



SZENT ISTVÁN EGYETEM
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

**Biogázüzemi erjesztési maradék mezőgazdasági
felhasználásának vizsgálata**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

GULYÁS MIKLÓS

Gödöllő

2017

A doktori iskola

megnevezése: Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola

tudományága: Környezettudomány

vezetője: Csákiné Dr. Michéli Erika

egyetemi tanár

SZIE, Mezőgazdaság-, és Környezettudományi Kar,

Környezettudományi Intézet

Témavezető: Dr. Füleky György

professzor emeritus

SZIE, Mezőgazdaság-, és Környezettudományi Kar,

Környezettudományi Intézet

Az iskolavezető jóváhagyása

A témavezető jóváhagyása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	5
Célkitűzések	7
2. Irodalmi áttekintés	8
2.1. Biogáz előállítási technológiák.....	8
2.1.1. A fejlődő világ üzemei	8
2.1.2. Kisüzemi (farm biogas plant - FBP) biogáz termelés, illetve centralizált üzemek (centralized biogas plant - CBP)	11
2.2. A fermentálási maradék felhasználásának jogszabályi háttere	16
2.3. Felhasználható alapanyagok köre, jellemzése.....	17
2.4. A biogáz képződés mikrobiális háttere.....	20
2.5. Az erjesztési maradékok minőségi jellemzői.....	23
2.6. A talajok termékenységét befolyásoló tényezők	24
2.7. A talajtermékenység javítására, fokozására alkalmas módszerek, eljárások	29
2.8. Erjesztési maradékok a talajtermékenység fenntartásának szolgálatában ..	31
3. Anyag és Módszer	34
3.1. Laboratóriumi tenyészedény kísérletekben használt talajok bemutatása	34
3.2. Az erjesztési maradék fizikai, illetve kémiai tulajdonságai	40
3.3. Bioszén és csontszén analitikai eredményei.....	42
3.4. Laboratóriumi kísérletekben használt tesztnövényről.....	43
3.5. Bioteszt kísérletek 2010-ben	44
3.6. Bioteszt kísérletek 2011-ben	45
3.7. Bioteszt kísérletek 2012-ben	46
3.8. Bioteszt kísérletek 2013-ban	48
3.9. Az alkalmazott mérési módszerek	50
4. Eredmények	51
4.1. Nitrogénformák változása a talajban, kísérletek 2010-ben	51
4.1.1 Biotesztek, 2010	55
4.2. Talajtulajdonságok változása, 2011-ben végzett kísérletek.....	57
4.2.1. Az erjesztési maradék hatása a talaj fizikai féleségének változására	57
4.2.2. Kémhatás változás	58
4.2.3. A talaj széntartalmának változása	59
4.2.4. A talaj kationcsere kapacitásának változása	60
4.2.5. A talaj szervesanyag tartalma és a kationcserélő kapacitása közötti összefüggés	61
4.2.6. A talaj sótartalmának változása	62
4.2.7. A tesztnövény friss és légszáraz hajtástömege	63
4.2.8. A tesztnövény szárazanyag tartalma	65
4.2.9. A tesztnövények által a talajból kivont nitrogén mennyisége	66
4.3. Az ammónium csírázásgátlásának vizsgálata, 2012-ben végzett kísérletek..	67
4.3.1. A talaj ásványi nitrogénformáinak változásai	67
4.3.2. Csírázásgátlás vizsgálat angolperje tesztnövényen	69
4.3.3. Gyökérszerkezet összehasonlítása	71
4.4. Csontszénnel, bioszénnel és erjesztési maradékkal végzett kísérletek, 2013.	72

4.4.1.	A csontszén és a bioszén hatása az Arany-féle kötöttség (K_A) változására	72
4.4.2.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék kémhatásra gyakorolt hatása	73
4.4.3.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj AL-oldható foszfor tartalmának változására	74
4.4.4.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj AL-oldható kálium tartalmának változására	76
4.4.5.	A szervesanyag-tartalom meghatározás eredménye	77
4.4.6.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj összes sótartalmának változására	78
4.4.7.	A bioteszt eredménye	79
4.4.8.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje légszáras hajtástömegének változására	81
4.4.9.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje foszfor tartalmára	82
4.4.10.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a növényi foszfor felvételre	83
4.4.11.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje kálium tartalmára	85
4.4.12.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a növényi kálium felvételre	86
4.4.13.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a növények kalcium tartalmára	87
4.4.14.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a növények magnézium tartalmára	88
4.4.15.	A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a növények mangán tartalmára	90
5.	Következtetések, Javaslatok	92
5.1.	Új tudományos eredmények	92
5.2.	Javaslatok a további kutatásokhoz	93
6.	Összefoglalás	95
7.	Summary	97
8.	Köszönetnyilvánítás	99
9.	Irodalomjegyzék	100
10.	Mellékletek	110

1. Bevezetés és célkitűzések

*„A természet varázsát ontja bőven. A fűben, a virágban és a kőben. Ó nincs a földön oly silány anyag,
mely így vagy úgy ne szolgálná javad; De nincs oly jó, melyben ne volna vész,
ha balga módra véle visszaélsz!”*

(William Shakespeare)

Az emberiség történelmével egyidős a talajhasználat, azonban a népesség növekedésével a talajokat ért stresszhatások fokozottan jelentkeztek. Az ipari forradalom pozitív hozományai mellett, olyan ugrásszerű fejlődést hozott a mezőgazdaságban, melynek hatásai csak évtizedekkel, századokkal később váltak ismertté. A fokozott termelés, az intenzifikálás, a kemizálás folytán javultak a terméseredmények, ily módon a szegényebb régiók is több táplálékhoz jutottak. Korábbi mezőgazdaságunk, termelési technológiánk lényegesen átalakult. Fokozatosan előtérbe került, térben és időben elkülönült az élelmiszer, az ipari és a takarmánynövények termesztése. A kétes hatékonyságú ún. bioerőművek növekvő arányban használják fel a szántóföldi növények melléktermékeit, és a drasztikusan visszaesett állatállomány miatt az istállótrágya kijuttatása is nagymértékben visszaesett. A korábban megszokott ciklusok megváltoztak, a szervesanyag jelentős része nem kerül vissza a művelt területekre. A talajok természetes termékenységét már ősidők óta kihasználja az emberiség, azonban napjainkra már a trágyázási múlt illetve jelen lett ennek a legmeghatározóbb módosító tényezője.

A Föld lakossága mára túllépte a 7 milliárd főt ([http 1](http://1)). A népesség növekedés következményeképpen, egységnyi területen nagyobb termésszinteket kell elérni. A XXI. század gazdálkodója emellett a régi, - bár a korábbi tudásunknak megfelelő - gondolkodásmód helyett, új szempontokat is figyelembe kell, hogy vegyen. A tömegtermelést felváltotta, és a hangsúly áthelyeződött a minőségi élelmiszer előállításra. A gyakorlati ismeretek mellett felértékelődik az agrotechnikai kutatási eredmények ismerete, valamint a helyi viszonyokra való adaptálások szükségessége is.

A mezőgazdasági termelés nem csak ipari nyersanyagforrás, de felvevője is az iparban keletkező számtalan, minőségében eltérő mellékterméknek melyek, mint alternatív tápanyag-utánpótlásra alkalmas anyagok jelennek meg a termelésben (Mekki et al., 2013, Piotrowska et al., 2006; Van Zwieten et al., 2010; Kádár et al., 2009; Kovács et al., 2005). Számos olyan szervesanyag is jelen van a rendszerben, mint például a szervestrágyák, melyet korábban is felhasználtak (Ndayegamiye és Cote, 1989; Balla, 1963). Ezen ipari és kommunális melléktermékek kezelése, átalakítása azonban új vizsgálatokat, megfigyeléseket igényelnek. Emellett számos korábban nem alkalmazott anyag is alternatíva lehet a talajtermékenység megőrzésében, fenntartásában.

A biogáz üzemek XIX. századi megjelenésével aktuálissá vált a biogázüzemi erjesztési maradékok felhasználása. A felhasználás mellett a közvetett és közvetlen hatások vizsgálata is indokolt volt, azonban a kísérletes vizsgálatok csak később kezdődtek meg. Fontos hangsúlyozni, hogy a hatások a szubsztrát minőségétől, vagyis az alapanyag típusától, összetételétől és az alkalmazott technológia körülményeitől, továbbá a kijuttatott mennyiségektől, a talajtípustól és az alkalmazott tesztnövényektől is függ. Így a már meglévő, és új ismereteket adaptálni illetve harmonizálni szükséges, hogy megérthessük a különféle erjesztési maradékok, a talajok, a kultúrnövények és éghajlati tényezők közötti kölcsönhatásokat (Nkoa, 2014).

Az előzőekből is látható, hogy mennyire fontos hazai körülmények között is vizsgálni az erjesztési maradékok hatásait a talaj-növény rendszerben. Hazánkban, európai viszonylatban igen korán megindultak az ország több pontján a szerves anyagokból történő biogáz termelésre irányuló kísérletek. A '60-as évektől üzembe helyezett létesítmények elsősorban a technológiai kutatásoknak adtak otthont. A '90-es évektől kezdve a nyersanyag-, és olajárak növekedése hozzájárult az újgenerációs biogázüzemek építéséhez. Az energiatermelés mellett a keletkező erjesztési maradék gazdaságos elhelyezése is fontos outputja volt immáron ezeknek az üzemeknek. A növekvő műtrágyaárak fényében felértékelődtek ezek a növényi tápanyagokat tartalmazó szubsztrátok, mint tápanyag-utánpótlásra alkalmas anyagok. A mezőgazdasági üzemek környezetében felhasznált ipari és kommunális melléktermékek jelentős megtakarítást jelenthetnek a gazdaság számára.

A 2000-es évek derekától számos hazai kutató csoport is tanulmányozni kezdte a felhasznált erjesztési maradékok hatását, azonban támogatás hiányában a vizsgálatok hamarosan befejeződtek (Makádi et al., 2007c, Somosné és Szolnoky, 2009, Vágó et al., 2008). Annak ellenére, hogy a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya kiemelt kutatási témává nyilvánította ezt a területet, igen szegényes a hazai irodalom a témában.

Célkitűzések

Munkám során az eltérő adagú erjesztési maradék, illetve az inkubációs idő hatását vizsgáltam a talajok fizikai és kémiai tulajdonságaira, valamint az angolperje (*Lolium perenne*) tömegére és csírázására.

Disszertációmiban a következő kérdésekre kerestem válaszokat:

- Az erjesztési maradék és annak bekeverése óta eltelt idő hatása a talaj ásványi N-formáinak változására, az angolperje csírázási dinamikájára.
- A biogáz üzemben termelődött erjesztési maradék hatása a talajtulajdonságokra. Az erjesztési maradék hatása az angolperje növekedésére, N-felvételére tenyészedény kísérletben.
- Az erjesztési maradékkal talajba kevert ásványi nitrogén formák átalakulásának nyomon követése, hatása az angolperje csírázási dinamikájára, különös tekintettel az ammónium-ion toxicitásra.
- A talajba kevert csontszén és bioszén, illetve erjesztési maradék hatása a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaira.
- A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék együttes hatása az angolperje hajtás tömegére, tápanyag tartalmára és felvételére.

2. Irodalmi áttekintés

„A biogáz előállítása több szempontból is különleges helyet foglal el a megújuló energiaforrások között. Ez az a biomassza felhasználási mód, amely a legsokoldalúbb módon elégítheti ki a felhasználók igényeit, hiszen a folyamatban többféle termék állítható elő.” (Bai, 2007)

2.1. Biogáz előállítási technológiák

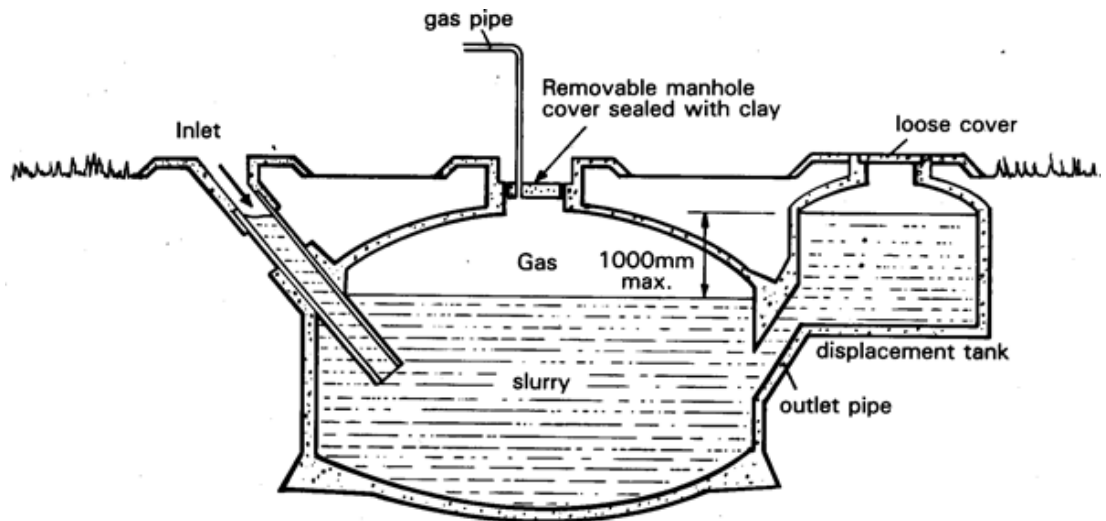
Igen széles azon műszaki megoldások köre, amelyek összessége lehetővé teszi egy biogázüzem megépítését. A különböző technológiai változatoknak, s az alapanyagok diverzitásának és a klimatikus adottságoknak döntő szerepe van egy-egy üzem hatékonyságában. Ilyen változatos előállítási módot képtelenség lenne a teljesség igényével jelen dolgozat keretei között bemutatni, így a következőkben csupán a legfontosabb technológiákra térek ki.

Az alapanyag betáplálás szerint megkülönböztetünk folyamatos üzemű, fél folyamatos és ún. Batch (a tartózkodási idő végén teljes leállítás és kiürítés) technológiákat. Megint más csoportosítási szempont a reaktorok hőmérséklete, amely szerint psychrofil (gyakorlati jelentősége elenyésző), mezofil és termofil rendszerekről beszélhetünk. Az alapanyagok alapján száraz és nedves fermentációt különböztethetünk meg. Az alapanyagok szárazanyagtartalmát figyelembe véve, pedig nagy vagy kis szárazanyag tartalommal üzemelő technológiákat különíthetünk el. A gázképződés fázisainak megoszlása szerint egy, vagy több lépcsős berendezésekről beszélhetünk. Az üzemi méretek szerint háztáji (farm scale), kisüzemi, ipari méretű és centralizált egységek léteznek.

2.1.1. A fejlődő világ üzei

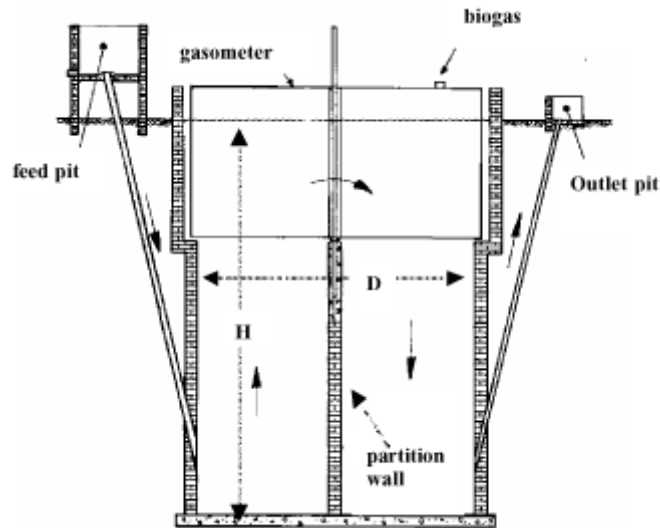
Jelenleg Ázsia számít a biogáz termelés fellelővőre, ha nem is a technológiai szintet tekintve, de számban mindenképp. A nagyszabású kormányzati programoknak köszönhetően, a vidéki infrastruktúrával (gázellátás, energia ellátás, fűtés, stb.) gyengén vagy egyáltalán el nem látott régiókban rohamosan gyarapszanak a kisméretű, háztartási biogáz "üzemek" (Gu et al., 2016). 2013-ban Kínában több mint 42 millió háztartásban működött biogáz reaktor (8-12 m³ reaktor kapacitás)

(http2). A kínai kormány 2020-ra 80 millióra szeretné növelni ezt a számot, mellyel 300 millió ember életkörülményi javulnának.



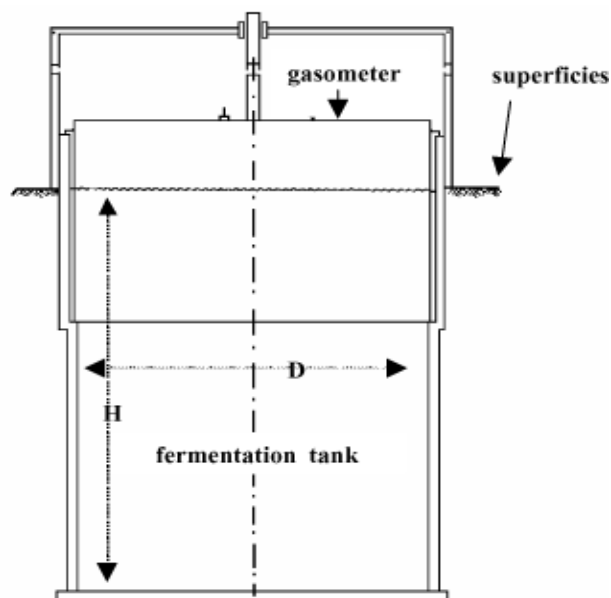
1. ábra Fix kupolájú ún. kínai vagy hidraulikus biogáz üzem sematikus ábrája (http3)

A kínai típusú (1. ábra) erjesztők a leggyakoribban a fejlődő országokban terjedtek el (Rajendran et al., 2012), egyszerűségük, és alacsony beruházási költségük miatt. A földbe süllyesztett reaktorteret alul és felül félgömb alakúra alakítják ki. A falak téglából, kőből, betonból vagy újabban előre gyártott kompozit anyagból készülnek. A betáplálás és a kivezetés mellett a reaktortérből áll az egység. A reaktortér egyben a gáz ideiglenes tárolását is szolgálja, melyből közvetlenül vezetik el a keletkezett metán tartalmú gázelegyet. A betáplálás napi rendszerességgel történik. A kivezetés és a betáplálás oldali folyadékszintet a reaktortér gáznyomása határozza meg. A gáznyomás nem állandó ezeknél a berendezéseknél.



2. ábra Úszó kupolájú ún. indiai biogáz üzem sematikus ábrája (Florentino, 2003)

A földbe süllyesztett hengeres reaktorterek hasonlóan a kínai típushoz téglából, kőből, betonból készülnek. A betáplálás és a kivezetés mellett a reaktortérből áll az egység. A reaktortérben található folyadék tetején úszik a fémből készült hengeres gáztároló egység. A betáplálás folyamatos, leginkább olyan homogén anyagok erjesztésére alkalmas, mint az állati trágya (2. ábra). A keveredés elősegítésére egy központi osztópanel is kialakításra kerül ezeknél a berendezéseknél. A leggyakoribb változatok esetében 6 - 8 m³ gáztermeléssel lehet számolni naponta. A retenciós idő 30 - 50 nap közötti, mely nagyban függ a hőmérséklettől.

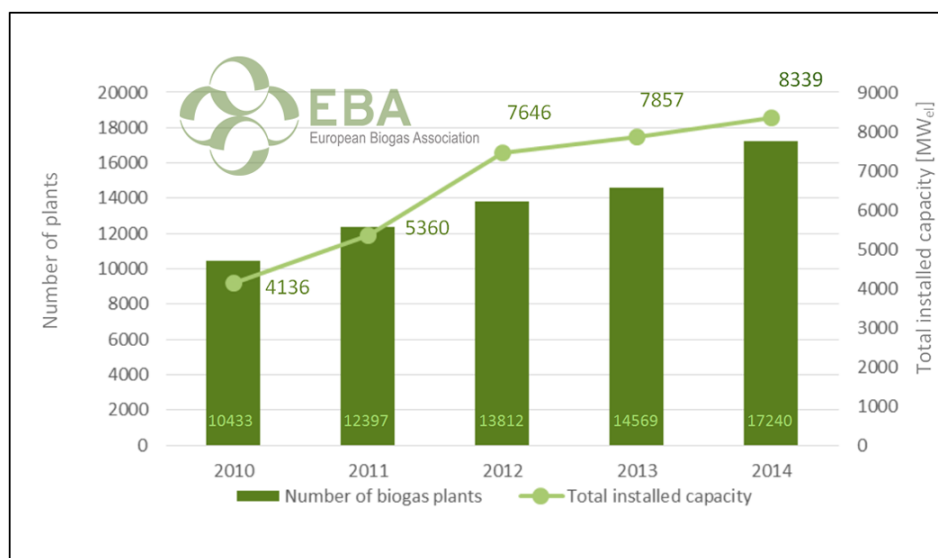


3. ábra A Batch rendszerek sematikus ábrája (Florentino, 2003)

A Batch rendszerek a legegyszerűbb konstrukciók (3. ábra). Mint más esetekben, itt is számtalan változat lehetséges, azonban mindegyikben közös a szakaszos működtetés. A betárolás és a kiürítés nem folyamatos, a beadagolást követően a tartózkodási idő végeztével a reaktort felnyitják és megtörténik a reaktor kiürítése. A szubsztrát egy kis része visszamarad, ezt összekeverik a frissen bekerülő anyaggal. Az így beadagolt keverék mikrobiológia oltása megtörténik. A technológia elsősorban nagyobb szárazanyag tartalmú alapanyagok kezelésére alkalmas, de folyékony anyagok is kezelhetők. Az alapanyagtól és a működési hőmérséklettől függően a kezdeti gázkihozatal alacsony, de idővel ez növekszik. Számos esetben kapcsolt reaktorokat üzemeltetnek a folyamatos gázkihozatal érdekében. A reaktorok készülhetnek betonból, téglából vagy fémből, a retenciós idő igen változatos lehet, 30 nap, de akár 8 hét is.

2.1.2. Kisüzemi (farm biogas plant - FBP) biogáz termelés, illetve centralizált üzemek (centralized biogas plant - CBP)

A fejlett országokban is megszámlálhatatlan technológiai megoldás létezik a biogáz üzemek tekintetében. A harmadik világ országaival szemben a lényegi eltérés, legfőképpen a műszaki színvonalból, és a méretekből eredeztethető. Európában is folyamatosan nő a kiépített biogáz potenciál (4. ábra).



4. ábra Az európai biogáz üzemek számának (db) és a beépített kapacitás (MW) alakulása 2010-2014 között (<http4>)

Míg a fejlődő országokban az üzemek száma járul hozzá a biogáz potenciál növekedéséhez, addig Európában és a fejlett országokban, a műszaki megoldások

tökéletesítése, a mikrobiológiai folyamatok optimalizálása, a megfelelő mixtúra kialakítása, az üzemi méretek finomítása, egyszerűen megfogalmazva az egy egységre jutó gázkihozatal javítása az elsődleges cél (Ward et al., 2008, Labatut és C. Gooch, [n.a.], Kaparaju et al., 2009).

A legelterjedtebb megoldások a folyamatos vagy félfolyamatos üzemű biogáz rendszerek. Az alapanyagok igen változatosak, leginkább azok variációja alkotja egy-egy üzem szubsztrátját. Az üzemi méretek növelése teszi, teheti részben gazdaságossá ezeket az üzemeket. Mérnöki precizitással irányított folyamatról beszélünk, minden egyes kis részletet megfigyelnek, és szükség esetén be tudnak avatkozni. A mérsékelt égövön a reaktorok fűtöttek, mezofil (35-40°C) vagy termofil (45-60°C) (Yu et al., 2013) körülmények között üzemelnek. Egyes üzemeknél kombinált hőmérsékleti tartományt alkalmaznak.

A centralizált üzemek koncepciója főként az északi országokban terjedt el. Európában 2007-ben 26 centralizált (http6) üzem működött ezek többsége Dániában (Angelidaki, és Ellegaard, 2003). Az alapötletet az intenzív állattartás szolgáltatta az ilyen típusú üzemekhez. Az állattartó farmok sűrűsége költséghatékonyabbá teszi a hígtrágya, trágya és egyéb élelmiszeripari és mezőgazdasági hulladékok be-, illetve elszállítását. Az üzemeket központi helyen építik fel, a beszállítás az előkezelő tartályokból speciális szállító járművekkel történik (5. ábra). A homogenizálást követően történik a betáplálás. Folyamatos üzemmenet mellett működnek ezek a telepek. A kiejesztett maradékot a farmerekhez visszaszállítják, de csak olyan mennyiségben, amely elhelyezése a művelt területekre lehetséges. A felesleget a környező területek gazdái számára, mint tápanyagutánpótlásra alkalmas anyagot értékesítik (http7).



5. ábra Az Egyesült Királyság legnagyobb 3 MW-os biogáz telepe Retford közelében, 2014 (<http5>)

A modern üzemek főbb technológiai elemeit a következőkben röviden ismertetem. Fontos ismernünk a technológiákat ahhoz, hogy megfelelően alkalmazhassuk az erjesztési maradékokat, mivel a technológiai megoldások jelentősen befolyásolják a maradékanyag minőségét az alapanyagok mellett.

Előgödörök, tárolótartályok: Az előgödörben történik az alapanyagok homogenizálása. A szilárd és a folyékony alapanyagokat a különböző föld feletti és -alatti tárlókból a gödörbe, vagy tartályba juttatják, ahol különböző keverők segítségével megtörténik az anyag homogenizálása. Innen történik a folyamatos betáplálás. A beadagolt szubsztrát mennyiségével azonos mennyiségű erjesztési maradék kerül az utótárolóba (Deublein és Steinhauser, 2010).

Erjesztő tartály: A leggyakoribb kialakítás a részben földbe süllyesztett, kör keresztmetszetű, beton vagy acél tartály. Ezen egységek megfelelő szigeteléssel, és fűtéssel kerülnek ellátásra. A tartályok méretezésénél műszaki és gazdasági szempontokat is figyelembe kell venni. Az optimális gázkihozatal és a gazdaságos üzem közötti kompromisszumot kell elérni.

A szervesanyag terhelés az egyik fontos szempont a méretezésnél, ami megszabja, hogy mennyi szerves anyagot (száranyagra vonatkoztatva) lehet betáplálni adott térfogatra időegységenként.

$$B_R = m \cdot c / V_R$$

B_R	szervesanyag terhelés ($\text{kg d}^{-1} \cdot \text{m}^3$)
m	egy időegység alatt betáplált szubsztrát mennyisége (kg d^{-1})
c	szerves anyag koncentrációja (%)
V_R	erjesztő térfogata (m^3)

Másik fontos paraméter az erjesztőtartályok méretezésénél a hidraulikus tartózkodási idő (hydraulic retention time - HRT), mely megadja azt az átlagos időtartamot, amíg a szubsztrát a tartályokban marad.

$$\text{HRT} = V_R / V$$

HRT	hidraulikus tartózkodási idő (nap)
V_R	erjesztő térfogata (m^3)
V	egy időegység alatt betáplált szubsztrát térfogata ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$)

A szervesanyag terhelés növelésével csökken a tartózkodási idő. A retenció időnek elegendőnek kell lenni ahhoz, hogy a lebontásban részt vevő mikroorganizmusok reprodukálhassák magukat, így az erjesztési maradékkal távozott szervezetek mennyisége mindig kisebb, mint a tartályban lévő. Az anaerob baktériumok mennyisége körülbelül 10 naponta duplázódik meg. A rövid HRT csökkent gázkihozattal párosul (Deublein és Steinhauser, 2010).

Csővezeték, szivattyúk: A friss és kierjesztett szubsztrát továbbítását, szivattyúk segítségével biztosítják a csőhálózaton keresztül. A csővezetéket fagyásmentesen, szigetelten kell beépíteni. A szivattyúk kialakításuknál fogva számtalan formában kerülhetnek beépítésre, gyakran használnak csigás, vagy aprításra is alkalmas berendezéseket (Deublein és Steinhauser, 2010).

Keverő berendezések: A keverőknek jelentős szerepe van az optimális gázhozam elérésében. A frissen betáplált alapanyagokat homogenizálja a már a reaktorban lévő anyaggal, így a mikrobák könnyebben hozzá tudnak férni. A nehezebb vagy épp könnyebb részeket folyamatosan a szuszpenzióban tartják, megelőzhető a kérgesedés vagy a kiülepedés. A fejlett üzemekben többféle keverőt együttesen alkalmaznak a

megfelelő keveredés, áramlás létrehozására. Kialakítás szerint lehetnek, merülő, lapátos, hidraulikus stb. (Deublein és Steinhauser, 2010).

Gáztároló: A keletkezett és a fel nem használt biogáz tárolását szolgálja. Mind a gázképződés, mind a gázfelhasználás fluktuálhat, ezért a gázhasznosító egységek megfelelő ellátása érdekében a tartalék tárolását szolgálja. Egyszerűbb változatok a rothasztók tetejét is alkotó membránok, nagyobb üzemek esetében külön tároló szolgálja a gyűjtést. Működhetnek alacsony, közepes vagy magas nyomáson, azonban abban mindegyik megegyezik, hogy gázzárónak, nyomás- és időjárás állónak kell lennie, robbanásvédelemmel szükséges ellátni (Deublein és Steinhauser, 2010).

Gázfáklya: Olyan esetekben, amikor több gáz keletkezik, mint amit az üzemben fel tudnak használni, és már a tárolása sem megoldható, akkor a termelt gázt el kell égetni. A gázfáklya tehát biztonsági berendezésként szolgál, amennyiben üzemviteli problémák adódnak. Természetesen vannak olyan esetek, amikor a megtermelt gáz mennyisége nem teszi lehetővé annak hasznosítást, azonban környezetvédelmi megfontolásból annak égetéséről gondoskodni kell (Deublein és Steinhauser, 2010).

Gázmotor: A biogázt gázmotorokban elégetve elektromos energiát és hőt állítanak elő. Fontos a gáz víz és kéntartalmának csökkentése, hogy a motorok károsodás nélkül üzemelhessenek. A motorok akár 90%-os hatásfokkal is üzemelhetnek (35% elektromos és 65% hő). Otto, diesel és közvetlen befecskendezésű motorok terjedtek el a gyakorlatban (Deublein és Steinhauser, 2010).

Mérő és irányítástechnika: A központi irányítás és méréstechnika elengedhetlen része egy biogázüzemnek. A folyamatos monitoring és adatgyűjtés hozzájárul a folyamatok tökéletesítéséhez, és szükség szerint lehetővé teszi az azonnali beavatkozást. A teljes folyamat végig követhető, akár online formában is, az alapanyag betáplálás, a higiénizáció, a reaktor fűtés, a keverés... stb. A kémiai és fizika paraméterek vizsgálata szintén fontos szempont (pH, gázösszetétel...) (Deublein és Steinhauser, 2010).

Pasztőrizáló: Az EU élelmiszer higiéniai szabályozása számos ponton vonatkozik a biogáz üzemekre is. Az állati melléktermékekre vonatkozó (1774/2002/EGK) rendeletben meghatározottak az irányadók a biogáz üzemek esetében is. A 2. és 3. kategóriába tartozó melléktermékek felhasználhatók ezekben az üzemekben is, de

speciális előkészítés után. Amennyiben már előkezelt anyag érkezik a telepre, úgy ilyen berendezés beépítése nem kötelező.

