

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**MEZŐGAZDASÁGI HULLADÉKOK FELHASZNÁLÁSA A
BIOGÁZ ÜZEMEKBEN A KÖRNYEZETTERHELÉS
CSÖKKENTÉSE ÉRDEKÉBEN**

Készítette:

Kith Károly

Témavezető:

Dr. Nagy János egyetemi tanár, az MTA doktora



DEBRECENI EGYETEM

**Kerpely Kálmán Növénytermesztési, Kertészeti
és Regionális Tudományok Doktori Iskola**

Debrecen

2017

„Nincs még egy olyan lenyűgöző és kutatásra érdemes terület, mint a természet tanulmányozása.

Az emberi értelem legfőbb célja megérteni ezt a nagyszerű alkotást, felfedezni a benne ható erőket, és az ezeket irányító törvényeket.” (Nikola Tesla)



BEVEZETÉS

Üvegházhatás – globális felmelegedés – klímaváltozás

Ma már senki sem tagadja, hogy az üvegházhatás következtében létrejövő globális felmelegedés okozta klímaváltozás az emberiség egyik legnagyobb problémája. A baj csak az, hogy erről a problémáról csak kevesen vesznek tudomást.

Az üvegházhatás során a Föld légköre a napfény rövid hullámhosszú, nagy energiájú sugárzását átveszi, ami a földfelszínt felmelegíti. Az innen kilépő hosszú hullámhossz-tartományú, alacsony energiájú hősugárzást az atmoszférában található ún. üvegházhatású gázok abszorbeálják.

A légkör emelkedő szén-dioxid koncentrációja hozzájárul a globális felmelegedéshez (Kruijt, 2008; Nagy et al., 2015).

Napjainkra bebizonyosított, hogy az emberi tevékenység megváltoztatta a légkör összetételét és – részben ennek eredményeképpen – a Föld éghajlata is megváltozott (IPCC, 2007), amivel egyetértek, ám véleményem szerint részben a Föld saját életciklusa játszik közre a bolygónk klímaváltozásában.

Hagymássy et al. (2015) szerint a klímaváltozás hatással van mezőgazdasági termelésre.

Ökológiai lábnyom

A Földön minden élőlény hagy valami nyomot maga után. Ezek a nyomok persze szinte soha nem láthatók, sokszor csak a következményeit tapasztalhatjuk. Mi a szüleink, nagyszüleink nyomaiban lépkedünk, de közben mi is hagyunk nyomokat magunk után. Ezek a nyomok úgy viselkednek, mint a friss hóban hagyott nyomaink, ha elkezd melegedni az idő, egyre nagyobbak és nagyobbak lesznek, a végén pedig már azt gondolhatjuk, hogy óriás járt a kertünkben (1. ábra). Azokat a „lábnyomokat”, amiket a földi környezetünkön hagyunk, nevezzük ökológiai lábnyomnak (Gilly, 2001).



1. ábra: Az ökológiai lábnyom hatféle kategóriája (földhasználati típusa)

