

Nyugat-magyarországi Egyetem
Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola
Biokörnyezettudomány program

Potyondi László

CUKORRÉPA ÉS EGYÉB MAGAS SZÉNHIDRÁTTARTALMÚ NÖVÉNYEK
ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Témavezető:

Prof. Dr. DSc. habil Marosvölgyi Béla

Sopron

2016

CUKORRÉPA ÉS EGYÉB MAGAS SZÉNHIDRÁTTARTALMÚ NÖVÉNYEK
ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:

Potyondi László

Készült a Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola

Biokörnyezettudomány programja keretében

Témavezető:

Dr. Marosvölgyi Béla

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el,

Sopron,

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

.....
(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem

.....
(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem

.....
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,.....

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....
Az EDHT elnöke

NYILATKOZAT

Alulírott **Potyondi László** jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a „**Cukorrépa és egyéb magas szénhidráttartalmú növények energetikai hasznosítási lehetőségei**” című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.¹

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezetőimet, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Nyugat-magyarországi Egyetem megtagadja az értekezés befogadását. Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2016. április 6.

.....
doktorjelölt

¹1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

TARTALOM JEGYZÉK

KIVONAT.....	7
ABSTRACT.....	8
1. BEVEZETÉS.....	9
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	11
2.1 A megújuló energia hasznosítás helyzete.....	11
2.1.1 Megújuló energia felhasználás jelenlegi helyzete a világban.....	11
2.1.2 A világ biomassza termelése és hasznosítása.....	13
2.1.3 Megújuló energia termelés az Európai Unióban.....	15
2.1.4 Bioüzemanyag és biogáz felhasználás az Európai Unióban.....	18
2.1.5. A bioüzemanyag és biogáz előállítás és felhasználás helyzete a Duna-régióban	20
2.1.6 A bioüzemanyag és biogáz előállítás és felhasználás helyzete Magyarországon	23
2.2 Potenciális bioüzemanyag ill. biogáz alapanyag növények	25
2.2.1. Energia termelési lehetőségek a perspektivikus szántóföldi növényekből.....	26
2.3 Bioenergia előállítási módszerek.....	27
2.3.1 Égetés.....	27
2.3.2 Bioüzemanyag etanol előállítás (első és második generációs).....	29
2.3.3 Biogázosítás	33
2.3.4 Pirolízis.....	39
2.3.5 Biogáz iszap hasznosítás szántóföldi tápanyag utánpótlásban.....	40
2.4 Irodalmi adatok értékelése célok megfogalmazása.....	41
3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK.....	42
3.1 Biogáz kihozatali vizsgálatok.....	42
3.2 Energetikai potenciálok számítása	43
3.3 Szántóföldi tápanyag visszapótlási kísérletek alapadatai	44
3.4 Szántóföldi tápanyag visszapótlási kísérletek időjárása.....	44
3.4 .1 A kukorica kísérletek időjárásának alakulása.....	44
3.4 .2 A búza kísérletek időjárásának alakulása.....	46
3.5 A szántóföldi kísérletekhez kapcsolódó analitikai vizsgálatokban alkalmazott mérési módszerek	48
3.6 Az alkalmazott statisztikai módszerek.....	50

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	51
4.1 Biogáz kihozatali vizsgálatok eredményei.....	51
4.1.1 A vizsgált növények beltartalmi adatai.....	51
4.1.2 Biogáz előállítási vizsgálatok eredményei.....	55
4.1.2.1 Silókukorica fajták.....	55
4.1.2.2 Cirok fajták.....	57
4.1.2.3 Cukorrépa fajták	60
4.1.2.4 A különböző növények biogáz termelésének összehasonlítása.....	62
4.1.2.5 Cukorrépa növény különböző különböző feldolgozási maradékainak biogáz kihozatali vizsgálata.....	64
4.1.2.6 A csicsóka növény különböző részeinek és feldolgozási maradékának vizsgálata.....	66
4.1.2.7 A különböző növényei részek és feldolgozási maradékok biogáz termelésének összehasonlítása	68
4.1.2.8 A különböző növények növényei részek és feldolgozási maradékok biogáz termelésének összehasonlítása.....	69
4.2 Energetika potenciálok számítása.....	71
4.2.1 Termőterületek potenciálja.....	71
4.2.2 Termés potenciálok.....	75
4.2.3 Energia potenciálok a biogáz célú növény termesztésekből.....	78
4.2.4 A vizsgált régiók energia potenciáljai a növények biogázosítására alapozva...81	
4.3 Biogáz fölös-iszap szántóföldi tápanyag kísérletek eredményei.....	84
4.3.1 Kukorica kísérletek.....	84
4.3.1.1 A kukorica alá kijuttatott biogáz iszapok.....	84
4.3.1.2 A kukorica kísérleti területek talajadatai.....	86
4.3.1.3 Kukorica kísérletek termés és minőség eredményei.....	89
4.3.1.4 A talajok tápelem tartalmának változása a kukorica kísérletekben.....	92
4.3.2 Búza kísérletek.....	99
4.3.2.1 A búza alá kijuttatott biogáz iszapok.....	99
4.3.2.2 A búza kísérleti terület talajadatai.....	101
4.3.2.3 Búza kísérletek termés és minőség eredményei.....	103
4.3.2.4 A talajok tápelem tartalmának változása a búza kísérletekben.....	108
4.3.3 Biogáz fölös-iszap trágyázási kísérletek összefoglaló értékelése.....	114
4.4 A magas szénhidráttartalmú növények energetikai hasznosításának környezetvédelmi szempontjai (Különös tekintettel a cukorrépára).....	119
TÉZISEK.....	121
FELHASZNÁLT IRODALOM.....	123
MELLÉKLETEK.....	133

KIVONAT

A dolgozat áttekinti az Európai Unió és ezen belül a Duna-régió országai illetve Magyarország bioenergia (bioüzemanyag és biogáz) előállítási lehetőségeit és elemzi a jelenleg legfontosabbakat. Az vizsgálatok alapján minden elemzett régióban a biogáz előállítási célú szántóföldi energia növény termesztés előtt áll a legnagyobb lehetőség. Az erre a célra alkalmas növények közül négy (silókukorica, silócirok, cukorrépa és csicsóka) biogáz kihozatalait laboratóriumi batch fermentációs kísérletekben elemezve a Magyarországon termesztésben levő fajták biogáz hozamának változatosságát (silókukorica, silócirok és cukorrépa), illetve a biogáz előállítás céljára felhasználható növényi részek és melléktermékek (cukorrépa, csicsóka) biogáz potenciáljait mutatja be. A biogáz kihozatali eredmények irodalmi összevetése után kapott a silókukorica és a cukorrépa biogáz célú termesztésével elérhető energia potenciálokat a vizsgált régiók (EU, Duna-régió, Magyarország) szintjére kiterjesztve elemzi. A minden régióban legmagasabb hektáronkénti hozamokat elérő cukorrépa teljes biogáz célú felhasználási ciklusának utolsó fázisát a biogáz iszapok szántóföldi tápanyag után pótlásban történő felhasználását több éves kísérletek alapján elemezve nem az iszap trágyázás nem volt negatív hatással a talaj tápelem tartalmára (toxikus elemek) viszont a legtöbb esetben szignifikánsan növelte a terméseket. Összességében a vizsgált növények közül energetikai szempontból minden régióban a cukorrépa tűnik a perspektivikusabbnak.

ABSTRACT

The study reviews the possibilities of bioenergy (biofuel and biogas) production in the European Union, in the EU countries of the Danube-region and in Hungary. After the analysis of different methods the biogas production seems the most promising for bioenergy production in arable land. To select the most suitable crops for this aim, four different plants (silage maize, sorghum, sugar beet, Jerusalem artichoke) were tested in batch fermentors in laboratory for biogas production. The diversity of biogas production from different varieties of silage mais, sorghum and sugar beet, and from different parts of sugar beet and Jerusalem artichoke with their processing by-products are demonstrated, respectively. The energy potentials received after the comparison of results from batch fermentation with the data from literature were extended to the levels of analyzed regions. Sugar beet gives the highest biogas yield pro hectar in all regions. For this reason the utilization of sludge from biogas production from sugar beet pressed pulp for fertilization in fields were examined. From the results of three years field trials with winter wheat and corn no negative effects on soil nutrient (toxic elements) content were found and the yields of crops were increased. Based on these analyses sugar beet seems the most promising among the investigated plants in all regions.

1. BEVEZETÉS

A növényi termékek energetikai hasznosítása már a növénytermesztés kezdetén is megvalósult, hiszen a száraz melléktermékek elégetése és fűtési célú felhasználása minden kultúrában megfigyelhető. Emellett az energetikai célú növénytermesztés az igavonó állatok táplálékának előállításával, „mint növényi alapú hajtóanyag”, szintén a növénytermesztés kezdetétől jelen van.

Azonban a fosszilis energia hordozók fogyása, illetve véges volta miatt jelentőségük évről évre növekszik. Bár a jelenlegi alacsony üzemanyag árak nem kedveznek a bio- hajtóanyagok piacának, azonban hosszútávon mindenképpen egy növekvő piaccal lehet számolni.

Az utóbbi években fokozódó környezetvédelmi szempontok, különösen a légkörbe kerülő üvegházhatású gázok csökkentére irányuló törekvések, (Párizsi Klímacsúcson született megegyezések), szintén a biológiai alapú energia előállításra, mint a megoldás egyik elemére hívják fel a figyelmet.

Ugyanakkor a bioenergia előállítás nem történhet a lakosság biztonságos élelmiszer ellátásának rovására. Ezért minden esetben vizsgálni kell az adott régiók élelmiszer termelési szükségleteit, illetve a biztonságos lakossági ellátáshoz rendelkezésre álló piaci lehetőségeit.

A jelenlegi felfokozott politikai légkörben, egyes régiók (pl.: Közel-keleti arab országok) élelmiszertermelése jelentősen lecsökkent, de hasonló jelenség léphet fel a klímaváltozás okozta időjárási szélsőségek hatására is. Ebben a tekintetben újra felvetődik a bioenergia termelésnek a klímaváltozás negatív hatásait csökkentő szerepe.

A biztonságos élelmiszer termelés szempontjából fontos szempont, hogy a szántóföldi növények bioenergia előállítás céljából történő termesztése minél kisebb területet foglaljon el az élelmiszer növények elől. Ezért a rendelkezésre álló területek lehető legjobb kihasználásához a hektáronkénti energia hozamok maximalizálására törekedve kell kiválasztani a termesztendő növényeket.

Azonban csak a maximális termések elérésére történő törekvés sem gazdasági, sem energetikai sem környezetvédelmi szempontból nem megengedhető. Ezért vizsgálni kell a ráfordítások és hozamok alakulását is, illetve a termesztés energia mérlegének kell minél pozitívabbnak mutatkoznia, hiszen ez mind a gazdasági, mind környezetvédelmi (az energia mérleg és a széndioxid kibocsátás mérlege megközelítőleg együtt mozog) szempontból előnyös.

A dolgozatban vizsgált növények kiválasztásánál alapvető szempont volt, hogy már a jelenleg is jól kialakult és folyamatosan fejlődő energia pozitív agrotechnikai és műszaki megoldások álljanak rendelkezésre a termesztésük során.

A másik fontos szempont volt, hogy a kiválasztott növények a betakarított fő termények mellett jelentős mennyiségű melléktermék produktummal is rendelkezzenek, ami energia termeléshez felhasználható.

Ezek alapján a silókukorica és cirok mint a jelenlegi termesztéstechnológiákba könnyen illeszthető növények, - (kukorica termesztés géprendszerével termesztethetők) -, illetve a cukorrépa és csicsóka mint alacsony energia szinten nagy melléktermék mennyiséget adó alapanyagok, - (feldolgozásuk során az üzemekben keletkező préselt szeletek szállítási költség nélkül rendelkezésre álló energia források) -, biogáz termelését vizsgáltuk.

A dolgozatban irodalmi adatok alapján elemeztük a megújuló energia felhasználás alakulását világ és Európai Unió szinten, majd a szántóföldön megtermelhető bioüzemanyag és biogáz termelések alakulását tekintettük át a Duna-régió és Magyarország lehetőségeit is vizsgálva.

A vizsgálatok során a perspektivikusnak talált növények ill. melléktermékek biogáz kihozatalát laboratóriumi kísérletekben vizsgáltuk, majd számítottuk a különböző régiókban elérhető hozamaikat.

A legperspektivikusabbnak talált cukorrépa biogázosítás folyamatának utolsó lépésében keletkező melléktermék a biogáziszap tápanyag hatását szántóföldi kísérletekben vizsgáltuk.

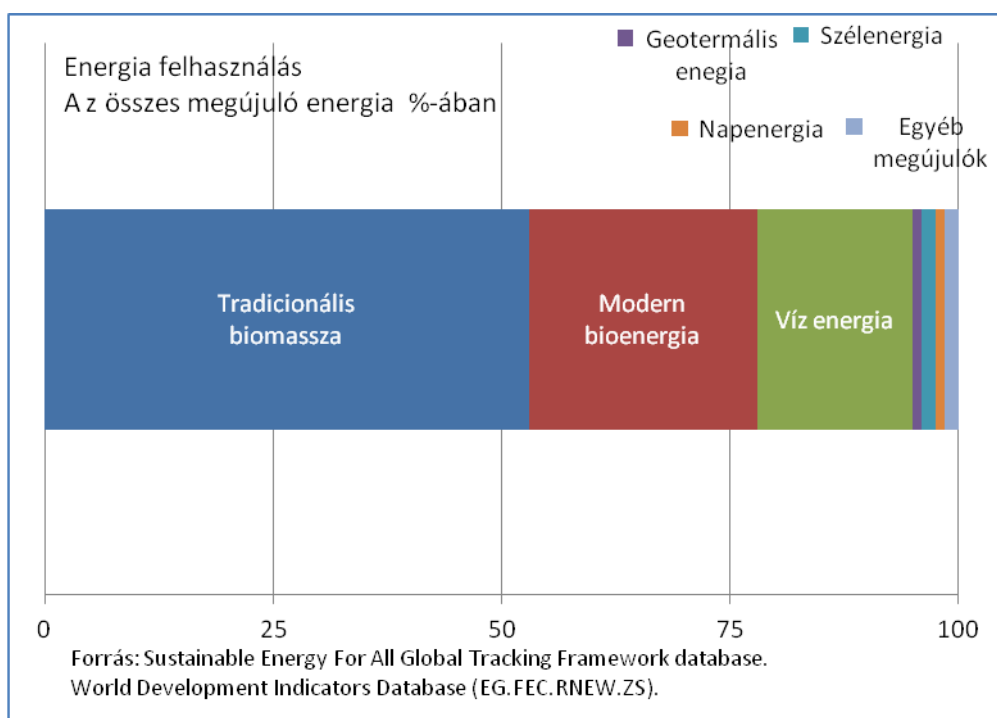
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A megújuló energia hasznosítás helyzete

2.1.1 Megújuló energia felhasználás jelenlegi helyzete a világban

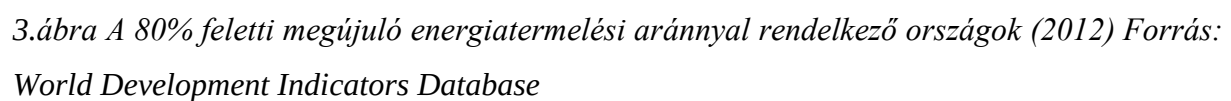
A világbank legújabb értékelése alapján (*World Development Indicators, 2016*), 1990 és 2013 között a világ energia fogyasztása 54 %-al nőtt, míg a teljes népesség növekedés 36% körül alakult. Habár a megújuló energiák felhasználása is folyamatosan fejlődik jelenleg még a felhasznált energia 81 %-a fosszilis eredetű a világban.

A megújuló energia felhasználás legnagyobb hányadát a tradicionális biomasszák (fa, faszén) adják (1. ábra). A modern megújulók közül a modern biomassza hasznosítás és vízenergia a teljes energia felhasználás 3-4 %-át adják. A többi modern megújuló, mint az egyéb biomassza (bioetanol, biogáz stb.), geotermális, szél és nap, kb. 1-1 %-al részesülnek jelenleg belőle.



1. ábra. A világ megújuló energia forrásainak megoszlása 2010-ben

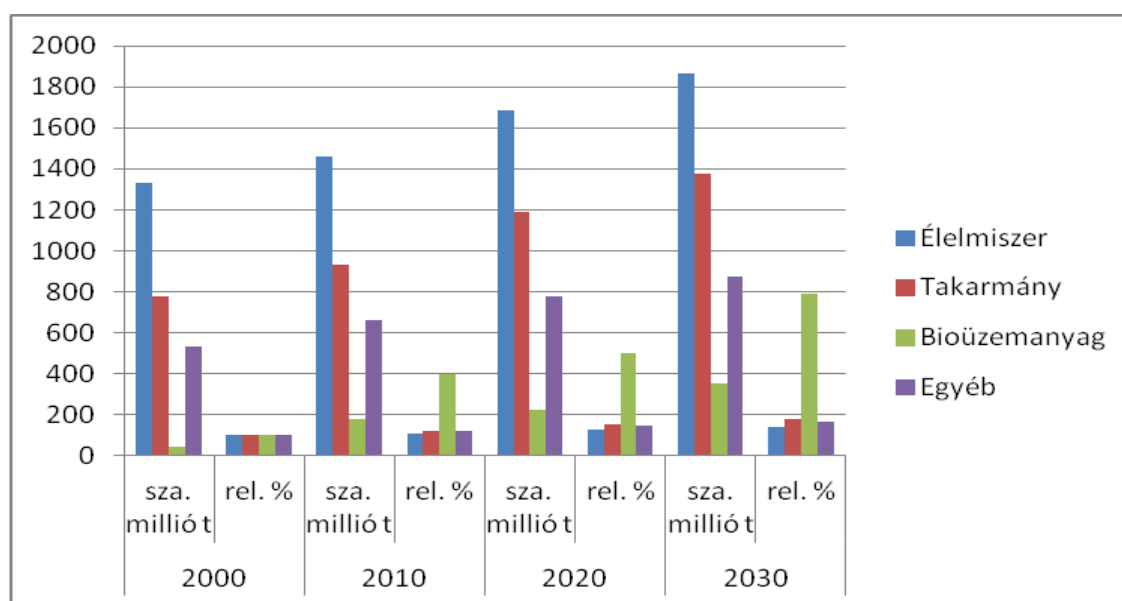
A megújuló energia hasznosítás alakulása a világ különböző országaiban eltérő. A szegényebb országokban a részaránya fokozatosan csökken, ahogy a tradicionális biomassza helyett a modernebb energia forrásokat használják fűtésre és főzésre. Fordított tendencia figyelhető meg a gazdagabb országokban a modern megújulók terjedésével, bár még így is alacsony a részarányuk a teljes energia termelésből (2. ábra).



A világrangsor Paraguay vezet, ahol az összes áramtermelés 100%-át vízerőművek adják, ráadásul a megtermelt energia közel 90%-át külföldre exportálják. A listán többnyire dél-amerikai és afrikai országok dominálnak, 80% feletti részaránnyal a 2012-es adatok alapján 15 ország büszkélkedhetett. Európában a vízenergia és a geotermikus energia miatt Izland (99,98%) és Norvégia (97,98%) vezet a rangsort.

2.1.2 A világ biomassza hasznosítása és termelése

Az emberiség biomassza felhasználása elsősorban a létfenntartás céljait szolgálja, azaz élelmiszerként és állati takarmányként hasznosul (4. ábra). Ezek együttes mértéke 2000-ben közel 80 % volt ami 2030-ra bár volumenében növekedni fog, de az összes felhasználáson belüli aránya már 70% körülire csökken. A csökkenés elsősorban a bioüzemanyagok terjedésének lesz köszönhető, amely a prognózisok szerint 2030-ra közel megnyolcszorozza a 2000-es szintjét.



4. ábra A világ biomassza felhasználásának előrejelzése 2030-ig. Forrás: Ecofys-IIASA-E4tech - The LUC impact of biofuels consumed in the EU + saját kalkuláció

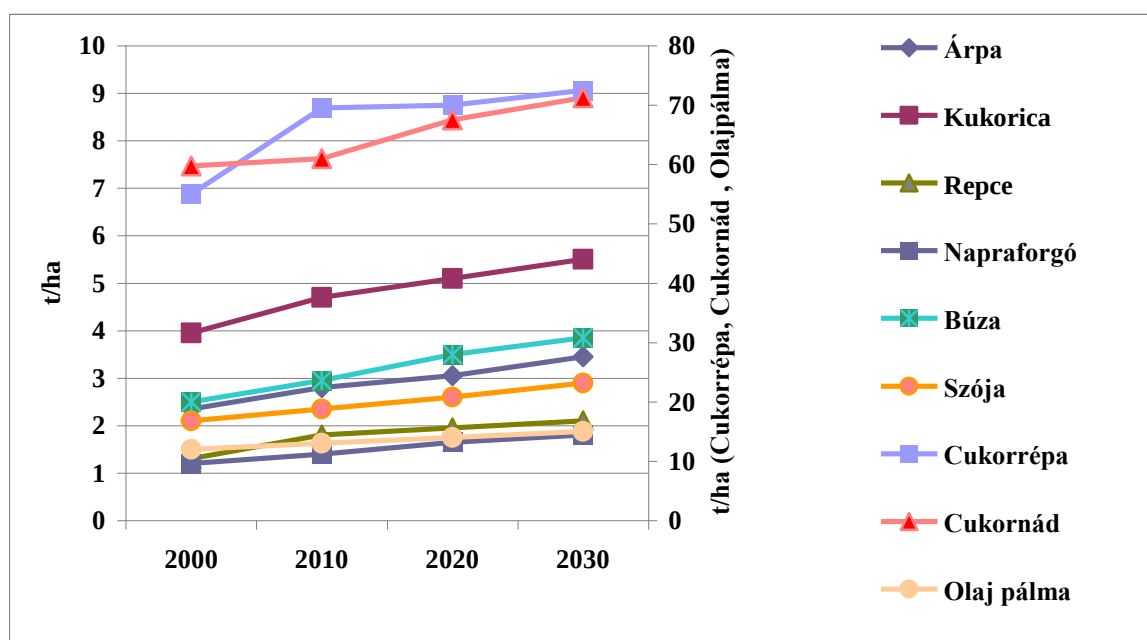
A biomassza energetikai célú felhasználásához jelenleg elsősorban az erdők adják a legtöbb alapanyagot, azonban a bioüzemanyag és biogáz termelés alapanyagai még, (a második generációs bioetanol üzemek nagyobb mértékű elterjedéséig), a mezőgazdasági területekről általában direkt energia célú termesztésekből származnak.

Az 1. táblázatból látható, hogy a világban a kukorica és cukornád a legfontosabb források, míg az EU-ban a repce, a szója és silókukorica után a cukorrépa is fontos energia forrás és az előrejelzések szerint az is marad.

1.táblázat A bioüzemanyag és biogáz termelés főbb alapanyag növényei (Forrás: iEcofys-IIASA-E4tech - The LUC impact of biofuels consumed in the EU)

Alapanyagok	Bioüzemanyag és biogáz termelés (PJ/év)							
	2000		2010		2020		2030	
	EU	Világ	EU	Világ	EU	Világ	EU	Világ
Kukorica		130	10	1,055	9	1,166	9	1,183
Pálmaolaj	2			29		95		94
Repce	20		212		202		198	
Szója	3	0	93	166	88	388	86	509
Cukorrépa			19		18		17	
Cukornád		204		488		826		1,093
Napraforgó	0		5		4		4	
Búza		4	12	28	11	44	11	61
Silókukorica			155		155		155	

A szántóföldön termesztett bioüzemanyag alapanyag növények termés hozamai is folyamatos javulnak az előrejelzések szerint. 2000 és 2030 között a repce, a búza és a napraforgó hektáronkénti termései akár 50 %-al javulhatnak világszinten. A cukorrépa hektáronkénti hozama már napjainkban is elkerülte a cukornádét és közel 70 t/ha körül mozog (5.ábra).



5.ábra A bioüzemanyag termelésre használható fontosabb szántóföldi növények hozam előrejelzése (Forrás: Ecofys-IIASA-E4tech - The LUC impact of biofuels consumed in the EU)

2.1.3 Megújuló energia termelés az Európai Unióban

Az Európai Unió megújuló energia termelését és fogyasztását különböző direktívákban igyekszik szabályozni. A célok egyre markánsabbak, az Európai Unió által kiadott Megújuló Energia Irányelv alapján 2020-ra az Unió végső energiafelhasználásának 20 százalékát megújuló energiaforrásból kell biztosítani. Ehhez tagországoként más-más célszám tartozik a Málta 10%-ától Svédország 49 %-áig. Magyarország célszáma a 13%.

Figyelembe véve a zöldgazdaság-fejlesztés nemzetgazdasági jelentőségét, a foglalkoztatásra gyakorolt hatását (legalább 150-200 ezer, ezen belül a megújuló energia iparágban 70 ezer munkahely létrehozását), és a hazai értékteremtésben kijelölt szerepét, a nemzeti érdekekkel összhangban Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve reális célkitűzésként a kötelező minimum célszámot meghaladó, 14,65 százalékos cél elérését tűzte ki 2020-ra (Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve)

Az Európai Parlament és Tanács 2009/28/EK irányelve a megújuló energiaforrásból előállított energia támogatásáról az általános célszámokon belül a bioüzemanyagok egységesen 10 %-os kötelező arányát is előírja.

Ugyanakkor lehetővé teszi, hogy a más tagállamban felhasznált energiát vagy a közösségen kívülről importált villamosenergiát – származási garancia mellett – az exportőr tagállam beszámítsa a saját energia- felhasználásába.

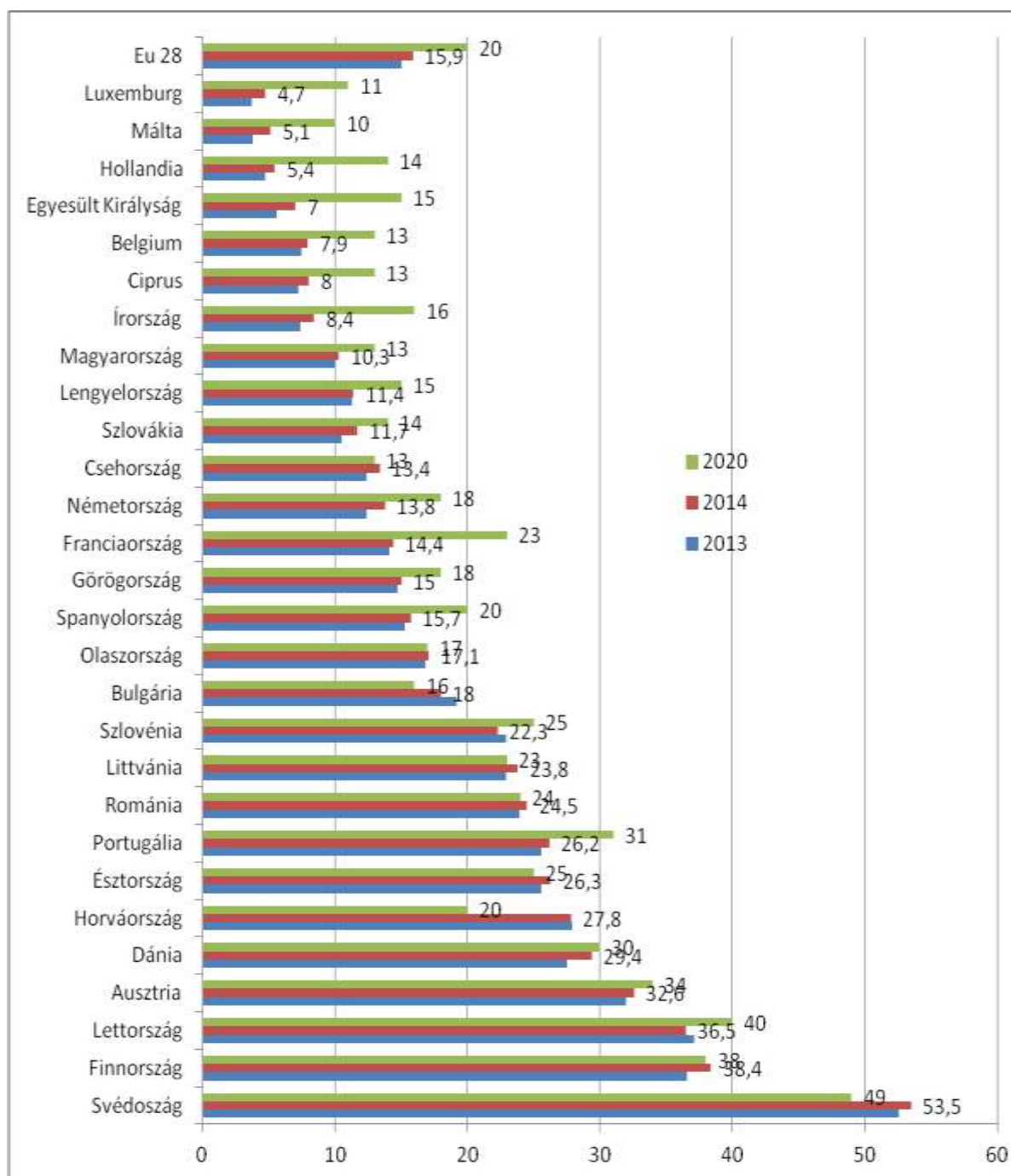
A tagállamoknak a célok megvalósításáról nemzeti cselekvési terveket kell készíteni és kétévente jelenti az előrehaladást.

Mint az 6. ábrából látható már jelenleg is több ország túlteljesítette a vállalását (Svédország, Finnország, Horvátország, Észtország, Románia, Litvánia, Bulgária Olaszország és Csehország), de több nagy ország még jelentős elmaradásban van. Összességében az Európai Unióban 2014-ben 15,9 %-os volt megújuló energiák felhasználása az összes energia fogyasztáson belül. Mindez a környezetvédelmi szempontok mellett a külső energia függőség csökkentésében is fontos szerepet játszik.

Az EU- valamennyi dokumentumában a célokat 3 pillér mentén határozza meg: versenyképesség, ellátásbiztonság, környezetvédelem.

Ezekben belül a biomassza energetikai felhasználásának magyarországi céljai a következők lehetnek (Kazai 2008):

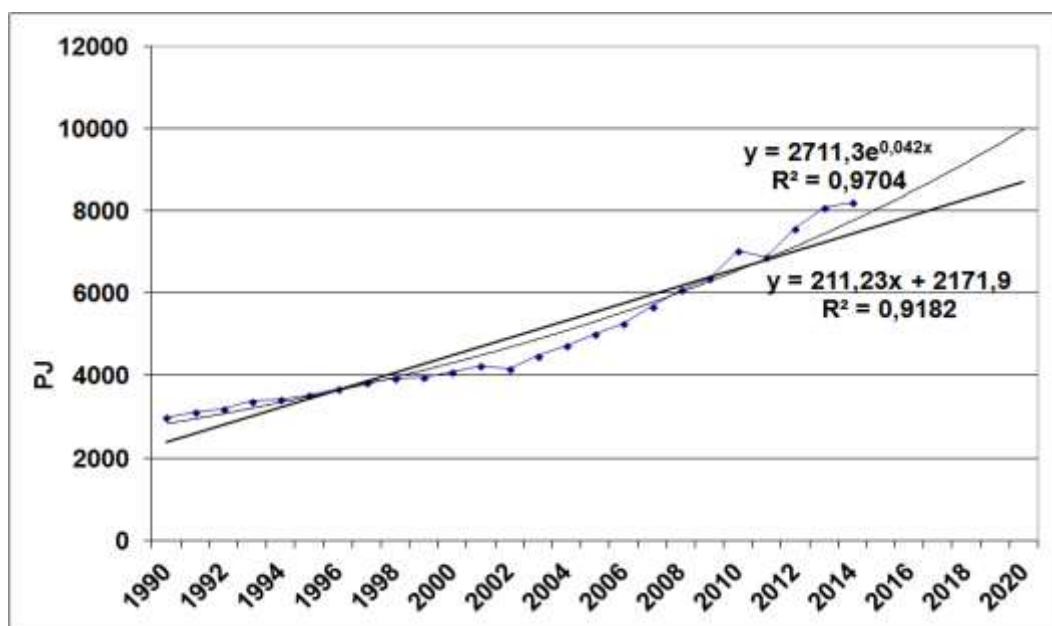
- Üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése.
- Importfüggőség kiváltása – önellátás növelése.
- A mezőgazdasági termelés jövedelmezőképességének növelése, diverzifikálása.
- Exportbevételek növelése.
- A külföld nyersanyaggal való ellátása.
- Befektetői igények kielégítése.



Forrás:EUROBSERV'ER – THE STATE OF RENEWABLE ENERGIES IN EUROPE – 2015 EDITION

6.ábra A megújuló energiák részaránya az Európai Unió tagországainak energia felhasználásában 2013-ban és 2014-ben valamint az országok 2020-ra vállalt célértékei

Az Eurostat adatokból végzett trendszámítások alapján 2020-ra az EU megújuló energia termelés pesszimistább becslések alapján is meg közelíti a 9000 PJ-t, a jobb korrelációt mutató görbe szerint pedig a 10000 PJ-t is elérheti. (7.ábra)



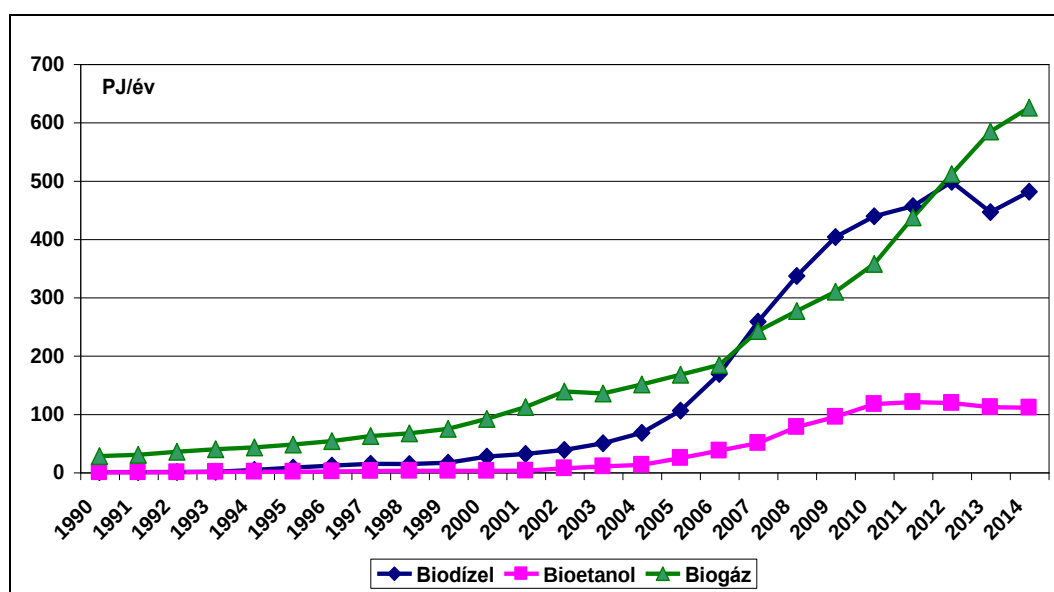
7.ábra Az EU megújuló energia termelésének alakulása 1990-től és lehetséges trendjei 2020-ig (Eurostat adatok alapján saját kalkuláció)

2.1.4 Bioüzemanyag és biogáz felhasználás az Európai Unióban

Bioüzemanyag alatt értjük a bioetanolt, a biometanolt, a növényi olajokat, a biodízel, a biogázt, a bioszintézis gázokat (bio-syngas), a bio-olajat, a bio-szenet, a Fischer-Tropsch folyadékot és a biohidrogént. A bioüzemanyagok (biohajtóanyagok) elégetésével elektromos energia is termelhető, de általában gépjárművek üzemanyagaként hasznosulnak (Balat 2010). A továbbiakban azonban csak a jelenleg legnagyobb mértékben elterjedt biodízel, bioetanol és biogáz felhasználásokat vizsgáljuk.

Az Unió direktívái a bioüzemanyag szükségletek növekedését vetítik előre, de ez a jelen szabályozások alapján, elsősorban nem a folyékony energia hordozók, hanem a biogázból előállított biometán elterjesztésében fog jelentkezni.

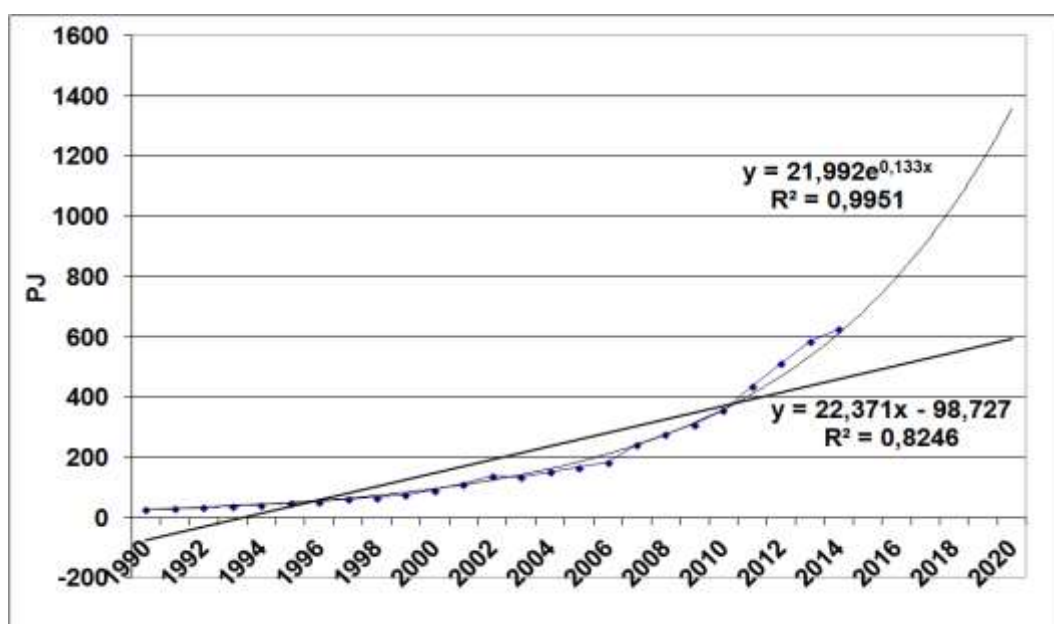
A 8. ábra mutatja az biodízel, bioetanol és biogáz alapú energia felhasználás alakulását 1990-től az EU-ban. Látható, hogy a biodízel felhasználás üteme jelentősen visszaesett az utóbbi években. A 2013 évi csökkenés ellenére 2014-ben elérte 480 PJ-t. A bioetanol felhasználás megtorpanása még jobban követhető; 2010 óta gyakorlatilag nem emelkedik 2014-ben 110 PJ volt. Csak a biogáz alapú energia felhasználás növekszik folyamatosan napjainkig. Energia tartalomban számolva 2012-ben újra megelőzte az EU-ban a legnagyobb mérték használt bioüzemanyag a biodízel felhasználását is. 2014-ben a biogázból származó energia felhasználás 625 PJ volt az Európai unióban.



8.ábra Az EU biodízel, bioetanol és biogáz felhasználásának alakulás 1990-től (Eurostat adatok alapján)

A biodízel és bioetanol felhasználása az utóbbi években gyakorlatilag stagnál és bár a trendek növekedést mutatnának a jogi szabályozás ennek mértékét jelentősen befolyásolja.

Jelenleg úgy tűnik, hogy csak a biogáz felhasználás előtt áll korlátlan lehetőség mind villamos energia célú mind a bioüzemanyag felhasználás tekintetében. Ami a legjobb korrelációt mutató trend alapján akár az 1300PJ-t is elérheti 2020-ra (9. ábra).



9.ábra Az EU biogáz felhasználásának alakulása 1990-től és lehetséges trendjei 2020-ig (Eurostat adatok alapján saját kalkuláció)

Emellett a biogáz termelés és hasznosítás nagy előnye, hogy gyakorlatilag minden szerves anyagból nyerhető biogáz, így a környezetterhelő szerves hulladékok megsemmisítésére is szolgálhat, ami hosszútávon is perspektivikussá teszi használatát. Ráadásul a biogáz előállítás kapcsolható a többi bioüzemanyag előállítási technológiához, ahol a melléktermékként keletkező szervesanyagok felhasználásával nem csupán energia nyerhető, hanem a visszamaradó végtermék szerves trágyaként hasznosítható. Így környezetszennyezés illetve hulladék nélküli technológiák alakíthatók ki.

2.1.5 A bioüzemanyag és biogáz előállítás és felhasználás helyzete a Duna-régióban

A Duna régió a Fekete-erdőtől a Fekete-tengerig, kilenc EU tagállam (Németország, Ausztria, Magyarország, Csehország, Szlovákia, Szlovénia, Horvátország, Bulgária és Románia) és öt nem EU-s ország (Szerbia, Bosznia és Hercegovina, Montenegró, Ukrajna és Moldávia) területének egy részét, s több mint 100 millió lakosát fogja át.

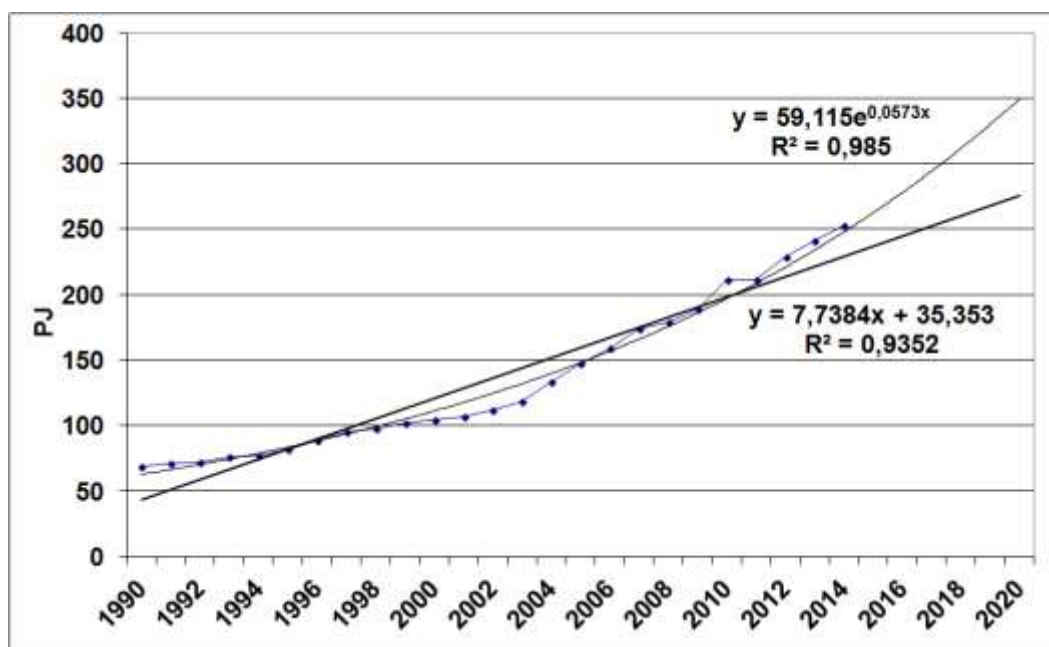


10. ábra A Duna vízgyűjtő területének országai (Forrás: JRC Science and policy report, Banja et al. 2014.).

Egyes országok úgy, mint Magyarország, Ausztria, Románia, Szerbia és Szlovákia területének több mint 90%-ával tartozik a régióhoz (10. ábra), míg más országok kevésbé

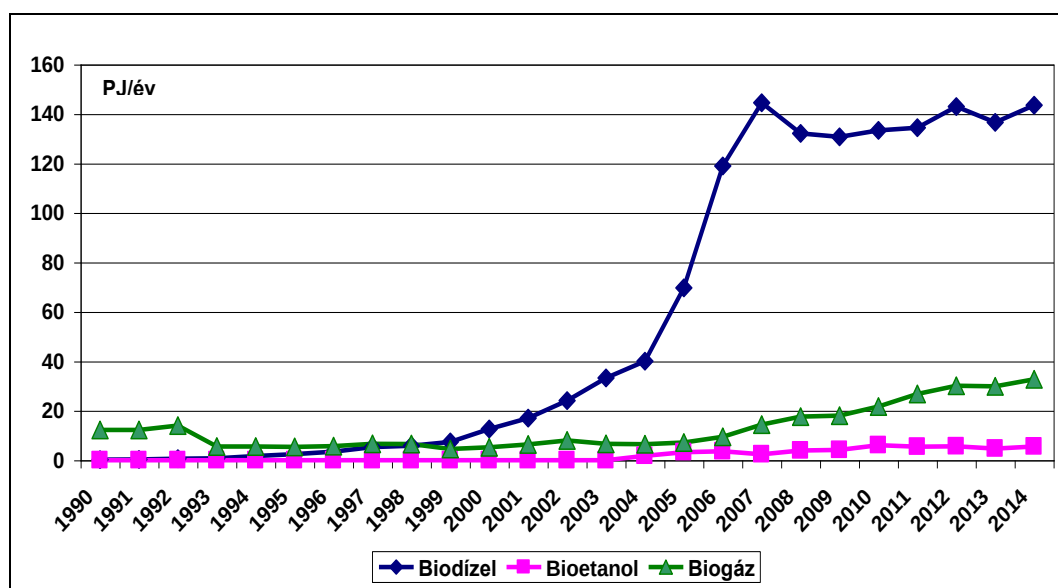
érintettek, például Németország, ahol az ország területének csak 16,8%-a van a Duna vízgyűjtőjében vagy Ukrajna (5,4%-al). (European Commission.European Union Strategy for Danube Region).

