődleges feladata a különböző hulladékok hasznosításához megfelelő talajjavítási technológiák összehasonlító elemzése és verifikációhoz, azaz igazolásához megfelelő metodikák kidolgozása. Egy újonnan kifejlesztett technológia hatékonyságát szükséges igazolnunk, és ellenőriznünk, hogy az elvárásoknak mennyire felelt meg, ennek metodikáját adja a verifikáció.

2.9 Technológia verifikáció

Egy technológiáról, főként, ha az egy újonnan kifejlesztett technológia, meg kell mondanunk, hogy mennyire teljesítette az elvárásunkat, mennyire "jó". Tehát a verifikáció, a technológia jóságának bizonyítása a verifikációs módszer ismeretében összeállított technológia-monitoringból származó adatok alapján, számításokkal elvégzett művelet, ahol a számított értékeket össze kell vetni az elvárásokkal. (KÖRINFO 3)

Minden technológia verifikáció több elemből tevődik össze, melyet a 6. ábrán is láthatunk:

1. Anyagmérleg alapján lehet megítélni a technológiai hatékonyságot.
2. A környezethatékonyságot a kockázatok felmérése és a teljes életciklus elemzés mutatja meg.
3. A gazdasági hatékonyságot a költségek, a költséghatékonyság, illetve a hasznok figyelembe vételével számítható költség-haszon felmérés alapján számítjuk.
4. A társadalmi hatékonyságot, pedig a szociális feltételek és a szolgáltatások rendszerének változása, az élet minősége mutatja. (SOILUTIL 2013)



6. ábra Hulladékhasznosító technológiák verifikációja (Gruiz és mtsai, 2010)

Ezek között a jellemzők között vannak abszolút értékben, kvantitatív jellemzők alapján is értékelhetőek, és vannak olyanok, bár azok is kvantitatív értékek, melyek csak összehasonlításban értékelhetőek pl.: az energiafelhasználás megítélésének, csak más alternatív technológiákkal összehasonlítva van értelme. Vannak olyan jellemzők is melyek eleve nem kvantitatív értékek, pl.: a szociális hasznok egy része, az esztétikai hasznok, melyeket pontszámmal vagy egyéb kvalitatív jellemzőkkel lehet minősíteni. (KÖRINFO 3)

Kutatás-fejlesztési munkánk során, a bioszénnel történő talajjavítási technológia átfogó értékelésének keretében a technológia és környezethatékonyságot jellemeztük, illetve SWOT elemzést végeztünk mikrokozmosz kísérleteink és szabadföldi kísérleteink első eredményeire alapozva.

3. Anyagok és módszerek

TDK dolgozatunk kiemelt célkitűzése innovatív talajjavítási technológia megalapozása bioszénrel, ehhez kapcsolódóan a bioszén többcélú alkalmazása homokos illetve savanyú talajok javítására talajadalékként, valamint mikrobiális talajoltóanyag hordozójaként.

A technológia háttérének megteremtéséhez, megfelelő megalapozásához és kidolgozásához a fokozatos méretnövelés koncepcióját választottuk.

3.1 Kísérleti összeállítás

A következőkben ismertetjük talajjavítást célzó léptéknöveléses kísérletsorozataink összeállítását az alkalmazott technológiai paraméterekkel, majd bemutatjuk a kísérletek követésére alkalmazott komplex metodika eszköztárát.

A kutatás-fejlesztési munka első fázisában laboratóriumi kísérleteket végeztünk különböző bioszenek várható pozitív és negatív hatásainak kiszűrésére. Ezen kísérletek eredményei alapján választottuk ki a bioszeneket a technológiai kísérletekhez, a kutatás következő fázisaihoz (technológiai mikrokozmosz kísérletek és szabadföldi demonstráció).

Tizenhárom különböző eredetű és eltérő pirolízis technikával előállított bioszén – fizikai-kémiai, biológiai és ökotoxikológiai módszereket magában foglaló – un. integrált metodikával történő vizsgálatára és jellemzésére került sor.

3.1.1 Alkalmazott bioszenek

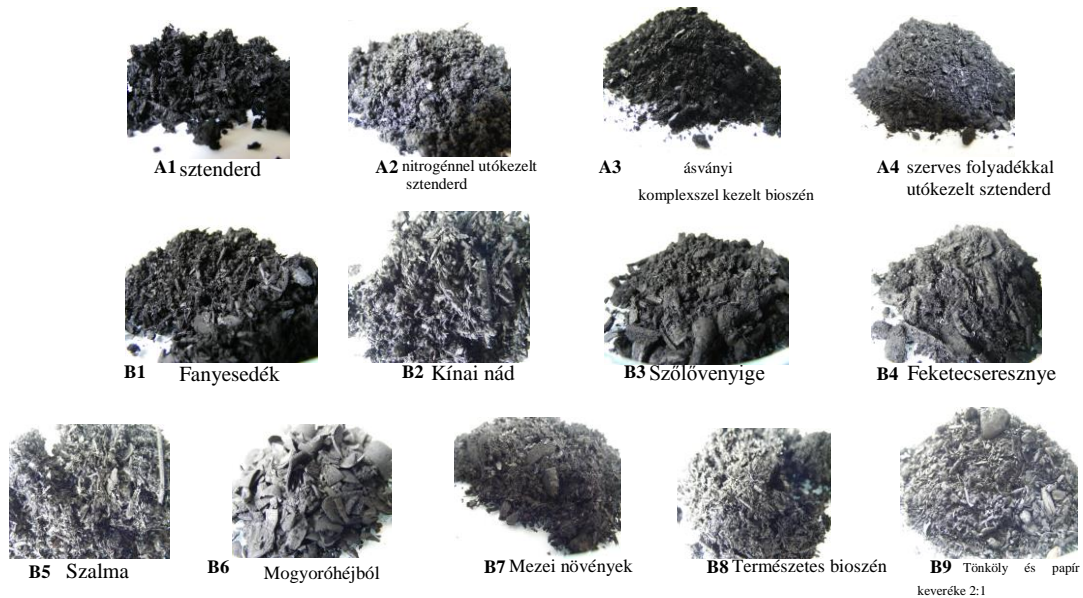
A 3. táblázatban foglaltuk össze azoknak a bioszeneknek a legfontosabb tulajdonságait és paramétereit, amelyekkel a kutatásunk első fázisában dolgoztunk, és amelyekből kiválasztásra került az a bioszén, melyet a második, azaz a mikrokozmosz és harmadik, azaz szabadföldes kísérlet során is alkalmaztunk.

3. táblázat A vizsgált bioszenek és főbb jellemzőik

Bioszén jele	Bioszén neve	Bioszén származása	Karbonizált biomasza eredete	Pirolízis hőmérséklete T (°C)	Tartózkodási idő (min)	Utókezelés
A1	Sztenderd bioszén	Sonnenerde Ausztria	gabona héj és papírgyártási szennyvíziszap	500	20	-
A2	Talaj aktiváló	Sonnenerde Ausztria	gabona héj és papírgyártási szennyvíziszap	500	20	nitrogénnel gazdagított, kóppal és komposztal utókezelt
A3	Bioszén és ásvány komplexum	Sonnenerde Ausztria	papírgyártási szennyvíziszap, gabona héj, fermentált anyagok és különböző ásványi anyagok, mint kőpor, foszfor és vas	450	20	-
A4	Utókezelt bioszén-ásvány komplexum	Sonnenerde Ausztria	papírgyártási szennyvíziszap, gabona héj, fermentált anyagok és különböző ásványi anyagok, mint kőpor, foszfor és vas	450	20	szerves folyadékkal utókezelt
B1	Bioszén fanyesedékből	Pyreg Németország	fűrészpor/fanyesedék/	600-700	15	-
B2	Bioszén miszkantuszából	Pyreg Németország	kínai nád (miszkantusz)	600-700	15	-
B3	Bioszén szőlő venyigéből	Pyreg Németország	szőlő venyige	600-700	15	-
B4	Bioszén fekete cseresznyéből	Pyreg Németország	fekete cseresznye	600-700	15	-
B5	Bioszén szalmából	Pyreg Németország	szalma	600-700	15	-
B6	Bioszén mogyoró héjből	Pyreg Németország	mogyoró héj	600-650	15	-
B7	Bioszén mezei növényekből	Pyreg Németország	mezei növények	600-700	15	-
B8	Bioszén természetes biomaszából	Pyreg Németország	természetes biomasza	700	15	-
B9	Bioszén tönköly és papír 1:2 keverékéből	Pyreg Németország	tönköly és papír 2:1 arányú keveréke	600-700	15	-

3.1.2 Bioszenek osztályozása

A 3. táblázatban látható, különböző szerves hulladékból származó és eltérő pirolízis technikával készült bioszén termékből összesen 13 darab állt a rendelkezésünkre a kutatás kezdetekor. A 7. ábrán látható bioszenekből történt a kiválasztás:



7. ábra A 13 bioszén, amelyből a kiválasztást végeztük

A különböző bioszeneket önmagukban és 10%-ban homoktalajba keverve is vizsgáltuk az 5.2. fejezetben található módszerekkel. Célunk az volt, hogy kiválasszuk a legjobban teljesítő bioszeneket, melyeket a mikrokozmosz, illetve későbbiekben a szabadföldes kísérlet során alkalmazhatunk. Az értékelés során figyelembe vettük a kémiai tulajdonságok közül a pH-t, izzítási veszteséget és a toxikus elemtartalmat, a fizikai tulajdonságok közül a víztartóképeséget, biológiai tulajdonságok közül az aerob heterotróf baktérium- és gombaszámot, ökotoxicitás szempontjából a *Sinapis alba* és a *Triticum aestivum* tesztnövények gyökér- és szárnövekedését, valamint a *Collembola* mortalitást.

Egy pontrendszert hoztunk létre, melyben minden vizsgált paraméterre egy sávos rendszert adtunk meg, amelyben egy-egy paraméterre az adott bioszén (-5) – (+5) pontszámot kapott (pontszámok: -5, -3, -1, 0, +1, +3, +5). A vizsgált paraméterekre kapott pontszámokat összeadtuk és a bioszenek között rangsort állapítottunk meg. Az eredményekből arra következtettünk, hogy a legtöbb pontszámot kapott bioszeneknek lesz majd a legkedvezőbb talajjavító hatása savanyú homoktalajokon. A szűrés részletes eredményeit, a bioszenek osztályozását az *Eredmények és értékelés* fejezetben mutatjuk be.

A kapott eredmények alapján talajjavítás szempontjából legalkalmasabb bioszén terméknek az A1, B4 és B1 bizonyult.

Mikrokozmosz kísérleteinkhez az A1 jelölésű gabonahéj és papírgyártási szennyvíziszap alapú bioszén, az A2 jelölésű bioszén, ami az A1 utókezelt változata és a B1 fanyaesedék alapú bioszén választottuk. Az árat és elérhetőségét is figyelembe véve alkalmasabbnak tartottuk, az A1 és B1 bioszén a B4 feketecseresznyéből készült bioszénhez képest. Az A2 termékre azért esett a választásunk, mert ugyan a teszteken rosszabbul teljesített, de ki szeretnénk volna próbálni, az A1 gyárilag utókezelt változatát, amihez már nem szükséges további tápanyagadagolás. A három kiválasztott bioszén terméket a következő ábrák (8–10. ábra) szemléltetik.



8. ábra A1-es bioszén



9. ábra A2-es bioszén



10. ábra B1-es bioszén

3.1.3 A Nyírlugosról származó homoktalaj tulajdonságai

A Nyírlugosról és környékéről származó talajok kolloidokban, humuszban és tápanyagokban keletkezésükből eredően általában szegények. Hangsúlyozni kell rendkívüli érzékenységüket mindenféle környezeti káros behatással vagy szakszerűtlen emberi beavatkozással szemben, mint pl. az elsavanyodás, tápelemhiány vagy annak egyoldalú túlsúlya, talajszennyezés, aszály stb. Mivel a homoktalajok átalakító, szűrő, pufferoló és megkötő képessége csekély, nem nyújthatnak megfelelő védelmet a talajvizek szennyeződése ellen. Ez különösen akkor érvényesül, ha a talajvíz a felszínhez közel helyezkedik el; ebben az esetben az ivóvízbázisok könnyen szennyeződhetnek nitráttal, nehézfémekkel, műtrágyák vivőanyagaival, növényvédő szerek maradványaival és bomlástermékeivel, esetleg szerves szennyezőanyagokkal (Kádár 1999, Németh 1996, Várallyay, 1998).

A talajképző kőzet uralkodóan a homok, a lápos területeken az iszapos vagy kissé agyagos homok, míg az altalaj minden esetben durvább szemcseösszetételű. A 11. ábrán a Nyírlugosi terület és a homoktalaj látható.



11. ábra Nyírlugosi terület és a homoktalaj

A terephullámok és a buckák közötti mélyedésekben fekvő talajok vízhatás alatt állnak. Ennek mértékétől függően lehetnek glejes, agyag-bemosódásos barna erdőtalajok, réti vagy réti lápos talajok. A talajvizek összetétele szerint a mélyedésekben a szikesedés is felléphet. A szikes talajok elterjedése azonban a Nyírségben jelentéktelen, előfordulásuk inkább a nyugati rész iszapos homokjaihoz kapcsolódik (Stefanovits, 1999; Egerszegi, 1960). Stefanovits (1999) a hazai homoktalajok elterjedését ismertetve felhívta arra is a figyelmet, hogy e talajok zöme humuszban szegény és gyengébb termőértékű. A nyírlugosi homoktalaj fő jellemzőit a 4. táblázat mutatja.

4. táblázat Nyírlugosi talaj fizikai és kémiai jellemzői
Forrás: (Farkas,2015)

Tulajdonság	Érték	Tulajdonság	Érték
Kötöttség (K_A)	26	pH(KCl)	4
Leiszapolható rész (L%)	8	Sótartalom (m/m%)	22
Kation adszorpció (T-érték)	5	Nátrium (mg/kg)	5
Homok % (0.05 mm felett)	85	Magnézium (mg/kg)	21
Iszap % (0.05-0.002 mm)	10	Réz (mg/kg)	2
Agyag % (0.002 mm alatt)	5	Cink (mg/kg)	1
Higroszkóposság (hy)	0,4	Mangán (mg/kg)	26
Víztartó képesség (VK%)	30	SO ₄ -S (mg/kg)	5
Humusz %	0,5	K ₂ O (mg/kg)	65
CaCO ₃ %	0	P ₂ O ₅ (mg/kg)	81
pH(H ₂ O)	4,9		

3.1.4 Mikrokozmosz kísérletsorozat összeállítása

Az előkísérleteket követően a kutatás második fázisa a mikrokozmosz kísérletsorozat összeállítása volt. Az első munkaszakasz kísérleti eredményei alapján kiválasztott három bioszén termék - papírgyártási szennyvíziszap és gabonahéj eredetű nitrogénnel dúsított bioszén, mely kőporos utókezelésben részesült; papírgyártási szennyvíziszap és gabonahéj eredetű bioszén utókezelés nélkül, valamint egy fanyesedék alapú bioszén - hatását vizsgáltuk laboratóriumi mikrokozmoszokban (7000 cm³). A mikrokozmoszokban a bekeverés 3–3 kg talajjal történt Nyírlugosról származó homoktalaj felhasználásával. Az egyik összeállított mikrokozmosz a 12. fotón látható.



12. ábra 3kg-os mikrokozmosz

Három mintavételre került sor a kísérlet során: az első a kiindulás időpontjától számított 3. napon történt (kiindulási), a következő 2 hét elteltével, míg az utolsó 7 hét múlva.

A bioszén háromféle dózis-kombinációján kívül - 0,1% (3 t/ha), 0,5% (15 t/ha), 1% (30 t/ha) - készítettünk olyan mikrokozmoszokat, ahol műtrágyát, és olyanokat is ahol komposztot is alkalmaztunk további adalékanyagként. Az így összeállított mikrokozmoszokon kívül kontroll edényeket is készítettünk, és minden mikrokozmosz variációt három párhuzamosban követtük nyomon.

A komposzt ASA gyáli hulladéklerakójában készült komposzt volt, amelyet lakossági zöldhulladékból, szerves ipari hulladékból és szennyvíziszapból készítettek. A műtrágya (továbbiakban NPK) paraméterei a következők voltak: N mennyisége ammónium-nitrát formában 61 kg/ha, P mennyisége P₂O₅ formában 22 kg/ha és K mennyisége K₂O formában

52 kg/ha. A dózisok megállapítása az MTA ATK TAKI ajánlásával történt; az ajánlott minimális dózis fele került bekeverésre.

A mikrokozmosz kísérletet követése is az 5.2 fejezetben tárgyalt módszerekkel történt.

A kísérletsorozat összeállítását az alábbi, 5. táblázat foglalja össze:

5. táblázat Mikrokozmosz kísérleti összeállítás

	mikrokozmosz variációk	Talaj	További adalékanyagok		Bioszén koncentrációk		
		nyírlugos	NPK	Komposzt	0,1%	0,5%	1%
kontroll minták	1.						
	2.						
	3.						
bioszén minták	4.						
	5.						
	6.						
	7.						
	8.						

A 6. táblázat a mikrokozmosz kísérlet során alkalmazott mennyiségeket, és jelöléseket mutatja.

6. táblázat Mikrokozmosz minták jelölésjegyzéke

Kezelés	Alkalmazott mennyiség
K	talaj
K+K	talaj + 11 t/ha komposzt
K+NPK	talaj + 0,025 t/ha műtrágya
A1 0,1%	talaj + 3 t/ha bioszén
A1 0,5%	talaj + 15 t/ ha bioszén
A1 1%	talaj + 30 t/ha bioszén
A1 0,5% NPK	talaj + 15 t/ ha bioszén + 0,025 t/ha műtrágya
A1 0,5% K	talaj + 15 t/ ha bioszén +11 t/ha komposzt

3.1.5 Szabadföldi kísérlet összeállítása

A szabadföldi kísérlet megtervezésében a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézete vállalt fő szerepet; 64 darab 20 m²-es parcella került beállításra véletlenszerű elrendezésben. A bioszén koncentrációi megegyeztek a mikrokozmosz kísérletben alkalmazott koncentrációkkal (0,1%, 0,5%, 1%).

További adalékanyagként NPK-t alkalmaztak, mely a nyírlugosi homoktalajra minimálisan alkalmazandó műtrágya mennyiségének a fele, ami a következőképp alakul: N-0,45 kg/parcella, P-0,24 kg/parcella, K-0,15 kg/parcella.

A kísérleti terület alapműtrágyázása után három különböző dózisban, négy ismétlésben vizsgáljuk a bioszén, az oltóanyag, a bioszén mellett alkalmazott oltóanyag, bioszénre vitt oltóanyag hatását a területen. Az oltóanyag is háromféle dózisban lett alkalmazva.

Két típusú kontrollt parcella került beállításra: alkalmaztunk: egy abszolút kontrollt, ahol semmilyen adalékanyag nincs (nem volt alapműtrágyázás sem), míg a másiknál NPK-s kezelés van. Ez eredmények értékelésénél az alapműtrágyázott kontroll parcellákhoz viszonyítva értékeljük a kezelések hatékonyságát. A következő táblázatok (7. és 8. táblázat) a kezeléseket illetve az elrendezést hivatottak szemléltetni:

7. táblázat Szabadföldi kísérlet kezelés variáció

Kezelések	Bioszén dózis (t/ha) + oltóanyag (kg/ha vagy l/ha)		
	1. szint	2. szint	3. szint
Bioszén	3 t (0,1%)	15 t (0,5%)	30 t (1%)
Bioszénre vitt oltóanyag	3 t + 1 kg por	15 t + 5 kg por	30 t + 10 kg por
Bioszén mellett oltóanyag	3 t + 1 l	15 t + 5 l	30 t + 10 l
Oltóanyag	1 kg por	5 kg por	10 kg por

8. táblázat Parcella elrendezés

BIOSZÉN NYÍRLUGO:	IV B	IV A	IV D	IV C	út	II D	III C	III B	III A	út	II C	II D	II A	II B	út	I A	I B	I C	I D	Ismétlés
kezelés	B1	A2	D4	C3		D1	C2	B4	A3		C1	D2	A4	B3		A1	B2	C4	D3	5 m
bioszén	-	8 kg	-	40 kg		-	8 kg	8+72 kg	40 kg		-	-	80 kg	8+32 kg		-	8 kg	80 kg	-	
oltóanyag	-	-	20 g	10 ml		-	2 ml	200 g	-		-	2 g	-	100 g		-	20 g	20 ml	10 g	5 m
kezelés	B2	A3	D1	C4		D2	C3	B1	A4		C2	D3	A1	B4		A2	B3	C1	D4	
bioszén	8 kg	40 kg	-	80 kg		-	40 kg	-	80 kg		8 kg	-	-	8+72 kg		8 kg	8+32 kg	-	-	5 m
oltóanyag	20 g	-	-	20 ml		2 g	10 ml	-	-		2 ml	10 g	-	200 g		-	100 g	-	20 g	
kezelés	B3	A4	D2	C1		D3	C4	B2	A1		C3	D4	A2	B1		A3	B4	C2	D1	5 m
bioszén	8+32 kg	80 kg	-	-		-	80 kg	8 kg	-		40 kg	-	8 kg	-		40 kg	8+72 kg	8 kg	-	
oltóanyag	100 g	-	2 g	-		10 g	20 ml	20 g	-		10 ml	20 g	-	-		-	200 g	2 ml	-	5 m
kezelés	B4	A1	D3	C2		D4	C1	B3	A2		C4	D1	A3	B2		A4	B1	C3	D2	
bioszén	8+72 kg	-	-	8 kg		-	-	8+32 kg	8 kg		80 kg	-	40 kg	8 kg		80 kg	-	40 kg	-	5 m
oltóanyag	200 g	-	10 g	2 ml		20 g	-	100 g	-		20 ml	-	-	20 g		-	-	10 ml	2 g	

A 7. táblázat jelölései a következőképp alakulnak:

- A: csak bioszén

- B: bioszén + a bioszénre mint hordozóra vitt oltóanyag (por)
- C: bioszén + oltóanyag a bioszén mellett (folyadék)
- D: csak oltóanyag

A parcellák kukoricával lettek bevetve és az időjárástól függően öntözve voltak. Négy mintavétel történt a szabadföldi kísérlet során: az első indulásnál, majd a kukorica 4–6 leveles korában, a harmadik a növény virágzásakor, míg a negyedik az aratás időpontjában. Sajnos, egyelőre csak az első két mintavétel eredményeit állt módunkban feldolgozni. A mintákat itt is, úgy, mint a bioszenek kiválasztásánál és a mikrokozmosz kísérleteknél is az 5.2 fejezetben tárgyalt integrált metodikával követtük és értékeltük. A 13. ábrán látható a parcellák felosztása illetve a bioszénrel való terítés. A 9. táblázat az alkalmazott jelölések magyarázatát szemlélteti.



13. ábra Nyírlugos indítás

9. táblázat Szabadföldi minták jelölésjegyzéke

A1	kontroll	
B1		
C1		
D1		
A2	A1 0,1%	csak bioszén 3 t/ha
A3	A1 0,5%	csak bioszén 15 t/ha
A4	A1 1%	csak bioszén 30 t/ha
B2	A1 0,1% (O)	bioszén+bioszénre vitt oltóanyag 3 t/ha bioszén+ 1 kg/ha por oltóá.
B3	A1 0,5% (O)	bioszén+bioszénre vitt oltóanyag 15 t/ha bioszén+ 5 kg/ha por oltóá.
B4	A1 1% (O)	bioszén+bioszénre vitt oltóanyag 30 t/ha bioszén+ 10 kg/ha por oltóá
C2	A1 0,1% +O	bioszén+ bioszén mellett oltóanyag 3 t/ha bioszén + 1 l/ha oltóá.
C3	A1 0,5% +O	bioszén+ bioszén mellett oltóanyag 15 t/ha bioszén + 5 l/ha oltóá.
C4	A1 1% +O	bioszén+ bioszén mellett oltóanyag 30 t/ha bioszén + 10 l/ha oltóá.
D2	O 1. szint	csak oltóanyag 1 kg/ha
D3	O 2.szint	csak oltóanyag 5 kg/ha
D4	O 3. szint	csak oltóanyag 10 kg/ha

3.2 Kísérletek követésére alkalmazott módszerek

A többlépcsős kísérletsorozatunk három fázisa során, a kísérletek követésére és értékelésére alkalmazott integrált fizikai-kémiai, biológiai és környezettoxikológiai módszereket magában foglaló metodikát ismertetjük a következőkben.