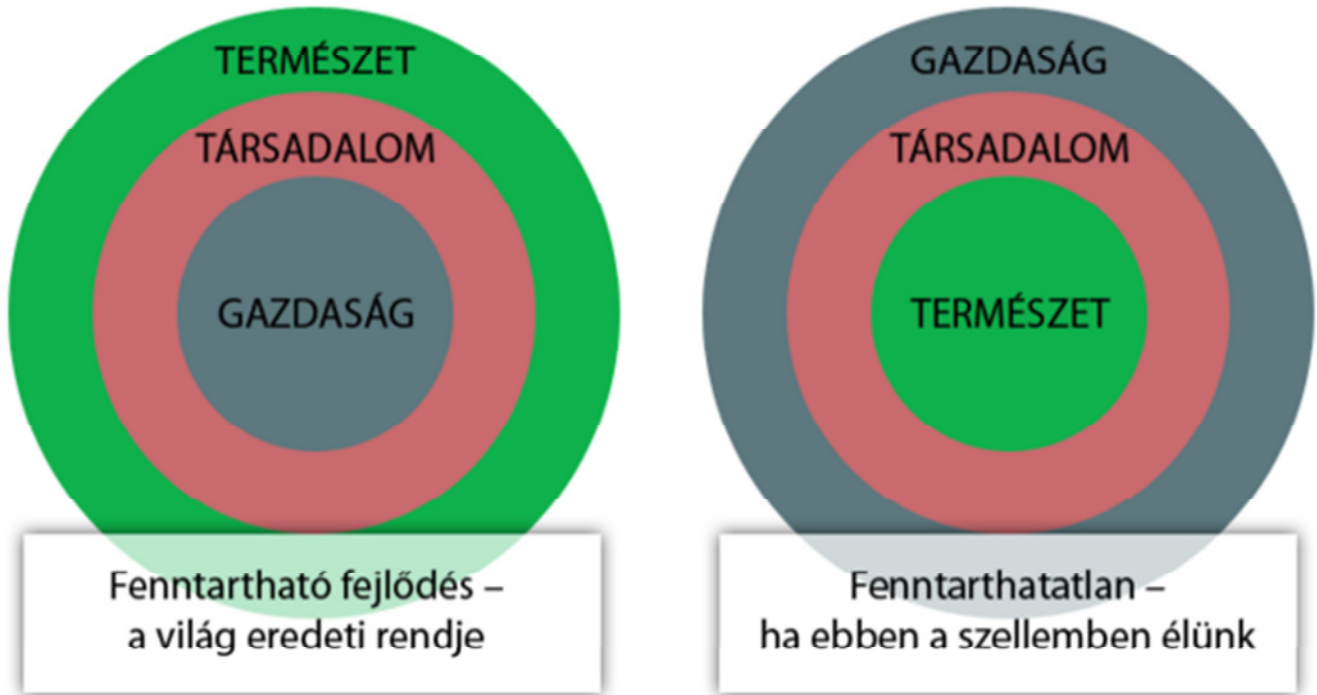
Forrás: *Megújuló energiapark* (2008)

A fenntartható fejlődés és a környezettudatosság

A fenntartható fejlődés lényegét tekintve megegyezik a Környezet és Fejlődés Világbizottság 1987-es jelentésében leírt harmonikus fejlődéssel, napjainkra csak az elnevezés változott meg. Számos megfogalmazása ismeretes, melyek közül az első a köztudatban legelfogadottabb.

Ökológusként számomra a legmeghatározóbb a környezetvédelem, azon belül az ökológiai fenntarthatóság, mivel ez határozza meg a társadalom minőségét, ami pedig hatással van a gazdaság alrendszerre.

A fenntarthatóság kérdéskörét komplexen kell vizsgálni, mivel a három alrendszer együttes vizsgálata elengedhetetlen a teljes rendszer értelmezéséhez (2. ábra).



2. ábra: A fenntartható és a fenntarthatatlan világrrend

Forrás: Tóth (2007)

Célkitűzések

Alapvető célom a bioreaktorokban termelt biogáz mennyiségi és minőségi előállításának elemzése és értékelése, különös tekintettel a befolyásoló tényezők meghatározására, úgymint az alapanyag fajták különbözősége és azok felhasználásának lehetőségei.

Megvizsgálom, hogy mennyi biogáz kell egységnyi áram előállításához, valamint, hogy milyen hatást gyakorolnak a felhasznált alapanyagok a biogáz mennyiségére.

Rendszerszemléletű megközelítésben célul tűztem ki leírni a biogáz üzemek technológiai felépítésének, működésének, és a biogáz hasznosításának összefüggéseit. Ezen belül kívánom megvizsgálni a mezofil és termofil bioreaktorok felépítését, azok alkalmazásának módjait, működését, valamint a bioreaktor-kombinációjának üzemeltetési lehetőségeit.

Figyelmet fordítok arra, hogy a biogáz üzemekben felhasznált input-receptúrák összetétele milyen módon befolyásolja az üzem működéséhez és a biogáz előállításához szükséges munkaerő létszámát.