Egy a JRC, (Joint Research Centre), által készített előrejelzés szerint a bioüzemanyag használat a Duna Régió EU országaiban 2020-ra előreláthatóan a 2010-es 172,6 PJ-ról megduplázódik és eléri a 358 PJ-t. (Banja et al. 2014). Ezt támasztja alá az Eurostat adatokból készített megújuló energia felhasználást elemző saját trendszámítások is. (11. ábra). A JRC tanulmány alapján, az egyéb bioüzemanyagok (biogáz, növényi olaj, stb.) termelése és felhasználása a második legnagyobb relatív növekedéssel átlag évi 9%-kal fog nőni 2020-ig (Banja et al. 2014). Az Eurostat adatok alapján végzett számítások alapján az évenkénti növekedés 2010 és 2011 illetve 2011 és 2012 között 24 ill. 25 % volt, majd a következő két évben 9 % körüli értékre csökkent. (12. ábra).



11. ábra A Duna-régió EU országainak megújuló energia termelése 1990-től és lehetséges trendjei 2020-ig (Eurostat adatok alapján saját kalkuláció)

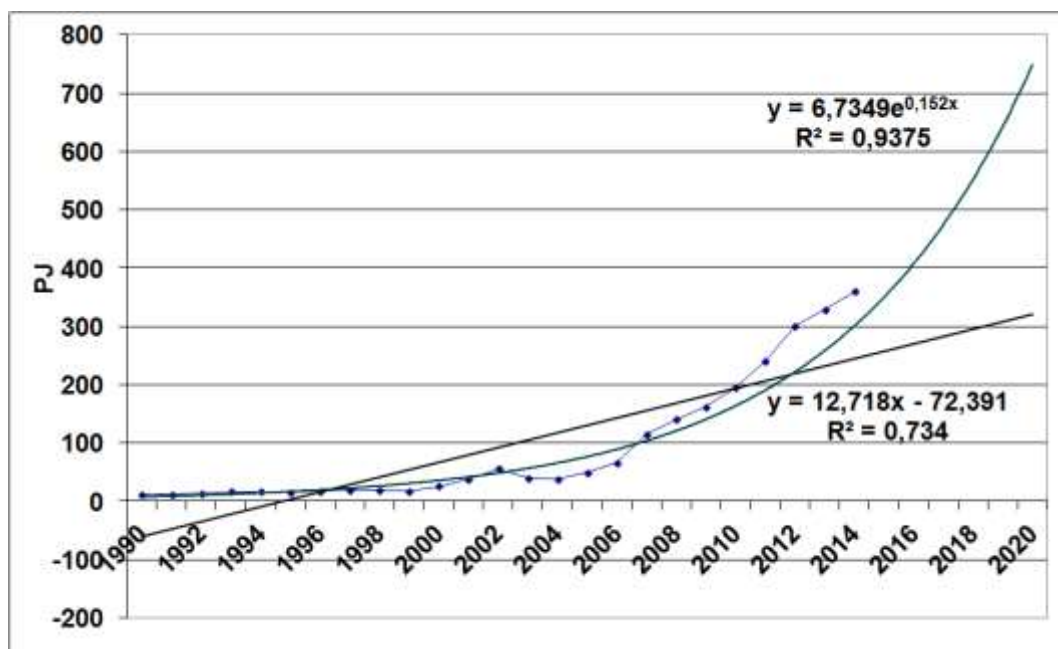
A Duna-régió Európai Unió országaiiban is megfigyelhető az EU-ban látott jelenség, hogy a biodízel és bioetanol felhasználása 2008 illetve 2010 óta stagnál (12. ábra).



12.ábra A Duna-régió EU országai biodízel, bioetanol és biogáz felhasználásának alakulás 1990-től (Eurostat adatok alapján)

A biogáz felhasználás 2005-től folyamatosan növekszik és 2014-ben közel 330 PJ volt.

A legújabb Eurostat adatokból történt kalkulációk alapján, exponenciális fejlődéssel számolva 2020-ra a biogáz termelés összege ezekben az országokban akár a 700 PJ-t is elérheti (13.ábra). Azonban ez nagyon sok tényező függvénye, és az utóbbi évek trendje már jóval kisebb növekedést mutatna.

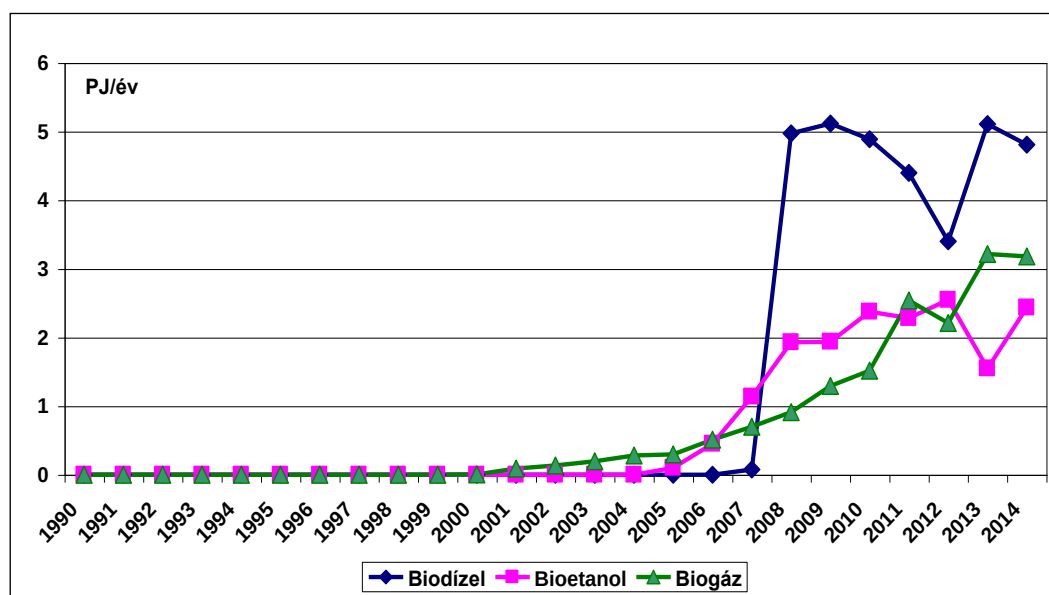


13.ábra A Duna-régió országai biogáz felhasználásának alakulása 1990-től és lehetséges trendjei 2020-ig (Eurostat adatok alapján saját kalkuláció)

2.1.6 A bioüzemanyag és biogáz előállítás és felhasználás helyzete Magyarországon

Ha magyarországi felhasználásokat nézzük, minden vizsgált energia hordozó tekintetében hasonló tendenciákat láthatunk, mint az EU-ban és a Duna-régióban. A biodízel és bioetanol felhasználás rövid felfutási szakasz után 2008-tól gyakorlatilag beállt a biodízelnél 5 PJ/ év szintre, míg a bioetanolnál 2-2,5 PJ/év szintek között mozog (14. ábra). A szabályzó rendszer miatt a felhasználás növekedése nem várható.

Biogáz felhasználásunk a 2012 évi kisebb visszaesés ellenére is stabilan növekszik, az 2000-től számított 2020-ra vonatkozó lineáris trend értékét már meghaladta. A legjobb korrelációt ($r^2=0,97$) mutató hatványosan növekvő trendfüggvény alapján a jelenlegi 3 PJ/évről 2020-ra 6,4 PJ/ évre várható a biogáz alapú energia felhasználás (15 ábra).



14.ábra Magyarország biodízel, bioetanol és biogáz felhasználásának alakulás 1990-től (Eurostat adatok alapján)



15.ábra Magyarország biogáz felhasználásának alakulása 2000-től és lehetséges trendjei 2020-ig (Eurostat adatok alapján saját kalkuláció)

Azonban a magyar nemzeti cselekvési terv ennyire nem optimista összességében 4,79 PJ az előirányzat 2020-ig. Ezt valószínű túlteljesítjük, hiszen már most meghaladtuk az időarányosan 2015-re tervezett 2,28 PJ-t(2. táblázat és 15. ábra).

2.táblázat Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervében a biogáz termeléstől elvárt hozzájárulás az egyes energia termelési és felhasználási ágazatokban
 /Forrás: Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve (saját szerkesztés)/

	2015	2020
	PJ	PJ
Villamosenergia-termelés	0,94	2,29
Fűtés és hűtés	1,3	2,3
Tömegközlekedés, szemétszállítás	0,04	0,2
Összesen	2,28	4,79

2.2 Potenciális bioüzemanyag ill. biogáz alapanyag növények

A potenciális bioenergia alapanyagok tekintetében a három alapanyag előállító szektor (mezőgazdaság, erdőgazdaság és hulladékgazdálkodás) lehetőségei jöhetnek szóba. Azonban mint láttuk jelenleg a bioüzemanyag és biogáz alapanyag forrása alapvetően a mezőgazdaság ezért az innét származó biomasszákat vizsgáljuk.

Jelenleg az Európai Unióban, a Duna-régióban és Magyarországon is termesztett növények közül a biodízel előállításához elsősorban az őszi káposzta repce és a napraforgó, a bioetanol előállításához a gabonák, - elsősorban a kukorica -, és a cukorrépa, míg a biogáz előállításához a silókukorica és cukorrépa szolgáltatják az alapanyagot.

Az energetikai célú növény termesztéshez és/vagy az élelmiszer termeléshez rendelkezésre álló termőterület nagysága véges. A két termesztési cél közül elsődleges az élelmiszer előállítás, ezért az energetikai célú termelés csak a maradék területeken megengedhető. Ezen területek legjobb kihasználásához a legnagyobb hektáronkénti energia hozamokat adó növényi kultúrákat kell választani. Korábbi vizsgálatok alapján a bioetanol és biogáz termelésben mind Magyarországon, mind a Duna- régióban a cukorrépa adta a legnagyobb hektáronkénti terméseket illetve a silókukoricához hasonló szintű biogáz hozamokat adott (Potyondi 2008. és 2015.).

Azonban csak a maximális termések elérésére történő törekvés sem gazdasági, sem energetikai sem környezetvédelmi szempontból nem megengedhető. Ezért vizsgálni kell a ráfordítások és hozamok alakulását is, illetve a termesztés energia mérlegének kell minél pozitívabbnak mutatkoznia, hiszen ez mind a gazdasági, mind környezetvédelmi (az energia mérleg és a széndioxid kibocsátás mérlege megközelítőleg együtt mozog) szempontból előnyös. A dolgozatban vizsgált növények kiválasztásánál alapvető szempont volt, hogy a korábbi elemzések alapján perspektivikusak közül a ráfordítás takarékos és minél energia pozitívabb agrotechnikával rendelkezőket vizsgáljuk. A másik fontos szempont volt, hogy a kiválasztott növények a betakarított fő termények mellett jelentős mennyiségű melléktermék produktummal is rendelkezzenek, ami energia termeléshez felhasználható.

Ezek alapján a silókukorica mint a jelenlegi termesztéstechnológiákba, (kukorica termesztés géprendszerével termesztendő) könnyen illeszthető, illetve a cukorrépa és csicsóka mint alacsony energia szinten nagy melléktermék mennyiséget adó, (feldolgozásuk során az üzemekben keletkező préselt szeletek szállítási költség nélkül rendelkezésre álló energia források), biogáz termelését vizsgáltuk.

2.2.1 Energia termelési lehetőségek a perspektivikus szántóföldi növényekből

A kiválasztott növények energia termelési lehetőségeit csak a legelterjedtebb hasznosítási módszerek figyelembevételével vizsgáltuk. (3. táblázat)

3.táblázat Bioenergia előállítási lehetőségek a perspektivikus szántóföldi növényekből (Saját szerkesztés)

	égetés	biogáz	bioetanol (1.generációs)	bioetanol (2.generációs)	pirolízis
Kukorica/Cirok					
szár	x	x		x	x
szárított szem	x	x	x	x	x
nedves szem		x	x	x	x
teljes növény	x	x		x	x
Cukorrépa					
levélzet		x		x	x
levéltelenített gyökér		x	x	x	x
fejezett gyökér		x	x	x	x
teljesnövény		x		x	x
préselt szelet a cukorgyártásból		x		x	x
Csicsóka					
szár	x	x		x	x
gumó		x	x	x	x
teljes növény	x	x		x	x
préselt szelet az inulin gyártásból		x		x	x

A szántóföldről közvetlenül betakarított növények hasznosítási lehetőségeit vizsgálva a cukorrépa kivételével minden növény akár direkt égetéssel is hasznosítható, ami a legkevesebb energia befektetést igényli az előkészítés során.

A melléktermékek energetikai felhasználása esetén, azoknak a keletkezés helyén történő hasznosítása a legkedvezőbb. Itt ugyanis a szállítás energia igényével nem kell számolni.

Természetesen ha a keletkező melléktermékek egyéb, például takarmányozási célokra gazdaságosabban hasznosíthatók, akkor az energetikai célú felhasználás nem jöhet szóba.

Magyarországon is csak a szarvasmarha állomány takarmány igényének lecsökkenése miatt kialakult kényszerhelyzetben kerülhetett sor a cukorgyári préselt szelet biogáz célú hasznosítására.

Mint a 3.táblázatból látható minden vizsgált növény, növényi rész és feldolgozási melléktermék alapanyaga lehet a biogáz, a második generációs bioetanol termelésnek és a pirolízisnek.

2.3 Bioenergia előállítási módszerek

2.3.1 Égetés

A biomassa közvetlen hőhasznosítása a száraz növényi részek elégetését jelenti, amelyek származhatnak:

- erdészetekből, mint az ipari kitermelése közben keletkező melléktermék, mint fakitermelési hulladékok (kéreg, darabos hulladék, gallyanyag); és mint az állománynevelési melléktermék, kisméretű fa, gallyfa.
- faipari feldolgozás melléktermékei lehetnek (fűrészpor és a finomforgács).
- fásszárú energetikai ültetvényekből, amelyek a telepítési tőszámától és az alkalmazott technológiától függően lehetnek energiaerdők vagy energiaültetvények
- mezőgazdaságból mint
 - o lágyszárú energia növények
 - o a primer biomassa-hulladékaik: a gyümölcs- és szőlőtermesztés,
 - o a zöldfelület fenntartás fás hulladékaik: nyesedék, venyige, hasábfa, illetve aprítékuk;
 - o a szántóföldi lágyszárúak melléktermékeik: szálas anyag (szár,szalma), vagy kis részecskeméretű melléktermék (maghéj, dara, stb.). Ezek az egyébként veszendőbe menő anyagok nem lebecsülendő energiapotenciált képviselhetnek egy intenzív mezőgazdaságú területen (Juhász, 2004).

A lágyszárú energia növények jellemzői (Szendrei, 2005) alapján:

- igen nagy növény-, azaz hajtásszám,
- viszonylag kis növénymagasság
- évenként legalább egyszeri betakarítás aminek időpontja nem halasztható
- a mezőgazdasági termesztési és műszaki technológiák alkalmazhatósága

A biomassa égetési célú felhasználása történhet darabolva, aprítva, vagy tömörítvények (bála, biobrikett, biopellet) formájában. Biopellettel teljesen automatizált tüzelés is megoldható. A pellet gyártás azonban a Nyugat–magyarországi Egyetem mérései alapján 8-12 %-al növeli az alapanyaghoz közvetlen felhasználásához viszonyított energia felhasználást (Konrád és Német, 2013). A mai berendezésekkel a szalmatüzelés is reális alternatívája lehet a hagyományos energiahordozóknak (Kacz és Neményi, 1998).

A használatban lévő kazánok 90%-a vegyes tüzelésű, míg 10%-a speciális kazán; az előbbiek hatásfoka alig 60%, míg az utóbbiaké 90%. Az energiahasznosítás átlagosan tehát 64%-nak vehető (Gombos, 2004). A legjobb megoldás azonban a kogeneráció és trigeneráció (villamos áram előállítása mellett hő, ill. hő és hideg előállítása), amely esetén az áram előállítása során keletkező hulladékhőt is hasznosítják (Grasselli és Szendrei, 2005).

Problémák a lágyszárú növények égetése során:

A lágyszárú növények (így a kiválasztottak is) több cellulózt és kevesebb lignint tartalmaznak mint a jól tüzelhető fásszárúak. Továbbá N, P, K tartalmuk is magasabb. A fa esetében a hamutartalom általában 1% alatti (kivétel, ha nagy a kéregarány, hiszen kéregtartalom növekedésével nő a hamutartalom), míg lágyszárúak esetén ez az érték akár 10%-nál is magasabb arányú lehet. A legnagyobb probléma ott kezdődik, hogy a hamu olvadáspontja a fás szárú növények esetén 1100-1400 °C körül alakul, míg lágyszárúaknál jellemzően 850-950 °C. Ha nagy a káliumtartalom, ez az érték akár 750 °C alá, 600°C-ig is lecsökkenhet. Az alacsony hamu olvadáspont szintén nehezíti a megfelelő tüzeléstechnikai paraméterek meghatározását (Ivelics R., 2006).

A lágyszárú növények esetén nagyságrenddel magasabb a kén jelenléte (pl: fenyő esetén 0,015% szárazanyag-tartalomhoz képest; míg kínai nád vagy energiafű esetén ez az érték 0,15%). Ezzel, és a kálium, valamint a szilícium nagy mennyiségével (az ezen anyagokhoz kapcsolódó alacsony olvadáspontja miatt) magyarázható elsősorban a lágyszárú biomassa nehezkesebb energetikai hasznosítása. Szintén problémát jelent a klór nagyságrenddel

nagyobb mennyisége, hisz ez a káliummal reakcióba lépve a hőcserélők felületén kondenzálódik, ami viszont ront a hőátadási tényezőn, így a rendszer hatásfokán, ezért a eltüzelésekor - a fatüzeléshez képest- több a salak, nagyobb a nitrogén- és klórtartalom a füstgázban és alacsonyabb a salakolvadási hőmérséklet (Konrád és Német 2013).

Tóvári et al., (2013) 35 különböző tüzelőanyag minta vizsgálatai során a kukoricaszár égéshőjét 17 MJ/kg-nak, hamutartalmát 5%-nak találta. Viszont a kukoricaszár klórtartalma volt a legmagasabb a vizsgált minták között. A 0,02 %-os határértéket messze meghaladva 0,5%-ot ért el. Eredményeik hasonlóak voltak a svájci vizsgálatokban tapasztaltakhoz, ahol a fában csak 0,002% a Cl-tartalmat, míg a takarmányfűben 0,982%-ot, az energiafűben 0,348%-ot, a őszi búza szalmája 0,223%-ot kaptak (Juhász és Szöllősi, 2013).

Mindezek megnövelik az emissziót és az üzemeltetési kiadásokat ezért a vizsgálatra kiválasztott növények eltüzelése nem illetve csak megfelelően kialakított tüzelő berendezésekben javasolt.

2.3.2 Bioüzemanyag etanol előállítás (első és második generációs)

A bioetanol előállítás során a szervesanyag folyadékfázisú fermentációban élesztők és más mikroorganizmusok hatására alkohollá fermentálható. A bioetanol üzemanyag célú felhasználása a következő módokon történhet: oktánszámnövelő adalékanyagként (ETBE), benzinhoz keverve, vagy tisztán.

Az alapanyagoktól és az előállítási technológiától függően beszélhetünk első és második generációs bioetanolról.

Első generációs bioetanolt vagy magas cukor tartalmú növényekből, vagy magas keményítőtartalmú növényekből egyszerű alkohol fermentációval állítják elő. A fermentációt egy közönséges mikroorganizmus, a pékélesztő (*Saccharomyces cerevisiae*) végzi anaerob körülmények között, melynek során a glükózból etil-alkohol, szén-dioxid és hő keletkezik. A fermentáció maximum 14%-os alkohol tartalomig folyó exoterm folyamat, hűteni szükséges. (Ennél magasabb végső alkohol koncentráció már toxikus a mikroorganizmusra.) A fermentációval előállított alkoholt desztillációval 96%-ig töményítik. Ezt a tömény etanol oldatot molekulaszűrőn hajtják át, így távolítják el a maradék vizet. A vízmentesítésre üzemanyag célú alkohol előállításnál mindenképpen szükség van. A desztilláció nedves

maradék takarmánként értékesíthető (WDG- wet distillers grain). Ennek kiszárított formája a DDGS (dry distillers grounds and solubles), ami hosszabban eltartható, szállításra alkalmas takarmány, de égetéssel magas energiatartalma (18.600 kJ/kg) is hasznosítható (Lakatos-Handki, 2008).

A második generációs bioetanol alapanyagai a lignocellulózok, amelyek élelmiszeripari célra nem (vagy nem jellemzően) használhatók. Az alkohol gyakorlatilag a növényi sejtfalakban található cellulóz glükóz monomerjeiből, és a hemicellulózok cukor molekuláiból keletkezik. Ehhez előkezelés szükséges, mert a cellulóz a hemicellulózzal és a ligninnel együtt egy komplex polimer mátrixot alkot. Ennek a fellazítása, megbontása fizikai (örlés), kémiai (savak, lúgok, szerves oldószerek), fiziko-kémiai, és biológiai (lignindegradáló mikroorganizmusok) úton történhet (Sun – Cheng, 2002). A fiziko-kémiai eljárások a leghatékonyabbak. Ilyenek a gőzrobbantás, ammóniás előkezelés, nedves oxidáció. A robbantásos előkezelések lényege, hogy nagy nyomáson, és hőmérsékleten vízgőzzel vagy ammóniával telített rostok szerkezete a nyomás hirtelen lecsökkentésével mintegy robbanásszerűen fellazul (Saddler – Ramos - Breuil, 1993).

Az előkezeléssel fellazított polimer szerkezet enzimes vagy kémiai úton hidrolizálható. Kémiai eljárás történhet híg savakkal, de ipari léptékű etanol előállítás esetén inkább az enzimes technológiák jöhetnek számításba, mivel ezek szelektívek, nem környezetkárosítók. Az enzimes hidrolízis kivitelezhető kereskedelmi forgalomban kapható enzimekkel, vagy saját fermentálású enzimekkel. Előbbiek ára magas, ezekkel jelenleg még nem tud versenyképes lenni a második generációs bioetanol gyártás. Utóbbiak előállítása történhet az alkoholgyártásában használt lignocellulóz szubsztráton, így könnyebben integrálható az alkoholgyártási technológiába (Lynd, 1996).

Egyrészt a hat szénatomos (hexóz) cukrokat az élesztő (*Saccharomyces cerevisiae*) alakítja át etanollá míg az öt szénatomosat (pentóz) a *Zymomonas mobilis* baktérium. A hexózok és pentózok elkülönített fermentációjával magasabb etanol hozam érhető el, mint közös fermentációjukkal.

A különböző növények, növényi részek átlagosan 40-50% cellulózból, 25-30% hemicellulózból, és 15-20% ligninből állnak. A becslések szerint 442 billió liter második generációs bioetanol termelhető a földön rendelkezésre álló biomasszából és ha ehhez még hozzá számítjuk a növényi melléktermékeket és maradványokat, akkor 491 billió liter is elérhető, ami a világ jelenlegi bioetanol termelésének 16-szorosa (Kim és Dale 2004).

Az elsőgenerációs bioüzemanyagok energiamérlegét sokan vizsgálták, (Bai 2013-as számításait az 4. táblázat mutatja), és a vizsgált növényeknél a legtöbb megbízható számítás pozitívnak (a cukornád alapú etanolt jelentősen pozitívnak) találta. Azonban a kukorica alapú etanol gyártásnál általánosan elfogadott, és mért 1,3-1,8-as kimenő/bemenő energiahányados még gyenge teljesítménynek számít (Popp-Potori, 2011).

A kukorica termesztésére legkevésbé alkalmas területeken azonban akár negatív is lehet a mérleg. Ez a növény egy átlagos évjáratban elméletileg 750 MJ/m² napenergiát képes megkötni és 4,3-4,6 MJ fosszilis energiát használnak fel egy kg növényi főtermék termesztéséhez. Ez egy liter etanolra átszámítva 13-14 MJ/kg-ot jelent a növénytermesztés ráfordításainál, amihez a feldolgozás során további mintegy 18 MJ/kg energia-felhasználás járul. Amennyiben kizárólag a bioetanol-hozamot vesszük számításba, akkor az energia-hatékonyság 0,83-0,86 körül alakul, ezért ebből a szempontból is nélkülözhetetlen a melléktermékek felhasználása (Huzsvai et al, 2009)

4. táblázat A különböző növényekből történő bioüzemanyag előállítás energia mérlegei

(Forrás: Bai, 2013)

Bioüzemanyag	Alapanyag	Energiaegyenleg	
		Minimum	Maximum
Bioetanol	kukorica	1,3	1,8
	búza	1,2	4,3
	cukornád	2,0	8,3
	cukorrépa	1,2	2,2
	cellulóz	2,6	35,7
Biodízel	repce	1,2	3,7
	pálmaolaj	8,7	9,7
	szójabab	1,4	3,4
	használt sütőolaj	4,9	5,9

Kaszab (2008) szerint a bioetanol-gyártás teljes energiamérlege és hatékonyság-fokozásának lehetőségei a 5. táblázatban szereplő számokkal jellemezhetők. Ezek alapján csak az etanol felhasználása és a hagyományos technológiák használata jóval több energiát használ fel a megtermelténél. A képződő melléktermékek teljes körű hasznosításával, illetve a bio-energiaforrások, hulladékhő felhasználásával az energetikai hatékonyság 2 körüli értékre, az extenzívebb termesztés-technológiával akár 2,8-ra is emelhető. Az új fajták és feldolgozási

technológiák ezt még tovább növelhetik. Azonban a cellulózalapú bioetanol gyártás energetikai hatékonysága valószínűleg ezeket az értékeket is felülmúlja.

5. táblázat A bioetanol előállítás energia beviteli és kihatási oldala és a hatékonyság növelésének lehetőségei (Forrás: Kaszab 2008, Bai, 2013)

Output (GJ/t)		Input		Megtakarítási lehetőség
Termék	Energiaérték	Termék/szolgáltatás	Energiaérték	
Bioetanol	29	Közvetlen anyag	20	Extenzívebb termesztés
DDGS	18	Agrotechnika	7	Kapcsolt munkaműveletek, Száritás hulladékhővel Bio-hajtóanyag használata
		ebből: gépi munkák	2	
		száritás	4	
		szállítás	1	
		Hőenergia	13	Megújuló energia/hulladékhő felhasználása fosszilis helyett
		Villamos áram	1	
Összesen	47		41	24

A fajták fejlődésére példa Syngenta cég Enogen kukorica fajtája. Ennél modern biotechnológiai módszerekkel egy nagy hatékonyságú alfa amilázt termelő gén építettek be a genomba, amely nem csupán az enzim felhasználásban jelent megtakarítást, hanem a bioetanol gyártás hatékonyságát is javítva jelentősen növeli az alkohol kihatást (akár 10%-al is). (Enogen technology provides an opportunity for increased profitability for both growers and ethanolproducers.<http://www3.syngenta.com>)

Az Enogen kukorica termesztése az USA-ban folyamatosan terjed 2015-ben 90.000 ha volt és 2016-ban 160.000 ha várható.

A technológia fejlesztésére a Cellerate feldolgozási technológia lehet egy példa, ahol a magban levő rostokat cellulóz alapú etanollá alakítják és ezzel 20%-al növelhető az etanol kihatatal. Az Enogen fajta és a Cellerate technológia összekapcsolása még kedvezőbb eredményeket ad. (Cellerate + Enogen = More Ethanol Production)

A fajták gén állományának javításában rejlő potenciál egyik lehetőségét mutatja a kanadai kutatók felfedezése, amely során kukoricából származó keményítő gén Arabidopsis teszt növénybe történő beültetésével jelentősen megnövelték annak szárazanyag és mag termelését. (Liu et al. 2016).

Jelenleg a második generációs etanol nem versenyképes az első generációssal, mert előbbi ára 250-300%-al magasabb. Ez a versenyhátrány a gyárak kapacitásának drasztikus növelésével, a cellulázok árának további csökkentésével, megfelelő nyersanyag és előkezelés megválasztásával az előrejelzések szerint 2020-ig versenyképesé tehető, de ehhez további (állami) támogatásokra is szükség van. Amennyiben teret nyer a második generációs technológia nem feltétlenül kell új gyárak építését tervezni, hiszen az első generációs alkoholt gyártó üzemek kb. 15%-os ráfordítással átalakíthatók második generációs alkohol előállítására (Laczó, 2008)

Mint látható volt az EU szabályozása miatt a bioetanol belső felhasználása korlátozott (2.1.5., 2.1.6. és 2.1.7. fejezetek), ezért az export lehetőségeit is meg kell vizsgálni, amelyet a logisztikai költségek alakulása nagyban befolyásol. Popp (2007) szerint az USA-ban a bioetanol-kibocsátás hirtelen megugrása a fuvar költségek jelentős emelkedését idézte elő 2006 második félévében, mert a szállítási kapacitásokat nem tudták a bioetanol-termelés emelkedésével párhuzamosan bővíteni. Mivel a legolcsóbb (és eleve rendelkezésre álló) csővezetékes szállítási mód a bioetanol esetén hosszú távolságra nem használható, ezért a bioetanol-gyárak földrajzi elhelyezkedése alapvetően meghatározza az értékesítés gazdaságosságát.

Mindezek és az utóbbi év alacsony olajára egyértelműen jelzik, hogy a külpiazi értékesítés is korlátozott. Ez újra a biogáz gyártás felé irányíthatja a figyelmet.

2.3.3 Biogázosítás

A biogáz különféle szerves anyagok, megújuló alapanyagok oxigéntől elzárt fermentációjának eredményeképpen mikrobiológiai folyamatokban keletkezik (Kissné 1983).

Tisztítás után a földgázzal gyakorlatilag megegyező fűtőértéket képvisel, mely elvileg – megfelelő szerződés, illetve törvényi szabályozás esetén – az országos (vagy helyi) földgázvezetéken keresztül is értékesíthető, (Gémesi, 2009), illetve gépjárművek üzemanyaga lehet.

Az alapanyag bevitel és a fölősziszap kitárolás ütemezése alapján háromféle technológia különíthető el: a folyamatos (az alapanyag folyamatos beadagolása és kitárolása), a Batch-eljárás (szakaszos be- és kitárolás), és ezek kombinációja.

Az alapanyag szárazanyag tartalma szerint megkülönböztethetjük a „száraz” (50 % sz.a.), a „félszáraz” (15-30 % sz.a.) és a „nedves” (1-15 % sz.a.) eljárást.

A folyamatos eljárás előnyei a kisebb energiaveszteség a fermentor fűtésénél, az érkező, ill. távozó szubsztrát egyszerű, teljesen automatizálható hidraulikus töltése ürítése.

A szakaszos eljárás előnye a nagyobb fajlagos gázkihozatal, és a könnyen kezelhető és értékesebb szilárd biotrágya előállítás. (Bai 2007)

Az alapanyagok összetétele alapján a 6. táblázat adataiból számolhatók az elméleti biogáz hozamok.

6. táblázat A különböző tápanyagok elméleti biogázhozamai

	Biogáz m ³ /t sza.	Metán %	Széndioxid %
Nyers fehérje	700	70-71	29-30
Nyers zsír	1200-1250	67-68	32-33
Szénhidrát	790-800	50	50

A különböző **növények metánhozamairól** több forrásból is tájékozódhatunk. Az IEA (Nemzetközi Energia Ügynökség) 2008-as tanulmányában feltüntetett adatokból (7. táblázat) látszik, hogy eredmények jelentősen szórnak, ami nem meglepetés hiszen sok különböző biogáz előállítási módszer és nagyon változatos alapanyag (fajtakínálat) áll rendelkezésre.

A legjobb metán kihozatalokat a silókukorica és a cukorrépa mutatta.

7. táblázat A különböző növényfajok szerves szárazanyagra vonatkoztatott metán termelése

(Forrás: Braun R. et al. IEA Bioenergy, 2008)

Növény	m ³ /t szerves sza.	Növény	m ³ /t szerves sza.
Kukorica (egész növény)	205–450	Árpa	353–658
Búza (szem termés)	384–426	Tritikálé	337–555
Zab (szem termés)	250–295	Cirok	295–372
Rizs (szemtermés)	250–295		
Fűfélék	298–467	Lucerna	340–500
Füves lóhere	290–390	Szudáni fű	213–303
Vöröshere	300–350	Vörös kanári fű	340–430
Lóhere	345–350	Perje	390–410
Len	212	Csalán	120–420
Napraforgó	154–400	Miscanthus	179–218
Olajrepce	240–340	Rebarbara	320–490
Csicsóka	300–370	Petrezselyem	314
Borsó	390	kelkáposzta	240–334
Burgonya	276–400		
Cukorrépa	236–381	pelyva	270–316
Takarmányrépa	420–500	Szalma	242–324
Kender	355–409	Levelek	417–453

Mint a 7. táblázatból látható a 4.1 fejezetben szereplő kísérletekbe bevont növények szerves szárazanyagra vonatkoztatott biogáz termelése hasonló szinten van. A kukorica átlagértéke 328, a ciroké 334, a cukorrépáé 309 a csicsókáé 335 m³/ t szerves szárazanyag.

Klang et al. 2015 vizsgálataikban a silókukorica és a silózott cukorrépa biogáz kihozatalát közel hasonlóknak találták. A kukorica biogáz termelése 0,64 +/-0,02 l/g szerves sza./nap terhelés mellett (51% metán tartalommal 326,4 m³ metán /t szerves sza.) a cukorrépáé 0,67 +/- 0,01 l/g szerves sza./nap (54% metán tartalommal 361,8 m³ metán/t szerves sza.) volt, ami 7. táblázat és a KTBL (Mezőgazdasági Technikai és Építészeti Kuratórium) 2009 évi eredményeit is alátámasztja.

A fajták jelentőségét mutatják Amon és munkatársai 2007 évi vizsgálatai amelyekben 7 kukorica, 2 ősibúza, 2 tritikálé, 1 rozs és 2 napraforgó fajtát illetve 6 fűtermesztési módszert vizsgálva a kukoricák, (300-600-as FAO számúak viaszérésben betakarítva,) adták a legnagyobb metánhozamot 7500-10200 Nm³/ha-t. A többi vizsgált növény közül a gabonák 3200-4500 a napraforgók 2600-4550, míg az alpesi füvek 2700-3500 Nm³/ha metán hozamokat értek el. (Amon et al., 2007).

Lehtomäki et al., 2006. tanulmánya a trágya és néhány növényi eredetű adalékanyag (zabszalma, cukorrépa-szelet, fűszilázs stb.) fermentációjával foglalkozva megállapítja, hogy a növényi eredetű adalékanyagok kofermentációjával magasabb metánhozamok érhetők el, mint pusztán trágya fermentációja révén. Ez annak a ténynek köszönhető, hogy a növényi eredetű adalékanyagok szerves szárazanyag tartalma könnyebben lebomlik, mint a trágyaké (Arthurson 2009).

Müller et al., 2003. különböző szubsztrátok (sertéshígtrágya alapon takarmányrépa, szudánifű, cukorrépalevél, kukorica, gabona magvak, adalékok) anaerob lebonthatóságát vizsgálták. Megállapították, hogy a lebomlási arány mechanikus, termikus, kémiai, illetve enzimatisz előkezelő eljárásokkal fokozható.

A harmadik generációs biohajtóanyag alapanyagként számon tartott alga és a silókukorica együttes fermentációja során 0,39 +/- 0,08 L/g szerves szárazanyag metán hozam érhető el (Rétfalvi et al. 2016).

Az egy hektáron termett silókukoricából vagy cukorrépából a biogáz termeléssel előállított bioüzemanyaggal megtehető kilométerek száma meghaladja a bioetanol gyártás során előállítható bioüzemanyaggal megtehető kilométerek számát. (Al Saedi 2013).

A melléktermékek biogáz kihozatalát is több szerző vizsgálta, amelyek közül a *répaszelet* eredményeiből a 8. táblázat mutat néhány adatot.

8. táblázat Irodalmi adatok a cukorrépa és cukorrépa-szelet biogázosítási kísérletekről(saját szerkesztés)

SZERZŐ	ÉV	ORSZÁG	MÓDSZER	GÁZ-KIHOZATAL	CH ₄ %	MEGJEGYZÉS
B. Demirel and P. Scherer	2007	Német-ország	1 fázisú mezofil	0.72 l biogáz/ g o.sza	Max 63%	N, Na, KHCO ₃ kiegészítéssel pH 6,8
Abhay Koppa and Pratap Pullammanappallil	2007	USA	1 fázisú termofil	0.336 m ³ CH ₄ / kg o.sza.	95%	4 kg COD/ m ³ / nap pH 8-9,5
W. Parawira, J.S. Read, B. Mattiasson	2007	Svéd-ország	2 fázisú alacsony pH	2.1–3.4 kWh/kg o.sza.	60-78%	Burgonya hulladék és cukorrépa levelek
A. Lehtomäki, S. Huttunen and J.A. Rintala	2007	Finnország	1 fázisú	229 l CH ₄ / o.sza.	30% répa-fejből 16-65%	+ tehéntrágya 70%
Lars Mattias Svensson, Lovisa Björnsson and Bo Mattiasson	2007	Svéd-ország	1 fázisú búzaszalma alapú	0.310–0.36 m ³ CH ₄ / o.sza.		2 kg VS/nap –ból 1.2–1.4 m ³ / nap
Irene Bohn	2007	Svéd-ország	1 fázisú mezofil 11-30°C,			60%-kal kevesebb energia alacsonyabb hőmérsékleten
K. Umetsu	2006	Japán	1 fázisú, termofil			+ 60% tehéntrágya 1,5szöt több metán 40% répalevével
W. Parawira, M. Murto,	2004	Svéd-ország	2 fázisú	0.32 l CH ₄ /g o.sza.	Max 84%	40% TS
M. Hutnan, M. Drtil and L. Mrafkova	2000	Szlovákia	2 fázisú	0.360 m ³ /kg száraz szelet		
M. Labat and J. L. Garcia	1984	Francia-ország	1 fázisú	0,37-0,4m ³ / kg o.sza.	58%	0,4m ³ /m ³ / nap
E. Stoppok and K. Buchholz	1985	Német-ország		85% elméleti hozam 5-15g/l/nap		
I M Polematidis	2007	USA	1 fázisú, termofil (55°C)	Szelet - 340 l/kg o.sza. Farok - 240 l/kg o.sza. Raffióz- 226 l/kg o.sza.		90% szárazanyag lebomlott
B Linke	2003	Német-ország	1 fázisú, 55°C	1.1 m ³ biogáz/ kg o.sza.		

Mint a 8. táblázatból is látható sok próbálkozás történt és történik napjainkban is a cukorrépa és alkotórészei ill. melléktermékei biogáz célú fermentációjára. Jelentős eltérések is megfigyelhetők a gázkihozatalokban, ami a módszerben rejlő tartalékokra hívja fel a figyelmet.

A kaposvári cukorgyárban a biogáz termelés indulásakor végzett kísérletek alapján az egy fázisú fermentáció bizonyult kedvezőbbnek a szerves szárazanyag 75 %-os lebomlásával amiből 610Nl/kg biogáz fejlődött 50-53 %-os metántartalommal. A kísérletek alapján Kaposváron 2007-ben napi 800t 22%-os szárazanyag tartalmú répaszelet felhasználással indult az első ipari méretű cukorgyári répaszeletre alapozott biogáz üzem (Brooks et al. 2008.) A cukorrépaszelet termofil fermentációja során 5%-al nagyobb biogáz hozamok érhetők el a mezofil fermentációhoz viszonyítva (Tukacs-Hájos et al. 2014.)

A **szárított pelletált cukorrépa szelet** önálló és szarvasmarha trágyával együtt végzett biogázosítása során 10 literes félfolyamatos mezofil reaktorban 20 illetve 15 napos lebomlási időket sikerült elérni, illetve a trágyával történő keverés 32%-al növelte a folyamat hatékonyságát (Aboudi et al. 2016).

A cukorrépa szelet és **vinasz** 3:1, 1:1, 1:3 arányokban történt együttes fermentációja során (1literes fermentorokban 37°C-on) a vinasz alacsonyabb biogáz termelő képességét tapasztalták. A legjobb eredményt (598,1 ml/g szerves szárazanyag) a cukorrépa szelet és vinasz 3:1 arányú keveréke adta, az 1:1 és az 1.3 arányú keverékek 13 illetve 28,6%-al kevesebb biogázt termeltek (Zieminski et al. 2015).

Myczko (2011) elméleti biogázhozam számításai alapján a **cukorrépa levél** 550-600 l/Kg szerves szárazanyag, a **melasz** 360-490 l/ kg szerves szárazanyag biogáz hozamokra képes 54-55 %-os illetve 70-75 %-os metán tartalommal.

Németország rendelkezik jelenleg Európában a legnagyobb biogáz kapacitással, több mint 8000 biogáz üzemmel. Biogáz üzeimeik nagy mennyiségben használnak silókukoricát és cukorrépát is, ezért rendszeresen felméri ezek termését és árait. A 2015-ös árak alapján a silókukorica 30,1 cukorrépa pedig 29,2 Euróba került a szántóföldön, míg szilázként vásárolva 36,1 és 28,9 EUR volt. A silókukorica magasabb 34% míg a cukorrépa alacsonyabb 28,3%-os szárazanyag tartalommal rendelkezett. A rendelkezésre álló 5éves adatok alapján a silókukorica ára növekvő, míg a cukorrépa ára csökkenő tendenciát mutat (Rausch, 2016).

Ugyanakkor Németországban az egyre növekvő kritika miatt a silókukorica biogáz célú felhasználását csökkenteni kell. Ezt a 2012-e Német Megújuló Energia Források Törvény

megváltoztatásával is biztosítják és így legalább 800 biogáz üzemnek kell a törvény hatására a kukorica helyett más alternatív biogáz alapanyagot keresni. Egy felmérés alapján a megkérdezett termelők legalább két harmada jó megoldásnak tarja a kukorica kiváltását cukorrépával (Sauthoff et al. 2016).

Meg kell jegyezni, hogy a biogáz termelés akkor a leggazdaságosabb, ha az alapanyag ellátás a helyben lévő mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékokra és melléktermékekre épül (Petis, 2007).

2.3.4 Pirolízis

A szerves anyagokból bioüzemanyagot termokémiai folyamatokon keresztül is elő lehet állítani, úgy mint pirolízissel (Ertas és Alma 2011, Balat et al. 2009), elgázosítással (Kam et al. 2009, Balat et al. 2009), elfolyósítással (Liu és Zhang 2008), szuperkritikus folyadék kivonással (Sener et al. 2010), a víz szuperkritikus frakcionálásával (Demirbas 2009) és biokémia módszerekkel (Mohanty et al. 2009).

Ezek közül a pirolízis a legelterjedtebb, de leginkább hulladékok megsemmisítésére használják.

A pirolízis (hőbontás) a szerves anyagú hulladék megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény vagy oxigénmentes közegben szabályozott körülmények között bekövetkező kémiai lebontása. A keletkező termékek: a pirolízisgáz, a folyékony termék (olaj, kátrány, szerves savakat tartalmazó bomlási víz); a szilárd végtermék a pirolíziskoksz. Ezek összetétele, aránya és mennyisége a kezelt hulladék összetételétől, a reaktor üzemi viszonyaitól és szerkezeti megoldásától függ. A pirolízis során keletkező nagy energiatartalmú pirolízisolaj motorhajtó anyagokhoz keverve elsősorban dízel motorokban hasznosítható. A gáz halmazállapotú termékek szintén energiaforrásként használhatók (Qinglan et al. 2010.)

A szerves anyagok gyors pirolízise esetén általában inert atmoszférában légköri nyomást, gyors felfűtést, 500-600°C-os pirolízis hőmérsékletet és rövid tartózkodási időt alkalmaznak. Ilyen körülmények között a kiindulási biomassza minta átlagosan 80%-a konvertálható át folyadék és gáz halmazállapotú bomlástermékke. Az így keletkező bioolajat gyakran bírálják magas oxigén- és víztartalma, valamint alacsony fűtőértéke miatt. Mindemelllett az olaj tárolás közben igen instabil és a fosszilis üzemanyagokkal való elegyíthetősége is korlátozott (Lappas et al. 2002.).

Jelentős az energia igénye, - a kis- és középhőmérsékletű eljárások (450-600 °C); a nagy hőmérsékletű eljárások (800-1100 °C); a nagy hőmérsékletű salakolvasztások eljárások (<1200 °C), ezért energia mérlege alacsony.

2.3.5 Biogáz iszap hasznosítás szántóföldi tápanyag utánpótlásban

A biomassza erjesztési eljárás során a nyersanyag jellemzőinek megfelelően két egymással egyenrangú termék keletkezik (Sántha, 1991 és Szendrei, 2005). Az energia mellett olyan szerves anyag marad vissza, mely jó minőségű, minden értékes ásványi anyagot megőriz, biotrágyaként hasznosítható (Szegi, 1967, Sántha, 1996, és Bíró - Pacsuta, 2002). A kiejert maradék kórokozó mikroorganizmusokat nem tartalmaz, szaga a komposztéhoz hasonló (nem kellemetlen), állaga laza, könnyen kezelhető, a talajra juttatva könnyen beszívódik, nitrogéntartalma jól érvényesül, tehát trágya pótló szerként alkalmazható. A biotrágya, mint termék fontos tényező a biogáz gazdaságossági megítélésében. A biogáztermelés során tehát az energiatermelés és a talajerő-fenntartás szerves anyag szükséglete egyaránt biztosítható. (Barótfi-Kocsis, 1998.)

Hat növény termesztését és biogáz hozamát vizsgálva (kender, cukorrépa, kukorica, tritikále, füves here, őszi búza) a cukorrépa adta a legnagyobb biogáz hozamot hektáronként. Az összes növényenél a műtrágya felhasználás kiváltása a biogáziszap trágyaként történő felhasználásával, 1/3-al csökkentette az energia bevitelt és a kender kivételével nem befolyásolta a hozamokat (Gissén et al. 2014).