3.2.1 Fizikai és kémiai paraméterek vizsgálata

3.2.1.1 Vízretartóképesség

A talaj felszínéről a gravitációs erő hatására szivárgó víz mozgásában két fázist kell megkülönböztetni, mégpedig a víznyelés és a vízáteresztés fázisát. Víznyelésen a talaj pórusainak vízzel való fokozatos telítődését értjük. (Füleky, 2011)

A vízretartóképesség azért fontos, mert talaj porózusságáról, szerkezeti stabilitásáról ad képet. A mérés során azonos nagyságú műanyag csöveket készítettünk elő, amelyek egyik végére vékony szövetdarabot tettünk, így a víz szabadon áramolhatott, míg a vizsgált minták a csőben maradtak. Minden csőbe 25–25 g mintát mértünk be, majd egy közös vízfürdőre helyeztük őket és egy órán keresztül állni hagytuk, amíg a maximális kapacitásuknak megfelelő vízmennyiséget fel tudták venni. Ezután 3 órára homokfürdőre helyeztük őket. A homokfürdőre helyezett minták láthatóak a 14. és 15. ábrákon.



14. ábra: A homokfürdőre helyezett minták



15. ábra: A vízfördőből kivezett minták

A homokfürdő után minden mintából kivettünk 2 g-ot és szárítószekrényben 105 °C hőmérsékleten 6 órán keresztül kiszárítottuk tűzálló tégelyekben.

A mérés előtt fél órára exsikkátorban hagytuk kihűlni a mintákat, majd analitikai mérlegen mértük a pontos tömegüket.

Mérés kiértékelése: a mérés kiértékelése a következő képlettel történt:

$$\text{WHC (\%)} = \frac{m_{\text{nedves}} - m_{\text{száraz}}}{m_{\text{száraz}}} * 100$$

Ahol:

WHC%: a minta víztartó-képessége százalékban kifejezve

m_{nedves} : a hengerekből kivett, nedves talajminta tömege [g]

$m_{\text{száraz}}$: a súlyállandóságig szárított minta tömege [g]

3.2.1.2 Szárazanyagtartalom

A talaj nedvességtartalma vagy víztartalma az a vízmennyiség, amely a talajból távozik el, 105 °C-on történő tömegállandóságig történő szárítás alatt. A növények számára szükséges vizet is a talaj raktározza. A vízellátás szempontjából nagy jelentősége van annak, hogy a talaj mennyi hasznos vizet képes raktározni, és biztosítani a növények számára. (Füleky, 2011)

Mérés menete:

Kimértünk minden mintából 2–2 g-ot porcelán tégelyekbe, analitikai mérleg segítségével lemértük a pontos tömegüket, majd a víztartókéesség méréshez hasonlóan 105 °C-os szárítószekrénybe tettük őket tömegállandóságig majd lemértük a kiszáritott minták tömegét is. A porcelán tégelyekbe kivett minták láthatóak szárítás előtt a 16. ábrán.



16. ábra A szárításra bemért minták

Mérés kiértékelése: a szárazanyag-tartalmat az alábbi képletek alapján számoltuk:

$$\text{szárazanyag} - \text{tartalom}(\%) = \frac{\text{bemért anyag (g)}}{\text{szárítás utáni tömeg (g)}}$$

$$\text{nedvességtartalom}(\%) = \frac{\text{bemért anyag (g)}}{\text{szárítási veszteség (g)}} * 100$$

3.2.1.3 pH és vezetőképesség

A talajoldat pH-jának kialakulásában az oldott sók mennyisége és összetétele, a szerves és ásványi savak mennyisége és minősége, a kicserélhető kation-összetétel, a kolloidok bázis telítettsége, a talajlevegő széndioxid-tartalma, illetve az oldott CO₂-tartalom, a talaj karbonát-tartalma és a redoxi-folyamatok játszanak döntő szerepet. (Lájer, 2011)

Mérés menete:

A mérés során szárított, dörzsmozsárral porított, majd szitált mintát használtunk. A porításhoz száradni kitett minták láthatóak a 17. ábrán.



17. ábra Száradó bioszenek a porítás előtt

A mintákból kimértünk 5–5 g-ot és 12,5 ml desztillált vizet adtunk hozzá, majd 30 percen keresztül ráztuk a mintákat, hogy oldódjanak a talajban lévő anyagok. A mérés előtt kalibráltuk a gyári kalibráló oldatok segítségével a mérőberendezésünket, amely egy WTW (Wissenschaftlich Technische Werkstätten GmbH) típusú készülék; ez egy pH 330 mérőműszerből és egy pH Electrode Sentix 81 elektródból áll. A mérések között desztillált vízzel öblítettük és papírtörülkövel szárazra töröltük az elektródot.

Vezetőképesség mérés menete: a pH méréssel párhuzamosan, azonos módon történik.

3.2.1.4 Izzítási veszteség

A talajban levő szerves anyagok mennyiségének meghatározására izzítási veszteség meghatározást szoktak alkalmazni. Lényege az, hogy a talaj szervesanyag-tartalmát azzal a tömegvesztéssel jellemezzük, melyet a talaj akkor szenved, ha izzásig hevítjük. Ezt az izzítási veszteséget a száraz tömegre vonatkoztatva százalékban adjuk meg.

Az izzítási veszteség meghatározásakor abból indulunk ki, hogy a talaj szerves anyagrészei az ásványi alkotórészekkel ellentétben éghetőek. Az égéskor keletkező hamu tömege jelentéktelen, s így az izzítás előtt és után mért tömegek különbsége lesz a mértéke a szerves anyagok mennyiségének.

Mérés menete: a mintákból a fentiekben említett módon 2 g-ot kiveszünk porcelántégelyekbe majd 105°C-ra szárítószekrénybe tesszük őket 24 órára, ezután analitikai mérleggel mérjük őket (m_0). Kemencébe helyezzük a mintáinkat 600°C-ra 8 órán keresztül, majd exsikkátorban való lehűlés után mérjük a tömegüket.

Mérés értékelése a következő képlettel történt:

$$\text{Izzítási veszteség} = \frac{m_0 - m_1}{m_1} * 100$$

3.2.2 Biológiai aktivitás vizsgálata

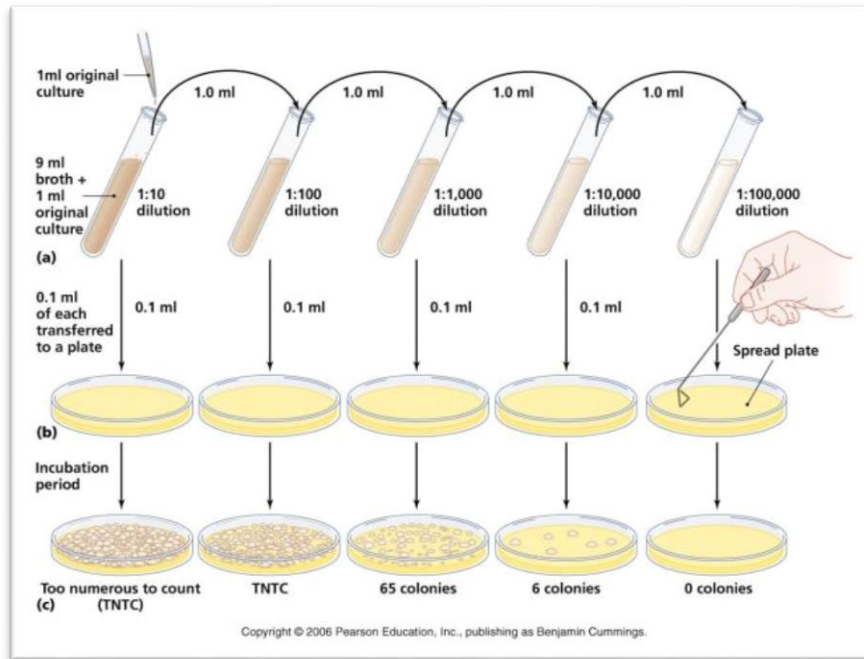
A különböző talajok biológiai aktivitása magában foglalja a talajban élő élőlények életvékenységének összességét, mely élőlényekbe beletartozik a mikrobiális világ mellett a mezo-, makro és megafauna összes aktivitása is. A talaj biológiai aktivitásának változását az alábbiakban ismertetett módszerekkel jellemeztük.

3.2.2.1 Aerob heterotróf baktérium- és gombaszám meghatározása lemezöntéssel

A biológiai tesztek korai figyelmeztető rendszerként is működhetnek, melyek a szennyezőanyag jelenlétét és káros hatását még az ökoszisztéma komoly károsodása előtt kimutathatják. (Gruiz, 2001)

A mintákból 1 g-ot mértünk ki steril vizet tartalmazó csavaros üvegekbe, majd 30 percen keresztül rázattuk őket 200 rpm fordulatszámon. Ezután hígítási sort készítettünk belőlük a 18. ábra alapján: 1 ml-t vettünk ki a megfelelő szuszpenzióból, majd 9 ml steril csapvizet tartalmazó kémcsőbe mértük. Mi előzetes vizsgálatok után 10^{-2} 10^{-3} és 10^{-4} -es hígításokkal dolgoztunk.

A kémcsövekből 100 μ l-t pipettáztunk steril műanyag Petri-csészékbe, amelyekre ráöntöttük a vízfürdőn felolvasztott, majd 45 °C-ra visszahűtött maláta és húslé agarokat.



18. ábra Hígítási sor készítése élősejtszám méréshez

Forrás: <http://enfo.agt.bme.hu/drupal/en/node/3001>

Az agarokat a 10. táblázatban található recept alapján készítettük el. A maláta agart használjuk a gombaszám meghatározáshoz, a húslét pedig a baktériumszám meghatározáshoz. Ezután körkörös mozdulatokkal elosztattuk a mintát a Petri-csészében, majd amikor megszilárdult az agar, 48 órán keresztül 30°C-on inkubáljuk.

10. táblázat Lemezöntésre használt maláta és húslé agar összetétele

Húslé-agar	Maláta-agar
5 g pepton	1 g pepton
5 g glükóz	5 g glükóz
3 g húskivonat	20 g malátakivonat
20 g agar	20 g agar
1000 ml csapvíz	1000 ml csapvíz
0,5 g NaCl	
pH=7	pH=6,5-7

A mérés kiértékelése során figyelembe vesszük, hogy egy sejtből egy telep képződik. A három párhuzamost átlagolva kapjuk a mérés eredményét db telepképző sejt/gramm nedves talaj mértékegységben.

3.2.3 Ökotoxikológia vizsgálatok

Az alkalmazott adalékok kockázatának jellemzésére, a talajjavítási technológia követésére és értékelésére a fizikai és kémiai analitikai vizsgálatok alkalmazása önmagában nem elég, pusztán ezek eredményei alapján nem lehet helyesen megítélni a helyzetet. Ökotoxikológiai vizsgálatok szükségesek az adalékok hatásának, egymás és a mátrix közötti kölcsönhatások eredményének jellemzéséhez.

A talajok ökotoxikológiai tesztelését, több, különböző trófikus szintről származó (bakteriális, növényi, állati) tesztorganizmussal végeztük, akut vizsgálatok során az alább ismertetett módszerekkel.

3.2.3.1 *Aliivibrio fischeri* biolumineszcencia gátlási teszt

Az *Aliivibrio fischeri* biolumineszcencia-gátlási teszt egy fajt alkalmazó, *in vitro* bakteriális, akut toxicitási teszt, mely alkalmazható felszíni vizek, pórusvíz, üledék, talajkivonat és teljes talaj vizes szuszpenziója toxicitásának meghatározására.

Az *Aliivibrio fischeri* érzékeny nehézfémekre, szerves makro- és mikro-szennyezőanyagokra. A módszer az *Aliivibrio fischeri* tengeri baktérium által emittált lumineszcens fény intenzitásának mérésén alapul. Gátló anyag jelenlétében a fényemisszió csökken, amelynek mértékét luminométerrel mérjük. Mivel az *Aliivibrio fischeri* tengeri organizmus, fontos, hogy a kísérlet során fenntartsuk a számára szükséges ozmózisnyomást.

Aliivibrio fischeri tápoldat összetétele a 11. táblázatban látható:

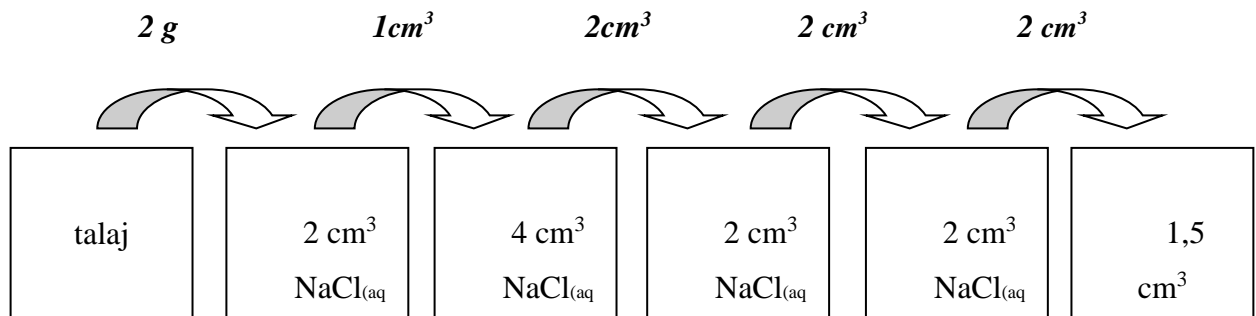
11. táblázat *A. fischeri* tápoldat összetétele

30 g	NaCl
6,1 g	NaH ₂ PO ₄ *H ₂ O
2,7 5g	K ₂ HPO ₄
0,204 g	MgSO ₄ *7H ₂ O
0,5 g	(NH) ₂ HPO ₄
5 g	pepton
0,5 g	élesztőkivonat
3 cm ³	glicerin
7,2	pH

A vizsgálathoz mindig frissen átoltott baktériumszuszpenziót használunk. Az átoltást a mérés előtt 16–18 órával végezzük el és a mérésig folyamatosan rázatjuk a tenyészetet 160 rpm-mel. 16–18 órás, 24°C-on történő rázatás után használható a szuszpenzió a mérésre. A módszer érzékenységének kezdeti beütésszámtól és hőmérséklettől való függése miatt egy standard réz-sort is készítettünk.

A standard sor készítéséhez $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ -t használtunk fel, míg a hígítást 2%-os NaCl-oldattal végeztük. Az alkalmazott Cu-sor tagjainak koncentrációja: 0,08, 0,4, 2, 10, 50, 200 és 400 ppm. A mérés kontrolljaként 2%-os NaCl oldatot és desztillált vizet használtunk.

A talajmintákból 19 ábrának megfelelően készítettük el a hígítási sorokat.



19. ábra Talajmintákból készített hígítási sor

A lumineszcenciát Fluostar Optima microplate leolvasó segítségével határoztuk meg. A mikrotitrátor lemez mélyedéseibe meghatározott sorrendben bepipettáztuk a hígítási sorok tagjaiból 50 μl -t. A megfelelő mérési protokoll alkalmazásával (Vízvári, 2014) az előzetesen elkészített *Aliivibrio fischeri* inokulumból a műszer automatikusan hozzámérte a tesztorganizmust (200 μl) az egyes cellákhoz. A beállított protokoll alapján a lumineszcenciát 0, 30 és 60 perc elteltével is megmértük. A százalékos biolumineszcencia-gátlást a kontroll talajhoz viszonyítva határoztuk meg.

3.2.3.2 *Sinapis alba* gyökér- és szárnövekedés gátlási teszt

MSZ 21976-88 szabvány alapján a vizsgálatok során a magok csírázására, gyökér- és szárnövekedésre gyakorolt hatását tanulmányozzuk a különböző talajokban, kontroll talajhoz viszonyítva. (Gruiz és mtsai, 2001)

A mérés során porított bioszenet és talajmintákat használtunk, amelyekből 5–5g-ot mértünk ki 9 mm-es Petri-csészékbe, majd 3 ml csapvízzel nedvesítettük, végül pedig egymástól megfelelő távolságban 20 db magot helyeztünk el minden Petri-csészében. Kontrollként szűrőpapír korongokat nedvesítettünk meg és arra helyeztük a magokat. A mintákat 22°C-on sötétben termosztáltattuk. A 72 órás termosztálást követően kifejlett növények láthatóak a 20. ábrán.



20. ábra A mustármagból fejlődött növények

A termosztálás után a mintákban egyesével lemértük a magok szár és gyökér hosszát vonalzó segítségével, majd gátlási százalékot számoltunk a következőképpen:

$$X = \frac{K - M}{K} * 100$$

Ahol:

X – a gyökér-, illetve szárnövekedés gátlás %-ban kifejezett értéke;

K – a kontrollként használt desztillált vizes szűrőpapíron csírázott magvak gyökér-, illetve szárhossza;

M – a vizsgált talajokon csírázott magvak gyökér-, illetve szárhossza. (Gruiz és mtsai, 2001)

3.2.3.3 *Triticum aestivum* gyökér- és szárnövekedés gátlási teszt

A közönséges búza egyszikű, évelő növény lévén toxikus anyagok jelenlétében gátolt gyökér- és szárnövekedést mutat ezért jó indikátor ökotoxikológiai vizsgálatokban.

Sinapsis alba-val megegyezően zajlik a vizsgálat azzal a különbséggel, hogy itt 16–16 db magot helyezünk minden Petri-csészébe és a magok csírázás után egy szárat és 3 gyökeret növesztenek, amelyeket mérünk, majd átlagolunk az értékeléshez. A 72 órás 22°C-on történő inkubálás hatására kifejlett növényeket mutatja a 21. ábra.



21. ábra Búzamazgól fejlődött növények

3.2.3.4 Letalitás teszt *Folsomia candida*val (*Collembola*)

A *Folsomia candida* faj a *Collembolák* (ugróvillások) rendjébe tartozik, ősi rovar. Apró (max. 3–4 mm hosszú) fehér állatkák, a hasi oldalukon ugróvillájuk van, amit ha hátracsapnak, felpattannak a levegőbe. A talajban élnek, erdőkben előfordulhat, hogy m²-enként 100 000 található belőlük. Hasi tömlővel lélegeznek, emiatt a talajgőzökre érzékenyen reagálnak nehézfémekre kevésbé, viszont szerves szennyezőanyagokra kiemelkedően érzékenyek, főleg az illékonyakra és a bőrön át felszívódókra. (Gruiz és mtsai, 2001) A 22. ábrán a *Folsomia candida* látható.



22. ábra *Folsomia candida* állatka

A mérés során porított, légszáraz talajmintákból 10–10 g-ot mértünk 370 ml-es üvegekbe, homogenizálás után 3,5 ml csapvízzel nedvesítettük.

Ezt követően speciális átrakó eszközzel 20–20 állatkát raktunk a talajokra. 2–2 g élesztőt adtunk minden mintához és szobahőmérsékleten sötétben tároltuk őket 1 héten keresztül.

Az egy hét elteltével félig felöntöttük csapvízzel az üvegeket és megszámláltuk a víz tetején úszó állatkák számát. A kiértékelés során a kontroll (kezeletlen) talajhoz viszonyítva értékeltük az egyes kezelések hatását.

3.2.4 Az eredmények értékelése és értelmezése

Mind a mikrokozmosz, mind a szabadföldi kísérletek értékelése során egyrészt az időbeni változások követésével, valamint a kezelt talajoknak a kontroll, azaz kezeletlen talajokkal való összehasonlítása alapján értékeltük az eredményeket.

A mintavételek kiértékelésekor statisztika analízist végeztünk. Minden mintavétel során 3–3 párhuzamossal dolgoztunk.

Annak érdekében, hogy meg tudjuk állapítani, hogy a hozzáadott bioszenek, illetve az alkalmazott kezelések szignifikáns eltérést mutatnak-e a kontroll (kezeletlen) talajhoz képest egyváltozós variancia analízist végeztünk (ANOVA) StatSoft® Statistica 12 program segítségével. Fisher féle LSD (*least significant difference*) módszert alkalmaztunk az egyes kezeléskombinációk összehasonlítására ($p < 0,05$).

4. Eredmények és értékelésük

TDK dolgozatunk kutatás-fejlesztési munkájának fő célkitűzése bioszenet alkalmazó innovatív talajjavítási technológia megalapozása és kidolgozása volt. Többlépcsős kutatási munkánk magában foglalta a különböző bioszén termékek tesztelését, szűrését a technológiai alkalmazhatóság céljából (előkísérletek), az azt követő megalapozó laboratóriumi technológiai kísérletsorozatot (mikrokozmoszok) továbbá a konkrét szabadföldi alkalmazást (szabadföld), és annak első eredményeit a komplex technológiaértékeléssel együtt .

4.1 A tesztelt bioszenek minősítése

A bioszenek minősítésre, potenciális alkalmasságuk jellemzésére pontszámos módszert dolgoztunk ki. Tizenhárom különböző típusú szerves hulladékból és eltérő pirolízis körülmények között előállított bioszenet vizsgáltunk és hasonlítottunk össze az első fázisban (előkísérletek). A bioszeneket önmagukban és 10%-ban homoktalajba keverve is teszteltük. Az értékelés során figyelembe vettük a kémiai tulajdonságok közül a pH-t, izzítási veszteséget és a toxikus elemtartalmat, a fizikai tulajdonságok közül a víztartóképeséget, biológiai tulajdonságok közül az aerob heterotróf baktérium- és gombaszámot, ökotoxicitás szempontjából a *Sinapis alba* és a *Triticum aestivum* tesztnövények gyökér- és szárnövekedését, valamint a Collembola mortalitást. A pontrendszerben minden vizsgált paraméterre egy sávos rendszert adtunk meg, amelyben egy-egy paraméterre az adott bioszén (-5) – (+5) pontszámot kapott (pontszámok: -5, -3, -1, 0, +1, +3, +5). A paraméterekre kapott pontszámokat összeadtuk és a bioszenek között rangsort állapítottunk meg.

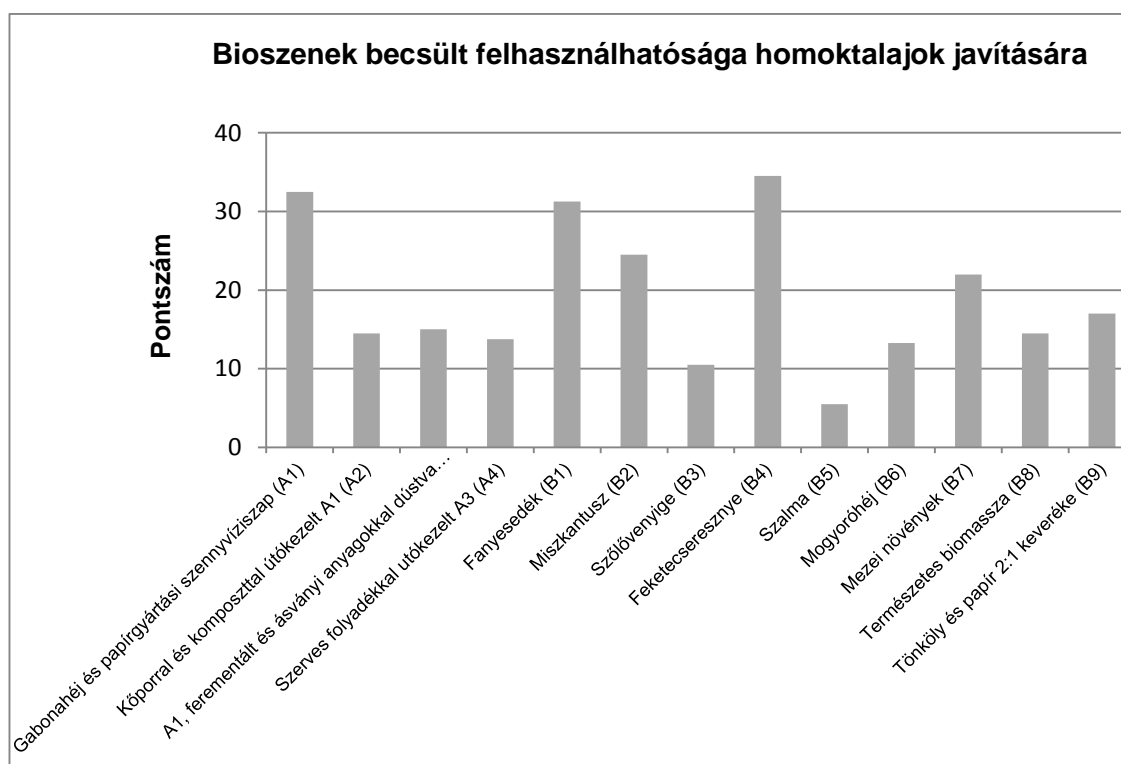
A legtöbb pontszámot kapott bioszénnek van feltételezhetően a legjobb talajjavító hatása savanyú homoktalajban. Külön értékelésben az elérhetőséget és a bioszén árát is bele vettük a rendszerbe, így gazdasági szempontok alapján is választani tudtunk a bioszenek között.