2. kategóriába tartozó anyagok: az ebbe a kategóriába tartozó anyagok mérete maximálisan 50 mm lehet és 133 °C-on 20 perces hőkezelésnek kell alávetni 3 bar nyomáson (állati tetemek és vágóhídi hulladékok, kivéve az 1. kategóriába tartozó anyagok)

3. kategóriába tartozó anyagok: a részecskeméret maximum 12 mm lehet és 70°C-on legalább 60 percig hőkezelti szükséges (élelmiszer maradékok, és egyéb maradékok)

Szeperator: A kikerülő erjesztési maradék változó szárazanyag tartalommal bír. Az alacsony szárazanyag tartalom mellett a kiejedt szubsztrát közvetlenül is felhasználható mezőgazdasági területeken. Azonban a szeparált szilárd fázis önmagában is értékesíthető vagy felhasználható, a folyadék fázis, pedig hígtrágyaként kijuttatható vagy hígító vízként felhasználható a rendszerben (Deublein és Steinhauser, 2010).

2.2. Az erjesztési maradék felhasználásának jogszabályi háttere

Hasonlóképpen, mint a biogáz üzemek létesítésénél, itt sem létezik ma Magyarországon egységes szabályozás. A csak *mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékot* feldolgozó üzemek erjesztési maradéka *nem mezőgazdasági eredetű nem veszélyes hulladék*nak számít. A *szennyvíziszapot* kezelő üzemek maradéka *szennyvíziszap*nak számít. A *vegyes* üzemelési erőművek maradéka a szennyvíziszap miatt szintén *szennyvíziszap*nak számít.

A felhasználást szabályzó jogszabályok (Szabóné, 2010; Petis, 2010):

- 2007. évi CXXIX törvény
- 23/2003. (XII. 29.) KVVM rendelet a biohulladék kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről
- 71/2003. (VI.27.) FVM rendelet az állati hulladékok kezelésének és a hasznosításukkal készült termékek forgalomba hozatalának állat-egészségügyi szabályairól
- 16/2001. (VI.18.) KÖM rendelet a hulladékok jegyzékéről

- 50/2001. (IV.3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának szabályairól
- 40/2008. (II. 26.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól szóló 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet módosításáról
- 36/2006. (V.18.) FVM rendelet a terménynövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról
- 59/2008. FVM rendelet a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges cselekvési program részletes szabályairól, valamint az adatszolgáltatás és nyilvántartás rendjéről
- 90/2008. FVM rendelet a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól

2.3. Felhasználható alapanyagok köre, jellemzése

A biogáz üzemek egyik nagy előnye, hogy az iparban, az agráriumban, a háztartásokban termelődött, keletkezett szerves melléktermékek, hulladékok jelentős részét hasznosítani tudja. Nem megfelelőek a nehezen bomló magas lignin (fa, faapríték), cellulóz (szalma) és keratin (toll, szőr) (Mézes, 2011) tartalmú anyagok, azonban ezek bonthatóságának javítására is számtalan kísérletet végeztek már. A növényi anyagok önmagukban nehezen bonthatók (Schwarz, 2001; Hu et al., 2004), ezért célszerű azokat valamilyen fehérje tartalmú anyaggal közösen betáplálni a rendszerbe (Alvarez és Lidén, 2008). A gázkihozatal, a jobb bonthatóság érdekében általában kombinált receptúrákat alkalmaznak, ún. co-fermentációt.

Mindenhol a lokálisan rendelkezésre álló alapanyagok közül kell válogatni, és ehhez kell a megfelelő technológiát kiválasztanunk. A mezőgazdasági biogáz üzemekben a mi éghajlatunkon többnyire a hígtrágyát és almos trágyát használják alapanyagként. Természetesen más szerves anyagokat is felhasználhatnak biogáz termelésére, így a mezőgazdaságból és élelmiszeriparból származó melléktermékeket, vagy akár erre a célra termesztett kukoricát, cukorcirkot (Antonopoulou. et al., 2007; Chynoweth et al., 2001), és egyéb anyagokat.

Az élelmiszeripari, konzervipari, vágóhídi hulladékok, mosóvizek, iszapok, a szennyvíztisztító telepek iszapja, és a lakossági szerves hulladék szintén megfelelő alapanyaga lehet egy ilyen üzemnek.

Az 1. táblázat bemutatja az európai hulladék katalógus szerinti biohulladékok listáját, melyek biogáztermelés céljára felhasználhatók: (http8)

Hulladék kód	Hulladékcsoport leírása
02 02 xx 02 03 xx 02 04 xx 02 05 xx 02 06 xx 02 07 xx	Ételhulladékok étel és italgyártásból
20 01 08	Biológiailag bomló konyhai és étkezdei hulladékok
20 02 01	Biológiailag lebomló hulladékok
02 01 07	Erdőgazdálkodási hulladékok
02 01 03	Hulladékká vált növényi szövetek
19 08 05	Települési szennyvíz tisztításából származó iszapok
20 01 37	Fa
20 01 38	Fa, amely különbözik a 20 01 37-től

1. táblázat EWC kód szerinti hulladéklista, mely biogáztermeléshez felhasználható (http8)

Az alapanyagok alapvető tulajdonságai meghatározzák a gázkihozatalt ezért fontos tisztában lennünk a gázkihozatalra ható tényezőkkel:

- szárazanyag tartalom (Rinçon et al., 2008)
- az alapanyag energiatartalma a tárolást követően (Herrmann et al., 2011)
- az erjesztő tartályokban eltöltött idő (Kim et al., 2006)
- a biogázüzem típusa (Yadvika et al., 2004)
- a tartályok belsejében uralkodó körülmények (Veeken és Hamelers, 1999)

- az alapanyag tisztasága, minősége (Khoufi et al., 2008; Mshandete et al., 2006)

Az egyik legfontosabb paraméter az alapanyagok C/N aránya. Ezt az arányt 15-30 között kell tartani a harmonikus gázkihozatal és üzemmenet érdekében (Adekunle és Okolie, 2015). A túl magas nitrogén részarány ammónia felhalmozódásához vezet (Wang et al., 2014). A tápanyagok a mikroorganizmusok növekedéséhez és túléléséhez szükségesek. Nagy mennyiségű tápanyagra nincs szükség, mivel csupán kis mennyiségű biomassza keletkezik a folyamatban. A C:N:P:S arány 500-100:15-20:5:3 (Deublein és Steinhauser, 2010). Tehát az alapanyagok kémiai összetétele meghatározza a bonthatóságot és egyben a potenciálisan kinyerhető metán mennyiségét (2. táblázat, 3. táblázat). Az alapanyag fajtájának és mennyiségének megválasztása függ annak szárazanyag- cukor és lipid tartalmától (Al Seadi et al., 2008). A gázkihozatalra jelentős befolyással van a szénhidrát, zsír és fehérje tartalom (Luostarinen et al., 2011).

Szubsztrát	Biogáz m ³ t ⁻¹	Metán m ³ t ⁻¹	Metán tartalom %
Szénhidrátok	830	415	50,0
Zsírok	1444	1014	70,2
Fehérjék	793	504	63,6

2. táblázat A szénhidrátok, zsírok és fehérjék elméleti biogáz és metán produkciója (Buswell és Neave, 1930)

Istállótrágya, hígtrágya: Mindenféle trágya közvetlenül felhasználható a biogáz üzemekben. Azonban nagyon gyakran tartalmaz idegen anyagokat (homok, bőr, szőr, toll, kötél, zsineg, műanyag, kő, stb.), melyek nem kívánatosak a folyamatban. Szintén tartalmazhat szerves savakat, antibiotikumot és fertőtlenítőt. A trágyák felhasználása kifejezetten előnyös a biogáz üzemekben, mert folyamatosan termelődik és elérhető, minden szükséges tápanyagot tartalmaz az anaerob baktériumok számára, magas a pufferkapacitása, természetesen tartalmazza a szükséges baktériumokat, olcsó és más alapanyaggal keverve jelentősen növeli a gázkihozataalt. (Deublein és Steinhauser, 2010; Luostarinen et al., 2011; Al Seadi et al., 2008)

Alapanyag	Szerves összetevő	C:N arány	Szárazanyag %	Illékony szerves % (Sza.)	Biogáz hozam m ³ *kg ⁻¹
Sertés hígtrágya	Szénhidrátok, fehérjék, lipidek	3-10	3-8	70-80	0,25-0,50
Szarvasmarha hígtrágya	Szénhidrátok, fehérjék, lipidek	6-20	5-12	80	0,20-0,30
Baromfi hígtrágya	Szénhidrátok, fehérjék, lipidek	3-10	10-30	80	0,35-0,60
Gyomor és béltartalom	Szénhidrátok, fehérjék, lipidek	3-5	15	80	0,40-0,68
Savó	75-80% lactose 20-25% fehérje	-	8-12	90	0,35-0,80
Szalma	Szénhidrátok, lipidek	80-100	70-90	80-90	0,15-0,35
Ételmaradék			10	80	0,50-0,60

3. táblázat Néhány alapanyag fontos tulajdonsága a gázkihozatal megítéléséhez (Al Seadi, 2001)

Növényi maradékok: Számos növényi maradvány, illetve főnövény közvetlenül felhasználható biogáz termelésre, azonban leggyakrabban ezek feldolgozott, silózott formában kerülnek beadagolásra a rendszerbe. A növények között a silókukorica, cukorcirok és különböző fűfélék mellett a gabonafélék is jelentőséggel bírnak. A vágási idő, a szárazanyag tartalom, a keményítő tartalom, a silózási idő mind hatással van a kinyerhető biogáz mennyiségére.

Szennyvíziszap, ipari mosóvizek, iszapok: A lakossági szennyvizek felhasználása előtt azt szennyvíztisztítási folyamaton keresztül kell vezetni. A folyamatban keletkező iszapot gázkinyerésre fel lehet használni. Általában a szennyvíztisztító telepeken létesített erőművek hasznosítják ezt a fajta alapanyagot, azonban számos esetben más anyagokkal együttesen kerül a rothasztókba a nagyobb gázkihozatal érdekében.

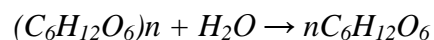
Az iparban keletkező iszapok, mosóvizek jellegükből adódóan magas széntartalommal rendelkeznek, mely kifejezetten magas gázkihozattal kecsegtet.

2.4. A biogáz képződés mikrobiális háttere

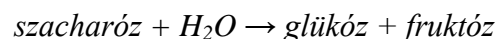
A biogáz képződés hátterében bonyolult mikrobiális folyamatok vannak. A lebontás egyes fázisaiban számos baktériumtörzs vesz részt. A folyamatban fakultatív anaerob és anaerob törzsek is képviseltetik magukat. A lebontás egyes

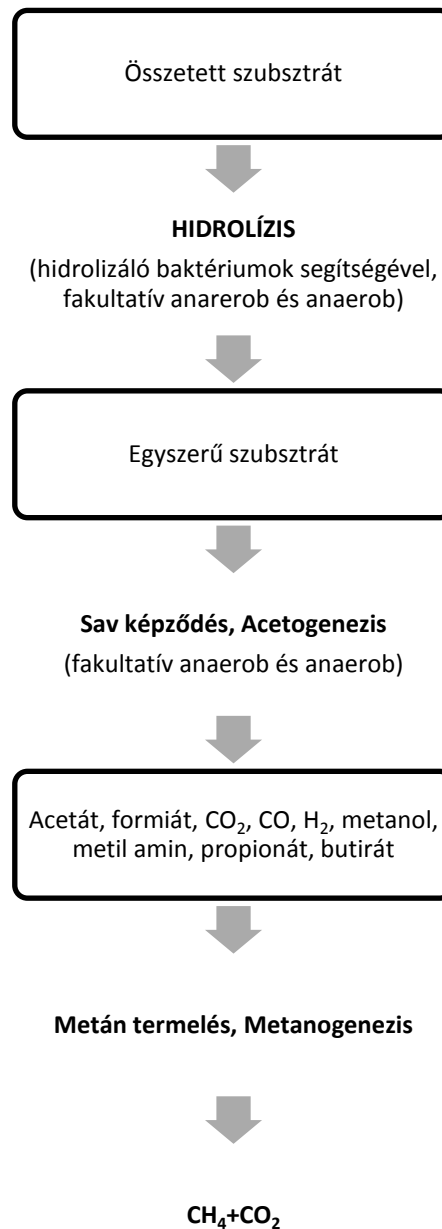
szakaszainak végtermékei a következő szakasz kiindulási alapjául szolgálnak. Amennyiben a szakaszok között bármelyik is gátolt, csökkent biogázképződés tapasztalható, vagy a következő folyamat teljes egészében korlátolt lesz. A különböző baktérium törzsek átalakítják a szubsztrát szerves anyagát metánná, széndioxidra és baktérium sejtek épülnek fel belőlük. Általában ez a folyamat három meghatározó szakaszra bontható (6. ábra).

Hidrolízis: A szubsztrát olyan kis és kolloidális méretű hulladékokat tartalmaz, amelyeknek át kell esniük a hidrolízis folyamatán. Ezek főleg szénhidrátok, zsírok és fehérjék. A nagyméretű oldhatatlan molekulát számos kisméretű és oldódó molekula alkotja. Különböző kémiai kötések révén kapcsolódnak egymáshoz, amennyiben ezek a kötések felszakadnak, könnyen oldatba kerülnek ezek a molekulák. A hidrolizáló baktériumok, a fakultatív anaerob és anaerob baktériumok képesek a kötések felszakítására. A cellulóz $[(C_6H_{12}O_6)_n]$ a földön leggyakrabban előforduló poliszacharid. A cellulóz molekulájában több ezer β -D-glükóz kapcsolódik össze. Önmagában a glükóz vízoldékony, azonban a kötések hatására kialakult cellulóz már nem. A cellulózt a *Cellulomonas* baktérium hidrolizálja celluláz enzim segítségével.



Az egyszerű oldódó szerves összetevők könnyen lebomlanak, nem vesznek részt a hidrolízisben. Az összetett oldódó összetevők, mint például a szacharóz, pedig átesik a hidrolízis folyamatán. A szacharóz olyan diszacharid, amely két 6 szénatomos cukormolekulát tartalmaz. A glükóz és a fruktóz is jól oldódik vízben, azonban együtt túl komplex ahhoz, hogy a lebontó baktériumok sejtjébe bekerüljön, és ott degradálódjon. A hidrolízis után a glükóz és a fruktóz is be tud kerülni a sejtekbe és ott le tud bomlani.





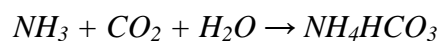
6. ábra A biogázképződés mikrobiológiai háttere (Deublein és Steinhauser, 2010)

Savképződés: A fakultatív anaerob és anaerob baktériumok széles skálája vesz részt ebben a fázisban. A hidrolízis fázisában keletkezett összetevők a kiindulási anyagok a savképződés fázisában. A lebontás során széndioxid, hidrogén, alkoholok, szerves savak, szerves nitrogén és szerves kén tartalmú összetevők keletkeznek.

A legfontosabb keletkezett sav az acetát. Az acetát az az elsődleges sav, amit a metánt termelő baktériumok táplálékforrásként fognak használni. A szén-dioxid és a hidrogén közvetlenül acetát, vagy metán képződésére is fordítható. Az aminosavak és fehérjék lebomlása során keletkeznek a szerves nitrogén és szerves kén tartalmú összetevők. A szerves összetevők egy része szerves savakká és

alkoholokká alakul, egy részük, pedig a baktérium sejtek építésére fordítódik. A szerves savakat, alkoholokat és a szerves nitrogén és kén tartalmú összetevőket közvetlenül is felhasználhatják a metánt termelő baktériumok. Vannak közvetve felhasználható összetevők is melyeket acetáttá bontanak a baktériumok első lépésben. Amennyiben a második lépésben nem történik meg a metán termelés, úgy a savas közeg felhalmozódik. Acetátot nemcsak az oldódó szerves összetevők fermentációjával lehet előállítani, hanem acetogenezissel is. Számos sav (vajsav, propionsav, stb.) és alkohol (etanol, stb.) képződik a savképződés szakaszában, melyek azután acetáttá bomlanak, így a metánt termelő baktériumok szubsztrátjává válnak.

Metánképződés: A metanogén szakaszban a metán képződés fő kiindulási alapjai az acetát, a szén-dioxid és a hidrogén. Természetesen a metán más szerves összetevőkből is képződhet. Fontos, hogy a savtermelés és a metántermelés összhangban legyen, mivel a túlzott savtermelés leállíthatja a folyamatot. Amennyiben a metántermelés biztosított, a savak lebomlanak és enyhén lúgos környezet alakul ki az ammóniának köszönhetően, ami a fehérjék és aminosavak degradációja során keletkezik. Az ammónia a szén-dioxiddal és a vízzel is reakcióba lép, a reakcióban ammónium-karbonát keletkezik, mely még lúgosabbá teszi a rendszert.



2.5. Az erjesztési maradékok minőségi jellemzői

Az anaerob lebontási folyamatban megszámlálhatatlan azon anyagok köre, amely felhasználható. Az alapanyagok összetétele meghatározza a biogáz összetételét (4. táblázat), mennyiségét és az erjesztési maradék összetételét (Weiland, 2010). A fermentálási folyamat végén az alapanyagokból bekerülő legtöbb makro-, és mikroelem az erjesztési maradékban közel azonos mennyiségben lesz megtalálható (Debosz et al., 2002). Ez a mennyiség az alapanyagtól és az alkalmazott technológiától függ. Ebből következik, hogy a végtermék igen változatos minőségi jellemzőkkel bírhat. Tartalmazhat potenciálisan toxikus elemeket, szerves szennyező anyagokat. Különösen fontos, hogy a felhasználás előtt megismerjük a minőségi paramétereit az anyagnak, mivel felelősségteljesen csak ennek birtokában tudunk az alkalmazás módjára, helyére, gyakoriságára, termesztett növényre javaslatot tenni.

	Folyadék fázis	Szilárd fázis
Sza %	4,5-6,6	19,3-24,7
Szervesanyag (sza%)		40-86
Total-N %	7,7-9,2	2,2-3
Total-N mg kg ⁻¹	4-5,1	4,6-6,5
Total NH ₄ ⁺ mg kg ⁻¹	1,8-3	2,6-2,7
NH ₄ ⁺ (Total N %)	40-80	26-49,4
Total C (sza%)	48	39,6-40
C:N arány	3,7-4,8	11,2-19,3
Total P (sza%)	0,4-0,7	1,9
Total P mg kg ⁻¹	0,7-1	2-2,5
Total K (sza%)	3,9	3,6
Total K mg kg ⁻¹	3,5-5,2	3,4-4,8
Total Mg (sza%)	n.a.	0,2-0,4
pH	7,9	8,5

4. táblázat Az erjesztési maradékok főbb kémiai paramétereit irodalmi források alapján (Möller és Müller, 2012)

2.6. A talajok termékenységét befolyásoló tényezők

A talaj egy három (négy) fázisú, négydimenziós, polidiszperz rendszer (Várallyay, 2002b). A talaj a földkéreg felső szilárd burka, a növénytermesztés meghatározó közege. Alapvető tulajdonsága a termékenység, vagyis az a képessége, hogy a növényeket kellő időben és szükséges mennyiségben képes ellátni vízzel és tápanyaggal (Stefanovits et al., 1999)

A talaj feltételesen megújuló (megújítható) természeti erőforrás. Megfelelő használat mellett irreverzibilis változások nem következnek be. Megújulása azonban nem megy végbe automatikusan, csak akkor, ha az anyagok körforgása zavartalan. Termékenységének fenntartása, megőrzése állandó, céltudatos tevékenységet követel, amelynek legfontosabb elemei az ésszerű földhasználat, az okszerű talajvédelem, agrotechnika és melioráció.

A talaj sokoldalú funkciói közül legfontosabbak (Várallyay, 1997):

- A talaj a többi természeti erőforrás (sugárzó napenergia, légkör, felszíni és felszín alatti vízkészletek, geológiai képződmények, biológiai erőforrások) hatását integrálva és transzformálva életteret biztosít a talajban élő szervezetek tevékenységéhez, termőhelyet a természetes növényzetnek és termesztett kultúráknak.

- A talaj a primer növényi biomassza termelés alapvető közege, a bioszféra primer tápanyagforrása. Víz, levegő és a növény számára hozzáférhető tápanyagok egyidejűleg fordulhatnak elő és ily módon képes a talaj a benne élő edafon és növények talajökológiai feltételeit többé - kevésbé kielégíteni.

- A talaj hő-, víz-, növényi tápanyagok és potenciálisan káros anyagok természetes raktározója. Képes a felszín közeli atmoszféra hőmérsékleti szélsőségeit – bizonyos mértékig – kiegyenlíteni; a benne élő élőlények és növények – bizonyos szintű – víz- és tápanyagellátását rövidebb-hosszabb idejű víz- és tápanyag-utánpótlás nélküli időszakokra is biztosítani a raktározott készletekből.

- A talaj, a természet szűrő- és detoxikáló rendszere, amely képes a mélyebb rétegeket és a felszín alatti vízkészleteket a talaj felszínére vagy a talajba jutó szennyeződésektől megóvni. A talajfelszínre kerülő szerves szennyező anyag már a felszínen elfolyhat, elpárologhat, vagy fotolízist szenvedhet. Talajba kerülve adszorbeálódhat, kimosódhat, biológiai vagy kémiai reakciók során átalakulhat, vagy lebomolhat.

- A talaj a bioszféra nagy kiegyensúlyozó képességgel (puffer kapacitással) rendelkező eleme, amely egy bizonyos határig képes mérsékelni, tompítani a talajt érő különböző stressz hatásokat. Ilyet a természeti tényezők (légköri aszály, túl sok csapadék, fagy stb.) is kiválthatnak. Egyre fenyegetőbbek és súlyosabbak azonban az ember által okozott különböző stressz hatások:

- a) komplex gépsorok és nehéz erőgépek alkalmazása,
- b) nagyadagú műtrágya- és növényvédőszer-használat,
- c) a koncentrált állattartó telepek hígtrágyája,
- d) a városiasodás szennyező hatásai, elhelyezendő hulladékai,

e) savakkal és lúgokkal szembeni tompító képesség.

A társadalom egyre inkább arra kényszerül, hogy a talaj tompító képességét igénybe vegye, kihasználja, néha sajnós visszaélve e lehetőséggel.

- a) a talaj a bioszféra jelentős gén-rezervoárja, amely jelentős szerepet játszik a biodiverzitás fenntartásában, hisz az élő szervezetek jelentős hányada él a talajban (biota „habitatja”), vagy kötődik léte, élete közvetlenül vagy közvetve a talajhoz;
- b) a talaj természeti és történelmi örökség „hordozója”;
- c) építmények, épületek alapjául szolgál;
- d) alkotói építőanyagként is hasznosíthatók;

Ezen funkcióit integrálva a mi szempontunkból a legfontosabb számunkra a termőképessége és a stressz hatásokat tompító képessége. A termékenység a talaj hozamtermő képességét jelenti, vagyis hogy képes a növény számára termőhelyként szolgálni, és fenntartható módon, rendszeresen jó minőségű növényi produktumot termelni. A talaj természetes termékenységét alapvetően a talajképző tényezők (alapkőzet, domborzat, klíma, élőlények) határozzák meg. A trágyázási múlt és jelen függvényében alakul ki az aktuális talajtermékenység (http9).

A talaj termékenységét a következő talajtulajdonságok határozzák meg: a talajréteg/termőréteg mélysége (a gyökerekkel átszűrhető és a növények által igénybe vehető talajrétegnek a vastagsága); a talaj textúrája és szerkezete, levegő- és vízháztartása (aerob – anaerob viszonyok, a víz összes és felvehető mennyisége, vízfelvétel és vízvezetés, a talajvízszint mélysége); hőmérséklete és hőháztartása (felmelegedés, hőtároló és hővezető képesség); a talajra jellemző sav-bázis viszonyok és a redoxipotenciál; a szorpciós tulajdonságok; a tápanyagháztartás (makro- és mikrotápelemek, összes és felvehető tápanyagtartalom); a humuszháztartás (humusztartalom, minőség, összetétel); a talajlakó élőlények (biomassza, aktivitás, összetétel, gyakoriság); és a szennyezőanyag-tartalom (nehézfémek, szerves szennyezők) (http10).

A termőréteg vastagság azt jelenti, hogy a talajba milyen mélységbe tudnak lehatolni a növényi gyökerek. Magyarországon a gyökérfejlődést gátló tényezők az alábbiak (Várallyay, 2002a):

- a) szikes talajrétegek előfordulása az altalajban,
- b) levegőtlen körülmények között kialakuló glejes, azaz a növények számára mérgező anyagokat tartalmazó talajréteg,
- c) különböző geológiai eredetű kőpadok, padka, kavics, durva homok, magnéziumos talajok

A talajok fizikai félesége ún. textúrája a mechanikai összetétel kifejezője. Megmutatja, hogy a különböző méretű szemcsék milyen arányban vannak jelen a talajban. Meghatározza a talajok vízgazdálkodási tulajdonságait, összefüggéseket mutat a talajok levegő-, hő-, és tápanyag-gazdálkodásával. Befolyásolja az adszorpciós viszonyokat és így a talajok kémiai tulajdonságait is.

A talajt felépítő, elsődleges elemi (pl.: agyag és szervesanyag) részecskék összetapadnak, majd nagyobb méretű másodlagos, harmadlagos, sokadlagos halmazokká, aggregátumokká állnak össze, így kialakítva a talaj szerkezetét.

A szemcsék és aggregátumok között különböző méretű és formájú hézagok találhatóak, ezek összessége adja a talaj pórusteret. A pórusteret részben víz (talajoldat), részben levegő tölti ki. A pórustér nedvesség által el nem foglalt részét a talajlevegő tölti ki. A talaj levegőtartalma dinamikusan változik. Nedvesség hatására a pórusok egy részéből kiszorul a levegő, míg száradás hatására a gázfázis mértéke nő. A talajlevegőnek fontos szerepe van a gyökérlégzésben, a növények oxigénellátásában, a biológiai és kémiai folyamatokban. Fő komponensei a N_2 , O_2 , CO_2 és a vízgőz.

A talaj nedvességtartalma térben és időben folyamatosan változik. A vízgazdálkodást befolyásolja a talajokban található víz mennyisége, mozgékonyasága, tér és időbeli eloszlása. A vízgazdálkodás szoros összefüggésben van a talaj termékenységével. Ez a hatás függ a talajnedvesség mennyiségétől, mozgékonyaságától és kémiai összetételétől. Jelentős hatással van a talaj mikrobiológiai aktivitására.

A talaj hőmérsékletét a beérkező és a távozó hő egyensúlya, valamint a talajtulajdonságok határozzák meg. A talaj hőmérséklete befolyásolja a talajképződési folyamatok sebességét, a tápanyagok feltáródásának ütemét, a mikrobiológiai folyamatok intenzitását, a növények csírázását, és tápanyag-felvételét.

A talajok kémiai tulajdonságainak jelentős szerepe van a termékenység kialakításában. A kémhatás növényélettani, növénytermesztési szempontból is fontos jellemző, hiszen az egyes növények fejlődése adott kémhatáson optimális. A talaj kémhatása közvetve is hat a növényekre, egyes tápanyagok megkötődhetnek, míg mások oldatba kerülhetnek.

A talaj, mint redoxi rendszer egyszerre tartalmaz oxidált és redukált anyagokat. A redoxpotenciálra a legnagyobb mértékben a talaj levegőellátottsága hat.

A talaj azon tulajdonságát, miszerint a talajba, vagy annak felületére kerülő anyagokat bizonyos mértékig megkötni és/vagy átalakítani képes, pufferelő képességnek, kapacitásnak nevezzük. A hatás mértéke függ a talaj kolloidtartalmától, minőségétől és a kémhatástól.

A talajképződés körülményei jelentősen meghatározzák a talaj termékenységét. A termékenység kialakításában meghatározó szerepe van a humusztartalomnak, amely mutató viszont a talaj fizikai féleségével van meglehetősen szoros összefüggésben. A talajszerkezet kialakításában, a tápanyag-gazdálkodásban a hő és vízgazdálkodás szabályozásában megkérdőjelezhetetlen funkciót tölt be. A humuszanyagok segítik a stabil, porózus szerkezet kialakulását. A talajban található humusz tápanyagforrás és raktár egyben, pufferelő képessége jelentős. Befolyásolja a talajok vízmegtartó képességét, sötét színének köszönhetően segíti a talaj felmelegedését, javítja a talaj hőgazdálkodását. A talaj humusztartalma mintegy tizede az agyagtartalomnak, viszont egységnyi mennyiségű humusznak közel tízszer akkora a pufferkapacitása, mint egységnyi mennyiségű agyagnak.

A talaj életközössége, az edafon, élettevékenységével hozzájárul a talajtulajdonságok megváltozásához. Tevékenységük hatására megváltozhat a kémhatás, a redoxi viszonyok, egyes tápelemek oldékonysága és felvehetősége. A mikrobiális folyamatok jelentősége koránt sem kap olyan hangsúlyt, mint a tényleges

szerepe. Számos folyamat megértése, értékelése csak komplex szemlélettel lehetséges.

2.7. A talajtermékenység javítására, fokozására alkalmas módszerek, eljárások

A talajok termékenységének fokozására számos módszer ismert. A talaj tulajdonságai alapvetően megszabják a talajművelés módját, az alkalmazható trágyák és műtrágyák körét és az esetleges talajjavítási módokat. Ismernünk kell tehát a talaj tulajdonságait, ha termékenységét fokozni kívánjuk, illetve a különböző termésnövelő anyagok tulajdonságainak ismerete is létfontosságú az alkalmazhatóság tekintetében (Ballenegger, 1921).

„Mikor a földet műveled, ne adja az többé néked az ő termő erejét, bujdosó és vándorló légy a földön.” (I Mózes 4:12)

A növények tápanyagai lassan tárolódnak fel, és válnak a növények számára felvehetőkké, mely részben az emberi tevékenységhez is köthető. A talaj termékenységére közvetve vagy közvetlenül számos tényező hat, e hatások többnyire komplexek, nem választhatóak szét, csak együttes vizsgálatukkal juthatunk számottevő, hasznos információkhoz. Ráadásul évenként, tájanként, táblánként, sőt táblán belül is nagyon eltérőek lehetnek az eredmények. Ezért szükséges a különböző talajtermékenység javítására szolgáló anyagok, módszerek, eljárások vizsgálata kísérleti körülmények között, ahol a reprodukálhatóság biztosított.

Pozsgai és munkatársai (2014) a komposzttal kezelt parcellákon a kontrollhoz képest az évek előrehaladtával a kukorica magasságának növekedését tapasztalták, melyet a komposzt a nitrogéntartalmának 10-20%-os mineralizációjával magyaráztak. A 10, 20, 40 és 80 t ha⁻¹ kezelések mindegyike növelte a kukorica keményítő és nyersfehérje tartalmát.

A szennyvíziszap komposzt kezeléseket (0, 9, 18, 27 és 80 t ha⁻¹) eredményeként az arzéntartalom csak kis mértékben emelkedett a vizsgált növény- és talajmintákban. A terméseredmények kedvezően alakultak nemcsak a tritikálénál, hanem a zöldborsó és kukoricatermésnél is (Tomocsik et al., 2008).