Van-e bármilyen összefüggés a foglalkoztatottak létszáma és a felhasznált alapanyagok száma között.

Sorra veszem a jelenleg elérhető és alkalmazható korszerű energiahatékonysági fejlesztéseket, és felmérem a vizsgált telephelyek meglévő rendszerébe illeszthető innovatív megoldásokat, különös tekintettel az energia-transzformálás hatékonyságának növelésére.

Kitérek továbbá arra, hogy a különböző bővítési, fejlesztési tervek – kapacitásnövelés esetében – milyen többletköltségeket jelenthetnek (pl. a szállítási költség növekedése).

Megvizsgálom milyen környezetre gyakorolt hatási vannak a biogáz üzemek működésének, milyen mértékű a környezetterhelés, azon felül milyen változások következnek – vagy következhetnek – be a környezet igénybevétele mellett.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A biogáz-üzemek regionális helyzete az energiatermelésben

Tamás (2015) szerint napjainkban kiemelkedő szerepet tölt be a megújuló energiák hasznosítása, az energiahatékonyság növelése, amiből következik, hogy a helyi energiaforrások fenntartható és környezetbarát hasznosításának kell lenni a kitűzött célnak. A biogáz üzemek nagymértékben hozzájárulnak Magyarország megújuló energia termeléséhez.

A biogáz üzemek regionális szinten való vizsgálatai során megállapíthatjuk, hogy ott érdemes létesíteni biogáz üzemet, ahol megfelelő mértékben rendelkezésre állnak a felhasználható alapanyagok. Ez logisztikai szempontból fontos tényező, mert az alapanyagok szállítási költségei megnövelik az üzem általános költségeit. A biogáz-termelést tekinthetjük decentralizált energiatermelésnek, mivel nem központosított üzemekben termelődik az energia, hanem lokálisan.

Másik fontos tényező, hogy az üzemek túlnyomó többsége vidéken található. Ezt azért fontos megállapítani, mert a decentralizált energiatermelésnek különösen nagy munkahelyteremtő, munkahelymegőrző hatása van.

A biogáz előállításához felhasznált alapanyagok szortimentje szabja meg, hogy az adott régióból mennyi hasznosítható hulladék, melléktermék, természetett ipari növény vagy kommunális iszap kerül feldolgozásra, üzemi hasznosításra. Minél nagyobb számú ezen anyagok felhasználása, annál nagyobb mértékben mentesül a régió a káros, kezeletlen anyagoktól, esetleg olcsóbbá teszi azok kezelését – környezetkímélő módon.

A Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem termelési rendszerének bemutatása

A telephelyek értékelése során a vizsgált telepek T1, T2, T3, T4, T5 és T6 jelöléssel kerültek feltüntetésre. A T5 telephely a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem, a többi vizsgált biogáz üzem azonban nem járult hozzá a nevének közléséhez.

A Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem (1–2. kép) 2003-ban kezdte meg működését (Juhász et al., 2014). Az üzem két telephelyen helyezkedik el. Az első az állati eredetű hulladékok előkezelő (hőkezelő) üzemrésze, a második a biogáz-előállító és –hasznosító üzem.



1–2. kép: A Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem

Forrás: saját fotó

A biogáz termelés folyamata

Az üzemelés eredetileg tervezett technológiája jelentősen módosult az alapanyagok felhasználása terén, így folyamatosan változtak, változnak a receptúrák a legmagasabb gázhozam elérése érdekében. A rendelkezésre álló alapanyag szortiment alapján a bioreaktorokat aktív térfogatra vetített napi 4,2–4,5 kg/m³ szerves szárazanyaggal táplálják. A laborvizsgálatok átlagértékei vagy a követlen bevizsgálás alapján megállapított emészthető szerves anyag tartalmat és a jellemző C/N arányt figyelembe véve kerül kiszámításra a napi recepturát alkotó anyagok mennyisége. A keverőaknába hígító víz kerül, amely vagy szarvasmarha hígtrágya, vagy nyers baromfi vágóhídi szennyvíz formájában kerül felhasználásra. Ezek hiányában az utótározókból visszaengedett kierjedt fermentlé a vizes fázis, mellyel 1,5–2,5% hidrolizált szerves anyag is visszakerül a fermentációs folyamatba.