A biogáz iszap tápanyag visszapótlási előnye, hogy jobban alkalmazható talaj szerves anyag utánpótlás biztosítására, mint az istállótrágya, mert, az anaerob kezelés során az értékes nitrogén tartalom megőrződik, az elfolyó anyag savassága csökken, a pH értéke 7-ről 8-ra emelkedik. A fermentáció során a foszfor és kálium tartalom a növények számára könnyen felvehető állapotba kerül, a gyommagvak csírázóképesége mezofil folyamatban csökken, termofil folyamatban gyakorlatilag megszűnik, a keletkező biotrágya sokkal kevesebb kellemetlen szaganyagot tartalmaz..

Németországi biogáz iszap trágyázási tartamkísérletek (5 helyen 15-25 éven át) eredményei alapján nem találtak eltérést a nyers iszap és a biogáz termelés utáni iszapoknak a talaj szerves szén tartalmára és összes nitrogén tartalmára gyakorolt hatásában. Így a szén nitrogén arány sem változott. A talajok szerves szén forgalmában résztvevő mikrobák száma viszont

kevesebb volt a biogázosítás utáni iszapokkal történt kezelések hatására. Valószínűleg mert ezek széntartalma kisebb volt, mint a nyers iszapoké (Wentzel 2015).

2.4 Irodalmi adatok értékelése, célok megfogalmazása

A mérsékeltövön termesztendő magas szénhidráttartalmú növények biogáz kihozatal vizsgálatai alapján a nagy hozamokat mutatók közül a silókukorica, a cirok, a cukorrépa és a csicsóka kerültek kiválasztásra a laboratóriumi kísérletekhez. Biogáz kihozatali vizsgálatokat a silókukorica, cirok és cukorrépa fajták mellett a cukorrépa és a csicsóka növények különböző részeiből és feldolgozási maradékaiból is célszerű elvégezni.

Ezen Európában termesztett magas szénhidráttartalmú növények energetikai potenciáljának felmérése helyzetünkben kiindulva az Európai Unió, a Duna régió és Magyarország szintjén végezhető. Amit a rendelkezésre álló terület és termésadatok alapján a silókukorica és cukorrépa növényeknél lehet megtenni.

A biogáz iszap növényi tápanyag visszapótlásban történő alkalmazhatóságának vizsgálatára szántóföldi kísérletekben kerül sor. Ehhez a kaposvári cukorgyár biogáz üzeméből származó biogáz fölősiszap állt rendelkezésre.

A kapott eredmények alapján silókukoricánál és cukorrépánál számításokkal érdemes vizsgálni a biogáz előállítás energia kihozatalait.

3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

3.1 Biogáz kihozatali vizsgálatok

A vizsgált anyagok:

A biogáz termelésre potenciálisan alkalmas növények közül a silókukorica, cirok és cukorrépa fajták biogáz kihozatalát vizsgáltam. Azon növényeknél, ahol az energia előállításra a különböző növényi részeket és a feldolgozási melléktermékeket is felhasználhatják ezek biogáz kihozatal vizsgálatai külön három ismétléses kísérletekben lettek beállítva..

Alapanyag minőségvizsgálatok:

- Szárazanyag-tartalom mérés: 50g mintát szárítószekrényben 50 °C-on, 24-48 óráig szárítjuk és visszamérjük, majd számoljuk a szárazanyag tartalmat.
- Szerves szárazanyag és széntartalom mérés: a szárított mintát kemencében 500 °C-on hamvasztjuk, majd visszamérés alapján meghatározzuk a szervesanyag tartalmat és ebből egy képlettel számítjuk a szén %-ot.

Kigázosítási vizsgálatokat két ismétlésben a következő módszer szerint végeztük:

- Alapanyag előkészítése: az előzőleg mért szárazanyag tartalom alapján az alapanyagból kimérünk 15g szárazanyagot tartalmazó mintát és 4 mm lyuknagyságú darálón ledaráljuk.
- A fermentor típusa: 1,5 literes gázmérővel összekötött Fermentor (16. ábra)
- A vizsgálatok indítása: 15 g szárazanyagot tartalmazó mintát 1,5 liter előzőleg kigázosított, szűrt anaerob oltóanyaggal keverjük. Minden esetben párhuzamosan az oltóanyag kigázosodó képességét is teszteljük.
- A fermentálás körülményei: a Fermentor hőmérséklete 39±0,5 °C, pH értéke 7-8 között, és manuális keverés naponta egyszer.
- Mérések: naponta a GA 5000-es biogáz összetétel mérő készülékkel a következő paramétereket mérjük: a termelődött biogáz mennyisége, összetétele (metán, szén-dioxid, oxigén, kén-hidrogén tartalom), és a hőmérsékletet ellenőrizzük és feljegyezzük.
- A végtermék vizsgálatok: a bevitt mintából történő biogáz termelés leállása után, (mintáktól függően 2-3 hét), a visszamaradó fermentumot 2 mm lyukátmérőjű szűrőn szűrjük, és a szűrőn fennmaradt anyag szárazanyag tartalmát az alapanyag

minőségvizsgálatoknál is alkalmazott módszerrel, 50 °C-os, 24-48 óráig tartó szárítás után mérjük.



16. ábra A laboratóriumi biogáz berendezés

A gázkihozatali eredmények számítása:

- Szárazanyag fermentációja (közelítő érték): a mintával bevitt szárazanyagból levonjuk a végtermékben visszamaradt szárazanyag tartalmát
- Fajlagos biogáz kihozatal: egységnyi beadott szárazanyagból képződött biogáz, mennyisége, (m^3/t mértékegységben megadva)
- Fajlagos metán kihozatal: fajlagos biogáz kihozatal x mért metán tartalom / 100 (m^3/t)
- Fűtőérték: fajlagos metán termelés x metán fűtőértéke ($35,4 \text{ MJ}/\text{m}^3$)

3.2 Energetikai potenciálok számítása

Az energetikai potenciálok számítása a saját vizsgálati eredmények és az irodalmi adatok alapján az Európai Statisztikai Iroda (Eurostat) adatain alapuló elemzések és trendszámítások figyelembevételével történtek. Használva az Eurostat növénytermesztési adatait és a bioenergia témákban kapcsolódó irodalmi forrásokat, a lehetséges biogáz hozamokat cukorrépa, és silókukorica növényekre kalkuláltam.

Az elemzéseket az Európai Unió, ezen belül a Duna Régió és Magyarország szintjén is elvégeztem.

3.3 Szántóföldi tápanyag visszapótlási kísérletek alapadatai

A Kaposvári Cukorgyár biogáz üzemében keletkezett iszapokkal történő szántóföldi trágyázási kísérletek Sopronhorpácson 2007-től 2010-ig három-három kis parcellás, (15m²/parcella), 4 ismétléses kísérletben lettek beállítva, búza és kukorica kultúrákban. A talajok típusa barna erdőtalaj volt.

Minden esetben megállapításra került az egyes kísérletekben felhasznált biogáz iszap szárazanyag, szerves-anyag, nitrogén, foszfor, makro és mikro alkotóelem tartalma.

A kísérletek beállítása előtt és betakarítása után parcellánként talajmintázás történt. Majd a mintákból a parcellák talajai főbb összetevőinek tesztelésére került sor. Emellett a növények parcellánkénti termés hozamai és azok minőségi paraméterei is megállapításra kerültek.

Betakarítás Shampo típusú parcellakombájnnal, a betakarítás kori víztartalmat is mérve történt.

A kísérlet részletes agrotechnikai adatai az 1. számú mellékletben található

Kezelések:

- 1, Kontroll
- 2, 40t/ha iszap
- 3, 80t/ha iszap

3.4 Szántóföldi tápanyag visszapótlási kísérletek időjárása

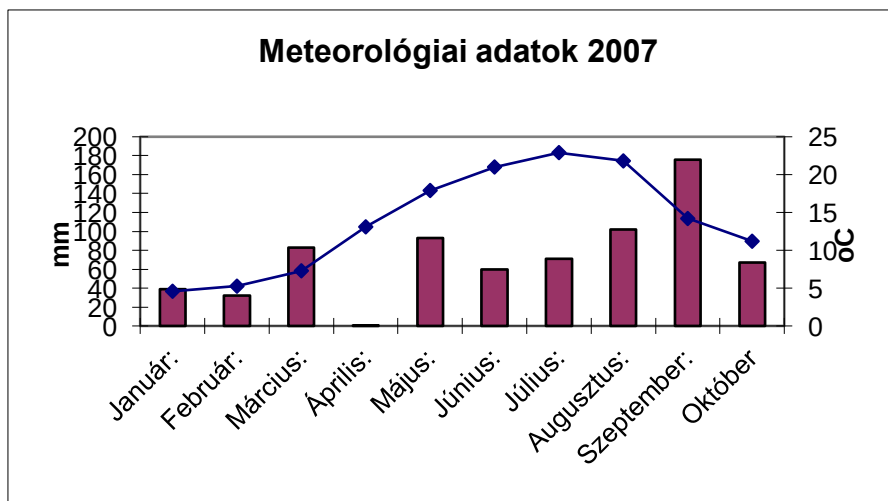
3.4 .1 A kukorica kísérletek időjárásának alakulása

A 2007 évi időjárás alakulása a kukorica kísérleti területen

2007-ben száraz tavasz és csapadék nélküli április után aránylag csapadékos május és nyár következett. A területen szeptemberben különösen sok csapadék hullott.

A tenyészidő csapadék összege több mint 560 mm. A legtöbb a vizsgált három év közül.

Ehhez azonban magasabb hőmérsékletek is társulnak (16.ábra).

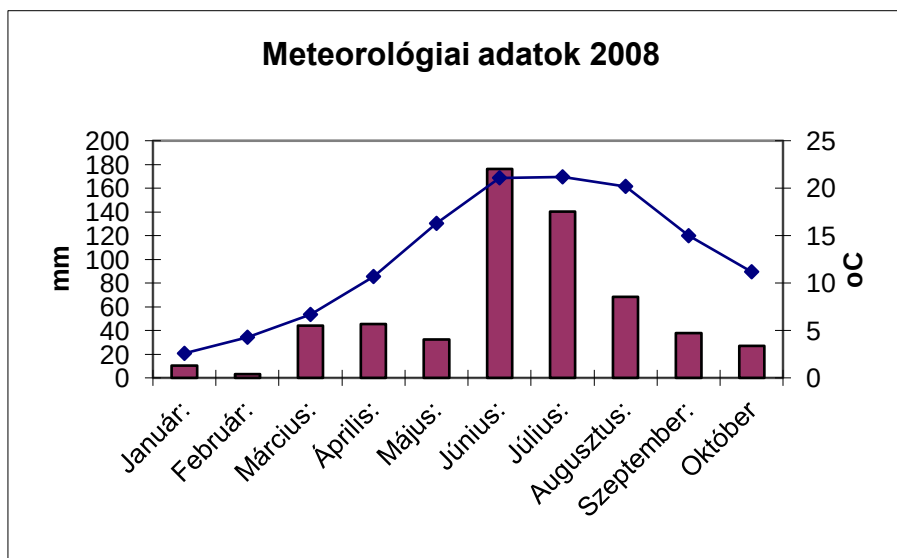


16.ábra A havi átlag hőmérséklet és csapadék mennyiség alakulás a kukorica tenyésztésében 2007-ben

A 2008 évi időjárás alakulása a kukorica kísérleti területen

2008-ban száraz tavasz és nyárelő után jelentős mennyiségű csapadék hullott, ami kedvezett a növények fejlődésének. Hidegebb tél és tavasz után a nyári és őszi középhőmérsékletek a 2007 évihez hasonlóan alakultak.

A tenyésztő csapadék összege több mint 527 mm (17. ábra).

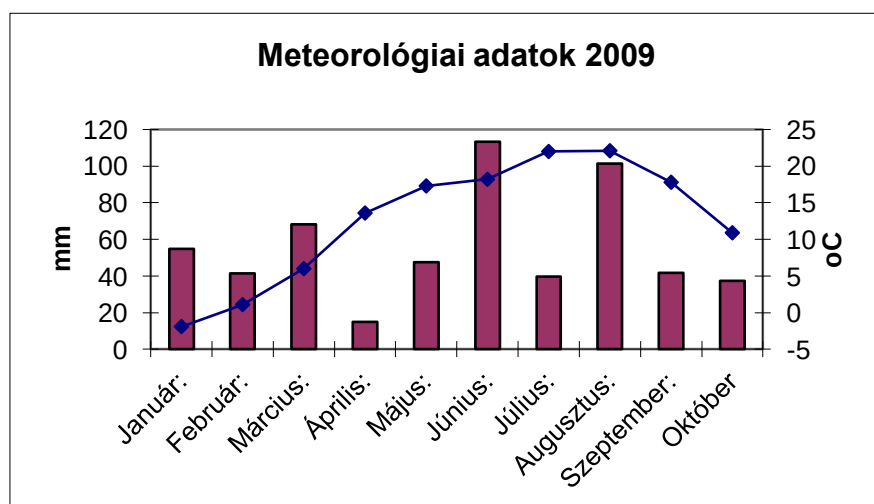


17.ábra A havi átlag hőmérséklet és csapadék mennyiség alakulás a kukorica tenyésztésében 2008-ban

A 2009 évi időjárás alakulása a kukorica kísérleti területen

2009-ben egy csapadékosabb tél és koratavas után egy kevésbé jó vízellátású nyári időszak következett. Ugyanakkor a hőmérséklet ebben az évben emelkedett a leggyorsabban és tartósan magas is maradt.

A tenyészidő csapadék összege a vizsgált három év közül a legalacsonyabb csak 396 mm volt.



18.ábra A havi átlag hőmérséklet és csapadék mennyiség alakulása a kukorica tenyészidejében 2009-ben

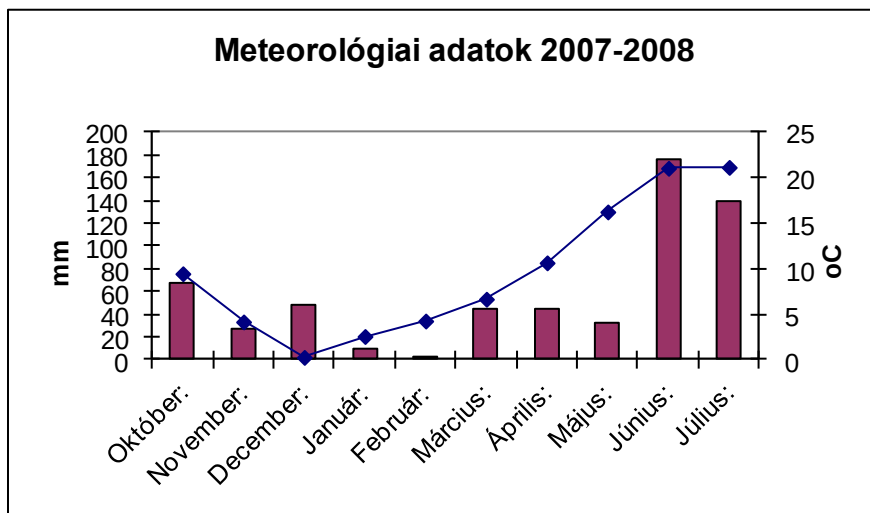
3.4.2 A búza kísérletek időjárásának alakulása

A 2007-2008 évi időjárás alakulása a búza kísérleti területen

2007 ősze és 2008-as év kezdete, különösen a kevésbé csapadékos február és május nem kedvezett a növények fejlődésének, ami a kisebb termés átlagokon is meglátszott. A területen már későn júniusban és júliusban hullott különösen sok csapadék.

A tenyészidő csapadék összege több mint 590 mm. A legtöbb a vizsgált három év közül.

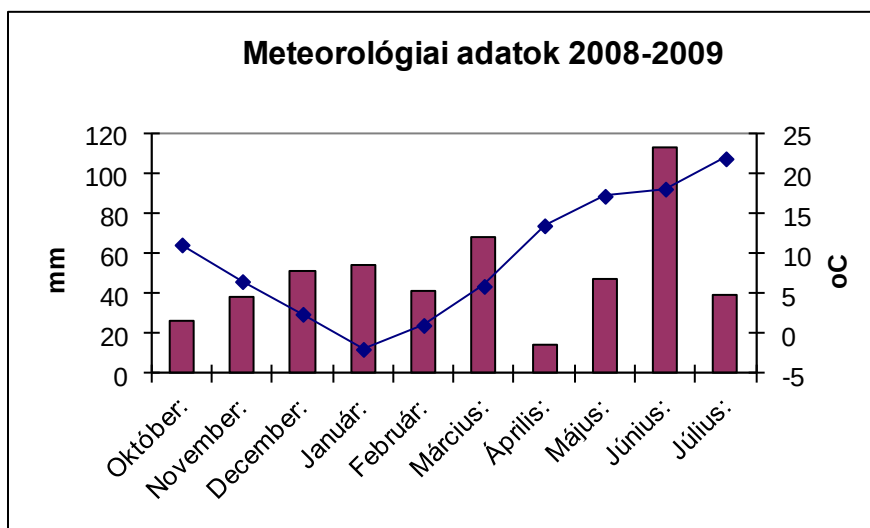
Ami vizsgált három év leghidegebb telével társult (19.ábra).



19.ábra A havi átlag hőmérséklet és csapadék mennyiség alakulás a búza tenyészidejében 2007-2008-ban

A 2008-2009 évi időjárás alakulása a búza kísérleti területen

2008 aránylag csapadékos ősze 2009 márciusig kitartott elegendő nedvességet biztosítva a növények fejlődésének. Bár júniusban is jelentős mennyiségű csapadék hullott, mégis ez a tenyészidőszak volt a legszárazabb a vizsgált háromból. A tenyészidő csapadék összege több mint 496 mm. Tavasszal aránylag gyors felmelegedést tapasztalhattunk, ami aratásig kitartott. (20. ábra).

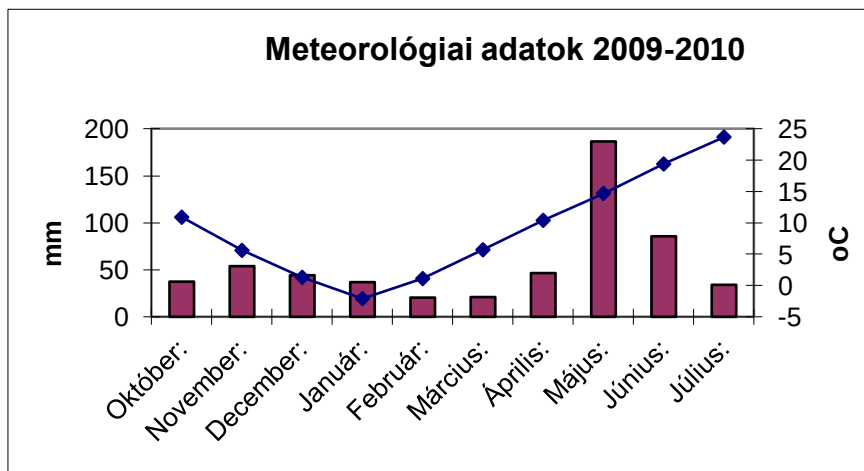


20.ábra A havi átlag hőmérséklet és csapadék mennyiség alakulás a búza tenyészidejében 2008-2009-ben

A 2009-2010 évi időjárás alakulása a búza kísérleti területen

2009-ben és 2010 első felében egy kevésbé jó vízellátású nyári időszakot figyelhetünk meg azonban a csapadékos május jelentősen segítette a jó termések kialakulását. Ugyanakkor a tavaszi hőmérséklet is egyenletesen emelkedett és aratásra már majdnem elérte a 25 °C-ot.

A tenyészidő csapadék összege 567 mm volt (21. ábra).



21.ábra A havi átlag hőmérséklet és csapadék mennyiség alakulás a búza tenyészidejében 2009-2010-ben

3.5 A szántóföldi kísérletekhez kapcsolódó analitikai vizsgálatokban alkalmazott mérési módszerek

Biogáz fölösiszap analitikai vizsgálata:

Szárazanyag tartalom: szárítószekrényben légszárazra szárítva (MSZ 08-1783-1:1983 2.fejezet).

Szerves anyag tartalom: a légszáraz anyag izzítókemencében elhamvasztva (MSZ 318-3:1979).

Nitrogén, foszfor tartalom: MSZ 20135:1999 5.4.5. fejezete alapján. (A vizsgálathoz a minták kénsavas roncsolványa használva, a roncsolás az MSZ 08-1783-1:1983 sz. szabvány 3.3.2. fejezete szerint DK 20 típusú blokkroncsolóval végezve.)

Toxikus elemvizsgálat Spectro Genesis ICP OES készülékkel, MSZ 21470-50:1998 sz. szabvány szerint.

Talajvizsgálat:

Az akkreditált talajlaborban a teljeskörű vizsgálathoz szükséges paramétereket mértük, amely a tápanyag utánpótláshoz fontos makro és mikroelemek mellett a talajok toxikus elem tartalmát is magába foglalja (9. táblázat).

9. táblázat A vizsgált talajparaméterek a vizsgálati szabványokkal

Vizsgálati paraméter	Módszer	Bizonytalanság (+- rel%)
pH (H ₂ O, KCl)	MSZ-08-0206-2:1978 2.1. szakasz	0,2 pH egység
Arany-féle kötöttségi szám	MSZ-08-0205: 1978 5. fejezet	2 K _A egység
Vízoldható összes sótartalom	MSZ-08-0206-2:1978 2.4. szakasz	15
Szénsavas mésztartalom	MSZ-08-0206-2:1978 2.2. szakasz	20
Humusz tartalom	MSZ-08-0452:1980	10
Szulfát tartalom	MSZ 20135:1999 5.4.1.1.	10
Oldható (NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻)-N	MSZ 20135:1999 5.4.5.	10
Oldható P ₂ O ₅ tartalom	MSZ 20135:1999 5.4.2.2.	10
Oldható K ₂ O tartalom	MSZ 20135:1999 5.3. szakasz	10
Oldható Na tartalom	MSZ 20135:1999 5.3. szakasz	10
Oldható Mg tartalom	MSZ 20135:1999 5.2. szakasz	10
Oldható Zn tartalom	MSZ 20135:1999 5.2. szakasz	10
Oldható Cu tartalom	MSZ 20135:1999 5.2. szakasz	10
Oldható Mn tartalom	MSZ 20135:1999 5.2. szakasz	10
Összes Cd tartalom	MSZ 21470-50:2006 4.1. szakasz	10
Összes Cr tartalom	MSZ 21470-50:2006 4.1. szakasz	10
Összes Co tartalom	MSZ 21470-50:2006 4.1. szakasz	10
Összes Pb tartalom	MSZ 21470-50:2006 4.1. szakasz	10
Összes Ni tartalom	MSZ 21470-50:2006 4.1. szakasz	10
Összes Cu tartalom	MSZ 21470-50:2006 4.1. szakasz	10
Összes As tartalom	MSZ 21470-50:2006 4.2. szakasz	10
Összes Hg tartalom	MSZ 21470-50:2006 4.2. szakasz	10
Összes Zn tartalom	MSZ 21470-50:2006 4.1. szakasz	10
Összes Mo tartalom	MSZ 21470-50:2006 4.1. szakasz	10
Összes Se tartalom	MSZ 21470-50:2006 4.2. szakasz	10

Termés minőség vizsgálatok:

Kukorica víztartalom: A betakarítás kori víztartalom mérése infravörös mérési elven működő Foss Infratech nedvességmérővel történt.

Búza beltartalom: A vizsgálatok során a Foss Infratech mérőműszer nedvesség, fehérjetartalom és hektoliter tömeg méréseket végzett.

3.6 Az alkalmazott statisztikai módszerek

A biogáz vizsgálatok eredményeinek a variancia analízise az excelbe beépülő DSAASTAT program segítségével történt. (Részletes adatok a II. mellékletben.) A lineáris regressziókat és a szórásokat az excel függvényeivel számoltam.

A tápanyag utánpótlási kísérletek variancia analízise a Statdirect programmal került végrehajtásra. (Részletes adatok a III. mellékletben.)

A kezelések közötti szignifikáns eltérések megállapításához minden esetben a Newman-Keuls tesztet használtam.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKEK

4.1 Biogáz kihozatali vizsgálatok eredményei

Ahhoz, hogy megfelelően becsülni tudjuk a kiválasztott növények (silókukorica, cirok, cukorrépa, csicsóka), biogáz potenciálját, kigázósítási kísérletek lettek beállítva az általunk kifejlesztett, a módszer leírásban ismertett és széles körben alkalmazott módszerrel. A jelenleg köztermesztésben levő fajták biogáz kihozatalai alapján átlagértékeket számoltunk.

4.1.1 A vizsgált növények beltartalmi adatai

A 10. táblázatból látható, hogy a silókukoricát aránylag nagyobb szárazanyag tartalommal sikerült betakarítani és beltartalmi mutatói közül a nitrogéntartalom a legmagasabb, majd a kálium és foszfor tartalom következik. Az egyes fajták közt a foszfor (23 %), szárazanyag (5,67 %) és a kálium tartalom (4,58%) relatív szórása a legnagyobb.

10.táblázat: A silókukorica fajták beltartalmi adatai

Fajta	Szárazanyag	Szervesanyag	Szén	Nitrogén	Kálium	Foszfor
		Szárazanyagra vonatkoztatva				
	%	%	%	%	%	%
Fajta 1	37,6	97,1	56,3	1,15	0,85	0,14
Fajta 2	42,2	96,8	56,1	1,12	0,8	0,12
Fajta 3	41,1	96,5	56	1,19	0,75	0,14
Fajta 4	38,8	96,4	55,9	1,15	0,8	0,12
Fajta 5	37,8	97	56,3	1,19	0,85	0,15
Fajta 6	36,6	97,1	56,3	1,15	0,82	0,11
Fajta 7	39	97,2	56,4	1,14	0,76	0,1
Fajta 8	42,6	96,9	56,2	1,2	0,81	0,17
Átlag	39,5	96,9	56,2	1,2	0,8	0,1
Szórás	2,24	0,29	0,17	0,03	0,04	0,02
CV %	5,67	0,30	0,31	2,38	4,58	23,0

A cirok fajták betakarítási szárazanyag tartalma alacsonyabb a silókukoricánál és beltartalmi mutatói közül a kálium tartalom a legmagasabb. majd a nitrogén és foszfor tartalom következik. Az egyes fajták közt a foszfor (15.5%) a kálium (3,48%) és szárazanyag tartalom (2,39%) relatív szórása a legnagyobb (11.táblázat).

11.táblázat: A cirok fajták beltartalmi adatai

Fajta	Szárazanyag	Szervesanyag	Szén	Nitrogén	Kálium	Foszfor
		Szárazanyagra vonatkoztatva				
	%	%	%	%	%	%
Fajta 1	34,5	88,6	51,4	1,95	2,58	0,12
Fajta 2	34,8	88,8	51,5	1,9	2,83	0,14
Fajta 3	35,1	88,6	51,4	1,92	2,65	0,14
Fajta 4	35,5	88,6	51,4	1,87	2,8	0,16
Fajta 5	34,6	89,1	51,7	1,89	2,78	0,15
Fajta 6	35,9	88,2	51,2	1,93	2,81	0,15
Fajta 7	33,4	89	51,6	1,95	2,85	0,17
Fajta 8	35,9	88,8	51,5	1,88	2,83	0,16
Átlag	35,0	88,7	51,5	1,9	2,8	0,1
Szórás	0,83	0,28	0,15	0,03	0,10	0,02
CV %	2,39	0,32	0,29	1,63	3,48	15,5

A cukorrépa fajták betakarítási szárazanyag tartalmát vizsgálva a legalacsonyabbak a vizsgált növények közül (12. táblázat). A beltartalmi mutatói közül a nitrogén tartalom a legmagasabb. majd a kálium és foszfor tartalom következik. Az egyes fajták közt itt is a foszfor tartalom relatív szórása a legnagyobb (12,8 %), ezt követi a nitrogén (5,31 %) és kálium tartalom (3,33 %).

12.táblázat: A cukorrépa fajták beltartalmi adatai

Fajta	Szárazanyag	Szervesanyag	Szén	Nitrogén	Kálium	Foszfor
		Szárazanyagra vonatkoztatva				
	%	%	%	%	%	%
Fajta 1	24,4	95,6	55,4	0,92	0,63	0,1
Fajta 2	23,6	95,4	55,3	0,9	0,66	0,11
Fajta 3	23,9	95,6	55,4	0,92	0,66	0,09
Fajta 4	24	95,2	55,2	0,88	0,64	0,1
Fajta 5	24,3	96	55,7	0,86	0,63	0,09
Fajta 6	23,2	96,1	55,7	0,8	0,61	0,08
Fajta 7	23,6	95,7	55,5	0,81	0,61	0,09
Fajta 8	24,2	95,4	55,3	0,91	0,65	0,12
Átlag	23,9	95,6	55,4	0,9	0,6	0,1
Szórás	0,41	0,31	0,18	0,05	0,02	0,01
CV %	1,72	0,32	0,33	5,31	3,33	12,8

A szignifikancia vizsgálatok alapján a különböző növények (fajták átlagai) beltartalmi mutatói jelentősen eltértek egymástól, csak a silókukorica és a cirok foszfortartalma nem mutatott szignifikáns eltérést. (13. táblázat).

13.táblázat A különböző növények beltartalmi mutatóinak összehasonlítása (Az azonos oszlopban szereplő eltérő betűk szignifikáns különbségre utalnak $P<0,05$)

	Szárazanyag	Szervesanyag	Szén	Nitrogén	Kálium	Foszfor
		Szárazanyagra vonatkoztatva				
	%	%	%	%	%	%
Silókukorica	39,46 a	96,88 a	56,19 a	1,16 b	0,81 c	0,13 a
Cirok	34,96 b	88,71 c	51,46 c	1,91 a	2,77 a	0,15 a
Cukorrépa	23,90 c	95,63 b	55,44 b	0,88 c	0,64 b	0,1 b

A cukorrépa teljes növényt és a cukor előállítás feldolgozási maradékait vizsgálva (14. táblázat) a préselt szelet szárazanyagtartalma volt a legalacsonyabb (18,8%), bár a szerves anyag koncentrációja a magasabbak közé tartozott (94,7%).

14.táblázat Cukorrépa teljes növény és feldolgozási maradékok beltartalma

	Szárazanyag tartalom	Szervesanyag tartalom	
		sza. %-ában	nyers anyag %-ában
Cukorrépa teljes növény	20	95,3	19,1
Cukorrépa szelet	18,8	94,7	17,8
Melasz	86	78,2	67,3
Vinasz	54,7	48,9	26,7

A 15. táblázat adataiból látható, hogy a csicsóka különböző részeinek és feldolgozási maradékának vizsgálata során a leveles szár szárazanyag tartalma mutatta a legkisebb értéket (17,0 %), majd a szelet (19,2%) és a gumó (23,5%) következett.

15.táblázat Csicsóka növényi részek és feldolgozási maradékok beltartalma

	Szárazanyag tartalom	Szervesanyag tartalom	
		sza. %-ában	nyers anyag %-ában
Csicsóka szár és levél	17,0	93,2	15,9
Csicsóka gumó	23,5	93,7	22,0
Csicsóka szelet	19,2	93,3	17,9

4.1.2 Kigázosodási vizsgálatok eredményei

4.1.2.1 Silókukorica fajták

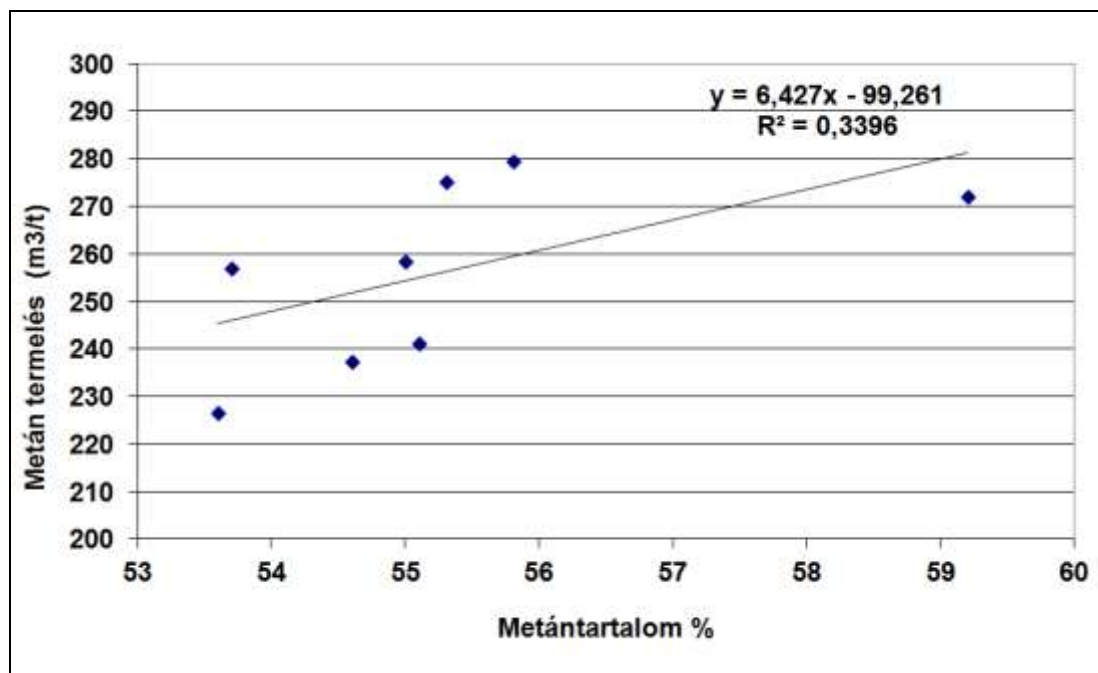
A következőkben a kumulatív eredmények alapján készített összesített eredményeket mutatjuk be. A 16. táblázatból látható, hogy a silókukorica szárazanyagának közel 90%-a biogázzá alakult és átlagosan 462,8 m³ biogáz termelést mutatott tonnánként. A termelt gáz átlagos metán tartalma 55,3 % volt, így a szárazanyag átlagos metán termelés 255,9 m³ volt, ami 9,16 GJ kinyerhető energiát jelent.

A szárazanyag fermentálódás vizsgálatánál csak 3. és 5. fajta értékei tértek el szignifikánsan egymástól. A fajták szárazanyagra vonatkoztatott biogáz termelésében a 2., 4. és az 5. fajták adtak szignifikánsan jobb eredményeket a többiekénél, viszont a metán tartalomban csak a 6. számú fajta mutatott volt a többi fajta értékét jelentősen meghaladó metán tartalmat. A metán termelés és fűtőérték tekintetében is csak a 2. fajta előzte meg szignifikánsan a többieket (16.táblázat).

16.táblázat A silókukorica biogáz termelés fontosabb mutatói szárazanyagra vonatkoztatva

	Szárazanyag fermentálódása (%)	Biogáz kihozatal (m ³ /t sza.)	Metán tartalom (%)	Metán termelés (m ³ /t sza.)	Fűtőérték (GJ/t sza.)
Fajta 1	89 ab	470 b	55 b	259 ab	9,3 ab
Fajta 2	89 ab	501 a	56 b	280 a	10,0 a
Fajta 3	90 a	435 cd	55 b	238 bc	8,5 bc
Fajta 4	88 ab	479 ab	54 b	257 ab	9,2 ab
Fajta 5	88 b	498 a	55 b	275 a	9,9 a
Fajta 6	89 ab	460 bc	59 a	272 a	9,7 a
Fajta 7	89 ab	423 d	54 b	227 c	8,1 c
Fajta 8	88 ab	438 cd	55 b	241 bc	8,6 bc
Átlag	88,7	462,8	55,3	255,9	9,16
Szórás	0,84	29,0	1,88	19,3	0,69
CV %	0,95	6,3	3,41	7,5	7,54

A fajták metán tartalma és szárazanyag tartalomra vonatkoztatott metán termelése közötti lineáris összefüggést vizsgálva $r^2=0,34$ értékkel csak gyenge korreláció volt megfigyelhető (22. ábra).



22. ábra A silókukorica fajtákból nyert biogáz metán tartalmának és a termelt metán mennyiségének összefüggései

Szerves szárazanyag tartalomra vetítve szignifikánsan a biogáz kihozatalban legjobbak a 2.,4. és 5. fajták voltak, míg a metán termelésben és fűtőértékben még az 1. és 6. fajták is legjobbak közé kerültek. A nyers bevitt anyagra nézve minden tekintetben a 2. fajta volt szignifikánsan a legjobb (17. táblázat).

Az irodalmi adatokkal összehasonlítva (7. táblázat), átlagos szerves anyagra vonatkoztatott metán kihozatalt kaptunk, és mérések alapján a nyers termésre számított energia tekintetében 3,61 GJ/t kihozattal számolhatunk. A silókukorica fajták biogáz kihozatalában 24 %-os különbség volt a legjobb és legrosszabb anyagok közt. (Amon et al., 2007) nagyobb eltéréseket (36%) talált a fajták között szélesebb FAO szám tartománnyal dolgozva.

17. táblázat Gáz és energia termelési mutatók a silókukorica fajtáknál

	Biogáz kihozatal (m ³ /t)	Metán termelés (m ³ /t).	Fűtőérték (GJ/t)	Biogáz kihozatal (m ³ /t)	Metán termelés (m ³ /t).	Fűtőérték (GJ/t)
	Szerves szárazanyagra			Nyers termésre		
Fajta 1	484 b	266 ab	9,5 ab	177 bc	97 bc	3,5 bc
Fajta 2	517 a	289 a	10,3 a	211 a	118 a	4,2 a
Fajta 3	451 cd	246 bc	8,8 bc	179 b	98 bc	3,5 bc
Fajta 4	497 ab	267 ab	9,6 ab	186 b	100 b	3,6 b
Fajta 5	513 a	284 a	10,2 a	188 b	104 b	3,7 b
Fajta 6	473 bc	280 a	10,0 a	168 c	100 b	3,6 b
Fajta 7	435 d	233 c	8,3 c	165 c	88 c	3,2 c
Fajta 8	452 cd	249 bc	8,9 bc	187 b	103 b	3,7 b
Átlag	477,8	264,2	9,46	182,5	100,9	3,61
Szórás	28,3	18,7	0,67	14,1	8,3	0,30
CV %	5,9	7,1	7,07	7,7	8,2	8,21

4.1.2.2 Cirok fajták

A vizsgálatok alapján a cirok szárazanyagának átlag 90,8 %-a biogázzá alakult és átlagosan 462,0 m³ biogáz termelést mutatott tonnánként. A termelt gáz átlagos metán tartalma 53,0 % volt, így az átlagos metán termelés 244,9 m³, ami 8,77 GJ kinyerhető energiát jelent egy tonna szárazanyagból.

A szárazanyag fermentálódás vizsgálata során csak 3. és 7. fajta értékei között volt szignifikáns eltérés. A fajták szárazanyagra vonatkoztatott biogáz termelésében a 1., 2. és az 5. fajták voltak szignifikánsan jobbak a többiekénél, majd a metán tartalomnál a 3. számú fajtával egészült ki a legjobbak listája. A metán termelés és fűtőérték tekintetében szintén az 1., 2. és az 5. fajták mutatták a szignifikánsan legjobb szárazanyagra számított eredményeket. (18. táblázat).

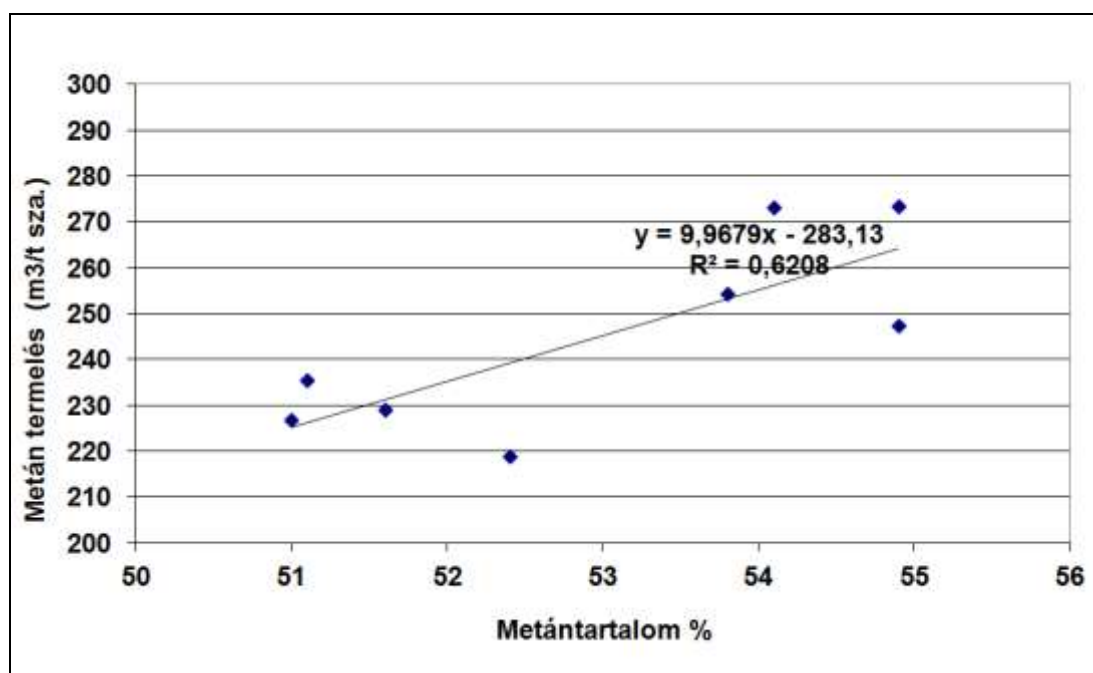
18.táblázat A cirok biogáz termelésének fontosabb mutatói szárazanyagra vonatkoztatva

	Szárazanyag fermetálódása (%)	Biogáz kihozatal (m ³ /t sza.)	Metán tartalom (%)	Metán termelés (m ³ /t sza.)	Fűtőérték (GJ/t sza.)
Fajta 1	91 ab	505 a	54 a	273 a	9,8 a
Fajta 2	91 ab	498 a	55 a	273 ab	9,8 ab
Fajta 3	90 b	451 bc	55 a	248 cd	8,9 cd
Fajta 4	91 ab	445 bc	51 b	227 d	8,1 d
Fajta 5	91 ab	473 ab	54 a	254 ac	9,1 ac
Fajta 6	90 ab	444 bc	52 b	229 d	8,2 d
Fajta 7	92 a	461 bc	51 b	236 cd	8,4 cd
Fajta 8	91 ab	418 c	52 b	219 d	7,8 d
Átlag	90,8	462,0	53,0	244,9	8,77
Szórás	0,53	29,3	1,64	20,8	0,74
CV %	0,58	6,3	3,10	8,5	8,48

Mint a 23. ábrán is látható a metán tartalomban négy fajta magasabb és négy fajta alacsonyabb koncentrációkkal két csoportot alkotott. A fajták metán tartalma és szárazanyag tartalomra vonatkoztatott metán termelése közötti lineáris összefüggést vizsgálva $r^2=0,62$ értékkel erős korreláció volt megfigyelhető (23. ábra).

Szerves szárazanyag tartalomra számított biogáz kihozatalban az 1. és 2. fajták voltak szignifikánsan a legjobbak, míg a metán termelésben és fűtőértékben még az 5. és 6. fajták is legjobbak közé kerültek. A nyers bevitt anyagra nézve a biogáz kihozatalban az 1. fajta volt a legjobb majd a másik két mutató alapján a 2., 3., 5., és 6. fajta is szignifikánsan a legjobb kategóriába került (19. táblázat).

Az irodalmi adatokkal összehasonlítva (7. táblázat), az átlagos szerves anyagra vonatkoztatva alacsony metán kihozatalt kaptunk, azonban a 19. táblázat alapján a nyers termésre számított energia tekintetében így is 3,19 GJ/t kihozattal számolhatunk.



23. ábra A cirok fajtákból nyert biogáz metán tartalmának és a termelt metán mennyiségének összefüggései

19.táblázat Gáz és energia termelési mutatók a cirok fajtáknál

	Biogáz kihozatal (m³/t)	Metán termelés (m³/t)	Fűtőérték (GJ/t)	Biogáz kihozatal (m³/t)	Metán termelés (m³/t)	Fűtőérték (GJ/t)
	Szerves szárazanyagra			Nyers termésre		
Fajta 1	571 a	314 a	11,2 a	174 a	96 a	3,4 a
Fajta 2	560 ab	313 a	11,2 a	173 b	97 a	3,5 a
Fajta 3	510 cd	278 b	10,0 b	158 e	87 ab	3,1 ab
Fajta 4	503 cd	270 b	9,7 b	158 e	85 b	3,0 b
Fajta 5	531 bc	294 ab	10,5 ab	164 c	91 ab	3,2 ab
Fajta 6	503 cd	298 ab	10,7 ab	159 d	94 ab	3,4 ab
Fajta 7	518 cd	278 b	9,9 b	154 f	83 b	3,0 b
Fajta 8	471 d	259 b	9,3 b	150 g	83 b	3,0 b
Átlag	520,8	287,9	10,3	161,4	89,3	3,20
Szórás	30,4	18,5	0,6	8,1	5,5	0,20
CV %	5,8	6,4	6,4	5,0	6,1	6,14

4.1.2.3 Cukorrépa fajták

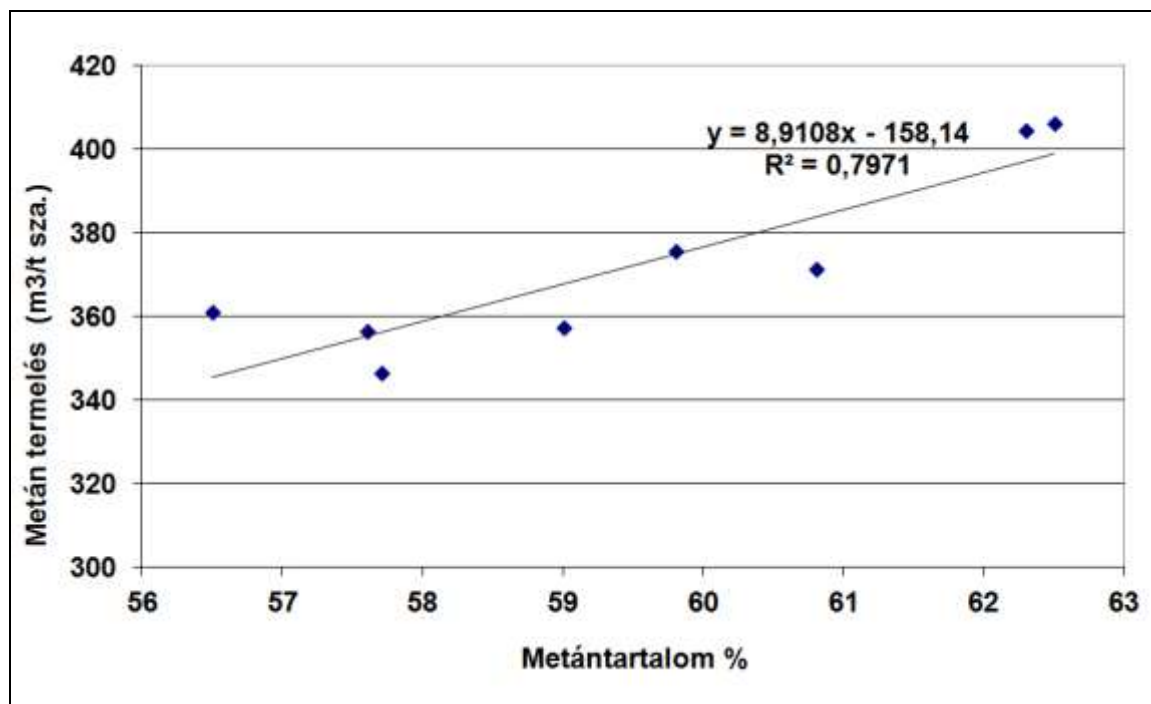
A vizsgálatok alapján a cukorrépa szárazanyagának átlag 92,6 %-a biogázzá alakult és átlagosan 625,1 m³ biogáz termelést mutatott tonnánként. A termelt gáz átlagos metán tartalma elérte a 59,5 %-ot, így a szárazanyagra vonatkoztatott átlagos metán termelés 372,1 m³/t, ami 13,32 GJ/t kinyerhető energiát jelent (20. táblázat).