Simon et al. (2015) energetikai célra termesztett kosárfonó fűzzel (*Salix viminalis* x *triandra*, cv. *Inger*) barna erdőtalajon beállított szabadföldi

tartamkísérletben tanulmányozták, hogy a települési szennyvíziszap komposzt (TSZK), illetve a fűzhamu (FH) milyen tartamhatást gyakorol a fűzvevesszők elemösszetételére és a fűz hozamparamétereire. Megállapították, hogy a talajba mérsékelt dózisban (15 t ha^{-1}) kijuttatott TSZK, illetve FH (600 kg ha^{-1}) nem változtatta meg lényegesen a betakarított fűzvevesszők fajlagos esszenciális makro- (N, P, K, Ca, Mg) és mikroelem (Cu, Fe, Mn, Zn) felvételét, illetve toxikuselem (As, Ba, Cd, Pb) akkumulációját. A TSZK szignifikánsan 34%-kal, a FH pedig 17%-kal növelte meg a betakarított fűzvevesszők nedves ösztömeget. A TSZK és a FH együttes kijuttatása nem gyakorolt jelentős hatást a fűz hozamára. Az energetikai célra termesztett olasznáddal (*Arundo donax L.*) beállított szabadföldi mikroparcellás kísérletben megállapították, hogy a barna erdőtalajba két alkalommal kijuttatott TSZK ($2 \times 25 \text{ t ha}^{-1}$) csak a káliumkoncentrációt növeli meg szignifikánsan a betakarított hajtásokban. A kétszeri TSZK kijuttatás nem befolyásolta szignifikánsan az olasz nád hozamát.

Kádár és Ragályi (2012) meszes humuszos homok talajon beállított kísérletei szerint az érett vágóhídi komposzt hatása 6 év után is igazolható volt a talaj szántott rétegének humusz-, összes N-, összes P- és S-, valamint oldható P-, S-, Fe-, Zn- és Mo-tartalmának emelkedésében. A bevitt szerves anyag közel fele, az összes-N 18–20%-a beépülhetett a talaj tartós humuszanyagaiba. Az éretlen és félérett komposzt terheléssel szintén igazolhatóan emelkedtek az értékek.

A növekvő csontos húsliszterheléssel átmenetileg 0,5 értékkel igazolhatóan mérséklődött a $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$, emelkedett az „összes” só, az összes-N és ásványi-N frakciók mennyisége. A savtermelő nitrifikáció méreteire és sebességére utal, hogy az 1. évben 13-szorosára nőtt a szántott réteg $\text{NO}_3\text{-N}$ -, illetve 6-szorosára az $\text{NH}_4\text{-N}$ -koncentrációja. Aszályos évben a kukorica csekély termésével nem tudta hasznosítani a sok ásványi-N-t, mely feltehetően az altalajba távozatott. A 6. évben a húsliszt lebomlott, és a mobilis bomlástermékei ($\text{NO}_3\text{-N}$, vízoldható sók, savak) eltűntek.

A kísérlet eredményeként megállapították, hogy a húsliszt gyorsan bomló trágya, ezért a NO_3 -érzékeny területeken az előírt $170 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$ N-terhelés túllépését kerülni kell. Az éretlen és félérett komposzt viszont több éven át lassan ásványosodik a talajban és nitrogénjének egy része tartósan beépülhet a talaj humuszanyagaiba. Az előírt $170 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$ N-terhelésre vonatkozó korlátozást

ezért nem szükséges ezekre a szerves trágyaszerekre kiterjeszteni, a terhelés a 2–3-szorosára növelhető.

Füzesi et al. (2015) erömüvi égetés melléktermékét, a fahamut vizsgálták. Szabadföldi kisparcellás kísérletet állítottak be 0, 1, 2,5, 5 és 10 t fahamu ha⁻¹-nak megfelelő dózissal fehér mustár és angolperje tesztnövényekkel, gyengén savanyú, agyagos vályogtalajon. A talaj vizes szuszpenzióban mért pH-értéke statisztikailag igazolhatóan növekedett a kezelések hatására. A hamu kijuttatásakor a talaj P₂O₅ tartalma közel kétszeresére emelkedett a legnagyobb dózis hatására, míg a K₂O-tartalom több mint kétszeresére nőtt. A kezelések növelték a termőtalaj magnézium- és kén tartalmát, valamint a mikroelemek közül a cink mennyiségét. A tesztnövények kelésszámában, zöldtömegében és magasságában egyik fahamu dózis sem okozott igazolható változást. A kezelések hatására a talajban megnövekedő tápelem kínálatot a növények tápanyagtartalma az első évben nem mutatta.

2.8. Erjesztési maradékok a talajtermékenység fenntartásának szolgálatában

A tudományos eredmények felkutatása közben rá kellett jönnöm, hogy hiába foglalkozik számtalan cikk, publikáció, könyv a biogáz témával, legtöbbjük gazdasági oldalról elemzi az üzemeket, illetve legtöbbször a különböző anyagokból kinyerhető biogáz mennyiségét kutatják. Bár az írások nagy része említést tesz a erjesztési maradékról, legtöbbször az kimerül egy-két mondatban. Leginkább az alábbi megállapításokkal találkozunk: felhasználható a mezőgazdaságban műtrágya helyettesítésére vagy kiegészítésére; növeli a termés mennyiségét. Azonban ritkán találni olyan kiadványt, ahol ezeket az állításokat adatsorokkal is alátámasztják. Sokan azt állítják, hogy olyan, mint a hígtrágya vagy az istállótrágya, így az ilyen jellegű kísérleteknek kell alapul szolgálnia a felhasználáshoz. Azonban a biogázüzemi erjesztési maradék felhasználása, környezeti és humán egészségügyi hatása továbbra is számos nyitott kérdést hordoz magában (Nkoa, 2014). A fellelhető publikációk három részre oszthatók:

- Pozitív hatás
- Nincs hatás
- Negatív hatás

Fuente et al. (2013) kísérletei rávilágítottak arra, hogy az erjesztési maradék szervesanyaga gyorsan mineralizálódik, melyet a talaj szén- és nitrogén készlete átalakulásának vizsgálata során tapasztaltak.

Montemurro et al. (2015) spenóttal végzett kísérleteiben 2008-ban az erjesztési maradék jelentősen növelte a spenót termését és szárazanyag tartalmát a többi szervesanyag és a műtrágya kezeléshez képest. Emellett szignifikánsan nőtt a nitrogén felvétel és a növényekben mérhető nitrogén tartalom. Az évhatás jelentős lehet a kísérletekben, hiszen a következő évben kevésbé markáns hatásokat tapasztaltak. A talaj makro- és mikroelem tartalmát (TOC, N, P, K Ca, Mg és Na) is növelte az alkalmazott erjesztési maradék a kontrollhoz képest.

Bonette et al. (2014) munkásságából kiderül, hogy a laboratóriumi és kísérleti üzem erjesztési maradéka is más-más hatással van az alkalmazott növényre. A tarka cirok szárának hosszára, nedves és száraz tömegére jelentősebb hatással volt a laboratóriumi méretekben előállított erjesztési maradék.

Rózylo et al. (2015) erjesztési maradékot használt 1,5 és 3%-os adagokban tenyészedényes toxicitás vizsgálata során. Eredményeikből kiderül, hogy a 3%-os adag gátolta a zsázsa gyökérnövekedését, illetve a *Vibrio fischeri* és a *Daphnia magna* mortalitása megnőtt az első 48 órás mérés alkalmával. A kísérlet során tapasztalt negatív hatások fokozatosan mérséklődtek az idő előrehaladtával.

2004-ben jelent meg egy tanulmány amiben, Indiában az erjesztési maradék laskagombára gyakorolt hatását vizsgálták. A szerzők arról számoltak be, hogy a kezelések hatására a kontrollhoz képest akár 77%-kal is növekedett a laskagomba termésmennyisége a kezelések függvényében. A magasabb fehérjetartalommal a kisebb szénhidrát tartalom járt együtt, ezen kívül nőtt a gombában kimutatható tápanyagok mennyisége is (Banik és Nandi, 2004).

Egy észak-kínai üvegházás kísérletben az uborkán és paradicsomon indukált változásokat vizsgálták. Az uborka esetében 18,4%-os termésnövekedést, 16,6%-os C-vitamin tartalomnövekedést értek el az erjesztési maradék alkalmazásával. Paradicsomnál 17,8%, illetve 21,5% volt a növekedés a kontrollhoz képest (Qi et al., 2005).

Vágó és munkatársai (2009) szója jelzőnövényvel beállított kísérletben vizsgálták az erjesztési maradék hatását, betakarítást követően. Homok textúrájú talaj

makro-, mezo-, és mikroelem, valamint nehézfém tartalmára. A mérési eredményekből kiderül, hogy a nehézfém tartalma nem változott, a talaj foszfor, kálium és kén készlete szignifikánsan változott. Pozitív hatás, hogy az oldható alumínium tartalom csökkent, és egyes mikroelemek koncentrációja növekedett. Negatív hatásnak tekinthető a Zn tartalom csökkenése és a Na tartalom növekedése, ami hosszú távon hátrányos lehet (Vágó et.al., 2008).

A tenyészedényes, kisparcellás és üzemi kísérletekben a fermentlével, illetve a fermentlével és egyéb talajjavító anyaggal kezelt területeken nőtt a növények termés mennyisége, nagyobbra nőttek a növények, javultak a beltartalmi mutatók, a kezelések hatása serkentőleg hatott a mikrobiológiai tevékenységre (Makádi et.al., 2007a,b,c, Tomócsik et.al., 2007a,b,c).

A fermentlé kezelés hatására növekedett a talajok összes nitrogén tartalma a felsőbb rétegekben a vártak megfelelően. A nitráttartalom csökkenést mutatott a mélyebb talajrétegekben, jelezve, hogy a növények felvették a kijuttatott tápanyagot (Makádi et.al., 2008a,b).

3. Anyag és Módszer

Dolgozatomban laboratóriumi körülmények között különböző talajokon vizsgáltam biogázüzemi - szennyvíziszapot tartalmazó - erjesztési maradék hatását. A vizsgálatok kiterjedtek a talaj kémiai és fizikai tulajdonságaira és a növények elemfelvételére. További kísérletek kerültek beállításra egyéb adalékanyag (bioszén és csontszén) hozzáadásával is.

3.1. Laboratóriumi tenyészedény kísérletekben használt talajok bemutatása

A kísérletekben használt talajokat személyesen gyűjtöttem be a helyszínekről. A talaj felső, növényekkel és szármagadványokkal borított rétegét eltávolítva, a felső 0-30 cm-es humuszos rétegből történt a begyűjtés. Minden kísérlethez új talajmintát gyűjtöttem, melyet a laborba érkezést követően talajtálcára helyeztem. A mintákat felhasználásukig hűvös (+5°C) és száraz helyen tároltuk, a légszáraz talajt megtisztítottam a növényi maradványoktól, idegen anyagoktól, homogenizáltam, a növényi részekről megtisztított talajt ledaráltuk és légszáraz állapotban (22-24°C) 2 mm-es szitán átrostáltuk.

Az évek során számos beállítási variáns került tesztelésre, ezek részleteit külön-külön mutatom be, az alkalmazott talajokkal egyetemben.

Szárítópusztai talaj bemutatása

A tenyészedény kísérletekhez szükséges talajminták a SZIE Szárítópusztai Növénytermesztési Tanüzemének területéről származott. A terület a Gödöllői-dombság kistájon helyezkedik el, amely átmenetet képez a Cserhát és a Duna-Tisza homokhát között, tengerszintfeletti magassága 247 méter, alapköze lösz. Gödöllő környékén felsőpannoniai homokos-agyagra, illetve folyóvízi üledékekre települt felszínt borító lösz, homok és lejtőagyag közt néhol felszínre bukkan a felsőpannoniai édesvízi mészkő- és márga. A pleisztocénben a terület kiemelkedett és kialakult egy erősen tagolt, néhol meredek lejtőkkel jellemzett dombvidék, ahol a talajerózió és defláció következtében jelentős áthalmazódások mentek végbe. A kísérleti terület talaja a magyarországi genetikai talajosztályozás alapján főként homokon kialakult rozsdabarna erdőtalaj (Luvic Calcic Phaeozem) (7. ábra). A harmadkori homok és márga alapközen kialakult rozsdabarna erdőtalaj altípus a Ramann-féle barna erdőtalaj talajtípusba tartozik. A terület eróziótól veszélyeztetett, tömörödéssre fokozottan érzékeny. A homokon kialakult rozsdabarna erdőtalajok

vízgazdálkodási tulajdonságai elmaradnak a barnaföldek kedvező tulajdonságaitól. Termékenységük az alacsonyabb humusztartalom és tápanyag-ellátottság miatt kisebb.



7. ábra Szárítópusztá kísérleti tér jellemző talajszevénye, rozsdabarna erdőtalaj

Szevényleírás

- Ap** Barna (10YR 4/3), nedvesen sötét barna (10YR 3/3), homokos vályog. Közepesen fejlett, apró szemcsés-morzsás szerkezet. Kevés hajszálgökér. Gyakori giliszta és hangyajárat. Nincs pezsgés. Fokozatos átmenet.
- A2** Barna (10YR 5/3), nedvesen sötét sárgásbarna (10YR 4/2), homokos vályog. Gyengén és közepesen fejlett, apró és közepes szemcsés-morzsás szerkezet. Nagyon kevés kis kerek kavics és faszén. Kevés hajszálgökér. Sok giliszta és hangyajárat. Nincs pezsgés. Tiszta átmenet.
- AB** Sárgás barna (10YR 5/4), nedvesen sötét sárgásbarna (10YR 4/4) homokos vályog. Közepesen fejlett, közepes szemcsés elsődleges, apró és közepes szemcsés-morzsás másodlagos szerkezet. Kevés hajszálgökér. Sok giliszta és hangyajárat. Nincs pezsgés. Tiszta átmenet.
- Bt** Sárgás barna (10YR 5/6), nedvesen sötét sárgásbarna (10YR 4/6) vályog. Közepesen fejlett, közepes hasábos elsődleges, apró és közepes szemcsés-morzsás másodlagos szerkezet. Agyaghártyák a szerkezeti elemek felületén és a pórusokban. Sok gilisztajárat. Néhány nagyobb méretű krotovina. Nincs pezsgés. Éles hullámos átmenet.

Ck Halvány sárga (2,5 Y 8/2), nedvesen halvány sárgásbarna (2,5Y 6/4) homokos vályog. Erős pezsgés. Sok CaCO₃ kiválás, kemény és porló konkréciók, bevonatok és gyökérjárat kitöltések formájában.

Genetikai szint	Mélység (cm)	pH H₂O	Szerves a. (%)	CaCO₃ (%)	T érték cmol/kg	
Ap	0-30	6,9	1,9	0	12,6	
A2	30-50	7,6	1,1	0	12,5	
AB	50-65	7,6	0,7	0	14,9	
Bt	65-95	7,9	0,5	0	17,8	
Ck	95-	8,7	0,4	31,0	20,3	
Genetikai szint	V (%)	Homok % 2-0,05 mm	Agyag % <0,002 mm	Szövet	Σ só (%)	
Ap	77,2	74	13,2	HV	<0,02	
A2	84,8	71,3	15,7	HV	<0,02	
AB	83,2	63,9	21,8	HV	<0,02	
Bt	89,2	60,9	21,6	V	<0,02	
Ck	100	61,7	13,2	HV	<0,02	

5. táblázat A szárítópusztai rozsdabarna erőtalaj tulajdonságainak változása a genetikai szintek függvényében (SZIE-TALT)

A kísérletben felhasznált talaj egy magasabb térszínről származik, aminek felső szintje erodáltabb. Sekélyebb humuszos réteggel, és homokosabb szövettel rendelkezik. A modell kísérletben felhasznált talaj tulajdonságait döntően a nagy szemcseméret (2-0,02 mm), a kevés ásványi és szerves kolloid, az ezzel összefüggésben lévő gyenge vízgazdálkodási, továbbá a gyenge tápanyaggazdálkodási jellemzők határozzák meg. Az általunk alkalmazott talaj fizikai tulajdonságai megfelelnek az irodalomban megtalálható kedvezőtlen tulajdonságú talajokéval, így a várható hatások markánsabban jelentkezhetnek. A talajminták a felső szántott rétegből (Ap) származnak (0-30 cm). A mintákat felhasználásukig hűvös (+5°C) és száraz helyen tároltuk, felhasználásuk előtt a növényi részekről megtisztított talajt ledaráltuk, homogenizáltuk és légszáraz állapotban (22-24°C) 2 mm-es szitán átrostáltuk. A talaj főbb tulajdonságai a 6. táblázatban láthatóak. A talaj humusztartalma a nitrogén ellátás szempontjából jó, AL-P₂O₅ tartalma jó, AL-K₂O tartalma pedig a közepes kategóriába esik a MÉM-NAK szerint

Genetikai szint	mélység	Humusz	CaCO ₃	pH	pH	CEC	Összes só
	(cm)	%	%	H ₂ O	KCl	cmol kg ⁻¹	%
Ap	0-30	0.5	-	5.5	4.2	12.19	0.028
AL-P ₂ O ₅	AL-K ₂ O	Homok %	Vályog %	Agyag %	hy	K _A	
mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	2-0,02 mm	0,02-0,002 mm	<0,002 mm			
111	120	78	9	13	0.08	21.5	

6. táblázat: A tenyészedény kísérletekben felhasznált szántott réteg tulajdonságai

Jószefmajor-i talaj bemutatása

Területe: az ország egyik legerodáltabb területén, az Észak Alföldi hordalékkúp-síkság és a Cserhátalja határán található. Talajai a táj hegylábi és Alföld-peremi helyzeténél fogva változatos talajképző közetten alakultak ki. A gazdaság területén a domborzati viszonyok a kis területhez képest szintén igen változatosak a meredek lejtőktől a vizenyős, mélyen fekvő területekig, így az erózió illetve szedimentáció, különböző mértékben jut érvényre a gazdaság területén.

Domborzata: Tengerszint feletti magassága 128 és 350 m közötti, 40%-ban közepes, 60%-ban alacsony, enyhén délkeletnek lejtő dombtság. Geomorfológiailag a Cserhát hegylábfelszínének tekinthető. A felszint északnyugat délkeleti irányú aszimmetrikus völgyek valamint keskeny, hosszú délkelet felé szélesedő völgyközi háta tagolják. A háta északnyugaton 70-80 m, délkeleten 20-30 m relatív magasságúak.

Földtani adottságok: Északnyugati részét felső miocén mészkő és agyag építi fel, amely délkelet felé fokozatosan átmegy a pannóniai agyagos – kavicsos - lignites rétegsorba, illetve pliocén végi folyóvízi homokba és kavicsba. A felszín délnyugati részét jelentős vastagságú lösz borítja, keleti és délkeleti részét szoliflukcióval átdolgozott középső- és felső pleisztocén lejtőanyagok, nyirok fedi. A kistáj jellemző szerkezeti iránya az északnyugat - délkeleti, északnyugaton északkelet-délnyugati. Ez választja el a miocén és pliocén képződményeket is.

Éghajlat: A terület két részre tagolható. Északi része mérsékelten hűvös-mérsékelten száraz, déli része mérsékelten meleg, mérsékelten száraz. Éghajlati viszonyait a dombvidék jelleg határozza meg.

Talajok: Uralkodó talajok a barnaföldek (41%) és a csernozjom (40%) talajok (8. ábra). A barnaföldek legnagyobb részt nyirkon alakultak ki, melynek mechanikai összetétele agyag, agyagos vályog és csak kis részben löszön. Az észak-déli illetve az északnyugati-délkeleti irányba futó patak völgyekben réti öntés (5%) és nyers öntés talajok (14%) találhatóak. Mechanikai összetételük agyagos vályog, vízgazdálkodásuk kevésbé kedvező.

A tangazdaság 270 hektáros területéből 255 ha szántó, illetve legelő, 10 ha erdő és fásor, 5 ha gazdasági udvar. A szántóterület aranykorona értéke 30 fölötti.



8. ábra Józsefmajori kísérleti tér jellemző talajszelvénye

Szelvény leírás

- Ap** Szárazon szürkés barna (10YR 4/2), nagyon sötét szürkés barna (10YR 3/2) nedvesen. Enyhén tapad, nagyon tömörödött, szárazon kemény. A felső része a szintnek lemezes, lejjebb kemény hasábos. Finom gyökerek csak szerkezeti elemek között. Fokozatos átmenet.
- AB** Szárazon (7,5YR 4/3), sötét barna (7,5YR 3/3) nedvesen, finom morzsás szerkezet. Enyhén tapad, képlékeny. Nagyszámú giliszta járat és giliszta ürülék. Szervesanyag-bevonat a talajrészeken. Fokozatos, hullámos átmenet.
- BCK** Szárazon barnás szürke (10YR 6/2), szürkés barna (10YR 5/2) nedvesen. Gyenge morzsás szerkezet. Morzsalékos, enyhén tapad, enyhén képlékeny. Kalcium karbonát felhalmozódás, por alakú bevonat formájában a talajrészeken, illetve pórusokban, gyökérfutásokban. Gyakoriak a giliszta járatok, giliszta ürülékek és krotovinák. Néhány törött löszcsiga ház*. Fokozatos, egyenletes átmenet.
- 2CBk** Szárazon sápadt barna (10YR 6/3), barna (10YR 5/3) nedvesen. Gyengén morzsalékos, nem tapad. Kalcium karbonát felhalmozódás, por alakú bevonat formájában a talajrészeken, illetve pórusokban, gyökérfutásokban, és kemény konkréciók formájában (1 cm).

Genetikai szint	Mélység (cm)	pH H ₂ O	Szerves anyag (%)	CaCO ₃ (%)	T érték cmol/kg	V %	Homok % 2-0,05 mm	Agyag % <0,002 mm	Szövet	Térfogat-tömeg (g/cm ³)	Σ Só (%)
Ap	0-30	6,1	1,5	0	28	55	34	32	a v	1,5	<0,02
AB	30-50	6,9	1,6	0	30	60	35	37	a v	1,3	<0,02
BCK	50-90	7,13	0,5	9	18	100	34	31,9	a v	1,3	<0,02
2CBk	90-150	7,9	0,4	25	14	100	49	29	a v	1,2	0,05

*A törött csigaházak arra utalnak, hogy a lösz áthalmozott.

7. táblázat Józsefmajori csernozjom tulajdonságainak változása a genetikai szintek függvényében (SZIE-TALT)

A minták származási helyén a talaj kötöttsége (K_A) 51, humusztartalma pedig 3,2 %, AL-P₂O₅ tartalma 385 mg kg⁻¹, AL-K₂O tartalma 461 mg kg⁻¹. Ezek alapján a talaj nitrogén ellátottsága jó, AL-P₂O₅ tartalma igen jó, AL-K₂O tartalma szintén igen jó kategóriába esik a MÉM-NAK szerint.

3.2. Az erjesztési maradék fizikai, illetve kémiai tulajdonságai

Vizsgálat megnevezése	Koncentráció	Sza. tartalomra vonatkoztatva	Határérték*
Száranyag %	1,14	100%	
Izzítási veszteség %	0,58	50,88%	
Só %	2,29		
pH (H ₂ O)	8,13		
Összes C %	0,34	29,82%	
H ₂ O-C %	0,28	24,56%	
H ₂ SO ₄ -N mg cm ⁻³	4,78	4193 mg kg ⁻¹	
NH ₄ -N mg cm ⁻³	4,62	4052 mg kg ⁻¹	
NO ₃ -N mg cm ⁻³	0,12	105 mg kg ⁻¹	
NH ₄ +NO ₃ -N mg cm ⁻³	4,74	4158 mg kg ⁻¹	
AL-P mg cm ⁻³	0,07	61 mg kg ⁻¹	
H ₂ SO ₄ -P mg cm ⁻³	0,42	368 mg kg ⁻¹	
AL-K mg cm ⁻³	0,88	772 mg kg ⁻¹	
H ₂ SO ₄ -K mg cm ⁻³	0,89	781 mg kg ⁻¹	
AL-Na mg cm ⁻³	0,87	763 mg kg ⁻¹	
H ₂ SO ₄ -Na mg cm ⁻³	0,89	781 mg kg ⁻¹	
AL-Ca mg cm ⁻³	0,035	31 mg kg ⁻¹	
H ₂ SO ₄ -Ca mg cm ⁻³	0,093	82 mg kg ⁻¹	
Szűrlet Cu µg cm ⁻³	2,7	237 mg kg ⁻¹	1000 mg kg ⁻¹
Szűrlet Zn µg cm ⁻³	0	0	2500 mg kg ⁻¹
Szűrlet Fe µg cm ⁻³	1,62	142 mg kg ⁻¹	-
Szűrlet Mn µg cm ⁻³	0	0	-
Szűrlet Pb µg cm ⁻³	6,4	561 mg kg ⁻¹	750 mg kg ⁻¹
Szűrlet Cd µg cm ⁻³	0,042	4 mg kg ⁻¹	10 mg kg ⁻¹

*A határértékek az 50/2001. (IV. 3.) Korm. Rendeletben meghatározottak szerint

8. táblázat Az erjesztési maradék kémiai analízisének eredménye, 2009 (Gulyás, 2009)

Vizsgálat megnevezése	Koncentráció	Sza. tartalomra vonatkoztatva	Határérték*
Száranyag %	7,60	100%	
Izzítási veszteség %		55,38%	
pH (H ₂ O)	8,07		
Roncsolat-N mg kg ⁻¹	5320	70044	
KCl NH ₄ -N mg kg ⁻¹	2557	33665	
KCl NO ₃ -N mg kg ⁻¹	33,1	435	
KCl NH ₄ +NO ₃ -N mg kg ⁻¹	2590	34099	
Összes-P mg kg ⁻¹	2531	33326	
Összes-K mg kg ⁻¹	13,4	177	
HNO ₃ Ca mg kg ⁻¹	883	11630	
HNO ₃ Mg mg kg ⁻¹	421	5538	
HNO ₃ Cu mg kg ⁻¹	1,93	25,5	1000 mg kg ⁻¹
HNO ₃ Zn mg kg ⁻¹	64,7	851	2500 mg kg ⁻¹
HNO ₃ Fe mg kg ⁻¹	941	12386	-
HNO ₃ Mn mg kg ⁻¹	24,4	321	-
HNO ₃ Pb mg kg ⁻¹	4,59	60,4	750 mg kg ⁻¹
HNO ₃ Cd mg kg ⁻¹	0,39	5,17	10 mg kg ⁻¹
HNO ₃ Ni mg kg ⁻¹	2,96	39,0	200 mg kg ⁻¹

*A határértékek az 50/2001. (IV. 3.) Korm. Rendeletben meghatározottak szerint

9. táblázat: Az erjesztési maradék kémiai analízisének eredménye, 2010

Az erjesztési maradék beltartalmi mutatóit saját (8. táblázat) és laboratóriumi mérések (9. táblázat) alapján vettem figyelembe a kísérletek során. Az eredményekből látható, hogy az erjesztési maradék főleg oldott állapotban tartalmazza a tápelemeket, amiket így a növények könnyen fel tudnak venni a talajból.

A kísérletekben alkalmazott erjesztési maradékot, minden esetben homogenizálva, eredeti formájában kevertük a talajhoz. A tesztnövények elvetése közvetlenül a bekeverést követően megtörtént.

Az 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendeletben a szennyvíziszapokra előírt határértéket a vizsgált elemek egyike sem haladta meg. Ugyanebben a rendeletben a

szennyvíziszap komposztokra vonatkozó szigorúbb határértékeknek is megfelelné az erjesztési maradék, csak az ólom mennyisége lépné túl a megengedett értéket. Az értékelésnél ez volt az elsődleges szempont, mivel az alapanyagok rothasztásánál szennyvíziszapot is felhasználnak, így a jelenleg hatályos jogszabályok szerint az erjesztési maradék is annak minősül.

3.3. Bioszén és csontszén analitikai eredményei

Paraméter	BC	ABC	Paraméter	BC	ABC
a, Szemcseméret, %			j, Elemtartalom, mg kg ⁻¹		
>6,3 mm	<0,1	<0,1	Kalcium (Ca)	30 200	300 000
3,15-6,3 mm	8,2	72,0	Króm (Cr)	4	4
2-3,15 mm	22,6	13,2	Réz (Cu)	9	5
1,6-2 mm	6,2	1,9	Vas (Fe)	2 280	63
1-1,6 mm	34,4	4,2	Kálium (K)	4 450	2 000
0,63-1 mm	6,4	0,8	Magnézium (Mg)	1 200	6 000
0,1-0,63 mm	20,4	7,1	Mangán (Mn)	1 140	1
<0,1 mm	1,8	0,8	Nátrium (Na)	170	7 000
b, Térfogattömeg, g cm ⁻³	0,36	0,31	Foszfor (P)	780	133 000
c, Szárazanyag tart., %	93,87	99,95	Cink (Zn)	41	152
d, Izzítási mar. (hamu), %	11,61	100	Nitrit (KCl-NO ₂)	0,4	0,6
e, Összes szén, %	79,8	9,9	Nitrát (KCl-NO ₃)	<10	<10
f, Összes nitrogén, %	0,7	1,8	Kálium (AL-K)	1 450	1 500
g, C/N arány	99,4	5,1	Foszfor (AL-P)	214	24 600
h, pH,	8,32	7,58	k, Összes PAH, mg kg ⁻¹	4,82	0,37
i, Kationcsere kapacitás (CEC), cmol kg ⁻¹	14,7	n.a.	l, Összes PCB	-	-

10. táblázat: A bioszén és a csontszén akkreditált laboratóriumi analízisének eredményei, 2014 (Wessling Hungary Kft, 2013; EU FP7 REFERTIL 289785, 2013; Gulyás et.al., 2014)

*BC: növényi eredetű bioszén, ABC: csontszén

Az általam alkalmazott növényi eredetű bioszén és a csontszén (10. táblázat) az EU FP7 REFERTIL 289785 projekt keretében készült a Terra Humana Kft. üzemében. A teljes eljárás oltalom alatt áll, így csak a projekt dokumentációból rendelkezésemre álló információkat ismertetem. Mindkét szén pirolízis eljárással

készült, ez a technológia magas hőmérsékleten (450-650°C) redukív környezetben, negatív nyomás alatt alakítja át a szerves anyagokat, melynek egyik végterméke a bioszén.

A bioszénszén elsősorban talajjavító anyagként jöhet szóba, magas széntartalmával, mikro és mezo pórusméretével (1-50 nm), míg a csontszén alacsony széntartalmával és magas kalcium foszfát tartalmával elsősorban, mint tápanyag-utánpótlásra alkalmas anyag került előtérbe. A technológiából adódóan makroporozus (50-63000 nm) anyagról beszélünk, melynek hatását a pórusok mérete is jelentősen befolyásolja (Someus, 2016).

3.4. Laboratóriumi kísérletekben használt tesztnövényről

Csírázási és tenyészedeény kísérleteimben rendre angolperjét (*Lolium perenne*) használtam, mint jelzőnövényt. A választás több okra vezethető vissza. A tesztnövény megválasztása jelentősen függ a tenyészedeény méretétől, a tesztidőszak hosszától és a környezeti tulajdonságoktól. Az erjesztési maradékkal folytatott kísérletekben mérettől és környezeti adottságoktól függően számtalan növényt alkalmaztak. A leggyakrabban alkalmazott növények a zsásza, spenót, retek, karalábé, olaszperje, paradicsom, kukorica és más egzotikus növények.

Az általam alkalmazott tenyészedeény mérete (500 cm³), és a benne található talaj mennyisége (200g) korlátozó tényezőként hatott a választásra. A rövid, maximum 20 napos tesztidőszak is korlátozó tényező volt számomra. Ilyen rövid időszakot az irodalomban csak toxicitás vizsgálatoknál alkalmaznak szabványos növényekkel. Ettől csak hosszabb kísérleti periódusra találunk számos kivételt.

A nagy magvú növények a rövid időszak miatt eleve kizárásra kerültek, azok a nagyméretű, hosszabb illetve akár teljes tenyészidőszakot vizsgáló tenyészedeényes kísérletekben, illetve szabadföldön relevánsak. A kertészeti növények közül a rövid idő ellenére jelentős zöldtömeget fejlesztő fajok sokszor túlérzékenyek a várható hatásokat tekintve, illetve fotoperiodikusságuk nem teszi őket alkalmassá a teszt évszaktól független ismétlésére.