Az 1. számú fogadócsarnok szolgál a szilárd fázisú alapanyagok átmeneti tárolására, innen homlokrakodó emeli be a keverőaknába a szükséges szerves alapanyag mennyiségeket. A betápláláskor egy búvármotoros keverő folyamatosan homogenizálja a keveréket, elősegítve az anyagok hidrolizálódásának megindulását. A csarnok és a keverőaknák légterében keletkező szagterhelést elszívó rendszer továbbítja egy szagtalanító biofilterre, melynek kapacitása 15 000 m³/h. Az alkalmazott szilárd alapanyagok a trágyaalapú alkotókon kívül – melyek gyakorlatilag mindig rendelkezésre állnak – az évszakoknak megfelelően betárolt növényi szecskák, így a nyár elejétől termesztett energianövényként zöld kalászos szecska, energiafű, szudáni fű, cukorcirok, silókukorica, gyomos réti fű adják a puffertömeget. Ezt egészíti ki a konzervgyárakból érkező növényi hulladék, csemegekukorica, zöldborsó, zöldbab, brokkoli, paradicsom. A téli időszakban vegyes összetételű siló biztosítja a növényi alapanyagot, ennek általános összetevői a silókukorica, csemegekukorica, csuhéj, szem, csővég-apríték, gyomos réti széna, szecskázott szalma, terményszárítói hulladék, napraforgós szecska. A magasabb szerves szárazanyag-beltartalmat szükség esetén takarmánybúza, tritikálé, kukorica, napraforgó dara hozzáadásával biztosítják a téli időszakban.

Rendszeresen használnak tejipari melléktermékként tejsavót a szubsztrátum összeállításához – mint aktív organikus összetevőt – a kémhatás szabályozásához és az enzimektartás stabilizálásához.

Van lehetőség naponta szarvasmarha hígtrágyát a szubsztrátumhoz adagolni, mely nagymértékben segíti a bioreaktorokban kialakult baktériumflóra biztonságos fenntartását, kiegyenlítetté teszi a szimbiotikus folyamatokat. A könnyebb kezelhetőség és az aktívabb biológiai részvétel miatt, a szarvasmarha tartástechnológia visszamosatásos, hígtrágyás rendszer átalakításával növekszik a szarvasmarha hígtrágya napi mennyisége, mellyel arányosan csökken a költségesebben használható almos istállótrágya használata.

A keverőaknában kerülni kell minden olyan tevékenységet, amelynek hatására felgyorsulnak a biokémiai folyamatok és jelentős gázképződés jön létre. Ezért nem kevernek ko-fermentumokat az aknában lévő

alkotókhoz, és a beállított szerves szárazanyag-tartalmú homogénezett szubsztrátumot rövid ideig tárolják a keverő aknában (max. 24 óra 25 °C alatti hőfok). Egy keverőaknában összeállított alapanyag 18–20 órás ellátást biztosít a fermentációhoz. A kiürült aknának a feltöltését és a bekeverést azonnal elkezdik. Amennyiben a szubsztrátum készítéséhez az utótározók valamelyikéből visszaengedett fermentlé a hígító anyag (amely általában 33–36 °C hőmérsékletű), különösen nyári tartós meleg esetén, fokozott ellenőrzést kell folytatni a keverőaknák környezetében, illetve csak annyi lehet a leengedett fermentlé, ami nem viszi kritikus hőmérsékletre a szubsztrátumot.

A keverőaknából a szubsztrátumot vertikál szivattyú segítségével négyóránként juttatják a mezofil bioreaktorokba, 160 mm-es PVC, illetve rozsdamentes acélcső hálózaton keresztül. A folyadék útját pneumatikus szelepekkel vezérlik. A szelepek beállítását és a folyadék mennyiségét egy biogáz-gépész a központi számítógépről vezérli.