A 12. táblázat mutatja a sávos rendszer alapján elért pontszámokat az egyes bioszén termékeknél.

A 23. ábra szemlélteti a pontszám alapján becsült felhasználhatóságukat savanyú homoktalajok javítására.

12. táblázat Tesztelt bioszenek pontszámai

Bioszenek	Összpontszám	
	Bekeverés nélkül	10%-os bekeveréssel
A1	24	33
A2	17	15
A3	10	15
A4	6	14
B1	19	31
B2	15	25
B3	7	11
B4	21	35
B5	9	6
B6	11	13
B7	15	22
B8	13	15
B9	16	17



23. ábra A bioszenek osztályozását összefoglaló diagram

A kapott eredményeket felhasználva indítottunk technológiai kísérleteket három kiválasztott termékkel.

A mikrokozmosz kísérletekhez az A1 jelölésű gabonahéj és papírgyártási szennyvíziszap alapú bioszenet, az A2 jelölésű bioszenet, ami az A1 utókezelt változata és a B1 fanyaesedék alapú bioszenet választottuk. Az árat és az elérhetőséget is figyelembe véve a fanyaesedékből előállított B1 terméket alkalmasabbnak tartottuk a további tesztelésre, mint a fekete-cseresznyéből pirolizált B4 jelű bioszenet. Az A2-t azért választottuk, hogy az utókezelés hatását is tesztelni tudjuk.

4.2 A bioszén hatásának jellemzése és értékelése a mikrokozmosz kísérletsorozat eredményei alapján

Az előkísérletek során kiválasztott bioszén termékeket különböző koncentrációkban (0, 0,1, 0,5 és 1w/w %) kevertük nyírlugosi savanyú homoktalajba. A 0,5 % bioszén hatását komposzt (0,33 %) valamint műtrágya (0,00083 % NPK) kombinált alkalmazásával is tanulmányoztuk. A kezeléseket három ismétlésben állítottuk be. Mintavétel és a minták integrált fizikai-kémiai-biológiai-ökotoxikológiai metodikával történő vizsgálata a kísérlet indításakor, majd 2 és 7 hét elteltével történt. Kontrollként a kezeletlen homoktalaj szolgált.

A statisztikai értékelés alapján a kontrolltól szignifikánsan eltérő eredményeket a diagramokon csillaggal jelöltük.

4.2.1 Fizikai és kémiai paraméterek változása a mikrokozmoszokban

Az Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet kutatócsoportjánál történt a növények számára hozzáférhető tápanyag- és elemtartalom meghatározása (humusz, P_2O_5 , K_2O , $(NO_3+NO_2)-N$, NH_4-N). Emellett mértük a pH és vezetőképesség, víztartóképeség, szárazanyagtartalom és izzítási veszteség alakulását is a talajokban.

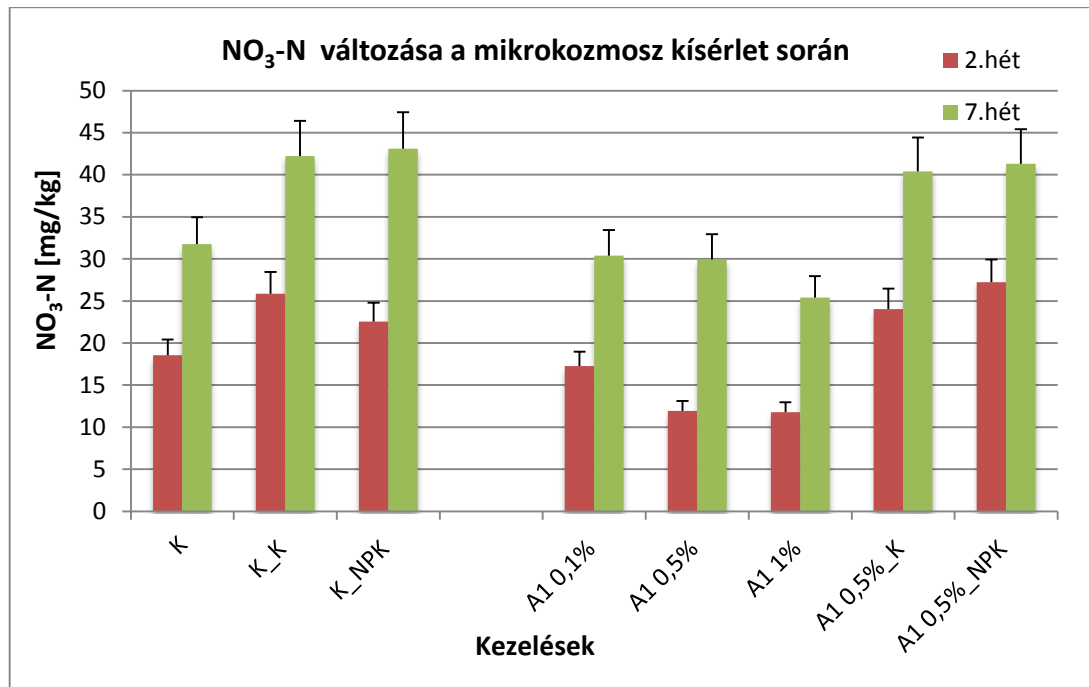
4.2.1.1 A talajok tápanyag ellátottságának alakulása

A talaj tápanyag ellátottsága fontos feltétele a talaj megfelelő biológiai aktivitásának, illetve termőképességének. Míg a savanyú homoktalaj hiányosnak mutatkozik e tekintetben, a kezelésektől a tápanyagellátottság javulását vártuk.

A nitrogénháztartáson belül vizsgáltuk a talajokban a különböző formákban lévő N-forrást, és az összes nitrát tartalmat is (24.–26.ábrák).

A növények számára is nagyon fontos tényező az adott talaj nitrogén mérlege, a nitrát a növények számára a legkedvezőbb nitrogénforma.

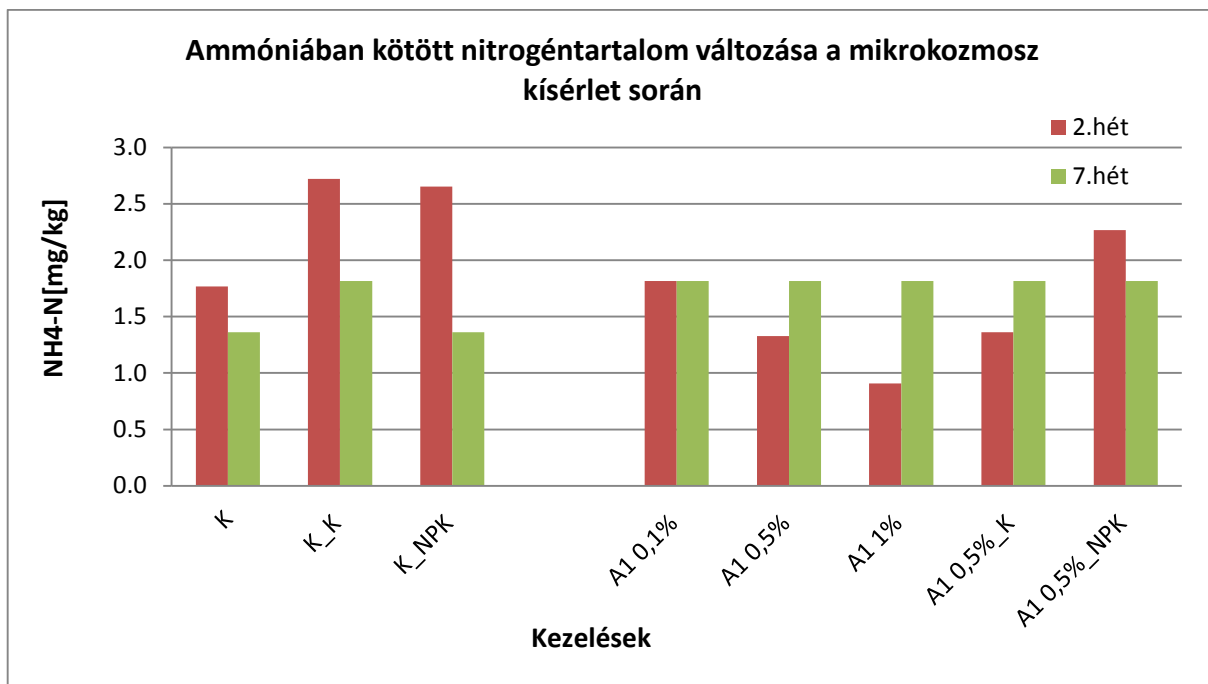
A nitrátban kötött nitrogén-tartalom alakulását a 24. ábra mutatja.



24. ábra Nitrátban kötött nitrogéntartalom változása a mikrokozmosz kísérletek alatt

A nitrát ellátottság az NPK-val és komposzttal kezelt minták esetében a legnagyobb, amely várható eredmény volt, hiszen mindkét adalékanyag tartalmaz nitrogént hozzáférhető formában. A két hét elteltével mért értékekhez képest a nitrátban kötött nitrogéntartalom emelkedést mutat a 7. hét után. A bioszén kezelés ugyanakkor csökkentette a hozzáférhető NO₃ mennyiségét, ez elsősorban az 1%-os kezelésnél mutatkozott meg, ahol csaknem 20%-kal kevesebb volt az elérhető nitrát koncentrációja. Bár a publikációk gyakran ellentmondásos hatásokat tükröznek a tápanyag ellátottságra gyakorolt hatásával kapcsolatban a bioszénnek, ugyanakkor néhány irodalom az szemlélteti, hogy a bioszén retenciós funkcióval bír a talaj tápanyagainra nézve, köztük a nitrátra is (Steiner és mtsai, 2008; Beesley és mtsai, 2011; Lehmann és mtsai, 2003; Basso és mtsai, 2012).

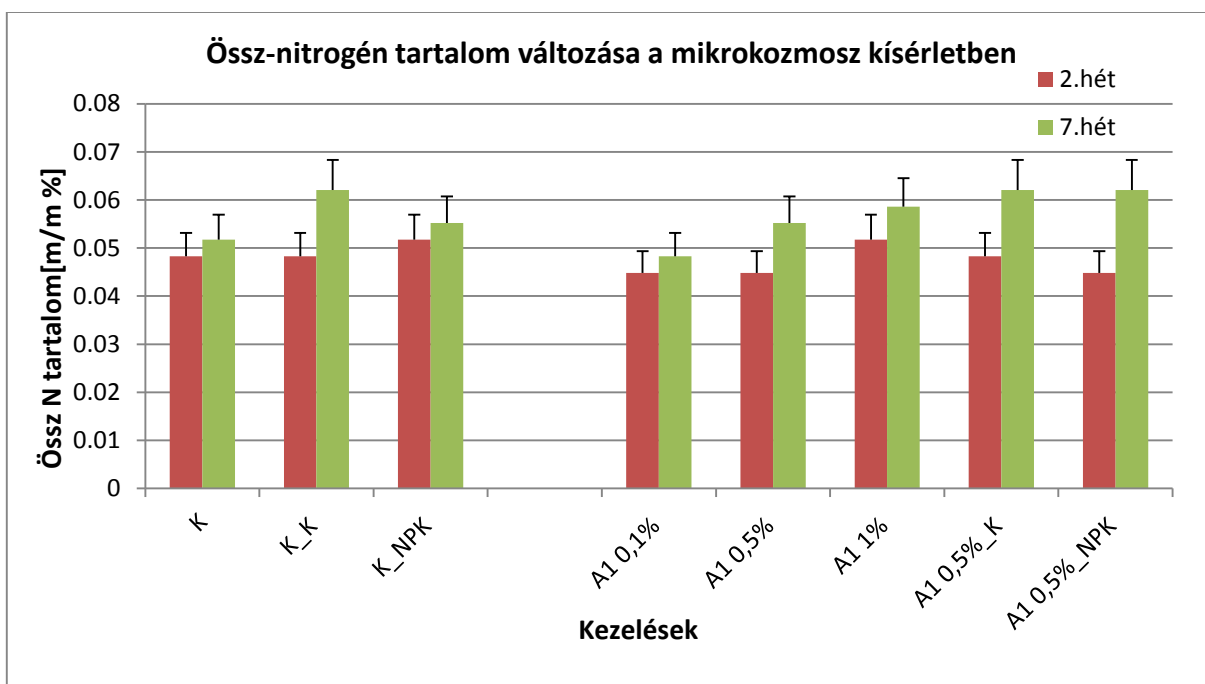
Az ammóniában kötött nitrogéntartalom változását mutatja 25. diagram.



25. ábra Ammóniában kötött nitrogéntartalom változása a mikrokozmosz kísérletek során

A bioszénnel kezelt minták esetében az ammóniában kötött nitrogéntartalom a 7. heti mintavétel során 15–20%-kal magasabb értéket mutat a második mintavételhez képest, főleg a nagyobb százaléokban történő bekeverések esetén (0,5% és 1%), amely termőtalajon való alkalmazásra szánt adalékoknál biztató eredménynek tekinthető.

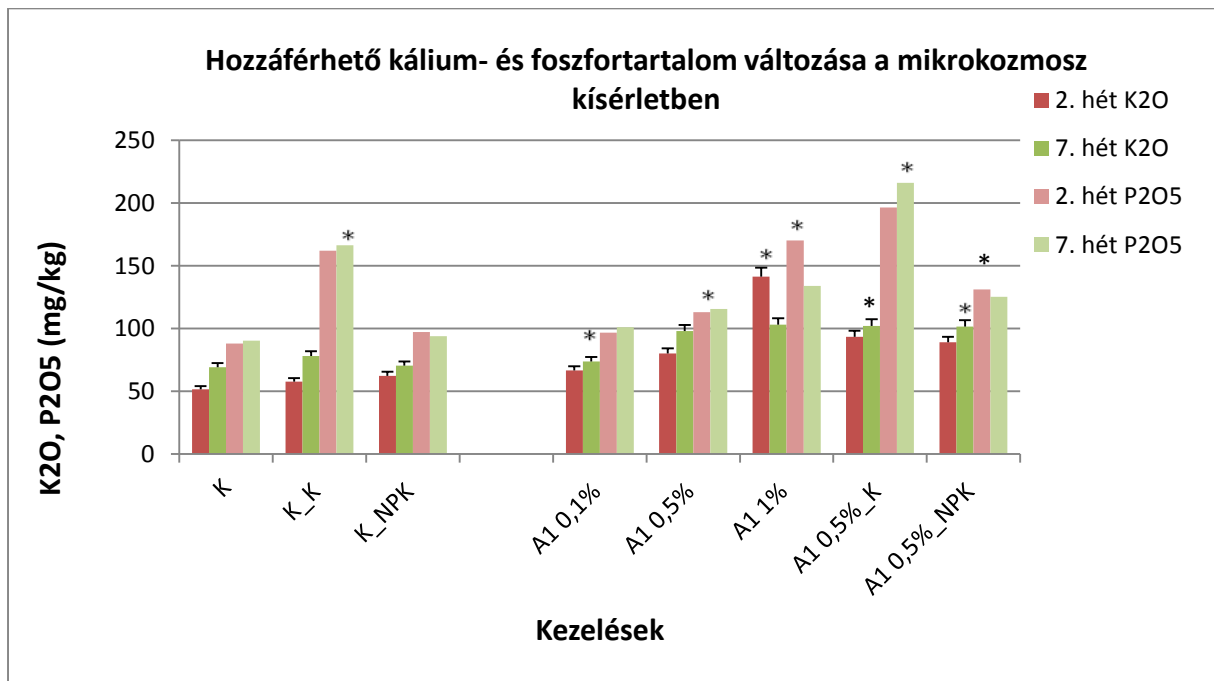
Az összes nitrogéntartalom változását mutatja a 26. ábra.



26. ábra Nitrogéntartalom változása a mikrokozmosz kísérletek során

Szintén pozitív eredmény az össz-nitrogén tartalom alakulása, ami a különböző kombinációkban bioszénnel kezelt mintákban 7 hét után növekedést mutat a kontrollhoz képest. A 0,1%-os koncentrációjú bekeverés kivételével minden bekeverési arány nagyobb értéket mutat, mint a kontroll mikrokozmosz. Megfigyelhető, hogy a bekeverési arány növelésével nő az összes nitrogéntartalom is. A komposzttal és bioszénnel kezelt mikrokozmoszok esetében tapasztalható a legnagyobb érték.

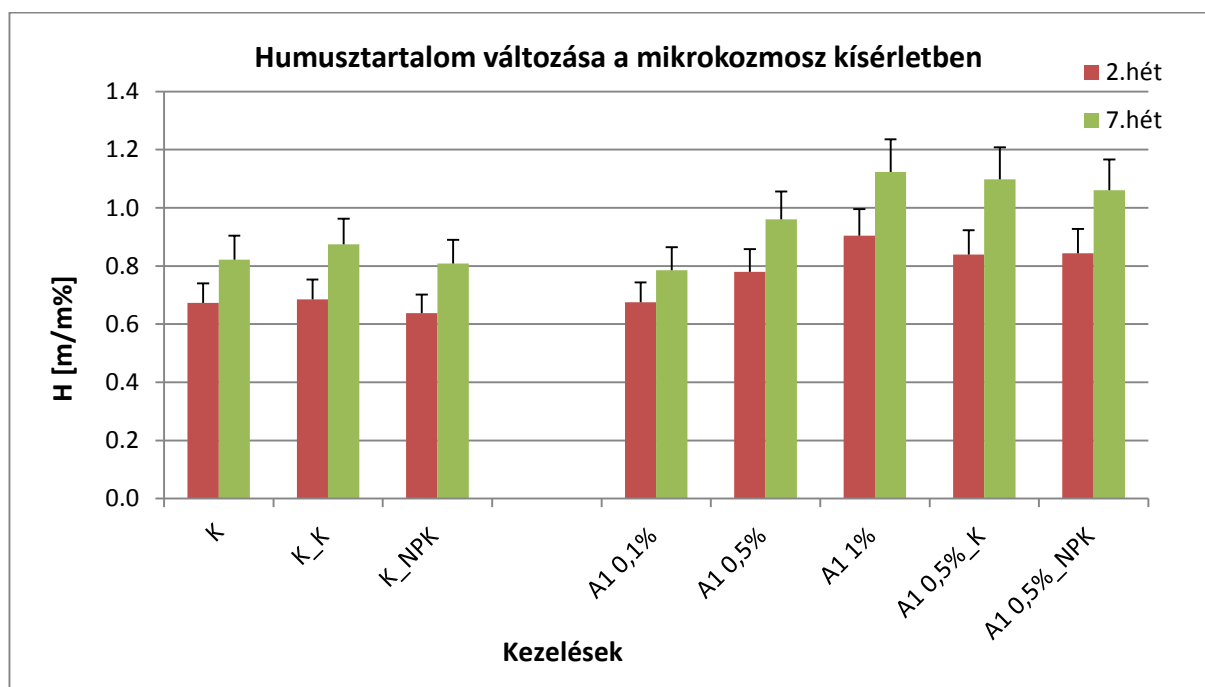
A következő 27. ábrán a hozzáférhető kálium- és foszfortartalom változását figyelhetjük meg. Látható, hogy ugyan az 1% koncentrációjú bekeverésnél csökkent mind a K_2O mind a P_2O_5 tartalom a 7. hétre, ugyanakkor a komposzttal és bioszénnel együttesen kezelt mikrokozmoszokban a foszforellátottság szignifikánsa a legjobb a többi kezeléssel összevetve. Emellett a 0,5% bioszén kezelés is szignifikánsan jobbnak bizonyult foszforellátottság tekintetében, mint a kontroll talaj. Ugyanakkor néhány szakirodalom kiemeli, hogy a hozzáférhető P- és K-tartalomra gyakorolt hatás egyértelműen függ a bioszén terméktől (Yao és mtsai, 2012)



27. ábra Hozzáférhető kálium és foszfor változása a mikrokozmosz kísérletek során

4.2.1.2 Humusztartalom változása a mikrokozmoszokban

A 28. ábrán a humusz tartalom változást követhetjük nyomon.

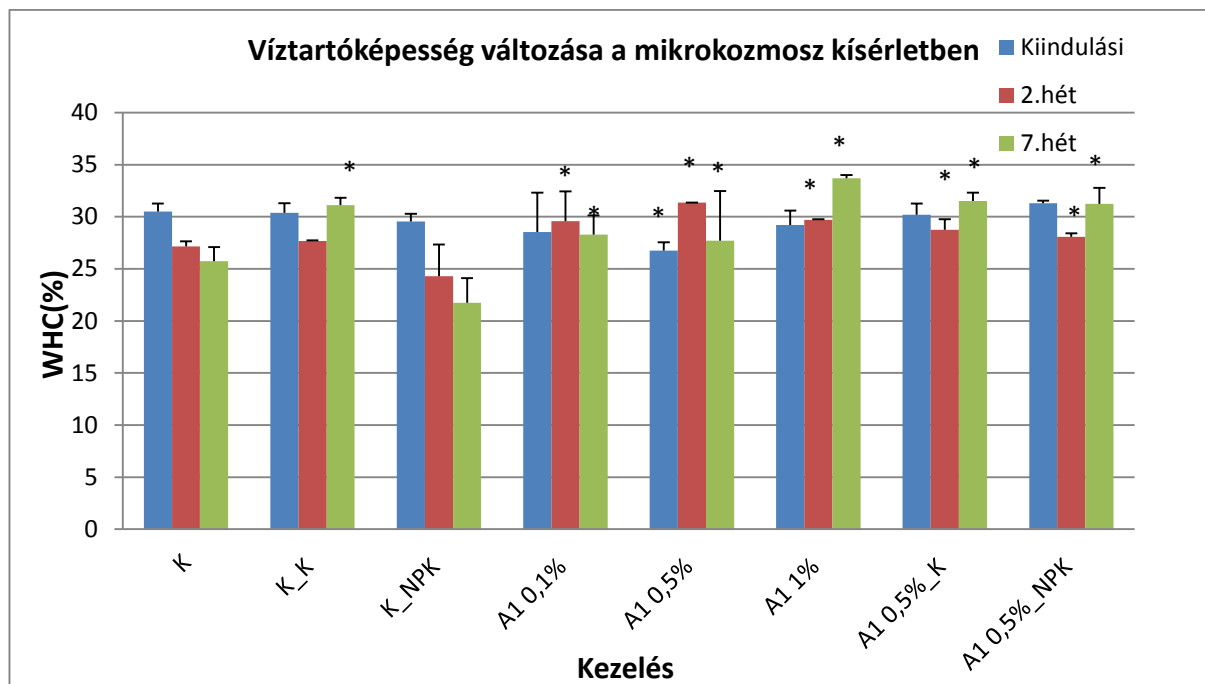


28. ábra Humusztartalom változása a mikrokozmosz kísérletek során

A 7. heti mintavételre a humusztartalom minden minta esetében körülbelül 10 %-os emelkedést mutat a 2. heti értékekhez képest. A 0,1 %-os bekeverés kivételével minden mikrokozmoszban nagyobb volt a humusztartalom a talajban, mint a kontroll talaj esetén. Minél nagyobb arányú volt a bioszén bekeverés, annál nagyobb volt a százalékos humusztartalom is a mintákban, bár egyik esetben sem volt szignifikáns a különbség. A legnagyobb humusztartalmat az 1%-os bekeverés esetén mértük, de hasonlóan jó eredményt mutatott a bioszénrel és komposzttal bekevert mikrokozmosz is.