Jelzőnövényként kerti zsászat (*Lepidium sativum*), fehér mustárt (*Sinapis alba*) és angolperjét (*Lolium perenne*) alkalmaztam. Ezek közül végül az angolperjét találtam legalkalmasabbnak a folyamatos tesztek beállításához. A kerti zsásza könnyen és gyorsan csírázik, emellett bármikor alkalmazható, de könnyen

felnyurgul, ezáltal megdől, kis zöldtömeget fejleszt és állománysűrűsége miatt penészedésre hajlamos. A fehér mustár, mint hazánkban hivatalosan toxicitás mérésre alkalmazott növény, a kerti zsázsához hasonló eredményeket produkált.

Az angolperje (*Lolium perenne*) a legjelentősebb takarmánynövényeink közé sorolható. Az angolperje eredeti elterjedési területe Európa, Ázsia és Északnyugat-Afrika. Észak- és Dél-Amerikába, valamint Új-Zélandra és Ausztráliába is betelepítették ezt a növényt. Nyugat-Európában a zöldterületek jellegzetes faja. Az angolperje általánosan elterjedt és gyakori hegyi és nedves legelőkön, száraz gyepekben, réteken, utak mentén, taposott gyomtársulásokban; üde vagy közepesen száraz, tápanyagokban és bázisokban gazdag agyag-, ritkábban homoktalajokon nő. Gyors fejlődésű, 6-8 nap alatt kikel, és rövid idő múlva már díszít. Tömött gypet alkothat, mely a taposást is jól tűri, ezért igen sokoldalúan használható. Az angolperje tipikusan legelőre való alfű. A növény laza bokrú, évelő (2 és 3 éves), nyúlványai illetve földalatti szára 30-70 cm-re nő meg, földfeletti magassága elérheti a 100 cm-t. Jól fejlett, erős gyökérzete van. Elsősorban a mérsékelt éghajlaton a nehéz nedves talajokat kedveli, de a homokosabb szerkezetű tápanyagokban gazdag talajokon is megél. Nem kedveli az árnyékot. Leginkább a 6-7 közötti pH-t kedveli, de pH 4,5-8,2 közötti területeken is megtalálható. Közepesen szárazságtűrő, jól tolerálja a légszennyezést és közepesen tűri a talaj sótartalmát (Duke, 1983). Jól tűri a gyakori vágást, legelést, nagy zöldtömeget fejleszt.

Az erjesztési maradékot Európában leggyakrabban legelők tápanyag-utánpótlására használják, így gyakorlati jelentőséggel is bír tesztnövényként alkalmazva.

3.5. Bioteszt kísérletek 2010-ben

Az erjesztési maradék hatásainak tesztelésére 1 gramm **angolperjét** (*Lolium perenne*) vettem 500 cm³ térfogatú, kör keresztmetszetű (44x155mm) edényekbe. Korábbi kísérleteink során bebizonyosodott, hogy az angolperje ideális jelzőnövény, az erjesztési maradékok, komposztok esetében, a növényekre gyakorolt, növekedést gátló hatások vizsgálatára, gyors növekedése és érzékenysége miatt. Az erjesztési maradék kezelések beállításánál felső határértékként a Nitrát Direktívában meghatározott 170 kg N ha⁻¹ értéket vettem alapul. A kezeléseket a talaj kötöttségnek megfelelő 60%-os nedvességtartalomra állítottam be, a szükséges folyadékot a

nedvesítéshez desztillált vízzel pótoltam. A kísérlet időtartama alatt súlyra történt az edények öntözése.

Az angolperjét a tesztidőszak végén a 15. napon vágtam le. A friss és légszáraz tömeg lemérése után analitikai módszerekkel vizsgáltam a talajt és a növényeket. A növények gyökerének fejlődését fényképekkel dokumentáltam.

A szárítópusztai talajból (humuszos homok) a következő kezeléseket állítottam be 3 ismétlésben:

Kísérleti kezelések:

- Kontroll: 200g talaj
- 1.kezelés: 200g talaj + 42,5 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 2.kezelés: 200g talaj + 85 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 3.kezelés: 200g talaj + 127,5 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 4.kezelés: 200g talaj + 170 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék

3.6. Bioteszt kísérletek 2011-ben

A korábbi tapasztalatokra alapozva ismételten **angolperjét** (*Lolium perenne*) alkalmaztam tesztnövényként. A már bemutatott 500 cm³ térfogatú edényekben történtek meg a kezelések beállításai. Az erjesztési maradék kezeléseket beállításánál a felső határértékként a Nitrát Direktívában meghatározott 170 kg N ha⁻¹ értéket vettem alapul, azonban a korábbi eredmények tükrében csökkentett dózist alkalmaztam. A kezeléseket a talaj kötöttségnek megfelelő 60%-os nedvességtartalomra állítottam be. A kísérlet időtartama alatt súlyra történt az edények öntözése.

Az angolperjét a tesztidőszak végén a 15. napon vágtam le. A friss és légszáraz tömeg lemérése után analitikai módszerekkel vizsgáltam a talajt és a növényeket.

A szárítópusztai talajból (humuszos homok) a következő erjesztési maradék kezeléseket állítottam be 3 ismétlésben:

Kísérleti kezelések:

- Kontroll: 200g talaj
- 1.kezelés: 200g talaj + 25 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 2.kezelés: 200g talaj + 50 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 3.kezelés: 200g talaj + 75 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 4.kezelés: 200g talaj + 100 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék

3.7. Bioteszt kísérletek 2012-ben

A korábbi évekhez hasonlóan újabb bioteszt került beállításra **angolperjét** (*Lolium perenne*) alkalmazva szintén 500 cm³ térfogatú edényekben. Az erjesztési maradék kezeléseket beállításánál a felső határértékként a Nitrát Direktívában meghatározott 170 kg N ha⁻¹ értéket vettem alapul, azonban a korábbi eredmények tükrében csökkentett dózist alkalmaztam. A kezeléseket a talaj kötöttségnek megfelelő 60%-os nedvességtartalomra állítottam be. A kísérlet időtartama alatt súlyra történt az edényzetek öntözése.

Az angolperjét a tesztidőszak végén a 15. napon vágtam le. A friss és légszáraz tömeg lemérése után analitikai módszerekkel vizsgáltam a talajt és a növényeket.

A szárítópusztai talajból (humuszos homok) a következő kezeléseket állítottam be 3 ismétlésben:

Kísérleti kezelések:

- Kontroll: 200g talaj
- 1.kezelés: 200g talaj + 25 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék

- 2.kezelés: 200g talaj + 50 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 3.kezelés: 200g talaj + 75 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 4.kezelés: 200g talaj + 100 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék

Az eddigi kísérleti kezeléseknél a várható hatások minél markánsabb kihangsúlyozása volt a cél, azonban 2012-ben a SZIE józsefmajori tangazdaságának területéről vett, mind kedvezőbb fizikai tulajdonságokkal bíró, mind jobb tápanyag-szolgáltatású talajon is végeztem tesztek. A kísérlet célja a nitrogénformák átalakulásának nyomon követése volt.

Az 500 cm³ térfogatú edényekbe **angolperjét** (*Lolium perenne*) vettem. A szerves nitrogén dózisok meghatározásánál a Nitrát Direktívában rögzített 170 kg N ha⁻¹ értéket tekintettem a felső határnak. A kísérletet a talaj kötöttségnek megfelelő 60%-os nedvességtartalomra állítottam be. A kísérlet időtartama alatt súlyra történt az edényzetek öntözése.

Az angolperjét a tesztidőszak végén a 14. napon vágtam le. A növények friss és légszáraz tömegét lemértem. A növények gyökerének fejlődését fényképekkel dokumentáltam. A talaj ásványi nitrogén formáinak változását a kísérlet során naponta vizsgáltam.

A józsefmajori talajból (csernozjom talaj) a következő erjesztési maradék kezeléseket állítottam be 10 ismétlésben:

Kísérleti kezelések:

- Kontroll: 200g talaj
- 1.kezelés: 200g talaj + 80 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 2.kezelés: 200g talaj + 120 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 3.kezelés: 200g talaj + 170 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék

3.8. Bioteszt kísérletek 2013-ban

Az irodalmi forrásokban talált számos utalás után saját kísérleteimmel is igazoltam, hogy az erjesztési maradék önálló alkalmazásakor jelentős nitrogén veszteségek léphetnek fel, ezért olyan alternatív adalékanyag hozzáadásával kísérleteztem a veszteségek csökkentése érdekében, mely önmagában is hasznos talajjavító anyag egyben. A kísérletek beállításához a Szent István Egyetem Szárítópusztai Növénytermesztési Tanüzeméből származó humuszos homoktalajt használtam. A talajhoz EU FP7 REFERTIL 289785 projektből származó szilárd pirolízis végtermékeket adtam. Ezek a szilárd végtermékek teljes mértékben szerves hulladékok pirolíziséből származnak. Mezőgazdasági szempontból csak ilyen alapanyagból készült termékek használhatóak fel szántóföldi vagy más körülmények között.

A szárítópusztai humuszos homoktalajból kéttényezős split-plot elrendezésű kísérletben a következő kezeléseket állítottam be 3 ismétlésben:

A. Kísérleti kezelések:

- Kontroll: 1000g talaj
- 1.kezelés: 990g talaj + 10g bioszén
- 2.kezelés: 975g talaj + 25g bioszén
- 3.kezelés: 950g talaj + 50g bioszén
- 4.kezelés: 900g talaj + 100g bioszén
- 5.kezelés: 990g talaj + 10g csontszén
- 6.kezelés: 975g talaj + 25g csontszén
- 7.kezelés: 950g talaj + 50g csontszén
- 8.kezelés: 900g talaj + 100g csontszén

B. Kísérleti kezelések:

- Kontroll: 1000g talaj + 170 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 1.kezelés: 990g talaj + 10g bioszén + 170 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 2.kezelés: 975g talaj + 25g bioszén + 170 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék

- 3.kezelés: 950g talaj + 50g bioszén + 170 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 4.kezelés: 900g talaj + 100g bioszén + 170 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 5.kezelés: 990g talaj + 10g csontszén + 170 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 6.kezelés: 975g talaj + 25g csontszén + 170 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 7.kezelés: 950g talaj + 50g csontszén bioszén + 170 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék
- 8.kezelés: 900g talaj + 100g csontszén bioszén + 170 kg ha⁻¹ N-nek megfelelő erjesztési maradék

A kísérlet során 30 napos tesztperiódust alkalmaztam, kilenc kezelést három ismétlésben végeztem. Négy kezelésben csontszén, míg négy kezelésben bioszén használtam. A kisméretű tenyészedények előkészítésekor kezelésként közel 1000 g előkészített talajt mértem ki, majd ehhez kevertük a megfelelő mennyiségű csontszén, illetve bioszén - térfogatszázaléknak megfelelően - 1%, 2,5%, 5%, 10% mennyiségben.

A kisméretű tenyészedények megnedvesítéséhez szükséges víz mennyiségét a kötöttség alapján állapítottam meg, ami a kötöttség 60%-ának megfelelő (150 cm³ kg⁻¹) mennyiségű vizet jelentett az egy kg keverékhez. Az így elkészített keverékből 500 cm³ edényekbe 200 g-ot kimértem 3 ismétlésben. A tenyészedényekbe egyenként 2 g angolperje magot vettem. A tenyészedényeket naponta öntöztem és a csírázástól számítva mértem az átlagos növénymagasságot.

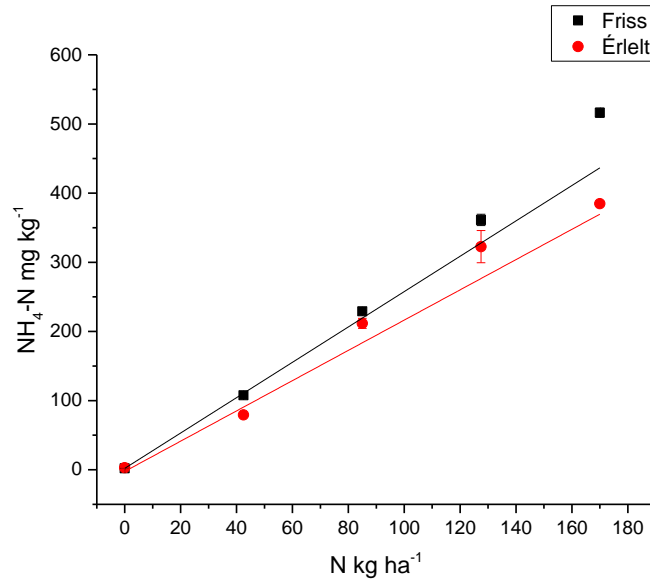
Az erjesztési maradékkal megismételt kísérletben azonos kezeléseket alkalmaztam, annyi különbséggel, hogy minden kezeléshez csak 120 cm³ desztillált vizet, továbbá 30 cm³ biogázüzemi erjesztési maradékot kevertem, amely a Nitrát Direktívában rögzített 170 kg ha⁻¹ N felső határának felel meg.

3.9. Az alkalmazott mérési módszerek

- pH meghatározása (Buzás, 1988)
- Só tartalom meghatározása (Kaplonyi, 1962)
- Összes nitrogén tartalom meghatározása Kjeldahl módszerrel (MSZ-08 0464-80 1981)
- Ásványi nitrogénformák meghatározása (Bacsó et.al., 1972)
- AL-P₂O₅ tartalom meghatározása (Egner et.al., 1960)
- AL-K₂O és AL-NaO tartalom meghatározása (Egner et.al., 1960)
- Kalcium-karbonát meghatározása (Allison és Moodie, 1965)
- Toxikus nehézfémek meghatározása AAS módszerrel, kivonószer HNO₃
- Kationcsere kapacitás módosított Mehlich eljárással (Buzás, 1988)
- Szervesanyag tartalom Walkley – Black módszer (Nelson és Sommers, 1996)
- Szerves széntartalom meghatározása Tyurin módszerrel (Buzás, 1988)

4. Eredmények

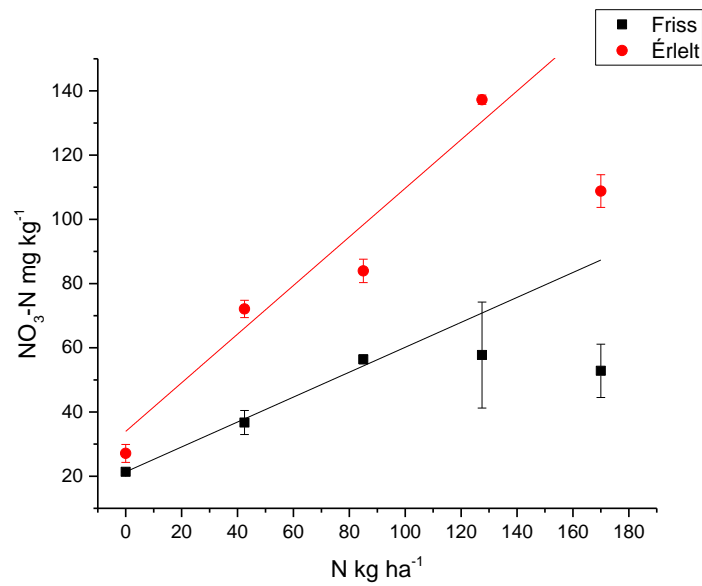
4.1. Nitrogénformák változása a talajban, kísérletek 2010-ben



9. ábra Az erjesztési maradékkal kijuttatott nitrogén hatása a talaj NH₄-N tartalmára humuszos homok talajon, 2010

* 0- kontroll kezelés, 42,5- 42,5 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 85- 85 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 127,5- 127,5 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 170- 170 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

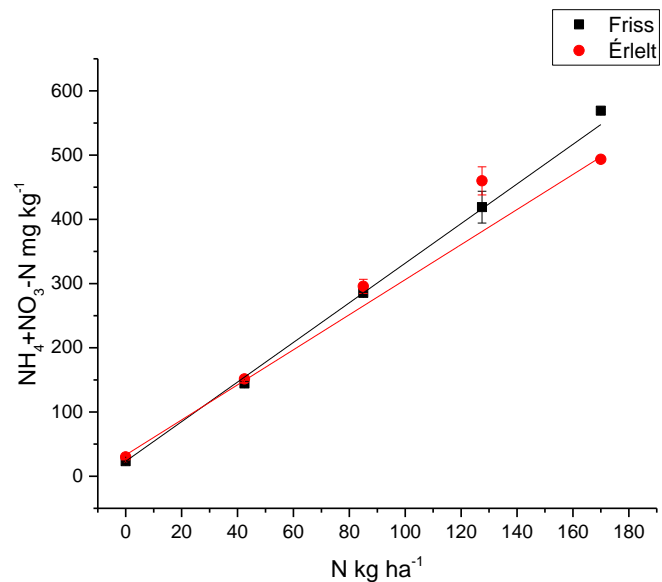
Az erjesztési maradékkal kiadott növekvő szerves N mennyiségével arányosan megnövekedett a talaj ammónium-ion tartalma a kontrollhoz viszonyítva. A 14 napos érlelés utáni mérési eredmények az NH₄-N tartalom szignifikáns csökkenését mutatják, mely a nitrifikáció eredménye (9. ábra).



10. ábra Az erjesztési maradékkal kijuttatott N, és az érlelés hatása a talaj NO₃-N tartalmára humuszos homok talajon, 2010

* 0- kontroll kezelés, 42,5- 42,5 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 85- 85 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 127,5- 127,5 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 170- 170 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

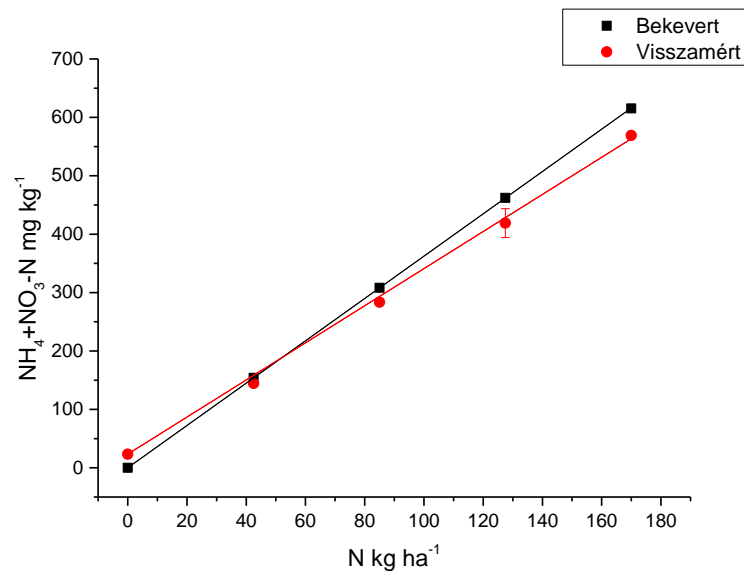
Érlelés nélkül a talajba juttatott NO₃-N mennyiségek közel azonosak a különböző kezeléseknél, azonban az érlelés hatására értékük növekszik. Jelentősebb növekedést a 127,5 kg ha⁻¹ N kezelésben tapasztaltam (10. ábra).



11. ábra Az erjesztési maradékkal kijuttatott N, és az érlelés hatása a talaj ásványi nitrogén ($\text{NH}_4+\text{NO}_3\text{-N}$) tartalmára humuszos homok talajon, 2010

* 0- kontroll kezelés, 42,5- 42,5 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 85- 85 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 127,5- 127,5 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 170- 170 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

A 9-es és a 10-es ábra eredményeinek összevetéséből jól látszik, hogy az érlelés hatására, levegőzött talajon az ammónium-ion nitrifikáló baktériumok hatására átalakulási folyamaton megy keresztül, nitrát-ionná alakul jelentősebb veszteségek nélkül (11. ábra).



12. ábra Az erjesztési maradékkal a talajba juttatott és visszamért $\text{NH}_4+\text{NO}_3\text{-N}$ mennyisége humuszos homok talajon, 2010

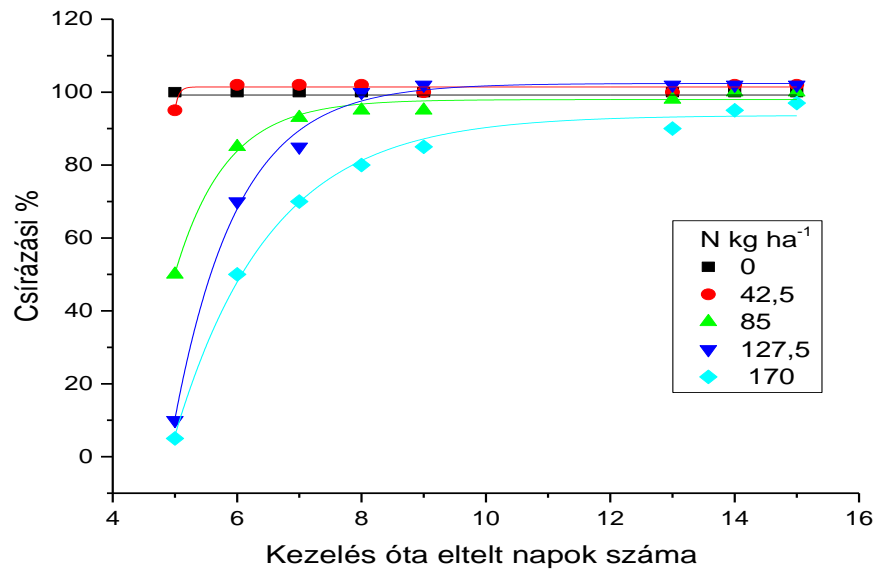
* 0- kontroll kezelés, 42,5- 42,5 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 85- 85 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 127,5- 127,5 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 170- 170 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

Az erjesztési maradékkal frissen a talajba kevert $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyisége a közvetlen visszamérést követően szignifikánsan nem változott, némi csökkenés azonban tapasztalható. Ez a talajszemcsék ammónium-ion megkötő képességével magyarázható (Stefanovits et.al., 1999), illetve veszteség léphet fel a bekeverést követően.

Az erjesztési maradék vizsgálati adataiból látható, hogy egy m³ erjesztési maradék körülbelül 4,5-5,5 kg összes nitrogént tartalmaz, melynek jelentős része oldott formában van jelen, a folyadék fázishoz köthető. A Nitrát Direktívában felső határértékként meghatározott 170 kg/ha/év szerves trágyával kijuttatható N mennyiséget betartva ez 30-35 m³ erjesztési maradéknak felel meg. Azonban számolva a tároláskor fellépő veszteségekkel ez a mennyiség két-háromszorosára is nőhet. Egyszerre történő kiöntéskor ez a mennyiség – 1 mm = 1 m² felületre 1 liter víz kijuttatását jelenti, ez kb. 1 cm-es rétegben nedvesíti át a talajt (Hodossi et.al., 2004) – körülbelül 3,6 cm talajréteget képes átmedvesíteni. Ha a tárolásnál jelentkező két-háromszoros veszteségeket is számításba vesszük, akkor a növények fejlődésének megfelelően többszöri kijuttatással pótolható alkalmanként 3-4 mm csapadék.

4.1.1 Biotesztek, 2010

A nagy ammónium ion tartalmú erjesztési maradéknak az angolperje csírázási dinamikájára gyakorolt hatását a 13. ában tanulmányozhatjuk. A csírázási % megadásánál a kontrollt minden felvételezéskor 100%-nak tekintetem.

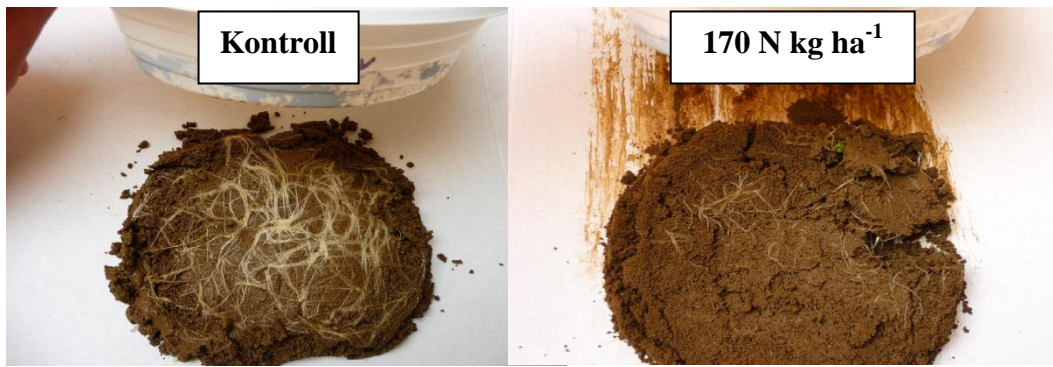


13. ábra Az erjesztési maradék hatása az angolperje csírázási dinamikájára humuszos homok talajon, 2010

* 0- kontroll kezelés, 42,5- 42,5 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 85- 85 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 127,5- 127,5 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 170- 170 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

A kis adagú nitrogén kezelések kevésbé gátolták a csírázást, míg a nagy adagok kezdetben a csírázási dinamikában depressziót, fejlődésben való elmaradást okoznak. A két hetes tenyészidőszak végére a különbségek minimalizálódtak, illetve gyakorlatilag megszűntek.

A gyökérzetet megvizsgálva azt tapasztaltam, hogy a legnagyobb adagú kezelés hatására csökevényesebb gyökérszett fejlődött (14. ábra), bár a növények hajtástömegében ez nem mutatott különbséget bontásakor.



14. ábra A nagy adagú erjesztési maradékkal kijuttatott ammónium ion hatása az angolperje teszt növény gyökereire humuszos homok talajon, 2010

4.2. Talajtulajdonságok változása, 2011-ben végzett kísérletek

A 2011. januárjában humuszos homok talajon beállított és a teszdőszakot követően, két hét elteltével levágtuk az angolperje tesztnövényt.

Meghatároztuk az erjesztési maradék hatását a talaj fizikai féleségére, kémhatására és a szerves széntartalmára, kation kicserélő kapacitására, és összes sótartalmára.

Megmértük a betakarított angolperje friss-, és légszáraz hajtástömegét nitrogén-, tartalmát és felvételét. Az eredményeket grafikonon ábrázoltam a szemléltetés megkönnyítése végett.

4.2.1. Az erjesztési maradék hatása a talaj fizikai féleségének változására

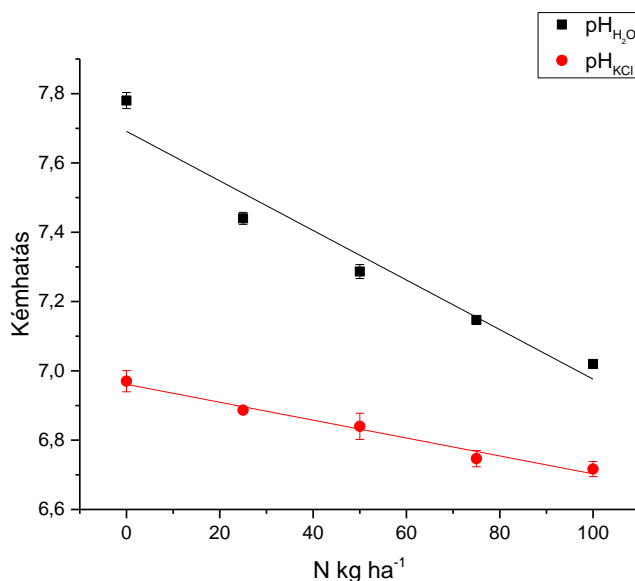
Az kijuttatott erjesztési maradékok hatására nem tapasztaltunk statisztikailag igazolható változást a talaj textúrájában (11. táblázat). A minták kötöttségi száma (K_A) rendre 25-30 értéktartomány közé esett, vagyis a talajok szövetfélesége minden esetben homok. Azonban empirikus úton gyűjtött információkkal is gazdagodtunk. A súlyra történő öntözések alkalmával megfigyeltük, hogy rendszeresen kevesebb vizet kellett pótolnunk a növekvő kezelésekkel, bár nagyobb hozamokat értünk el bennük. Akkor ennek nem tulajdonítottunk jelentőséget, azonban az anyag alapvető tulajdonságaira gondolva, mint korábban is említettem a szervesanyag összetételére jellemző a karboxil csoport, mely hidrofil tulajdonságokkal rendelkezik. Bár egyértelműen nem bizonyítható, de ez irányú vizsgálatok segíthetnek a nedvesség megtartó képesség növekedésének igazolásában.

Kezelések N kg ha ⁻¹	K_A
0	26,7
25	26,52
50	26,56
75	27,14
100	26,84

11. táblázat A kezelések hatása a talaj fizikai féleségére

*Kezelések: 0- kontroll kezelés, 25- 25 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 50- 50 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 75- 75 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 100- 100 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

4.2.2. Kémhatás változás



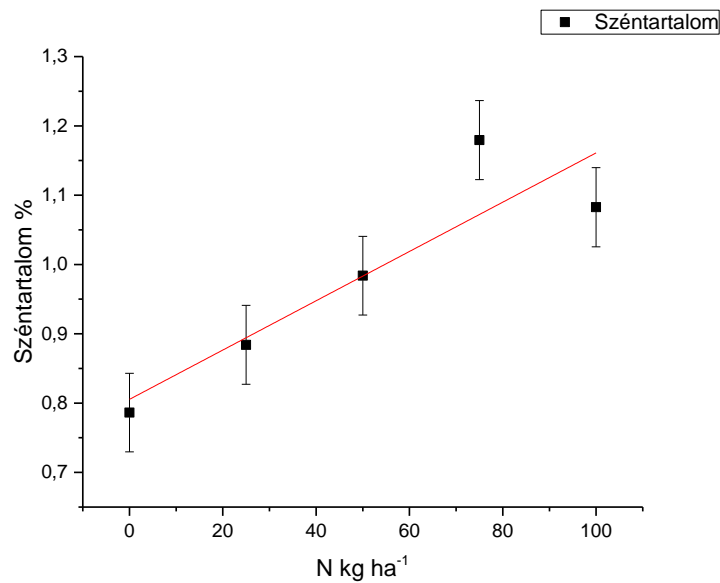
15. ábra Az erjesztési maradék hatása a humuszos homok talaj pH-jára, 2011

*Kezelések: 0- kontroll kezelés, 25- 25 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 50- 50 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 75- 75 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 100- 100 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

Az erjesztési maradék a talaj kémhatására gyakorolt hatását a 15. ábrán ábrázoltam. Az értékelésből kiderül, hogy a kijuttatott erjesztési maradék adagok szignifikánsan csökkentik, mind a pH (H₂O) ($r^2 = 0,9504$), mind pH (KCl)-t ($r^2 = 0,97941$) értékeket.

Bár az erjesztési maradék lúgos kémhatású (pH > 8), azonban a nagy ammónium ion tartalmának jelentős része a mikrobiológiai átalakulási folyamatok során savanyító hatású vegyületekké alakul át. Az oxigénmentes közeg miatt az ammóniumsók mértéke jelentős a kezeléshez használt anyagban. Nitrifikációjuk során H⁺-ionok képződnek a talajban. Emellett a lebontási folyamat hatására a funkciós csoportok aránya is megváltozik. A karboxil csoport részaránya például nő, míg a poliszacharidoké csökken (Schievano et al., 2008). Ezen csoportok szintén hatással lehetnek a csökkenő kémhatásra, és a hozzájuk kapcsolódó anyagok függvényében savas jellegűek is lehetnek.