A szárazanyag fermentálódás vizsgálatánál 2., 4. és 6. fajta értékei voltak jobbak szignifikánsan a többiekénél. A fajták szárazanyagra vonatkoztatott biogáz termelésében a 2., 4., 5. és az 7. fajták adtak szignifikánsan jobb eredményeket a többiekénél. Míg a metán tartalomban csak az 5., 6. és 8. számú fajták maradtak el szignifikánsan a legjobbtól. A metán termelés és fűtőérték tekintetében is csak a 4. és a 7. fajták előzték meg szignifikánsan a többieket (20.táblázat).

20.táblázat A cukorrépa biogáz termelésének fontosabb mutatói szárazanyagra vonatkoztatva

	Szárazanyag fermentálódása (%)	Biogáz kihozatal (m ³ /t sza.)	Metán tartalom (%)	Metán termelés (m ³ /t sza.)	Fűtőérték (GJ/t sza.)
Fajta 1	93 bc	605 c	59 ab	357 b	12,8 b
Fajta 2	93 a	628 abc	60 ab	375 b	13,4 b
Fajta 3	92 cd	611 c	61 ab	371 b	13,3 b
Fajta 4	93 ab	649 a	62 a	404 a	14,5 a
Fajta 5	92 cd	639 ab	57 b	361 b	12,9 b
Fajta 6	93 a	619 bc	58 b	356 b	12,8 b
Fajta 7	93 bc	650 a	63 a	406 a	14,5 a
Fajta 8	92 d	600 c	58 b	346 b	12,4 b
Átlag	92,6	625,1	59,5	372,1	13,32
Szórás	0,54	19,7	2,31	22,8	0,82
CV %	0,58	3,1	3,88	6,1	6,13

A metán tartalom és szárazanyagra számított metán termelés összefüggéseit vizsgálva a általában a magasabb metán kihozatalokhoz magasabb metán koncentráció társult, ami $r^2=0,62$ értékkel erős lineáris korrelációt is mutatott (24. ábra).



24.ábra A cukorrépa fajtákból nyert biogáz metán tartalmának és a termelt metán mennyiségének összefüggései

A 21 táblázat adatai alapján a szerves szárazanyag tartalomra számított biogáz kihozatalban az 2., 4., 5. és 7. fajták voltak szignifikánsan a legjobbak, míg a metán termelésben és fűzőértékben még a 6. fajta is legjobbak közé került.

A nyers bevitt anyagra nézve a biogáz kihozatalban az 4., 5. és 7. fajta volt a legjobb, míg a metán termelés és fűtőérték tekintetében nem volt szignifikáns különbség a fajták között (21. táblázat).

A 7. táblázatban szereplő irodalmi adatokkal összehasonlítva átlagosan a beadott szerves anyagra vonatkoztatva hasonló metán kihozatalt kaptunk. A többi szerző adatai is hasonló eredményekről tanúskodnak, lásd 8. táblázat.

21. táblázat Gáz és energia termelési mutatók a cukorrépa fajtáknál

	Biogáz kihozatal (m ³ /t)	Metán termelés (m ³ /t)	Fűtőérték (GJ/t)	Biogáz kihozatal (m ³ /t)	Metán termelés (m ³ /t)	Fűtőérték (GJ/t)
	Szerves szárazanyagra			Nyers termésre		
Fajta 1	633 c	348 b	12,5 b	148 bc	81 a	2,9 a
Fajta 2	658 abc	367 ab	13,1 ab	148 bc	83 a	3,0 a
Fajta 3	639 bc	349 b	12,5 b	146 c	80 a	2,9 a
Fajta 4	682 a	366 ab	13,1 ab	156 a	84 a	3,0 a
Fajta 5	665 ab	368 ab	13,2 ab	155 a	86 a	3,1 a
Fajta 6	644 bc	381 a	13,6 a	144 c	85 a	3,0 a
Fajta 7	679 a	364ab	13,0 ab	153 ab	82 a	2,9 a
Fajta 8	629 c	347 b	12,4 b	145 c	80 a	2,9 a
Átlag	653,7	361,3	12,90	149,4	82,5	2,96
Szórás	19,1	11,4	0,40	4,4	2,1	0,07
CV %	2,9	3,2	3,154	3,0	2,5	2,50

4.1.2.4 A különböző növények biogáz termelésének összehasonlítása

Mint a 22. táblázatból látható a cukorrépa szárazanyaga fermentálódott el a legnagyobb mértékben, majd a cirok és silókukorica következett. A szárazanyagra vonatkoztatott biogáz kihozatalban a cukorrépa szignifikánsan megelőzte a cirkot és silókukoricát, amelyek közel azonos szinten termeltek, szignifikáns különbséget nem tapasztalva közöttük. A biogáz metántartalma a cukorrépánál volt a legnagyobb, amit a silókukorica és a cirok követett.

A szárazanyagra vonatkoztatott metántermelés és fűtőérték a biogáz kihozatalhoz hasonlóan alakult, azaz a cukorrépa jelentősen megelőzte a silókukoricát (45,4 %-al) és cirkot (51,9 %-al).

22. táblázat A vizsgált növények biogáz termelésének mutatói

	Szárazanyag fermetálódása (%)	Biogáz kihozatal (m ³ /t sza.)	Metán tartalom (%)	Metán termelés (m ³ /t sza).	Fűtőérték (GJ/t sza.)
Silókukorica	88,7 c	462,8 b	55,3 b	255,9 b	9,20 b
Cirok	90,8 b	462,0 b	53,0 c	244,9 b	8,77 b
Cukorrépa	92,6 a	625,1 a	59,5 a	372,1 a	13,32 a
Átlag	90,70	516,65	55,91	290,97	10,43
Szórás	1,75	81,53	3,35	61,65	2,21

Szerves szárazanyag tartalomra vetített mutatókban a cukorrépa volt a legjobb majd a cirok és silókukorica következtek. A nyers bevitt anyagra számított eredmények viszont éppen ellenkező sorrendet mutattak. (23. táblázat). Ennek fő oka a cukorrépa alacsony szárazanyag tartalma. A nyers anyagra vonatkoztatott metán kihozatalban a silókukorica előnye csak 22,3 %, míg a ciroké csak 13,1 % volt a cukorrépával szemben.

23. táblázat Gáz és energia termelési mutatók a vizsgált növényeknél

	Biogáz kihozatal (m ³ /t)	Metán termelés (m ³ /t).	Fűtőérték (GJ/t)	Biogáz kihozatal (m ³ /t)	Metán termelés (m ³ /t).	Fűtőérték (GJ/t)
	Szerves szárazanyagra			Nyers termésre		
Silókukorica	477,8 c	264,2 c	9,46 c	182,5 a	100,9 a	3,61 a
Cirok	520,8 b	287,9 b	10,30 b	161,4 b	89,3 b	3,20 b
Cukorrépa	653,7 a	361,3 a	12,90 a	149,4 c	82,5 c	2,96 c
Átlag	550,77	304,47	10,89	164,43	90,90	3,26
Szórás	80,45	45,28	1,62	17,00	9,72	0,35

A növények biogáz kihozatali eredményeit más irodalmi adatokhoz viszonyítva megállapítható, hogy a silókukorica és a cirok elmarad a Braun et.al 2008 átlageredményeitől (328 m³/t ill. 334 m³/t szerves szárazanyag) és Klang et al. 2015 által megadott adatoktól. Míg a cukorrépa Braun et.al 2008 átlag eredményeit (309 m³/t szerves szárazanyag) meghaladja és szinte azonos a Klang et al. 2015 által kapott hozam értékkel.

4.1.2.5 Cukorrépa teljes növény és különböző feldolgozási maradékainak biogáz kihozatali vizsgálata

A cukorrépa teljes növény és különböző feldolgozási maradékainak biogáz kihozatali és metán termelési eredményeinek összefoglalása a 24. táblázatban található.

A **teljes növény** betakarítása során, a levélzettel együtt is több mint 381,1 m³ metán / t szerves sza. mennyiségű biogáz termelhető 60,0 %-os metán tartalommal. Ezért is alkalmazzák a cukorrépát sok biogáz üzemben Németországban (Sauthoff et al. 2016), bár az eltarthatóság miatt elsősorban a levéltelenített répa gyökereket használják.

A hazánkban már ipari méretekben használt **cukorrépa préselt szelet** biogáz kihozatala kísérleteinkben a 409,0 m³ metán /t szerves sza. körül alakult, szintén gyors kigázosodással. A metán koncentráció 59,0 % volt.

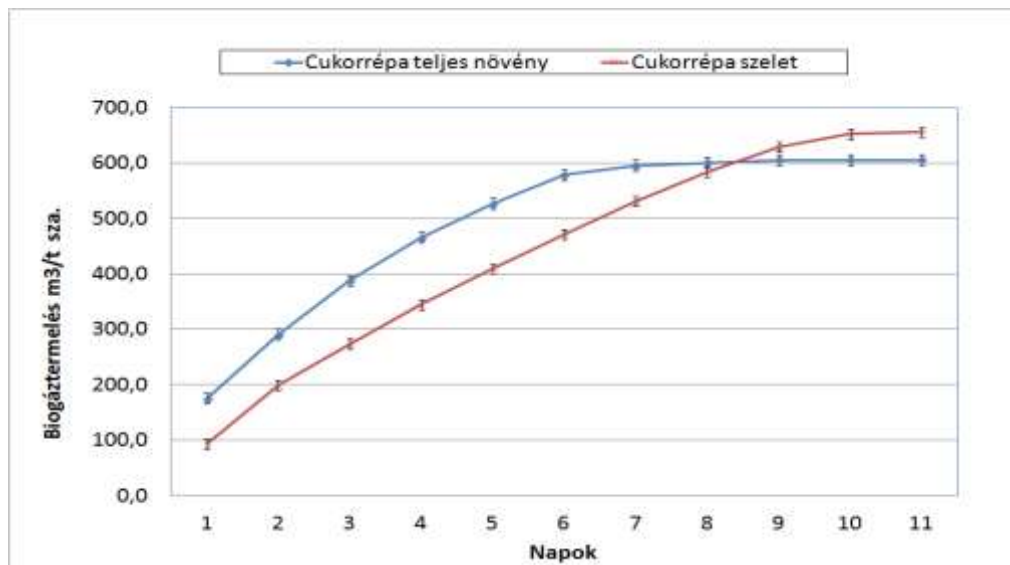
Bár a **melasz** értékes szeszipari alapanyag, de biogáz termelésre használva 378,5 m³ metán/t szerves sza. kihozatalt a méréseink szerint tudna produkálni, 60,0 %-os metán koncentrációval.

A szeszgyártás maradéka a **vinasz** szintén használható biogáz termelésre, bár nagy biogáz hozamokat nem képes produkálni, hisz a szénhidrát tartalma már jelentősen csökkent. A mérések alapján 330,5 m³ metán /t szerves sza. produkció várható tőle. Emellett a biogáz metán tartalma is maximum 55,0 % volt.

24.táblázat A cukorrépa teljes növény és különböző feldolgozási maradékainak biogáz kihozatali és metán termelési eredményei

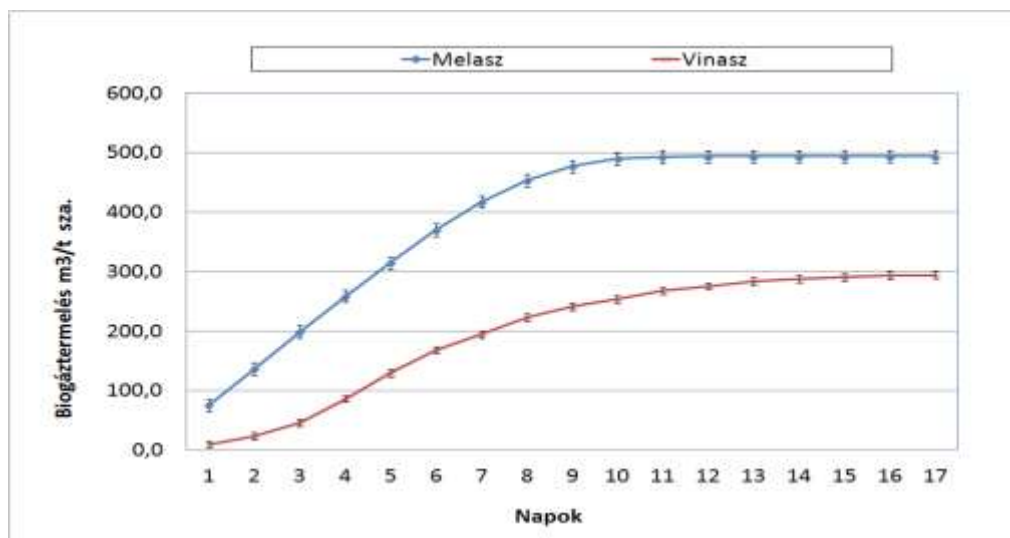
	Biogáz kihozatal (m ³ /t sza.)	Biogáz kihozatal (m ³ /t szerves a.)	Metán termelés (m ³ /t sza.)	Metán termelés (m ³ /t szerves a.)
Cukorrépa szelet	656,4 a	693,2 a	387,3 a	409,0 a
Cukorrépa teljes növény	605,3 b	635,1 b	363,2 b	381,1 b
Melasz	493,3 c	630,9 c	296,0 c	378,5 c
Vinasz	293,9 d	601,0 d	161,6 d	330,5 d

A 25. ábrából látható, hogy cukorrépa teljes növény és a cukorrépa préselt szelet hasonló lefutással közel egy hét alatt teljesen kigázosodik (cukorrépa teljes növény pár nappal előbb), így gyors és hatékony biogáz termelést tesznek lehetővé.



25. ábra Cukorrépa teljes növény és a cukorrépa préselt szelet szárazanyagra vonatkoztatott biogáz termelése

A 26. ábrából látható, hogy melasz és vinasz biogáz termelése mind lefutásában, mind mennyiségében nagyon eltér egymástól. A vinasz gyorsabban, a cukorrépa szelethez hasonlóan fermentálódik, bár annál kevesebb gázt fejleszt. A vinasz kigázosodásához közel kétszer annyi idő kellett és csak 60%-nyi biogázt termelt a melaszhhoz viszonyítva.



26. A cukorrépa melasz és vinasz szárazanyagra vonatkoztatott biogáz termelése

A teljes növény biogázosítása során kapott gázhozamok a Myczko (2011) elméleti biogázhozam számításai alapján a cukorrépa levélből kinyerhető 550-600 l/kg szerves szárazanyag értéket éppen meghaladták a 635 l/kg szerves szárazanyag értékkel, ami a gyökér jobb gáz kihozatalának köszönhető.

A cukorrépa szelet biogáz termelése hasonló eredményeket mutatott, mint a Kaposvári Cukorgyárból származó adatok (Brooks et al. 2008.) és a többi szerző adataitól sem különbözött jelentősen.

A kísérleti eredmények alátámasztják a (Zieminski et al. 2015) által megfigyelt gáztermelés csökkenést a vinasz és cukorrépa szelet keverékekben a növekvő vinasz hányaddal, mert a vinasz adta a legalacsonyabb gázkihozataalt a kísérletekben.

A melasz 631 l/kg-os szerves szárazanyagra vonatkoztatott biogáz hozama meghaladta a Myczko (2011) elméleti biogáz hozam számításai alapján kapott 360-490 l/kg hozamokat, de 70-75 %-os metán tartalom helyett csak 60% volt a maximum.

4.1.2.6 A csicsóka növény különböző részeinek és feldolgozási maradékának vizsgálata

Bár a csicsóka nem egy elterjedt szántóföldi növény a biogáz kihozatalát sok szerző nagyon magasnak találta. Ezt megvizsgálva a következőkben a különböző betakarítási és hasznosítási módok alapján lehetséges biogáz termelési változatok eredményei láthatók.

A **csicsóka leveles szára** 1 tonna szárazanyagból maximum 272,3 m³ biometán termelésre volt képes aránylag alacsony 58,0 % maximális metán tartalommal.

A csicsóka **gumók** mutatták a legmagasabb biometán hozamot szerves szárazanyagra vetítve 438,6 m³/t mennyiséget magas 62,0 %-os metántartalommal.

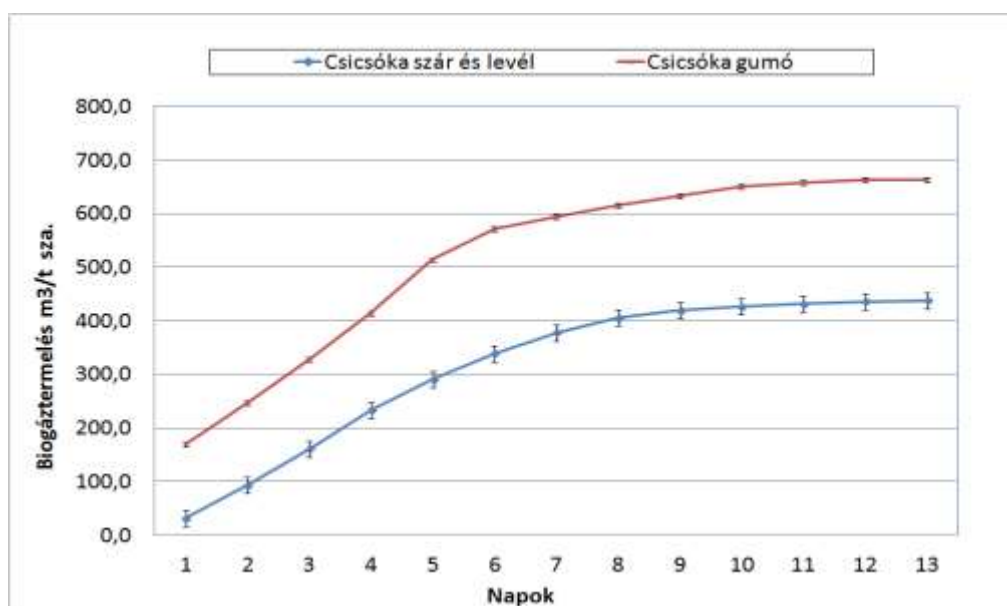
Hasonlóan jó eredményeket kaptunk a csicsóka **szeletet** vizsgálva, amely emellett a leggyorsabb kigázosodást is mutatta 60,0 % metántartalommal. 408,7 m³ metánt termelt 1t szerves szárazanyagból.

A **csicsóka szár keverése a csicsóka szelethez** jelentősen rontotta a biogáz mennyiségét és minőségét (525,5 m³/t sza. és 56,0 % metán tartalom), ami 294,3 m³/t szerves szárazanyag metánt jelentetett.

25.táblázat A csicsóka különböző részei és feldolgozási maradéka (csicsóka szelet) biogáz kihozatali és metán termelési eredményei

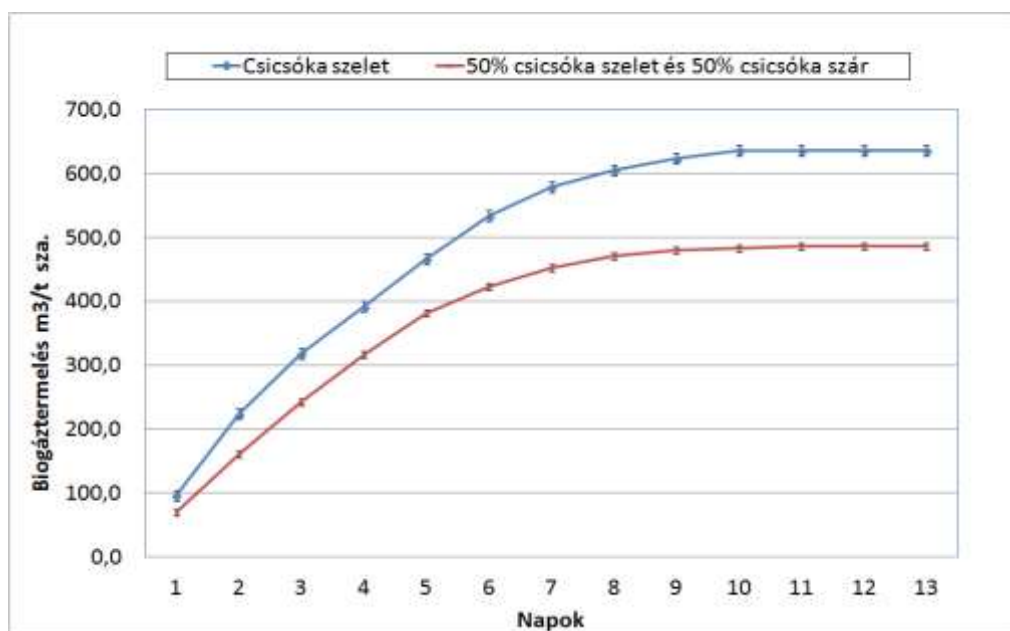
	Biogáz kihozatal (m ³ /t sza.)	Biogáz kihozatal (m ³ /t szerves a.)	Metán termelés (m ³ /t sza.)	Metán termelés (m ³ /t szerves a.)
Csicsóka szár és levél	437,5	469,4 d	253,8 d	272,3 d
Csicsóka gumó	662,8 a	707,3 a	410,9 a	438,6 a
Csicsóka szelet	635,6 b	681,2 b	381,3 b	408,7 b
50% csicsóka szelet és 50% csicsóka szár	486,1 c	525,5 c	272,2 c	294,3 c

A 27. ábrából látható, hogy a csicsóka gumó biogáz termelése bár nagyobb mértékű, de hasonló lefutású, mint a csicsóka leveles szár esetén. A teljes kigázosodáshoz mindkét esetben közel két hét kellett, bár egy hét után a kihozatal jelentősen visszaesett.



27.ábra A csicsóka leveles szár és a csicsóka gumó szárazanyagra vonatkoztatott biogáztermelése

A csicsóka szelet és szelet- szár keverék biogáz termelése 10 nap alatt eléri a maximális szintet és lefutásuk is hasonlóan alakul (28.ábra).



28.ábra A csicsóka szelet és csicsóka szár és szelet egy-egy arányú keverékének szárazanyagra vonatkoztatott biogáztermelése

A csicsóka teljes növényt legjobban szimuláló (50% szelet és 50% szár) vizsgálatokból kapott metán kihozatali eredmények hasonlóak a Braun R. et al. (2008) által gyűjtöttekhez (maximum 300 m³ metán/ t szerves szárazanyag), bár a csicsóka gumó és csicsóka szelet felhasználása ennél jóval magasabb hozamokat adott még a cukorrépa teljes növény eredményeit is túlhaladva (24. táblázat).

4.1.2.7 A különböző növényei részek és feldolgozási maradékok biogáz termelésének összehasonlítása

A 26. táblázatból látható, hogy a szárazanyag tartalomra és szervesanyag tartalomra vonatkoztatott biogáz kihozatal tekintetében a csicsóka gumó és cukorrépaszelet tartozik a szignifikánsan legjobb kategóriába. A második legjobb szignifik kategóriába tartozó csicsóka szelettel együtt minden vizsgált mutató tekintetében az első három helyet foglalják el.

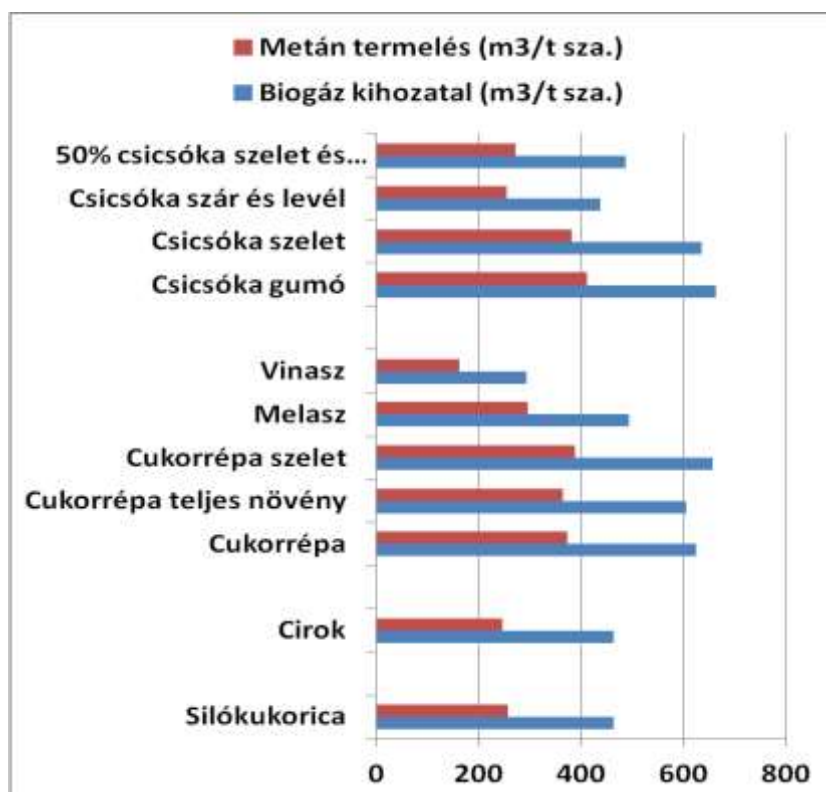
26.táblázat A cukorrépa és a csicsóka különböző részei és feldolgozási maradékai biogáz kihozatali eredményeinek összehasonlítása

	Biogáz kihozatal (m ³ /t sza.)	Biogáz kihozatal (m ³ /t szerves a.)	Biogáz kihozatal (m ³ /t sza.)	Metán termelés (m ³ /t szerves a.)
Csicsóka gumó	662,8 a	707,3 a	410,9 a	438,6 a
Cukorrépa szelet	656,4 a	693,2 ab	387,3 b	409,0 b
Csicsóka szelet	635,6 b	681,2 b	381,3 b	408,7 b
Cukorrépa teljes növény	605,3 c	635,1 c	363,2 c	381,1 c
Melasz	493,3 d	630,9 c	296,0 d	378,5 c
50% csicsóka szelet és 50% csicsóka szár	486,1 d	525,5 e	272,2 e	294,3 e
Csicsóka szár és levél	437,5 e	469,4 f	253,8 f	272,3 f
Vinasz	293,9 f	601,0 d	161,6 g	330,5 d

4.1.2.8 A különböző növények, növényi részek, és feldolgozási maradékok biogáz termelésének összehasonlítása

A biogázosítási kísérletek főbb eredményeinek összefoglalását mutatja a 29. ábra és a 27. táblázat. Látható, hogy a cukorrépa gyökér, (a fajták vizsgálatánál a gyökeret használtuk), és csicsóka gumó mind biogáz, mind metán termelésben jobb a silókukoricánál illetve a ciroknál. Hasonló a helyzet, ha a cukorrépa és csicsóka feldolgozás utáni préselt szeleteit vizsgáljuk. Tehát ezek mindenképpen javasolhatók a biogáz üzemek számára alapanyagként. A cukorrépa gyökér a cirokhoz képest 35,2 %-al több biogázt és 51,9 %-al több metánt képest termelni egységnyi szárazanyagból. A silókukoricához viszonyítva 35 % biogáz és 47,4 % metán többletet mutatkozik. A csicsóka gumó és préselt szelet, valamint a cukorrépaszelet még ezeknél is jobb eredményeket adnak (27.táblázat).

Habár a legjobb biogáz és metán hozamokat a vizsgált termények közül a csicsóka gumó adta, azonban a statisztikákban csak a silókukorica és a cukorrépa terület és termés adatai állnak rendelkezésre (Eurostat), így sem a teljes cirok növény sem a csicsóka energetikai potenciáljának elemzése nem lehetséges. Ezért a továbbiakban csak a silókukorica és cukorrépa Európai Unióra, Duna-régióra és Magyarországra vonatkoztatott elemzései következnek.



29.ábra A vizsgált növények, növényirészek és feldolgozási mardékok szárazanyagra vonatkoztatott biogáz és metán termelése

27.táblázat A vizsgált növények, növényirészek és feldolgozási maradékok szárazanyagra vonatkoztatott biogáz és metán termelése a cirok növény termeléséhez viszonyítva

	Biogáz kihozatal a cirok biogáz termelésének %-ában	Metán termelés a cirok metán termelésének %-ában
Silókukorica	100,2	104,5
Cirok	100,0	100,0
Cukorrépa gyökér	135,2	151,9
Cukorrépa teljes növény	131,0	148,3
Cukorrépa szelet	142,1	158,1
Melasz	106,8	120,9
Vinasz	63,6	66,0
Csicsóka gumó	143,5	167,8
Csicsóka szelet	137,6	155,7
Csicsóka szár és levél	94,7	103,6
50% csicsóka szelet és 50% csicsóka szár	105,2	111,1

4.2 Energetikai potenciálok számítása

4.2.1 Termőterületek potenciálja

A vizsgált növények termőterület potenciáljának vizsgálata a korábban már elemzett régiókban (Európai Unió, Duna-régió EU országai és Magyarország) egy hosszabb távú (25 év) és egy rövidebb távú (az Európai Unió Cukorreformja utáni időszak) alapján történt.

A maximális termesztési lehetőségek az utóbbi 25 év maximális termőterületei alapján számolhatók, de a jelenleg reálisan energia célra felhasználható területeket az utóbbi 8 év szórása alapján javasolt becsülni.

A vizsgálatok során a Duna- régió megnevezés a Duna-régióba tartozó EU tagországokat jelenti , amelyek zöld színnel ki is vannak emelve a táblázatban.

A 28. táblázat adatai alapján a silókukorica termőterületeit vizsgálva jelentős ingadozásokat figyelhetünk meg az elmúlt 25 évben. Az EU maximális termőterülete 8,1 millió ha, a Duna-régióé 4,2 millió ha míg Magyarországé 321 ezer ha volt. A minimumok ezen értékek felénél (EU) harmadánál (Duna-régió) és negyedénél (Magyarország) voltak.

A 2008-15 közötti időszakot nézve a nagyobb régiókban az átlagterületek nagysága kissé nagyobb míg Magyarországon közel 40 %-al marad el a 25 éves átlagtól. Ugyanakkor területeknek az átlaghoz viszonyított ingadozás itt a legkisebb kb. 10 %, míg az EU-ban 12,6 % és a Duna-régióban 14,9 %.

Az utóbbi 8 év átlaghoz viszonyított eltéréseire alapozva Magyarországon 9,5 ezer ha a Duna-régióban 380 ezer ha míg az EU-ban 720 ezer ha az a terület ingadozás, amely aránylag könnyen akár energia termelésre is mobilizálható. Reálisan ezekkel a cukorrépa területekkel lehet jelenleg energia (biogáz) célú termesztésnél számolni.

28. táblázat A silókukorica termő területek Európában

	Maximum (a)	Átlag (b)	Minimum (c)	Eltérés az átlagtól ((a-c)/2)/b)	Maximum (a)	Átlag (b)	Minimum (c)	Eltérés az átlagtól ((a-c)/2)/b)
	Az európai silókukorica termőterületek változásai az utóbbi 25 évben				Az európai silókukorica termőterületek változásai a Cukor Reform utáni években (2008-2015)			
	1000 ha			%	1000 ha			%
Belgium	185	153	0	60,5	178	146	0	61,2
Bulgária	424	120	15	170,0	32	23	15	35,9
Csehország	382	244	162	45,2	245	203	166	19,4
Dánia	185	98	17	85,1	185	176	159	7,4
Németország	2100	1438	924	40,9	2100	1913	1567	14,0
Észtország	9	2	0	253,3	9	4	2	86,8
Írország	23	10	0	111,6	23	17	13	28,9
Görögország	23	7	0	158,9	23	12	4	82,6
Spanyolország	121	100	82	19,8	113	103	96	8,2
Franciaország	1767	1473	1332	14,8	1501	1433	1388	3,9
Horvátország	32	25	17	30,5	32	30	28	7,2
Olaszország	369	292	261	18,5	343	303	261	13,5
Ciprus	1	0	0	145,8	0	0	0	30,1
Lettország	46	11	1	199,7	25	15	6	65,7
Litvánia	78	22	4	167,2	29	23	18	25,8
Luxemburg	15	11	7	35,3	15	14	12	10,8
Magyarország	321	148	85	79,8	104	92	85	10,3
Málta	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Hollandia	243	222	202	9,4	243	232	224	4,2
Ausztria	114	87	72	23,9	111	87	80	17,6
Lengyelország	541	286	133	71,5	541	453	396	16,1
Portugália	131	97	0	67,2	96	87	80	8,8
Románia	561	96	24	280,2	56	43	31	29,3
Szlovénia	35	28	24	19,8	30	28	26	7,5
Szlovákia	230	117	76	65,8	93	83	76	10,6
Finnország	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Svédország	16	6	0	137,1	16	14	12	12,0
Egyesült Királyság	183	117	25	67,4	183	164	148	10,6
Izland	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Liechtenstein	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Norvégia	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Svájc	127	54	42	78,8	127	58	44	72,7
Montenegró	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Makedónia	5	3	2	60,9	5	3	2	57,1
Albánia	29	19	11	48,2	16	14	11	18,5
Szerbia	48	31	25	36,4	48	32	25	35,6
Törökország	423	204	9	101,3	423	204	9	101,3
Bosznia és Hercegovina	166	45	6	180,3	32	26	21	22,3
Kosзовó	4	2	1	93,1	4	2	1	88,4
EU 28	8134	5211	3462	44,8	6326	5696	4891	12,6
Duna-régió	4247	2333	1425	60,5	2851	2533	2099	14,9

A 29. táblázat mutatja a cukorrépa termőterületek alakulását az elmúlt 25 évben illetve a cukor reform utáni időszakban.

A táblázatban minden Európai Unió ország szerepel és összegezve a Duna-régiós EU országok illetve az Európai Unió (EU 28), répatermesztéssel foglalkozó országainak adatai. A vizsgálatok során a Duna- régió megnevezés tehát a Duna-régióban tartozó EU tagországokat jelenti , amelyek zöld színnel ki is vannak emelve a táblázatban.

A cukorrépa termőterületeit vizsgálva is jelentős ingadozásokat figyelhetünk meg az elmúlt 25 évben, hiszen a cukorreform jelentős változásokat hozott több ország cukorrépa termesztésében.

Az EU maximális termőterülete 3,5 millió ha, a Duna-régióé 1,4 millió ha míg Magyarországé 161 ezer ha volt.

A minimumok az EU-ban ennek körülbelül a felénél voltak, míg a Duna régióban a negyedénél és Magyarországon tizenhatodára is visszaesett a terület.

A 2008-15 közötti időszakot nézve is az átlaghoz viszonyított relatív ingadozás Magyarországon volt a legmagasabb kb. (30 %), majd Duna-régióban (13,9 9 és az EU (12,8%) következtek.

Az utóbbi 8 év átlaghoz viszonyított eltéréseire alapozva Magyarországon 4575 ha a Duna-régióban 86 ezer míg az EU-ban 203 ezer ha az aránylag könnyen energia termelésre mobilizálható cukorrépa területtel számolhatunk.

A eredményekből látható, hogy minden vizsgált régióban a legnagyobb reális területi potenciállal a silókukorica rendelkezik.

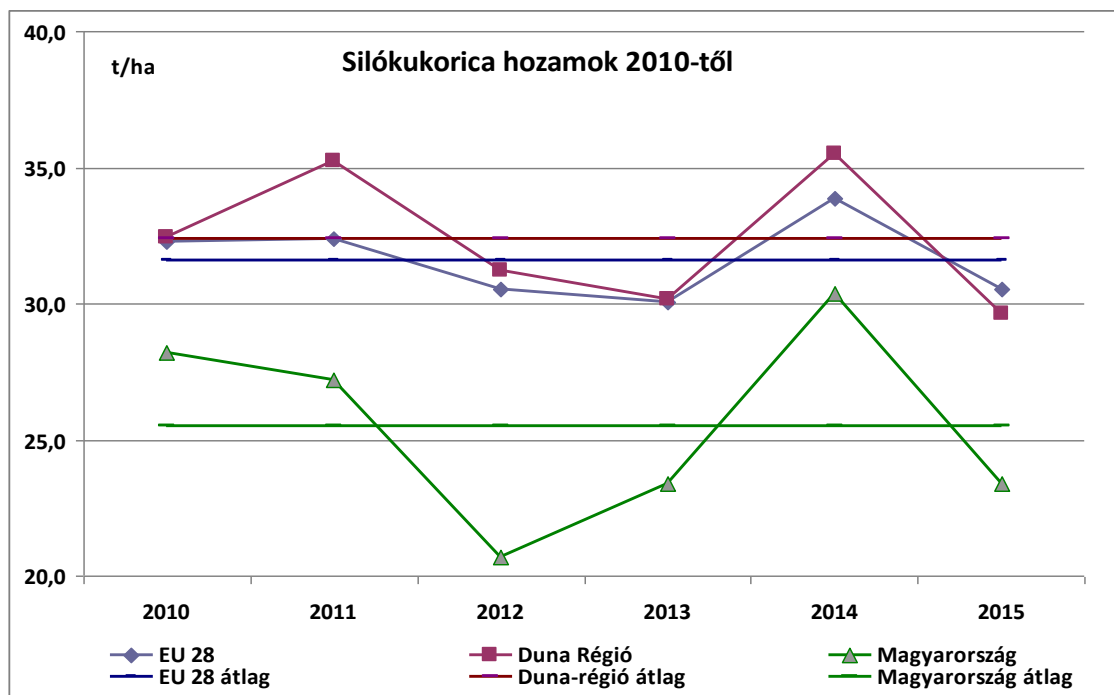
29. táblázat A cukorrépa termő területek Európában

	Maximum (a)	Átlag (b)	Minimum (c)	Eltérés az átlagtól ((a-c)/2)/b)	Maximum (a)	Átlag (b)	Minimum (c)	Eltérés az átlagtól ((a-c)/2)/b)
	Az európai cukorrépa termőterületek változásai az utóbbi 25 évben				Az európai cukorrépa termőterületek változásai a Cukor Reform utáni években (2008-2015)			
	1000 ha		%		1000 ha		%	
Belgium	108	86	52	32,4	63	59	52	8,7
Bulgária	40	7	0	289,8	0	0	0	450,0
Csehország	127	79	50	48,6	63	58	50	10,9
Dánia	70	53	25	42,3	41	37	25	21,4
Németország	608	445	313	33,2	402	370	313	12,1
Észtország	1	0	0	433,3	0	0	0	0,0
Írország	35	20	0	89,2	1	0	0	225,0
Görögország	53	32	6	74,8	24	11	6	85,6
Spanyolország	183	109	32	69,3	52	42	32	24,0
Franciaország	474	416	349	15,0	407	384	349	7,5
Horvátország	34	24	14	42,0	24	21	14	23,4
Olaszország	302	188	38	70,1	63	53	38	23,2
Ciprus	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Lettország	25	9	0	138,1	0	0	0	0,0
Litvánia	35	24	9	54,8	19	15	9	34,2
Luxemburg	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Magyarország	161	65	10	115,6	19	15	10	30,5
Málta	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Hollandia	125	98	58	33,8	75	71	58	11,7
Ausztria	54	47	39	15,2	51	47	43	8,4
Lengyelország	453	314	188	42,2	212	200	188	6,1
Portugália	9	3	0	154,5	2	0	0	157,2
Románia	256	77	19	152,9	31	24	19	25,3
Szlovénia	11	4	0	154,2	0	0	0	0,0
Szlovákia	55	31	11	69,4	22	18	11	30,3
Finnország	35	26	12	45,4	15	13	12	12,4
Svédország	60	47	19	43,2	40	35	19	28,9
Egyesült Királyság	177	134	90	32,6	120	113	90	13,2
Izland	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Liechtenstein	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Norvégia	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Svájc	21	20	18	7,5	21	20	18	7,5
Montenegró	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Makedónia	4	1	0	160,7	0	0	0	0,0
Albánia	7	2	0	179,0	0	0	0	0,0
Szerbia	84	66	51	24,7	71	64	51	15,4
Törökország	504	334	39	69,6	322	256	39	55,2
Bosznia és Hercegovina	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Koszovó	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
EU 28	3491	2339	1334	46,1	1745	1589	1338	12,8
Duna Régió	1430	846	507	54,5	683	617	511	13,9

4.2.2 Termés potenciálok

A **silókukorica** utóbbi hat éves átlagterméseit vizsgálva az EU-ban 31,6 a Duna-régióban 32,4 és Magyarországon 25,5 t/ha-t érték el (30. ábra). A magyar átlagtermés mutatja a legnagyobb szórást, bár szintje minden évben legalább 5 t/ha-al elmarad az EU és a Duna-régió terméseitől.

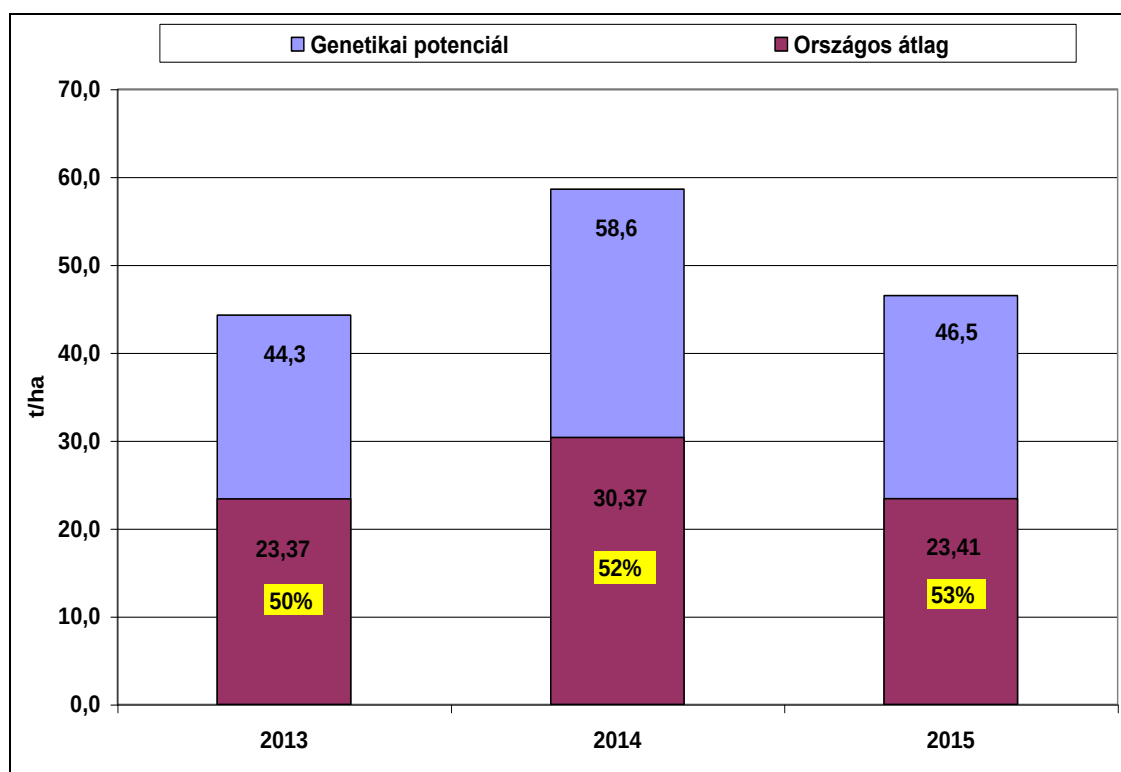
A hozamok tekintetében a Duna-régió országai megelőzik az EU és Magyarország átlagát, amihez a német biogáz célú silókukorica termesztés is nagyban hozzájárul.



30.ábra A silókukorica hektáronkénti termése a vizsgált régiókban.

A magyar termésátlagok növelésére számos lehetőség adódik elsősorban az agrotechnika területén. Mint a 31. ábrából látszik jelenleg kb. a fajtában rejlő genetikai potenciálok felét tudják kihasználni Magyarországon.

A vizsgált három év átlagát nézve 49,8 t/ha termést lehetett volna elérni, ha a teljes genetikai potenciál kihasználásra kerül.