4.2.1.3 Vízretartóképesség változása a mikrokozmoszokban

A WHC (Water Holding Capacity) értéke azt a vízmennyiséget jelzi (tömegszázalékban kifejezve), amit a talaj száraz tömegegysége standard körülmények között megtart. A vízretartóképesség a termőképesség szempontjából fontos jellemzője a talajnak, a homoktalaj vízretartóképessége rossz, emiatt termőképessége is alacsonyabb. A mintavételek során mért vízretartóképesség változását a 29. ábra mutatja.



29. ábra A víztartókéesség alakulása a mikrokozmosz kísérletek során

Az kiindulási mintavétel során még nem tapasztalhatóak jelentős eltérések a kontroll és a bioszénnel bekevert minták között, viszont a második mintavétel során már észrevehető a javulás a bioszénnel bekevert mintáknál, főleg a 0,5%-os koncentrációjú bekeverés mutat jelentős emelkedést az 1. mintavétel során mért értékekhez képest, de az 1%-ban és 0,1 %-ban bekevert minták is növekedést mutattak a víztartó kapacításban. A kísérlet végén (7 hét elteltével) az 1%-ban bekevert mikrokozmoszok eredményei a legjobbak szignifikánsan, nagyobb mint 35%-os a növekedés a kezeletlen homoktalajhoz képest. Ugyanakkor már a 0,5% koncentrációban bekevert és komposztal illetve NPK-val kezelt mikrokozmoszok is szignifikánsan kedvezőbb vízgazdálkodási tulajdonságokat mutattak, mint a kontroll talaj.

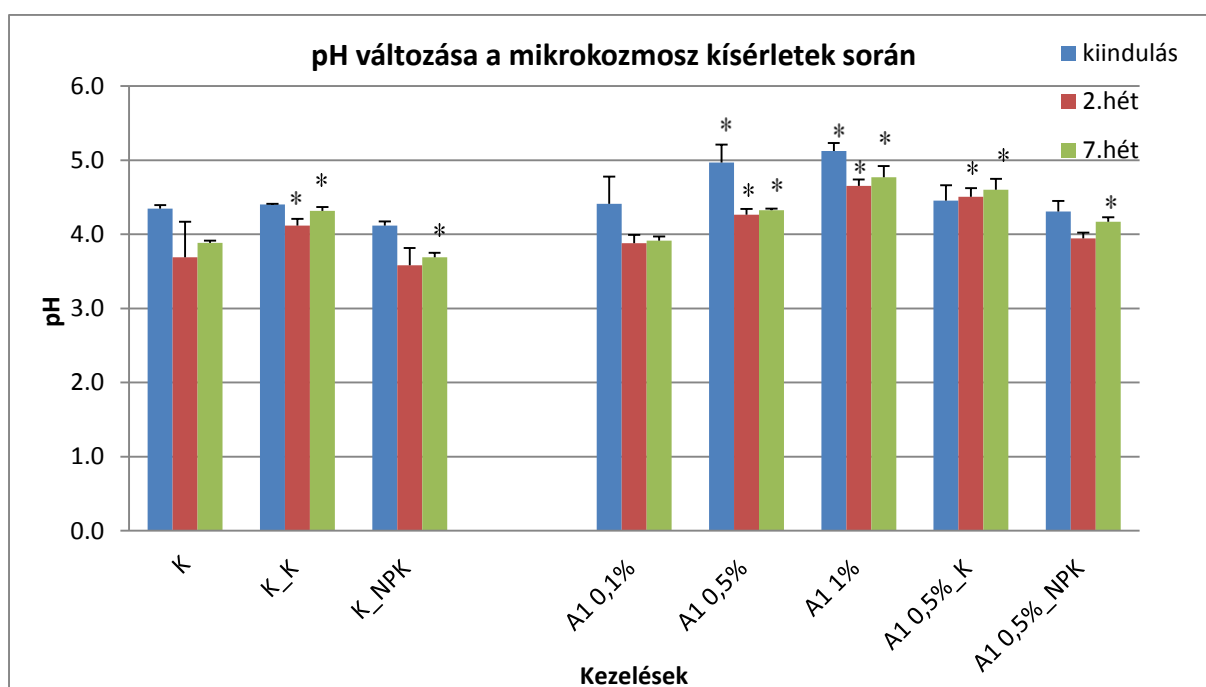
Eredményeink alapján összességében elmondható, hogy a bioszén alkalmazás mind önmagában, mind kombinálva komposztal és NPK-forrással szignifikánsan kedvező hatású a víztartókéességre. Ez ellentmondásban van néhány szakirodalomban megjelent tanulmánnyal, ahol csökkenést tapasztaltak bioszén hatására (Atkinson és mtsai, 2010; Brockhoff és mtsai, 2010; Githinji, 2013; Uzoma és mtsai, 2011). Barnes és munkatársai (2014) ezzel szemben - a mi eredményeinkhez hasonlóan - növekedést figyeltek meg a víztartókapacitás alakulásában bioszén hatására.

4.2.1.4 pH és vezetőképesség változása a mikrokozmoszokban

A bioszénrel és a savanyú homoktalajjal való munkánk során kiemelten fontos kérdés a talaj kémhatásának változása, a bioszén általában lúgos kémhatásból kiindulva. Ezért azt az eredményt vártuk, hogy a talaj pH-ját a semleges felé tolja el a bekeverés során a bioszén.

Az 1% koncentrációban bekevert mikrokozmoszok esetén mértünk a kontroll talajhoz képest a legnagyobb - közel 1 egységnyi – eltérést. Viszont már a 0,5% koncentrációban bekevert minták is mutatnak szignifikáns pH-növekedést a kontrollhoz képest.

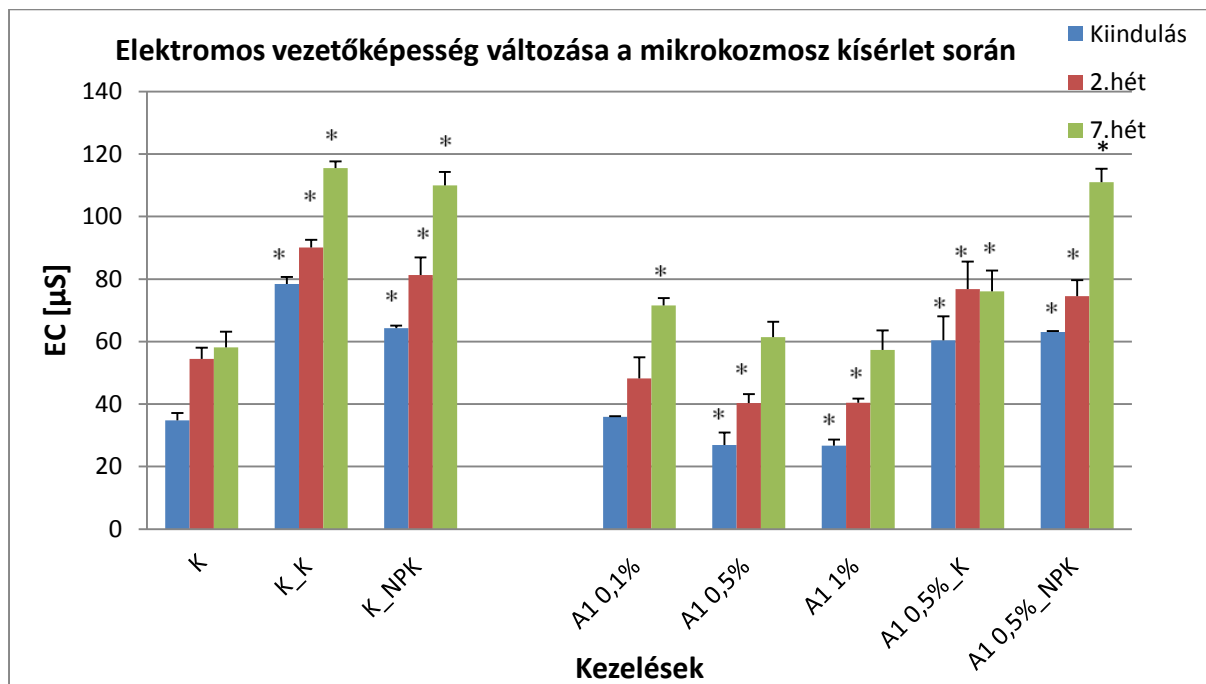
A pH változását a mikrokozmosz kísérletek során a 30. ábra mutatja be.



30. ábra A pH értékek változása a mikrokozmoszokban

Eredményeink teljesen összhangban vannak az irodalmi adatokkal, melyeknél szintén a bioszén hatására bekövetkező pH-növekedést tapasztaltak, köszönhetően a bioszén lúgos kémhatásának (Sohi és mtsai, 2010; Jeffery és mtsai, 2011; Hass és mtsai, 2012; Xu és mtsai, 2012; Zhao és mtsai, 2015).

Az elektromos vezetőképesség (EC) a talajban szoros összefüggést mutat több más fizikai-kémiai talajjellemzővel, úgy mint részecskeméret-eloszlás, porozitás, víztartókapacitás, kationcserélő-kapacitás stb. Az EC értékek változása a mikrokozmosz kísérletek alatt a 31. ábrán látható.



31. ábra A vezetőképesség értékek változása a mikrokozmoszokban

Mind időben, mind a kezelések függvényében jelentős eltéréseket mértünk. Az időben egyértelműen növekedést mértünk az EC értékekben minden mikrokozmoszban. A bioszenes kezelés pedig önmagában szignifikáns csökkenést eredményezett az első két hétben a vezetőképességben, valószínűleg adszorpciós tulajdonságainak köszönhetően. Az NPK adagolás a várakozásnak megfelelően növelte a vezetőképességet, ezt a bioszén kombinált alkalmazása sem csökkentette.

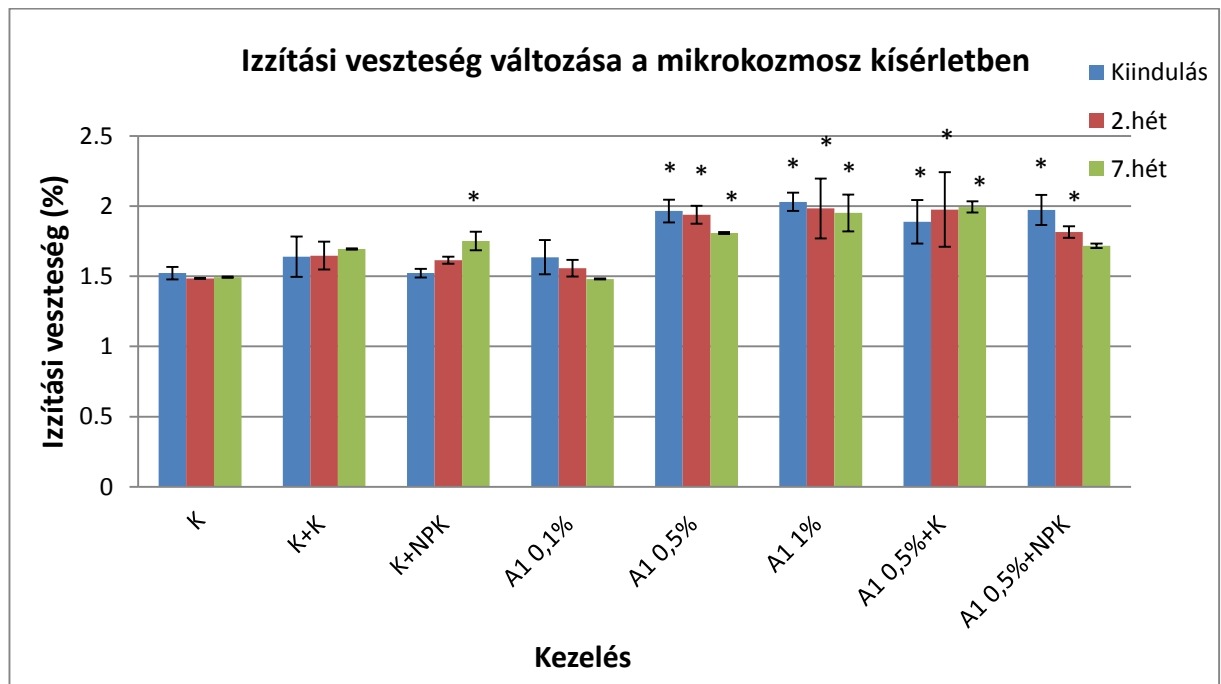
Szignifikánsan csak a 0,1% bioszén növeli a vezetőképességet a kis vezetőképességgel rendelkező homoktalajhoz képest. Ugyanakkor Hossain és munkatársai (2010, 2011) azt tapasztalták, hogy a szennyvíziszapból előállított bioszén növelte a vezetőképességét a savanyú homoktalajnak. Ezek a megfigyelések egyértelműen jelzik, hogy minden egyes bioszén és minden talaj esetén, meg kell vizsgálni helyszínspecifikusan a hatásokat (esetről esetre), általános érvényű következtetések jellemzően nem vonhatóak le.

4.2.1.5 Izzítási veszteség változása a mikrokozmoszokban

A fizikai és kémiai paraméterek meghatározásának az izzítási veszteség mérése is részét jelentette; eredményeit a 32. diagram foglalja össze:

Az izzítási veszteség mindegyik mintavétel során szignifikánsan nagyobb a bioszénnel kezelt mintákban, mint a kontroll talajokban, várakozásnak megfelelően. Ugyanis az izzítási veszteség lényege az, hogy a talaj szervesanyag-tartalmát azzal a tömegvesztéssel jellemezzük, melyet a talaj akkor szenved, ha izzásig hevítjük.

A kiindulási mintavételnél még nem tapasztalható eltérés a 0,5% és az 1% koncentrációjú bekeverés között. A harmadik mintavételkor azonban már az 1%-koncentrációjú és bioszén mellett komposzttal kevert mikrokozmoszok mutatják a legjobb eredményt.



32. ábra Az izzítási veszteség alakulása a mikrokozmosz kísérletek során

Szintén várakozásnak megfelelően, a komposzt bekeverés is növelte az izzítási veszteséget a kezeletlen homoktalajhoz viszonyítva. Ez szignifikánsan a 7. hétre mutatkozott meg.

4.2.2 Biológia aktivitás változása a mikrokozmoszokban

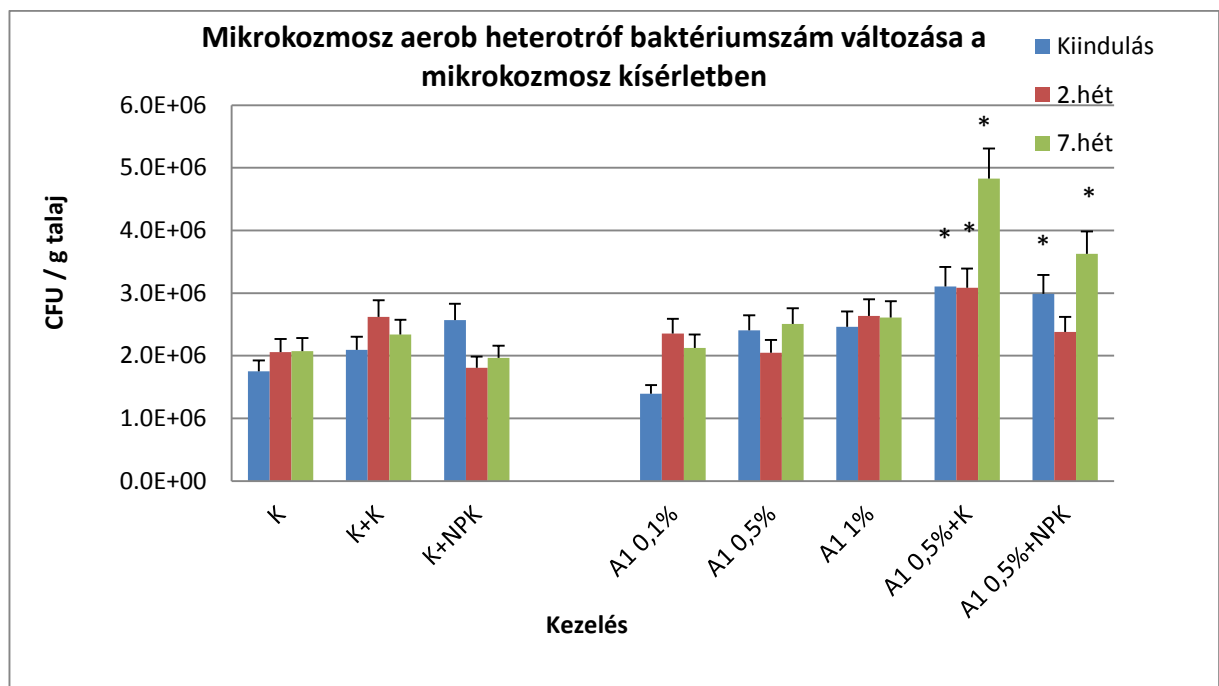
4.2.2.1 Aerob heterotróf baktérium- és gombaszám alakulása a kezelések hatására

A talaj biológiai aktivitásának vizsgálatára mind a benne élő mikroorganizmusokat, mind pedig ezen mikroorganizmusok működését jelző enzimeket mérhetjük.

Mind a biológiai aktivitások abszolút értékét, mind az aktivitások időbeni változásait és relatív csökkenését használhatjuk a talajok (hulladékokkal/egyéb adalékokkal bekevert talajok) állapotának jellemzésére:

A mikrokozmoszok talajainak biológiai aktivitását az aerob heterotróf baktérium- és gombaszám meghatározásával követtük nyomon. A három mintavétel eredményeit és a gombaszám és élősejtszám arányainak összehasonlítását a következő táblázatok és diagramok foglalják össze.

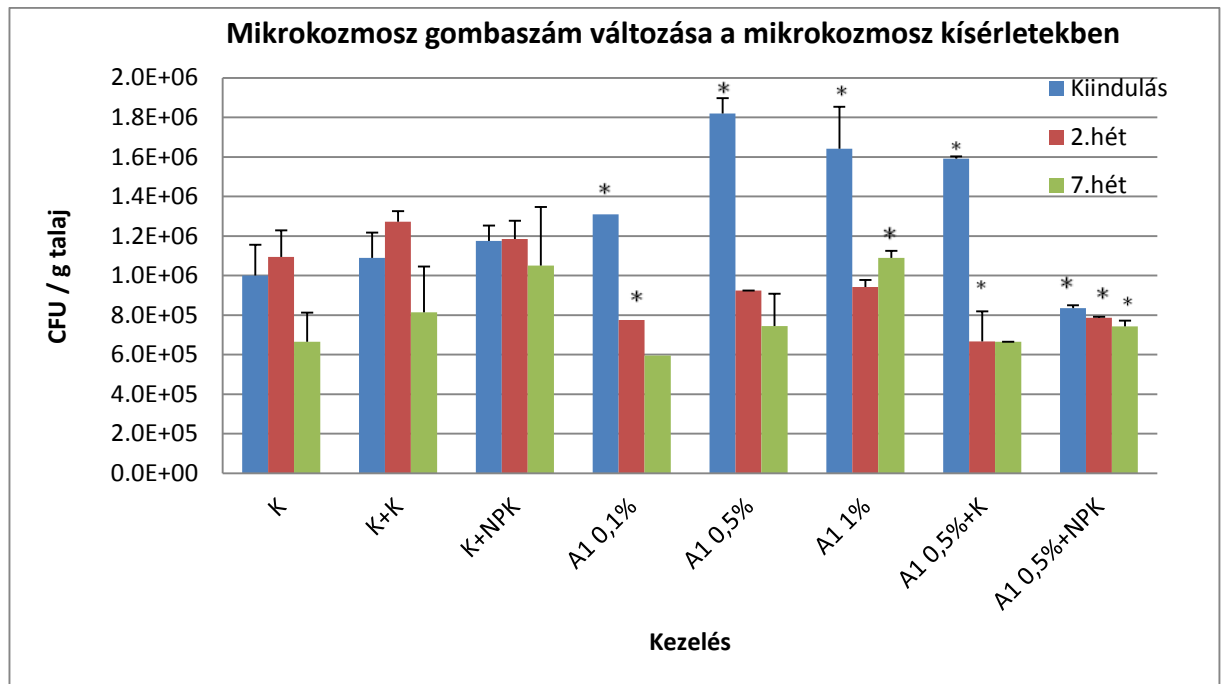
A 33. diagramon láthatjuk a baktériumszám változást a három mintavétel során.



33. ábra baktériumszám változás mikrokozmosz kísérlet során

Mindhárom mintavétel eredményei azt tükrözik, hogy szignifikáns baktériumszám növekedést csak a 0,5% koncentrációban bioszénnel és komposzttal bekevert minták mutattak, ez a különbség a homoktalaj+komposzt kezeléshez képest is egyértelműen tapasztalható. Ea a kombinált kezelés (A1 0,5% +K) már a fizikai-kémiai paraméterek alakulásában (pl. pH, WHC, P-ellátottság) is kedvező hatást mutatott, ennek is köszönhető a biológiai aktivitásban megmutatkozó növekedés. Ameloot és munkatársai (2013) szerint a bioszén lúgosító hatása lehet a felelős a mikrobiológiai aktivitás növekedéséért.

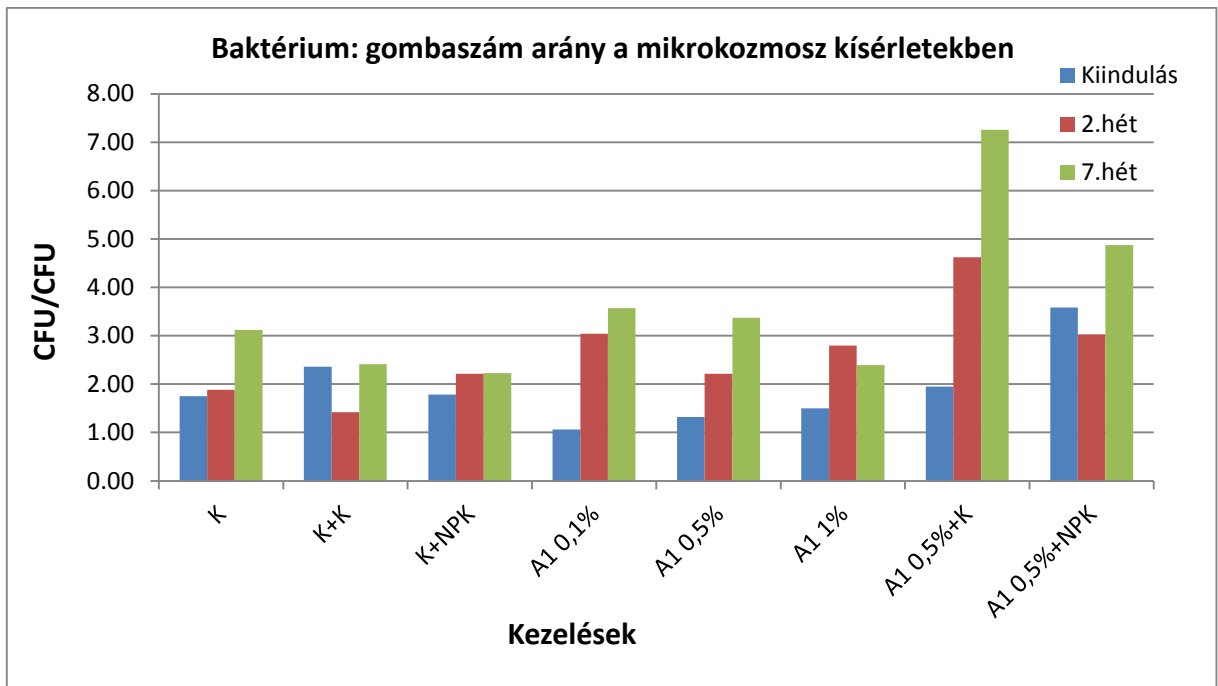
A mikrokozmoszokban mért gombaszám alakulása a 34. ábrán látható.



34. ábra Gombaszám változás a mikrokozmosz kísérlet során

A kiindulás nagy gombaszám értékek a bioszénnel kezelt talajokban csökkenő tendenciát mutatnak az idő függvényében a bioszénnel kezelt mikrokozmoszok esetén, azonban ezt pozitívként értékeljük mert a nagyarányú gombaszám rothadást idézhet elő a talajokban. A talajbiológia szempontjából fontos lehet a mikroflóra összetételének változása is, például a baktérium:gomba arány alakulása.