A keverőaknából a szubsztrátum a mezofil bioreaktorokba kerül feladásra, szerves szárazanyag-tartalma 6,2–7,0%. Ezt a szivattyúüzem problémamentesen tudja szállítani, ennek feltétele, hogy a növényi alkotók szemcsemérete ne haladja meg a 2–5 cm nagyságot.

A bioreaktor terheléséből még hiányzó szerves szárazanyagot a 2. számú fogadócsarnokból kerül az anaerob zónába. Az állati hulladék (*KöM rendelet*, 2001) előkezelő üzembrészből a sterilizált húslevet tartálykocsival szállítják a fogadócsarnokba, ahol két darab 30 m³-es szigetelt tartályban van elhelyezve. Ezekben a hőmérséklet ráfűtéssel biztosított, keverőgépekkel ellátott a homogenitás fenntartására. Ezt követően a sterilizált húslé a négyórás ciklusidőt betartva adagolódik a mezofil bioreaktorokba.

A mezofil és a termofil bioreaktorok között lévő hidraulikus átfolyás miatt (közlekedő edények elve) a mezofil szakaszból a „nyers” szubsztrátum mennyiségének megfelelő térfogatú fermentlé folyik át a vele párban lévő termofil bioreaktorba. Innen ugyanennyi kirothadt fermentlé távozik az utótározó medencébe.

Mivel a húslé C/N aránya 13–15, vagyis széntartalma nem megfelelő a metanizációs folyamatok kielégítő működéséhez, a hiányzó karbonmennyiséget ipari zsírral pótolják (pl. növényolaj ipari maradvány anyagok). A biológiai szennyvíztisztító fölös iszapmennyiségének tárolása a 2. számú fogadócsarnokban elhelyezett tartályokban történik. A csarnok később lett kialakítva, mint az alapüzem, így nem automatizált, az itt folyó műveleteket kézzel végzik. A puffer tárolókból a folyadékokat forgódugattyús szivattyú juttatja a csőhálózaton keresztül a megfelelő bioreaktorba.

Az anyagfeladások idejét úgy választják meg, hogy a bioreaktor nyugalmi időszakában történjen (keverési szünetben) a bejuttatás, így a hidraulikus átfolyás során az alulról távozó folyadék kisebb koncentrációjú szerves anyagot tartalmaz, mint ami a bioreaktor felsőbb szintjein jellemző. Ennek köszönhetően az utó bioreaktorokból a szerves anyagok kevésbé mosódnak át az utótározókba.

Az utótárolók nyitott kivitelben készültek, lefedésükkel csökkenthető a környezet szagterhelése.

Fontos a fermentáció hatásfokát a legmagasabb szinten tartani, mert a kikerülő biotrágya el nem bomlott fehérje tartalma jelentősen növeli annak kellemetlen szagát.

Állati eredetű alapanyagok előkészítése

A biogáz előállításához felhasználható alapanyagok egyik fontos csoportja az állati zsírok és fehérjék. A vágóhidakon és az állattartó telepeken keletkező állati eredetű melléktermékek és hulladékok hasznosítását biogáz előállításához szigorú állategészségügyi szabályok betartásával lehet végezni. Elsődleges szabályként általános biogáz üzemben a 2–3. kategóriába sorolt állati eredetű anyagokat szabad felhasználni, előzetes sterilizálást vagy pasztörizálást követően. Ez a szabály szükségessé tette egy hőkezelő üzemszámítását.

Az üzemszámításra került a szennyezett és tiszta övezeti rendszer, melyekben az anyag mozgása, a visszaszennyeződés – esetleg fertőződés – veszélye nélkül biztosított. Kritikus pontok lettek meghatározva a technológia folyamatában, melyek folyamatos kontroll alatt állnak, és zárt rendszerben paramétereiket számítógép rögzíti. A tehergépkocsin beszállított mellékterméket vagy hulladékot behordó csigával ellátott fogadó aknába ürítik, ahonnan a csiga darálóra továbbítja az anyagot.