4.2.3. A talaj széntartalmának változása

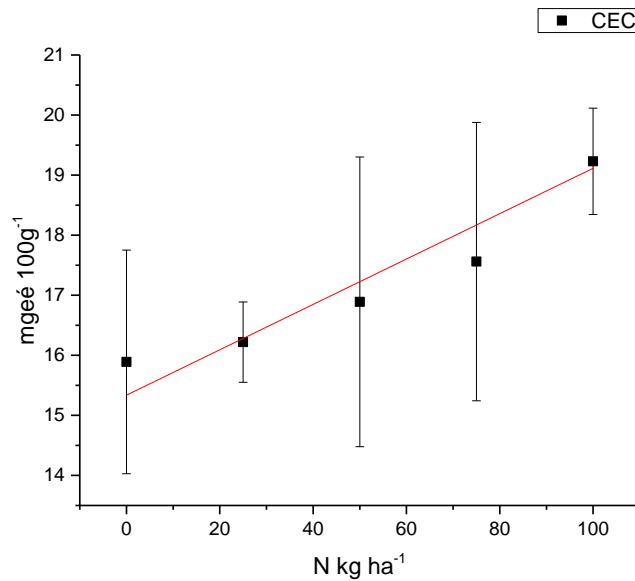


16. ábra Az erjesztési maradék hatása a talaj széntartalmára, humuszos homokon, 2011

*Kezelések: 0- kontroll kezelés, 25- 25 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 50- 50 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 75- 75 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 100- 100 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

Az erjesztési maradék hatását a talaj széntartalmára a 16. ábra szemlélteti. A kezelések hatására nőtt a talaj szervesanyag tartalma és ezzel együtt a széntartalma is ($r^2=0,81427$). Az ábrán látható kiugró érték a mérés és a mintavétel pontatlanságából adódhat. Elképzelhetetlennek tartjuk, hogy megfelelően homogenizált kezelések esetében ilyesfajta kiugrást tapasztaljunk. A növekvő kezelések növekvő szervesanyagot jelentenek a talajban. Az erjesztési maradék szervesanyag tartalma stabil, a komposztokéhoz hasonló. Az eljárás során az egyes frakciók mennyisége csökken és stabilizálódik, jó példa erre a szerves savak átalakulása, mely a szaghatásokért felelősek. (Schievano et al., 2008)

4.2.4. A talaj kationcsere kapacitásának változása

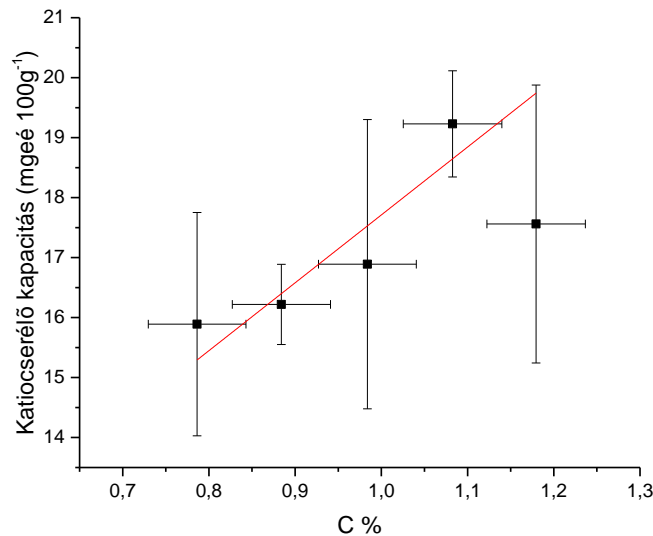


17. ábra Az erjesztési maradék hatása a talaj kationcserélő kapacitásának változására humuszos homok talajon, 2011

*Kezelések: 0- kontroll kezelés, 25- 25 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 50- 50 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 75- 75 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 100- 100 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

Az erjesztési maradék kihelyezése statisztikailag igazolhatóan növelte a talaj kationcserélő kapacitását ($r^2=0,97453$). Ugyanakkor a 17. ábrán jól látszik, hogy a méréseknek igen nagy volt a szórása. Esetünkben az erjesztési maradék szervesanyag tartalmával javítja a talaj kémiai és fizikai tulajdonságait.

4.2.5. A talaj szervesanyag tartalma és a kationcserélő kapacitása közötti összefüggés

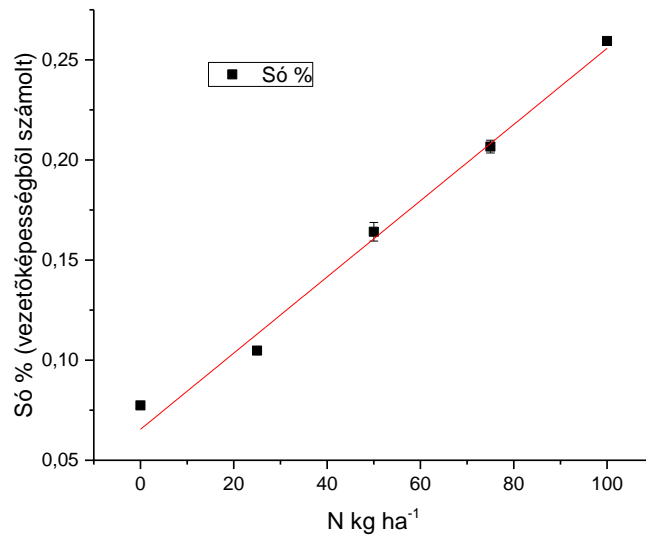


18. ábra A talaj széntartartalma és a kationcserélő kapacitása közötti összefüggés az erjesztési maradék adagok függvényében, 2011

*Kezelések: 0- kontroll kezelés, 25- 25 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 50- 50 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 75- 75 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 100- 100 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

Az összehasonlító 18. ábrán jól látszik, hogy a hozzáadott szerves anyag hatására nemcsak a talaj szervesanyag tartalma és azzal együtt annak széntartalma is, de a talaj kationcserélő kapacitása ($r^2=0,80282$) is jelentősen nő. Az agyagásvány összetétel mellett a szervesanyag tartalom és vele együtt a pH az, amely leginkább hatással van a talajok ezen tulajdonságára. Minél nagyobb egy talaj szervesanyag tartalma, annál nagyobb a kationcserélő kapacitása (Stefanovits et. al., 1999). Mivel jelentős mennyiségű oldott szerves anyag került a talajba, ez könnyen beépül a talaj kolloid rendszerébe. Az adagok növelésével lineárisan növelhető a kationcsere kapacitás. Az erjesztési maradék jelentős kation tartalma így nemcsak közvetlenül, de hosszabb távon is hozzáférhető a növények számára, a fel nem használt készletek pedig a talaj tápelemkészletét gazdagítják.

4.2.6. A talaj sótartalmának változása



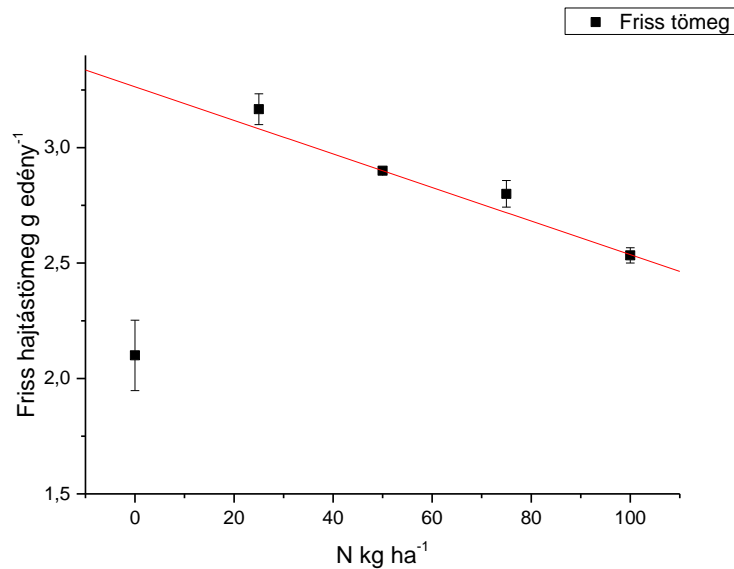
19. ábra Az erjesztési maradék hatása a talaj összes sótartalmára humuszos homok talajon, 2011

*Kezelések: 0- kontroll kezelés, 25- 25 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 50- 50 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 75- 75 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 100- 100 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

Az erjesztési maradék 0,07%-ról, 0,25%-ra növelte a talaj összes sótartalmát (19. ábra). A kezelésnek szignifikáns volt a hatása ($r^2 = 0,98712$). A vizsgált talaj sótartalma alapján a nem sós talajosztályba tartozik (Stefanivits et. al., 1999), az erjesztési maradék jelentős mennyiségű ásványi sót tartalmaz. Mivel folyadék fázisú, ezért az öntözéshez hasonlóan figyelemmel kell kísérenünk a bekövetkező változásokat. Az erjesztési maradék magas sótartalma elsősorban az alkalmazott alapanyagoktól függ. Szervestrágyát is felhasználó üzemek végtermékének sótartalma nagyobb lehet például az alkalmazott nyálósó miatt is. Bár a sótartalom növekedés nem utalt egyértelmű szikesedés jeleire, azonban a hosszútávú, rendszeres alkalmazás a sófelhalmozódásra, vagy szikesedésre hajlamos területeken folyamatos monitorozást, szükség szerinti beavatkozást igényel.

4.2.7. A tesztnövény friss és légszáraz hajtástömege

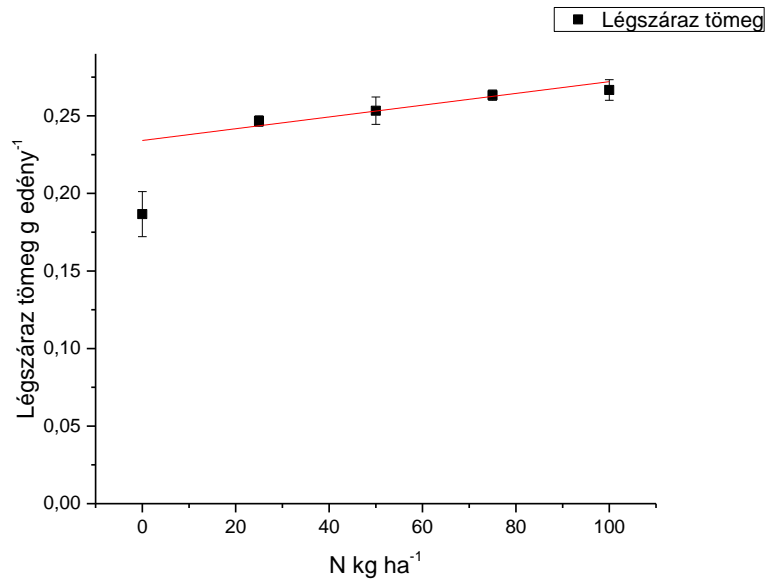
A vágást követően mértük az angolperje friss és légszáraz hajtástömeget. A statisztikai elemzés eredményeit a következő diagrammon mutatom be.



20. ábra Az erjesztési maradék hatása az angolperje friss hajtástömegére humuszos homok talajon, 2011

*Kezelések: 0- kontroll kezelés, 25- 25 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 50- 50 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 75- 75 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 100- 100 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

A 20. ábrán mutatom be az erjesztési maradék hatását az angolperje friss hajtástömegének változására. Az analízisből kiderül (20. ábra), hogy bár a kezelések szignifikánsan növelték a friss hajtástömeget a kontrollhoz képest, az erjesztési maradék dózisok igazolhatóan csökkentik az angolperje friss hajtástömeget. Ez a csökkenés magyarázható a csírázáskor fellépő depresszióval, amit az erjesztési maradék magas ammónium ion tartalma okoz.

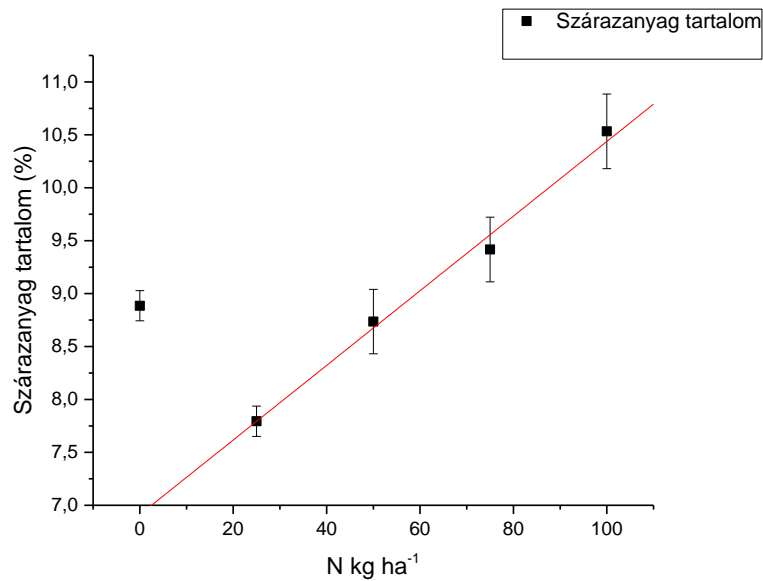


21. ábra Az erjesztési maradék hatása az angolperje légszáraz hajtástömegére humuszos homok talajon, 2011

*Kezelések: 0- kontroll kezelés, 25- 25 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 50- 50 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 75- 75 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 100- 100 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

A 21. ábrán mutatom be az erjesztési maradék hatását az angolperje (*Lolium Perenne*) légszáraz tömegének változására. Az ismétlések közötti szórások nem jelentősek, a növénykísérletekben általánosan tapasztalt hibahatáron belül maradtak. Az analízisből kiderül (21. ábra), hogy a kezelések szignifikánsan növelték a légszáraz tömeget ($r^2=0,97612$) a kontrollhoz képest. A erjesztési maradék dózisok növelik az angolperje légszáraz tömegét, azonban a növénykísérletekre jellemző szórás miatt statisztikailag ez nem igazolható.

4.2.8. A tesztnövény szárazanyag tartalma

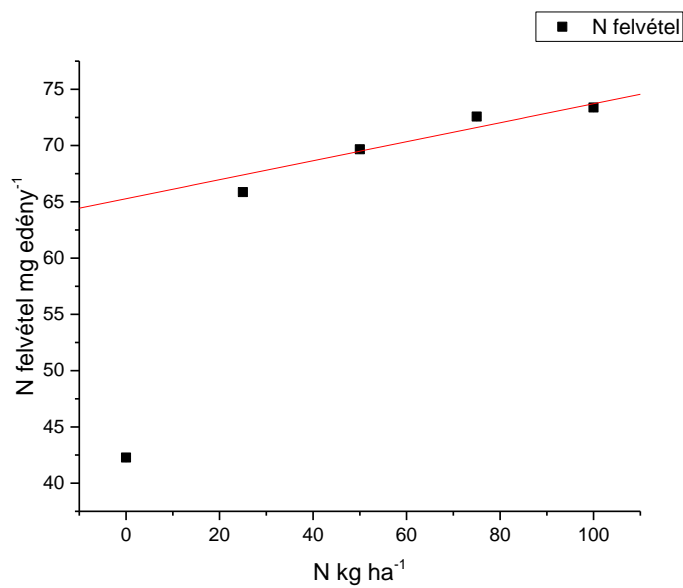


22. ábra Az erjesztési maradék hatása az angolperje szárazanyag tartalmára humuszos homok talajon, 2011

*Kezelések: 0- kontroll kezelés, 25- 25 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 50- 50 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 75- 75 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 100- 100 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

Az erjesztési maradéknak az angolperje szárazanyag tartalmának változására gyakorolt hatása a 22. ábrán tanulmányozható. A szórása nem jelentős. Az irodalomból is ismert módon az abszolút kontroll kezelésben nőtt növények szárazanyag tartalma nagyobb volt, mint az első két N kezelésben nőtt angolperjéé. Ennek magyarázata a jól ismert hígulási effektus. A Mischerlich- törvénynek megfelelően a minimumban lévő tápanyag, - jelen esetben a nitrogén - kisebb adagjainak a legnagyobb a fajlagos termésmenvelő hatása. A friss tömeg erősebben növekszik, mint a légszáraz tömeg. Ezért alakul ki a kontrollhoz hasonlított szárazanyag tartalom csökkenés. A nagyobb N adagok már kisebb fajlagos termésmenvelő hatást mutatnak, növelik viszont az angolperje N tartalmát, és így szárazanyag tartalmát is.

4.2.9. A tesztnövények által a talajból kivont nitrogén mennyisége



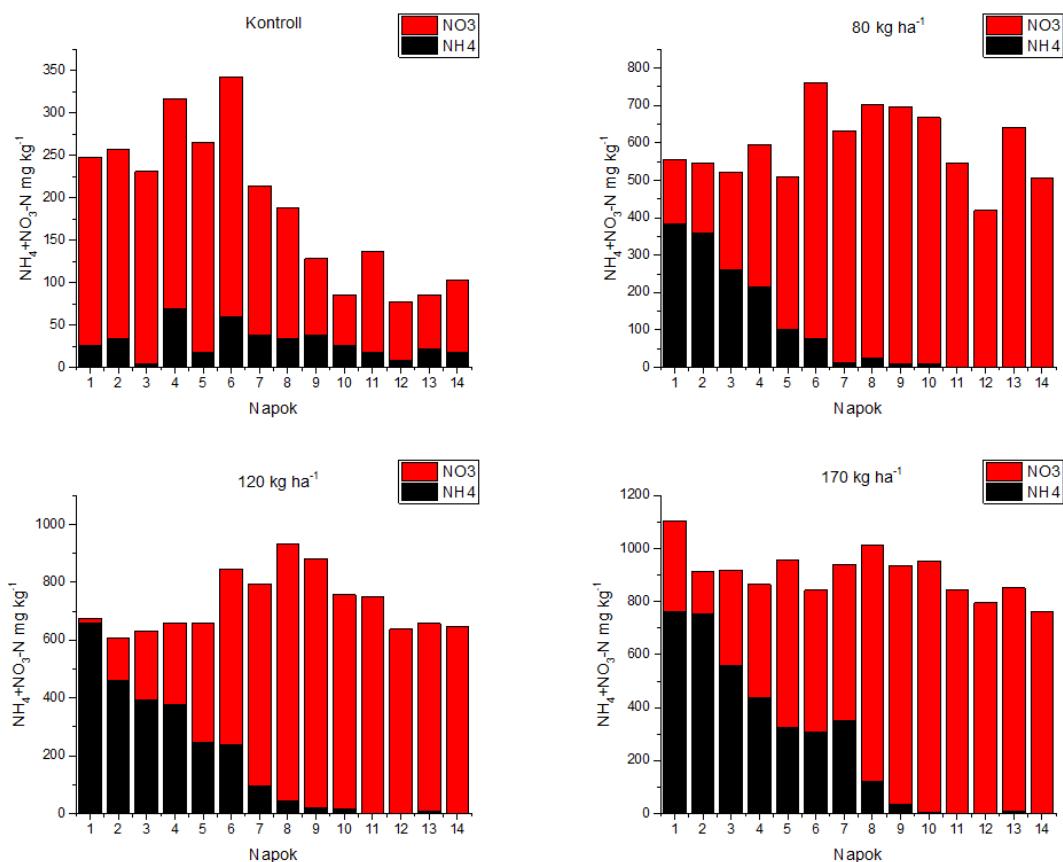
23. ábra Angolperje által talajból kivont nitrogén mennyisége, 2011

*Kezelések: 0- kontroll kezelés, 25- 25 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 50- 50 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 75- 75 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 100- 100 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

A statisztika alapján elmondhatjuk, hogy a kezeléseknek volt hatása. A tesztnövények által a talajból kivont nitrogén mennyisége a kezelésekkel nőtt (23. ábra). Azonban egyértelműen látszik, hogy a növényi felvétel az adagok növelésével nem szignifikánsan nő, tipikus Mitscherlich görbével írható le a folyamat.

4.3. Az ammónium csírázásátlásának vizsgálata, 2012-ben végzett kísérletek

4.3.1. A talaj ásványi nitrogénformáinak változásai



24. ábra Az erjesztési maradék, és a bekeverés óta eltelt idő hatása az NH₄-N és NO₃-N tartalom változására, 2012

* 0- kontroll kezelés, 80- 80 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 120- 120 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 170- 170 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

A csernozjom talajon beállított tenyészedény kísérletben az ammónium-ion a kontrollon elhanyagolható koncentrációjú, és az idővel nem is mutat jelentős változást. Az erjesztési maradékkal kezelt minták azonban a bekeverés utáni első napokban zuhanásszerű csökkenést mutatnak. A 80 kg-os kezelés a 7.-8. napra, a 120kg-os kezelés a 9. napra, a 170kg-os kezelésű pedig a 10. napra érte el a kontroll kezelésben mérhető alacsony szintet (24. ábra).

A kontroll kezelés nitrát koncentrációja erősen eltérő tendenciát mutatott a többi kezeléshez képest. Amíg a kontrollnál nitrátion-tartalom a 7. napig stagnál, majd innen fokozatosan csökken, addig a többi kezelésnél először egy nagymértékű növekedést láthatunk a 8-10. napig, majd innen kezd el fokozatos csökkenést

mutatni. Ez utóbbi tendencia, mind a kontroll, mind az erjesztési maradékot tartalmazó kezelésekben, az angolperje növekvő nitrogén felvételével állhat összefüggésben.

Összegezve a két vizsgált nitrogénforma változásait, azt mondhatjuk, hogy az erjesztési maradékkal kezelt mintáknál a várakozásoknak megfelelően magas ammónium-ion tartalmat mértünk. Ennek kisebb része a felszabaduló ammónia gáz formájában távozatott a levegőbe, és kötődhetett meg a talajkolloidok felületén, nagyobb részét pedig a nitrifikáló baktériumok nitráttá alakíthatták. Ez a folyamat a 6-7. napon fejeződik be, innen már csak a nitrát-ion koncentrációja mérhető. A 11. naptól megfigyelhető nitrát-ion fogyás pedig a kikelt növények növekvő N felvételének tulajdonítható.

A továbbiakban egyenként vizsgálom meg, hogy az erjesztési maradék és a bekeverés óta eltelt idő függvényében milyen változások történtek az ammónium- és nitrát-ion koncentrációját, illetve egymáshoz viszonyított arányát illetően (24. ábra).

A kontroll kezelés ammónium-ion tartalma stagnál ($r^2=0,00339$), a változások a műszer pontatlanságának, illetve az egyéb mérési hibáknak tudhatóak be (pl. hogy nem ugyanabból az edényből vettük mindig a mintát, így a váltásoknál mutatkozhat eltérő eredmény). Az egyedüli közös a kontroll kezelés és az erjesztési maradékot kapott kezelések tendenciájában, hogy a nitrát tartalom itt is elkezd csökkenni ($r^2=0,7249$), de itt már a 6. napon elindul ez a folyamat.

A 80 kg ha⁻¹-os kezelés esetén már megfigyelhető az ammónium-ionok nitrát-ionná való átalakulása ($r^2=0,96371$). Ez a folyamat a 2. napon kezdődik és az ammónium-ion elfogytaig, a 6. napig tart. A növények a 10. naptól kezdve kezdik felvenni a nitrát-N-t ($r^2=0,70488$).

A 120 kg ha⁻¹-os kezelésnél a nitrifikáció már az 1. napon elkezdődik, és 8. napig tart ($r^2=0,97045$). A nitrát mennyiség nem mutat stagnáló tendenciát, a 8. napi maximumot követően el is kezdik felvenni a növények ($r^2=0,83641$).

A 170 kg ha⁻¹-os kezelés esetében a nitrifikáció szintén az első naptól elindul, itt a 9. napra fogy el az ammónium-ion ($r^2=0,9562$). A nitrát-ion mennyisége egy napig stagnál, majd elkezdődik a fogyás ($r^2=-0,36675$).

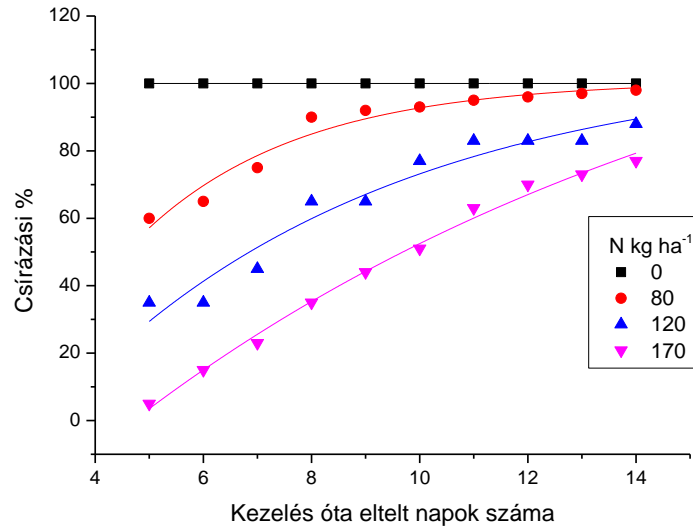
Az ammónium-ion mennyiségének csökkenése és a nitrát-ion növekedése egy egyensúlyi pontot ad meg. Jól megfigyelhető, hogy ez a pont egyre tolódik el, ahogy a kezeléseknél egyre több erjesztési maradék került a rendszerbe. A 80 kg ha⁻¹-os kezelés esetén a 2. és a 3. nap között, a 120 kg ha⁻¹-osnál a 3. és a 4. nap között, a 170 kg ha⁻¹-os kezelésnél pedig pont a 4. napnál metszi egymást a két függvény. A jelenség oka abban kereshető, hogy azokban a kezelésekből, amelyekbe több biogáz erjesztési maradékot kevertünk be, magas ammónium-ion tartalma miatt több idő kell az átalakuláshoz.

4.3.2. Csírázásgátlás vizsgálat angolperje teszt növényen

A biotesztek elvégzése során az erjesztési maradék angolperje teszt növényekre gyakorolt hatását vizsgáltam józsefmajori csernozjomon. Megfigyeltem a csírázás kezdetét, növények kelését, növények magasságát, növények gyökérzetét. A tapasztalat az volt, hogy az erjesztési maradékkal kezelt talajokon több mag indult csírázásnak, mint a kontrollon, ugyanakkor ezeknek a gyökere nem fejlődött ki olyan mértékben, lassabb kelést és elhúzódó növekedést eredményezett, mint a kontrollé, ennek ellenére a kezelésnek pozitív hatásai voltak a növényre (25. ábra).

A 14 nap alatt minden nap megbecsültük, hogy milyen arányban csíráztak a növények. A becslés során a kontroll mintát vettük 100%-nak, és a többit ehhez viszonyítottuk. A táblázatban jól látszódik, hogy az erjesztési maradékkal kezelt minták növekedésében egy ugrás figyelhető meg a 8. nap környékén. A 80 és 120 kg-os kezeléseket a hetedik naptól a nyolcadikra mintegy 20%-kal közelednek a kontroll minta csírázási arányához, a korábbi 5-10%-os napi emelkedéshez képest. A 170kg-os kezelés esetében azt látjuk, hogy igen lassan kezd csírázni, és a kontrollhoz képest igen csekély arányban, de a 8. naptól minden nap mintegy 15%-al jobb eredményt mutatott.

A grafikon az 5. naptól mutatja be a csírázási adatokat, amikor már mind a 4 kezelésben megjelentek a növények csírái.



25. ábra A kezelések csírázási aránya a napok függvényében, 2012

* 0- kontroll kezelés, 80- 80 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 120- 120 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék, 170- 170 kg ha⁻¹ N megfelelő erjesztési maradék

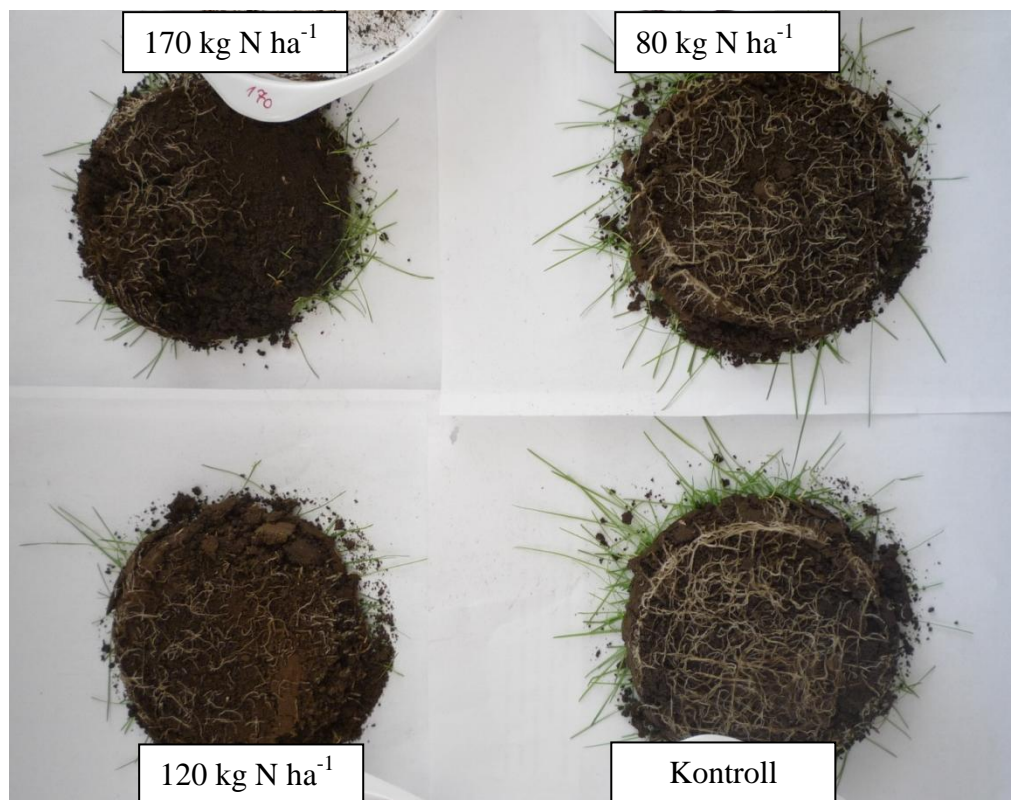
A 25. ábrán szemléletesen látszódik, hogy a kontroll kezelés, amely desztillált vízzel volt kezelve, végig a legnagyobb arányú csírázást mutatta. Ezt a 80 kg-os kezelés követi ($r^2=0,96102$), amiben már volt ugyan erjesztési maradék, de a legkisebb mennyiségben. Ez a kezelés a 8. naptól igen szorosan megközelítette a kontrollt. A 120 kg ha⁻¹ nitrogénnek megfelelő kezelés ennél lassabb csírázást produkált ($r^2=0,95694$). Itt már azt látjuk, hogy csak a második hét legvégén közelíti meg a kontrollminta csírázási százalékát. A legkevésbé, és leglassabban kicsírázó minta a 170 kg-os kezelés növényei volt. Jól látszódik, hogy ez a grafikon a legmeredekebb ($r^2=0,99502$). Ez azt jelenti, hogy bár a mérés kezdetén nehezen csíráztak ki a növények, néhány nap után igen gyors ütemben kezdtek felzárkózni. Az illesztett egyenesek mindhárom kezelés esetében szoros kapcsolatra utalnak, amelyet r^2 értékei is alátámasztanak. Továbbá megfigyelhető, hogy habár a 170 kg-os kezelés esetében volt a legkisebb a kezdeti csírázási arány, a felzárkózás üteme ezen kezelés esetében bizonyult a legerősebbnek. Az ammónium mikrobiológiai átalakulásával a csírázásgátlás folyamatosan csökkent.

4.3.3. Gyökérszerkezet összehasonlítása

A időbeli változást ugyan nem tudtuk nyomon követni a gyökérnél, azonban mérések végén készült fényképen jól látszódik, hogy amíg a levelek között a második hét végére a különbség csaknem eltűnt, addig a gyökerek között szemmel látható különbségek maradtak. A gyökér annál szövevényesebb, minél kevesebb erjesztési maradékkal volt kezelve (26. ábra).

A csökkent gyökérfejlődés, borítás több okra vezethető vissza. Az erjesztési maradékban található anyagok (pl: ammónium, magas sókoncentráció) okozhatnak ilyen tüneteket, illetve a növényeknek a tápanyagokhoz való hozzájutása könnyebb.