Időben követve összehasonlítottuk az egyes kezelések esetén a baktériumok és a gombák arányát, amelyet a 35-ös diagram mutat.



35. ábra baktérium: gomba szám arány a mikrokozmosz kísérletek során

Ha a baktérium és a gombaszám viszonyát nézzük minden esetben 1-nél nagyobb értéket kaptunk, vagyis a baktériumszám minden esetben nagyobb volt, mint a gombaszám, a különböző koncentrációjú bekeveréseknél. Látható, hogy a második mintavételnél már 2-szeres, sőt a 0,5% koncentrációban bioszénnel és komposzttal bekevert minta esetén több, mint 4-szeres a baktériumok száma a gombaszámhoz képest. Ez valószínűsíthetően a pH változással van összefüggésben. Ezek az értékek a 7. hétig tovább növekedtek, amely azért jó mutató, mert nem előnyös a gombák túlzott elszaporodása a földekben.

4.2.3 Toxicitás változása a mikrokozmoszokban

Amikor a bioszenet jutattunk a talajba, a környezeti kockázat felmérése kiemelt jelentőségű, mivel közvetlen kapcsolatba kerülhet a felszín alatti vizekkel is. Számos publikáció hangsúlyozza a bioszenek toxicitásának vizsgálatát (Oleszczuk és mtsai, 2013, 2014; Domene és mtsai, 2015), a bennük potenciálisan jelenlévő nehézfémek és PAH vegyületek miatt.

Az ökotoxikológiai vizsgálatok során a bioszenek és adalékanyagok esetleges toxikus hatását vizsgáltuk három különböző trófikus szintről származó tesztorganizmusok segítségével.

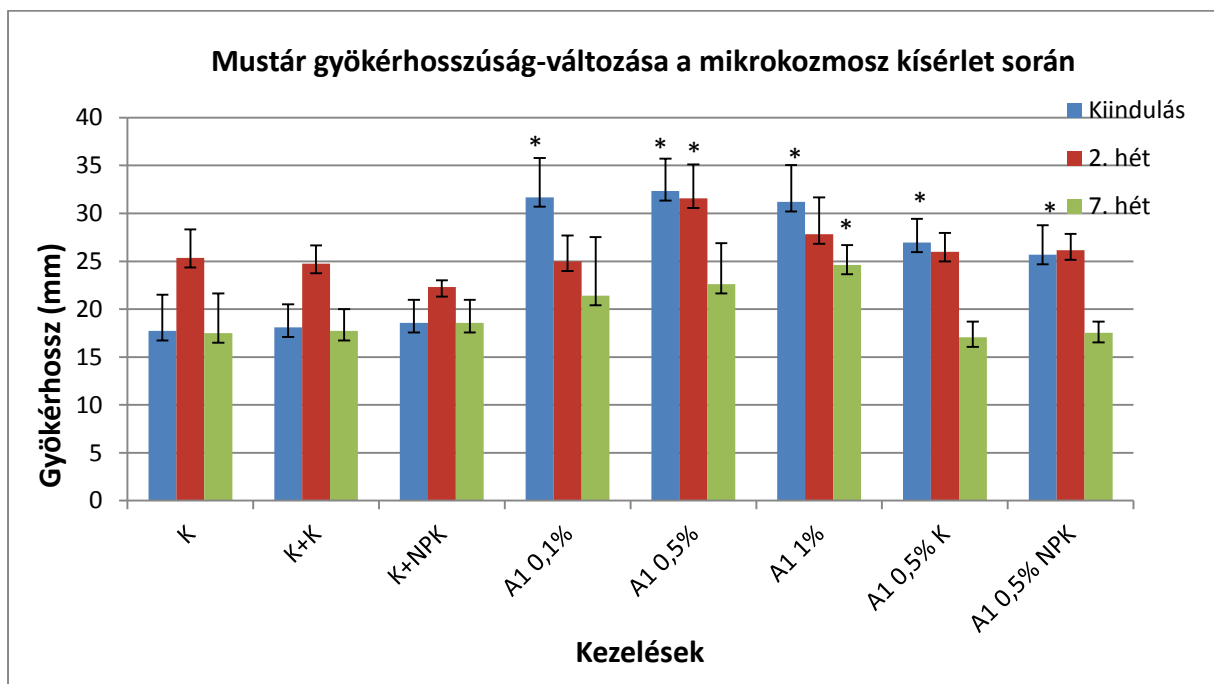
4.2.3.1 *Aliivibrio fischeri* biolumineszcencia gátlási teszt

Az *Aliivibrio fischeri* a környezettoxikológiában elterjedten alkalmazott tesztorganizmus környezeti minták és vegyi anyagok toxicitásának tesztelésére. Bár néhány publikáció arról számolt be, hogy ez az érzékeny baktérium toxikus hatást mutatott bioszénrel kezelt talajokban (Bastos és mtsai, 2014; Koltowsky és Oleszczuk, 2015), eredményeink szerint az általunk alkalmazott A1 (gabonahéj és papírgyártási szennyvíziszap alapanyagú) bioszén még enyhe toxikus hatást sem mutatott. Ez kiemelkedően jó eredmény, a kockázatközpontú alkalmazás szempontjából.

4.2.3.2 *Sinapis alba* gyökér- és szárnövekedés gátlási teszt

A termőképességre gyakorolt hatás szempontjából a növénytesztek kiemelt fontosságúak a kísérletek monitoringjában.

A mustár gyökérhosszának alakulását a 36. diagram mutatja be.

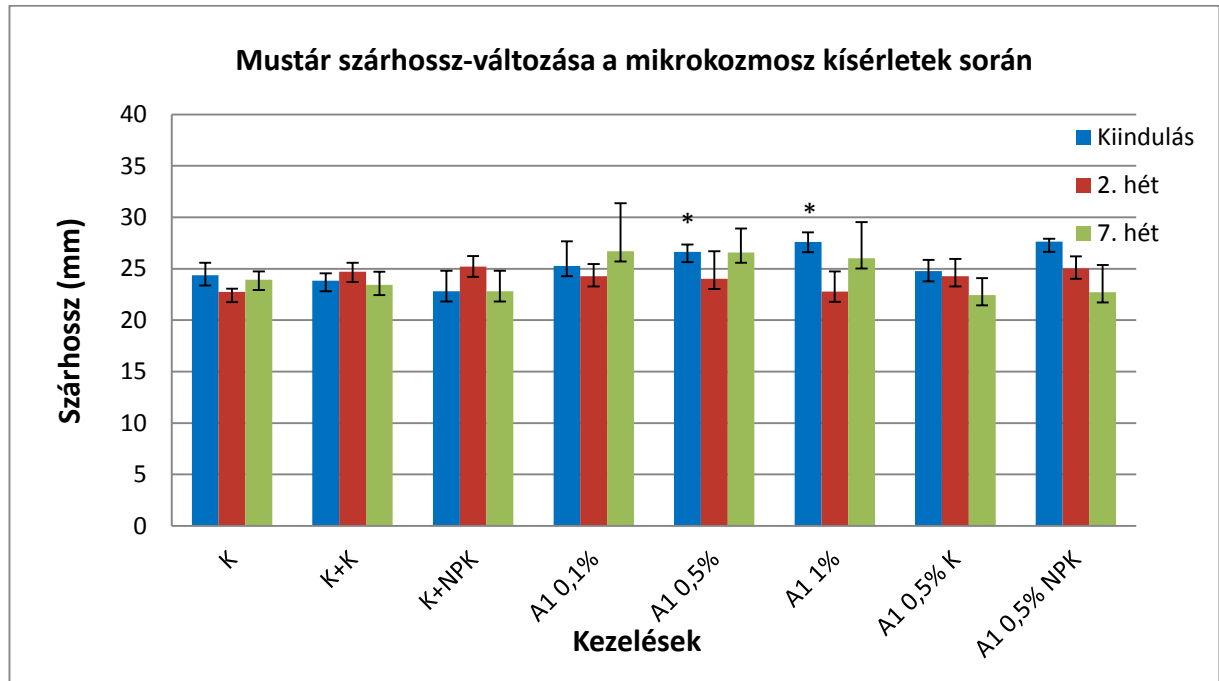


36. ábra A mustár gyökérhossz változása a mikrokozmosz kísérletek során

A gyökérhossz a három mintavétel során összességében csökkent, viszont a kontroll talajokhoz képest a biszenekkel kezelt minták minden esetben növekedést mutattak. Ebben a tesztben is a legjobban az 0,5% koncentrációban bekevert bioszén teljesített, ami azért mérvadó, mert ez egy nagyobb mértékű bekeverésünk, ami mutatja, hogy a mennyiség növelésével nem lett toxikusabb, hanem pozitív irányba tolja el az eredményeket a nagyobb

menyiségben való alkalmazás. Tehát a bioszén bekeverés javítva a leromlott savanyú homoktalaj fizikai-kémiai és biológiai jellemzőit, jobb élőhelyet biztosít a növények számára.

A mustár szárhossz változásának összefoglalását a 37. ábra mutatja.

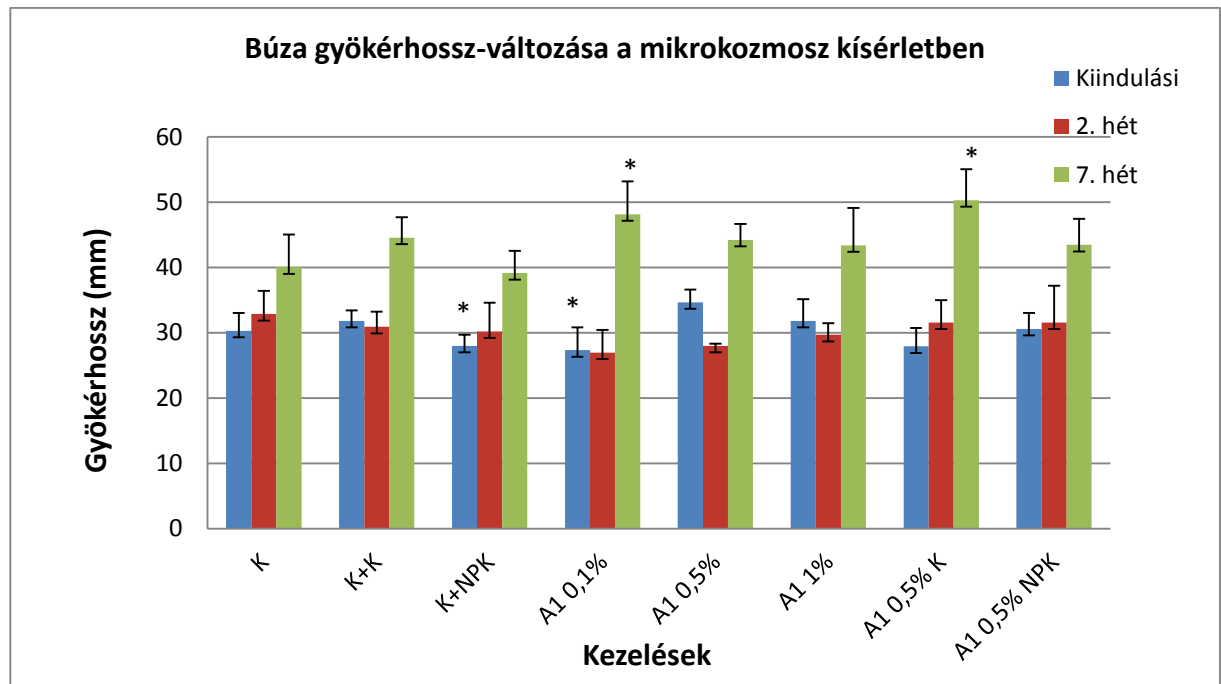


37. ábra A mustár szárhossz változása a mikrokozmosz kísérletek során

A mustár szárhossz változásában összességében nem figyelhető meg jelentős változás, itt is az látható, hogy minél több a bioszén a mikrokozmoszban annál nagyobb értékeket kapunk. Gátló hatás nem volt tapasztalható.

4.2.3.3 *Triticum aestivum* gyökér- és szárnövekedés gátlási teszt

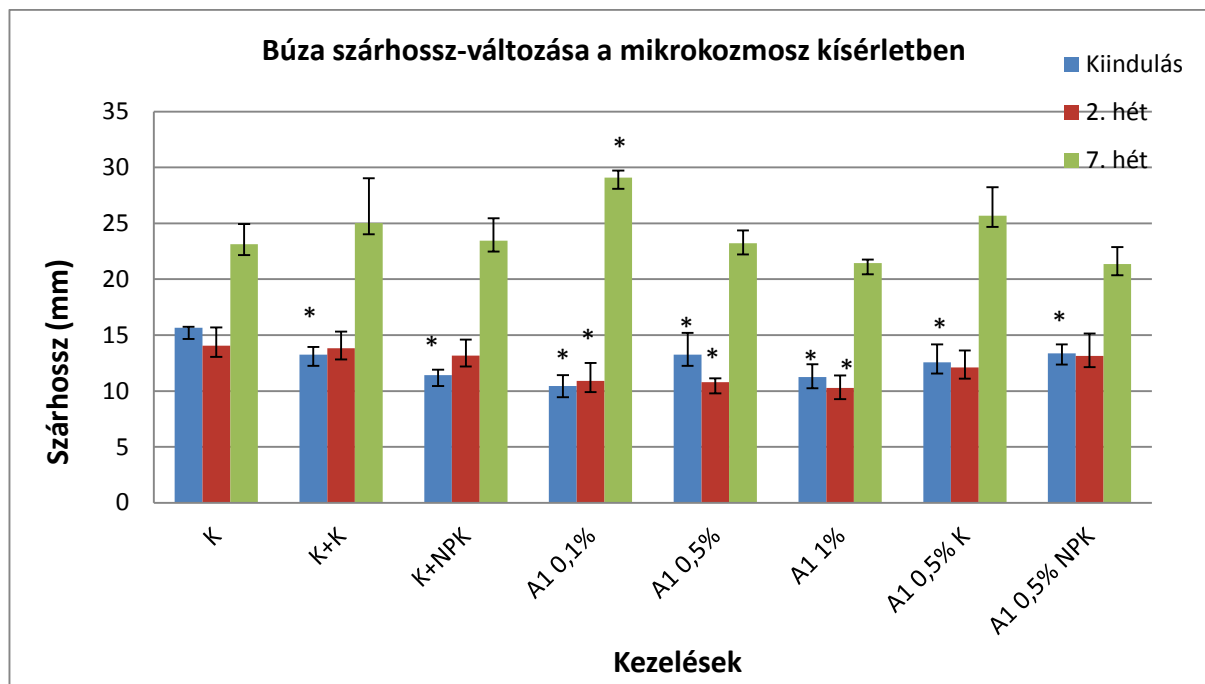
A búza gyökérhosszának alakulását a mikrokozmosz kísérletek során a 38. ábra foglalja össze..



38. ábra A Búza gyökér-, és szárhossz változása a mikrokozmosz kísérletek során

A harmadik mintavétel jelentős javulást eredményezett a gyökérhossz növekedésben. Ez szintén előrevetíti, hogy hosszú távú alkalmazásra megfelelő lehet a bioszén. A legjobban a 0,1% koncentrációjú bekeverés, és a bioszénnel 0,5% koncentrációban és komposzttal bekevert mikrokozmoszok teljesítettek. A kezelt talajok esetében minden esetben nagyobb gyökérhossz-növekedést figyeltünk meg, mint a kontroll talajoknál.

A búza szárhosszának alakulása mikrokozmosz kísérletek során a talajokban a 39. ábrán látható.



39. ábra Búza szárhossz változása a mikrokozmosz kísérletek során

A szárhossz esetében szintén növekedést figyelhetünk meg a harmadik mintavételre. Itt is megfigyelhető a gyökérhossz változásban említett tendencia, hogy a 0,1% koncentrációjú bekeverés és a 0,5% koncentrációban bioszénrel és komposzttal elkevert mikrokozmoszok talajai gyakorolják a legnagyobb mértékű serkentő hatást.

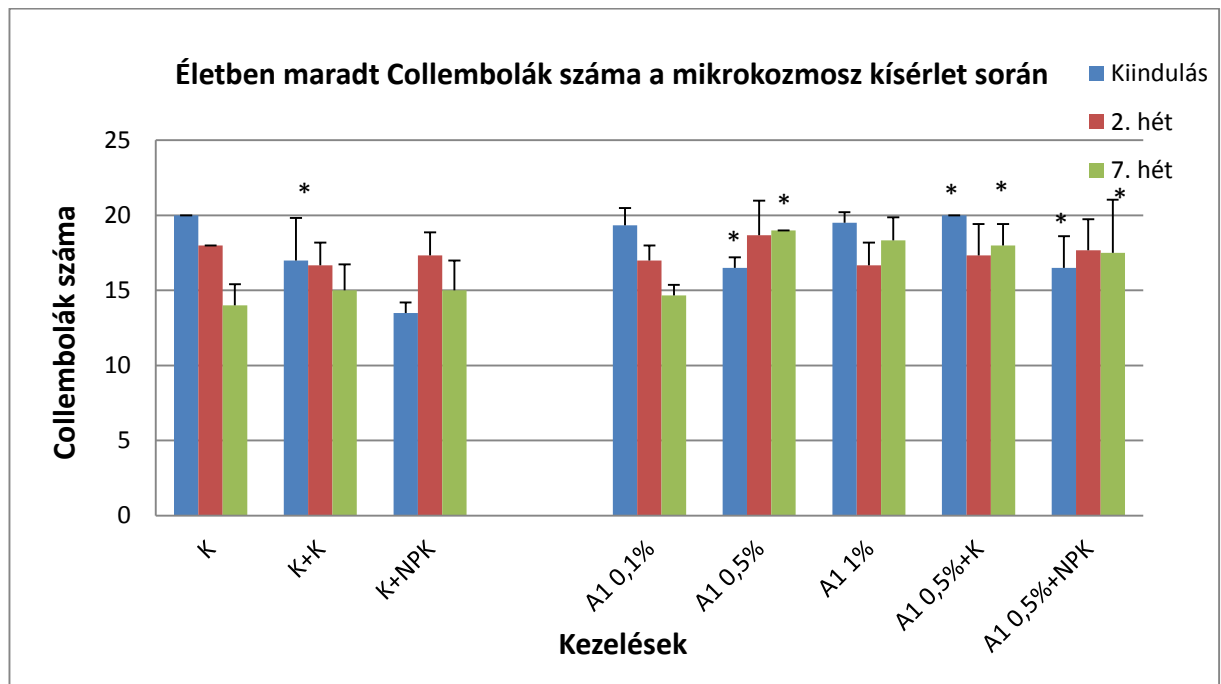
Érdekes, hogy a szakirodalomban a növényekre gyakorolt hatással kapcsolatban is ellentmondásos eredményekre akadhatunk. Míg Kloss és munkatársai (2014) azt tapasztalták, hogy a szalmából, fanyesedékből, és szőlővenyigéből előállított bioszenek gátolják a fehér mustár (*Sinapis alba*) növekedését, addig néhány tanulmány ellenkező, azaz serkentő hatásról számol be (Solaiman és mtsai, 2012).

4.2.3.4 Letalitás teszt *Folsomia candidával* (*Collembola*)-val

Hasonlóan a bakteriális és növényi tesztorganizmusokhoz, a bioszén hatásának tesztelése a talajlakó állatokra kulcsfontosságú. A *Folsomia candida*-val, másnéven *Collembola*-val végzett kísérletek során azt vizsgáltuk, hogy 20 darab egyedből hány maradt életben a kezeletlen és kezelt talajmintákban.

Az életben maradt *Collembolák* számát ábrázolja a 40. ábra az egyes kezelések hatására.

Míg a kísérlet elején mutatkozott enyhe gátló hatás a bioszén hatására, az idő előrehaladtával ez a hatás megfordult. A második mintavétel értékei között nincsenek számottevő eltérések, amely pozitív eredményként tekinthető, hiszen az is jó eredmény, ha nem mutat toxicitást a bioszén. A harmadik mintavételnél viszont a kezeletlen talajok kevésbé bizonyultak megtartó közegnek, mint a bioszennel kezelt társaik. Ennél a tesztnél a bioszennel bekevert mikrokozmoszok „jól teljesítettek”, közel 30%-os pozitív hatást figyelhettünk meg a 0,5%-ban és 1%-ban bioszennel kevert talajokban a kontrollhoz képest.



40. ábra Életben maradt Collembolák számának változása a mikrokozmosz kísérletek során

A kontroll mintákban az idő előrehaladtával egyre nőtt a gátló hatás (letalitás), a rossz minőségű talajnak köszönhetően, míg bioszennel bekevert minták esetében javulást tapasztaltunk. Összességében elmondható, hogy a *Folsomia candida* tesztorganizmusra nem toxikus a bioszén, sőt megtartó, élhetőbb környezetet biztosít számukra, míg a kontroll talaj ezt nem teszi lehetővé.

4.2.3.5 Mikrokozmosz eredmények összesítése

A 13. táblázatban talajjellemzőinek összesítését figyelhetjük a mikrokozmosz kísérletek során.

13. táblázat A talajjellemzők összesítése mikrokozmosz kísérlet során

Kezelések	Talaj jellemzők								
	Vízretartó- pesség	pH	Izzitási veszteség	EC	Baktérium- szám	Gomba- szám	Mustár	Búza	Collenbola
K+K		✓		✓					
K+NPK				✓		✓			
A1 0,1%									
A1 0,5%	✓	✓	✓				✓		✓
A1 1%	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
A1 0,5% K	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
A1 0,5% NPK	✓	✓		✓	✓				✓

Látható, hogy 0,5% koncentrációjú bioszén komposzttal keverve és az 1% koncentrációjú bioszén mutatta a legtöbb pozitív szignifikáns eltérést. Ezek az eredmények előrevetítik, hogy a szabadföldes alkalmazás során komposztos bekeverést alkalmazzunk, valamint hogy a nagy koncentrációjú bekeverés nem gátló hatású.

4.3 Bioszén és oltóanyag savanyú homoktalaj javítására - szabadföldi kísérletek

A technológia fejlesztés harmadik szakaszában célunk volt a laboratóriumi előkísérletek és mikrokozmosz kísérletek során megalapozott bioszenet alkalmazó technológia kipróbálása és demonstrálása szabadföldi kísérletben leromlott, rossz szerkezetű talajon.

A Nyírségben az MTA ATK TAKI modellterületén állítottunk be szabadföldi kísérletet savanyú homoktalajon. A kísérleti területen három különböző dózisban, négy ismétlésben vizsgáljuk a bioszén, az oltóanyag, valamint a bioszén mellett alkalmazott oltóanyag (A1+O kombinációk) és a bioszénre vitt oltóanyag (A1 (O) kombinációk) hatását. Tesztnövényként kukorica került beültetésre. A 20 m²-es kisparcellából 64 került beállításra 1280 m²-en. A kísérlet ideje alatt talajmintavételre négyszer került sor: indulás előtti átlag-mintavétel, a növény 4–6 leveles állapotában (4 hét elteltével), virágzáskor (12 hét elteltével), valamint a kísérlet bontásakor (20 hét elteltével). Az utolsó talaj- és növény analízisek még folyamatban vannak, így ebben a fejezetben a 4 hét és a 12 hét elteltével mért eredmények és értékelésük szerepel.