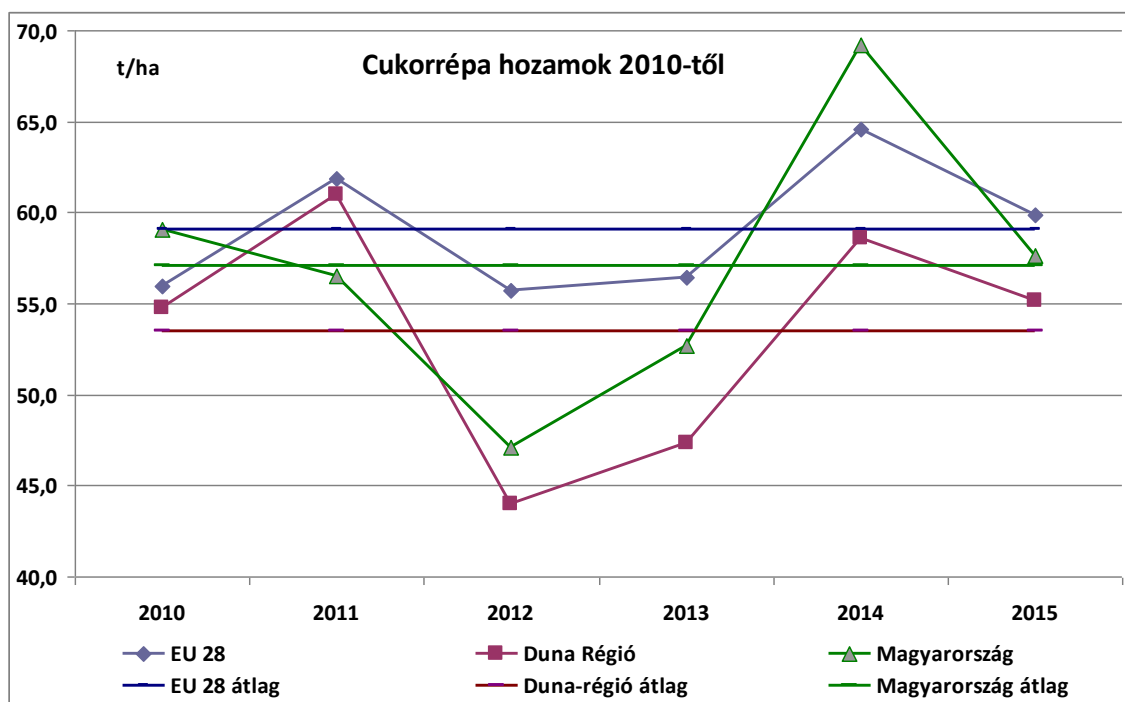
31.ábra A silókukorica genetikai potenciáljának kihasználása Magyarországon az utóbbi három évben.

Forrás: https://www.nebih.gov.hu/szakteruletek/szakteruletek/novterm_ig/szakteruletek/fajta_szap/jegyzetek/kozles.html és http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn007.html alapján saját kalkuláció.

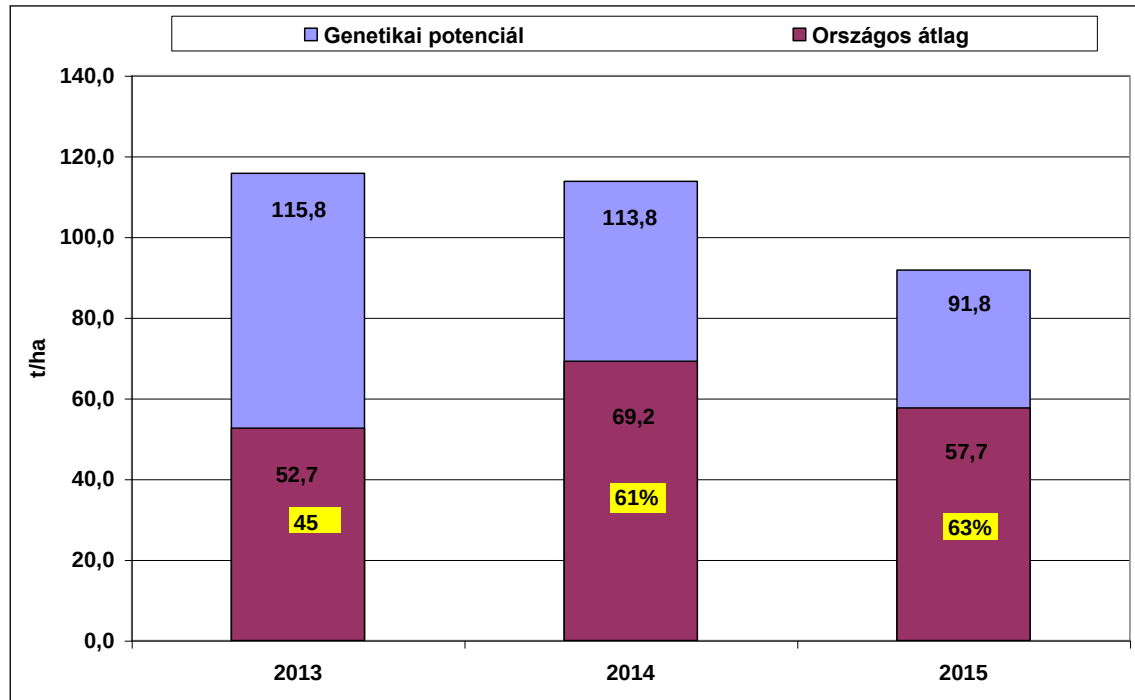
A **cukorrépa hozamait** vizsgálva a 2010-től 2015-ig tartó időszakban (32.ábra), Magyarország termései hasonló szinten voltak, mint a többi régióé, sőt 2014-ben a magyar termékek voltak a legjobbak. Ez sokkal kiegyenlítettebb mint a silókukoricánál tapasztalt hozam alakulások. Az utóbbi hat év átlagtermése az EU-ban 59,1 a Duna-régióban 53,5 és Magyarországon 57 t/ha volt. Amelyek az EU átlagában 87 %-kal a Duna-régióéban 65,1 %-kal és Magyarországot nézve 123,5 %-kal haladták meg a silókukorica termés szinteket.

A cukorrépa genetikai potenciáljának kihasználása Magyarországon valamivel jobb képet mutat, mint a silókukoricáé, de a lehetőségek még ennél a kultúránál is hatalmasak. Az utóbbi három év átlagában hasznosított 56,3 % alig múlja felül a silókukoricáét (33. ábra).

A vizsgált három év átlagát nézve 107,1 t/ha terméseket lehetett volna elérni, ha a cukorrépa teljes genetikai potenciál kihasználásra kerül. Ez az érték a silókukorica potenciáljának több mint duplája (215,1%).



32.ábra A cukorrépa hektáronkénti termése a vizsgált régiókban



33.ábra A cukorrépa genetikai potenciáljának kihasználása Magyarországon az utóbbi három évben.

Forrás: https://www.nebih.gov.hu/szakteruletek/szakteruletek/novterm_ig/szakteruletek/fajta_s

zap/jegyzekek/kozles.html és http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn007.html alapján saját kalkuláció

A cukorrépa genetikai potenciáljának vizsgálata során Supit et al. 2010 is hasonló eredményeket kapott Magyarország tekintetében. A 30.táblázatból látható, hogy a fejlettebb mezőgazdasági kultúrájú országok jobban megközelítik a genetikai potenciált, de elérni ők sem tudják. A táblázat és a saját eredmények összevetése egy javuló tendenciát mutat a Magyarországon termesztett cukorrépa genetikai potenciáljának kihasználásában.

30. táblázat A cukorrépa genetikai potenciáljának kihasználása az EU országokban

Ország	Országos átlag/Kísérleti átlag	
	1976-1995	1996-2005
Ausztria	57%	74%
Belgium	69%	84%
Dánia	69%	81%
Németország	55%	75%
Franciaország	68%	86%
Írország	65%	73%
Hollandia	73%	77%
Egyesült királyság	58%	73%
Bulgária	44%	35%
Cseh Köztársaság	39%	54%
Magyarország	42%	55%
Lengyelország	42%	49%
Románia	51%	44%
Szlovákia	36%	43%
Görögország	81%	85%
Olaszország	52%	55%
Portugália	91%	66%
Spanyolország	43%	68%

Forrás: Supit et al., Agricultural Systems, 2010

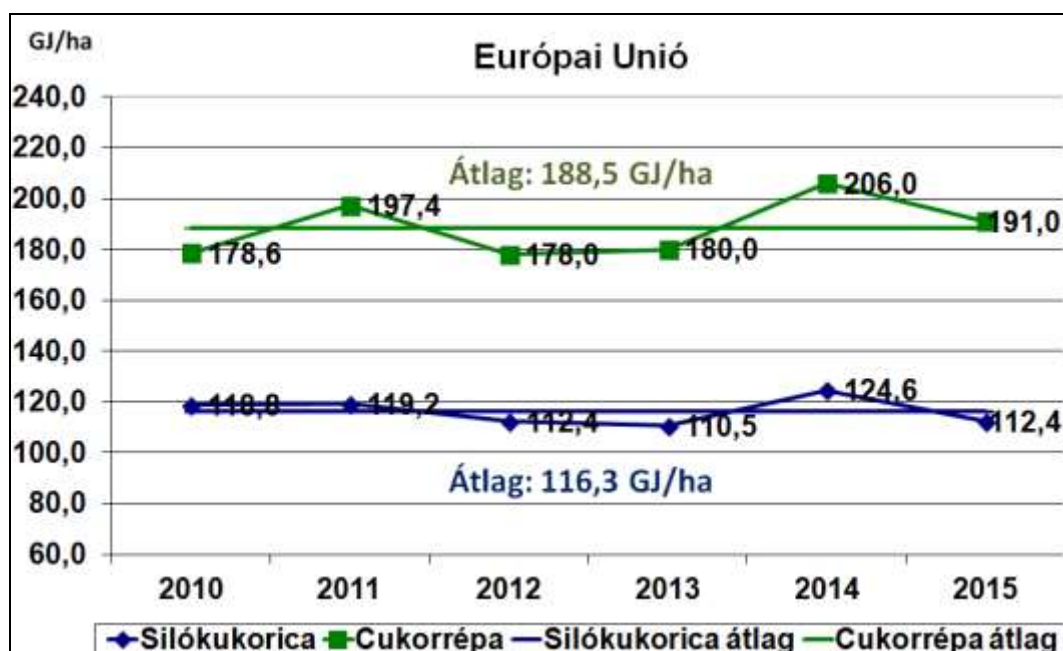
4.2.3 Energia potenciálok a biogáz célú növény termesztésekből

A hektáronkénti energia hozamok vizsgálatához az egy tonna terméssel nyerhető energia számítása az irodalmi adatokkal összevetett 4.1. fejezetben mért biogáz ill. energia kihozatali adatoknak a 31.táblázat átlagos szárazanyag tartalmaival végzett korrigálása alapján történt. Így a silókukorica az átlagos 34 %, a cukorrépa 24 % szárazanyag tartalommal került a kalkulációkba.

31.táblázat A vizsgált növények ill. növény részek átlagos szárazanyag tartalma

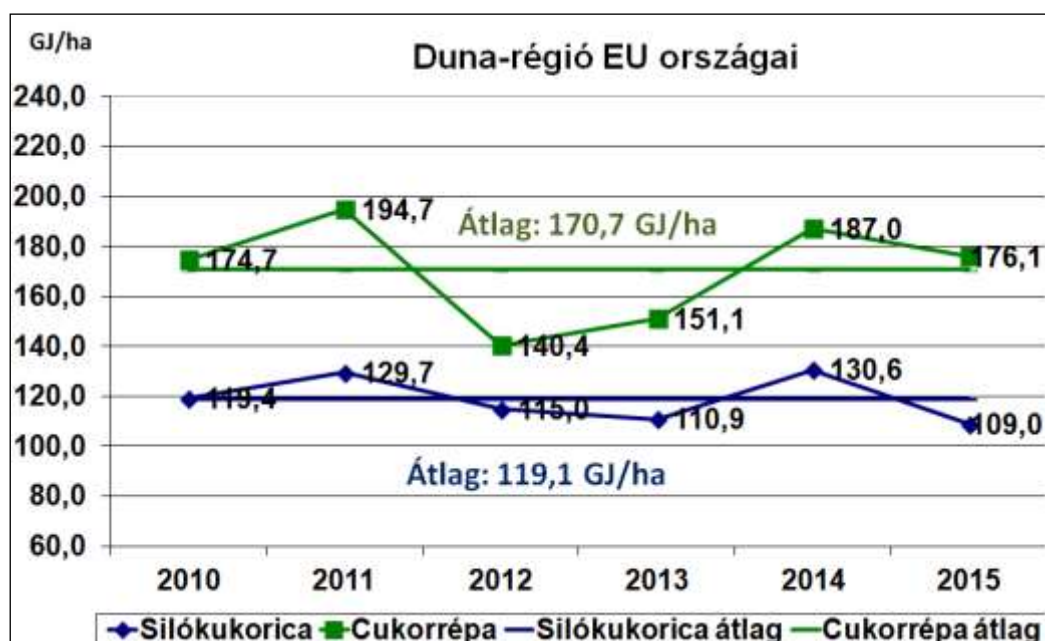
	Átlagos szárazanyag tartalom	Források
Kukorica szem	85	Msz 12540-98
Csőves kukorica (csőburkoló levéllel)	64	Huzsvai (2005)
Kukorica szár	65	Huzsvai (2005)
Silókukorica		
tejes érésben	25	Füleki (1999)
viaszérésben	34	Füleki (1999)
viaszérés végén	40	Füleki (1999)
Cukorcirok	30	Bocz (1992)
Cukorrépa gyökér	24	Füleki (1999)
Cukorrépa fej	25	Huzsvai (2005)
Cukorrépa levél	24	Huzsvai (2005)
Csicsóka	25	http://agroforum.hu/hirek/csicsoka-az-ujra-felfedezett-noveny-1-resz

A termések biogázosításával elérhető energia hozamok alakulása a hektáronkénti átlagtermésekhez hasonló képet mutat. Az EU szintjén a vizsgált évek átlagában a cukorrépa biogáz termelésből előállítható hektáronkénti energia hozama 188,5 GJ/ha volt, ami 62 %-al haladta meg a silókukoricáét (116,3 GJ/ha). Az évenkénti hozamokban minimum 50 és maximum 70 % volt az eltérés a cukorrépa javára (34.ábra).



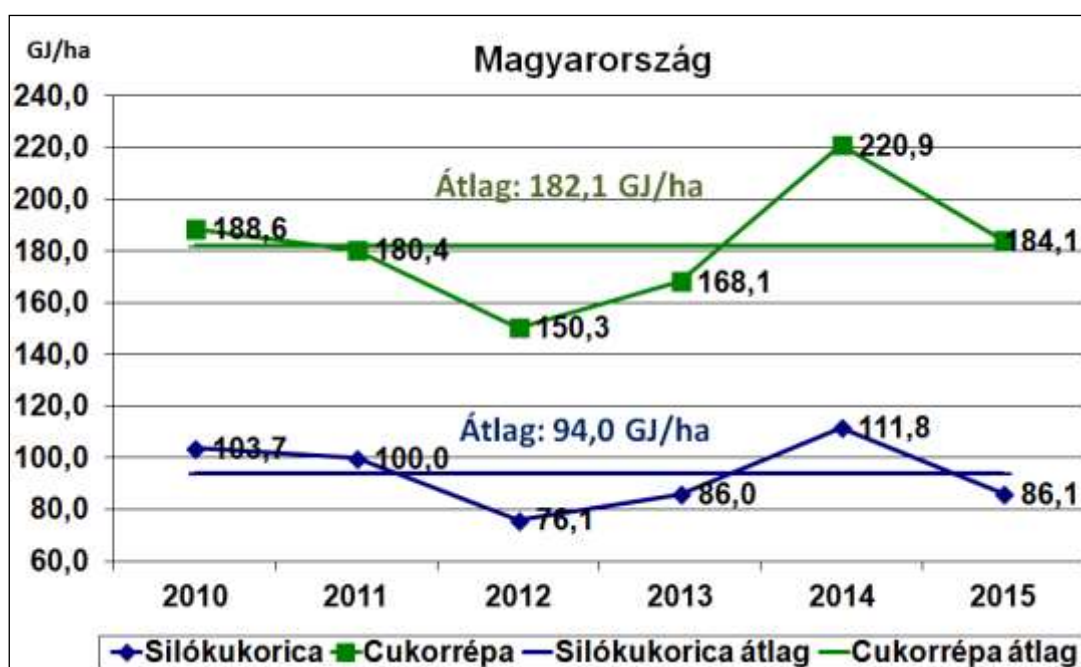
34.ábra A biogáz termeléssel elérhető energia hozamok évenkénti átlaga az EU-ban

A Duna-régiós EU országokban a biogáz termelésből előállítható hektáronkénti energia hozam a cukorrépa esetén átlagosan 170,7 GJ, ami 43,3 %-al volt magasabb a silókukoricából előállítható 119,1 GJ-nál. Az évenkénti hozamok itt közelítették legjobban egymást, 2012-ben csak 22,1%-os eltéréssel de 2015-re ez a különbség már közel háromszorosára nőtt, ami a termesztésben rejlő bizonytalanságokat mutatja (35.ábra).



35.ábra A biogáz termeléssel elérhető energia hozamok évenkénti átlaga a Duna- régió EU országaiban.

Mint a 36. ábrán látható Magyarországon a cukorrépából 182,1 GJ/ha, míg silókukoricából 94,0 GJ/ha lett volna nyerhető biogáz célú felhasználás esetén a vizsgált periódusban. A cukorrépa energia hozamai minden évben közel kétszer nagyobbak voltak, mint silókukoricáé. Így az átlagos hektáronkénti energia hozama 93,8 %-al haladta meg a silókukoricáét. Az évenkénti hozamokban az eltérés minimum 80,4%, maximum 113,6 % volt a cukorrépa javára.



36.ábra A biogáz termeléssel elérhető energia hozamok évenkénti átlaga Magyarországon

Megállapítható, hogy a laboratóriumi biogáz vizsgálatokból kapott és irodalmi adatokkal egyeztetett metán termelési eredményekből, és vizsgált régiók silókukorica és cukorrépa terület és termés adatiból számított energia hozam adatok alapján a cukorrépa biogáz alapú energia hozama minden régióban a legmagasabb értéket mutatta, ezért a terület egységre vetített energia potenciál tekintetében is a legjobbnak mondható.

Ráadásul itt csak a gyökér energia hozamával számoltunk, ha betakarítjuk a levélzetet is az még javít a mutatókon.

4.2.4 A vizsgált régiók energia potenciáljai a növények biogázosítására alapozva

A régiók maximális, átlagos és könnyen termelésbe vonható energia potenciáljai a silókukorica és a cukorrépa biogáz termelésére alapozva a 32. és 33. táblázatokban találhatók.

Az utóbbi 25 év maximális termőterület nagyságára alapozva EU szinten 969 PJ , Duna-régiós szinten 399 PJ és Magyarországon 321 PJ energia lenne nyerhető a silókukoricából. Azonban a könnyen termesztésbe vonható területeken ezek az értékek ennek tizedét sem érik el (85,4; 35,4 és 1,1 PJ).

Az 1. táblázatban az EU számára 2030-ra előrejelzett 155 PJ silókukoricából származó energia biogázosítással az átlagterület negyedén lenne előállítható. A cukorrépából jósolt 17 PJ már az átlagterület 4,3%-án, és a flexibilis területeken ennek duplája megtermelhető lenne.

32. táblázat A silókukoricára alapozott biogáz termelésből nyerhető energiák a különböző régiókban (Flexibilis terület = az 2008-2015 közötti időszak átlaghoz viszonyított eltérési alapján a 21. táblázat adataiból számolt területek nagysága)

Silókukorica	Maximum		Átlag		Flexibilis	
	Terület	Energia termelés	Terület	Energia termelés	Terület	Energia termelés
	1000 ha	PJ	1000 ha	PJ	1000 ha	PJ
Magyarország	321	37,337	148	17,218	9,565	1,113
Duna Régió	4247	398,973	2333	219,211	376,28	35,352
EU 28	8134	968,589	5211	620,592	717,205	85,408

A cukorrépa utóbbi 25 éves maximális termőterület nagyságára alapozva EU szinten 596 PJ , Duna-régiós szinten 260 PJ és Magyarországon 30 PJ energia lenne nyerhető. A könnyen termesztésbe vonható területeken 34,7; 15,7 és 0,87 PJ a cukorrépa biogázosítással előállítható energia.

33. táblázat A cukorrépára alapozott biogáz termelésből nyerhető energiák a különböző régiókban (Flexibilis terület = az 2008-2015 közötti időszak átlaghoz viszonyított eltérési alapján a 21. táblázat adataiból számolt területek nagysága)

Cukorrépa	Maximum		Átlag		Flexibilis	
	Terület	Energia termelés	Terület	Energia termelés	Terület	Energia termelés
	1000 ha	PJ	1000 ha	PJ	1000 ha	PJ
Magyarország	161	30,347	65	12,345	4,61	0,869
Duna Régió	1430	260,287	846	154,108	86,02	15,660
EU 28	3491	595,680	2339	399,199	203,565	34,739

A két növény együttes termesztését vizsgálva, ami vetésforgóban gyakran előfordul az EU könnyen mobilizálható flexibilis területein is közel 120 PJ , a Duna-régióban e területein 51,1 PJ és Magyarországon is 1,98 PJ energia lenne nyerhető.

Ezek az értékek az EU a Duna-régió EU országai és Magyarország 2014 évi biogáz termelési adatainak 19,2; 14,2 és 62,3 %-át tennék ki, illetve a 2020-ra az optimista előrejelzések alapján kapott értékek 9,14; 7,29 és 31,4 %-át (2.1.4-2.1.6 fejezetek és 32. és 33. táblázatok adatai alapján).

A következőkben egy cukorrépára (cukor előállítás és a préselt szelet biogázosítása) alapozott biogáz technológia végtermék azaz biogáz iszap hasznosítási lehetőségeit vizsgálva három éves szántóföldi kísérletek eredményei demonstrálják ennek pozitív hatását.

A biogáz előállítás préselt szeletre alapozott technológiája a Kaposvári Cukorgyárban megvalósult és évek óta sikerrel üzemel. A szántóföldi kísérletekhez használt biogáz iszap is innét származik.

4.3 Biogáziszap szántóföldi tápanyag kísérletek eredményei

4.3.1 Kukorica kísérletek

4.3.1.1 A kukorica alá kijuttatott biogáz iszapok

A szántóföldi kísérletben felhasznált biogáz iszap átlagos szárazanyag tartalma 4,94 és 6,55% között változott és ebben 66,40-72,21% volt a szervesanyag. A pH 7,3-7,5 értéket mutatott.

34.táblázat A biogáz iszapok beltartalmi mutatói

Kukorica	Szárazanyag tart.	Szervesanyag	KOI	BOI	pH	C	N	P2O5
	%	sza.%	mg/l	mg/l		sza.%	sza.%	sza. %
2007	6,55	66,4	2183	8561	7,5	28,1	3,8	0,91
2008	6,33	72,21	2180	9120	7,5	39,5	4,5	1,28
2009	4,94	69,2	2167	9865	7,3	40,2	5,9	1,26
	K	Na	Mg	Mn	S	Cd	Cu	Ni
	sza. %	mg/kg sza.	mg/kg sza.	mg/kg sza.	mg/kg sza.	mg/kg sza.	mg/kg sza.	mg/kg sza.
2007	0,9	2344	3225	97,8	5,2	8,9	22,6	18,1
2008	1,6	3888	7105	129	4,8	0,05	35	29,7
2009	2,5	9313	6000	173	4,18	0,08	29,2	23,1
	Pb	Hg	Cr	As	Co	Se	Zn	Mo
	mg/kg sza.	mg/kg sza.	mg/kg sza.	mg/kg sza.	mg/kg sza.	mg/kg sza.	mg/kg sza.	mg/kg sza.
2007	13,4	< 0,05	34,1	< 1	5,91	< 0,25	95,6	0,88
2008	18	< 0,05	28,3	< 1	7,3	< 0,25	81,6	0,44
2009	27,1	< 0,05	29,7	< 1	6,87	< 0,25	122	0,34

Mint a 35. táblázatból látható a 40 és a 80t/ha adagú fölősiszap kijuttatás, 2007-ben közel 100 és 200 kg/ha nitrogén, 24 és 48 kg/ha foszfor-pentoxid valamint 23,6 és 47,2 kg/ha kálium-oxid hatóanyagú trágyázásnak felelt meg. Ugyanezen adagok a 2008-as beltartalmakkal számolva 114 illetve 228 kg nitrogén, 32,4 ill. 64,8 kg foszfor-pentoxid és valamivel több mint 40 és 80 kg kálium-oxid hatóanyagot tartalmaztak.

A legtöbb nitrogént hatóanyag 116,4 illetve 232,8 kg 2009-ben került ki a kísérletekbe a 40 ill. 80t/ha adagú iszapokkal. A foszfor-pentoxid szintje kb. a 2007-es mennyiségnek felelt

meg, míg a kálium-oxid szintén a maximumot mutatta: 49,6 ill. 99,2 kg/ha hatóanyag mennyiségekkel.

35. táblázat A biogáz iszap kezelésekkal kijuttatott hektáronkénti tápanyag mennyiségek és kijuttatási határértékek (nk.=nem kimutatható; *=50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet 6. számú melléklete alapján)

Elemek	2007			2008			2009			Határ- érték*
	1t	40t	80t	1t	40t	80t	1t	40t	80t	
C	18,4	736	1472	25	1000	2000	19,9	796	1592	
N	2,49	99,6	199,2	2,85	114	228	2,91	116,4	232,8	
P ₂ O ₅	0,6	24	48	0,81	32,4	64,8	0,62	24,8	49,6	
K ₂ O	0,59	23,6	47,2	1,01	40,4	80,8	1,24	49,6	99,2	
Na	0,15	6	12	0,25	10	20	0,46	18,4	36,8	
Mg	0,21	8,4	16,8	0,45	18	36	0,3	12	24	
Mn	0,006	0,24	0,48	0,008	0,32	0,64	0,009	0,36	0,72	
S	4,00E-04	0,016	0,032	3,00E-04	0,012	0,024	2,00E-04	0,008	0,016	
Cd	0,001	0,04	0,08	3,00E-06	1,20E-04	2,40E-04	4,00E-06	1,60E-04	3,20E-04	0,15
Cu	0,001	0,04	0,08	0,002	0,08	0,16	0,001	0,04	0,08	10
Ni	0,001	0,04	0,08	0,002	0,08	0,16	0,001	0,04	0,08	2
Pb	0,001	0,04	0,08	0,001	0,04	0,08	0,001	0,04	0,08	10
Hg	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	0,1
Cr	0,002	0,08	0,16	0,002	0,08	0,16	0,001	0,04	0,08	10
As	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	0,5
Co	4,00E-04	0,016	0,032	5,00E-04	0,02	0,04	4,00E-04	0,016	0,032	0,5
Se	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	10
Zn	0,006	0,24	0,48	0,005	0,2	0,4	0,006	0,24	0,48	30
Mo	5,00E-05	0,002	0,004	3,00E-05	1,20E-03	2,40E-03	2,00E-05	8,00E-04	1,60E-03	0,2

A magyarországi szabályozás szerint, azaz az 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet 6. számú melléklete (Mezőgazdasági területre szennyvízzel, szennyvíziszappal és szennyvíziszap komposzttal évente kijuttatható mérgező elemek és káros anyagok mennyisége) (Megállapította: 40/2008. (II. 26.) Korm. rendelet 22. § (2), 5. számú melléklet. Hatályos: 2008. III. 5-től.) alapján a kijuttatható toxikus elemek mennyisége a maximális dózisban egyik évben sem érte el az éves megengedett határértékeket.

4.3.1.2 A kukorica kísérleti területek talajadatai

A 2007, 2008 és 2009 évi kísérleti területek tápanyag ellátottsági szintjeit a 36. táblázat mutatja. A kísérletek a Sopronhorpács környékén jellemző barna erdő talajokon kerültek beállításra. A talajok a kötöttség alapján agyagos vályog kategóriába estek és emellett semleges körüli kémhatást és alacsony só tartalmat mutattak.

A tápelemek közül a kálium minden évben igen jó, a magnézium jó, a nátrium megfelelő, míg a cink gyenge ellátottságot mutatott. A többi vizsgált elem ellátottsági szintje évente változott. Az NPK ellátottsági szinteket részletesen vizsgálva a 2007 évi kísérlet közepes nitrogén és igen jó kálium és foszfor ellátottságú területen került végrehajtásra. A 2008 évi kísérleti terület nitrogén ellátottsága gyengébb volt, de másik két a fő tápelemek tekintetében nem különbözött az előző évitől. 2009-ben is hasonló tápanyag ellátottságot tapasztaltunk, mint az előző években, azaz közepes nitrogén, gyenge foszfor és igen jó kálium szinteket.

A változó ellátottsági kategóriákat mutató mikroelemek közül a 2007-ben a mangánnál jó a réznél gyenge ellátottság volt tapasztalható. Majd 2008-ban a mangán gyenge a réz jó, és 2009-ben a mangán igen jó, míg a réz jó kategóriába került.

A mikroelem ellátottság szempontjából a 2009 évi kísérleti terület volt a legkedvezőbb, csak a cink vizsgálati eredmény mutatott gyenge ellátottságot.

36.táblázat A 2007-2009 évi kukorica kísérletek talajainak tápanyag ellátottsága

Talajok tápanyag ellátottsága			
	2007	2008	2009
A talaj kémhatása (pH)	gyengén lúgos	gyengén lúgos	gyengén savanyú
Fizikai talajféleség	agyagos vályog	agyagos vályog	agyagos vályog
Só ellátottság	gyengén szoloncsákos	kis sótartalmú	gyengén szoloncsákos
Nitrogén ellátottság	KÖZEPES	GYENGE	KÖZEPES
Mész ellátottság	gyengén meszes	közepesen meszes	mészhiányos
Foszfor ellátottság	IGENJÓ	IGENJÓ	JÓ
Kálium ellátottság	IGENJÓ	IGENJÓ	IGENJÓ
NO ₃ - + NO ₂ --N ellátottság	közepes	gyenge	igen jó
Szulfát ellátottság	igen jó	igen jó	jó
Nátrium ellátottság	megfelelő	megfelelő	megfelelő
Magnézium ellátottság	jó	jó	jó
Mangán ellátottság	jó	gyenge	igen jó
Cink ellátottság	gyenge	gyenge	gyenge
Réz ellátottság	gyenge	jó	jó

2007-ben a 40 ill. 80 t/ha adagú biogáz-iszappal kijutatott nitrogén, foszfor - pentoxid és kálium-oxid mennyiségek nem fedezték a MÉM NAK irányelvek alapján készült tápanyag utánpótlási tervben a 10 t/ha terméshez számított tápanyag szükségleteket (37. táblázat).

Viszont 2008-ban a plusz tápanyag utánpótlást is alkalmazva, hektáronként 171 kg nitrogén, 94 kg foszfor-petoxid és 180 kg kálium-oxid került alaptrágyaként kijuttatásra. Ráadásul 2008-ban a 2007 évihez képest 12 ill. 24 kg/ha-val több nitrogén és kálium-oxid valamint 8 ill. 16 kg/ha-al több foszfor-petoxid került ki a 40 ill. 80t/ha adagú iszapokkal is. Így mint a 10 t/ha termésszint eléréséhez a 80 t/ha adagoknál elméletileg a már mind három fő tápelemből elegendő mennyiség állt a növények rendelkezésére. A foszforból a 40 t/ha adag is míg a káliumból még a kontrol is tartalmazta (meghaladta) a 10 t/ha eléréséhez szükséges mennyiséget.

2009-ben a 2008 évvel azonos mennyiségű kiegészítő trágyázás mellett a kijutatott 40 ill. 80 t/ha adagú iszappal is sok, még a 2008 évinél is 4 ill. 8 kg/ha hatóanyaggal több nitrogén hatóanyag jutott a kísérleti területre. Így a talaj a 2008 évinél jobb nitrogén ellátottságával együtt már a 40 t/ha biogáz iszap adagokkal is tartalmazták a 10 t/ha termés nitrogén igényéhez szükséges mennyiségeket,. Az iszapokkal kijutatott foszfor-pentoxid és kálium-oxid hektáronkénti adagja a 2007 évvel volt azonos, de a kiegészítő trágyázás hatására a foszfor a 80 t/ha adagoknál, míg a kálium már kontrolnál is elérte a 10 t/ha termés szinthez szükséges mennyiséget.

37.táblázat A MÉM NAK irányelvek alapján történt tápanyag utánpótlási szaktanács készítéssel a 10 t kukorica termés eléréséhez szükséges NPK adagok a vizsgált években

	2007-2008	2008-2009	2009-2010
Nitrogén (kg/ha)	280	320	280
Foszfor-pentoxid (kg/ha)	100	100	120
Kálium-oxid (kg/ha)	110	110	110

4.3.1.3 Kukorica kísérletek termés és minőség eredményei:

A kukorica szemtermése

A kukorica szemtermésének alakulását egyes évjáratokban a 38. táblázat mutatja. Bár a tendencia minden évben hozamnövekedést mutatott, 2007-ben szignifikáns különbségeket nem sikerült kimutatni. Ugyanis ekkor csak a biogáziszap trágyázásra alapozva plusz műtrágya kijuttatás nélkül végeztük a kísérletet. Azonban az így kijuttatott tápanyag mennyiségek nem fedezték a nagy terméspotenciálú kukorica tápanyag szükségletét, és így az alacsony termésátlagokkal reagált. A következő években már plusz tápanyag kijuttatás is történt ami a magasabb termés átlagokban realizálódott, és ezeken a magasabb tápanyag szinteken is tudott plusz eredményeket mutatni a biogáziszap alkalmazása.

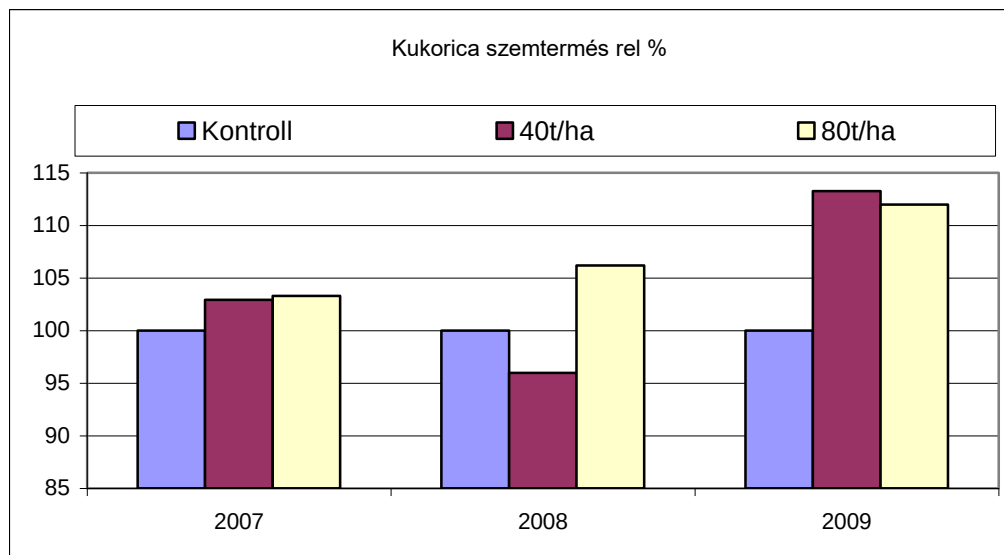
2008-ban a 40 és 80 t/ha adagok között a 80 t/ha adag javára alakult ki szignifikáns különbség. Majd 2009-ben a kontrollhoz képest mindkét kezelés szignifikánsan növelte a termést. A három év átlagban csak a 80 t/ha-os adagnál kaptunk szignifikáns növekedést.

38.táblázat A kukorica kísérletek hozam eredményei

Szemtermés (t/ha)	2007	2008	2009	Átlag
Kontroll	5,98 a	13,97 ab	14,28 b	11,41 b
40t/ha	6,16 a	13,41 b	16,17a	11,91 ab
80t/ha	6,18 a	14,83 a	15,99 a	12,33 a

A biogáz iszap használata általában pozitív hatást gyakorol a kukorica hozamára (37. ábra). Átlag 4,4 és 8,1% szemtermés növekedést kaptunk a kukoricában az egyes dózisokkal.

2009-ben a kontrollhoz viszonyított terméstöbblet mindkét kezelésnél szignifikánsan meghaladta a 10%-ot.



37.ábra A kukorica szemtermések relatív nagysága

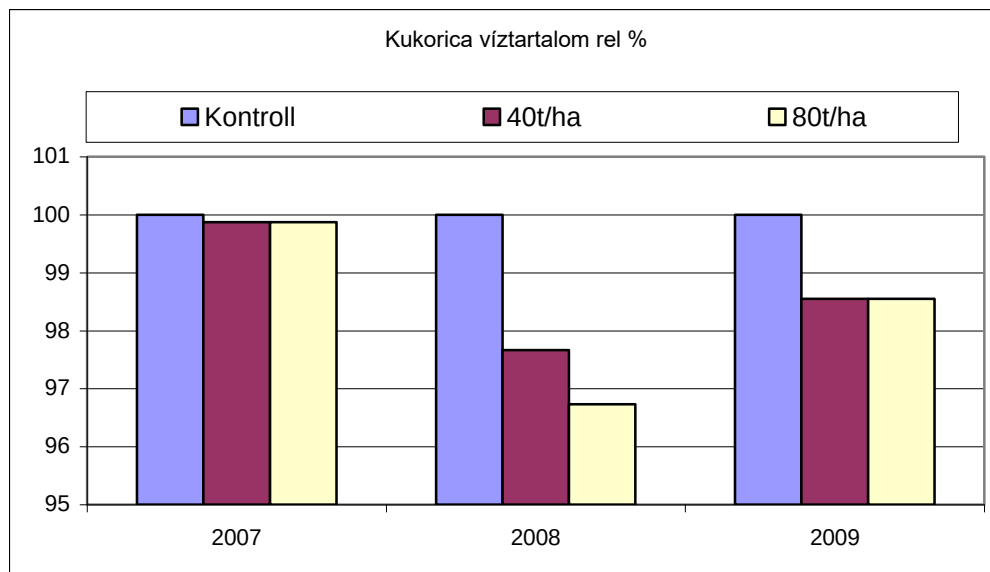
A kukorica víztartalmának alakulása

Mint a 39. táblázatból látható a víztartalom alakulására is általában pozitívan hatottak a kezelések, azonban szignifikáns különbség nem alakult ki hatásukra.

39.táblázat A kukorica kísérletek víztartalom eredményei

Víztartalom (%)	2007	2008	2009	Átlag
Kontroll	19,15 a	21,4 a	18,98 a	19,84 a
40t/ha	19,1 3a	20,9 a	18,7 a	19,58 a
80t/ha	19,13 a	20,7 a	18,7 a	19,51 a

Átlagosan 1,3 ill. 1,7 %-os víztartalom csökkenést tapasztaltunk a 40 ill. 80 t/ha kezelések hatására (38. ábra).



38.ábra A kukorica víztartalmi adatok relatív nagysága

A kukorica szárazanyag termése

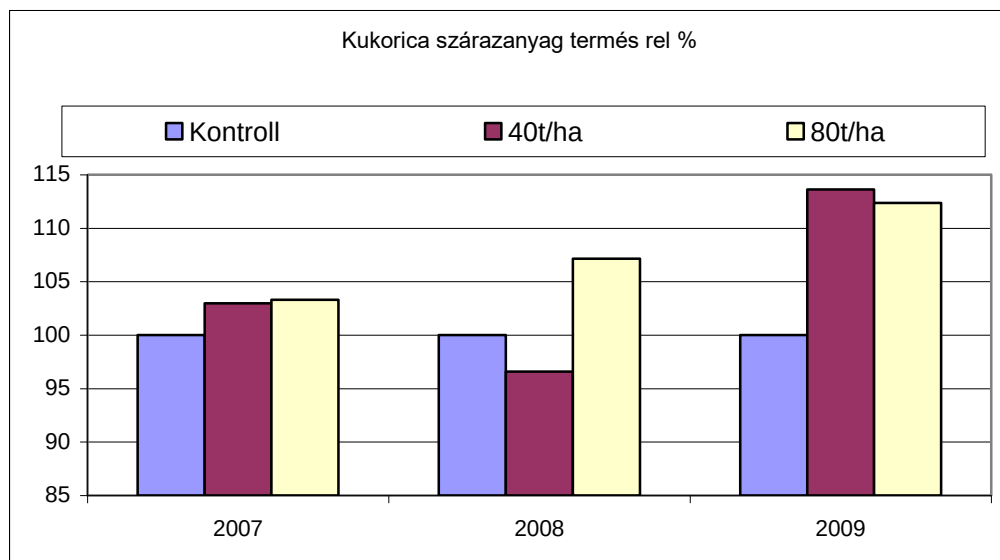
A szárazanyag termések a nyers szemtermésekhez hasonlóan alakultak, szignifikáns különbség 2008-ban a 40 és 80 t/ha adagok között a 80 t/ha adag javára alakultak ki.

2009-ben mindkét kezelés szignifikánsan jobb volt. Bár a tendencia minden évben hozamnövekedést mutatott a három év átlagban csak a 80 t/ha-os adagnál találtunk szignifikáns növekedést (40.táblázat).

40.táblázat A kukorica kísérletek szárazanyag termés eredményei

Szárazanyag termés (t/ha)	2007	2008	2009	Átlag
Kontroll	4,84 a	10,98 ab	11,57 b	9,15 b
40t/ha	4,98 a	10,60 b	13,15 a	9,58 ab
80t/ha	5,00 a	11,76 a	13,00 a	9,92 a

Átlagosan 4,7 és 8,6 %-os szárazanyag hozam növekedést tapasztaltunk, de a maximum elérte a 13 %-ot. Érdekes megfigyelni, hogy a termésszintek növekedésével a kezelések hatása is nőtt, és ráadásul a legkevésbé csapadékos évben érték el a maximumot (39. ábra).



39.ábra A kukorica szárazanyag termések relatív nagysága

4.3.1.4 A talajok tápelem tartalmának változása a kukorica kísérletekben

A 2007 évi kezelések hatása a talaj paraméterekre a 41. táblázat és 40. ábra mutatják.

A kezelések hatására szignifikáns növekedés csak a talaj nátrium és króm tartalmában a 80 t/ha adagoknál olt megfigyelhető. A toxikus elemek közül egyik koncentrációja sem lépte túl a talajban a rendelt által meghatározott a 44. táblázatban szereplő határértékét.

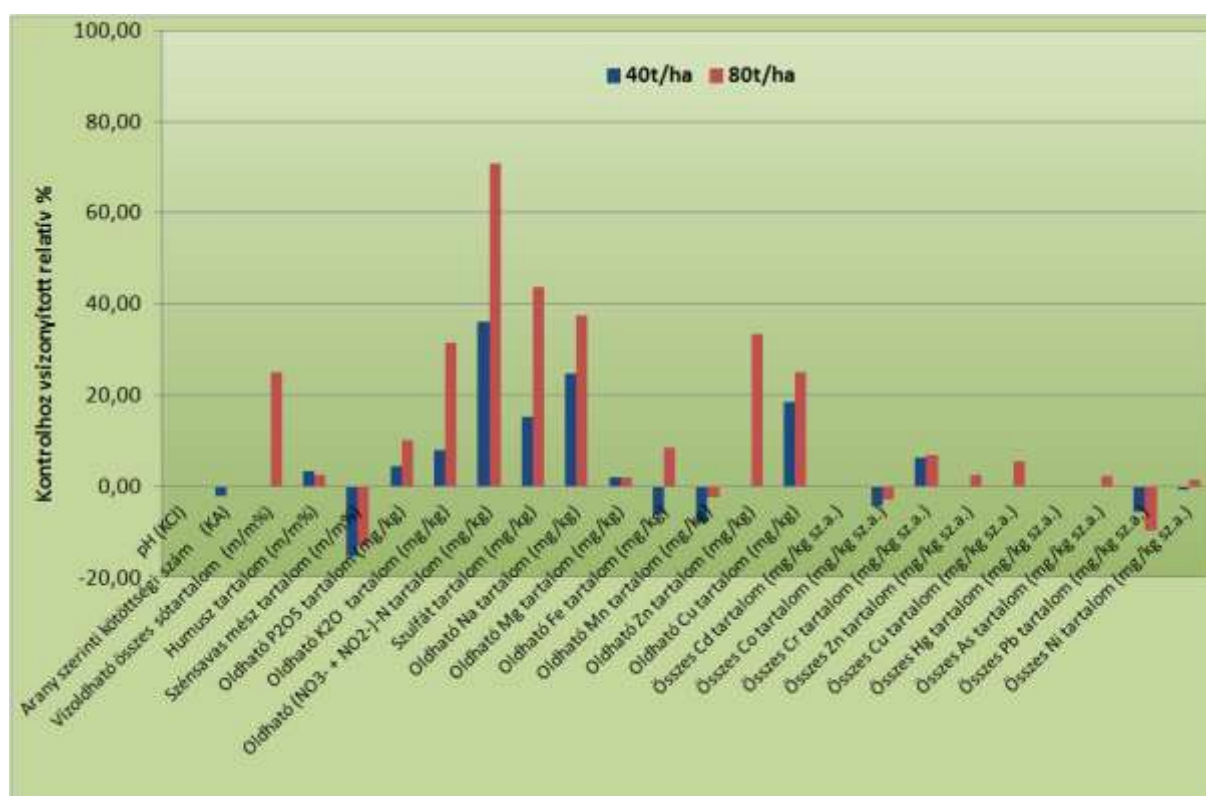
41.táblázat A kukorica kísérlet parcelláinak betakarítás kori talajvizsgálati eredményei 2007-ben (Az egyes sorokban levő azonos betűk a szignifikáns különbség hiányát mutatják).