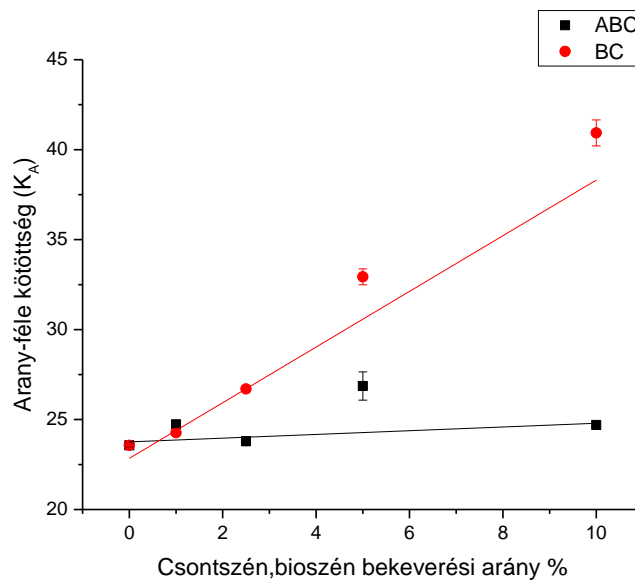
Az oldott formában jelenlévő, és könnyen hozzáférhető tápanyagok hatására, a növényeknek nem szükséges a gyökérfelületet növelni, hiszen egységnyi felületen több tápanyaghoz juthatnak.



26. ábra Az erjesztési maradékkal kijuttatott ammónium-ion hatása az angolperje teszt növény gyökereire csernozjom talajon, 2012

4.4. Csontszénnel, bioszénnel és erjesztési maradékkal végzett kísérletek, 2013

4.4.1. A csontszén és a bioszén hatása az Arany-féle kötöttség (K_A) változására



27. ábra A csontszén és a bioszén kezelések hatása a talaj Arany-féle kötöttség (K_A) értékére, 2013

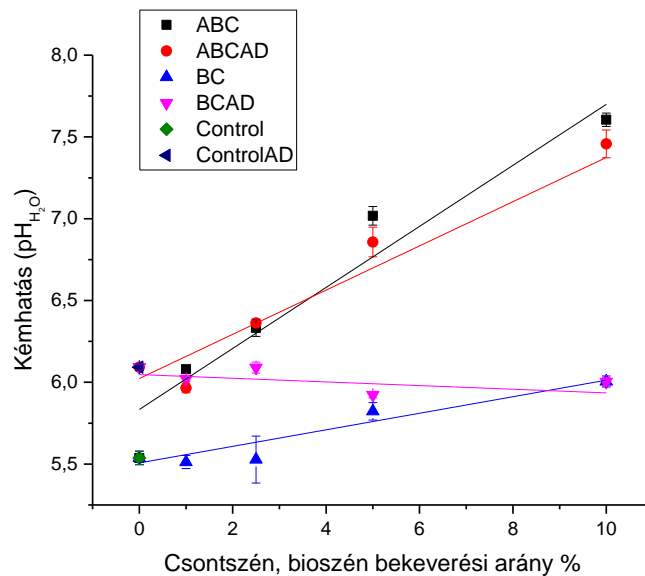
* ABC- csontszenes kezelés, BC- bioszenes kezelés

Az Arany-féle kötöttség a hozzáadott növényi eredetű bioszén (BC) mennyiségével fokozatosan nőtt ($r^2=0,90009$), és a 10%-os kezelés esetében volt a legnagyobb, köszönhetően a bioszén kisebb szemcseméretnek és a nagyobb térfogattömegének, valamint a szervesanyag tartalomra gyakorolt növelő hatásának. A csontszén (ABC) hozzáadása viszont nem befolyásolta a kötöttség értékét ($r^2=0,46152$) (27. ábra).

Az irodalmi adatok alapján a bioszén kapott talajok vízvisszatartó képessége általában nő a kontroll kezelésekhez képest, de a kapott eredmények jelentős mértékben függenek az alkalmazott bioszén tulajdonságaitól. A pirolízis eljárás során olyan fizikai és kémiai változások következnek be az alapanyagban, melynek során többek között a fajlagos felülete többszörösére növekszik, aromás, poliaromás szerkezet alakulhat ki. A szerkezeti változásoknak köszönhetően képes növelni a talajok kationcsere kapacitását (CEC), a víztartó képességét és elősegíti a mikrobiológiai aktivitást a talajokban (Lehmann et al., 2006; 2007).

A kísérletben felhasznált csontszénnek az Arany-féle kötöttségre gyakorolt pozitív hatásának elmaradását feltételezhetően a nagyobb szemcseméret mellett a vizsgálat rövid időtartama nem tette lehetővé.

4.4.2. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék kémhatásra gyakorolt hatása



28. ábra A csontszén, bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj vizes pH mérés értékére, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszén kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszén kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

Csupán az 5, illetve a 10%-os növényi eredetű bioszén (BC) növelte jelentősen a pH-t. Az adagok és a kémhatás növekedése között igen szoros kapcsolat mutatható ki ($r^2=0,96898$). Az erjesztési maradékkal kiegészített bioszén kezelés magasabb kezdeti pH-t eredményezett, azonban a kezeléseknél nem volt kimutatható a hatása ($r^2=0,3249$). Korábbi kísérleteimből is látható, hogy az erjesztési maradék önmagában is hozzájárul a kémhatás növeléséhez, azonban a megnövelt adagok az átalakulási folyamatoknak és az alapvető kémiai tulajdonságoknak köszönhetően lassú csökkenést eredményeznek (28. ábra).

A csontszén (ABC) esetében azonban minden esetben jelentős eltérés volt tapasztalható ($r^2=0,94741$), ami 0,5-2 pH egység növekedést is jelentett - a

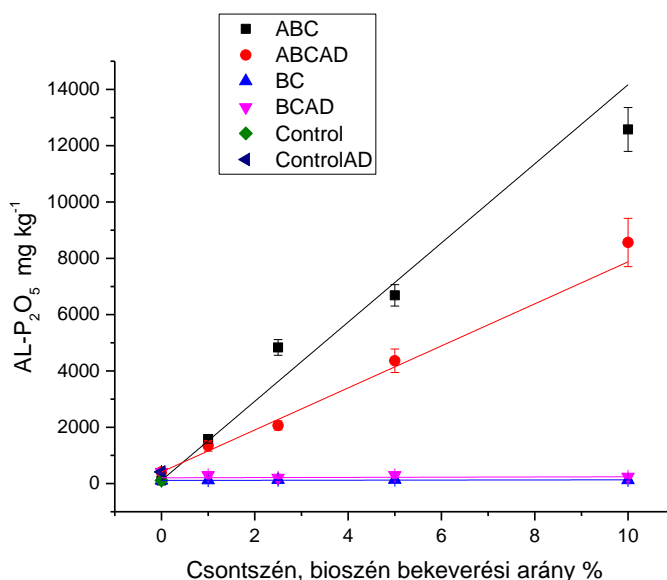
legnagyobb pH növekedést a legnagyobb arányú bekeverésnél tapasztaltuk. Ez a növekedés szintén a csontszénre jellemző nagy kalcium-ion koncentrációból következik, és jó összhangban van az irodalmi adatokkal.

Eredményeink alapján az erjesztési maradékkal kiegészített kezelés a csontszén alkalmazása során nem eredményezett statisztikai különbséget, de a dózisok emelkedésével arányosan a kémhatás is nőtt ($r^2=0,85688$). A csontszén esetében is jól megfigyelhető az erjesztési maradékra jellemző savanyító hatás, melyet a csontszén pufferol.

A bioszén, de főleg a csontszén sok kalciumot és magnéziumot tartalmazhat, vagyis jelentős szerepük lehet a savanyú talajok kémhatásának mérséklésében.

Az ábrán az is látható, hogy a bioszén jobban tudta kompenzálni az erjesztési maradék kezdeti savanyító hatását, mint a csontszén (28. ábra).

4.4.3. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj AL-oldható foszfor tartalmának változására



29. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj AL-P₂O₅ - tartalmának változására, 2013

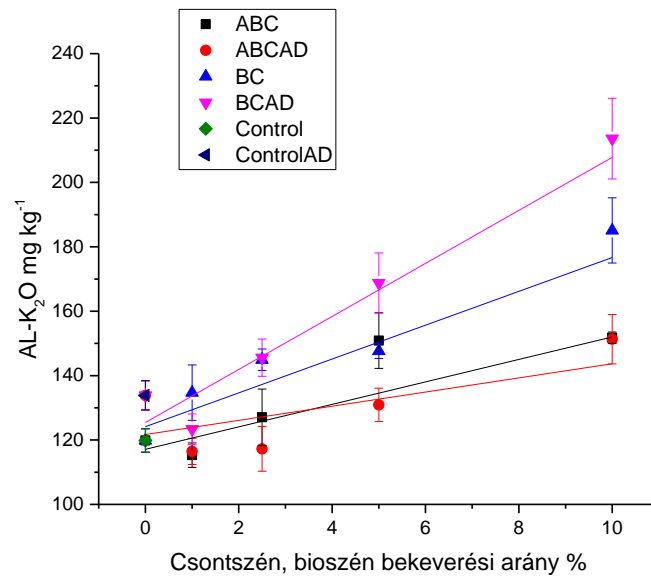
* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszénes kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszénes kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

A növényi eredetű bioszén (BC) kezelések nem befolyásolták az általunk alkalmazott talaj AL oldható P_2O_5 tartalmát ($r^2=0,51294$), emellett az erjesztési maradék hozzáadásával sem változott a helyzet ($r^2=0,1891$) (29. ábra).

A csontszén (ABC) adagok arányában szignifikánsan nőtt a talaj könnyen oldató foszfor tartalma ($r^2=0,97393$). A mért eredmények jól mutatják az emelkedő csontszén bekeverés arányát. A legnagyobb 10%-os adag hatására mintegy meg százszorozódott az AL- P_2O_5 tartalom. Az erjesztési maradékkal kiegészített csontszén kezelés eredményeképpen, mintegy 1/3-ával csökkent az AL-oldható foszfor mennyisége, azonban a csontszén kezelések hatása itt is megkérdőjelezhetetlen ($r^2=0,98694$). Az AL-oldható foszfor mennyiségének csökkenésével a növények is kevesebb P-t vettek fel. A csontszén és az erjesztési maradék jelentős kalcium forrás egyben. Feltételezhetően a közös alkalmazás során nehezen oldódó szervetlen (kalcium-foszfát) és szerves (fitátok) formák alakulnak ki, melyeknek különösen kedvez a lúgos környezet.

A talajok foszfor utánpótlása a világ számos helyén növekvő problémát jelent. Mérési eredményeimből illetve irodalmi forrásokból is tudjuk, hogy a csontszének jelentős mennyiségű foszfort tartalmaznak. A pirolízis eljárás során kalcium-foszfát kristályok alakulnak ki az anyagban, mely kifejezetten alkalmas lehet a savanyú területek foszfor ellátottságának javítására. Esetünkben is jól látható a csontszén AL-oldható foszfortartalomra gyakorolt hatása. További vizsgálatok szükségesek ahhoz, hogy az oldhatósági viszonyokat és növényi felvehetőség közötti összefüggéseket tisztázhassuk.

4.4.4. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj AL-oldható kálium tartalmának változására



30. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj AL-K₂O - tartalmának változására, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszentes kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszentes kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

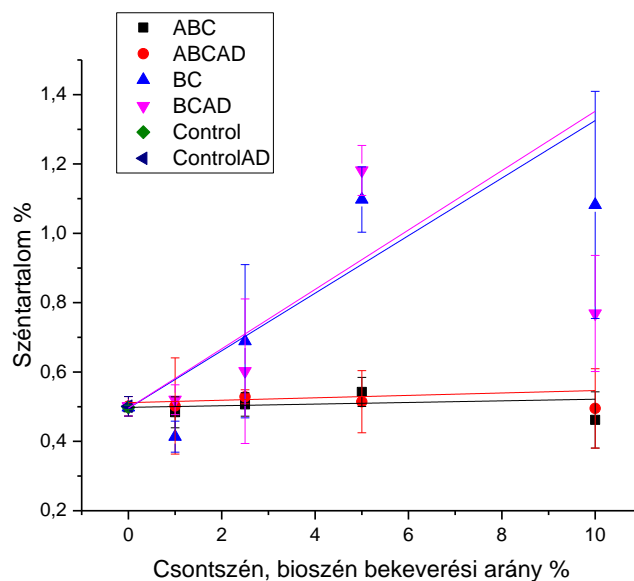
A csontszén (ABC) csak mérsékelten növelte az AL-oldható K₂O tartalmakat ($r^2=0,9487$), míg a növényi eredetű bioszén (BC) eredendően nagyobb K-tartalma miatt már 1%-os bekeverés esetén is szignifikánsan növelte a talaj AL-oldható kálium tartalmát ($r^2=0,8528$), a 10%-os bekeverés hatására pedig közel másfélszeresére nőtt a talaj K₂O tartalma (30. ábra).

Az erjesztési maradékos kiegészítő kezelés a csontszén esetében csökkentette a talaj AL-oldható kálium frakcióját a kontroll kezeléshez viszonyítva, azonban a növekvő csontszén adagok hatására az AL-oldható mennyiség elérte a kontroll mennyiségét ($r^2=0,36511$). A csökkenésre magyarázat lehet, hogy a csontszén fixálhatta a káliumot. Azonban a növényi kálium felvétel ábrát megvizsgálva láthatjuk, hogy a csontszén – erjesztési maradék kombináció jelentősen megnövelte a kálium felvételt.

A bioszén – erjesztési maradék variáns jelentősen hozzájárult az AL-oldható kálium frakció növeléséhez a kezelésekkel ($r^2=0,8568$).

Eredményeink alapján a növényi eredetű bioszén alkalmazása ígéretes lehet a kálium-utánpótlás tekintetében, azonban továbbra is kevés információval rendelkezünk ezen anyagok kálium szolgáltató képességével, ill. a talajban történő viselkedésével (kálium fixációval, kimosódással) kapcsolatban, így további vizsgálatok elvégzése javasolt.

4.4.5. A szervesanyag-tartalom meghatározás eredménye



31. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a szerves széntartalom változására, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszentes kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszentes kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

Az eredmények értékelésénél figyelembe kell venni, hogy tapasztalatok alapján az 1 hónapos inkubáció, és az azt követő 1 hónapos tenyészidő alatt a szénformák még nem, vagy igen kevéssé épültek be a talajba. A tényleges beépülés csak a katabolitikus folyamatok elindulása után várható, mely akár több évtizedig is eltarthat, a pirolízis folyamat során keletkező aromás és poliaromás vegyületek miatt. A széntartalom vizsgálat során nem, vagy csak nehezen lehetett egyértelműen

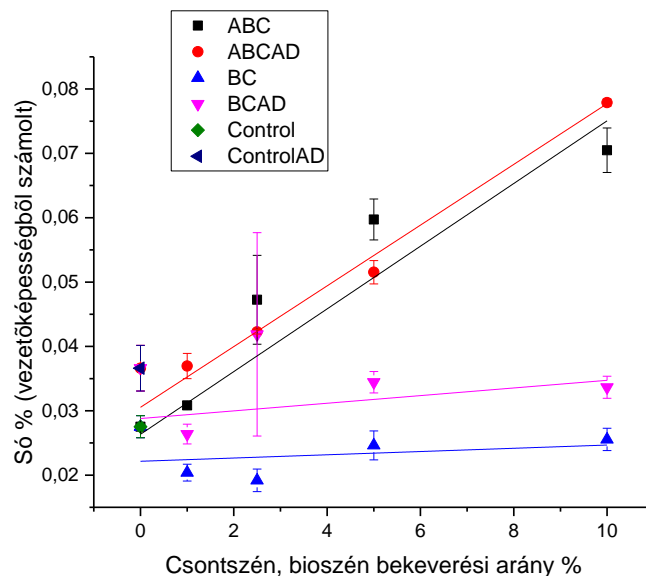
elválasztani a szemcséket- ez különösen a bioszénél volt jelentős. Ez okozhatja a jelentős szórást a mérésekben.

A bioszén felhasználás egyik célja az ún. „szénbefogás”, azaz a légkörben jelenlévő szénnek a talajokba történő visszaforgatása.

A vizsgálataink során csak a növényi eredetű bioszén (BC) kezelések esetében tapasztaltunk szignifikánsan nagyobb szerves C tartalmat ($r^2=0,62027$), mely az erjesztési maradékkal kiegészített kezelésektől nem tért el ($r^2=0,66225$).

A csontszén (ABC) esetében szerves széntartalom növekedés nem volt tapasztalható ($r^2=0,12436$), a kiegészítő kezelés sem eredményezett szignifikánsan nagyobb szerves C tartalmat ($r^2=0,20941$) (31. ábra).

4.4.6. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj összes sótartalmának változására



32. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az összes sótartalom változására, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszén kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszén kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

A kísérlet során a növényi eredetű bioszén (BC) kezelések statisztikailag nem voltak hatással a talajok összes sótartalmára ($r^2=0,07831$), azonban némi csökkenés megfigyelhető a kezelések hatására. Az erjesztési maradékkal kiegészített bioszén kezeléseknek sem volt szignifikáns hatása ($r^2=0,33167$), azonban a sótartalom a kiadott erjesztési maradékkal nőtt. Az erjesztési maradék önmagában is hozzájárul a sótartalom növekedéséhez, mint azt korábban már bemutattam, azonban nem jelentős mértékben (32. ábra).

A csontszén (ABC) esetében viszont a bekeverési arányokkal együtt fokozatosan emelkedett a sótartalom ($r^2=0,9428$), elsősorban a csontszén eredendően nagyobb ásványianyag tartalmának köszönhetően. A sótartalom 0,07% körül alakult a legnagyobb (10%-os) csontszén kezelés esetében. A kiegészítő erjesztési maradék kezelés tovább növelte a vízoldható sótartalmat ($r^2=0,99801$), azonban az extrém növekedés egyértelműen a csontszén kijuttatás eredménye.

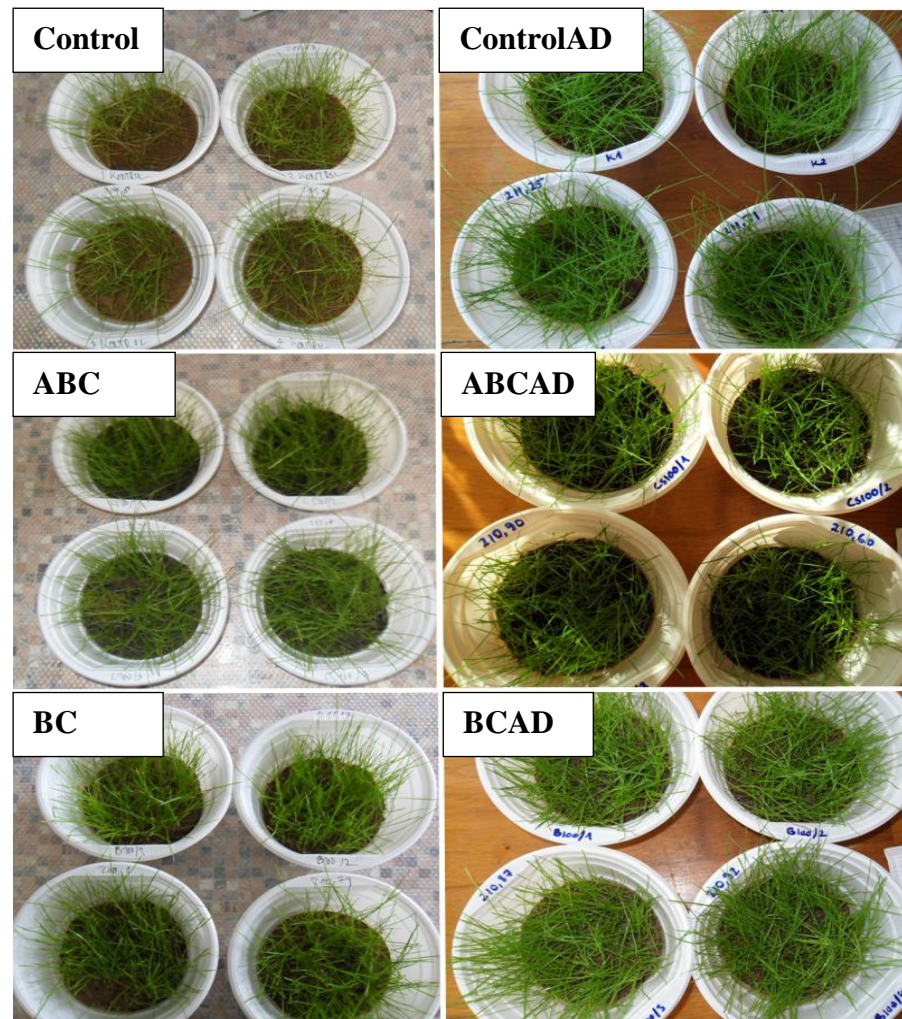
Ez a jelentős sótartalom növekedés felhívja a figyelmet a hosszú távú vizsgálatok szükségességére, hiszen rendszeres felhasználás esetében káros mértékű sófelhalmozódás, másodlagos szikesedés alakulhat ki a talajokban, és növényi toxicitást okozhat. Irodalmi források szerint az 5%-os bekeverési aránynál nagyobb adagok már indukálhatnak ilyen felhalmozódást (Revell, 2011).

4.4.7. A bioteszt eredménye

A biotesztet angolperje (*Lolium perenne*) tesztnövényen végeztem; a tenyészedény kísérletet vetést követően 1 hónap elteltével vágtam le, majd felmértem a gyökérzet állapotát, fejlettségi szintjét.

A kísérlet azt mutatta, hogy a kezelések nem eredményeztek jelentős hatásokat a növényben. A pirolízis melléktermékekkel kezelt növények között nem tapasztaltam pozitív eltérést, sőt a minták többsége rosszabbul teljesített, mint a kontroll (33. ábra).

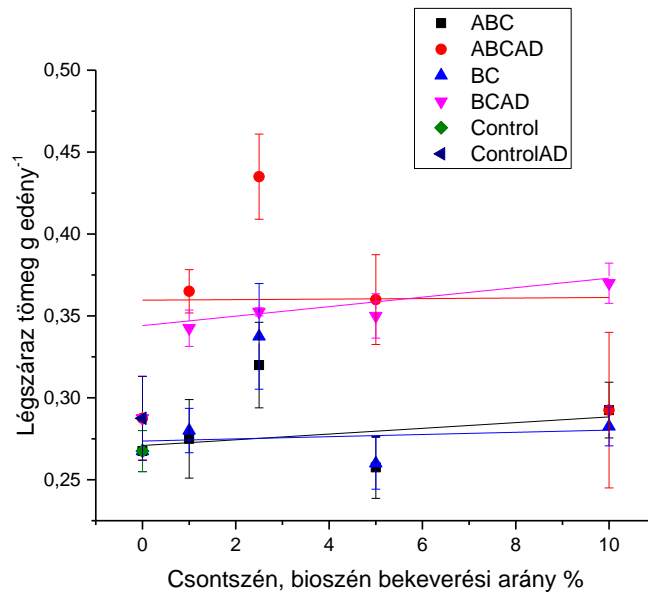
Ez különösen igaz az erjesztési maradékkal kiegészített mintákra, ahol bár nagyobb zöldtömeget sikerült elérni, azonban olyan folyamatok indultak el, melyek összességében nem a várt hatást eredményezték. Ezen hatások részletes kifejtésére a következő oldalakon kerül sor.



33. ábra Az erjesztési maradék, a csontszén, és a bioszén hatása az angolperje fejlettségére az aratás napján, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszén kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszén kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

4.4.8. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje légszáraz hajtástömegének változására



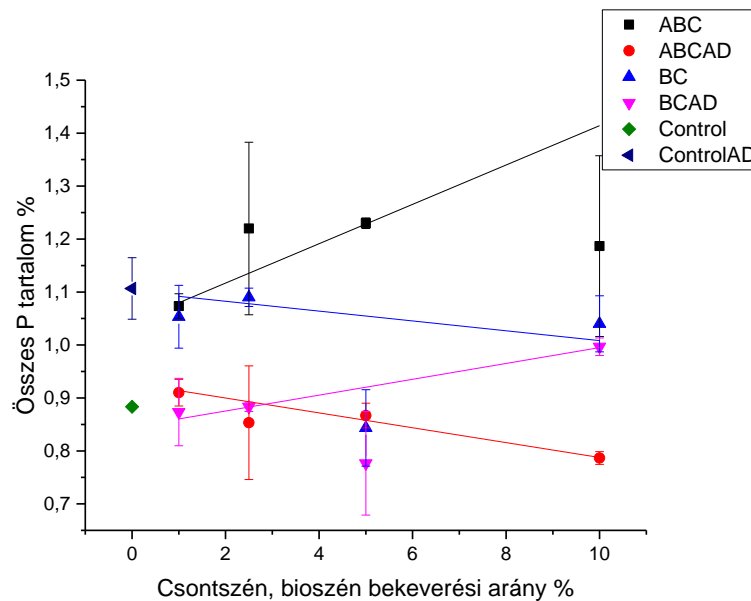
34. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje légszáraz hajtástömegének változására, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszentes kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszentes kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

A 34.ábráról leolvasható, hogy a kiegészítő erjesztési maradék kezelés hatására nőtt a tesztnövények száraz tömege. Ehhez feltehetően az erjesztési maradék magas, könnyen hozzáférhető tápanyagtartalma is hozzájárul (34. ábra).

Azonban sem a bioszén, sem a csontszén adagok nem befolyásolták az angolperje hozamát a tesztidőszak alatt (ABC - $r^2=0,14274$, ABCAD - $r^2=7,49E-05$, BC - $r^2=0,03367$, BCAD - $r^2=0,38397$).

4.4.9. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje foszfor tartalmára



35. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje foszfor tartalmára, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszén kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszén kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

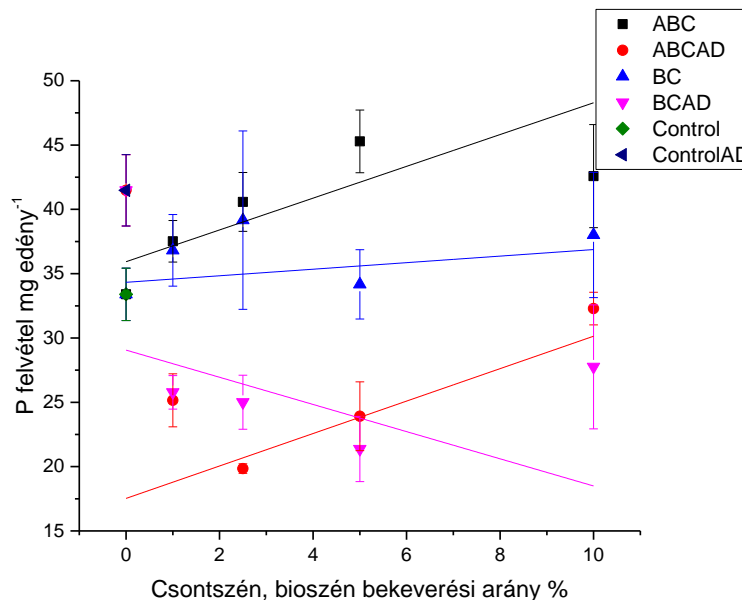
A csontszén rendkívül magas foszfortartalmával hozzájárult ahhoz, hogy a talajoldatból a növények több foszfort hasznosíthassanak és beépíthessenek szöveikbe ($r^2=0,94366$). Azonban az erjesztési maradékkal kiegészítve jelentősen lecsökkent a növények foszfor tartalma ($r^2=0,98734$), a kontroll kezelésben mérhető értékeket mértem.

Bár a bioszén kezelések növelték az angolperje foszfor tartalmát, azonban az adagok nem befolyásolták a növényi foszfor tartalmat ($r^2=0,15001$), ahogy a talaj felvehető foszfortartalmát sem befolyásolták. A kiegészítő erjesztési maradékos kezelés hatására növekvő foszfor tartalmat tapasztaltam melyet a bioszén adagok is befolyásoltak ($r^2=0,94206$). Ez a foszfor tartalom azonban, továbbra is az erjesztési maradékos kontroll alatt maradt (35. ábra).

A csontszén adagok jelentősen befolyásolták az angolperje foszfor tartalmát, míg a bioszén csak kis mértékben, ugyanakkor a dózisoknak nem volt hatása. Az erjesztési maradék adagolással a növények foszfor tartalma minden esetben csökkent. A lúgos közeg, a magas kalcium tartalom és antagonisták hatás együttesen okozhatja a jelenséget.

Irodalmi adatok alapján az angolperje idősödésével annak foszfor tartalma csökken, a fejlettség fokával 0,2-0,4% között változik a foszfor tartalom. Az ez alatti és fölötti értékek már termés kiesést okozhatnak (Reuter és Robinson, 1997).

4.4.10. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a növényi foszfor felvételre



36. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje foszfor felvételére, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszénes kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszénes kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

A nitrogén után a foszfor a második legfontosabb növényi tápelem, mely meghatározza a termést. Különösen fontos ismerni a különböző talajadalelékekben

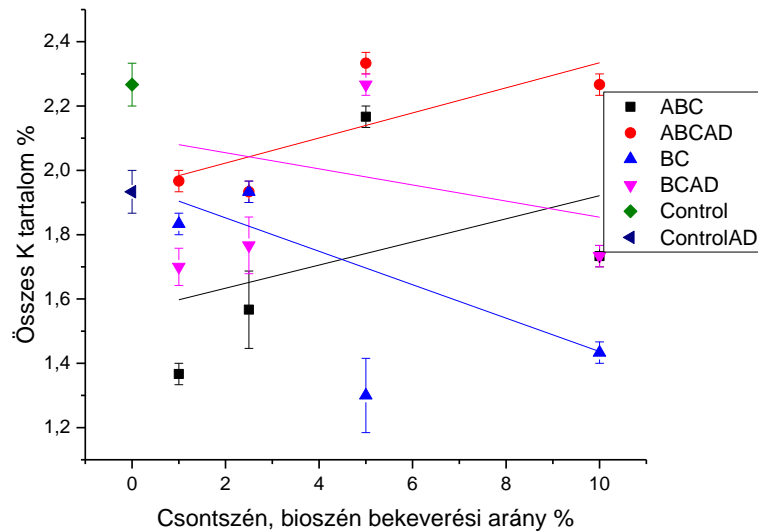
található foszfor felvetetőségét, hiszen a tápanyagutánpótlás tervezésénél ezt figyelembe kell veyük.

A csontszén rendkívül magas foszfortartalmával hozzájárult ahhoz, hogy a növények több foszfort hasznosítsanak ($r^2=0,64367$). Azonban az erjesztési maradékkal kiegészítve jelentősen lecsökkent a növények foszforfelvétele ($r^2=0,37691$). A kontrollhoz képest minden kezelés esetében kevesebbet vett fel az angolperje tesztnövény. A csontszén adagok növelésével a felvétel javult, de jelentősen alul maradt a várakozásoknak (36. ábra).

A talaj AL-oldható foszfor tartalmának vizsgálata adhat némi magyarázatot. Az erjesztési maradék kijuttatása nemhogy növelte volna a felvehető készleteket a talajban, hanem ellenkezőleg, csökkent a növények számára hozzáférhető forrás. A csontszén és az erjesztési maradék jelentős kalcium forrás is egyben. Feltételezhetően a közös alkalmazás során nehezen oldódó szerves (kalcium-foszfát) és szerves (fitátok) formák alakulnak ki, melyeknek különösen kedvez a lúgos környezet. Látható tehát, hogy nem elegendő az adalékanyag magas foszfor tartalma annak felvehetőségét, reakcióképességét, átalakulásait is ismernünk kell a helyes alkalmazáshoz.