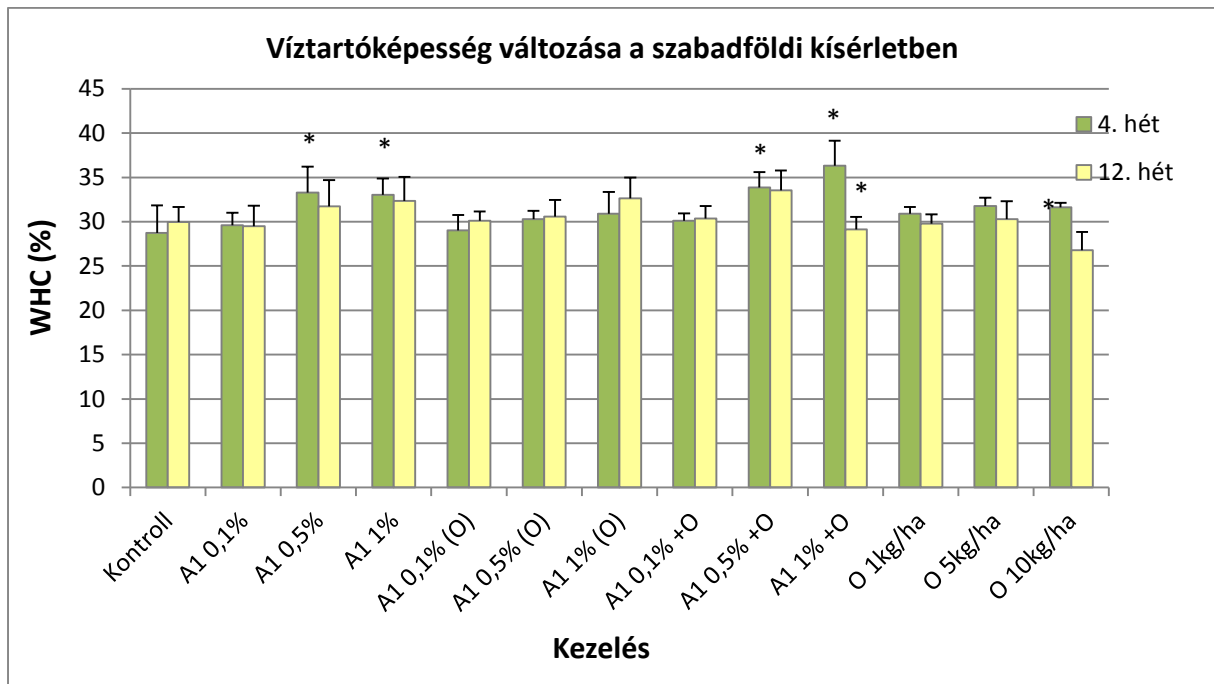
Az *Anyagok és módszerek* részben megadott fizikai-kémia jellemzői a modellterületről származó homoktalajnak egyértelműen mutatják, hogy rossz víz-és tápanyag-gazdálkodási tulajdonságokkal rendelkezik. Ennek javítását céloztuk meg előzetes laboratóriumi kísérletink eredményei alapján bioszén és oltóanyag különböző kombinációinak alkalmazásával.

4.3.1 Fizikai-kémiai talajjellemzők változása a kisparcellás kísérletekben

4.3.1.1 Vízretartóképesség

A szabadföldi mintavételek során mért vízretartóképesség értékeket az egyes parcellák talaján a 41. diagram szemlélteti.

Jól követhető, hogy a két mintavétel között csak az 1% bioszenet és külön oltóanyagot tartalmazó parcellák talajaiban volt jelentős változás, a többi kezelés időben a 8 hét alatt nem változtatott jelentősen a vízretartóképességen.



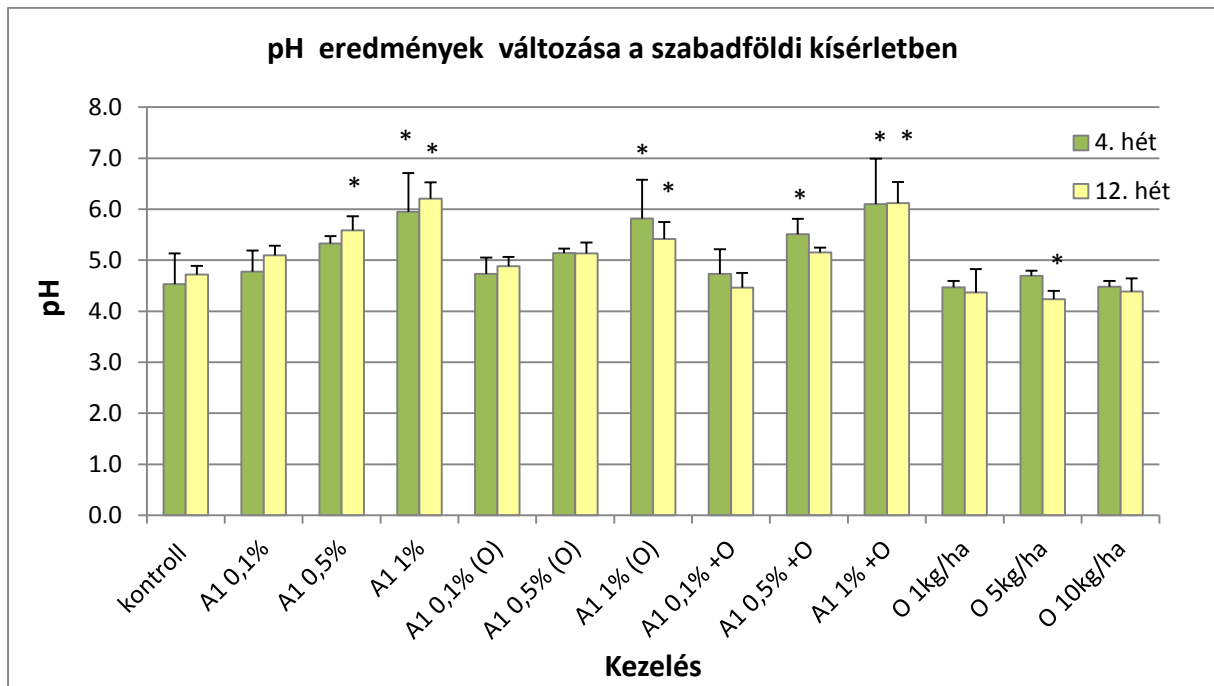
41. ábra Vízretartóképesség változása a szabadföldi mintavételek során

A kontroll talajhoz képest azonban a 0,5% és 1% koncentrációjú bioszén önmagában és a mellette alkalmazott oltóanyaggal is szignifikánsan növelte a vízretartó kapacitást 4 hét elteltével. Az oltóanyag önmagában nem mutatott hatást egyik mintázás során sem ezen vízgazdálkodást jellemző paraméterre. Általában mind a két mintavétel esetén magasabb értékeket mértünk azoknak a parcelláknak a talajain, ahol bioszén is alkalmaztunk. A 12. héten viszont az 1% koncentrációjú bioszén mellett oltóanyaggal kezelt parcellák mintái jelentős visszaesést mutatnak, míg a többi bioszénes kezelés hatására nem történt jelentős változás.

Összességében elmondható, hogy a kontrollokhöz képest a bioszén alkalmazása kismértékű javulást eredményez, ugyanakkor a szabadföldön a hosszabb távú hatások felmérése és értékelése jellemzi majd jól a hatásokat a vízretartó kapacitás alakulásában.

4.3.1.2 pH és vezetőképesség

A kémhatásban már rövidtávon is jól követhető a bioszén és oltóanyag kombinációk hatása. A 42. táblázat mutatja a pH értékek alakulását a szabadföldi mintavételek során.

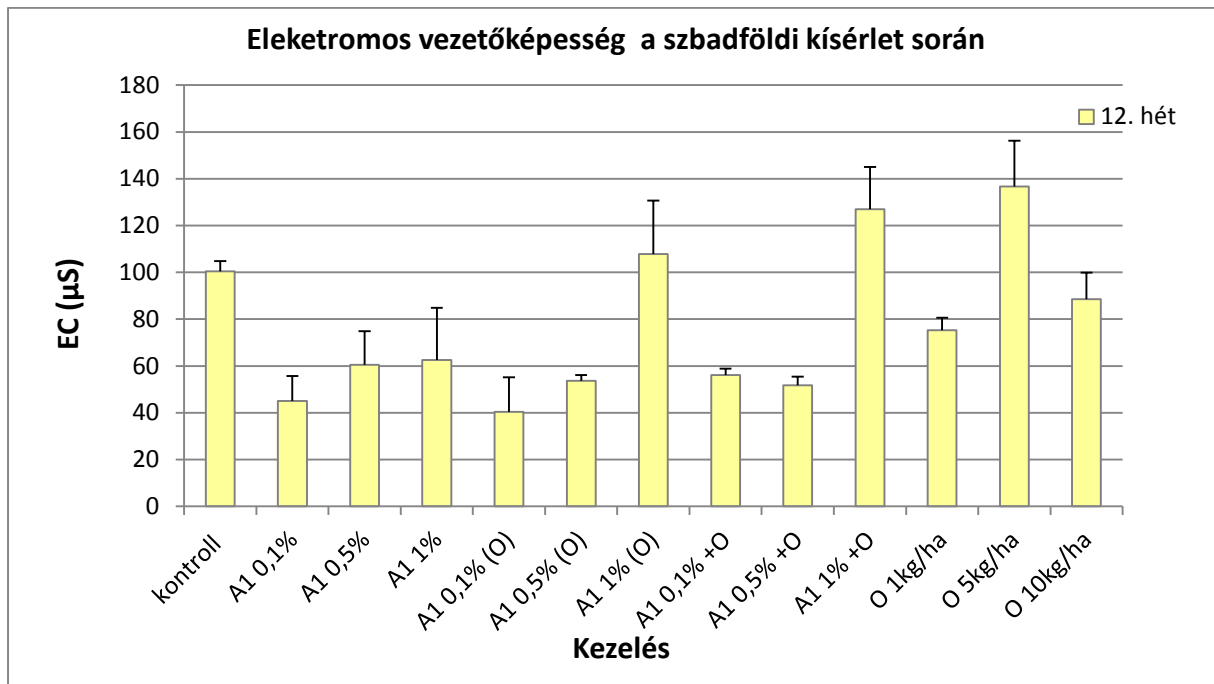


42. ábra A pH értékek a szabadföldi mintavételek során

Az oltóanyag adagolás önmagában enyhén csökkentette a pH-t. Ez a 12. hétre az 5 kg/ha dózisban szignifikáns csökkenést (közelítőleg 0,6 egység) eredményezett a kezeletlen talajhoz képest. Ez a pH-csökkentő hatás a bioszénrel kombinált alkalmazásában is megjelent, ugyanis míg a bioszén önmagában az alkalmazott koncentrációval csaknem arányosan, pH növekedést eredményezett, ezt a pH-növelő hatást egyértelműen csökkentette mind a mellé adagolt talajoltóanyag, mind a bioszénre felvitt oltóanyag. Míg az 1% koncentrációban alkalmazott bioszén több mint 30%-os szignifikáns növekedést eredményezett a pH értékben, addig a mellé felvitt oltóanyaggal ez már csak 27% volt, a felületére felvitt talajoltóanyaggal együtt pedig már csak 15% 12 hét elteltével.

Összességében ugyanakkor megállapíthatjuk, hogy az önmagában alkalmazott bioszén már rövid távon is kedvező hatást gyakorol a talaj kémhatására.

Elektromos vezetőképesség mérésére a szabadföldi kísérletben csak a 2. mintavételnél (12 hét elteltével) került sor. A 43. diagram mutatja a 2. szabadföldi mintavétel során az elektromos vezetőképesség alakulását.



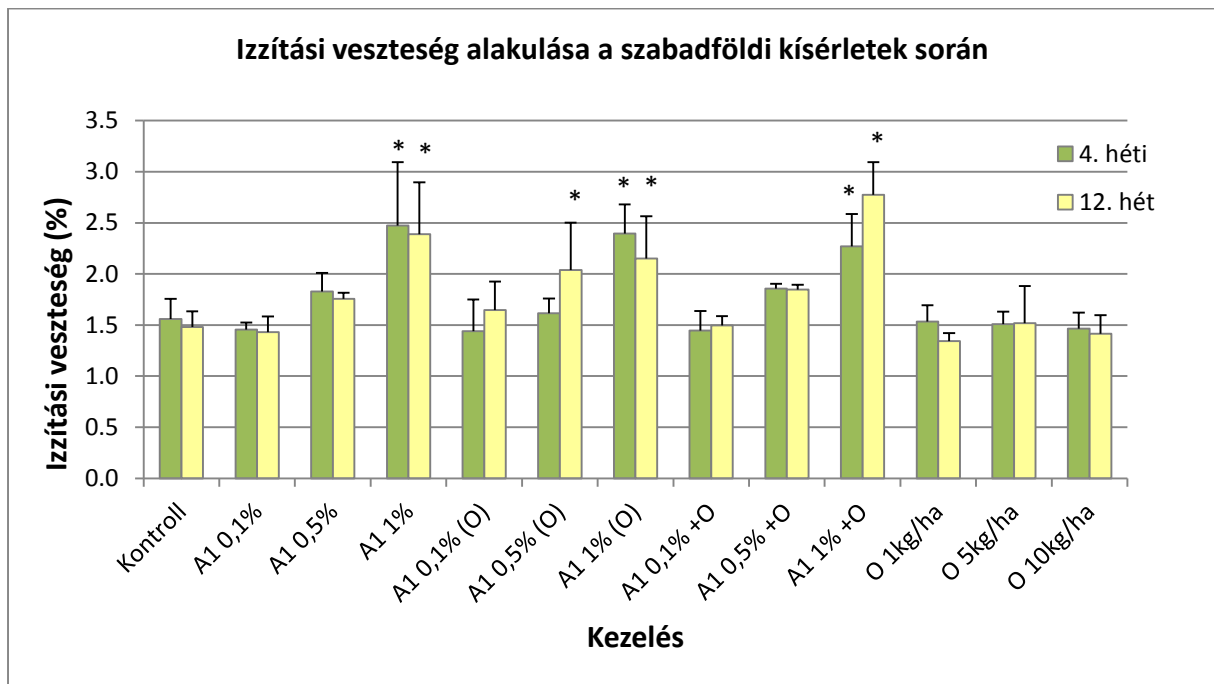
43. ábra Elektromos vezetőképesség a 2. szabadföldi mintavétel során

A mikrokozmosz kísérletekhez hasonlóan a bioszén önmagában alkalmazva a homoktalajon csökkenti a vezetőképességet. Kontroll mintához képest vezetőképesség-emelkedést csak a 1% koncentrációban bekevert bioszénre vitt oltóanyag parcellák, az 1% koncentrációban bekevert bioszén mellett alkalmazott oltóanyag parcellák, és a csak oltóanyagot 0,5 kg/ha mennyiségben tartalmazó parcellák mutatnak (7–36%-os növekedés).

Összességében elmondható, hogy a nagyobb arányú bioszén adagolás oltóanyaggal együtt növeli a vezetőképességet feltételezhetően a mikrobiális tevékenységnek köszönhetően, amihez a bioszén megfelelő környezetet biztosít.

4.3.1.3 Izzítási veszteség

Az izzítási veszteség alakulásában is jól kirajzolódik a bioszén és oltóanyag kezelés hatása. Jelentős, szignifikáns változást itt is elsősorban az legnagyobb dózisu (1%) kezelésnél mértünk (45–87%-os növekedés), ez mind a felületére, mind a mellé adott oltóanyaggal együtt megnyilvánult (44 ábra)

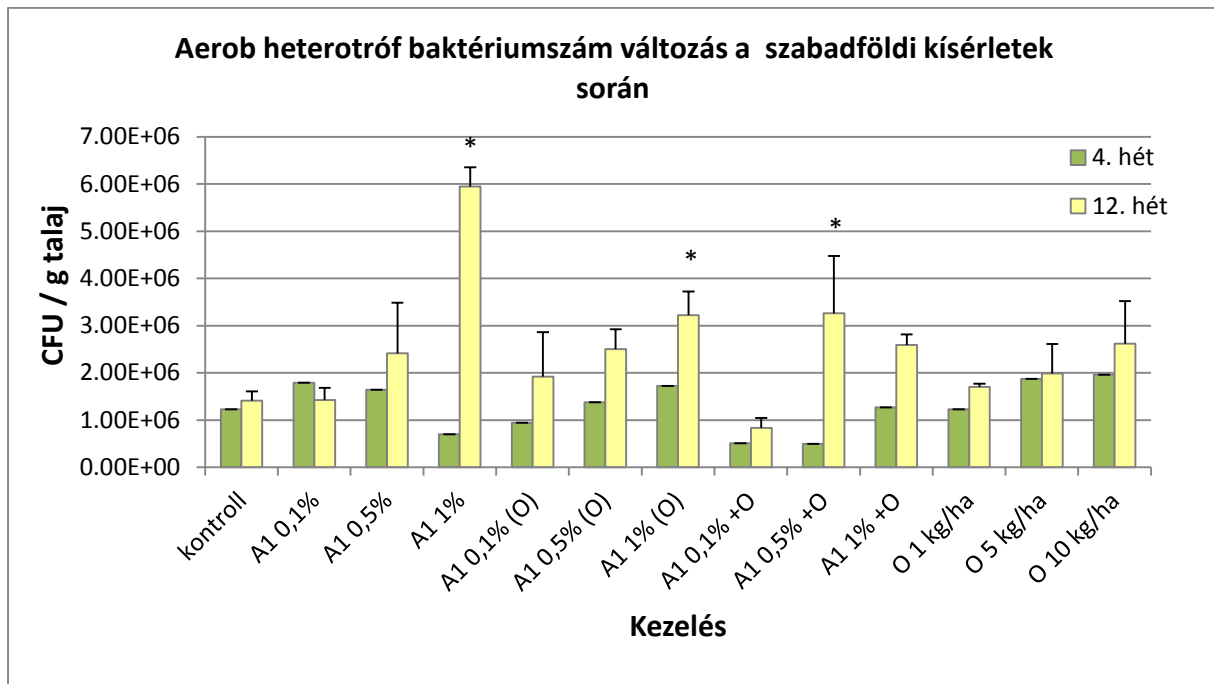


44. ábra Izzítási veszteség alakulása a szabadföldi mintavételek során

A csak oltóanyagot tartalmazó parcellák talajai esetén, egyik alkalmazott dózisonál sem volt jelentős eltérés az izzítási veszteségben a kontroll talajhoz képest.

4.3.2 Biológiai aktivitás változása a kisparcellás kísérletekben

A kezelések talaj biológiai állapotára gyakorolt hatását a kisparcellás szabadföldi kísérletekben az aerob heterotróf baktériumszám változásával jellemezzük. A 45. ábrán a szabadföldi kísérletsorozat 4. és 12. heti mintavételeinek a baktériumszám változását követhetjük nyomon.



45. ábra Baktériumszám változás a mikrokozmosz kísérletek során

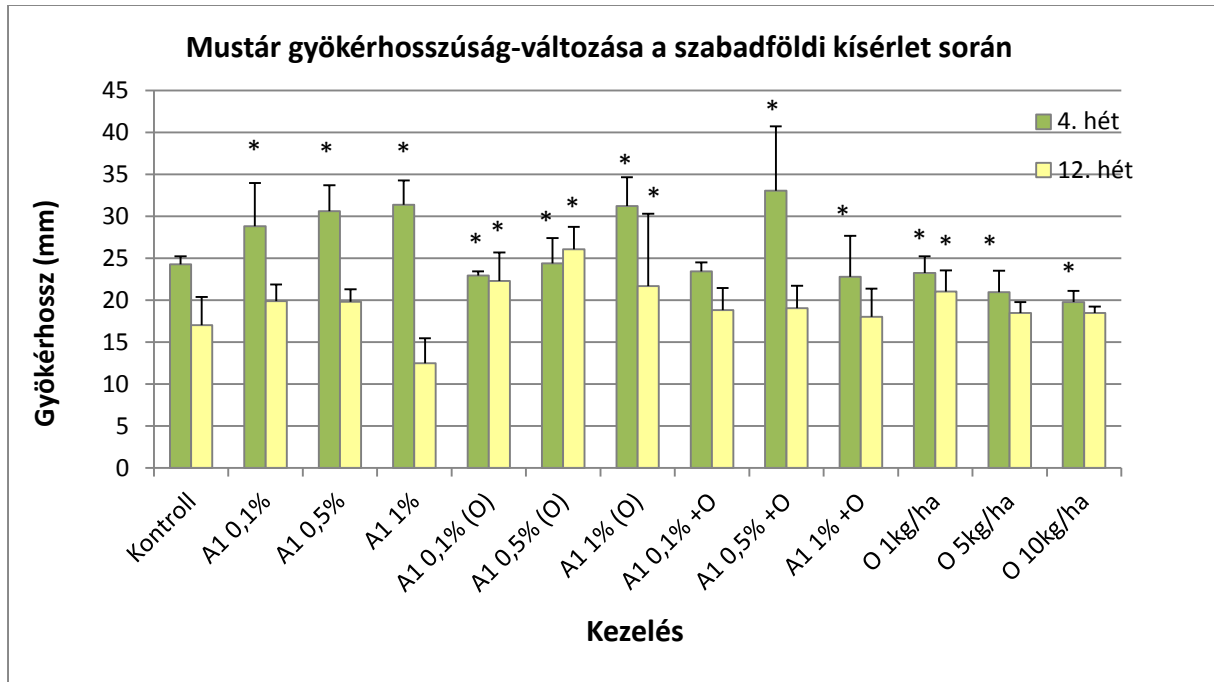
Míg 4 hét elteltével nincs jelentős különbség a kezelések között egyik szinten sem, a második mintavételre a bioszén 0,1%-os koncentrációinak kivételével minden esetben nagyobb sejtszám értékeket kaptunk, mint a kísérlet indításakor. Itt is az 1% koncentrációban alkalmazott bioszén gyakorolt szignifikáns intenzifikáló hatást a kontrollhoz képest a sejtszámra, továbbá a 0,5% bioszén és a mellé adagolt oltóanyag is szignifikáns növekedést eredményezett a baktériumszámban. Az 1% koncentrációban bekevert csak bioszenes kezelést kapott parcellák teljesítettek a kontrollhoz képest négyszeres sejtszám növekedést mutatnak.

4.3.3 Növényekre és talajlakó állatokra gyakorolt hatás változása a kisparcellás kísérletekben - ökotoxikológiai vizsgálatok

A növényi és állati tesztorganizmusokat alkalmazó ökotoxikológiai eljárások alkalmazása a kezelések hatásának monitorozására egyrészt a környezeti kockázat felmérése szempontjából is, továbbá olyan talajfunkciók ellátásának, mint élőhely, minta primer biomasszatermelés szempontjából is alapvető fontosságú.

4.3.3.1 *Sinapis alba* gyökér- és szárnövekedés alakulása a szabadföldi kísérletekben

A mustár növény növekedését (gyökérhosszának változását) a szabadföldi kiscellákról származó talajokon a 46. ábra mutatja.

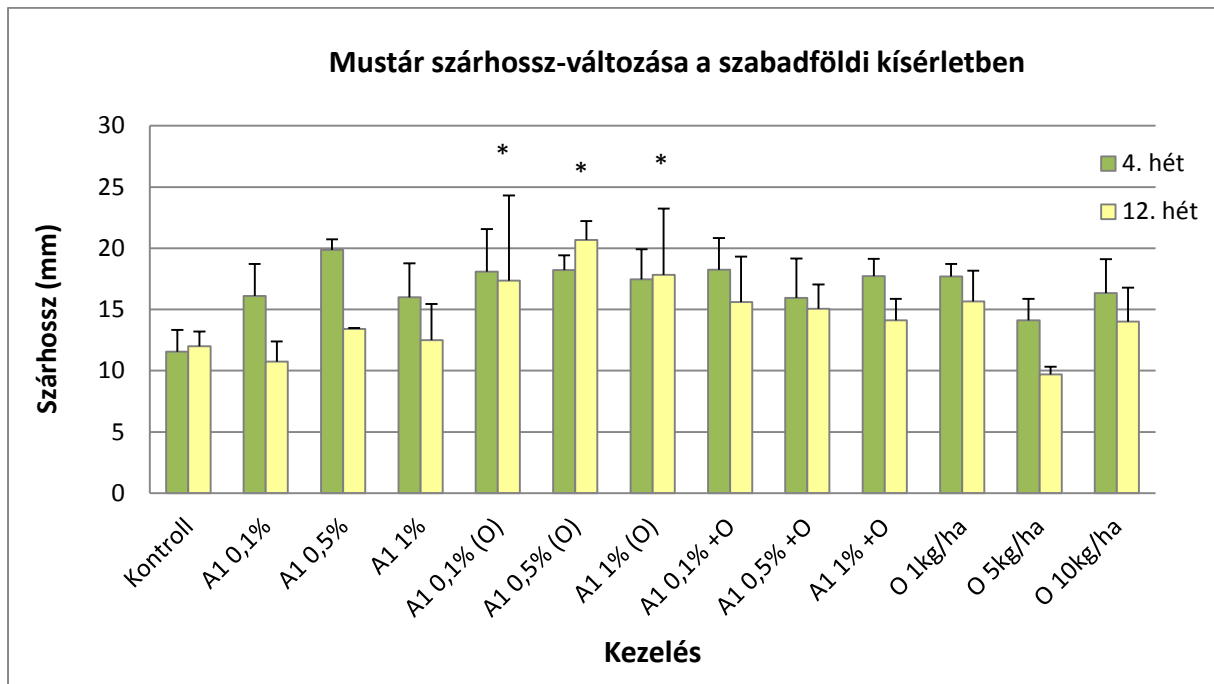


46. ábra Mustár gyökérhosszúság- változása a szabadföldi kísérlet során

Négy hét elteltével szignifikánsan nagyobb gyökérhosszúságot mértünk a kontrollhoz képest minden minta esetén, viszont jól látható, hogy 12 hét elteltével jelentős csökkenés tapasztaltunk csaknem minden kezelésnél kivéve a bioszén és a felvitt oltóanyag kombinációkat. A csökkenés a kontroll mintára is érvényes ahol a csökkenés 30%-os volt.