	Kontrol	40t/ha	80t/ha
pH (KCl)	7,4 a	7,4 a	7,4 a
Arany szerinti kötöttségi szám (KA)	47 a	46 a	47 a
Vízoldható összes sótartalom (m/m%)	0,04 a	0,04 a	0,05 a
Humusz tartalom (m/m%)	2,4 a	2,48 a	2,46 a
Szénsavas mész tartalom (m/m%)	2,33 a	1,97 a	2,03 a
Oldható P ₂ O ₅ tartalom (mg/kg)	250 a	261 a	275 a
Oldható K ₂ O tartalom (mg/kg)	573 a	618 a	753 a
Oldható (NO ₃ - + NO ₂ -)-N tartalom (mg/kg)	3,11 a	4,23 a	5,31 a
Szulfát tartalom (mg/kg)	33,1 a	38,1 a	47,6 a
Oldható Na tartalom (mg/kg)	31,5 b	39,3 ab	43,3a
Oldható Mg tartalom (mg/kg)	271 a	276 a	276 a
Oldható Fe tartalom (mg/kg)	60 a	56,3 a	65 a
Oldható Mn tartalom (mg/kg)	83 a	76,5 a	81 a
Oldható Zn tartalom (mg/kg)	0,075 a	0,075 a	0,1 a
Oldható Cu tartalom (mg/kg)	1,08 a	1,28 a	1,35 a
Összes Cd tartalom (mg/kg sz.a.)	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Összes Co tartalom (mg/kg sz.a.)	0,69 a	0,66 a	0,67 a
Összes Cr tartalom (mg/kg sz.a.)	1,78 b	1,89 ab	1,90 a
Összes Zn tartalom (mg/kg sz.a.)	2,85 a	2,84 a	2,92 a
Összes Cu tartalom (mg/kg sz.a.)	1,31 a	1,31 a	1,38 a
Összes Hg tartalom (mg/kg sz.a.)	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Összes As tartalom (mg/kg sz.a.)	0,48 a	0,48 a	0,49 a
Összes Pb tartalom (mg/kg sz.a.)	1,04 a	0,98 a	0,94 a
Összes Ni tartalom (mg/kg sz.a.)	1,37 a	1,36 a	1,39 a

A kontrollhoz képest a legnagyobb, több mint 70 %-os növekedést, a nitrit-nitrát nitrogén tartalomban tapasztaltunk, ami nitrogén kijuttatásnak és a kezelések talajélet (nitrifikáció), serkentő hatásának is betudható.

Emellett a szulfát tartalom nőtt több mint 40%-al de kisebb emelkedés foszfor és kálium tartalomban is megfigyelhető volt, mind a 40 t/ha és mind a 80 t/ha adagú kezelés hatására.

A 80 t/ha adagok után általában nagyobb mennyiségű tápelemet sikerült kimutatni.



40.ábra A talajvizsgálati paraméterek kontrolhoz viszonyított relatív változásai, kukorica kísérletben 2007-ben

A 42.táblázat és 41. ábra mutatja a 2008 évi kezelések és hatását a talaj összetételére.

Mint a 42. táblázatból látható 2008-ban már a 40 t/ biogáz iszap kijuttatás hatására szignifikánsan nőtt a talajok, nitrit-nitrát nitrogén és nátrium tartalma, sőt még kiegészült az oldható szulfát tartalom jelentős növekedésével is. Mivel a szulfát tartalom a 80 t/ha adagnál visszaesett ennek növekedése valószínűleg egy talajfoltnak köszönhető. Viszont a másik két mutató emelkedése egyértelműen a kezelések hatására következett be, ugyanis a 80 t/ha adagoknál mért értékek a kontrolltól szintén szignifikánsan különböztek, sőt a nitrit-nitrát nitrogén esetében még a 40 t/ha adagoknál mértéktől is.

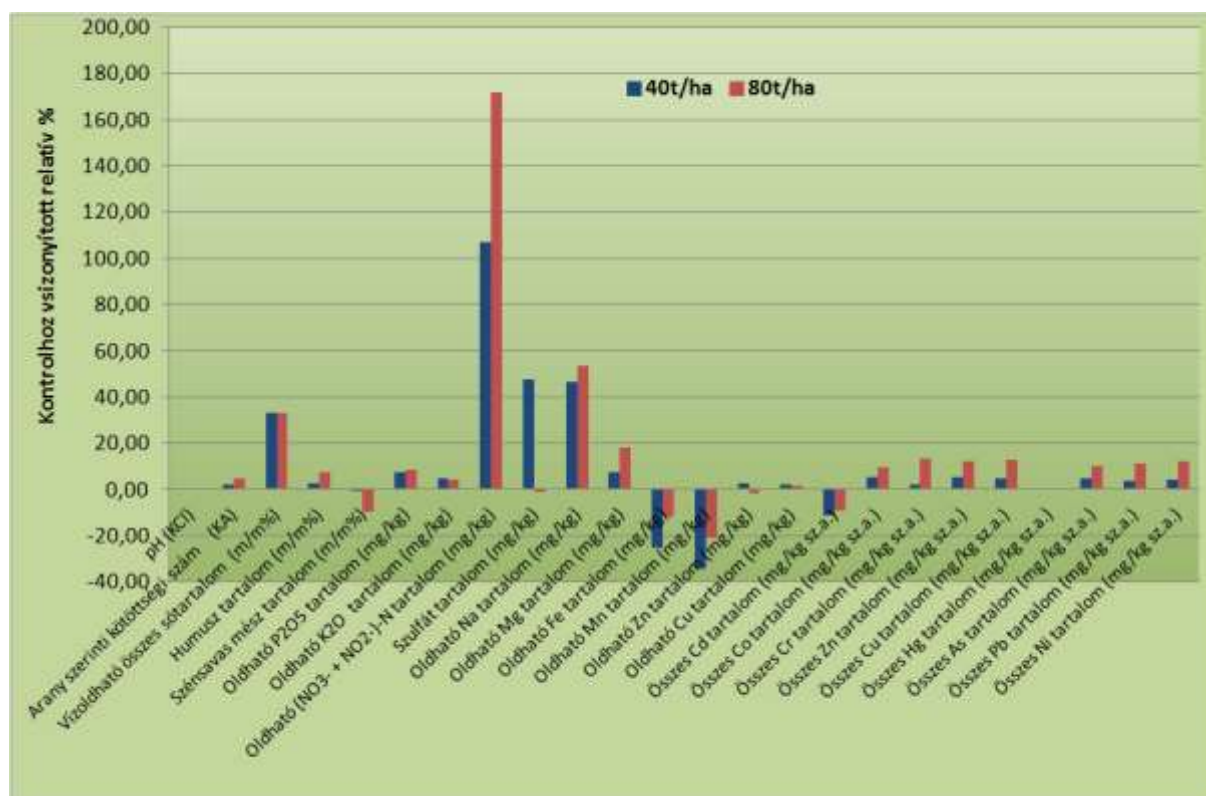
A toxikus elemek közül a cink tartalom nőtt csak szignifikánsan a 80 t/ha bigáz iszap adagok alkalmazása során. A rendeletben megengedett határérték túllépését egyik elem esetében sem tapasztaltuk.

42.táblázat A kukorica kísérlet parcelláinak betakarítás kori talajvizsgálati eredményei 2008-ban (Az egyes sorokban levő azonos betűk a szignifikáns különbség hiányát mutatják).

	Kontrol	40t/ha	80t/ha
pH (KCl)	7,3 a	7,3 a	7,3 a
Arany szerinti kötöttségi szám (KA)	43 a	44 a	45 a
Vízoldható összes sótartalom (m/m%)	0,03 a	0,04 a	0,04 a
Humusz tartalom (m/m%)	1,88 a	1,93 a	2,02 a
Szénsavas mésztartalom (m/m%)	8,96 a	8,93 a	8,12 a
Oldható P ₂ O ₅ tartalom (mg/kg)	344 a	369 a	373 a
Oldható K ₂ O tartalom (mg/kg)	346 a	363 a	360 a
Oldható (NO ₃ - + NO ₂ -)-N tartalom (mg/kg)	8,61 c	17,84 b	23,42 a
Szulfát tartalom (mg/kg)	65,7 b	97 a	65 b
Oldható Na tartalom (mg/kg)	26,7b	39,2 a	41 a
Oldható Mg tartalom (mg/kg)	99,5 a	107 a	117,5 a
Oldható Fe tartalom (mg/kg)	17 a	12,7 a	15 a
Oldható Mn tartalom (mg/kg)	30,8 a	20,3 a	24,3 a
Oldható Zn tartalom (mg/kg)	1,1 a	1,13 a	1,08 a
Oldható Cu tartalom (mg/kg)	1,38 a	1,41 a	1,4 a
Összes Cd tartalom (mg/kg sz.a.)	0,54 a	0,48 a	0,49 a
Összes Co tartalom (mg/kg sz.a.)	9,66 a	10,19 a	10,59 a
Összes Cr tartalom (mg/kg sz.a.)	34,9 a	35,6 a	39,5 a
Összes Zn tartalom (mg/kg sz.a.)	52,4 b	55,1 ab	58,9 a
Összes Cu tartalom (mg/kg sz.a.)	16,9 a	17,7 a	19,1 a
Összes Hg tartalom (mg/kg sz.a.)	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Összes As tartalom (mg/kg sz.a.)	10,6 a	11,1 a	11,7 a
Összes Pb tartalom (mg/kg sz.a.)	15,1 a	15,7 a	16,8 a
Összes Ni tartalom (mg/kg sz.a.)	26,2 a	27,3 a	29,4 a

A legnagyobb növekedés ebben az évben is a nitrit-nitrát nitrogéntartalomban következett be kétszeresére illetve közel három szorosára növekedett a koncentrációja a talajban a40 ill. 80 t/ha kezelések hatására.

40 % felett nőtt még a nátrium tartalom is, ami a cukorrépa növény magasabb nátrium tartalma miatt a biogáz iszapban visszamaradva problémát okozhat a területeken, hosszútávon elszikesítve azokat. Ennek kivédése szakszerű gondosan ütemezett kijuttatással elérhető.



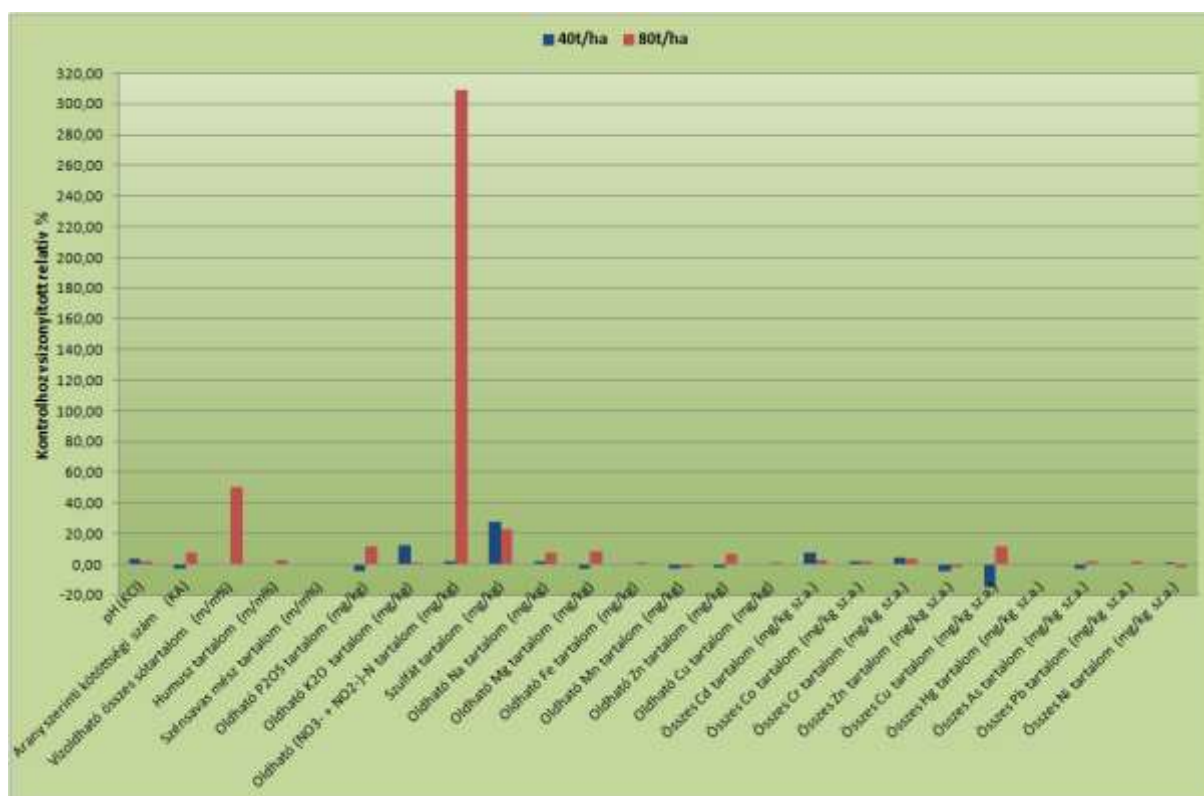
41.ábra A talajvizsgálati paraméterek kontrolhoz viszonyított relatív változásai, kukorica kísérletben 2008-ban

A 2009 évi kezelések hatását a talaj paraméterekre a 43. táblázat és 41. ábra mutatja. Ebben az évben szignifikáns növekedést csak az oldható nitrit-nitrát nitrogén és a magnézium tartalomban tapasztaltunk. A toxikus elemek mennyisége szignifikánsan nem változott.

43.táblázat A kukorica kísérlet parcelláinak betakarítás kori talajvizsgálati eredményei 2009-ben (Az egyes sorokban levő azonos betűk a szignifikáns különbség hiányát mutatják).

	Kontrol	40t/ha	80t/ha
pH (KCl)	6,2 a	6,4 a	6,3 a
Arany szerinti kötöttségi szám (KA)	40 a	39 a	43 a
Vízoldható összes sótartalom (m/m%)	0,02 a	0,02 a	0,03 a
Humusz tartalom (m/m%)	2,00 a	1,99 a	2,06 a
Szénsavas mésztartalom (m/m%)	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Oldható P ₂ O ₅ tartalom (mg/kg)	134 a	128 a	150 a
Oldható K ₂ O tartalom (mg/kg)	271 a	305 a	275 a
Oldható (NO ₃ - + NO ₂ -)-N tartalom (mg/kg)	4,45 b	4,52 b	18,21 a
Szulfát tartalom (mg/kg)	27,9 a	35,7 a	34,2 a
Oldható Na tartalom (mg/kg)	73,6 b	75,1 a	79,2 a
Oldható Mg tartalom (mg/kg)	258 a	251 a	279 a
Oldható Fe tartalom (mg/kg)	49,8 a	49,4 a	50,2 a
Oldható Mn tartalom (mg/kg)	443 a	430 a	432 a
Oldható Zn tartalom (mg/kg)	2,65 a	2,60 a	2,82 a
Oldható Cu tartalom (mg/kg)	6,26 a	6,26 a	6,29 a
Összes Cd tartalom (mg/kg sz.a.)	0,41 a	0,44 a	0,42 a
Összes Co tartalom (mg/kg sz.a.)	8,35 a	8,53 a	8,48 a
Összes Cr tartalom (mg/kg sz.a.)	31,1 a	32,5 a	32,2 a
Összes Zn tartalom (mg/kg sz.a.)	46,9 a	44,8 a	46,1 a
Összes Cu tartalom (mg/kg sz.a.)	9,58 a	8,17 a	10,68 a
Összes Hg tartalom (mg/kg sz.a.)	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Összes As tartalom (mg/kg sz.a.)	10,3 a	10,0 a	10,5 a
Összes Pb tartalom (mg/kg sz.a.)	12,4 a	12,3 a	12,6 a
Összes Ni tartalom (mg/kg sz.a.)	22,7 a	22,9 a	22,3 a

Mint a 42. ábrán látható a nitrit-nitrát nitrogén tartalom a 80 t/ha kezelés hatására, a szembetűnően nagy mértékben, 300%-al nőtt. Emellett a vízoldható összes só 40 % feletti míg a szulfát tartalom 20% feletti növekedést mutatott a 80 t/ha adagú kezelések parcelláinak átlagában.



42.ábra A talajvizsgálati paraméterek kontrollhoz viszonyított relatív változásai a kukorica kísérleten 2009-ben.

A vizsgálati eredmények és 44. táblázat adatainak összevetése alapján meg állapítható, hogy a kaposvári cukorgyár biogáz üzeméből származó biogáz iszap kezelése még 80 t/ha mennyiségben kiadagolva sem befolyásolták károsan a talajok nehézfém tartalmát.

44. táblázat A talajok nehézfém szennyezettségi határértékei a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet 1. számú melléklete és az 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet 3. számú melléklete alapján

Toxikus elem	Határérték
Összes Cd tartalom (mg/kg sz.a.)	1
Összes Co tartalom (mg/kg sz.a.)	30
Összes Cr tartalom (mg/kg sz.a.)	75
Összes Zn tartalom (mg/kg sz.a.)	200
Összes Cu tartalom (mg/kg sz.a.)	75
Összes Hg tartalom (mg/kg sz.a.)	0,5
Összes As tartalom (mg/kg sz.a.)	15
Összes Pb tartalom (mg/kg sz.a.)	100
Összes Ni tartalom (mg/kg sz.a.)	40

4.3.2 Búza kísérletek

4.3.2.1 A búza alá kijuttatott biogáz iszapok

A szántóföldi kísérletben felhasznált biogáz iszap átlagos szárazanyag tartalma 5,3 és 7,0% között változott és ebben 69,6-73,7% volt a szerves-anyag. A pH 7,3-7,5 értékeket mutatott (45. táblázat).

45.táblázat A búza kísérletekbe kijutatott biogáziszapok beltartalmi mutatói

	Szárazanyag tart.	Szervesanyag	KOI	BOI	pH	C	N	P ₂ O ₅
	%	%	mg/l	mg/l		sza. %	sza. %	sza. %
2008	7	73,7	2334	9990	7,4	41,9	4,2	1,33
2009	5,3	69,6	2026	8875	7,3	40,4	4,7	2,12
2010	6,7	70,5	2436	9546	7,5	42,5	4,3	1,52
	K ₂ O	Na	Mg	Mn	S	Cd	Cu	Ni
	sza. %	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
2008	1,35	4740	8800	140	5	0,1	28,1	22,9
2009	2,23	8960	6850	156	4,46	0,05	31,7	21,2
2010	1,5	4544	8100	118	4,4	0,04	22,4	35
	Pb	Hg	Cr	As	Co	Se	Zn	Mo
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
2008	10	< 0,05	20,2	< 1	5,8	< 0,25	88,4	0,46
2009	21,3	< 0,05	27,2	< 1	6,7	< 0,25	85	0,33
2010	16	< 0,05	21,1	< 1	6,1	< 0,25	79	0,34

A 46. táblázat adatai alapján, 2007-ben 117,6 illetve 135,2 kg nitrogént, 37,2 ill. 74,4 kg foszfor-pentoxidot és 38 ill. 76 kg kálium-oxidot juttattunk ki a 40 ill. 80 t/ha adagú iszappal. 2008-ban az előző évihez képest, kissé kevesebb nitrogén, de több foszfor és kálium került a biogáz iszapokkal a területre. Azonban 2009-ben újra a 2007-ben alkalmazott szint közelében jártak az iszapokkal kijutatott makro tápelem mennyiségek. Nitrogénből 115,2 illetve 230,4 kg foszfor-pentoxidból 40,8 és 81,6 kg, míg kálium-oxidból 40 illetve 80 kg jutott ki.

A toxikus elemek mennyiségei a magyarországi szabályozás szerint, **azaz az 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet 6. számú melléklete** Mezőgazdasági területre szennyvízzel, szennyvíziszappal és szennyvíziszap komposztal évente kijuttatható mérgező elemek és káros anyagok mennyisége (**Megállapította: 40/2008. (II. 26.) Korm. rendelet 22. § (2), 5. számú melléklet. Hatályos: 2008. III. 5-től.) alapján** kijuttatható éves szinteket a maximális dózisban sem érték el.

46. táblázat A biogáz iszap kezelésekkal búza alá kijuttatott hektáronkénti tápanyag mennyiségek és kijuttatási határértékek (nk.=nem kimutatható; *=50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet 6. számú melléklete alapján)

Elemek	2007 - 2008			2008 - 2009			2009 - 2010			Határ- érték*
	1t	40t	80t	1t	40t	80t	1t	40t	80t	
C	29,3	1172	2344	21,4	856	1712	28,5	1140	2280	
N	2,94	117,6	235,2	2,49	99,6	199,2	2,88	115,2	230,4	
P ₂ O ₅	0,93	37,2	74,4	1,12	44,8	89,6	1,02	40,8	81,6	
K ₂ O	0,95	38	76	1,18	47,2	94,4	1	40	80	
Na	0,33	13,2	26,4	0,47	18,8	37,6	0,3	12	24	
Mg	0,62	24,8	49,6	0,36	14,4	28,8	0,54	21,6	43,2	
Mn	0,01	0,4	0,8	0,01	0,4	0,8	0,008	0,32	0,64	
S	3,50E-04	0,014	0,028	0,0002	0,008	0,016	0,0003	0,012	0,024	
Cd	1,30E-05	5,20E-04	0,00104	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	0,15
Cu	0,002	0,08	0,16	0,002	0,08	0,16	0,002	0,08	0,16	10
Ni	0,002	0,08	0,16	0,001	0,04	0,08	0,002	0,08	0,16	2
Pb	0,001	0,04	0,08	0,001	0,04	0,08	0,001	0,04	0,08	10
Hg	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	0,1
Cr	0,001	0,04	0,08	0,001	0,04	0,08	0,001	0,04	0,08	10
As	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	0,5
Co	0,004	0,16	0,32	0,004	0,16	0,32	0,004	0,16	0,32	0,5
Se	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	nk.	10
Zn	0,006	0,24	0,48	0,0045	0,18	0,36	0,005	0,2	0,4	30
Mo	3,20E-05	1,28E-03	2,56E-03	1,70E-05	6,80E-04	1,36E-03	2,30E-05	9,20E-04	1,84E-03	0,2

4.3.2.2 A búza kísérleti terület talajadatai

A 47. táblázat mutatja a 2007-08, 2008-09 és 2009-10 évi kísérleti területek tápanyag ellátottsági szintjeit. A kísérletek barna erdő talajokon Sopronhorpács környékén kerültek beállításra. A talajok kémhatása közel semleges volt és a kötöttség alapján agyagos vályog ill. vályog kategóriába estek. Minden évben kis só tartalom és mészhány jellemezte a területeket. A makro tápelemek közül a nitrogén az első évben jó majd közepes szinteket, a foszfor az első évben közepes majd igen jó szinteket míg a kálium mind három évben igen jó szintű ellátottságot mutatott. A többi vizsgált elem közül a nátrium ellátottság volt a legkiegyenlítettebb végig megfelelő szinten állt. Gyenge ellátottságot, csak a cink és réz esetén lehetett tapasztalni, náluk is csak az első évben

A tápelem ellátottság szempontjából 2007-2008-ban a foszfor majd 2008-2009 és 2009-10-ben nitrogént kivéve a kísérleti területek egyaránt nagyon kedvezőek voltak.

	2007-2008	2008-2009	2009-2010
A talaj kémhatása (pH)	savanyú	semleges	semleges
Fizikai talajféleség	agyagos vályog	agyagos vályog	vályog
Só ellátottság	kis sótartalmú	kis sótartalmú	kis sótartalmú
Nitrogén ellátottság	JÓ	KÖZEPES	KÖZEPES
Mész ellátottság	mészhányos	mészhányos	mészhányos
Foszfor ellátottság	KÖZEPES	IGENJÓ	IGENJÓ
Kálium ellátottság	IGENJÓ	IGENJÓ	IGENJÓ
NO ₃ - + NO ₂ --N ellátottság	gyenge	közepes	közepes
Szulfát ellátottság	jó	igen jó	igen jó
Nátrium ellátottság	megfelelő	megfelelő	megfelelő
Magnézium ellátottság	jó	közepes	igen jó
Mangán ellátottság	jó	igen jó	igen jó
Cink ellátottság	gyenge	jó	jó
Réz ellátottság	gyenge	jó	igen jó

47.táblázat A 2007-2010 évi búza kísérletek talajainak tápanyag ellátottsága

A 2007-2008 évi kísérletben még a 80 t/ha adagú biogáz-iszappal kijutatott nitrogén, foszfor-pentoxid és kálium-oxid mennyiségek sem fedezték a 48. táblázatból látható, a MÉM NAK irányelvek alapján készült tápanyag utánpótlási tervben a 10 t/ha terméshez számított tápanyag szükségleteket, ami a gyenge terméseken is látszott. Ehhez járult még a terület réz és cink hiánya.

2008-2009-ben az előző évi tapasztalatok hatására a plusz tápanyag utánpótlást is alkalmazva hektáronként 98 kg/ha nitrogént, 108 kg/ha foszfor-pentoxidot és 80 kg/ha kálium-oxidot kiadva már jóval magasabb termések realizálódtak.

Ebben a tenyészidőszakban az előzőhöz képest kevesebb nitrogén és több foszfor és kálium került ki a területekre a biogáz iszap kezelésekből.

A 2009-2010 évi terület tápanyag ellátottsági szintje az előző évekéhez hasonló volt, ezért a kiegészítő tápanyag kijuttatás itt hasznosnak bizonyult. Az előző évvel azonos mennyiségek mellett a nitrogén kiegészítés 91 kg/ha mennyiségben történt.

Az iszapokkal kijutatott foszfor-pentoxid és kálium-oxid hektáronkénti adagja a 2007 évvel volt azonos szinten, de a kiegészítő trágyázás hatására a foszfor már akontrolnál is, míg a kálium a kezelésekből elérte a 10 t/ha termés szintéhez szükséges mennyiséget.

Az utolsó két év mikroelem ellátottsága a jó termésekhez megfelelő volt.

48.táblázat A MÉM NAK irányelvek alapján történt tápanyag utánpótlási szaktanács készítéssel a 10 t búza termés eléréséhez szükséges NPK adagok a vizsgált években

	2007-2008	2008-2009	2009-2010
Nitrogén (kg/ha)	270	280	280
Foszfor-pentoxid (kg/ha)	130	80	80
Kálium-oxid (kg/ha)	120	120	120

4.3.2.3 Búza kísérletek termés és minőség eredményei

A búza szemtermése

A búza szemtermésének évenkénti alakulását a 49. táblázat és 43. ábra mutatják.

A búza szemtermése az egyes évjáratokban jelentős szórást mutat. Ugyanis 2007-ben csak a biogáziszap trágyázásra alapozva plusz műtrágya kijuttatás nélkül végeztük a kísérletet. Azonban az így kijuttatott mennyiség nem fedezte a búza tápanyag szükségletét és alacsony termésátlagokat adott. A következő években már plusz tápanyag kijuttatás is történt ami a magasabb termés átlagokban realizálódott. Azonban ezeken a magasabb tápanyag szinteken is tudott szignifikánsan jobb eredményeket mutatni a biogáziszap alkalmazása.

Mindhárom kísérleti évjáratban már a 40 t/ha biogáziszap adagok is szignifikánsan növelték a termést, de a 40 és 80 t/ha szintek közt szignifikáns különbség nem volt kimutatható.

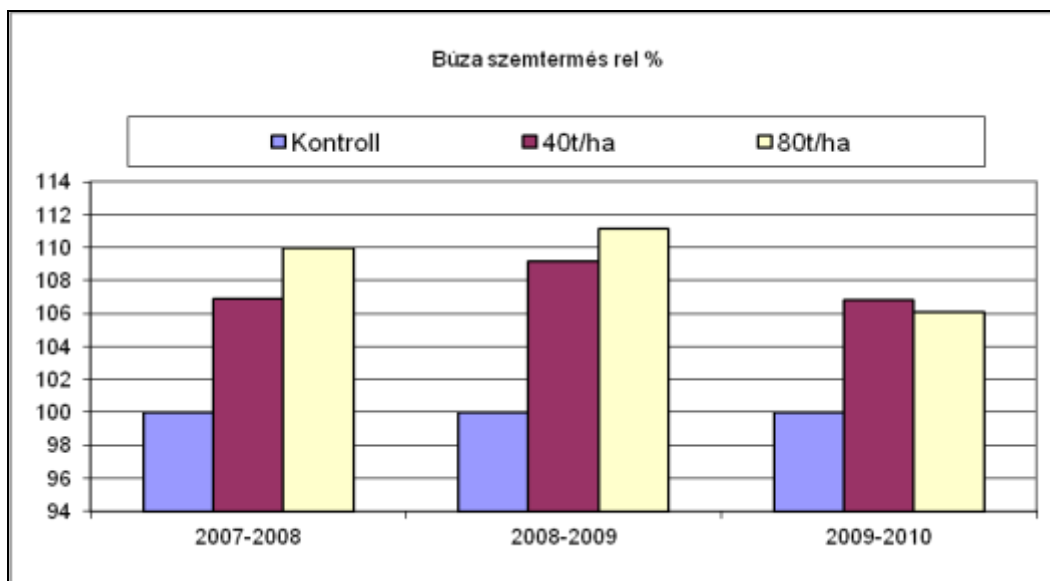
49. táblázat A búza kísérletek szemtermés eredményei

Szemtermés (t/ha)	2007-2008	2008-2009	2009-2010	Átlag
Kontroll	6,22 b	9,37 b	10,81 b	8,80 b
40t/ha	6,65 a	10,23 a	11,55 a	9,48 a
80t/ha	6,85 a	10,42 a	11,47 a	9,58 a

A biogáz iszap használata minden esetben legalább 6 %-al növelte a búza hozamát (43. ábra).

Átlag 7,7 és 8,8% szemtermés növekedést kaptunk a búzában az egyes dózisokkal.

A legnagyobb növekedés 2008-2009-ben a 80 t/ha adagoknál meghaladta a 11%-ot.



43.ábra A búza szemtermések alakulása a kontrolokhöz viszonyítva

A búza víztartalma

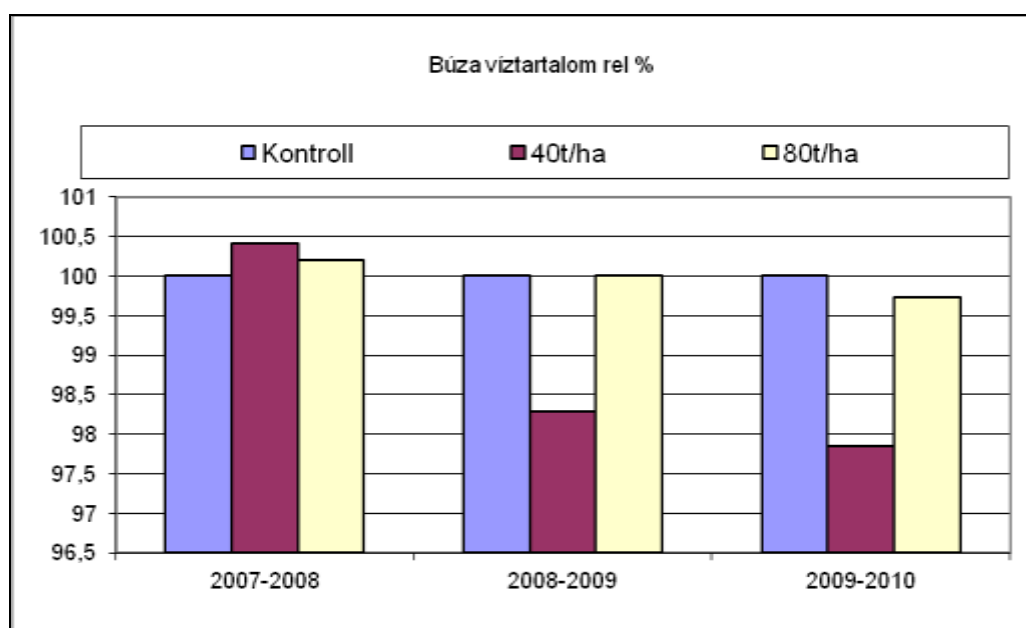
A búza víztartalmának alakulását az 50. táblázat és 44. ábra szemléltetik

A víztartalom alakulására is általában pozitívan hatottak a kezelések, azonban szignifikáns különbségek nem alakultak ki hatásukra.

50.táblázat A búza kísérletek víztartalom eredményei

Víztartalom (%)	2007-2008	2008-2009	2009-2010	Átlag
Kontroll	12,33a	11,73 a	12,37 a	12,14 a
40t/ha	12,38 a	11,53 a	12,1 a	12,00 a
80t/ha	12,35 a	11,73 a	12,33 a	12,14 a

A 40 t/ha-os adagoknál átlagosan 1,1 %-os víztartalom csökkenést tapasztaltunk, de ez nem volt szignifikáns. A 80 t/ha-os kezelések hatására gyakorlatilag nem volt változás.



44.ábra A búza víztartalmak alakulása a kontrolokhoz viszonyítva

A búza hektólitersúlya

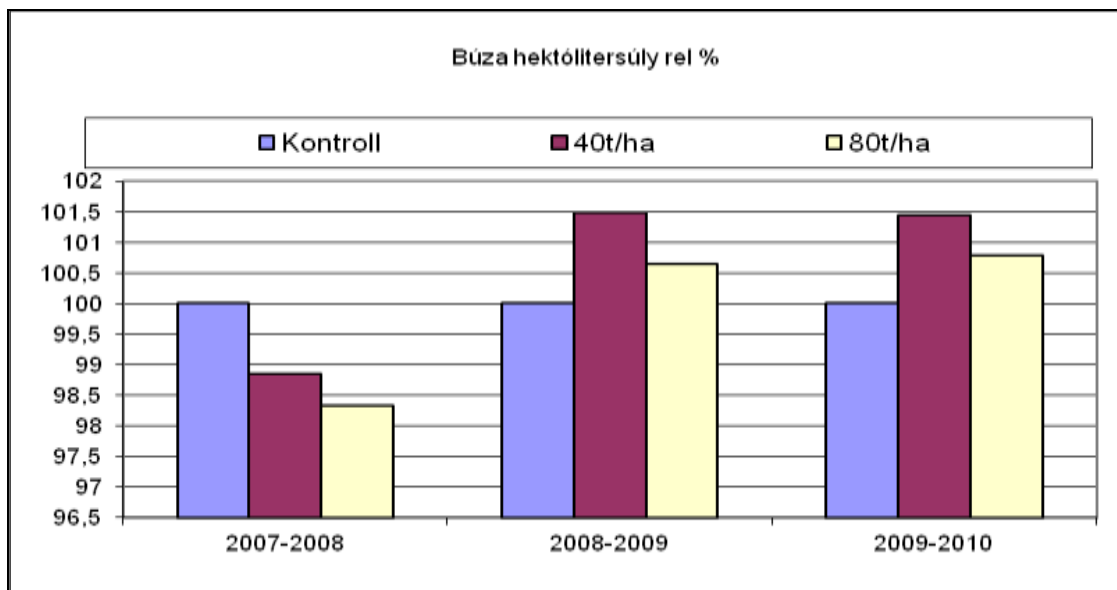
Az 51. táblázat és 45. ábra a búza hektólitersúlyának alakulását mutatják.

A búza hektólitersúlyában jelentős változások a biogáz iszap kezelések hatására nem voltak megfigyelhetők.

51.táblázat A búza kísérletek hektólitersúly eredményei

Hektólitersúly (kg/100l)	2007-2008	2008-2009	2009-2010	Átlag
Kontroll	82,9 a	77,50 a	81,07 b	80,49 a
40t/ha	81,95 a	78,65 a	82,23 a	80,94 a
80t/ha	81,53 a	78,00 a	81,7 a	80,41 a

A hektólitersúly változás tendenciáját tekintve a 2007-2008 tenyészedőszakban a kezelések hatására csökkenés, míg a másik két évben növekedés látható, bár ennek maximális mértéke is csak 1,5 % volt.



45.ábra A búza hektólitersúlyok alakulása a kontrolokhöz viszonyítva

A búza fehérjetartalma

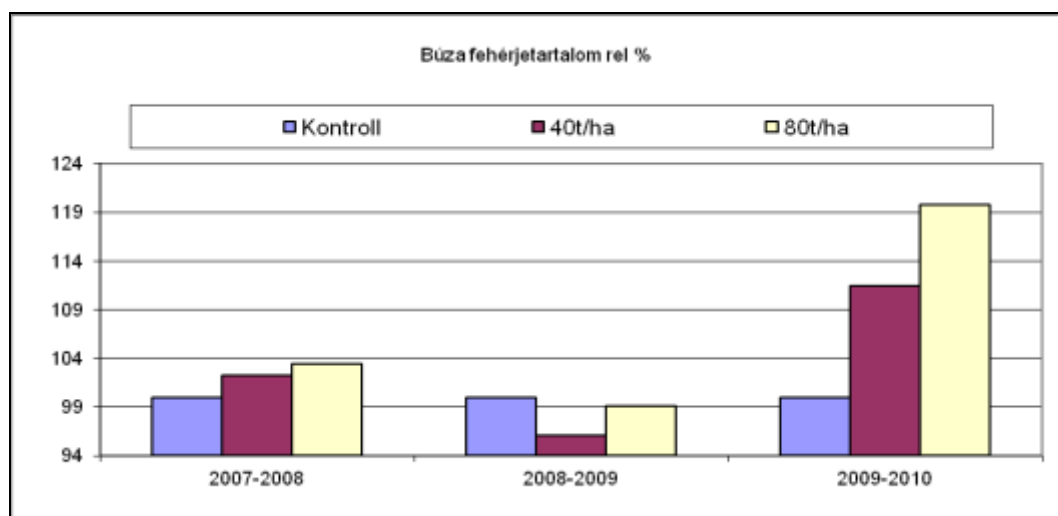
A búza fehérjetartalmát vizsgálva az első és az utolsó években szignifikáns növekedések láthatók a kezelések hatására (52. táblázat). A 2009-2010 évben a búza fehérje tartalma biogáziszap adagolás mértékének emelésével szintről szintre szignifikánsan nőtt. Mivel a három év átlaga is szignifikáns növekedést mutat megállapítható, hogy a biogáz iszappal történő trágyázás a búza minőségére is pozitív hatású.

52.táblázat A búza kísérletek fehérjetartalom eredményei

Fehérje tartalom (%)	2007-2008	2008-2009	2009-2010	Átlag
Kontroll	13,23 b	13,43 a	12,3 c	12,98 c
40t/ha	14,05 a	12,9 a	13,7 b	13,55 b
80t/ha	14,23 a	13,3 a	14,73 a	14,09 a

Az elsőévi és a 2009-2010-es kísérletek emelkedő tendenciákat mutatnak, míg a 2008-2009-es eredményekben csökkenés figyelhető meg (46. ábra). A búza fehérje tartalma a vizsgált

időszak átlagában mindegyik kezelés hatására szignifikánsan emelkedett először 4 %-al, majd további 4,2 %-al.



46.ábra A búza fehérjetartalmak alakulása a kontrolokhoz viszonyítva

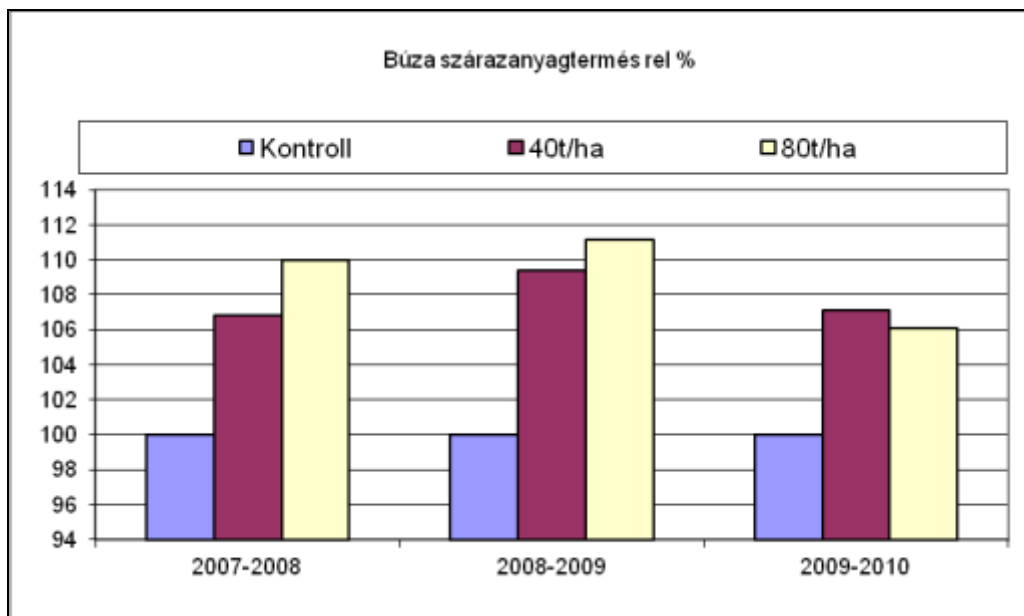
A búza szárazanyag termése

A búza szárazanyag termés eredményeit mutatja az 53. táblázat és a 47. ábra. A szárazanyag termések a nyers szemtermésekhez hasonlóan alakultak, minden évben szignifikáns hozamnövekedést mutattak. Átlag 8 t/ha feletti terméseket kaptunk a kezelésekből.

53.táblázat A búza kísérletek szárazanyag termés eredményei

Szárazanyag termés (t/ha)	2007-2008	2008-2009	2009-2010	Átlag
Kontroll	5,46 b	8,27 b	9,47 b	7,73 b
40t/ha	5,83 a	9,05 a	10,15 a	8,34 a
80t/ha	6,00 a	9,2 a	10,05 a	8,41 a

A kezelések hatására jelentős, átlagosan 7,8 és 8,8 %-os, szárazanyag hozam növekedés volt tapasztalható, de a maximum meghaladta a 11 %-ot. Az eredmények alapján úgy tűnik, hogy a 40 t/ha adagokat nem érdemes tovább növelni, mert az adagok megduplázása átlagosan csak 1 abszolút %-al (13 rel.%) tudott javítani az eredményeken. Ezen felül nitrát érzékeny területeken a 80 t/ha adagok nitrogén mennyisége, meghaladja az engedélyezett mértéket.



47.ábra A búza szárazanyag termései alakulása a kontrollokhöz viszonyítva

4.3.2.4 A talajok tápelem tartalmának változása a búza kísérletekben

2007-2008 évi kísérletekben a kezelések hatására szignifikáns növekedést figyelhető meg a talajok humusz tartalmában, az oldható foszfor, kálium, nitrit –nitrát nitrogén, nátrium tartalmában a 80t/ha adagoknál. A toxikus elemek közül a kobalt, a cink, az ólom és a nikkel is szignifikáns növekedést mutatott, de a talajban megengedhető határértéket egyik elem koncentrációja sem haladta meg. A kálium és a nátrium tartalom már a 40 t/ha adagoknál is jelentősen megemelkedett. (54. táblázat).

54. táblázat Talajvizsgálati eredmények betakarításkor, búza kísérlet 2007-2008

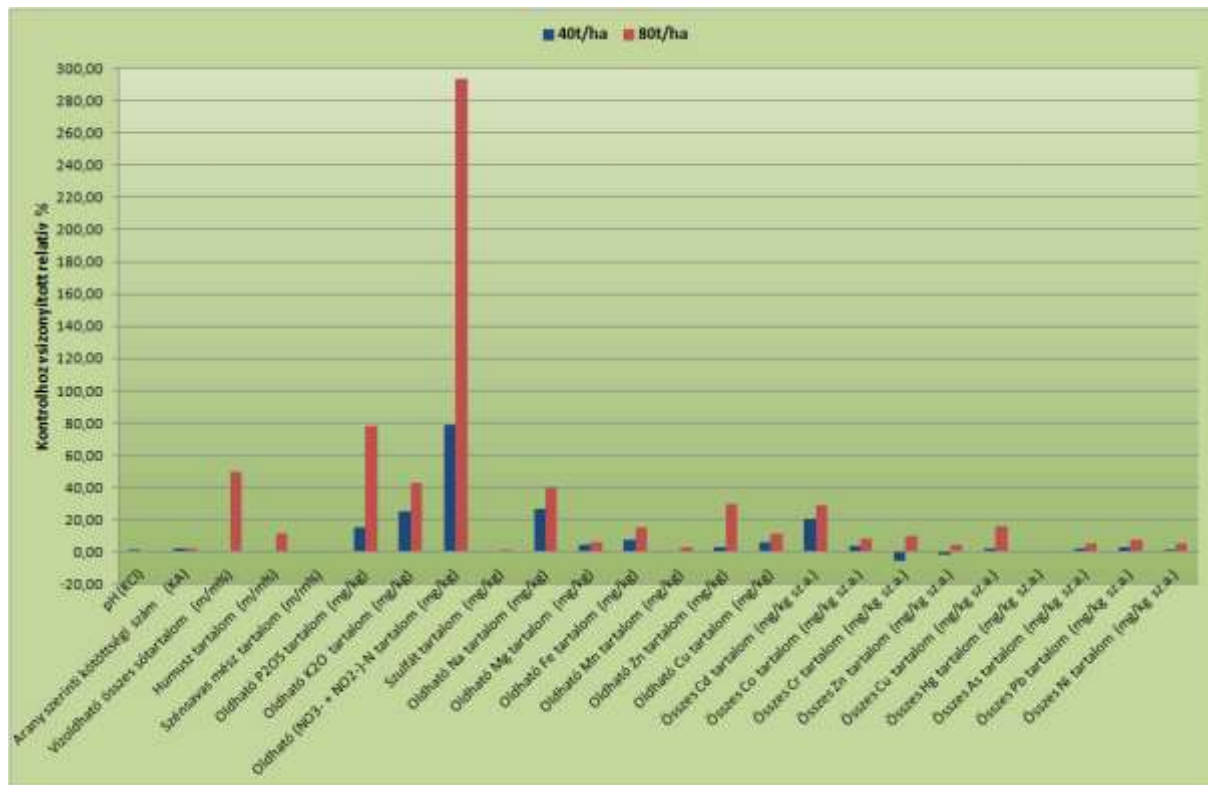
(Az egyes sorokban levő azonos betűk a szignifikáns különbség hiányát mutatják)

	2007-2008		
	Kontroll	40t/ha	80t/ha
pH (KCl)	5,8 a	5,9 a	5,8 a
Arany szerinti kötöttségi szám (KA)	43 a	44 a	44 a
Vízoldható összes sótartalom (m/m%)	0,02 a	0,02 a	0,03 a
Humusz tartalom (m/m%)	2,32 b	2,34 b	2,58 a
Szénsavas mésztartalom (m/m%)	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Oldható P ₂ O ₅ tartalom (mg/kg)	60 b	69 b	107 a
Oldható K ₂ O tartalom (mg/kg)	383 c	480 b	546 a
Oldható (NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻)-N tartalom (mg/kg)	0,75 b	1,34 b	2,95
Szulfát tartalom (mg/kg)	56,7 a	56,9 a	57,6 a
Oldható Na tartalom (mg/kg)	22,5 b	28,6 a	31,4 a
Oldható Mg tartalom (mg/kg)	360 a	375 a	382 a
Oldható Fe tartalom (mg/kg)	51,9 a	56 a	60 a
Oldható Mn tartalom (mg/kg)	42,6 a	43 a	43,9 a
Oldható Zn tartalom (mg/kg)	1,36 a	1,40 a	1,77 a
Oldható Cu tartalom (mg/kg)	4,81 a	5,09 a	5,34 a
Összes Cd tartalom (mg/kg sz.a.)	0,59 a	0,71 a	0,76 a
Összes Co tartalom (mg/kg sz.a.)	11,05 b	11,49 b	11,96 a
Összes Cr tartalom (mg/kg sz.a.)	35,5 a	33,6 a	38,9 a
Összes Zn tartalom (mg/kg sz.a.)	55,5 b	54,5 b	57,9 a
Összes Cu tartalom (mg/kg sz.a.)	17,2 a	17,6 a	19,9 a
Összes Hg tartalom (mg/kg sz.a.)	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Összes As tartalom (mg/kg sz.a.)	10,8 a	11,0 a	11,4 a
Összes Pb tartalom (mg/kg sz.a.)	15,9 b	16,4 ab	17,1 a
Összes Ni tartalom (mg/kg sz.a.)	28,4 b	28,7 b	29,8 a

A nehézfémek mennyiségei nem érték el a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet 1. számú mellékletében, illetve az 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet 3. számú mellékletében meghatározott határértékeket (44. táblázat).