A bioszén kezelések nem befolyásolták a növényi foszforfelvételt ($r^2=0,17255$), ahogy a talaj felvehető foszfortartalmát sem befolyásolták. Azonban a kiegészítő erjesztési maradékos kezelés hatására csökkenő foszfor felvételt tapasztaltunk melyet a bioszén adagok sem befolyásoltak ($r^2=0,17496$). A csökkent felvételt okozhatja szintén megkötődés vagy átalakulás oldhatatlan formába, esetleges ionantagonizmus. A kémhatás csökkenése az oldhatatlan vas-, és alumínium foszfátok megnövekedett jelenlétére utal (36. ábra).

4.4.11. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje kálium tartalmára



37. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje kálium tartalmára, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszentes kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszentes kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

Bár a bioszén jelentős kálium forrás, mellyel a talaj AL-oldható frakcióját gazdagította, a növények erre másképp reagáltak. A kontroll kezeléshez képest minden kezelésnél szignifikánsan csökkent a növények kálium tartalma.

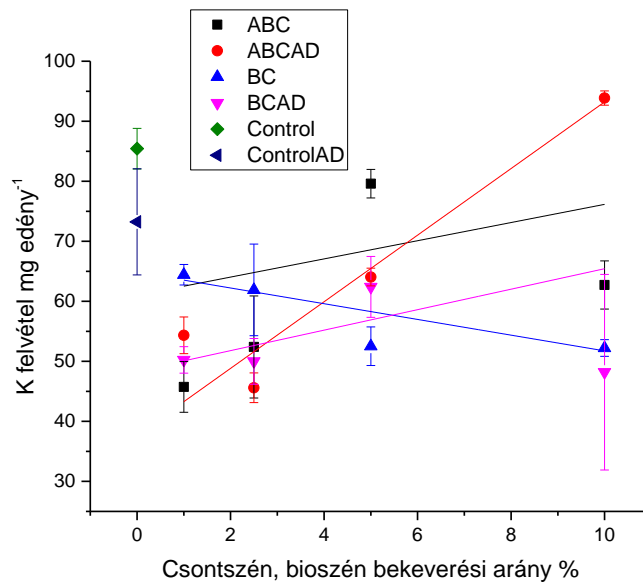
Az erjesztési maradék hozzáadásával sem sikerült befolyásolni a rendszert ($r^2 = 0,09743$).

A csontszén kezelések eredményei szintén a kontroll alatt maradtak (37. ábra).

A csontszén - erjesztési maradék kombináció hatása egyértelműen bebizonyosodott. A magasabb adagokkal tudtuk leginkább növelni a növények kálium tartalmát.

Az angolperjében mért kálium tartalom 0,2%-nál számít kritikusnak. Ebben az esetben ez semmilyen körülmények között nem állt fent, értékeim magasnak mondhatók.

4.4.12. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a növényi kálium felvételre



38. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje kálium felvételére, 2013 - értékelő táblázat

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszén kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszén kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

Bár a bioszén jelentős kálium forrás, mellyel a talaj AL-oldható frakcióját gazdagította, a növények ezt nem hasznosították. A kontroll kezeléshez képest szignifikánsan csökkent a növényi felvétel az adagok növelésével ($r^2 = 0,89005$).

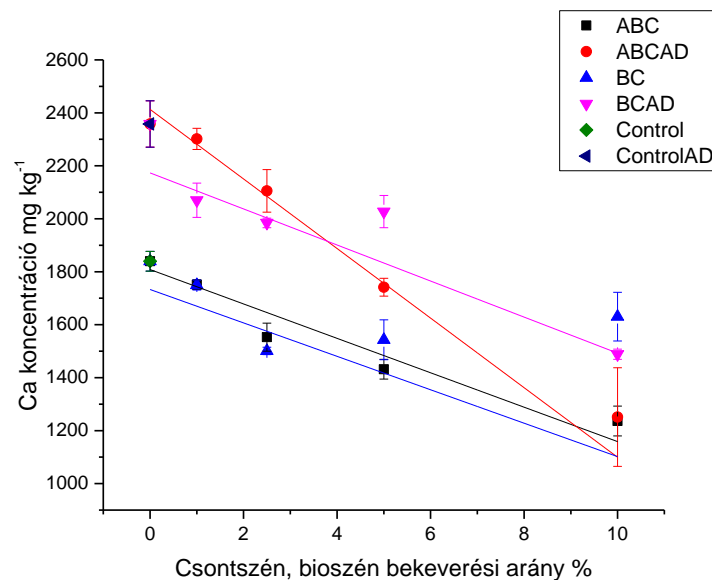
Az erjesztési maradék hozzáadásával sem sikerült számottevően befolyásolni a rendszert ($r^2 = 0,45942$).

A csontszén kezelések eredményei szintén a kontroll alatt maradtak, azonban hatásuk nem kimutatható ($r^2 = 0,10295$) (38. ábra).

A csontszén - erjesztési maradék kombináció hatása egyértelműen bebizonyosodott. A magasabb adagokkal növelni tudtuk a növényi kálium felvételt ($r^2 = 0,95888$).

A bioszén és a csontszén alkalmazása esetünkben nem befolyásolta pozitívan a kálium felvételét, azonban az erjesztési maradék könnyen hozzáférhető tápelemei segítették a növényi felvételt.

4.4.13. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a növények kalcium tartalmára



39. ábra Növények kalcium tartalmának összehasonlítása az erjesztési maradékot tartalmazó, és az erjesztési maradékot nem tartalmazó csontszén, illetve bioszén kezelések között, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszentes kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszentes kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

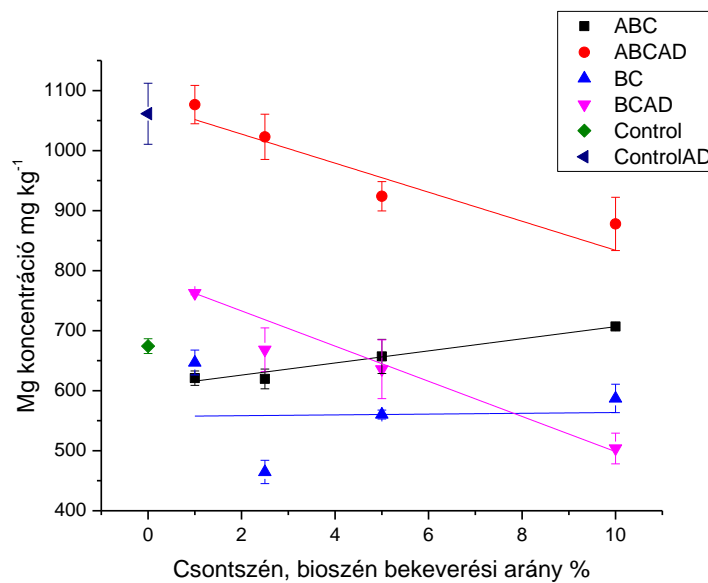
A növények kalciumtartalma minden esetben a kontroll alatt maradt, és szignifikánsan csökkent a kiadott mennyiséggel (ABC - $r^2 = 0,94619$; ABCAD - $r^2 = 0,98959$; BC - $r^2 = 0,41571$; BCAD - $r^2 = 0,96341$). Látható, hogy az erjesztési maradék hozzáadásával javul a növények kalcium hozzáférhetősége, köszönhetően a könnyen oldható formáknak (39. ábra).

Jelentős kalcium tartalmuk ellenére a bioszenek nem járulnak hozzá a kalcium felvételéhez, sőt jelentős mennyiséget köthet meg, melyet jól indukál a növényi felvétel csökkenés a kontrollhoz képest.

Irodalmi adatok szerint, az angolperje hajtásában 0,2% (2000 mg kg⁻¹) kalcium hiányról beszélhetünk.

A bioszén növekvő adagjai, nagy kálium tartalmának következtében, az ismert K-Ca-Mg antagonizmus miatt, Ca hiányt indukáltak a növényekben (Kádár, 1997). Ez a kalcium hiány termés-csökkentő tényező is lehet, mivel a tenyészidő során a növények Ca tartalma is tovább csökken (Lásztity, 1986).

4.4.14. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a növények magnézium tartalmára



40. ábra Növények magnézium tartalmának összehasonlítása az erjesztési maradékot tartalmazó, és az erjesztési maradékot nem tartalmazó csontszén, illetve bioszén kezelések között, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszentes kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszentes kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

A csontszén jelentős magnézium forrásként szolgálhat (40. ábra), azonban ennek ellenére nem növelte jelentősen a növények magnézium koncentrációját, bár a kezeléseknek egyértelműen bizonyított a hatása ($r^2 = 0,98944$).

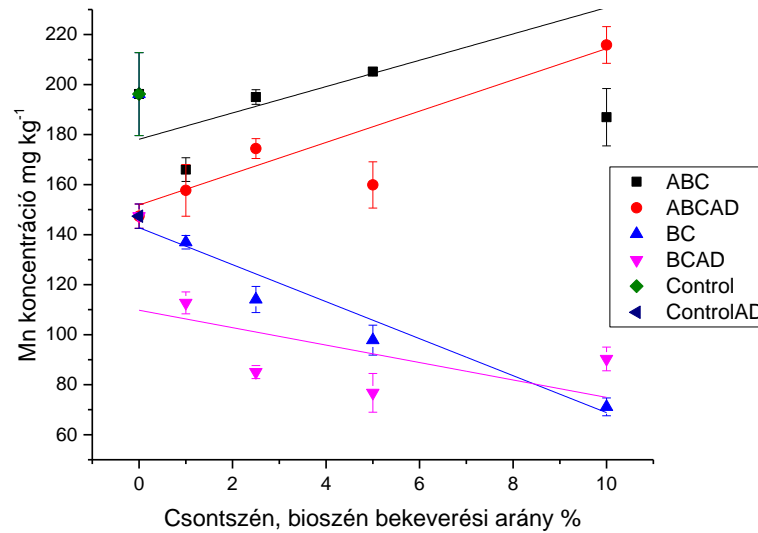
A kiegészítő erjesztési maradék kezelés segítségével jelentősen megnövekedett a növények magnézium tartalma, azonban a csontszén adagok növelésével csökkent a koncentráció. Kijelenthető, hogy a csontszén mennyiségének növelése csökkenti az angolperje magnézium koncentrációját ($r^2 = 0,84511$).

A bioszén kezeléseknek nem volt hatása a növények magnézium koncentrációjára ($r^2 = 9,81E-04$).

Ebben az esetben is az erjesztési maradékban oldott formában jelenlévő magnézium növelte a növényekben a koncentrációt, de a széndózisok növelése kedvezőtlenül befolyásolta azt ($r^2 = 0,98272$).

A csökkent felvételre illetve koncentrációra a bioszenek fixációja mellett azok magas kation tartalma lehet a magyarázat, mely antagonista hatást kiváltva kiszorítja a magnéziumot, tehát a felvétele gátolt lesz a növények számára.

4.4.15. A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a növények mangán tartalmára



41. ábra Növények mangán tartalmának összehasonlítása az erjesztési maradékot tartalmazó, és az erjesztési maradékot nem tartalmazó csontszén, illetve bioszén kezelések között, 2013

* Control- kontroll kezelés, ControlAD- erjesztési maradékkal kezelt kontroll, ABC- csontszenes kezelés, ABCAD- csontszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve, BC- bioszenes kezelés, BCAD- bioszén kezelés erjesztési maradékkal kiegészítve

A csontszén kezelések mangán koncentrációra gyakorolt hatása közepes kapcsolatot mutat ($r^2=0,57447$). Jelentősen nagyobb mangánkoncentrációt mértünk a növényekben, annak ellenére, hogy a bioszén mangán tartalma több mint ezerszer nagyobb (41. ábra).

A erjesztési maradék hatására nőtt a mangán koncentráció a növényekben ($r^2=0,84154$).

A bioszén magas mangán tartalma ellenére csökkentette a felvett mangán mennyiségét. A dózisok növelése negatívan hat a koncentrációra ($r^2=0,93261$).

A kombinált kezelés tovább csökkentette a teszt növények mangán koncentrációját, azonban a kezelés hatása nem kimutatható ($r^2=0,23371$).

A felfedett eredmények további vizsgálatokat igényelnek, jelen eredmények tükrében a mangán változás magyarázata nem lehetséges.

5. Következtetések, Javaslatok

Hazánkban a biogáz üzemek újbóli megjelenésével és számuk növekedésével egy új problémakör került előtérbe. A külföldi szakirodalmat áttekintve kiderült, hogy az eddigi kutatások eredményei változatos képet mutatnak, mind az erjesztési maradék paramétereit, mind a növényekre- talajra gyakorolt hatásokat tekintve. Az eredmények nehezen összehasonlíthatók, hiszen minden erjesztési maradék különböző, az előállítási technológiákról nem is beszélve. A kísérletekben alkalmazott dózisok és teszt növények is csak korlátozottan összehasonlíthatók. Az egyes országok közötti, klimatikus és talajtani különbségek, pedig a korábbi eredmények adaptálását, harmonizációját követeli meg.

5.1. Új tudományos eredmények

Az erjesztési maradék kijuttatása során anyagi minőségtől és mennyiségtől függően a talajok fizikai, kémiai és biológiai paramétereit is változhatnak. Magyarországon csak néhány kutató foglalkozott a témával, kutatási projektekről sem számolhatunk be nagy számban. Ezért is fontos a minél szélesebb körű hazai kutatások folytatása. Kutatásaim során tenyészedényes modellkísérletben vizsgáltam a szennyvíziszap alapú erjesztési maradék hatásait a talaj egyes kémiai paramétereire és a teszt növényekre gyakorolt hatásait.

1. Megállapítottam, hogy a humuszos homok talajon laboratóriumi modellkísérletben az angolperje csírázási dinamikája az erjesztési maradék adag növelésével arányosan gátolt.
2. A 14 napos tesztidőszak alatt az erjesztési maradékkal a talajba kevert nitrogén növelte a növények nitrogén felvételét. A jobb nitrogén ellátásra a növények, nagyobb terméssel és jobb beltartalmi mutatóval reagáltak.
3. Kimutattam, hogy az erjesztési maradék csírázásgátló hatása csak addig tart, amíg a toxikus $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalom teljesen át nem alakul nitráttá a talajban. Ennek ideje az általam alkalmazott kis tenyészedényekben, angolperje teszt növényenél a bekeverést követő 7.-8. nap.

4. Kedvezőtlen hatás, hogy a csontszén erőteljesebben növelte a talaj sótartalmát. Az erjesztési maradék kismértékben hozzájárult a sótartalom növekedéséhez. Az angolperje hajtástömege csak a 2,5%-os csontszén, illetve bioszén arányig növekedett. Az angolperje tesztnövények kalcium és magnézium tartalma minden kezelés esetében csökkent.
5. Megállapítottam, hogy a bioszén kedvezően befolyásolta a talaj kötöttségét, a csontszén illetve a csontszén erjesztési maradék kezelés növelte a talaj pH-ját. A csontszén többszörösére növelte a talaj Al-oldható foszfor tartalmát, míg a bioszén a talaj AL-oldható kálium tartalmára volt ugyanilyen hatással, melyet a hozzáadott erjesztési maradék fokozott. A bioszén adagok a talaj széntartalmát jelentősen növelték.

5.2. Javaslatok a további kutatásokhoz

Európában is az utóbbi években indultak meg az erjesztési maradék talaj-növény rendszerben betöltött szerepét vizsgáló kutatások. Mivel igen változatos anyagról van szó, így a felhasználás előtt célszerű tisztában lennünk a várható hatásokkal. Ezek a hatások csak adott esetben, adott körülmények között érvényesek, tehát a csak rendszeres és hosszú távon beállított kísérletekből vonhatunk le általános következtetéseket a felhasználásra vonatkozóan.

Az egyes részfolyamatok megértéséhez részletesebb és összehangolt kutatói stáb munkája szükséges. Az eredményeimből látható, illetve a kísérletek során és azok értékelésekor kiderült, hogy a mikrobiológia, mint jelentős befolyásoló tényező vizsgálatára minél részletesebben szükség van. A kémiai és fizikai folyamatok háttérében a mikroorganizmusoknak kiemelkedő szerepe van.

Hazánkban a hosszú távú ún. tartamkísérletek szinte teljesen hiányoznak. Ezek alapítása és fenntartása közös célunk és érdekünk a minél részletesebb információ szerzés végett. Kutatásaim jelen fázisában 4 éve beállított szabadföldi kísérlettel is rendelkezem, melynek további fenntartását, a gazdálkodóval együttműködve biztosítjuk.

Indokolt lenne az erjesztési maradék bekeverése utáni eltérő vetési időkkal is kísérleteket beállítani, a biogázüzemi erjesztési maradék növény táplálási

technológiába illesztés céljából. Kísérleteimben tapasztalt nitrifikáció az irodalmi adatoknál rövidebb idő alatt lezajlott. Szabadföldi körülmények között ez az idő valószínűsíthetően tovább rövidül, ez az eredmény a vetés pontos idejének megtervezéséhez elengedhetetlen.

A disszertációban használt kis tenyészedények nem voltak alkalmasak arra, hogy az angolperje növényt diagnosztikai célú növényvizsgálatokhoz alkalmas fenológiai fázisig neveljem. Azonban gyors toxicitás vizsgálatra alkalmas mind a módszer, mind az angolperje. A növények nagyobb tenyészedényben, biztonsággal tovább nevelhetők, ily módon biztosítható a növények tápanyag-ellátottságára gyakorolt hatások vizsgálata is.

6. Összefoglalás

A nemzetközi tendenciát követve hazánkban is emelkedik a biogáz üzemek száma. Bár a nemzetközi irodalomban számos példát találunk a biogázüzemi erjesztési maradék talajra, növényre gyakorolt hatásairól, a hazai kutatási tevékenység csupán néhány munkára korlátozódik. Az erjesztési maradék felhasználásával a közvetett és közvetlen hatások vizsgálata is indokolt. A hatások a szubsztrát minőségétől, vagyis az alapanyag típusától, összetételétől és az alkalmazott technológia körülményeitől, továbbá a kijuttatott mennyiségektől, a talajtípustól és az alkalmazott tesztnövényektől is függ. A meglévő, és új ismereteket adaptálni illetve harmonizálni szükséges, hogy megérthessük a különféle erjesztési maradékok, a talajok, a kultúrnövények és éghajlati tényezők közötti kölcsönhatásokat. A növényi tápanyagokat tartalmazó szubsztrátok, mint tápanyag-utánpótlásra alkalmas anyagok, jelentős erőforrás és költség megtakarítást jelenthetnek a gazdaság számára.

Dolgozatomban az erjesztési maradék hatását vizsgáltam laboratóriumi tenyészedényes kísérletben. Különböző fizikai féleségű talajokon vizsgáltam a hatást, különös tekintettel a talaj ásványi nitrogén formáinak változására, átalakulására, a tesztnövényként alkalmazott angolperje csírázási dinamikájára, fejlődésére. A csontszén, bioszén és erjesztési maradék együttes alkalmazásának hatását értékeltem a talaj és az angolperje kémiai tulajdonságaira.

A kísérleti beállítások változatos formában történtek, a korábbi kísérletek eredményeire épülve kerültek kialakításra és kivitelezésre. Minden esetben bioteszt került beállításra, azonos tesztnövényvel és tenyészedény méretekkel. A kísérletek folyamán és végeztével vizsgáltam a talaj kémiai és fizikai paramétereit, valamint a növények fejlődését és kémiai paramétereit.

A vizsgálatok eredményei alapján bebizonyosodott, hogy a 100 kg N ha^{-1} feletti erjesztési maradék adagok gátolták az angolperje csírázását. A csírázásgátló hatás a magas ammónium tartalomnak köszönhető. A nitrifikáció során átalakuló ammónium-ion gátló hatása a teljes átalakulás végeztével megszűnik és az angolperje intenzív növekedésnek indul. A nitrifikáció a legnagyobb erjesztési maradék dózis esetén is 7-8 nap alatt végbe megy. Az átalakulás hatására csökken a

talaj pH-ja. Kedvező hatás, hogy az erjesztési maradék növeli a talaj kationcserélő kapacitását, kedvezőtlen azonban a só tartalom növekedése.

A csontszén, bioszén és erjesztési maradék együttes alkalmazására irányuló kísérletből kiderült, hogy a csontszén jelentősen növeli a talaj AL-oldható foszfor tartalmát és a talaj pH-ját, valamint kedvezőtlenül hatott a talaj sótartalmára. Az angolperje hajtástömege javult az erjesztési maradék hozzáadásával. A kémiai paraméterek elemzéséből kiderült, hogy bár jelentős tápanyag került bekeverésre a talajba, az csak részben hozzáférhető a növények számára, antagonistá hatás lépett fel több elem között.

Az erjesztési maradék tápanyagutánpótlásra való alkalmazásának van létjogosultsága, azonban hosszú távú vizsgálatokra van szükség a közvetlen és közvetett hatások feltárására.

7. Summary

The number of biogas plants is increasing in Hungary following the international trends. There are many examples in the international literature on the effects of anaerobic digestate on soil and plant properties, but Hungarian research is limited to only a few studies. It is necessary to analyze the direct and indirect effects of digestate application. The effects depend on the substrate quality, which is based on the type and the mixture of the raw material, and the circumstances of the used technology. The outcome also depends on the amount of applied digestate, soil type and test plants additionally. Harmonization and adaptation of archivals and new data, and new researches are needed to understand the interactions among various digestates, soil, crop, and climatic condition. Substrates, that are rich in plant nutrients generate significant source of energy-, cost saving for the farmers.

The main purpose of the study was to investigate the effects of the anaerobic digestate in pot experiment. The effects were analyzed on soils with different textures, with special focused on the changes and transformation of mineral nitrogen forms and the development and germination dynamics of ryegrass. When bonechar, biochar and digestate were applied in combination, their effects were evaluated on the chemical properties of soil and ryegrass.

All the treatments settings were performed and carried out in various forms, and were based on the results of the preliminary examinations. In all cases biotest was set first with the same test plant and same pot size. During and the end of test period the soil physical and chemical parameters were measured as well as the plant germination and chemical parameters.

The results verified that the digestate, with a dose of 100 kg N ha⁻¹ had a germination blocking effect on ryegrass. The high ammonium-ion concentration caused the germination blocking effect. This effect ends when all of the ammonium-ions are transformed during the nitrification process, and the test plants start to grow intensely.

Nitrification process ended after the 7-8th days even if the highest digestate dose was added. Transformation caused decrease in soil pH. Cation exchange capacity was increased which is a positive effect, but the salt content of the soil also increased unfortunately.

Results from the combined application of bonechar, biochar and digestate treatments showed that bonechar increased significantly the soil AL-soluble phosphorous content and soil pH as well, but had a negative effect on the salt content. The yield of ryegrass increased under the digestate treatments. Chemical analyses showed that high amount of nutrient was added to the soil, however these nutrients were only partly available for the plants and antagonistic effect was also detected between some elements.

Digestate application as a nutrient source is viable but long term experiments are needed to reveal the direct and indirect effects.

8. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, Füleky Györgynek, aki munkájával, kritikáival folyamatosan ösztönzött munkám tökéletesítésére és elkészítésére.

Köszönöm munkatársaim, Czinkota Imre és Tolner László tanácsait és a statisztikai elemzésekhez nyújtott segítségüket.

Külön köszönöm Rétháti Gabriella munkatársam baráti segítségét és lelki támogatását a nehéz időkben.

A labormérésekben nyújtott segítségért köszönettel tartozom az Agrokémia labor dolgozóinak, Prókainé Nemes Ágnesnek, Egyháziné Tamás Évának és nem utolsó sorban Vejzer Tibornénak.

Köszönöm a Környezettudományi Intézet valamennyi dolgozójának segítségét, türelmét és támogatását.

A legnagyobb köszönettel a szüleimnek és családomnak tartozom, akik a kezdetektől fogva rendületlenül támogattak, biztattak és segítettek munkámat.

Kedvesem a tanácstalanság idején határtalan szeretetével folyamatosan ösztönzött és türelmével segített átlendülni a holtponatokon.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni az EDHT munkatársainak a mindennapokban nyújtott rengeteg segítséget.

9. Irodalomjegyzék

Adrie Veecken, Bert Hamelers (1999): Effect of temperature on hydrolysis rates of selected biowaste components, *Bioresource Technology* 69 (1999) 249-254

Alastair J. Ward, Phil J. Hobbs, Peter J. Holliman, David L. Jones (2008): Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources, *Bioresource Technology* 99 (2008) 7928–7940

Ali Mekki, Fatma Arous, Fathi Aloui, Sami Sayadi (2013): Disposal of agro-industrials wastes as soil amendments, *American Journal of Environmental Science* 9 (6): 458-469

Allison, L. E.; Moodie, C. D. 1965. Volumetric Calsimeter Methots of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, in Black, C. A. (Ed.). American Society of Agronomy, Inc. Publisher Madison, USA, 1389-1392. Wisconsin,

Angelidaki, I. & Ellegaard, L (2003): Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants, *Applied Biochemistry and Biotechnology* April 2003, Volume 109, Issue 1, pp 95–105

Anna Piotrowska, Giuseppina Iamarino, Maria Antonietta Rao, Liliana Gianfreda (2006): Short-term effects of olive mill waste water (OMW) on chemical and biochemical properties of a semiarid Mediterranean soil, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 38, Issue 3, March 2006, Pages 600-610

Anthony Mshandete, Lovisa Björnsson, Amelia K. Kivaisi, M.S.T. Rubindamayugi, Bo Mattiasson (2006): Effect of particle size on biogas yield from sisal fibre waste, *Renewable Energy*, Volume 31, Issue 14, November 2006, Pages 2385-2392

B. Rinçon, R. Borja, J.M. Gonzalez, M.C. Portillo, C. Sáiz-Jiménez (2008): Influence of organic loading rate and hydraulic retention time on the performance, stability and microbial communities of one-stage anaerobic digestion of two-phase olive mill solid residue, *Biochemical Engineering Journal* xxx (2008) xxx–xxx

Bacsó A., Dezső I., Maul F., Stefanovics P., Tusz Zs. (1972): Talajtani gyakorlatok. Egyetemi jegyzet, Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, Gödöllő, p. 106, 200-201.

Bai A., (2007): A biogáz Száz magyar falu könyvesháza Kht. p. 9-46.

Balla Alajosné (1963): Az istállótrágyázás és a műtrágyázás hatásának összehasonlítása vetésforgó trágyázási kísérletben, *Agrokémia és Talajtan* 12 (1963) 1 21–30

Banik, S. & Nandi, R. (2004): Effect of supplementation of rice straw with biogas residual slurry manure on the yield, protein and mineral contents of oyster mushroom. *Industrial Crops and Products*, Vol. 20, No. 3, (November 2004), pp. 311-319

Buswell, A.M. & Neave, S.L. (1930): Laboratory studies of sludge digestion. Illinois Division of State Water Survey, Bulletin No. 30.

Buzás I. (1988): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. Mezőgazdasági Kiadó Budapest. p. 30-176

Buzás I. (1993): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1. INDA 4231 Kiadó Budapest. p. 119-120

C. de la Fuente & J. A. Albuquerque & R. Clemente & M. P. Bernal (2013): Soil C and N mineralisation and agricultural value of the products of an anaerobic digestion system, *Biol Fertil Soils* (2013) 49:313–322

Christiane Herrmann, Monika Heiermann, Christine Idler (2011): Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops, *Bioresource Technology*, Volume 102, Issue 8, April 2011, Pages 5153-5161

David P. Chynoweth, John M. Owens, Robert Legrand (2001): Renewable methane from anaerobic digestion of biomass, *Renewable Energy* 22 (2001) 1 8

Debosz, K., Petersen, S.O., Kure, L.K. & Ambus, P. (2002). Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. *Applied Soil Ecology*, 19(3), pp. 237-248.

Deublein, D. and Steinhauser, A. (2010): Biogas, in Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction, Second Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany.

Edward Someus (2016): FAQ - Frequently Asked Questions: Pyrolysis – Biochar – Bonechar– Phosphorus

Egner, H., Riehm, H. & Domingo, W., 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungl. Lantbrukshögsk. Ann. 26. 199–215.

Florentino, Helenice de Oliveira. (2003). Mathematical tool to size rural digesters. *Scientia Agricola*, 60(1), 185-190.

Francesco Montemurro, Fabio Tittarelli, Ornella Lopodota. Vincenzo Verrastro, Mariangela Diacono (2015): Agronomic performance of experimental fertilizers on spinach (*Spinacia oleracea* L.) in organic farming, *Nutr Cycl Agroecosyst* (2015) 102:227–241

Füleky Gy. (1999): Tápanyag-gazdálkodás. *Mezőgazda Kiadó* p.37

Georgia Antonopoulou, Hariklia N. Gavala, Ioannis V. Skiadas, K. Angelopoulos, Gerasimos Lyberatos (2007): Biofuels generation from sweet sorghum: Fermentative hydrogen production and anaerobic digestion of the remaining biomass, *Bioresource Technology* xxx (2007) xxx–xxx

Gulyás M. (2010): Biogázüzemi fermentlé mezőgazdasági felhasználásának vizsgálata, Diplomadolgozat SZIE

Hodossi S., Kovács A., Terba I. (2004): Zöldségtermesztés szabadföldön. *Mezőgazda Kiadó* p.56

István Füzesi, Bálint Heil, Gábor Kovács (2015): Effects of Wood Ash on the Chemical Properties of Soil and Crop Vitality in Small Plot Experiments, *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* . Jun2015, Vol. 11 Issue 1, p55-64. 10p.

James A. Duke (1983): Handbook of Energy Crops, https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/dukeindex.html

Jung Kon Kim, Baek Rock Oh, Young Nam Chun, and Si Wouk Kim (2006): Effects of Temperature and Hydraulic Retention Time on Anaerobic Digestion of Food Waste, *Journal of Bioscience and Bioengineering* Vol. 102, No. 4, 328–332. 20067

Kádár I., Petróczki F., Hámori V., Morvai B. (2009): Kommunális szennyvíziszap, illetve vágóhídi hulladék komposzt hatása a talajra és a növényre szabadföldi kísérletben, *Agrokémia és Talajtan* 58 (2009) 1 121–136

Kádár Imre (1997): A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI, 417 p.

Kádár Imre és Ragályi Péter (2012): Vágóhídi komposztok és húsliszt hatása karbonátos homoktalajra, *Agrokémia és Talajtan* 61 (2012) 2 363–380

Karthik Rajendran, Solmaz Aslanzadeh and Mohammad J. Taherzadeh (2012): Household Biogas Digesters—A Review, *Energies* 2012, 5, 2911-2942

Kovács D., Kardos Gy., Füleky Gy. (2005): A feltárás és a komposztálás hatása a csontok trágyaszerként történő alkalmazhatóságára, *Agrokémia és Talajtan* 54 (2005) 3–4 427–438

Krzysztof Różyło, Patryk Oleszczuk, Izabela Joško, Piotr Kraska, Ewa Kwiecińska-Poppe, Sylwia Andruszczak (2015): An ecotoxicological evaluation of soil fertilized with biogas residues or mining waste, *Environ Sci Pollut Res* (2015) 22:7833–7842

L. Van Zwieten, S. Kimber, S. Morris, K. Y. Chan, A. Downie, J. Rust, S. Joseph, A. Cowie (2010): Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility, *Plant and Soil*, February 2010, Volume 327, Issue 1, pp 235–246

Lásztity Borivoj (1986): Néhány elem koncentrációjának változása az őszi rozsbán és a triticaléban a tenyészidő folyamán. *Agrokémia és Talajtan* 35. (1986) No. 1-2., 85-94 p.

Lehmann, J., 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(7): 381–387.

Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M., 2006. Bio-char sequestration in terrestrial Ecosystems – a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 403–427.