A csak bioszén kezelés alatt álló parcellák talajai 12 hét elteltével nem mutattak szignifikáns eltérést a kontrollhoz viszonyítva, viszont az 1% koncentrációban történő keverés már enyhe (nem szignifikáns) gátlást mutatott a kontrollhoz képest. A bioszénre vitt oltóanyaggal kezelt parcelláknál megfigyelhető, hogy a koncentráció növekedésével nőtt a mustárnövények gyökérhosszúsága és mindkét mintavétel során szignifikáns különbséget mutatnak az eredmények a kontroll talajhoz képest.

Az 47. ábra a mustár szárhosszúságot mutatja be.

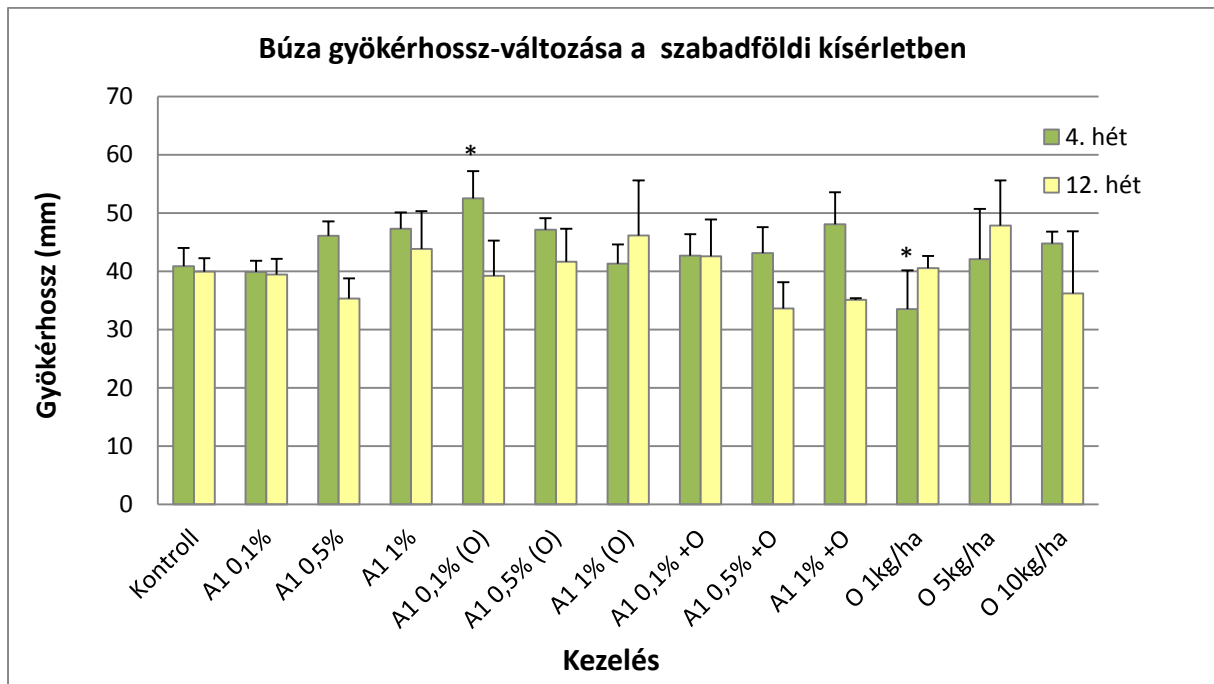


47. ábra Mustár szárhossz-változása szabadföldi kísérlet során

A kontrollhoz képest általánosságban véve mindkét mintavételnél jobban teljesítettek a kezelt a minták, azonban csak azoknál a parcelláknál figyelhető meg szignifikáns különbség a kontrolltól, ahol a bioszénre vitt talajoltóanyagot kevertünk be a talajba. Ezeknél a mintáknál átlagosan kb. 1,5–2-szeres volt a szár hossza, mint a kontrollnál.

4.3.3.2 *Triticum aestivum* gyökérnövekedés alakulása a szabadföldi kísérletekben

Az 48. ábra a búza gyökérhossz változását szemlélteti az egyes parcellákról származó talajokon. Általánosságban megállapíthatjuk, hogy nincsenek olyan egyértelmű különbségek, mint a mustár tesztnövény esetén. Ezért mindenképpen indokolt további vizsgálatokat végezni a jövőben, más tesztnövények bevonásával is.

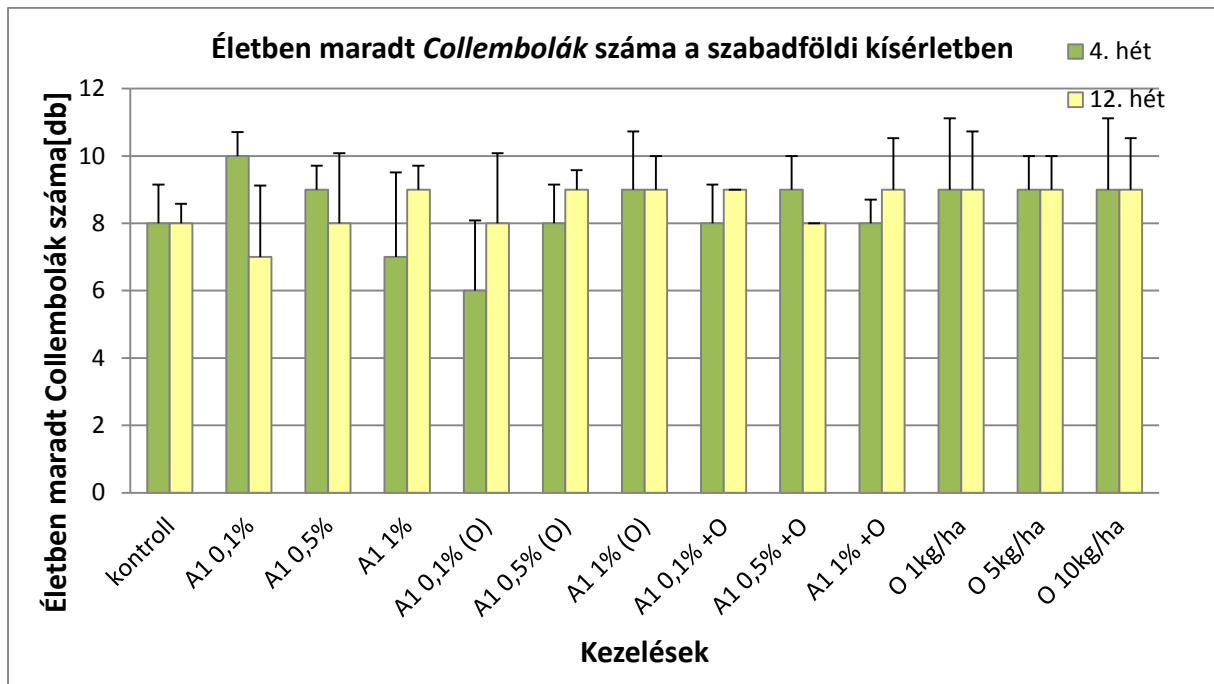


48. ábra Búza gyökérhossz-változása a szabadföldi kísérlet során

Szignifikáns eltérések tehát nem láthatóak a minták és a kontroll között, egy kezelés kivételével, az első mintavételnél a 0,1% koncentrációban alkalmazott bioszén esetében amelyre oltóanyagot vittünk.

4.3.3.3 *Collembola* tesztorganizmusra gyakorolt hatás alakulása a szabadföldi kísérletekben

Az 49. ábra a *Collembola* tesztorganizmussal végrehajtott kísérleteink eredményeit mutatja. A mikrokozmosz kísérletekkel ellentétben a szabadföldi parcellás kísérletek eredményei 12 hét elteltével, még nem tükrözik a talajlakó *Folsomia candida* esetén a bioszén kedvező hatását, ami egy élhetőbb környezet megjelenésével járt a laboratóriumi kísérletekben.



49. ábra *Collembola* teszt a szabadföldi kísérletek során

Szignifikáns eltérés egyik kezelés között sem volt megállapítható ANOVA analízissel, ahogy a 49. ábrán is látszik. Ugyanakkor pozitívum a környezeti kockázat szempontjából, hogy a kezelések szignifikáns csökkenést sem okoznak az állatkák számában, tehát az alkalmazott adalékok nem jelentenek kockázatot számukra.

4.3.4 A szabadföldi kísérlet eredményeinek összefoglaló értékelése

Mivel a szabadföldi kisparcellás kísérlet utolsó mintavételének vizsgálata még folyamatban vannak, ugyanígy a tesztnövényként alkalmazott kukorica analízise is, ezért csak részleges értékelésre van lehetőségünk az első eredmények alapján. A 14. összefoglaló táblázat az egyes paramétereken mérhető pozitív szignifikáns hatásokat foglalja össze, az egyes kezelések hatására.

14. táblázat Talajjellemzők összesítése a szabadföldi kísérlet során

Talaj jellemzők									
Kezelések	Víztartóképesség	pH	Izzitási veszteség	EC	Baktérium szám	Gomba szám	Mustár	Búza	Collenbola
A1 0,1%							✓		
A1 0,5%	✓	✓				✓	✓		
A1 1%	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
A1 0,1% (O)							✓	✓	
A1 0,5% (O)			✓			✓	✓	✓	
A1 1% (O)		✓	✓	✓	✓		✓		✓
A1 0,1% +O									
A1 0,5% +O	✓					✓	✓		
A1 1% +O	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
O 1 kg/ha									✓
O 5 kg/ha				✓					✓
O 10 kg/ha	✓								✓

A táblázat alapján egyértelműen kirajzolódik, hogy az 1% koncentrációban alkalmazott bioszén önmagában és a mellette alkalmazott oltóanyaggal is a legkedvezőbb hatású a savanyú homoktalaj javítására.

4.4 Innovatív talajjavítási technológia összefoglaló értékelése

Egy újonnan kifejlesztett talajjavítási technológiáról, azt hogy az elvárásoknak megfelelően működik-e a valóságban, az *Irodalmi áttekintésben* bemutatott verifikáció módszerével igazoljuk.

Ennek megfelelően a technológia verifikálása négy nagyobb résztvevőre bomlik. Az első a technológiai hatékonyság, melynek megállapításához anyagmérlegeket kell készítenünk, melyekre visszavezethetjük a talajban lejátszódó pozitív vagy negatív irányú változásokat. Ezek mellett vizsgálnunk kell a technológia ökológiai (környezet)hatékonyságát is, melyhez a lokális kockázatokat ki kell terjesztenünk regionális és akár globális szintű kockázatokig is. A verifikáció része a társadalmi és gazdasági hatások értékelése is. Ilyenek a pénzben kifejezhető értékek, költségek, erőforrások és az olyan hatások, melyek nehezebben fejezhető ki pénzben, például az esztétikusság kérdése, vagy a munkaerőforrás igény megnövekedése. A verifikáció negyedik része az ún. SWOT analízissel megismerhető erős és gyenge pontok, további lehetőségek és a veszélyek felmérése.

Mivel a bioszén hulladékból készített talajjavító anyag, ezért innovatív technológiának számít, tehát kiemelt fontosságú a technológia hatékonyságának ellenőrzése, összehasonlítása más hasonló lehetőségekkel, ökológiai-, gazdasági-, technológiai szempontokból.

A háromlépcsős kísérletsorozatban a technológiai monitoring eredmények segítenek az elemzés elkészítésében, hiszen ezeken nyomon követhető mind az időbeni változás, mind a különböző léptékben való alkalmazás. A kísérletsorozat elsődleges célja a leromlott szerkezetű, rossz víz- és tápanyaggazdálkodási jellemzőkkel rendelkező homoktalaj javítása, növénytermesztésre alkalmassá tétele volt.

A teljes technológiai verifikációt nem áll módunkban elvégezni, mert a szabadföldi kísérlet még folyamatban van, és ennek eredményei elengedhetetlenek ahhoz, hogy a hosszú távú eredményekről beszélni tudjunk. Ezekből az okokból kifolyólag a teljes verifikációhoz szükséges társadalmi- és gazdasági hatékonyság elemzését nem tudtuk elvégezni, de a rendelkezésünkre álló eredmények alapján technológiai, ökológiai hatékonyságot felmértünk és SWOT analízist is készítettünk a technológia megfelelő jellemzése céljából

4.4.1 Technológiai hatékonyság felmérése

A folyamatban lévő szabadföldi kísérlet befejező mintavétele nélkül nem tudunk teljes anyagmérleget felállítani ezért az eredményeink alapján a talajjellemzők minőségének alakulását tudjuk csak jellemezni.

Eredményeink alapján elmondható, hogy a legjobb technológiának a bioszén és a bioszénre felvitt oltóanyag bizonyult, ezek közül is a 0,5% és 1% koncentrációban. A talaj fizikai és kémiai paramétereit javítja, a biológiai aktivitásnak kedvez. Ezt követi hatékonyságban a bioszén és a bioszén melletti oltóanyagos kezelés. Továbbá az is megállapítható, hogy a csak oltóanyagot tartalmazó parcellákhoz képest minden bioszenes kezelési forma kedvező hatást mutatott.

4.4.2 Ökológiai hatékonyság felmérése

A technológia előnyének számít, hogy igen sokféle eredetű hulladék (pl. fanyesedék, kínai nád, mezei virágok, szennyvíziszap, gabonahéj, háztartási hulladék) felhasználásával készülhet. Azonban szem előtt kell tartani, hogy a bioszenek készítési eljárása során, az alapanyagtól függően maradhatnak benne toxikus nehézfémek és PAH vegyületek, amelyek a talajban való nagy mennyiségű alkalmazása esetén felhalmozódhatnak.

Az ökotoxikológiai tesztek eredményei alapján azonban egyértelműen megállapíthatjuk, hogy az előkísérletek és a laboratóriumi mikrokozmosz kísérletek alapján kiválasztott bioszén nem mutat toxikus hatást, nem jelent kockázatot az ökoszisztémára.

4.4.3 SWOT analízis

A SWOT analízis során a technológia erősségeit (*Strengths*) gyengeségeit (*Weaknesses*), lehetőségeit (*Opportunities*), és veszélyeit (*Threats*) foglaljuk össze táblázatos formában. Az erősségeket és lehetőségeket, mint pozitívumot ábrázoljuk egy oszlopban, míg a gyengeségeket és veszélyeket, mint a technológia negatívumait egy másik oszlopban. Így egy könnyen összehasonlítható ábrázolást kapunk, amit a 15. táblázat szemléltet:

15. táblázat SWOT analízis

Erősségek	Gyengeségek
<ul style="list-style-type: none"> • Talajba juttatása könnyen kivitelezhető • A technológiának nincs nagy munka igénye • Állandó szakemberi figyelmet nem igényel a talajjavítási technológia • A bioszén hulladék felhasználásával készül, a hulladékok mennyisége így csökkenthető • Csak természetes anyagokat juttat a talajba • Pozitív hatással van a kezelt talaj fizikai, kémiai és a biológiai paramétereire 	<ul style="list-style-type: none"> • Eltérő kezelés alkalmazandó a különböző talajtípustól függően • Előzetes kísérletet és egyedi tervezést igényel • A szélhordás esélye fennáll • A bioszén alapanyag minősége befolyásolja a kezelések hatását
Lehetőségek	Veszélyek
<ul style="list-style-type: none"> • A vízvirágzást előidéző műtrágyák kiváltása • Technológia általánosítása/kidolgozása minden talajtípusra • Szerves hulladékot termelő üzemek hulladékgazdálkodásának új szemlélete és ezáltal gazdaságosabbá tétele 	<ul style="list-style-type: none"> • A bioszén kiégetése során maradhatnak nehézfémek, amik felhalmozódhatnak így azok később mobilizálódva kockázatot jelenthetnek. • A pirolízis során PAH vegyületek keletkeznek, melyek egy rész a bioszénre abszorbeálódik. A PAH vegyületek rákkeltő hatásúak.

5. Összefoglalás

TDK dolgozatunk témája a környezeti kockázatmenedzsment két kiemelt jelentőségű problémakörére épül talajjavítás (talajvédelem) és hulladékhasznosítás. Társadalmunk felelősséggel tartozik az egyre növekvő mennyiségű hulladék keletkezésért, tárolásáért, feldolgozásáért, és újrahasznosításáért. TDK dolgozatunkban bemutatott bioszén talajjavító technológia egyszerre nyújthat megoldást a hulladék újrahasznosításra és a talajjavításra.

Kutatómunkánk fő célja volt, hogy bizonyítsuk a bioszén mint talajjavító adalékanyag és új technológia hatékonyságát leromlott szerkezetű savanyú homoktalajon, mely hazánkban jellemzően jelen van.

Technológiafejlesztést célzó többlépcsős kutatási munkánk magában foglalta különböző bioszén termékek tesztelését, az azt követő laboratóriumi alkalmazást, továbbá az első szabadföldi demonstrációt a komplex technológia értékeléssel együtt. Kísérleteink során a kezelések hatásának értékelésére és jellemzésére integrált módszeregyüttest alkalmaztunk, melynek lényege, hogy a hagyományosan ismert és alkalmazott fizikai-kémiai eredményeket biológiai és ökotoxikológiai eredményekkel egészíti ki, hogy teljesebb képet kapjunk a talaj komplex rendszeréről, a benne zajló folyamatokról. Dolgozatunk a "Zöld Ipari Innováció Program" keretében megvalósuló, "Talajoltóanyag és bioszén kombinált alkalmazása leromlott talajokra" c. pályázat keretein belül készült a BME VBK Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszékével és a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetével közös munkában.

Kísérleteink első fázisában 13 eltérő alapanyagú, különböző pirolízis technikával előállított bioszén terméket teszteltünk a technológiai szempontból megfelelő bioszenek kiszűrésére és további kísérletekhez történő kiválasztására. Fizikai, kémiai, biológiai, és ökotoxikológiai módszerekkel a víztartóképeséget, pH-t, izzítási veszteséget, elektromos vezetőképességet, élősejtszámot, búza és mustár gyökér és szárnövekedést, valamint a toxicitást vizsgáltuk *Collembola* letalitási teszttel és *Aliibrio fischerii* biolumineszcencia gátlási teszttel. Egy sávos pontrendszert alakítottunk ki a tesztel bioszenek rangsorának megállapítására. Ebben egy-egy vizsgált paraméterre az adott bioszén (-5) – (+5) pontszámot kaptak (pontszámok: -5, -3, -1, 0, +1, +3, +5). A kapott pontszámokat összeadtuk és az összpontszám alapján a bioszenek között rangsort állapítottunk meg. Eredményeink alapján a gabonahéj és papírgyártási szennyvíziszap alapú, fanyesedék alapú valamint feketecseresznye alapú bioszenek voltak a talaj vizsgált jellemzőire legjobb hatással.

Az utoljára említett bioszén gazdasági és elérhetőségi szempontok alapján nem bizonyult alkalmasnak, helyette a sztenderd gabonahéj és papírgyártási szennyvíziszap alapú bioszén utókezelt változatát használtuk.

Mikrokozmosz kísérleteink eredményei a gabonahéj és papírgyártási szennyvíziszap alapú bioszénrel azt szemléltették, hogy a bioszén koncentrációjától függően különböző hatást gyakorol a talaj jellemzőire. Összességében ugyanakkor megállapítható, hogy kedvező hatást gyakorolt a talaj kémhatására, víztartókapacitására. Eredményeink alapján a savanyú nyírlugosi homoktalaj kémhatása 1–1,5 egységgel emelkedett 1 % bioszén bekeverés hatására, míg a víztartó kapacitása 30–45%-kal nőtt. Ez a kedvező szerkezetbeli változás megnyilvánult a növényi növekedés serkentésében is. A környezettoxikológiai módszerek közül mind a növénytesztek, mind az állati tesztorganizmus tesztelésének eredményei azt tükrözték, hogy a bioszénrel kezelt talaj jobb életkörülményeket biztosít a növények és a talajlakó állatok számára, mint a homoktalaj. A mikrokozmosz kísérletek során megállapítottuk, hogy a 0,5% koncentrációjú komposzttal kevert bioszén és az 1% koncentrációjú bioszén minták mutatták a legtöbb pozitív szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest. Ezek az eredmények alapozták meg a technológia szabadföldi demonstrációját.

A kutatási munkánk utolsó lépcsőfoka a szabadföldi kísérlet volt, melyet Nyírlugoson 64 kiscellával állítottunk be a mikrokozmosz eredményei alapján leghatékonyabbnak mutató gabonahéj és papírgyártási szennyvíziszap alapú bioszénrel. A kontroll minták mellett további négyféle kezelést alkalmaztunk, mindegyiket háromféle koncentrációban. A kezelések a következők voltak: csak bioszén, (0,1%, 0,5%, 1%), csak oltóanyag (1 kg/ha, 5 kg/ha, 10 kg/ha), továbbá az előbb említett bioszén koncentrációk mellett alkalmaztunk bioszénre vitt oltóanyagot (1 l/ha, 5 l/ha, 10 l/ha) és bioszén mellett adagolt oltóanyagot (1 kg/ha, 5 kg/ha, 10 kg/ha).

A szabadföldi kísérletek során az 1% koncentrációjú bioszén bekeverés mellett alkalmazott oltóanyagos kezelés mutatta a legkedvezőbb hatást a savanyú homoktalaj fizikai-kémiai és biológiai jellemzőire. Ezt a kezelést követi hatékonyságban az 1% koncentrációjú bioszénre vitt oltóanyag bekeverés. Mivel a 1% koncentráció a legnagyobb arányú bekeverésünk a bioszénre vonatkoztatva, ezért biztató eredmény, hogy ebben a viszonylag magas koncentrációban a várt gátlás helyett szignifikáns növekedések voltak megfigyelhetőek. Mindezek mellett a 0,5 % koncentrációban bekevert bioszén kezelési formák is jó eredményt mutattak, gazdasági megfontolásból elképzelhetőbbnek tartjuk a 0,5% koncentrációjú kezelési módok alkalmazását.

6. Felhasznált irodalom

Ameloot, N., De Neve, S., Jegajeevagan, K. (2013) Short-term CO₂ and N₂O emissions and microbial properties of biochar amended sandy loam soils. *Soil Biol. Biochem.* 57, 401–410.

Atkinson, C., Fitzgerald, J., Hipps, N. (2010) Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil* 337 (1–2), 1–18.

Barnes, R.T., Gallagher, M.E., Masiello, C.A., Liu, Z., Dugan, B. (2014) Biochar-Induced Changes in Soil Hydraulic Conductivity and Dissolved Nutrient Fluxes Constrained by Laboratory Experiments. *PLoS ONE* 9(9): e108340. doi:10.1371/journal.pone.0108340.

Basso, A. S., Miguez, F.E., Laird, D.A., Horton R., Westgate, M. Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils., *GCB Bioenergy*5, (2012) p132-143

Bastos, A.C., Prodana, M., Abrantes, N., Keizer, J.J., Soares, A.M.V.M., Loureiro, S. (2014) Potential risk of biochar-amended soil to aquatic systems: an evaluation based on aquatic bioassays. *Ecotoxicology* 23, 1784–1793.

Beesley, L., Moreno-Jimenez, E., Gomez-Eyles, J.L., Harris, E., Robinson, B., Sizmur, T. (2011) A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environ. Pollut.* 159, 3269–3282.