Mint a 48. ábra mutatja a legnagyobb, közel 300 %-os növekedés a nitrit-nitrát nitrogén tartalomban tapasztalható, ami a kezelések talajélet serkentő hatását is mutatja.

Emellett a foszfor és kálium tartalom is jelentősen növekedett, több mint 75 és 40 %-al a legnagyobb adagú kezelés hatására. Sajnos a nátrium tartalom is közel 30 ill. 40%-al nőtt az adagok emelésével.



48.ábra A talajvizsgálati paraméterek kontrolhoz viszonyított relatív változásai, búza kísérlet 2007-2008

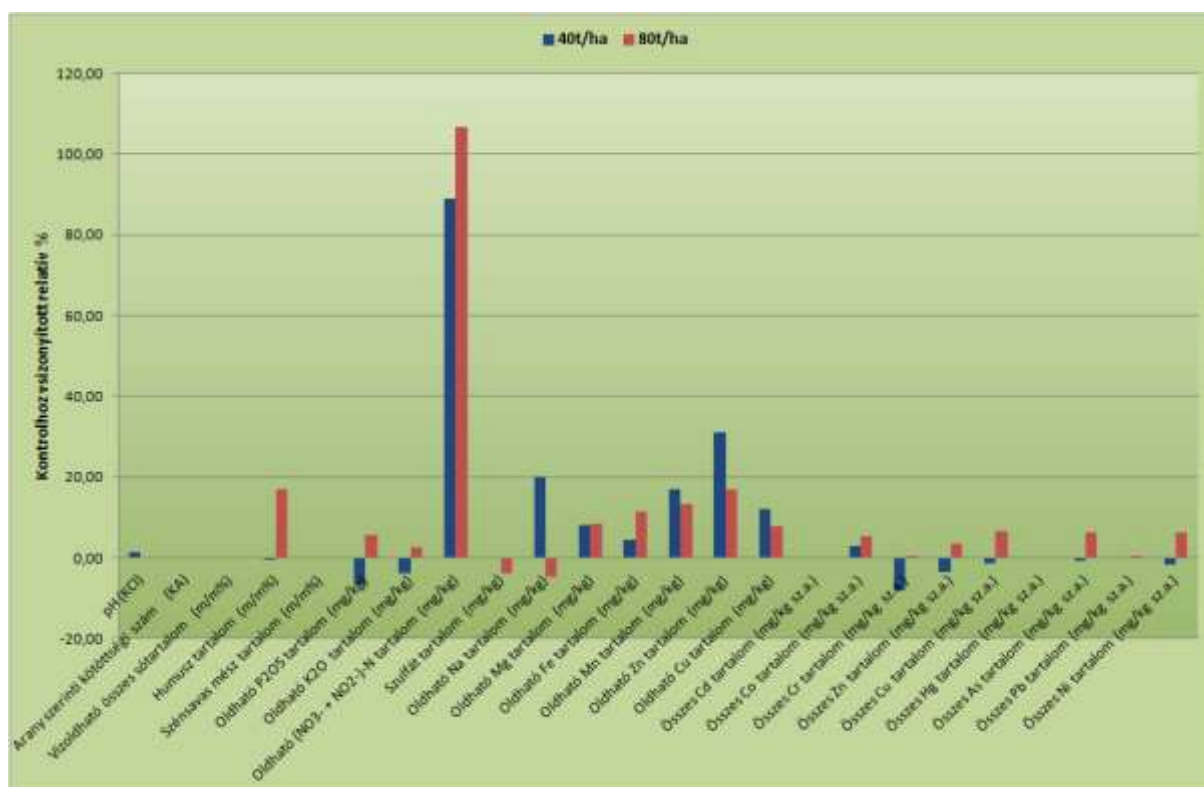
A 2008-2009 évi tenyészidőszak talaj paramétereit mutatja az 55. táblázat. Szignifikáns növekedést egyik elemnél sem tapasztaltunk, bár a legtöbb esetben a növekvő biogáziszap adagokkal a talajok tápelem tartalma is nőtt. Ugyanakkor a 44. táblázat alapján a nehézfémek, mennyiségei sem érték el a határértékeket.

55.táblázat Talajvizsgálati eredmények betakarításkor, búza kísérlet 2008-2009

(Az egyes sorokban levő azonos betűk a szignifikáns különbség hiányát mutatják)

	2008-2009		
	Kontroll	40t/ha	80t/ha
pH (KCl)	6,8 a	6,9 a	6,8 a
Arany szerinti kötöttségi szám (KA)	41 a	41a	41 a
Vízoldható összes sótartalom (m/m%)	0,03 a	0,03 a	0,03 a
Humusz tartalom (m/m%)	2,34 a	2,33 a	2,74 a
Szénsavas mésztartalom (m/m%)	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Oldható P ₂ O ₅ tartalom (mg/kg)	305 a	285 a	322 a
Oldható K ₂ O tartalom (mg/kg)	484 a	466 a	496 a
Oldható (NO ₃ - + NO ₂ -)-N tartalom (mg/kg)	6,00 a	11,34 a	12,41 a
Szulfát tartalom (mg/kg)	29,8 a	29,8 a	28,7 a
Oldható Na tartalom (mg/kg)	38,2 a	45,9 a	36,4 a
Oldható Mg tartalom (mg/kg)	235 a	254 a	255 a
Oldható Fe tartalom (mg/kg)	48,4 a	50,5 a	54 a
Oldható Mn tartalom (mg/kg)	322 a	377 a	365 a
Oldható Zn tartalom (mg/kg)	2,48 a	3,25 a	2,90 a
Oldható Cu tartalom (mg/kg)	3,58 a	4,01 a	3,86 a
Összes Cd tartalom (mg/kg sz.a.)	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Összes Co tartalom (mg/kg sz.a.)	16,4 a	16,9 a	17,3 a
Összes Cr tartalom (mg/kg sz.a.)	64,8 a	59,6 a	65,2 a
Összes Zn tartalom (mg/kg sz.a.)	85,7 a	82,8 a	88,8 a
Összes Cu tartalom (mg/kg sz.a.)	19,8 a	19,5 a	21,1 a
Összes Hg tartalom (mg/kg sz.a.)	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Összes As tartalom (mg/kg sz.a.)	12,8 a	12,7 a	13,6 a
Összes Pb tartalom (mg/kg sz.a.)	27,6 a	27,6 a	27,7 a
Összes Ni tartalom (mg/kg sz.a.)	22,4 a	22,0 a	23,8 a

A legnagyobb növekedés ebben az évben is a nitrit-nitrát nitrogéntartalomban következett be közel kétszeres növekedést mutatva már a kisebb adagú kezelések hatására is. Emellett harminc százalék körül nőtt a cink tartalom és 20 % körül a nátrium tartalom is (49. ábra).



49.ábra A talajvizsgálati paraméterek kontrolhoz viszonyított relatív változásai, búza kísérlet 2008-2009

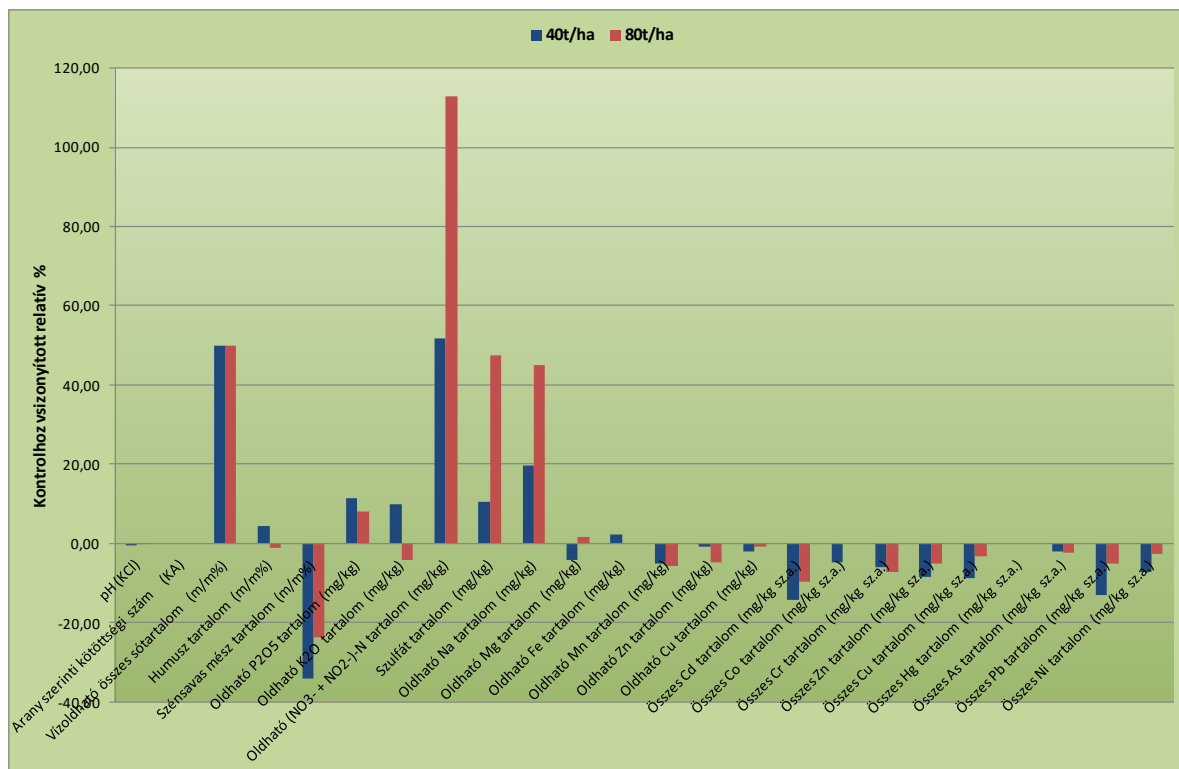
Az 56. táblázat és az 50 ábra mutatja a 2009-2010 évi kezelések hatását a talaj összetételére. Ebben az évben szignifikáns növekedést csak az oldható nitrit-nitrát nitrogén és a szulfát tartalomban tapasztaltunk. A nitrit-nitrát nitrogén tartalom már a 40 t/ha-os biogáz iszap adagnál is szignifikánsan eltért a kontrolban mérttől és a 80 t/ha adag még ennél is szignifikánsan nagyobb volt. A szulfát tartalom csak a 80 t/ha adagnál mutatott szignifikáns növekedést. A toxikus elemek mennyisége szignifikánsan nem változott.

56.táblázat Talajvizsgálati eredmények betakarításkor, búza kísérlet 2009-2010

(Az egyes sorokban levő azonos betűk a szignifikáns különbség hiányát mutatják)

	2009-2010		
	Kontroll	40t/ha	80t/ha
pH (KCl)	7,17 a	7,14 a	7,16 a
Arany szerinti kötöttségi szám (KA)	38 a	38 a	38 a
Vízoldható összes sótartalom (m/m%)	0,02 a	0,03 a	0,03 a
Humusz tartalom (m/m%)	1,76 a	1,84 a	1,74 a
Szénsavas mésztartalom (m/m%)	0,38 a	0,25 a	0,29 a
Oldható P ₂ O ₅ tartalom (mg/kg)	288 a	321 a	311 a
Oldható K ₂ O tartalom (mg/kg)	539 a	593 a	516 a
Oldható (NO ₃ - + NO ₂ -)-N tartalom (mg/kg)	1,62 c	2,46 b	4,20 a
Szulfát tartalom (mg/kg)	37,6 b	41,5 b	55,5 a
Oldható Na tartalom (mg/kg)	17,3 a	20,7 a	25,1 a
Oldható Mg tartalom (mg/kg)	239 a	229 a	243 a
Oldható Fe tartalom (mg/kg)	51,7 a	52,9 a	51,7 a
Oldható Mn tartalom (mg/kg)	355 a	337 a	335 a
Oldható Zn tartalom (mg/kg)	2,59 a	2,57 a	2,47 a
Oldható Cu tartalom (mg/kg)	5,78 a	5,66 a	5,73 a
Összes Cd tartalom (mg/kg sz.a.)	0,42 a	0,36 a	0,38 a
Összes Co tartalom (mg/kg sz.a.)	10,7 a	10,2 a	10,7 a
Összes Cr tartalom (mg/kg sz.a.)	40,8 a	38,4 a	37,9 a
Összes Zn tartalom (mg/kg sz.a.)	51,4 a	47,1 a	48,8 a
Összes Cu tartalom (mg/kg sz.a.)	14,66 a	13,38 a	14,18 a
Összes Hg tartalom (mg/kg sz.a.)	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Összes As tartalom (mg/kg sz.a.)	8,78 a	8,59 a	8,58 a
Összes Pb tartalom (mg/kg sz.a.)	16,0 a	13,9 a	15,2 a
Összes Ni tartalom (mg/kg sz.a.)	26,4 a	24,5 a	25,7 a

Nitrit-nitrát nitrogén tartalom a 80 t/ha kezelés hatására, a legnagyobb mértékben, kétszeresére nőtt. Érdekes, hogy a toxikus elem tartalom szinte minden esetben csökkent, így rendszerben előírt határértékektől messze elmaradt. A csökkenés valószínű azzal van összefüggésben, hogy a három év legnagyobb termései ebben a kísérletben keletkeztek.



58.ábra A talajvizsgálati paraméterek kontrolhoz viszonyított relatív változásai, búza kísérlet 2009-2010

4.3.3 Biogáz iszap trágyázási kísérletek összefoglaló értékelése

A biogáz iszap beltartalmi összetétele alapján önmagában is felhasználható szántóföldi tápanyag utánpótlásra. Az általunk vizsgált biogáz iszapok átlag 2,8 kg nitrogén, 0,8 kg foszfor és 0,9 kg kálium hatóanyagot tartalmaztak tonnánként. Mivel az egyes tételek között jelentős eltéréseket is tapasztaltunk, például a szárazanyag nitrogén tartalma 3,8-5,9 mg/kg, foszfor-pentoxid tartalma 0,91-2,12 mg/kg, míg kálium-oxid tartalma 0,9-2,5 mg/kg között változott. Ezért a szántóföldi felhasználás előtt a tételek beltartalmi vizsgálata indokolt.

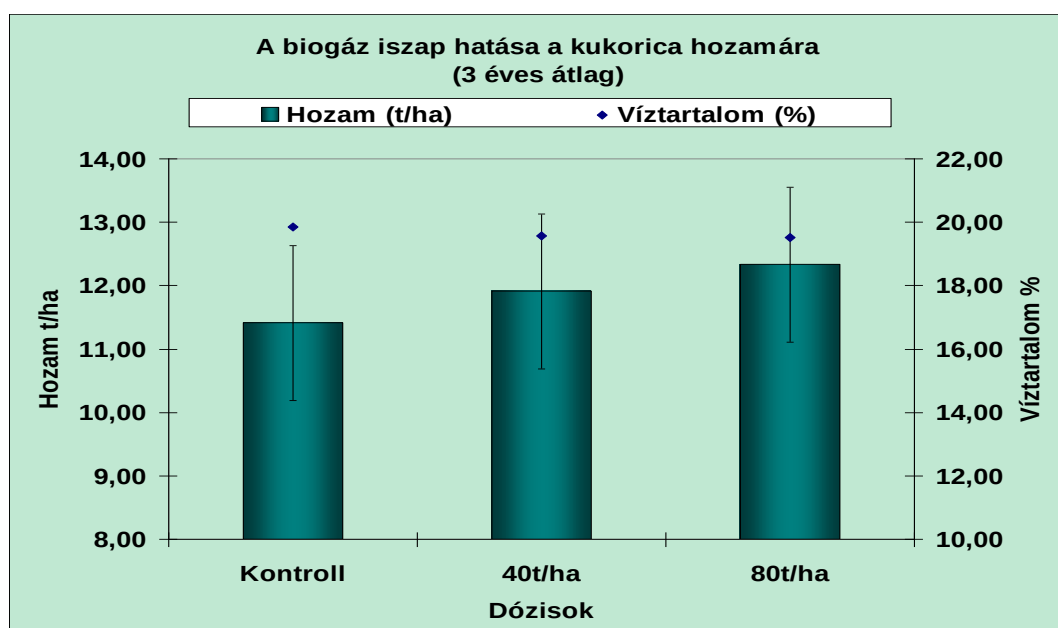
A kezelések a talaj szerkezetére, kémhatására és elem összetételére nem voltak negatív hatással. A parcellák toxikus elemtartalmát vizsgálva a határértékeket meghaladó értékekkel nem találkoztunk, még a legnagyobb dózisú kezelések esetében sem.

A három éves vizsgálatok alapján a biogáz iszap használata pozitív hatást gyakorol a kukorica és búza hozamára.

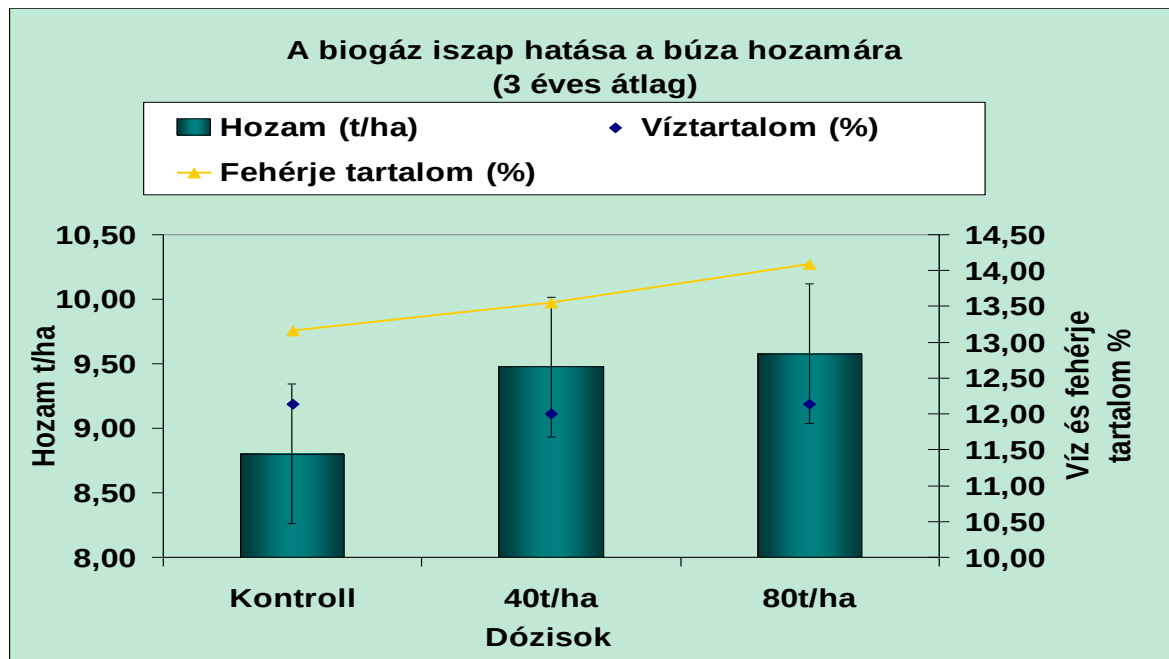
A kukoricánál csak a 80 t/ha dózis (38., 40. táblázatok) míg a kukoricánál már a 40 t/ha dózis is (49., 53. táblázatok) szignifikánsan növelték a szem és a szárazanyag terméseket. Ezek a a növekedések még az aránylag jó tápanyag ellátottságok mellett is magas termés hozamoknál is megfigyelhetők voltak.

A búza esetén kijutatott mennyiség duplára emelése 40t/ha adagról 80 t/ha adagra nem növelte tovább szignifikánsan a terméseket (49., 53. táblázatok). Mivel a 80 t/ha adaggal kijutatott nitrogén mennyiség meghaladja a nitrátérzékeny területeken megengedett szintet, ezért a 40 t/ha dózis, illetve ennek növelése a hektáronkénti maximum 170 kg nitrogén hatóanyag eléréséig javasolható..

Fontos eredmény még, hogy a búza fehérje tartalma is emelkedett a növekvő dózisokkal.



59.ábra A kukorica kísérletek három évi eredményeinek átlaga

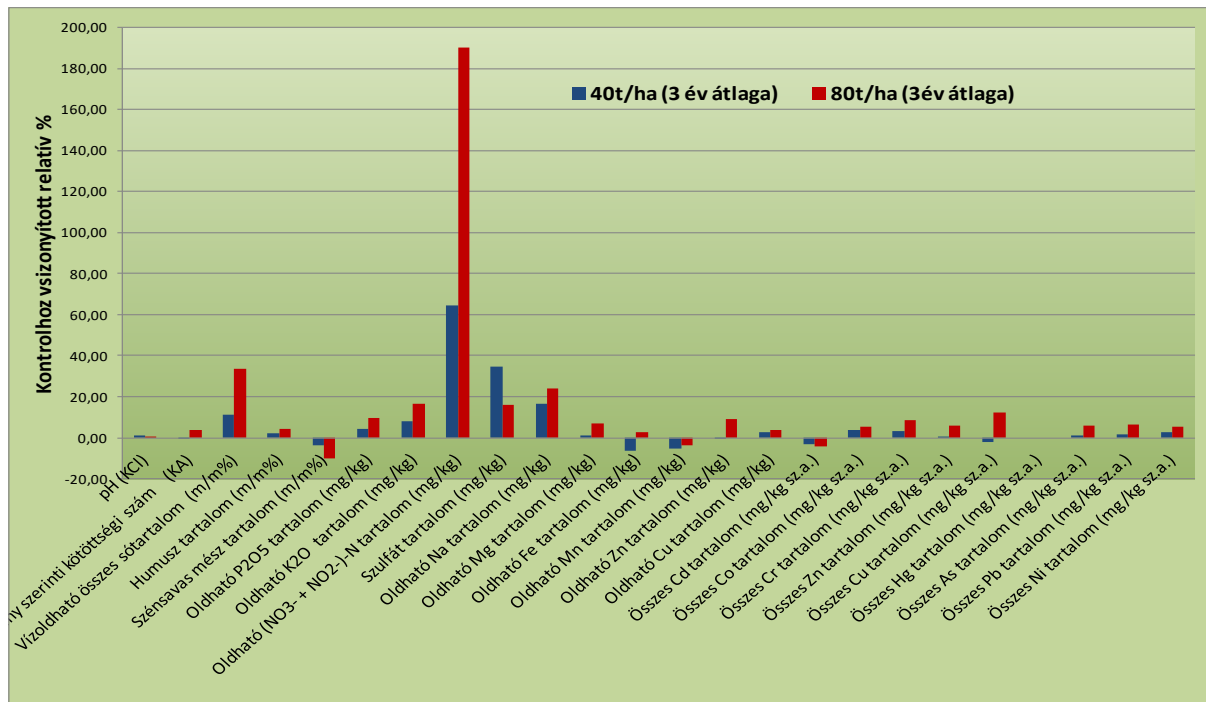


60.ábra A búza kísérletek három évi eredményeinek átlaga

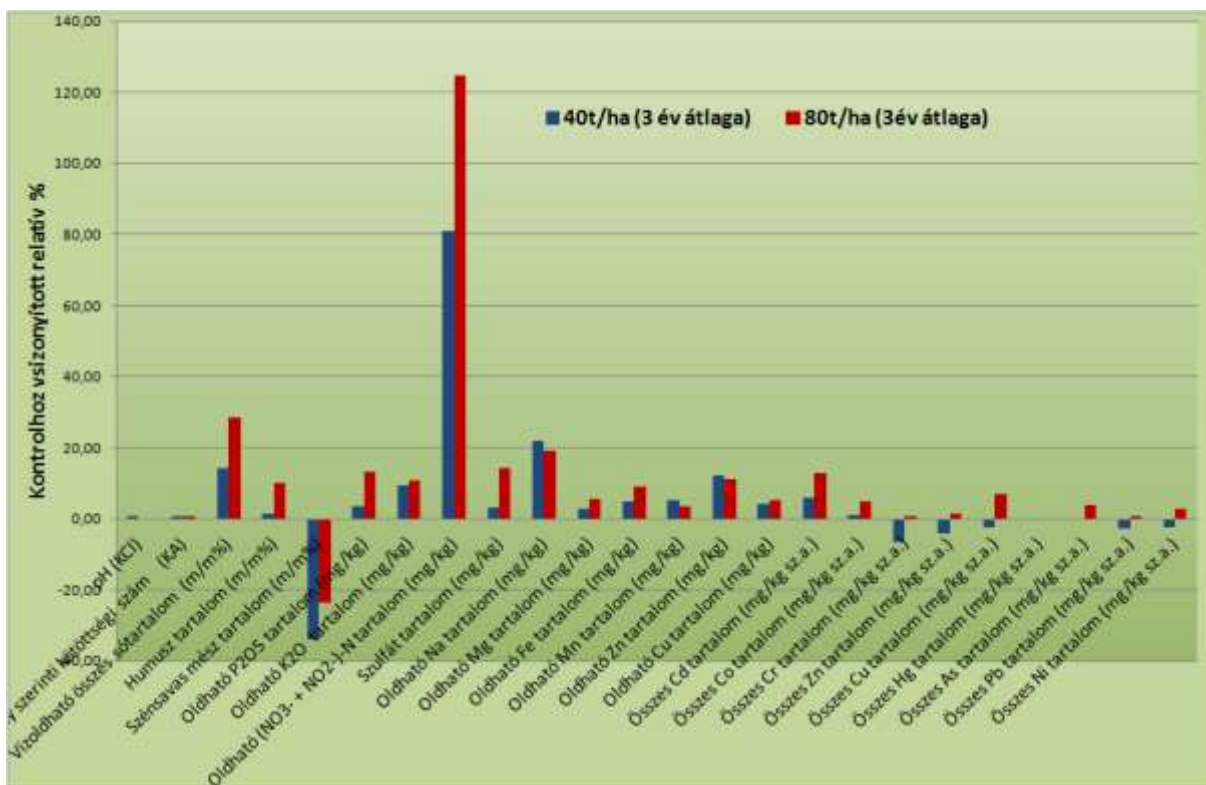
A különböző kezelések talaj alkotóelemeinek összetételi vizsgálata során a legtöbb esetben enyhe növekedést találtunk. Azonban a nitrit-nitrát nitrogén tartalom minden évben minden növénynél a 80 t/ha dózisú kezelésben jelentősen, átlag kb. a kétszeresére, emelkedett a kontroll parcellákkal összehasonlítva.

Ez a növekedés a talajélet javulását (a nitrifikáló baktériumok tevékenységének fokozódását) is mutatja, tehát a biogáz iszap szántóföldi alkalmazása segíti a talaj mikrobiológiai folyamatait így többek között a nitrifikációt is.

A búza parcellák talajában a makroelem tartalom kissé erőteljesebben növekedett, mint a kukorica termesztése esetén.



61.ábra A kukorica kísérletek során tapasztalt talaj tápanyag tartalom változások három évi eredményeinek átlaga



62.ábra A búza kísérletek során tapasztalt talaj tápanyag tartalom változások három évi eredményeinek átlaga



63.ábra Kontrol parcella aratás előtt

64.ábra A 40 t/ha biogáz iszapot kapott parcella aratás előtt



65.ábra A 80 t/ha biogáz iszapot kapott parcella aratás előtt

4.4 A magas szénhidráttartalmú növények energetikai hasznosításának környezetvédelmi szempontjai (Különös tekintettel a cukorrépára)

Számos országban a fosszilis üzemanyagokat egyre nagyobb mértékben helyettesítik biogázzal. Néhány szakember úgy gondolja, hogy 2030-ra a biogáz az Európában a közúti közlekedésben használt fosszilis üzemanyag akár 25-35%-át is helyettesítheti. (CIBE és CFS, 2016).

Eredményeink alapján a cukorrépa biogáz célú termesztése a legperspektivikusabb energia szántóföldi energia előállításnak tűnik, hiszen a legnagyobb hektáronkénti energia hozamot ezzel értük el.

Emellett számos környezet védelmi szempont is a cukorrépa termesztése mellett van. Ezek a következők:

- Termesztése segíti a klímaváltozás hatásainak csökkentését is, hiszen a növények nettó széndioxid mérlege és energia mérlege általában együtt mozog. Különösen a cukorrépa magas fotoszintetikus tevékenységét kell kiemelni. A levelek nagy felülete és a vegetáció hosszú időtartama miatt, cukorrépa nettó GHG (üvegház hatású gáz, CO_2) egyensúlya jobb, mint más termesztett növényé, köztük a kukoricáé és a repcéé.
- Emellett a cukorrépa vízhasznosítása a legtöbb szántóföldi növénynél kedvezőbb a kukoricához és cirokhoz hasonló. A cukornádat is messze megelőzi ebben a tekintetben, ezért számos kevés vízzel rendelkező ország (pl.: Marokkó, Egyiptom) ahol a cukornád is megterem inkább cukorrépát termeszt és ebből nyeri a cukrot. A cukorrépa előnye ebben a tekintetben a mélyre hatoló gyökere, ami által könnyebben átvészeli a szárazabb időszakokat és mélyebben is vesz ki a vizet a talajból.
- A mélyre lehatoló gyökérzete által javítja a talaj szerkezetét, víztartó képességét és fokozza termékenységét.
- Emellett nem elhanyagolható a cukorrépa termesztés pozitív hatása a felszíni és felszínalatti vizek nitrát szennyezésére, ugyanis mélyről kiveszi a nitrogént a talajból. Számos tanulmány bizonyítja, hogy a cukorrépa tarlómaradványai sokkal kevésbé járulnak hozzá a nitrogén kimosódásához, mint a gabonafélék. Ezt répánál kb. 30 kg/ha-ra becsülik, szemben a gabonáknál tapasztalt 60–70 kg/ha-os veszteséggel.
- A cukorrépa egyik fontos tagja a vetésforgónak. Mint raktározó gyökerű növénynek, egész más az élelciklusa, és más botanikai családkhoz tartozik, mint a kukorica és az őszi búza. A cukorrépa a gabonákra épülő vetésforgóban „gyógyító” előveteménynek is tekinthető, mivel a

cukorrépa után termesztett gabona nagyobb termést ad, (egyúttal csekélyebb növényvédőszer felhasználással és tápanyag-utánpótlással) mint amikor a gabona a vetésforgóban a gabona után következik.

- Segít megőrizni a flóra és fauna biológiai sokszínűségét, a silókukorica és az új energia növényeink, mint a cukorcirok és csicsóka, eme tényező (biodiverzitás megőrzése) alapján elmaradnak a répatól.

Mindezek az ökológiai és gazdaságossági tényezők indokolják, hogy a cukorrépa termesztés és feldolgozás racionális volumennel, új termékskálával, magas színvonalon *fennmaradjon Magyarországon is.*

TÉZISEK

1. Különböző silókukorica, silócirok és cukorrépa fajtákkal végzett batch labor fermentációs biogáz kihozatali vizsgálatok alapján a szerves szárazanyag tartalomra vonatkoztatott fajlagos metán átlaghozamok 264,2; 287,9 és 361,3 m³/t eredményeket adtak. A biogáz metántartalma a silókukorica fajták esetében átlag 55,3 % (Szórás 1,88) a cirok fajtáknál átlag 53,0 % (Szórás 1,64) valamint a cukorrépa fajták vizsgálatakor átlag 59,5 % (Szórás 2,31) volt. A hozamokban és a biogáz minőségében kapott különbségek az energia növények nemesítésében rejlő lehetőségekre hívják fel a figyelmet.
2. Az ipari feldolgozásra nagy területen termesztett cukorrépához kapcsolódó biogáz előállítási lehetőségeket vizsgálva a teljes növény valamint a répa feldolgozás melléktermékeinek biogáz kihozatali vizsgálatai alapján szerves szárazanyagra vonatkoztatva a legmagasabb fajlagos metánkihozatalt a cukorrépa szelet (409,0 m³/t) adta, majd egyre csökkenő mértékben a teljes növény (381,1 m³/t), a melasz (378,5 m³/t) és a vinasz (330,5 m³/t) következett. A vinasz esetében a biogáz metántartalma 55 %, míg a többi vizsgált anyagból 60 % körüli (59,7 + - 0,6 %) metán koncentráció volt mérhető.
3. A szintén ipari feldolgozásra termesztett, de a cukorrépánál jóval kisebb vetésterületű növény a csicsóka, leveles szár és gumó, valamint a feldolgozási maradék (kilúgozott szelet) biogáz kitermelési vizsgálatai során az egységnyi szerves szárazanyagra vetített fajlagos metán kihozatal és a biogáz metántartalma a csicsóka gumóban volt a legnagyobb (438,6 m³/t és 62 %). Ezt követte a kilúgozott szelet (408,7 m³/t és 60 %), a kilúgozott szelet és a leveles szár fele-fele arányú keveréke (294,3 m³/t és 56 %), majd a csicsóka leveles szár (272,3 m³/t és 58 %).
4. A 2010-2015-ös évek Európai Unió, Duna-régió és magyarországi átlag termései és a biogáz vizsgálati eredmények alapján számolva a cukorrépa biogáz célú felhasználásából előállítható hektáronkénti energia hozama az EU-ban 188,5 GJ/ha, a Duna régióban 170,7 GJ/ha és Magyarországon 182,1 GJ/ha volt. A silókukorica ezen

értékeivel számolva jelentősen kevesebb csak 116,3, 119,1 és 94,0 GJ lett volna elérhető hektáronként.

5. A silókukorica termesztésével a hektáronként elérhető biogáz hozamok energia tartalma alapján az Európai Unióban a termesztésbe bevonható területekről 85,408 PJ, míg a Duna-régióra és Magyarországra vonatkoztatva 35,352 PJ és 1,113 PJ energia nyerhető, ezen értékek a cukorrépa esetén 34,739 PJ, 15,660 PJ ill. 0,869 PJ.
6. A répaszelet fermentációja során keletkező, 40 és 80 t/ha adagokban kijuttatott biogáz fölös-iszapok a Sopronhorpács környéki barna erdő talajokon még a jó tápanyag ellátottsági szinteken is növelték a kukorica és búza termését, a termés növekedés a kukorica esetében átlagosan 4,4 és 8,1%-os, míg a búzánál 7,7 és 8,9 %-os volt. A búza fehérje tartalma minden kezelés hatására szignifikánsan emelkedett először 4 %-al, majd további 4,2 %-al a vizsgált időszak átlagában.
7. A 40 és 80 t/ha adagokban kijuttatott biogáz fölös-iszap a talaj tápelem tartalmára a nátrium és nitrit-nitrát nitrogén kivételével szignifikáns hatást nem gyakorolt. A nátrium tartalom a vizsgált időszak és növények átlagában mindkét dózis hatására 19,3 és 21,6 %-al emelkedett, aminek negatív hatása a szakszerű kijuttatás tervezéssel kivédhető. A nitrit-nitrát nitrogén szintek a kukorica kísérletekben átlagosan 64,4 és 190,3 %-al, míg a búza kísérletekben 72,7 és 157,5 %-al emelkedtek, ami vélhetően a fölös-iszap talajéleltre gyakorolt élénkítő hatásának köszönhető. A kijuttatott iszap nehézfém tartalma és a kezelt talajok toxikus elem koncentrációi a vonatkozó határértéket nem haladták meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Al Saedi, T., Rutz, D., Prassl, H., Kottner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R. (2008). Biogas: Handbook [on line]: Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg. pp. 126. Retrieved: <http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>. Access: 04.12.2013.

Antal J., Izsáki Z., Kruppa J., Pocsai K., Schmidt R., Fazekas M., Kajdi F., Késmárki I., Reszkető P., Sárvári M., Szabó L., Tóth Z., Varga S., Barnáné Bacsa M., Iványiné Gergely I., Janowszky J., Janowszky Zs., Gyuricza Cs., Lesznyák M., Máté A., Pepó P., Szabó M., Balázs J., Csajbók J., Győri T., Hoffmann S., Kassai K., Makai S., Mikó P., Nagy J., Nagy L., Nyárai Horváth F., Petróczki F., Szentpétery Zs.: Növénytermesztés 2. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Novenytermesztestan2/ch01s18.html

Arthurson, V.: 2009. Closing the Global Energy and Nutrient Cycles through Application of Biogas Residue to Agricultural Land – Potential Benefits and Drawbacks. *Energies* 2, 226-242

Bai, A.,: 2007. A biogáz. Budapest: Száz magyar falu könyvesháza Kht.

Bai, A.,: 2013. A bioetanol és a második generációs biohajtóanyagok, http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0085_bioetanol_es_a_masodik_generacios_biohajtoanyagok

Balat M, Balat M, Kirtay E, Balat H.,: 2009, Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: pyrolysis systems. *Energy Convers Manage*; 50:3147–57.

Balat M, Balat M, Kirtay E, Balat H.,: 2009. Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 2: gasification systems. *Energy Convers Manage*; 50:3158–68.

Banja, M., Scarlat, N., Dallemand, J., Monforti-Ferrario, F., Motola, V., Bódis, K.: 2014. Bioenergy deployment in the Danube Region *JRC Science and policy reports*, Report EUR 26647 EN

Barótfi, I.; Kocsis, K. (1999): Az energetikai célú biomassza termelés európai helyzete és lehetséges szerepe a magyar nem élelmiszer célú mezőgazdálkodás, erdőgazdálkodás valamint a megújuló energiaforrások előállításának és felhasználásának fejlesztésében. Sorozatszerkesztők: Kerekes, S. ; Kiss Károly, Zöld Belépő EU-csatlakozásunk környezeti szempontú vizsgálata. Gödöllő-Budapest, 96 p.

Bioetanol növények gyenge talajon

<http://www.haszonagrar.hu/noevenytermesztes/136-bioetanol-noevenyek-gyenge-talajon.html>

Bíró, B., Pacsuta J.: 2002. Újgenerációs szemlélet és lehetőségek a talajbiológiai aktivitás és a talajtermékenység irányított fokozására. Gyakorlati Agrofórum. 13. 72-74.

Bocz E.: 1992. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest

Bohn, I., Björnsson, L., Mattiasson, B. 2007: The energy balance in farm scale anaerobic digestion of crop residues at 11–37 °C. *Process Biochemistry*, Volume 42, Issue 1, Pages 57-64

Brooks, L.; Parravicini, V.; Svardal, K.; Kroiss, H.; Prendl, L., 2008. Biogas from sugar beet press pulp as substitute of fossil fuel in sugar beet factories. *Water Science & Technology* . 2008, Vol. 58 Issue 7, p1497-1504

Buzás I.:1983. A növénytaplálás zsebkönyve, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 78, 109, 111.

Braun R., Weiland P., Wellinger A.,:2008 Biogas from energy crop digestion. IEA Bioenergy Task 37

Cellerate + Enogen = More Ethanol Production

<http://energy.agwired.com/2016/04/26/cellerate-enogen-more-ethanol-production/>

COM(2010) 715: ‘European Union Strategy for Danube Region’,

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0715:FIN:EN:PDF>

Csajbók, J.,: 2012. Szántóföldi növények termesztése és növényvédelme

<http://www.agr.unideb.hu/ebook/szantofoldinovenyek/>

Csicsóka az újra felfedezett növény. 1.rész

<http://agroforum.hu/hirek/csicsoka-az-ujra-felfedezett-noveny-1-resz>

De Kam MJ, Morey RV, Tiffany DG.,: 2009. Biomass integrated gasification combined cycle for heat and power at ethanol plants. *Energy Convers Manage*; 50:1682–90.

Demirbas A.,: 2009. Diesel-like fuel from tallow by pyrolysis and supercritical water liquefaction. *Energy Source A*; 31:824–30.

Demirel, B., Scherer , P. 2007: Production of methane from sugar beet silage without manure addition by a single-stage anaerobic digestion process. *Biomass and Bioenergy*32:203-209.

<http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

Ecofys-IIASA-E4tech - The LUC impact of biofuels consumed in the EU

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Final%20Report_GLOBIOM_publication.pdf

Enogen technology provides an opportunity for increased profitability for both growers and ethanolproducers.

<http://www3.syngenta.com/country/us/en/agriculture/seeds/corn/enogen/about/pages/enogen-trait-technology.aspx>

Erdeiné Késmárki-Gally Sz., Lehoczki Zs., Pálinkás P.,: 2016. Mezőgazdasági gépi munkák költsége 2016-ban. Kiadvány. NAIK Mezőgazdasági gépesítési Intézet

Ertas M, Alma MH.,: 2011. Slow pyrolysis of chinaberry (*Melia azedarach* L.) seeds: Part I. The influence of pyrolysis parameters on the product yields. *Energy Educ Sci Technol Part A*; 26:143–54.

Eurobserv'er- The state of renewable energies in Europe – 2015 edition
<http://www.eurobserv-er.org/>

Fülek Gy.,: 1999. Tápanyag gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest

Gémesi Zs.,: 2009. Anaerob fermentációval előállított biogáz megtisztítása – metánleválasztás és gázellátó vezetékhálózatba való betáplálás, vagy motorhajtóanyagként való felhasználás. OBEKK Zrt. Tudományos szakmai kiadványok sorozata (4/12) Gödöllő

Gissén C., Thomas Prade T., Kreuger E., Achu Nges I., Rosenqvist H., Svensson S. E., Lantz M., Mattsson J. E., Börjesson P., Björnsson L.,: 2014. Comparing energy crops for biogas production – Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation, *Biomass and Bioenergy*, Volume 64, May 2014, Pages 199-210, ISSN 0961-9534, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.061>.

Gombos E. (2004): Az energiaerdők potenciális szerepe az EU energiapolitikai elvárásainak teljesítésében. Szakdolgozat. Konzulens: Dr. Bai Attila. Debreceni Egyetem ATC AVK Vállalatgazdaságtani Tanszék, Debrecen

Grasselli, G. és Szendrei, J., (2005): Biomassza-potenciál felmérése a debreceni térségben. EUREGA-RES - Megújuló energiák kutatása és hasznosítása az EU újonnan csatlakozott országaiban. Debrecen, 2005.

<http://meteor.geo.klte.hu/meteorologia/euregaweb/eurega/pdf/szendrei2.pdf>

Jason Hill J., Erik Nelson E., David Tilman D., Stephen Polasky S., and Douglas Tiffany D.,: 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels *PNA Vol 103*. 11206-11210. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0604600103

Hutnan, M., Drtil, M., Mrafkova, L. 2000: Anaerobic biodegradation of sugar beet pulp. Biodegradation, Volume 11, Issue 4, Pages 203-211

Huzsvai L.,: 2005. Az agroökológia modellezés technikája
<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/agrookologia/ch04s03.html>

Huzsvai L, Rátonyi T., Megyes A., Ványiné Széles A, Sulyok D.: Evaluation Of Energy Efficiency In Maize Based Bioethanol Production Istro 18th Triennial Conference Proceedings, June 15-19, 2009 Izmir-Turkey

Ivelics R.,: 2006. Minirotációs energetikai faültetvények termesztés-technológiájának és hasznosításának fejlesztése. Doktori értekezés, NymE Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola Biokörnyezettudomány Program. Sopron

Juhász Gy.,:2004: Biomassza tüzeléstechnikai hasznosítása Debrecen agglomerációjában. Debreceni Műszaki Közlemények 3. évf. 1. sz. 39-49. o.