Lei Gu, Yi-Xin Zhang, Jian-Zhou Wang, Gina Chen, Hugh Batty (2016): Where is the future of China's biogas? Review, forecast, and policy implications, *Pet. Sci.* (2016) 13:604–624

Makádi M., Tomócsik A., Lengyel J. (2007b): Biogázüzemi fermentlé alkalmazása tápanyag-utánpótlásra II. *Mezsgye Fórum*, 2007. szeptember, p. 13,17.

Makádi M., Tomócsik A., Lengyel J. (2007a): Biogázüzemi fermentlé alkalmazása tápanyag-utánpótlásra I. *Mezsgye Fórum*, 2007. augusztus, p. 17.

Makádi M., Tomócsik A., Orosz V., Bogdányi ZS., Biró B. (2007c): Effect of a biogas-digestate and bentonite on some enzyme activities of the amended soils. *Cereal Research Communication* 35 (2): 741-744.

Makádi M., Tomócsik A., Orosz V., Lengyel J., Márton Á. (2008a): Biogázüzemi fermentlé felhasználásának talajtani hatásai. *Talajvédelem, Supplementum. Talajtani Vándorgyűlés, Nyíregyháza*. p. 465-474.

Makádi M., Tomócsik A., Orosz V., Lengyel J., Márton Á. (2008b): Problems and success of digestate utilization on crops. *Proceedings of the Internationale Conference ORBIT 2008, Wageningen, 13-16 October, 2008. CD-ROM (ISBN 3-935974-19-1)*

Mézes Lili (2011): *Mezőgazdasági és élelmiszeripari biogáz-termelés optimalizálása*, PhD értekezés, Debreceni Egyetem

Möller, K. and Müller, T. (2012), Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Eng. Life Sci.*, 12: 242–257. doi:10.1002/elsc.201100085

Ndayegamiye, A. and Coté, D. (1989). Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. *Can. J. Soil Sci.* 69: 39-47.

Petis M. (2010): *A biogáz üzemben keletkező fermentlé hasznosításának gyakorlati tapasztalatai. Szennyvíziszapok és biogáz fermentlévek hasznosítása Konferencia. Budapest*

Pozsgai Andrea, Szüle Bálint, Schmidt Rezső, Szakál Pál (2014): Komposzt kísérletek kukoricában, XXI. Ifjúsági napok, Mosonmagyaróvár, 2014. szeptember 18-19., ISBN 978-963-8172-33-4

Prasad Kaparaju, Lars Ellegaard, Irini Angelidak (2009): Optimisation of biogas production from manure through serial digestion: Lab-scale and pilot-scale studies, *Bioresource Technology* 100 (2009) 701–709

Qi, X., Zhang, S., Wang, Y., Wang, R. (2005): Advantages of the integrated pig-biogas-vegetable greenhouse system in North China. *Ecological Engineering*, Vol. 24, No. 3, (February 2005), pp. 175-183

R. A. Labatut and C. A. Gooch: Monitoring of anaerobic digestion process to optimize performance and prevent system failure, <https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/36531/21.Rodrigo.Labatut.pdf?sequence=1>

René Alvarez, Gunnar Lidén (2008): Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste, *Renewable Energy*, Volume 33, Issue 4, April 2008, Pages 726-734

Revell, K. T., Maguire, R. O., Agblevor, F. A., 2012. Influence of Poultry Litter Biochar on Soil Properties and Plant Growth. *Soil Science*, 177 (6): 402-408.

Robinson, J. B., & Reuter, D. J. (1997). *Plant analysis: An interpretation manual*. Melbourne: Commonwealth scientific and industrial research organization.

Roger Nkoa (2014): Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2014, 34 (2), pp.473-492.

Sari Luostarinen, Argo Normak & Mats Edström (2011): Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management, Knowledge report, Overview of Biogas Technology, <https://www.scribd.com/document/285658892/Baltic-Manure-Biogas-Final-Total>

Schievano A, Adani F, Tambone F, D'Imporzano G, Scaglia B, Genevini PL. (2008): What is digestate. In: Adani F, Schievano A, Boccasile G, editors. Anaerobic digestion: opportunities for agriculture and environment. Milano, Italy: Regione Lombardia; 2008. p. 7–18.

Silvia Bonetta, Sara Bonetta, Elisa Ferretti, Giorgio Fezia, Giorgio Gilli, Elisabetta Carraro (2014): Agricultural Reuse of the Digestate from Anaerobic Co-Digestion of Organic Waste: Microbiological Contamination, Metal Hazards and Fertilizing Performance, *Water Air Soil Pollut* (2014) 225:2046

Simon László, Uri Zsuzsanna, Vincze György, Szabó Béla, Koncz József (2015): Települési szennyvíziszap komposzt tartamhatásának vizsgálata *Salix* és *Arundo* energianövény kultúrákban, in.: Simon L., Vincze Gy. (eds.): Szennyvizek és szennyvíziszapok hasznosítása a régió fenntartható mezőgazdaságáért (Utilization of wastewaters and sewage sludges for the sustainable agriculture of the region). Nyíregyházi Főiskola (College of Nyíregyháza), Nyíregyháza. pp. 1-120.

Somosné N. A., Szolnoky T. (2009): A biogáz-üzemi kiejedtt fermentlé hasznosítása. *Agrokémia és Talajtan* 58.kötet 2. szám p. 381-386

Sonia Khoufi, Fathi Aloui, Sami Sayadi (2008): Extraction of antioxidants from olive mill wastewater and electro-coagulation of exhausted fraction to reduce its toxicity on anaerobic digestion, *Journal of Hazardous Materials* 151 (2008) 531–539

Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy. (1999): *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó p.196

Szabóné K. G., Havasné T. É. (2010): Biogáz üzemben keletkező fermentum mezőgazdasági hasznosítása. Szennyvíziszapok és biogáz fermentlevek hasznosítása Konferencia. Budapest

SZIE-TALT (2016): Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Talajtan kutatócsoport

Teodorita Al Seadi (2001): Good Practice in Quality Management of AD residues from biogas production: Task 24 og AEA Technology Environment. IEA Bioenergy, England.

[http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/70996A6A88900B70C125753F005B70AD/\\$FILE/IEA%20BUENAS%20PR%C3%81CTICAS%20DA.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/70996A6A88900B70C125753F005B70AD/$FILE/IEA%20BUENAS%20PR%C3%81CTICAS%20DA.pdf)

Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen (2008): Biogas handbook. ISBN 978-87-992962-0-0, Edited by Teodorita Al Seadi Published by University of Southern Denmark Esbjerg, NielsBohrsVej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark. [http:// www.lwmvibiogas.com/BiogasHandbook.pdf](http://www.lwmvibiogas.com/BiogasHandbook.pdf)

Tomócsik A, Makádi M, Orosz V, Márton Á (2008): Szennyvíziszap komposzt többszöri tápanyag-utánpótlásra történő hasznosításának hatása a toxikus elem-tartalomra, Talajvédelem pp. 355-340. (2008)

Tomócsik A., Makádi M., Lengyel J. (2007b): Tápanyag-utánpótlás fermentlével. Magyar Mezőgazdaság 62: 47 p.12-13.

Tomócsik A., Makádi M., Márton Á., Lengyel J. (2007c): Tápanyag-utánpótlás biogázüzemi fermentlével. Biohulladék 2: 4 p. 22-24.

Tomócsik A., Makádi M., Orosz V., Bogdányi ZS. (2007a): Biogázüzemi fermentlé hatása a silókukorica (*Zea mays* L.) termésére és beltartalmi mutatóira. Első nemzetközi környezettudományi és vízgazdálkodási konferencia, Szarvas, 2007. október 18-20. TSF Tudományos Közlemények, 2007 (7):1. 1. kötet, p.163-168.

Vágó I., Makádi M., Kátai J., Balláné K. A. (2008): A biogáz gyártás melléktermékének hatása a talaj néhány kémiai tulajdonságára. Talajvédelem, Supplementum. Talajtani Vándorgyűlés, Nyíregyháza. p. 555-560.

Vágó, I., Kátai J., Makádi M. & Balla Kovács A. (2009). Effects of biogas fermentation residues on the easily soluble macro- and microelement content of soil. Trace elements in the food chain. Vol. 3. Deficiency or excess of trace elements in the environment as a risk of health. Pp. 252-256. Publ.: Working Committee on Trace Elements and Institute of Materials and Environmental Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest. Eds.: Szilágyi M, Szentmihályi K.

Várallyay Gy. (1997): A talaj és funkciói. Magyar Tudomány. XLII. (12) 1414-1430.

Várallyay Gy. (2002a): A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Budapest.

Várallyay GY. (2002b): A talajok környezeti érzékenységének értékelése, Agrártudományi Közlemények = Acta Agraria Debreceniensis 9: pp. 62-74. (2002)

W. H. Schwarz (2001): The cellulosome and cellulose degradation by anaerobic bacteria, *Appl Microbiol Biotechnol* (2001) 56:634–649

Wang X, Lu X, Li F, Yang G (2014): Effects of Temperature and Carbon-Nitrogen (C/N) Ratio on the Performance of Anaerobic Co-Digestion of Dairy Manure, Chicken Manure and Rice Straw: Focusing on Ammonia Inhibition. *PLoS ONE* 9(5): e97265.

Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives., *Appl Microbiol Biotechnol*, 85(4), pp. 849-860.

Yadvika, Santosh, T.R. Sreekrishnan, Sangeeta Kohli, Vineet Rana (2004): Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review, *Bioresource Technology*, Volume 95, Issue 1, October 2004, Pages 1-10

Yu L, Wensel PC, Ma J, Chen S (2013): Mathematical Modeling in Anaerobic Digestion (AD). *J Bioremed Biodeg* S4: 003

Zhen-Hu Hu, Gang Wang, Han-Qing Yu (2004): Anaerobic degradation of cellulose by rumen microorganisms at various pH values, *Biochemical Engineering Journal* 21 (2004) 59–62

http1.: <http://www.worldometers.info/world-population/> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: worldometers Lekérdezés időpontja: 2016.09.30.

http2.:http://www.igu.org/sites/default/files/node-page-field_file/IGU%20Biogas%20Report%202015.pdf Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: biogas report Lekérdezés időpontja: 2016.09.30.

http3.: <http://www.fao.org/docrep/010/ah810e/ah810e13.htm> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: china type digester Lekérdezés időpontja: 2016.09.30.

http4.: <http://european-biogas.eu/2015/12/16/biogasreport2015/> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: eu biogas report Lekérdezés időpontja: 2016.09.30.

http5.: <http://www.businessgreen.com/bg/news/2335484/uks-largest-on-site-anaerobic-digestion-plant-comes-online> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: uk largest digester Lekérdezés időpontja: 2016.09.30.

http6.: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2007/397236/IPOL-AGRI_ET\(2007\)397236_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2007/397236/IPOL-AGRI_ET(2007)397236_EN.pdf) Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: biogas plants eu agriculture Lekérdezés időpontja: 2016.09.30.

http7.: http://www.ub.edu/bioamb/PROBIOGAS/centralcodig_descrip2000.pdf
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: centralised biogas denmark Lekérdezés időpontja: 2016.09.30.

http8.: http://www.sepa.org.uk/media/163421/ewc_guidance.pdf Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: ewc codes Lekérdezés időpontja: 2016.09.30.

http9.:
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_02_Alkalmazott_talajtan/ch01s05.html Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: talaj, funkciók Lekérdezés időpontja: 2016.09.30.

http10.:
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_adaptalt_01_Talajokologia/ch05.html Google. Kulcsszavak: talajökológia Lekérdezés időpontja: 2016.09.30.

10. Mellékletek

Equation	y = a + b*x	
Plot	friss	értelt
Weight	Instrumental	
Intercept	2,034 ± 9,5321E-6	-2,37786 ± 6,16503
Slope	2,55602 ± 0,07449	2,1878 ± 0,12363
Residual Sum of Squares	272,58274	274,62532
Pearson's r	0,99873	0,99524
R-Square(COD)	0,99746	0,99051
Adj. R-Square	0,99661	0,98735

9. ábra Az erjesztési maradékkal kijuttatott nitrogén hatása a talaj NH₄-N tartalmára humuszos homok talajon, 2010 - értékelő táblázat

Equation	y = a + b*x	
Plot	Friss	Értelt
Weight	Instrumental	
Intercept	21,36317 ± 0,29349	33,96453 ± 16,32872
Slope	0,38798 ± 0,03871	0,75716 ± 0,15373
Residual Sum of Squares	20,24619	159,65864
Pearson's r	0,98539	0,94337
R-Square(COD)	0,971	0,88994
Adj. R-Square	0,96133	0,85325

10. ábra Az erjesztési maradékkal kijuttatott N, és az érlelés hatása a talaj NO₃-N tartalmára humuszos homok talajon, 2010 - értékelő táblázat

Equation	y = a + b*x	
Plot	Friss	Értelt
Weight	Instrumental	
Intercept	23,28925 ± 0,85394	33,11711 ± 4,78344
Slope	3,0841 ± 0,01005	2,72959 ± 0,06125
Residual Sum of Squares	172,13791	26,24507
Pearson's r	1,02917	0,99925
R-Square(COD)	0,99997	0,99849
Adj. R-Square	0,99996	0,99799

11. ábra Az erjesztési maradékkal kijuttatott N, és az érlelés hatása a talaj ásványi nitrogén (NH₄+NO₃-N) tartalmára humuszos homok talajon, 2010 - értékelő táblázat

Equation	y = a + b*x	
Plot	Bekevert	Visszamért
Weight	Instrumental	
Intercept	1E-10 ± 8,29573E-19	23,36637 ± 0,51396
Slope	3,62372 ± 9,49809E-4	3,17677 ± 0,04046
Residual Sum of Squares	2,06458	62,15212
Pearson's r	1	0,99976
R-Square(COD)	1	0,99951
Adj. R-Square	1	0,99935

12. ábra Az erjesztési maradékkal a talajba juttatott és visszamért NH₄+NO₃-N mennyisége humuszos homok talajon, 2010 - értékelő táblázat

Model	Exponential				
Equation	y = y0 + A*exp(RO*x)				
Plot	0	425	85	1275	170
y0	99,2 ± --	101,42857 ± 0,42405	97,95987 ± 0,94885	102,38653 ± 1,28634	93,64951 ± 1,5328
A	-- ± --	-1,51828E37 ± 2,00158E44	-20966,17322 ± 15272,34881	-12583,24168 ± 4572,01922	-2287,67945 ± 563,05832
RO	-8,88178E-16 ± --	-16,75049 ± 2,63665E6	-1,21697 ± 0,14532	-0,98347 ± 0,07222	-0,65196 ± 0,04844
Reduced Chi-Sqr	0	1,14286	4,00888	6,58617	7,22918
R-Square(COD)	0	0,86354	0,9897	0,99544	0,99459
Adj. R-Square	-0,4	0,80896	0,98558	0,99362	0,99243

13. ábra Az erjesztési maradék hatása az angolperje csírázási dinamikájára humuszos homok talajon, 2010 - értékelő táblázat

Equation	y = a + b*x	
Plot	pHH2O	pHKCL
Weight	Instrumental	
Intercept	7,6913 ± 0,05952	6,96109 ± 0,0134
Slope	-0,00715 ± 9,43333E-4	-0,00258 ± 2,16208E-4
Residual Sum of Squares	3,07E-04	1,87E-05
Pearson's r	-0,97488	-0,98965
R-Square(COD)	0,9504	0,97941
Adj. R-Square	0,93387	0,97255

15. ábra Az erjesztési maradék hatása a humuszos homok talaj pH-jára, 2011 - értékelő táblázat

Equation	y = a + b*x
Plot	Széntartalomszáza
Weight	Instrumental
Intercept	0,8054 ± 0,05989
Slope	0,00356 ± 9,8065E-4
Residual Sum of Squares	5,5655
Pearson's r	0,90237
R-Square(COD)	0,81427
Adj. R-Square	0,75237

16. ábra Az erjesztési maradék hatása a talaj széntartalmára, humuszos homokon, 2011 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	CEC
Weight	Instrumental
Intercept	$15,33673 \pm 0,21626$
Slope	$0,03777 \pm 0,00353$
Residual Sum of Squares	0,20233
Pearson's r	0,98718
R-Square(COD)	0,97453
Adj. R-Square	0,96604

17. ábra Az erjesztési maradék hatása a talaj kationcserélő kapacitásának változására humuszos homok talajon, 2011 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	C
Weight	Instrumental
Intercept	$6,39441 \pm 3,11462$
Slope	$11,31715 \pm 3,23814$
Residual Sum of Squares	1,56631
Pearson's r	0,896
R-Square(COD)	0,80282
Adj. R-Square	0,7371

18. ábra A talaj széntartartalma és a kationcserélő kapacitása közötti összefüggés az erjesztési maradék adagok függvényében, 2011 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Só
Weight	Instrumental
Intercept	$0,06545 \pm 0,00697$
Slope	$0,0019 \pm 1,25511E-4$
Residual Sum of Squares	323,21082
Pearson's r	0,99354
R-Square(COD)	0,98712
Adj. R-Square	0,98283

19. ábra Az erjesztési maradék hatása a talaj összes sótartalmára humuszos homok talajon, 2011 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	B
Weight	Instrumental
Intercept	$3,26364 \pm 0,04199$
Slope	$-0,00727 \pm 8,39782E-4$
Residual Sum of Squares	3,63636
Pearson's r	--
R-Square(COD)	--
Adj. R-Square	1

20. ábra Az erjesztési maradék hatása az angolperje friss hajtástömegére humuszos homok talajon, 2011 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Légszáraztömegg
Weight	Instrumental
Intercept	$0,23938 \pm 0,00207$
Slope	$3,03093E-4 \pm 3,35188E-5$
Residual Sum of Squares	0,36598
Pearson's r	0,98799
R-Square(COD)	0,97612
Adj. R-Square	0,96419

21. ábra Az erjesztési maradék hatása az angolperje légszáraz hajtástömegére humuszos homok talajon, 2011 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	B
Weight	Instrumental
Intercept	$6,91143 \pm 0,08728$
Slope	$0,03526 \pm 0,00173$
Residual Sum of Squares	0,32069
Pearson's r	0,99759
R-Square(COD)	0,99519
Adj. R-Square	0,99278

22. ábra Az erjesztési maradék hatása az angolperje szárazanyag tartalmára humuszos homok talajon, 2011 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Nfelvétel
Weight	Instrumental
Intercept	$65,27656 \pm 1,77521$
Slope	$0,08438 \pm 0,02091$
Residual Sum of Squares	1174,09215
Pearson's r	0,94373
R-Square(COD)	0,89062
Adj. R-Square	0,83593

23. ábra Angolperje által talajból kivont nitrogén mennyisége, 2011 - értékelő táblázat

Model	Exponential	
Equation	$y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 \cdot x)$	
Plot	NH4	NO3
y0	$29,60697 \pm 5,42854$	$-102489,07126 \pm 6,72953E7$
A	$-5,13709E8 \pm --$	$102772,68188 \pm 6,72953E7$
R0	$-18,68406 \pm --$	$-1,58015E-4 \pm 0,10359$
Reduced Chi-Sqr	387,2661	2065,42755
R-Square(COD)	0,00339	0,7249
Adj. R-Square	-0,17782	0,67488

Kontroll

Model	Exponential	
Equation	$y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 \cdot x)$	
Plot	NH4	NO3
y0	$-35,01878 \pm 22,13438$	$614,17976 \pm 59,79931$
A	$597,40853 \pm 40,26252$	$-737,43946 \pm 197,84317$
R0	$-0,26191 \pm 0,04296$	$-0,34911 \pm 0,16777$
Reduced Chi-Sqr	849,13522	12146,93729
R-Square(COD)	0,96371	0,70488
Adj. R-Square	0,95711	0,65122

80 kg ha⁻¹

Model	Exponential	
Equation	$y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 \cdot x)$	
Plot	NH4	NO3
y0	$-77,62846 \pm 42,84921$	$776,62697 \pm 82,46816$
A	$892,12118 \pm 47,69646$	$-1102,32503 \pm 178,09163$
R0	$-0,20801 \pm 0,03533$	$-0,28355 \pm 0,10172$
Reduced Chi-Sqr	1625,70218	14478,66421
R-Square(COD)	0,97045	0,83641
Adj. R-Square	0,96508	0,80667

120 kg ha⁻¹

Model	Exponential	
Equation	$y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 \cdot x)$	
Plot	NH4	NO3
y0	-191,69833 ± 117,0635	790,55822 ± 91,22072
A	1173,87063 ± 88,46328	-14209,58033 ± 2,94861E15
R0	-0,15063 ± 0,03993	-14,91237 ± 2,07508E11
Reduced Chi-Sqr	4108,64521	99861,02691
R-Square(COD)	0,9562	-0,36675
Adj. R-Square	0,94824	-0,61525

170 kg ha⁻¹

24. ábra Az erjesztési maradék, és a bekeverés óta eltelt idő hatása az NH₄-N és NO₃-N tartalom változására, 2012 - értékelő táblázat

Equation	$y = \text{Intercept} + B1 \cdot x^1 + B2 \cdot x^2$			
Plot	0	80	120	170
Weight	No Weighting			
Intercept	100 ± 3,91702E-14	-13,71212 ± 11,7657	-47,20909 ± 18,13228	-64,60455 ± 7,62787
B1	-2,18565E-14 ± 8,75492E-15	18,12576 ± 2,62975	18,42576 ± 4,05274	15,48864 ± 1,7049
B2	1,02133E-15 ± 4,56754E-16	-0,73485 ± 0,1372	-0,62879 ± 0,21144	-0,375 ± 0,08895
Residual Sum of Squares	7,71E-28	69,5697	165,2303	29,24091
R-Square(COD)	--	0,96102	0,95694	0,99502
Adj. R-Square	--	0,94989	0,94463	0,9936

25. ábra A kezelések csírázási aránya a napok függvényében, 2012 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$	
Plot	ABC	BC
Weight	Instrumental	
Intercept	23,75888 ± 0,28997	22,84191 ± 0,34954
Slope	0,10353 ± 0,06457	1,54691 ± 0,29755
Residual Sum of Squares	41,11886	122,73171
Pearson's r	0,67935	0,94873
R-Square(COD)	0,46152	0,90009
Adj. R-Square	0,28202	0,86679

27. ábra A csontszén és a bioszén kezelések hatása a talaj Arany-féle kötöttség (K_A) értékére, 2013 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$			
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD
Weight	Instrumental			
Intercept	5,83366 ± 0,10428	6,02293 ± 0,07136	5,50714 ± 0,03262	6,0471 ± 0,04134
Slope	0,18656 ± 0,02538	0,13514 ± 0,03189	0,05058 ± 0,00523	-0,01119 ± 0,00931
Residual Sum of Squares	86,25664	59,6241	3,80961	33,32712
Pearson's r	0,97335	0,92568	0,98437	-0,57
R-Square(COD)	0,94741	0,85688	0,96898	0,3249
Adj. R-Square	0,92988	0,80918	0,95863	0,09986

28. ábra A csontszén, bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj vizes pH mérés értékére, 2013 - értékelő táblázat

Equation	y = a + b*x					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	111,12968 ± 2,8424	410,93403 ± 54,17086	111,95333 ± 2,7456	205,03585 ± 26,32852	-- ± --	-- ± --
Slope	1405,70078 ± 132,78623	746,51693 ± 49,58729	2,04809 ± 1,15226	3,63777 ± 4,34928	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	24,63354	3,6125	24,27675	36,38483	--	--
Pearson's r	0,98688	0,99345	0,7162	0,43485	--	--
R-Square(COD)	0,97393	0,98694	0,51294	0,1891	--	--
Adj. R-Square	0,96524	0,98258	0,35058	-0,0812	--	--

29. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj AL-P₂O₅ - tartalmának változására, 2013 - értékelő táblázat

Equation	y = a + b*x					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	117,10345 ± 3,80222	121,70293 ± 6,54538	124,13106 ± 5,1425	125,4309 ± 5,56449	-- ± --	-- ± --
Slope	3,49019 ± 0,46856	2,19803 ± 1,67346	5,25456 ± 1,26039	8,23553 ± 1,94385	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	6,12251	13,69847	9,21015	8,46025	--	--
Pearson's r	0,97401	0,60424	0,92347	0,92563	--	--
R-Square(COD)	0,9487	0,36511	0,8528	0,8568	--	--
Adj. R-Square	0,93161	0,15347	0,80373	0,80907	--	--

30. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a talaj AL-K₂O - tartalmának változására, 2013 - értékelő táblázat

Equation	y = a + b*x					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	0,49812 ± 0,00413	0,51169 ± 0,01004	0,4954 ± 0,0156	0,4958 ± 0,07407	-- ± --	-- ± --
Slope	0,00235 ± 0,00359	0,00349 ± 0,00391	0,08298 ± 0,03749	0,08563 ± 0,03531	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	1,2984	0,53773	18,21749	27,2171	--	--
Pearson's r	0,35265	0,45761	0,78757	0,81379	--	--
R-Square(COD)	0,12436	0,20941	0,62027	0,66225	--	--
Adj. R-Square	-0,16752	-0,05412	0,4937	0,54967	--	--

31. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása a szerves széntartalom változására, 2013 - értékelő táblázat

Equation	y = a + b*x					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	0,02635 ± 0,00139	0,03054 ± 6,55881E-4	0,02215 ± 0,0024	0,02879 ± 0,00293	-- ± --	-- ± --
Slope	0,00487 ± 6,92768E-4	0,00472 ± 1,2159E-4	2,52445E-4 ± 5,0001	5,9392E-4 ± 4,86754E-4	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	12,27872	5,8895	16,899	12,21376	--	--
Pearson's r	0,97098	0,99901	0,27984	0,57591	--	--
R-Square(COD)	0,9428	0,99801	0,07831	0,33167	--	--
Adj. R-Square	0,92373	0,99735	-0,22892	0,10889	--	--

32. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az összes sótartalom változására, 2013 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	0,27089 ± 0,01281	0,35962 ± 0,03219	0,27361 ± 0,01215	0,34407 ± 0,00669	-- ± --	-- ± --
Slope	0,00175 ± 0,00247	1,62489E-4 ± 0,01084	6,68601E-4 ± 0,0020	0,0029 ± 0,00212	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	4,44692	18,5025	5,32646	5,7241	--	--
Pearson's r	0,37781	0,00866	0,18351	0,61965	--	--
R-Square(COD)	0,14274	7,49E-05	0,03367	0,38397	--	--
Adj. R-Square	-0,14301	-0,33323	-0,28843	0,17862	--	--

34. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje légszárz hajtástömegének változására, 2013 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	1,04257 ± 0,02974	0,92795 ± 0,00947	1,10115 ± 0,06011	0,84544 ± 0,01348	-- ± --	-- ± --
Slope	0,03716 ± 0,00642	-0,01403 ± 0,00112	-0,00929 ± 0,01563	0,01497 ± 0,00262	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	2,14692	0,31118	9,84198	2,21372	--	--
Pearson's r	0,97142	-0,99365	-0,38731	0,9706	--	--
R-Square(COD)	0,94366	0,98734	0,15001	0,94206	--	--
Adj. R-Square	0,91549	0,98101	-0,27499	0,91309	--	--

35. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje foszfor tartalmára, 2013 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	35,92969 ± 1,79685	17,52719 ± 3,4208	34,32789 ± 1,1985	29,05992 ± 3,95395	-- ± --	-- ± --
Slope	1,23569 ± 0,53082	1,26118 ± 0,93621	0,25474 ± 0,32207	-1,05659 ± 1,3247	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	5,79574	91,68943	1,55542	27,947	--	--
Pearson's r	0,80229	0,61393	0,41539	-0,41828	--	--
R-Square(COD)	0,64367	0,37691	0,17255	0,17496	--	--
Adj. R-Square	0,52489	0,16921	-0,10327	-0,10006	--	--

36. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje foszfor felvételére, 2013 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	1,56152 ± 0,36671	1,94462 ± 0,13862	1,95618 ± 0,10619	2,10497 ± 0,38514	-- ± --	-- ± --
Slope	0,03597 ± 0,0572	0,039 ± 0,02411	-0,05197 ± 0,01783	-0,02506 ± 0,05394	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	243,00984	48,83802	26,63007	140,38422	--	--
Pearson's r	0,40636	0,75289	-0,89966	-0,31214	--	--
R-Square(COD)	0,16513	0,56685	0,80938	0,09743	--	--
Adj. R-Square	-0,25231	0,35027	0,71407	-0,35385	--	--

37. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje kálium tartalmára, 2013 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	61,00888 ± 18,68888	37,73059 ± 6,18385	64,84116 ± 2,44248	48,37459 ± 3,27005	-- ± --	-- ± --
Slope	1,51467 ± 3,1616	5,54872 ± 0,81252	-1,3094 ± 0,32542	1,70599 ± 1,30855	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	50,59005	20,20547	3,61487	2,78242	--	--
Pearson's r	0,32085	0,97922	-0,94342	0,6778	--	--
R-Square(COD)	0,10295	0,95888	0,89005	0,45942	--	--
Adj. R-Square	-0,34558	0,93832	0,83507	0,18912	--	--

38. ábra A csontszén, a bioszén és az erjesztési maradék hatása az angolperje kálium felvételére, 2013 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	1808,37253 ± 29,41402	2413,16785 ± 29,65323	1733,04155 ± 103,40	2173,33781 ± 52,3384	-- ± --	-- ± --
Slope	-64,97707 ± 8,94603	-131,36546 ± 7,77955	-63,11691 ± 43,2016	-68,06852 ± 7,65882	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	7,84364	1,56355	90,20411	16,02569	--	--
Pearson's r	-0,97272	-0,99478	-0,64476	-0,98153	--	--
R-Square(COD)	0,94619	0,98959	0,41571	0,96341	--	--
Adj. R-Square	0,92826	0,98612	0,22095	0,95121	--	--

39. ábra Növények kalcium tartalmának összehasonlítása az erjesztési maradékot tartalmazó, és az erjesztési maradékot nem tartalmazó csontszén, illetve bioszén kezelések között, 2013 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	605,84567 ± 6,42768	1075,85367 ± 36,8661	557,04562 ± 76,2811	791,53866 ± 4,06829	-- ± --	-- ± --
Slope	10,08272 ± 0,73637	-24,19101 ± 7,32309	0,66069 ± 14,90634	-29,30399 ± 2,74732	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	0,66098	3,24962	43,11101	1,97189	--	--
Pearson's r	0,99471	-0,9193	0,03133	-0,99132	--	--
R-Square(COD)	0,98944	0,84511	9,81E-04	0,98272	--	--
Adj. R-Square	0,98417	0,76766	-0,49853	0,97409	--	--

40. ábra Növények magnézium tartalmának összehasonlítása az erjesztési maradékot tartalmazó, és az erjesztési maradékot nem tartalmazó csontszén, illetve bioszén kezelések között, 2013 - értékelő táblázat

Equation	$y = a + b \cdot x$					
Plot	ABC	ABCAD	BC	BCAD	Control	ControlAD
Weight	Instrumental					
Intercept	178,13132 ± 12,35522	151,85277 ± 6,57148	142,78746 ± 6,42979	109,78083 ± 16,0126	-- ± --	-- ± --
Slope	5,26484 ± 2,61614	6,25421 ± 1,56687	-7,39594 ± 1,14782	-3,48579 ± 3,64415	-- ± --	-- ± --
Residual Sum of Squares	31,21862	10,21649	16,74352	114,14451	--	--
Pearson's r	0,75793	0,91735	-0,96572	-0,48344	--	--
R-Square(COD)	0,57447	0,84154	0,93261	0,23371	--	--
Adj. R-Square	0,43262	0,78872	0,91015	-0,02172	--	--

41. ábra Növények mangán tartalmának összehasonlítása az erjesztési maradékot tartalmazó, és az erjesztési maradékot nem tartalmazó csontszén, illetve bioszén kezelések között, 2013 - értékelő táblázat