Brewer, C. E., Schmidt-Rohr, K., Satrio, J. A., Brown, R. C., 2009 Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems. *Environ Prog Sustain Energy* 28(3) p 386-396

Brewer, C. E., Biochar characterization and engineering Phd dissertations, Iowa State University, (2012)

Brockhoff, S.R., Christians, N.E., Killorn, R.J., Horton, R., Davis, D.D. (2010) Physical and mineral – nutrition properties of sand-based turf grass root zones amended with biochar. *Agron. J.* 102 (6), 1627–1631.

Case, S. D. C., McNamara, N. P., Reay, D. S., Stott, A. W., Grant, H. K., Whitaker, J. (2015) Biochar suppresses N₂O emissions while maintaining N availability in a sandy loam soil. *Soil Biology & Biochemistry* 81, 178–185

Csubák, M., Posta, J., Zsuposné, dr. Oláh, Á., (2007) Összefüggések a humuszsavak kémiai összetétele és a talaj biológiai aktivitása között. Project Report OTKA

Domene, X. , Enders, A. , Hanley, K., Lehmann, J. (2015a) Ecotoxicological characterization of biochars: Role of feedstock and pyrolysis temperature. *Sci. Total Environ.* 512–513, 552–561.

Dr. Szabó-Kozár János: Növénytermesztési alapismeretek, Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, 1983.

Fabbri, D., Rombolá, A. G., Torri, C., Spokas, K. A., 2013 Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in biochar and biochar amended soil. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 103 p 60-67

Fülek, Gy. (2011) Talajvédelem, talajtan, *Környezetmérnöki tudástár* 3. kötet

Githinji, L. (2013) Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Arch. Agron. Soil Sci.* 60 (4), 457–470.

Gruiz K., Horváth B., és Molnár M. (2001) Környezettoxikológia, *Műegyetemi Kiadó*, Budapest

Gruiz, K., Feigl, V., Fekete-Kertész, I., Klebercz, O., Molnár, M., Tolner, M., Vaszita, E., Bioszéntípusok, oltóanyagok és technológiák összegyűjtése, a kiválasztottak összehasonlító értékelése, Tanulmány-I. Munkaszakasz, (2014) *Terra Preta Pályázat- HU09-0029-A1-2013*

Hartmann Mátyás, 2008. Fizika, kémia és biológia a talajban. *Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet*

Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., Nelson, P.F. (2010) Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere* 78, 1167–1171.

Hossain, M.K., Strezov, V., Chan, K.Y., Ziolkowski, A., Nelson, P.F. (2011) Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *J. Environ. Manag.* 92, 223–228.

Kátai, J., (2011) Talajökológia *Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem*

Kátai, J., Alkalmazott talajtan, (2011) *Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem*

Kloss, S., Zehetner, F., Wimmer, B., Buecker, J., Rempt, F., Soja, G. (2014) Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. *J Plant Nutr. Soil Sci.* 177, 3–15.

Kołtowski, M., Oleszczuk, P. (2015) Toxicity of biochars after polycyclic aromatic hydrocarbons removal by thermal treatment. *Ecol. Eng.* 75, 79–85.

Lehmann, J., J. P. da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser (2003) Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil* 249(2), 343–357.

Lehmann, J., Rilling, MC., Thies, J., Masilello, CA., Hockaday, WC., Crowley, D., 2011 Biochar effects on soil biota - A review. *Soil Biology & Biochemistry*, 43 p 1812-1836

Oleszczuk, P., Josko, I., Kusmierz, M. (2013) Biochar properties regarding to contaminants content and ecotoxicological assessment. *J. Hazard. Mater.* 260, 375–382.

Oleszczuk, P., Joško, I., Kuśmierz, M., Futa, B., Wielgosz, E., Ligęza, S., Pranagal, J. (2014) Microbiological, biochemical and ecotoxicological evaluation of soils in the area of biochar production in relation to polycyclic aromatic hydrocarbon content. *Geoderma*. 213, 502–511.

Pellera, F.-M., Giannis, A., Kalderis D., Anastasiadou, K., Stegmann, R., Wang, J.-Y., Gidarakos, E., 2012. Adsorption of Cu(II) ions from aqueous solutions on biochars prepared from agricultural by-products. *J. Environ. Manage.* 96 (1) , p 35-42

Quilliam, R. S., Glanville, H. C., Wade, S. C., Jones, D. L., Life in the 'charosphere'- Does biochar in agricultural soil provide a significant habitat for microorganisms? *Soil Biology & Biochemistry* 65 (2013) p 287-293

Rékási, M., Unzinger, N., A bioszén felhasználásának lehetőségei a talaj tápanyag--utánpótlásában *Agrokémia és talajtan* 64(2015)1 p239-256

Sheng-Gao, L., Fang-Fang, S., Yu-Tong, Z., Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil, *Catena* 114 (2014) p37-44

Shi, L., Zhang, G., Wei, D., Yan, T., Xue, X., Shi, S., Wei, Q., Preparation and utilization of anaerobic granular sludge-based biochar for the adsorption of methylene blue from aqueous solutions, *Journal of Molecular Liquids* 198 (2014) p334-340

Sohi, S., Loez-Capel, E., Krull, E., Bol, R., 2009 Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs. *CSIRO Land and Water Science Report* 05/09, 64 pp

SOILUTIL (2009–2013) Soil amelioration by innovative waste utilisation technologies, Liveable and Sustainable Environment, TECH 09 A4, Funded by the Hungarian National Programme,

Solaiman, Z.M., Murphy, D.V., Abbott, L.K. (2012) Biochars influence seed germination and early growth of seedlings. *Plant Soil* 353, 273–287.

Stefanovits, P., Filep, Gy., Füleky, Gy. (1999) Talajtan, *Mezőgazda Kiadó*

Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Blum, W.E.H., Zech, W. (2008) Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *J. Plant Nutr. Soil Sc.* 171, 893–899.

Szalai, Z., (2011) Bevezetés a talajtanba-környezettanoknak, *Typotex Kiadó*

Szalkay Cs. -Penksza K. Természetvédelmi, környezetvédelmi és tájökölógiai terepi gyakorlatok, *Műszaki Kiadó*, 2010.

Uchimiya, M., Chang, S., Klasson, K.T., Screening biochars for heavy metal retention in soil: Role of oxygen functional groups, *Journal of Hazardous Materials* 190 (2011) p432-441

Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Zahoor, A., Nishihara, E. (2011) Influence of biochar application on sandy hydraulic properties and nutrient retention. *J. Food Agr. Env.* 9 (3–4), 137–1143.

Várallyay, Gy., (2002) A talajok környezeti érzékenységének értékelése, *Acta Agraria Debreceniensis HU ISSN 1587-1282*

Vermes, L., (2005) Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás, *Mezőgazda Kiadó*

Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M., Zimmerman, A.R. (2012) Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere* 89, 1467–1471.

Zhang, Afeng, Liqiang Cui, Gengxing Pan, Lianqing Li, Qaiser Hussain, Xuhui Zang, Jinwei Zheng, Crowley, D., 2010 Effect of Biochar Amendment on Yield and Methane and Nitrous Oxide Emissions from a Rice Paddy from Tai Lake Plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 139.4: p 469-75

Zöld Ipari Innováció program (2014–2016), Hulladék mennyiségének és levegő, víz talaj szennyezésének csökkentése, HU09-0029-A1-2013

TÖRVÉNYEK, RENDELETEK

36/2006. (V. 18.) FVM http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0600036.FVM

29/2006. (IV. 10.) FVM r. https://mvh.gov.hu/MVHPortal/files/1023077_722008mvhpd

90/2008. (VII. 18.) FVM http://mvh.eu-info.hu/dokumentum_leiro&id=39602

INTERNETES HIVATKOZÁSOK, ADATBÁZISOK

KÖRINFO1:

http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/KMB_2015_6ea_talaj_FV_vegl.pdf

KÖRINFO 2: [ttp://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/NA%C3%A9sremedgruiz_0.pdf](http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/NA%C3%A9sremedgruiz_0.pdf)

KÖRINFO 3: http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/verifikacioj%C3%B3_0.pdf

KÖRINFO 4:

http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/KKM_2015_Bevezet%C5%91_Tematika.pdf

Dr. Czakó Sándor, Környezeti kockázat elemző módszerek alkalmazása.

<http://inventor.hu/ceco/kock/konyv/korkock.pdf>

KVVM: Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium:

http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/talaj_tajekoztato/talaj_tajek-3.htm

EBC (2012) 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/ebc-guidelines.pdf>

7. Mellékletek:

16. táblázat: A talajok nitrogénellátottságának alakulása a mikrokozmosz kísérletek során

A minta neve:	NH4-N		NO3-N		ÖSSZ-N	
	mg/kg		mg/kg		m/m%	
	2. mintavétel	3. mintavétel	2. mintavétel	3. mintavétel	2. mintavétel	3. mintavétel
K	1,7687	1,3614	18,5710	31,7662	0,0483	0,0517
K_K	2,7228	1,8152	25,8668	42,2036	0,0483	0,0621
K_NPK	2,6530	1,3614	22,5505	43,1113	0,0517	0,0552
A1 0,1%	1,8152	1,8152	17,2445	30,4048	0,0448	0,0483
A1 0,5%	1,3265	1,8152	11,9385	29,9510	0,0448	0,0552
A1 1%	0,9076	1,8152	11,7989	25,4129	0,0517	0,0586
A1 0,5%_K	1,3614	1,8152	24,0515	40,3884	0,0483	0,0621
A1 0,5%_NPK	2,2690	1,8152	27,2282	41,2960	0,0448	0,0621

17. táblázat: A talajok tápanyagellátottságának alakulása a mikrokozmosz kísérletek során

A minta neve:	H		AL - K2O		AL - P2O5	
	m/m %		mg/kg		mg/kg	
	2. mintavétel	3. mintavétel	2. mintavétel	3. mintavétel	2. mintavétel	3. mintavétel
K	0,6732	0,8217	51,6709	69,1818	88,0711	90,3370
K_K	0,6852	0,8750	57,6076	78,0263	162,0144	166,3630
K_NPK	0,6382	0,8090	62,4063	70,3684	97,3580	93,9838
A1 0,1%	0,6755	0,7857	66,6373	73,8009	96,6487	101,2065
A1 0,5%	0,7798	0,9602	80,2836	98,0644	113,1132	115,5802
A1 1%	0,9048	1,1234	141,4946	103,0791	170,2902	133,8972
A1 0,5%_K	0,8395	1,0981	93,5185	102,2462	196,5830	216,1010
A1 0,5%_NPK	0,8434	1,0604	89,0686	101,5796	131,1051	125,2707

18. táblázat: Vízretartóképesség értékei a mikrokozmosz kísérletekben

A minta neve:	1. mintavétel (Kiindulási)		2. mintavétel (2.hét)		3. mintavétel (7.hét)	
	WHC (%) átlag	szórás	WHC (%) átlag	szórás	WHC (%) átlag	szórás
K	30,50528	0,76905	27,14820	0,51138	25,73524	1,34319
K_K	30,37039	0,93597	27,68217	0,05896	31,13255	0,69005
K_NPK	29,55305	0,73375	24,28083	3,04427	21,73524	2,36067
A1 0,1%	28,53461	3,78371	29,58771	2,84160	28,30042	1,82357
A1 0,5%	26,76158	0,79531	31,36304	0,00000	27,72005	4,76477
A1 1%	29,20229	1,39217	29,69603	0,07693	33,70992	0,31254
A1 0,5%_K	30,20393	1,06898	28,74324	1,03310	31,50723	0,79888
A1 0,5%_NPK	31,28819	0,24794	28,07861	0,34137	31,25558	1,51979

19. táblázat: A mikrokozmoszokban mért pH értékek

A minta neve:	1. mintavétel (kiindulás)		2. mintavétel (2. hét)		3. mintavétel (7. hét)	
	pH	szórás	pH	szórás	pH	szórás
K	4,35	0,05	3,69	0,48	3,88	0,03
K_K	4,41	0,01	4,12	0,09	4,32	0,05
K_NPK	4,12	0,05	3,58	0,23	3,69	0,06
A1 0,1%	4,41	0,37	3,88	0,11	3,92	0,06
A1 0,5%	4,97	0,24	4,26	0,08	4,33	0,02
A1 1%	5,13	0,11	4,65	0,09	4,77	0,15
A1 0,5%_K	4,45	0,21	4,51	0,12	4,60	0,15
A1 0,5%_NPK	4,31	0,14	3,95	0,08	4,17	0,06

20. táblázat: A mikrokozmoszokban mért vezetőképesség értékek

A minta neve:	1. mintavétel (kiindulás)		2. mintavétel (2. hét)		3. mintavétel (7. hét)	
	EC	szórás	EC	szórás	EC	szórás
K	34,80	2,33	54,43	3,56	58,1	5,091
K_K	78,40	2,26	90,07	2,48	115,5	2,121
K_NPK	64,23	0,90	81,30	5,66	110	4,243
A1 0,1%	35,90	0,26	48,25	6,72	71,6	2,343
A1 0,5%	26,93	3,95	40,27	2,87	61,43333	4,941
A1 1%	26,70	1,97	40,43	1,29	57,3	6,265
A1 0,5%_K	60,37	7,67	76,73	8,80	76,1	6,647
A1 0,5%_NPK	63,10	0,28	74,50	5,16	111	4,243

8. táblázat: A mikrokozmoszokban mért izzítási veszteség értékek. táblázat

A minta neve:	1. mintavétel (Kiindulási)		2. mintavétel (2.hét)		3. mintavétel (7.hét)	
	I.V. átlag	szórás	I.V. átlag	szórás	I.V. átlag	szórás
K	1,5459	0,0462	1,5057	0,0026	1,7181	0,3508
K_K	1,6668	0,1481	1,6747	0,1032	1,7231	0,0051
K_NPK	1,5457	0,0314	1,6054	0,0648	1,7254	0,1081
A1 0,1%	1,9408	0,4895	1,6388	0,1078	1,5218	0,0332
A1 0,5%	2,1757	0,3033	1,9759	0,0668	1,7812	0,1040
A1 1%	2,1491	0,1428	1,4960	0,9271	2,0974	0,2092
A1 0,5%_K	2,2967	0,6555	2,1527	0,2395	1,9602	0,1319
A1 0,5%_NPK	2,0115	0,1120	1,8479	0,0420	1,8048	0,1019

21. táblázat: A baktériumszám a mikrokozmosz kísérletekben

<i>A minta neve:</i>	1. mintavétel (kiindulás)	2. mintavétel (2. hét)	3. mintavétel (7. hét)
K	1750000	2061111	2075000
K+K	2093333	2622222	2340000
K+NPK	2571667	1806667	1965000
A1 0,1%	1395000	2356667	2125000
A1 0,5%	2405000	2050000	2510000
A1 1%	2460000	2637778	2610000
A1 0,5%+K	3105000	3083333	4826667
A1 0,5%+NPK	2990000	2382500	3625000

22. táblázat: A gombaszám változása a mikrokozmosz kísérletekben

<i>A minta neve:</i>	1. mintavétel (kiindulás)	2. mintavétel (2. hét)	3. mintavétel (7. hét)
K	1000000	1095000	665000
K+K	1090000	1272500	815000
K+NPK	1175000	1185000	1050000
A1 0,1%	1310000	775000	595000
A1 0,5%	1820000	925000	745000
A1 1%	1642500	942500	1090000
A1 0,5%+K	1591667	667500	665000
A1 0,5%+NPK	835000	787500	743333

23. táblázat: A sejtszám és a gombaszám aránya a három mintavételre egyenként

A minta neve:	1. mintavétel (Kiindulási)			2. mintavétel (2. hét)			3. mintavétel (7.hét)		
	gombaszám	sejtszám	arány	gombaszám	sejtszám	arány	gombaszám	sejtszám	arány
K	1000000	1750000	1,75	1095000	2061111	1,88	665000	2075000	3,1
K+K	1090000	2571667	2,36	1272500	1806667	1,42	815000	1965000	2,4
K+NPK	1175000	2093333	1,78	1185000	2622222	2,21	1050000	2340000	2,2
A1 0,1%	1310000	1395000	1,06	775000	2356667	3,04	595000	2125000	3,5
A1 0,5%	1820000	2405000	1,32	925000	2050000	2,22	745000	2510000	3,4
A1 1%	1642500	2460000	1,50	942500	2637778	2,80	1090000	2610000	2,4
A1 0,5%+K	1591667	3105000	1,95	667500	3083333	4,62	665000	4826667	7,3
A1 0,5%+NPK	835000	2990000	3,58	787500	2382500	3,03	743333	3625000	4,9

24. táblázat: 1. mintavétel során a gyökérhossz átlagok

A minta neve:	1. mintavétel (kiindulás)		
	gyökér átlag	gyökér szórás	gátlás
K	17,7281	3,7822	
K+K	18,1053	2,4159	
K+NPK	18,5614	2,4121	
A1 0,1%	31,6886	4,0825	-78,7481
A1 0,5%	32,3333	3,3758	-82,3850
A1 1%	31,2000	3,8588	-75,9921
A1 0,5% K	26,9500	2,4834	-52,0188
A1 0,5% NPK	25,6807	3,0750	-44,8590

25. táblázat: 1. mintavétel során a szárhossz átlagok

A minta neve:	1. mintavétel (kiindulás)		
	szár átlag	szár szórás	gátlás
K	24,3752	1,1984	
K+K	23,8246	0,7165	
K+NPK	22,8246	1,9835	
A1 0,1%	25,2623	2,4178	-3,6391
A1 0,5%	26,6289	0,7310	-9,2459
A1 1%	27,6000	0,9260	-13,2296
A1 0,5% K	24,7667	1,0981	-1,6058
A1 0,5% NPK	27,6491	0,2631	-13,4312

26. táblázat: A második mintavétel során mért gyökérhossz átlagok

A minta neve:	2. mintavétel (2 hét)		
	gyökér átlag	gyökér szórás	gátlás
K	25,3667	2,9484	
K+K	24,7377	1,9068	
K+NPK	22,3167	0,6898	
A1 0,1%	24,9833	2,6974	1,5112
A1 0,5%	31,5614	3,5698	-24,4208
A1 1%	27,8167	3,8592	-9,6583
A1 0,5% K	25,9741	2,0014	-2,3945
A1 0,5% NPK	26,1592	1,7101	-3,1244

27. táblázat: A második mintavétel során mért szárhossz átlagok

A minta neve:	2. mintavétel (2. hét)		
	szár átlag	szár szórás	gátlás
K	22,7500	0,3041	
K+K	24,7167	0,8808	
K+NPK	25,2167	1,0263	
A1 0,1%	24,2833	1,1730	-6,7399
A1 0,5%	24,0351	2,6590	-5,6487
A1 1%	22,7833	1,9624	7,8220
A1 0,5% K	24,2741	1,6752	3,7380
A1 0,5% NPK	25,0303	1,1593	-3,0759

28. táblázat: a 3. mintavétel során mért gyökérhossz átlagok

A minta neve:	3. mintavétel (7 hét)		
	gyökér átlag	gyökér szórás	gátlás
K	17,50877	4,15100	
K+K	17,72544	2,26445	
K+NPK	18,56140	2,41207	
A1 0,1%	21,39916	6,12761	-22,21965
A1 0,5%	22,62745	4,28100	-29,23494
A1 1%	24,63431	2,05111	-40,69698
A1 0,5% K	17,05991	1,64922	2,56362
A1 0,5% NPK	17,54123	1,15381	-0,18537

29. táblázat: A 3. mintavétel során mért szárhossz átlagok

A minta neve:	3. mintavétel (7. hét)		
	szár átlag	szár szórás	gátlás K
K	23,9298	0,8227	
K+K	23,4430	1,2804	
K+NPK	22,8246	1,9835	
A1 0,1%	26,6995	4,6851	-11,5744
A1 0,5%	26,5843	2,3290	-11,0928
A1 1%	26,0148	3,5225	-8,7129
A1 0,5% K	22,4347	1,6477	6,2479
A1 0,5% NPK	22,7246	2,6469	5,0367

30. táblázat Az 1. mintavétel során mért gyökérhossz átlagok

A minta neve:	1. mintavétel (kiindulás)		
	gyökér átlag	gyökér szórás	gátlás
K	30,3111	2,7106	
K+K	31,8302	1,5867	
K+NPK	28,0090	1,6994	
A1 0,1%	27,3366	3,4832	9,8134
A1 0,5%	34,6736	1,9648	-14,3924
A1 1%	31,8178	3,3339	-20,2470
A1 0,5% K	27,9238	2,7964	7,8761
A1 0,5% NPK	30,5977	2,4263	-0,9454

31. táblázat: Az 1. mintavételben mért szárhossz átlagok

A minta neve:	1. mintavétel (kiindulás)		
	szár átlag	szár szórás	gátlás
K	15,6696	0,0631	
K+K	13,2587	0,6861	
K+NPK	11,4361	0,4741	
A1 0,1%	10,4389	0,9917	33,3814
A1 0,5%	13,2530	1,9511	15,4226
A1 1%	11,2486	1,1429	28,2140
A1 0,5% K	12,5623	1,6226	19,8305
A1 0,5% NPK	13,3714	0,7912	14,6667

32. táblázat: A 2. mintavétel során mért gyökérhossz átlagok

A minta neve:	2. mintavétel (2. hét)		
	gyökér átlag	gyökér szórás	gátlás
K	32,8686	3,5434	
K+K	30,9177	2,2964	
K+NPK	30,1905	4,4003	
A1 0,1%	26,9565	3,4854	17,9871
A1 0,5%	27,9998	0,3570	14,8129
A1 1%	29,6999	1,7817	3,9387
A1 0,5% K	31,5670	3,4478	-4,5593
A1 0,5% NPK	31,5786	5,6516	-17,1468

33. táblázat: A 2. mintavétel során mért szárhossz átlagok

<i>A minta neve:</i>	2. mintavétel (2. hét)		
	<i>szár átlag</i>	<i>szár szórás</i>	<i>gátlás</i>
K	14,061126	1,63186857	
K+K	13,813209	1,49272092	
K+NPK	13,18254	1,40381997	
A1 0,1%	10,892929	1,60291669	22,5316
A1 0,5%	10,79881	0,34847213	23,20096
A1 1%	10,269231	1,12549299	26,96723
A1 0,5% K	12,098046	1,51630108	13,96104
A1 0,5% NPK	13,142857	2,00382288	6,530552

34. táblázat: A 3. mintavétel során mért gyökérhossz átlagok

<i>A minta neve:</i>	3. mintavétel (7. hét)		
	<i>gyökér átlag</i>	<i>gyökér szórás</i>	<i>gátlás</i>
K	40,0335	5,0199	
K+K	44,5846	3,1244	
K+NPK	39,1532	3,4074	
A1 0,1%	48,1378	5,0725	-20,2438
A1 0,5%	44,2393	2,4355	-10,5058
A1 1%	43,4056	5,7166	-8,4232
A1 0,5% K	50,2961	4,7359	-12,8103
A1 0,5% NPK	43,4749	3,9558	-8,5965

35. táblázat: A 3. mintavétel során mért szárhossz átlagok

<i>A minta neve:</i>	3. mintavétel (7. hét)		
	<i>szár átlag</i>	<i>szár szórás</i>	<i>gátlás</i>
K	23,1490	1,7830	
K+K	25,0170	4,0088	
K+NPK	23,4639	2,0000	
A1 0,1%	29,0813	0,6385	-25,6267
A1 0,5%	23,2308	1,1331	-0,3534
A1 1%	21,4344	0,3218	7,4067
A1 0,5% K	25,6900	2,5559	-10,9768
A1 0,5% NPK	21,3687	1,5103	7,6907

36. táblázatÉletbenmaradt Collembolák száma a mikrkozmosz 3 mintavétele során

A minta neve:	1. mintavétel (kiindulás)		2. mintavétel (2. hét)		3. mintavétel (7. hét)	
K	20,00	0,00	18,00	0,00	14,00	1,41
K+K	17,00	2,83	17,50	0,71	15,00	1,73
K+NPK	13,50	0,71	17,33	1,53	15,00	2,00
A1 0,1%	19,33	1,15	17,00	1,00	14,67	0,71
A1 0,5%	16,50	0,71	20,00	0,00	19,00	0,00
A1 1%	19,50	0,71	17,50	0,71	19,00	1,41
A1 0,5%+K	20,00	0,00	18,50	0,71	18,00	1,41
A1 0,5%+NPK	16,50	2,12	17,67	2,08	17,50	3,54