Juhász Cs. és Szöllősi N.,: 2013. A biomassza alkalmazásának ökonómiai kérdései
http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011-0085_biomassza_alkalmazasanak_ekonomiai_kerdesei/ch09s06.html

Kazai Zs.,: 2008 Zöld energiát okosan, avagy, a biomassza energetikai célú hasznosításának környezeti fenntarthatósági feltételei;
energiaklub.hu/sites/default/files/kiadvanyok/zold_energiat_okosan.pdf

Kacz K., és Neményi M.,: 1998 Megújuló energiaforrások. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.

Kaszab I: A bioetanol perspektívái Magyarországon. Energoexpo Nemzetközi Energetikai Szakkiállítás és Konferencia. ISBN 963 06 0987 8. Debrecen, 2008. szeptember 23-25.

Kissné, E Quallich.: 1983. A biogáz. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó

Klang, J., Theuerl, S., Szewzyk, U., Huth, M., Tölle, R. and Klocke, M.,: 2015. Dynamic variation of the microbial community structure during the long-time mono-fermentation of maize and sugar beet silage. *Microbial Biotechnology*, 8: 764–775. doi:10.1111/1751-7915.

Konrád K., Németh G.,: 2013. Fa- és agripellettek tüzeléstechnikai tulajdonságaival összefüggő kutatások alapjai. *Faipar LXI évf. 2013/1. szám* 28-34 old.

Koppar, A., Pullammanappallil, P. 2007: Single-stage, batch, leach-bed, thermophilic anaerobic digestion of spent sugar beet pulp. *Bioresource Technology*

KTBL 2009. Faustzahlen Biogas: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft

Labat, M., Garcia, J. L., Meyer, F., Deschamps, F. 1984: Anaerobic digestion of sugar beet pulps. *Biotechnology Letters*, Volume 6, Number 6, Pages 379-384

Laczó, F., (2008): Bioüzemanyagok előállításnak lehetőségei Magyarországon, Környezettudományi Központ, <http://www.ktk-ces.hu/biouzemanyag.pdf>,

Lakatos K. – Handki, A. (2008): The energetic potential of bioethanol in Hungary, *Acta Montanistica Slovaca*, Vol. 3., pp. 387-391.

Lappas A.A., Samolada M.C., Iatridis D.K., Voutetakis S.S., Vasalos I.A.,: 2002. Biomass pyrolysis in a circulating fluid bed reactor for the production of fuels and chemicals, *Fuel* 81 (2002) 2087-2095

Lehtomäki, A – Huttunen, S – Rintala, J A: 2006. Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production; In: *Resources, Conservation and Recycling*, Nov. p 1 – 19

Lehtomäki, A., Huttunen, S., Rintala, J.A. 2007: Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: Effect of crop to manure ratio. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 51, Issue 3, Pages 591-609

Linke, B 2003: Biogas from energy crops: results from long-term lab scale experiments. Landtechnik, Volume 58, Number 5, Pages 316-317

Liu Z, Zhang FS.:2008. Effects of various solvents on the liquefaction of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. Energy Convers Manage; 49:3498–504

Liu, F., Zhao, Q., Mano, N., Ahmed, Z., Nitschke, F., Cai, Y., Chapman, K. D., Steup, M., Tetlow, I. J. and Emes, M. J. (2016), Modification of starch metabolism in transgenic *Arabidopsis thaliana* increases plant biomass and triples oilseed production. Plant Biotechnol J, 14: 976–985. doi:10.1111/pbi.12453

Lynd, L. R. (1996): Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy, Annual Review of Energy and the Environment, Vol. 21., pp. 403-465.

Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve

<http://www.umvp.eu/sites/default/files/Meg%C3%BAjul%C3%B3%20Energia%20Hasznos%C3%ADt%C3%A1si%20Cselekv%C3%A9si%20Terv.pdf>

Myczko A.: 2011. Selection of substrates for biogas plants. [In:] Agricultural biogas plants – myths and facts. FDPA, Warszawa

Mohanty SK, Behera S, Swain MR, Ray RC.:2009. Bioethanol production from mahula (*Madhuca latifolia* L.) flowers by solid-state fermentation. Appl Energy; 86:640–4.

Müller J et al.: 2003 Thermische, chemische und biochemische Desintegrationsverfahren. In: Korresp Abwasser /50:796–804

Parawira, W., Murto, M., Zvauya, R., Mattiasson, B., 2004: Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves. Renewable Energy, Volume 29, Issue 11, September 2004, Pages 1811-1823

Parawira, W., Read, J.S., Mattiasson, B., Björnsson, L. 2007: Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion. *Biomass and Bioenergy*

Petis M.: 2007. Biogázról a gyakorlatban. *Bioenergia. Bioenergetikai Szaklap*. Szekszárdi Bioráma Kft. Szekszárd. II. évf. 2. 21-25. /www.dcc.uni-miskolc.hu/content/3/image003.jpg

Polematidis, I.M., Koppar, A.K., Pullammanappallil, P.C., Chynoweth, D.P., Teixeira, A.A., Seaborn, S., Legrand, R. 2007: Biogasification of waste streams and byproducts from sugar beet processing. Annual Meeting, American Society of Agricultural and Biological Engineers

Popp J.,: 2008. Dilemmák az EU KAP jövőjében. Élelmiszert, energiát, vagy környezeti biztonságot? Konferencia-előadás. L. Georgikon Napok. Keszthely, 2008. szept. 25-26.

Popp J.; Potori N. (szerk.) 2011: A biomassza energetikai célú termelése Magyarországon. Budapest: Agrárgazdasági Kutató Intézet 1-173p.

Potyondi, L.,: 2008. A termőföld- és víztakarékosság lehetőségei a szántóföldi bioenergia termelésben a biodiverzitás fenntartása mellett; A fenntartható fejlődés és a megújuló természeti erőforrások környezetvédelmi összefüggései a Kárpát-medencében, Konferencia kötet 265. - 271. old.

Potyondi L.,: 2015. Sugar Beet as a Potantial Energy Crop in the Danube Region *Perspectives of Renewable Energy in the Danube Region*, Hungarian Academy of Sciences, Pécs, 307-317 old.

Qinglan H., Chang W., Dingqiang L., Yao W., Dan L., Guiju L.,:2010. Production of hydrogen-rich gas from plant biomass by catalytic pyrolysis at low temperature, *International Journal of Hydrogen Energy* 35 (2010) 8884-8890

Rauch S.,:2016 Sommertrockenheit führt zu niedrigeren Erträgen und steigenden Substratpreisen. *Biogas Journal* 2016.3.44-47.

Saddler, J.N., Ramos, L.P., Breuil, C. (1993): Steam pretreatment of lignocellulosic residues. In: Bioconversion of forest and agricultural plant residues. CAB International, Wallingford, UK, Chapter 3, pp. 73-92.

Sántha A.: 1991. A mezőgazdasági melléktermékek hasznosítása és a környezetvédelem; Akadémiai kiadó, Budapest

Sántha A.:1996. Környezetgazdálkodás II, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest

Sauthoff S., Musshoff O., Danne M., Anastassiadis F.,: 2016. Sugar beet as a biogas substrate? A discrete choice experiment for the design of substrate supply contracts for German farmers, Biomass and Bioenergy Volume 90, July 2016, Pages 163–172

Sener U, Genel Y, Saka C, Kilicel F, Kucuk MM.,: 2010. Supercritical fluid extraction of cotton stalks. Energy Source A; 32:20–5.

Stoppok, E., Buchholz, K., 1985: Continuous anaerobic conversion of sugar beet pulp to biogas. Biotechnology Letters, Volume 7, Number 2, Pages 119-124

Sun, Y. - Cheng, J. (2002): Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review, Bioresource Technology, Vol. 83., pp. 1-11.

Supit I., van Diepen C.A., de Wit A.J.W., Kabat P., Baruth B., Ludwig F. 2010. Recent changes in the climatic yield potential of various crops in EuropeOriginal Research Article Agricultural Systems, Volume 103, Issue 9, November 2010, Pages 683-694

Svensson, L.M., Björnsson, L., Mattiasson, B., 2007: Enhancing performance in anaerobic high-solids stratified bed digesters by straw bed implementation. Bioresource Technology, Volume 98, Issue 1, Pages 46-52

Szegi J.: 1967. Nitrogénkötő mikroorganizmusok jelentősége a talaj termőképessége szempontjából. Agrokémia és Talajtan 16. 477-486.

Szendrei J.: 2005. A biomassza energetikai hasznosítása. Agrártudományi Közlemények. 16. Különszám. 264-272. /<http://www.date.hu/acta-agraria/2005-16/szendrei.pdf>

Umetsu, K., Yamazaki, S., Kishimoto, T., Takahashi, J., Shibata, Y., Zhang, C., Misaki, T., Hamamoto, O., Ihara, I., Komiyama, M., 2006: Anaerobic co-digestion of dairy manure and sugar beets. International Congress Series, Volume 1293, July 2006, Pages 307-310

Tóvári P., Szabó I., Madár V., Jung L., Dorsánszki Zs., Gergely S.: Biomassza tüzelőanyagok termokémiai kezelésének laboratóriumi és félüzemi vizsgálata. Mezőgazdasági Technika, 2013. február 2-5 old.

Tukacs-Hájos, A., Pap B., Maróti G., Szendefy J., Szabó P., Rétfalvi T.: 2014. Monitoring of thermophilic adaptation of mesophilic anaerobe fermentation of sugar beet pressed pulp. Bioresource Technology 166 (2014) 288–294

Wentzel S., Schmidt R., Piepho H.P., Semmler-Busch U., Joergensen R., 2015. Response of soil fertility indices to long-term application of biogas and raw slurry under organic farming, Applied Soil Ecology, Volume 96, November 2015, Pages 99-107, ISSN 0929-1393, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.06.015>.

World Development Indicators, 2016

<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/23969/9781464806834.pdf>

World Development Indicators Database

<http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>

https://www.nebih.gov.hu/szakteruletek/szakteruletek/novterm_ig/szakteruletek/fajta_szap/jegyzekek/kozles.html

http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn007.html

I. Melléklet

A kukorica kisparcellás kísérletek főbb adatai

2007 évi kukorica kisparcellás kísérlet

Kísérlet helye:	Sopronhorpács
Elővetemény:	kukorica
Vetés ideje:	2007.04.26
Fajta:	Limagrain 2306
FAO sz.:	320
Ismétlések száma:	4
Kísérlet elrendezése:	véletlen blokk
Talajminta szedés időpontja (1)	2007.05.17
Melléktermék kijuttatása:	öntöző kannával
Kijuttatás ideje:	2007.05.21
Talaj típusa:	barna erdőtalaj
Aranykorona:	40
Szántás mélysége:	45 cm
Műtrágyázás	-
Talajfertőtlenítés	-
Gyomirtás:	Állomány kezelés
	Callisto 4EC 0,3 l/ha
	Maizina 90WG 1 kg/ha
	Extravon Koncentrátum 0,1 l/ha
Gyomirtás ideje:	2007.05. 24
Kapálás:	2007.06.02.
Betakarítás ideje:	2007.10.15.
Betakarított parcella mérete:	15m ²
Betakarítás:	kézzel
Talajminta szedés időpontja (2)	2007.10.15

2008 évi kukorica kisparcellás kísérlet

Kísérlet helye:	Zsira	
Elővetemény:	Cukorrépa	
Talaj típusa:	Barna erdőtalaj	
Aranykorona:	35	
Ismétlések száma:	4	
Kísérlet elrendezése:	véletlen blokk	
Szántóföldi kísérlet:	parcella nagyság 50 m ² ,	
Vetés:	2008.04.12	
Fajta:	DKC-49 64	
Műtrágya kijuttatás:	300 kg/ha Kálisó	2008.01.24
	180 kg/ha MAP	2008.03.16
	600 kg/ha Linziszó	2008.04.07
Gyomirtás:	4,5 l/ha Lumax	2008.05.07
Talajminta szedés időpontja (1)	2008.06.17	
Melléktermék kijuttatása:	öntöző kannával	
Kijuttatás ideje:	2008.06.18	
Talajminta szedés időpontja (2)	2008.10.16	
Betakarítás:	2008.10.17	
Minőség vizsgálat:	Hoh Express HE-50 analízátorral	

2009 évi kukorica kisparcellás kísérlet

Kísérlet helye:	Sopronhorpács, H-2 tábla	
Elővetemény:	Őszi Búza	
Talaj típusa:	Barna erdőtalaj	
Aranykorona:	37	
Ismétlések száma:	4	
Kísérlet elrendezése:	véletlen blokk	
Szántóföldi kísérlet:	parcella nagyság 50 m ² ,	
Vetés:	2009.04.22	
Fajta:	DKC-49 64	
Műtrágya kijuttatás:	300 kg/ha Kálisó	2009.01.29

	180 kg/ha MAP	2009.03.08
	600 kg/ha Linziszó	2009.04.10
Gyomirtás:	4,5 l/ha Lumax	2009.05.11.
Talajminta szedés időpontja (1)	2009.06.15	
Melléktermék kijuttatása:	öntöző kannával	
Kijuttatás ideje:	2009.06.15	
Talajminta szedés időpontja (2)	2009.10.06	
Betakarítás:	2009.10.06	
Minőség vizsgálat:	Hoh Express HE-50 analizátorral	

Kukorica kísérletek összefoglaló adatai

Kísérlet helye:	Sopronhorpács, Zsira
Elővetemény:	Kukorica (2007), Cukorrépa (2008), Őszi Búza (2009)
Vetés ideje:	2007.04.26., 2008.04.12., 2009.04.22.
Fajta:	Limagrain 2306 (2007), DKC-49 64 (2008, 2009)
FAO sz.:	300
Ismétlések száma:	4
Kísérlet elrendezése:	véletlen blokk
1.Talajminta szedés időpontja	kezelés előtt
Melléktermék kijuttatása:	öntöző kannával
Kijuttatás ideje:	2007.05.21, 2008.06.18, 2009.06.15
Talaj típusa:	barna erdőtalaj
Betakarítás ideje:	2007.10.15., 2008.10.17., 2009.10.06
Betakarított parcella mérete:	15m ²
Betakarítás:	kézzel
2.Talajminta szedés időpontja	betakarításkor

A búza kisparcellás kísérletek főbb adatai

2007-2008 évi kisparcellás búza kísérlet

Kísérlet helye:	Egyházasköte
Elővetemény:	Repce

Vetés ideje:	2007.10.01
Fajta:	Akteur
Ismétlések száma:	4
Kísérlet elrendezése:	véletlen blokk
Talajminta szedés időpontja (1)	2007.10.10
Melléktermék kijuttatása:	öntöző kannával
Kijuttatás ideje:	2007.10.11
Talaj típusa:	Csernozjom-barna erdőtalaj
Aranykorona:	40
Szántás mélysége:	45 cm
Műtrágyázás	-
Gyomirtás:	Granstar 10g/ha Optica Trio 1l/ha
Gyomirtás ideje:	2008.03.21
Gombaölőszeres kezelések: 1,	1 l/ha Juwel 0,5 l/ha Cycocel 0,12 l/ha Moddus 0,12 l/ha Alphaquard 1 kg/ha Epsotop
1. kezelés ideje	2008.04.14.
2.,	0,75 kg/ha Prosaro 0,5 l/ha Mycostar 1 l/ha Danadim Progress 1,25 l/ha Epso Top
2. kezelés ideje:	2008.05.17.
Betakarítás ideje:	2008.07.12.
Betakarított parcella mérete:	15m ²
Talajminta szedés időpontja (2)	2008.07.22

2008-2009 évi kisparcellás búza kísérlet

Kísérlet helye:	Egyházásfalu
Elővetemény:	Cukorrépa
Vetés ideje:	2008.10.16

Fajta:	Akteur
Ismétlések száma:	4
Kísérlet elrendezése:	véletlen blokk
Talajminta szedés időpontja (1)	2008.10.21
Melléktermék kijuttatása:	öntöző kannával
Kijuttatás ideje:	2008.10.21
Talaj típusa:	Csernozjom-barna erdőtalaj
Aranykorona:	36
Szántás mélysége:	45 cm
Műtrágyázás	2008.09.27. 150 kg/ha MAP
	2009.03.05 200 kg/ha NPK +3X15
	2009.05.05. 200 kg/ha Linzisó
Gyomirtás:	Granstar 10g/ha
	Optica Trio 1l/ha
Gombaölőszeres kezelés:	Tiofol 2 l/ha
Lombtrágyák:	Fitohorm Mn 2 l/ha
	Epso Microtop2 l/ha
Kezekés ideje:	2009.03.25
1. Gombaölőszeres kezelés:	Juwel 1 l/ha
	Cycocel 0,5 l/ha
	Moddus 0,12 l/ha
	Alphaquard 0,12 l/ha
	Epsotop 1 kg/ha
	Headland Rézkelát 1 l/ha
1. kezelés ideje	2009.04.15.
2. Gombaölőszeres kezelés:	Prosaro 0,75 kg/ha
	Mycostar 0,5 l/ha
	Danadim Progress1 l/ha
	Epso Top 1,25 l/ha
2. kezelés ideje:	2009.05.15.
Betakarítás ideje:	2009.07.17

Betakarított parcella mérete: 15m²
 Talajminta szedés időpontja (2) 2009.07.17

2009-2010 évi kisparcellás búza kísérlet

Kísérlet helye: Zsira
 Elővetemény: Repce
 Vetés ideje: 2009.09.24
 Fajta: Akteur
 Ismétlések száma: 4
 Kísérlet elrendezése: véletlen blokk
 Talajminta szedés időpontja (1) 2009.10.27
 Melléktermék kijuttatása: öntöző kannával
 Kijuttatás ideje: 2009.10.27
 Talaj típusa: barna erdőtalaj
 Aranykorona: 35
 Szántás mélysége: 45 cm
 Műtrágyázás
 2010.02.09. 150 kg/ha Karbamid
 2010.03.21 100 kg/ha SSA
 2010.05.30. 2 l/ha Csöppmix
 2 kg/ha Keserűsó
 3 l/ha Foszfonin
 2010. 06.15 2 kg/ha Keserűsó
 2 l/ha Hungavit G

Regulátor, fungicid, herbicid, és inszekticid kezelések:

2009.08.10 3 l/ha Kapazin
 2009.10.06 1 l/ha Izoron
 1,5 l/ha Stomp
 0,1 l/ha Fendona 10 EC
 2010.04.22 1 l/ha Cycocel 460
 0,3 l/ha Moddus 250 EC
 0,5 l/ha Juwel TT

	0,3 l/ha Tango Star
	0,048 kg/ha GranstarSuper 50 SX
	0,3 l/ha Tomigan 250 EC
	0,1 l/ha Lemagard 100EC
2010.05.30	1 l/ha Tango Star
	2 l/ha Tiokoll 300 SC
	0,1 l/ha Fury 10 EC
2010.06.15	0,4 l/ha Mycostar
	0,4 l/ha Juwel TT
	0,4 l/ha Don Q

Betakarítás ideje:	2010.07.20
Betakarított parcella mérete:	15m ²
Talajminta szedés időpontja (2)	2010.07.21

A búza kisparcellás kísérletek összefoglaló adatai

Kísérlet helye:	Egyházásfalu, Zsira
Elővetemény:	Repce, cukorrépa
Vetés ideje:	2007.10.01, 2008.10.16, 2009.09.24
Fajta:	Akteur
Ismétlések száma:	4
Kísérlet elrendezése:	véletlen blokk
1.Talajminta szedés időpontja	kezelés előtt
Melléktermék kijuttatása:	öntöző kannával
Kijuttatás ideje:	2007.10.11., 2008.10.21., 2009.10.27
Talaj típusa:	Csernozjom-barna erdőtalaj
Betakarítás ideje:	2008.07.12., 2009.07.17., 2010.07.20
Betakarított parcella mérete:	15m ²
Betakarítás:	parcella kombájnnal
2.Talajminta szedés időpontja	betakarításkor

II. melléklet

Biógáz kihozatali kísérletekhez tartozó variancia analízisek és szignifikancia vizsgálatok

A silókukorica, cirok és cukorrépa beltartalmi mutatóinak vizsgálata

ANALYSIS OF VARIANCE

VARIABLE: Szárazanyag

Means of Szárazanyag	
Factor	Összesen
Cirok	34,9625
Cukorrépa	23,9
Silókukorica	39,4625
Végösszeg	32,775

MULTIPLE COMPARISON TEST

Newman-Keuls multiple range test (p=

S.E.M.: 0,49495971457043; DF: 21

Critical range; 0; 1,456; 1,765

3	39,4625	a
1	34,9625	b
2	23,9	c

ANOVA TABLE

EFFECT	SS	DF	MS	F	ProbF	
Factor	1026,188	2	513,0937	261,7984	1,43E-15	**
Residual	41,1575	21	1,959881			
Total	1067,345	23	46,4063			

C.V. (%): 4,27141871044282

S.E.M.: 0,494959714570429

S.E.D.: 0,699978741173817

LSD (p<0.05): 1,45568547580882

LSD (p<0.01): 1,98189149645856

ANALYSIS OF VARIANCE

VARIABLE: Szervesanyag

Means of Szervesanyag	
Factor	Összesen
Cirok	88,7125
Cukorrépa	95,625
Silókukorica	96,875
Végösszeg	93,7375

MULTIPLE COMPARISON TEST

Newman-Keuls multiple range test (p=

S.E.M.: 0,103473886743027; DF: 21

Critical range; 0; 0,304; 0,369

3	96,875	a
2	95,625	b
1	88,7125	c

ANOVA TABLE

EFFECT	SS	DF	MS	F	ProbF	
Factor	309,2575	2	154,6288	1805,256	3,18E-24	**
Residual	1,79875	21	0,085655			
Total	311,0563	23	13,52418			

C.V. (%): 0,312221200658106

S.E.M.: 0,103473886743027

S.E.D.: 0,146334173983446

LSD (p<0.05): 0,304318573054045

LSD (p<0.01): 0,41432466159292

ANALYSIS OF VARIANCE

VARIABLE: Szén

Means of Szén	
Factor	Összesen
Cirok	51,4625
Cukorrépa	55,4375
Silókukorica	56,1875
Végösszeg	54,3625

MULTIPLE COMPARISON TEST

Newman-Keuls multiple range test (p=

S.E.M.: 6,00718815452881E-02; DF: 21

Critical range; 0; 0,177; 0,214

3	56,1875	a
2	55,4375	b
1	51,4625	c

ANOVA TABLE

EFFECT	SS	DF	MS	F	ProbF	
Factor	103,17	2	51,585	1786,862	3,54E-24	**
Residual	0,60625	21	0,028869			
Total	103,7763	23	4,512011			

C.V. (%): 0,312548060146669

S.E.M.: 6,00718815452881E-02

S.E.D.: 8,49544695986164E-02

LSD (p<0.05): 0,176672490499306

LSD (p<0.01): 0,240536649157801

ANALYSIS OF VARIANCE

VARIABLE: Nitrogén

Means of Nitrogén	
Factor	Összesen
Cirok	1,91125
Cukorrépa	0,875
Silókukorica	1,16125
Végösszeg	1,315833

MULTIPLE COMPARISON TEST

Newman-Keuls multiple range test (p=

S.E.M.: 1,29961074758482E-02; DF: 21

Critical range; 0; 0,038; 0,046

1	1,91125	a
3	1,16125	b
2	0,875	c

ANOVA TABLE

EFFECT	SS	DF	MS	F	ProbF	
Factor	4,582008	2	2,291004	1695,545	6,12E-24	**
Residual	0,028375	21	0,001351			
Total	4,610383	23	0,200451			

C.V. (%): 2,79355614192317

S.E.M.: 1,29961074758482E-02

S.E.D.: 1,83792714504028E-02

LSD (p<0.05): 3,82217872237572E-02

LSD (p<0.01): 5,20383258176864E-02

ANALYSIS OF VARIANCE

VARIABLE: Kálium

MULTIPLE COMPARISON TEST

Newman-Keuls multiple range test (p=
 S.E.M.: 2,16540714306483E-02; DF: 21
 Critical range; 0; 0,064; 0,077

Means of Kálium	
Factor	Összesen
Cirok	2,76625
Cukorrépa	0,63625
Silókukorica	0,805
Végösszeg	1,4025

1 2,76625 a
 3 0,805 b
 2 0,63625 c

ANOVA TABLE

EFFECT	SS	DF	MS	F	ProbF
Factor	22,43168	2	11,21584	2989,941	1,63E-26 **
Residual	0,078775	21	0,003751		
Total	22,51045	23	0,978715		

C.V. (%): 4,36698488382441

S.E.M.: 2,16540714306483E-02

S.E.D.: 3,06234814978187E-02

LSD (p<0.05): 6,36850158625104E-02

LSD (p<0.01): 8,67060869173053E-02

ANALYSIS OF VARIANCE

VARIABLE: Foszfor

MULTIPLE
 COMPARISON
 TEST

Newman-Keuls multiple range test (p=
 S.E.M.: 6,23211727379114E-03; DF: 21
 Critical range; 0; 0,018; 0,022

Means of Foszfor	
Factor	Összesen
Cirok	0,14875
Cukorrépa	0,0975
Silókukorica	0,13125
Végösszeg	0,125833

1 0,14875 a
 3 0,13125 a
 2 0,0975 b

ANOVA TABLE

EFFECT	SS	DF	MS	F	ProbF
Factor	0,010858	2	0,005429	17,47318	3,4E-05 **
Residual	0,006525	21	0,000311		
Total	0,017383	23	0,000756		

C.V. (%): 14,0082830795683

S.E.M.: 6,23211727379114E-03

S.E.D.: 8,81354477089507E-03

LSD (p<0.05): 1,83287696593015E-02

LSD (p<0.01): 2,49543141921739E-02

III. Melléklet

A biogáziszap trágyázási kísérletek terméseredményeinek varianciaanalízise

Kukorica biogáz fölősiszap trágyázási kísérlet Szemtermés (t/ha) 2007

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean</u>
<u>Square</u>			
Between Groups	0,09289	2	
	0,046445		
Within Groups	0,252645	9	
	0,028072		
Corrected Total	0,345535	11	

F (variance ratio) = 1,65452 P = 0,2444

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean</u> <u>difference</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
	<u>L</u>			
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,19625	3	2,342641	P = 0,273 stop
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,17525	2	2,091964	P = 0,1732
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,021	2	0,250678	P = 0,8632

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	5,98125	none
80 t/ha	6,1775	none
40 t/ha	6,1565	none

Szemtermés (t/ha) 2008

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean</u>
<u>Square</u>			
Between Groups	4,138679	2	
	2,06934		
Within Groups	4,468955	9	
	0,496551		
Corrected Total	8,607635	11	

F (variance ratio) = 4,167429 P = 0,0524

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
	<u>L</u>			
40 t/ha vs. 80 t/ha	-1,427928	3	4,052794	P = 0,0446
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,864865	2	2,454689	P = 0,1166 stop
Kontrol vs. 40 t/ha	0,563063	2	1,598105	P = 0,2877

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
40 t/ha	13,405405	80 t/ha
80 t/ha	14,833333	40 t/ha
Kontrol	13,968468	none

Szemtermés (t/ha) 2009

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	8,722236	2	4,361118
Within Groups	6,991965	9	0,776885
Corrected Total	15,714201	11	

F (variance ratio) = 5,613595 P = 0,0261

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
	<u>L</u>			
Kontrol vs. 40 t/ha	-1,891892	3	4,292872	P = 0,0342
Kontrol vs. 80 t/ha	-1,711712	2	3,884027	P = 0,0226
40 t/ha vs. 80 t/ha	0,18018	2	0,408845	P = 0,7791 stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	14,279279	40 t/ha, 80 t/ha
40 t/ha	16,171171	Kontrol
80 t/ha	15,990991	Kontrol

Szemtermés (t/ha) Három év átlaga (2007-09)

Two way randomized block analysis of variance

Treatments: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>
Between blocks (rows)	616,580301	11
Between treatments (columns)	5,138018	2
Residual (error)	16,209941	22
Corrected total	637,928261	35

F (VR between blocks) = 76,074342 $P < 0,0001$

F (VR between treatments) = 3,486638 $P = 0,0484$

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
	<u>L</u>			
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,924276	3	3,730033	$P = 0,0384$
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,50136	2	2,023301	$P = 0,1666$ stop
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,422916	2	1,706732	$P = 0,2403$

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	11,409666	80 t/ha
80 t/ha	12,333941	Kontrol
40 t/ha	11,911026	none

Kukorica biogáz fölősiszap trágyázási kísérlet
Víztartalom (%) 2007

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean</u>
<u>Square</u>			
Between Groups	0,001667	2	
	0,000833		
Within Groups	3,325	9	
	0,369444		
Corrected Total	3,326667	11	

F (variance ratio) = 0,002256 $P = 0,9977$

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
	<u>L</u>			
Kontrol vs. 80 t/ha	0,025	3	0,082261	$P = 0,9981$ stop
Kontrol vs.	0,025	3	0,082261	$P =$

40 t/ha				0,9981
40 t/ha vs.	0	2	0	P >
80 t/ha				0,9999

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	19,15	none
80 t/ha	19,125	none
40 t/ha	19,125	none

Víztartalom (%) 2008

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean</u>
<u>Square</u>			
Between Groups	0,961667	2	
	0,480833		
Within Groups	8,1875	9	
	0,909722		
Corrected Total	9,149167	11	

F (variance ratio) = 0,52855 P = 0,6067

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
	<u>L</u>			
Kontrol vs. 80 t/ha	0,675	3	1,415401	P = 0,5946 stop
Kontrol vs. 40 t/ha	0,475	2	0,996023	P = 0,4991
40 t/ha vs. 80 t/ha	0,2	2	0,419378	P = 0,7735

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	21,375	none
80 t/ha	20,7	none
40 t/ha	20,9	none

Víztartalom (%) 2009

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean</u>
<u>Square</u>			
Between Groups	0,201667	2	
	0,100833		
Within Groups	6,0275	9	
	0,669722		
Corrected Total	6,229167	11	

F (variance ratio) = 0,15056 P = 0,8623

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
	<u>L</u>			
Kontrol vs. 80 t/ha	0,275	3	0,672071	P = 0,8845 stop
Kontrol vs. 40 t/ha	0,275	2	0,672071	P = 0,6459
40 t/ha vs. 80 t/ha	3,552714E-015	2	8,682461E-015	P > 0,9999

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	18,975	none
80 t/ha	18,7	none
40 t/ha	18,7	none

Víztartalom (%) Három év átlaga (2007-09)

Two way randomized block analysis of variance

Treatments: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>
Between blocks (rows)	38,512222	11
Between treatments (columns)	0,707222	2
Residual (error)	13,126111	22
Corrected total	52,345556	35

F (VR between blocks) = 5,868032 P = 0,0002

F (VR between treatments) = 0,592669 P = 0,5614

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
	<u>L</u>			
Kontrol vs. 80 t/ha	0,325	3	1,457529	P = 0,5659 stop
Kontrol vs. 40 t/ha	0,258333	2	1,158549	P = 0,4214
40 t/ha vs. 80 t/ha	0,066667	2	0,29898	P = 0,8345

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	19,833333	none
80 t/ha	19,508333	none
40 t/ha	19,575	none

Kukorica biogáz fölősiszap trágyázási kísérlet
Száranyag termés (t/ha) 2007

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean</u>
<u>Square</u>			
Between Groups	0,062281	2	
	0,03114		
Within Groups	0,151473	9	
	0,01683		
Corrected Total	0,213753	11	

F (variance ratio) = 1,85026 P = 0,2123

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean</u> <u>difference</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
	<u>L</u>			
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,16073	3	2,477885	P = 0,2393 stop
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,14345	2	2,211489	P = 0,1523
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,01728	2	0,266396	P = 0,8548

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	4,835377	none
80 t/ha	4,996107	none
40 t/ha	4,978827	none

Száranyag termés (t/ha) 2008

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean</u>
<u>Square</u>			
Between Groups	2,777738	2	
	1,388869		
Within Groups	2,880839	9	
	0,320093		
Corrected Total	5,658577	11	

F (variance ratio) = 4,338953 P = 0,0479

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean</u> <u>difference</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
	<u>L</u>			
40 t/ha vs.	-1,154838	3	4,082374	P =

80 t/ha				0,0431
Kontrol vs.	-0,780923	2	2,760579	P =
80 t/ha				0,0827
				stop
Kontrol vs.	0,373914	2	1,321795	P =
40 t/ha				0,3744

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
40 t/ha	10,606586	80 t/ha
80 t/ha	11,761423	40 t/ha
Kontrol	10,9805	none

Szárazanyag termés (t/ha) 2009

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean</u>
<u>Square</u>			
Between Groups	6,126176	2	
	3,063088		
Within Groups	4,749306	9	
	0,527701		
Corrected Total	10,875483	11	

F (variance ratio) = 5,804594 P = 0,024

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
	<u>L</u>			
Kontrol vs.	-1,582748	3	4,357605	P =
40 t/ha				0,0318
Kontrol vs.	-1,438288	2	3,959881	P =
80 t/ha				0,0207
40 t/ha vs.	0,144459	2	0,397724	P =
80 t/ha				0,7849
				stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	11,565315	40 t/ha, 80 t/ha
40 t/ha	13,148063	Kontrol
80 t/ha	13,003604	Kontrol

Szárazanyag termés (t/ha) Három év átlaga (2007-09)

Two way randomized block analysis of variance

Treatments: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>
Between blocks (rows)	396,939332	11
Between treatments (columns)	3,7995	2
Residual (error)	10,437362	22

Corrected total 411,176193 35

F (VR between blocks) = 76,061239 $P < 0,0001$

F (VR between treatments) = 4,004316 $P = 0,0329$

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference</u> <u>L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,793314	3	3,989805	$P = 0,0259$
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,450761	2	2,267008	$P = 0,1232$ stop
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,342553	2	1,722797	$P = 0,2361$

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	9,127064	80 t/ha
80 t/ha	9,920378	Kontrol
40 t/ha	9,577825	none

Búza biogáz fölősiszap trágyázási kísérlet
Szemtermés (t/ha) 2007-08

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	0,811442	2	0,405721
Within Groups	0,279735	9	0,031082
Corrected Total	1,091177	11	

F (variance ratio) = 13,053401 $P = 0,0022$

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,62225	3	7,058996	$P = 0,0019$
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,429	2	4,866708	$P = 0,0074$
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,19325	2	2,192288	$P = 0,1555$ stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	6,223	80 t/ha, 40 t/ha
80 t/ha	6,84525	Kontrol
40 t/ha	6,652	Kontrol

Szemtermés (t/ha) 2008-09

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	2,49374	2	1,24687
Within Groups	1,736397	9	0,192933
Corrected Total	4,230137	11	

F (variance ratio) = 6,462709 P = 0,0182

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 80 t/ha	-1,047459	3	4,7694	P = 0,0203
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,858804	2	3,910395	P = 0,0219
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,188655	2	0,859005	P = 0,5586 stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	9,370816	80 t/ha, 40 t/ha
80 t/ha	10,418275	Kontrol
40 t/ha	10,22962	Kontrol

Szemtermés (t/ha) 2009-10

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	1,307052	2	0,653526
Within Groups	1,035733	9	0,115081
Corrected Total	2,342785	11	

F (variance ratio) = 5,678811 P = 0,0254

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,736667	3	4,343085	P = 0,0324
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,656667	2	3,871437	P = 0,0229
40 t/ha vs. 80 t/ha	0,08	2	0,471647	P = 0,7464 stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	10,81	40 t/ha, 80 t/ha
40 t/ha	11,546667	Kontrol
80 t/ha	11,466667	Kontrol

Szemtermés (t/ha) Három év átlaga (2007-10)

Two way randomized block analysis of variance

Treatments: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between blocks (rows)	143,416201	11	13,037836
Between treatments (columns)	4,2674	2	2,1337
Residual (error)	1,949567	22	0,088617
Corrected total	149,633169	35	

F (VR between blocks) = 147,126187 $P < 0,0001$

F (VR between treatments) = 24,077858 $P < 0,0001$

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,775459	3	9,023841	$P < 0,0001$
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,674823	2	7,852773	$P < 0,0001$
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,100635	2	1,171068	$P = 0,4165$ stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	8,801272	80 t/ha, 40 t/ha
80 t/ha	9,576731	Kontrol
40 t/ha	9,476095	Kontrol

Vízartalom (%) 2007-08

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	0,005	2	0,0025
Within Groups	0,765	9	0,085
Corrected Total	0,77	11	

F (variance ratio) = 0,029412 $P = 0,9711$

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,05	3	0,342997	$P = 0,9682$ stop
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,025	2	0,171499	$P = 0,9061$
40 t/ha vs. 80 t/ha	0,025	2	0,171499	$P = 0,9061$

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	12,325	none
40 t/ha	12,375	none
80 t/ha	12,35	none

Vízartalom (%) 2008-09

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	0,106667	2	0,053333
Within Groups	0,9225	9	0,1025
Corrected Total	1,029167	11	

F (variance ratio) = 0,520325 $P = 0,6112$

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,2	3	1,24939	P = 0,6635 stop
Kontrol vs. 40 t/ha	0,2	3	1,24939	P = 0,6635
Kontrol vs. 80 t/ha	0	2	0	P > 0,9999

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
40 t/ha	11,525	none
80 t/ha	11,725	none
Kontrol	11,725	none

Víztartalom (%) 2009-10

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	0,168889	2	0,084444
Within Groups	0,293333	9	0,032593
Corrected Total	0,462222	11	

F (variance ratio) = 2,590909 P = 0,1292

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 40 t/ha	0,266667	3	2,954196	P = 0,1471 stop
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,233333	2	2,584921	P = 0,1008
Kontrol vs. 80 t/ha	0,033333	2	0,369274	P = 0,7999

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	12,366667	none
40 t/ha	12,1	none
80 t/ha	12,333333	none

Víztartalom (%) Három év átlaga (2007-10)

Two way randomized block analysis of variance

Treatments: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between blocks (rows)	4,240833	11	0,38553
Between treatments (columns)	0,151296	2	0,075648
Residual (error)	1,290926	22	0,058678
Corrected total	5,683056	35	

F (VR between blocks) = 6,570219 P < 0,0001

F (VR between treatments) = 1,289198 P = 0,2955

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>
-------------------	--------------------------	-------------------	------------------

Kontrol vs. 40 t/ha	0,138889	3	1,986181	P = 0,3559 stop
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,136111	2	1,946457	P = 0,1826
Kontrol vs. 80 t/ha	0,002778	2	0,039724	P = 0,9778

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	12,138889	none
40 t/ha	12	none
80 t/ha	12,136111	none

Hektólitersúly (kg/100l) 2007-08

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	3,965	2	1,9825
Within Groups	6,7575	9	0,750833
Corrected Total	10,7225	11	

F (variance ratio) = 2,6404 P = 0,1252

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 80 t/ha	1,375	3	3,173664	P = 0,1165 stop
Kontrol vs. 40 t/ha	0,95	2	2,192713	P = 0,1554
40 t/ha vs. 80 t/ha	0,425	2	0,980951	P = 0,5054

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	82,9	none
80 t/ha	81,525	none
40 t/ha	81,95	none

Hektólitersúly (kg/100l) 2008-09

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	2,66	2	1,33
Within Groups	27,43	9	3,047778
Corrected Total	30,09	11	

F (variance ratio) = 0,436384 P = 0,6594

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 40 t/ha	-1,15	3	1,317456	P = 0,6352 stop
40 t/ha vs. 80 t/ha	0,65	2	0,744649	P = 0,6112
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,5	2	0,572807	P = 0,6949

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
-----------------	-------------	------------------------------

Kontrol	77,5	none
40 t/ha	78,65	none
80 t/ha	78	none

Hektólitersúly (kg/100l) 2009-10

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	2,728889	2	1,364444
Within Groups	1,253333	9	0,139259
Corrected Total	3,982222	11	

F (variance ratio) = 9,797872 P = 0,0055

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 40 t/ha	-1,166667	3	6,252659	P = 0,0043
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,633333	2	3,394301	P = 0,0399
40 t/ha vs. 80 t/ha	0,533333	2	2,858358	P = 0,074 stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	81,066667	40 t/ha, 80 t/ha
40 t/ha	82,233333	Kontrol
80 t/ha	81,7	Kontrol

Hektólitersúly (kg/100l) Három év átlaga (2007-10)

Two way randomized block analysis of variance

Treatments: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between blocks (rows)	146,029722	11	13,275429
Between treatments (columns)	2,005741	2	1,00287
Residual (error)	16,343148	22	0,74287
Corrected total	164,378611	35	

F (VR between blocks) = 17,870452 P < 0,0001

F (VR between treatments) = 1,349994 P = 0,2799

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
40 t/ha vs. 80 t/ha	0,536111	3	2,15471	P = 0,2996 stop
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,455556	2	1,830946	P = 0,2089
Kontrol vs. 80 t/ha	0,080556	2	0,323765	P = 0,821

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
40 t/ha	80,944444	none
80 t/ha	80,408333	none
Kontrol	80,488889	none

Fehérje tartalom (%) 2007-08

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	2,281667	2	1,140833
Within Groups	0,825	9	0,091667
Corrected Total	3,106667	11	

F (variance ratio) = 12,445455 P = 0,0026

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 80 t/ha	-1	3	6,605783	P = 0,003
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,825	2	5,449771	P = 0,0039
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,175	2	1,156012	P = 0,4348 stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	13,225	80 t/ha, 40 t/ha
80 t/ha	14,225	Kontrol
40 t/ha	14,05	Kontrol

Fehérje tartalom (%) 2008-09

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	0,601667	2	0,300833
Within Groups	2,1675	9	0,240833
Corrected Total	2,769167	11	

F (variance ratio) = 1,249135 P = 0,3321

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 40 t/ha	0,525	3	2,139592	P = 0,3302 stop
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,4	2	1,630165	P = 0,2787
Kontrol vs. 80 t/ha	0,125	2	0,509427	P = 0,727

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	13,425	none
40 t/ha	12,9	none
80 t/ha	13,3	none

Fehérje tartalom (%) 2009-10

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	11,931852	2	5,965926
Within Groups	0,426667	9	0,047407
Corrected Total	12,358519	11	

F (variance ratio) = 125,84375 $P < 0,0001$

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 80 t/ha	-2,433333	3	22,351594	$P < 0,0001$
Kontrol vs. 40 t/ha	-1,4	2	12,859821	$P < 0,0001$
40 t/ha vs. 80 t/ha	-1,033333	2	9,491773	$P < 0,0001$

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	12,3	80 t/ha, 40 t/ha
80 t/ha	14,733333	Kontrol, 40 t/ha
40 t/ha	13,7	Kontrol, 80 t/ha

Fehérje tartalom (%) Három év átlaga (2007-10)

Two way randomized block analysis of variance

Treatments: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between blocks (rows)	4,64108	11	0,421916
Between treatments (columns)	7,29858	2	3,64929
Residual (error)	8,664383	22	0,393836
Corrected total	20,604043	35	

F (VR between blocks) = 1,071301 $P = 0,4251$

F (VR between treatments) = 9,266025 $P = 0,0012$

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 80 t/ha	-1,102778	3	6,08725	$P = 0,0008$
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,566667	2	3,127957	$P = 0,0377$
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,536111	2	2,959293	$P = 0,0481$

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	12,983333	80 t/ha, 40 t/ha
80 t/ha	14,086111	Kontrol, 40 t/ha
40 t/ha	13,55	Kontrol, 80 t/ha

Szárazanyag termés (t/ha) 2007-08

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	0,618197	2	0,309099

Within Groups	0,246091	9	0,027343
Corrected Total	0,864288	11	

F (variance ratio) = 11,304309 P = 0,0035

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,5437	3	6,576009	P = 0,0031
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,372434	2	4,504561	P = 0,0111
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,171266	2	2,071448	P = 0,177 stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	5,456394	80 t/ha, 40 t/ha
80 t/ha	6,000093	Kontrol
40 t/ha	5,828828	Kontrol

Szárazanyag termés (t/ha) 2008-09

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	1,977198	2	0,988599
Within Groups	1,388169	9	0,154241
Corrected Total	3,365367	11	

F (variance ratio) = 6,409446 P = 0,0186

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,925026	3	4,710687	P = 0,0216
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,778257	2	3,963264	P = 0,0206
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,14677	2	0,747422	P = 0,6099 stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	8,272169	80 t/ha, 40 t/ha
80 t/ha	9,197195	Kontrol
40 t/ha	9,050426	Kontrol

Szárazanyag termés (t/ha) 2009-10

One way analysis of variance

Variables: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between Groups	1,071921	2	0,53596
Within Groups	0,862648	9	0,09585
Corrected Total	1,934569	11	

F (variance ratio) = 5,591669 P = 0,0264

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,676564	3	4,370623	P = 0,0314
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,580493	2	3,749999	P = 0,0264
40 t/ha vs. 80 t/ha	0,096071	2	0,620624	P = 0,6711 stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	9,472956	40 t/ha, 80 t/ha
40 t/ha	10,14952	Kontrol
80 t/ha	10,053449	Kontrol

Szárazanyag termés (t/ha) Három év átlaga (2007-10)

Two way randomized block analysis of variance

Treatments: Kontrol, 40 t/ha, 80 t/ha

<u>Source of Variation</u>	<u>Sum Squares</u>	<u>DF</u>	<u>Mean Square</u>
Between blocks (rows)	111,790912	11	10,16281
Between treatments (columns)	3,372189	2	1,686094
Residual (error)	1,562876	22	0,07104
Corrected total	116,725977	35	

F (VR between blocks) = 143,057925 P < 0,0001

F (VR between treatments) = 23,734495 P < 0,0001

Newman-Keuls multiple comparisons

<u>Comparison</u>	<u>Mean difference L</u>	<u>Separation</u>	<u> L/SE(L) </u>	
Kontrol vs. 80 t/ha	-0,683073	3	8,877828	P < 0,0001
Kontrol vs. 40 t/ha	-0,609085	2	7,916214	P < 0,0001
40 t/ha vs. 80 t/ha	-0,073988	2	0,961614	P = 0,5036 stop

<u>Variable</u>	<u>Mean</u>	<u>Significant contrasts</u>
Kontrol	7,73384	80 t/ha, 40 t/ha
80 t/ha	8,416912	Kontrol
40 t/ha	8,342924	Kontrol