A hőkezelés első feltétele, hogy az alapanyag szemcsemérete nem haladhatja meg az 5,0 cm-t. A megdarált anyag felhordó csiga vagy forgódugattyús szivattyú segítségével átlövő tartályba kerül. Itt digitális mérőpapucs méri és rögzíti a hőkezelendő mennyiséget. A főzőüstökbe (dezinfektor) 3–5 bar nyomáson sűrített levegővel továbbítják a megdarált masszát, ahol minimum 3 bar nyomáson, legalább 133 °C hőmérséklet tartása mellett 20 perc időtartamig sterilizálják. Innen a forró anyag saját nyomásán „kilövére” kerül egy tartályba, ahol – elveszítve nyomását – átmeneti tárolásra kerül. A felszabaduló bűzös gőz kondenzátoron áthaladva elveszíti víztartalmát, a levegő pedig egy biofilterre kerül szagtalanításra. A kilövő tartályból kifolyó sterilizált húsléből egy lépcsős szűrő leválasztja a 6 mm-nél nagyobb szilárd részeket (elsősorban csont), majd a lé a készáru-tartályokba lesz átszivattyúzva, ahol az apróbb szilárd részek a tartály aljára ülepednek.

Biogáz üzemi felhasználásra zárt rendszerű lefejtés mellett tartálykocsi szállítja el a sterilizált húslevet. A leválasztott szilárd részek – további kezelésre – komposztáló üzembe kerülnek. Az üzemben két fogadóvonal két darálóval és három dezinfektorral van biztosítva az anyagok időbeni hőkezelése. A teljes folyamat számítógépen van rögzítve a nyomonkövetési előírások teljesítésére. A szállítást végző járművek és szállítókonténerek mosását és fertőtlenítését a fogadócsarnokban végzik, majd keretfertőtlenítőn

áthaladva távoznak a tiszta övezeti parkolóba. Az üzemrész átlagosan 20 000–25 000 tonna anyag hőkezelését végzi el évente.

Anaerob fermentáció

A feladást követően beindulnak a búvármotoros keverők és homogenizálják a szubsztrátumot, ami a fermentáció határfokának fontos feltétele. A rendszeres keverést számítógépes program szabályozza, melyen lehetőség van változtatni a keverők működési idejét. A bioreaktorok hőmérsékleten-tartása a blokkfűtő művekben keletkező meleg víz egy részének felhasználásával biztosított (3. kép). A mezofil bioreaktorokban 38 °C-ot, míg a termofil bioreaktorokban 55 °C-ot állít be automatikusan a fűtésvezérlés. A mezofil rothasztó térben padló- és falfűtés, a termofil bioreaktorokban falfűtés található.



3. kép: A bioreaktorok automatikus fűtésvezérlése
(Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem, 2016)

Forrás: saját fotó

A termofil bioreaktorokból kifolyó kiejert fermentlé (biotrágya) szerves szárazanyag-tartalma 1,3–2,8%, melyhez a korábbi években 0,5–1,3% szervesetlen szárazanyag kapcsolódott. A bioreaktorokban a folyamatos hőmérséklet és kémhatás figyelésére szondák lettek beépítve, melyek által mért értékek a központi számítógépen online ellenőrizhetők.

Az anaerob fermentáció lefolyásának figyelemmel kísérését segíti a gázanalizáló berendezés, amely minden bioreaktorból gázmintát vesz, és az abból mért adatokat láthatóvá teszi. Méri a metán, széndioxid, oxigén térfogat százalékát, valamint a kénhidrogén és az ammónia töménységét a keletkező biogázban.

Gázszakasz és kéntelenítés

A bioreaktorokban zajló biokémiai folyamatok hatására keletkező biogáz a bioreaktorok felső 0,8 méter magasságú gázdifúzió ellen védett terében helyezkedik el. A biogáz üzemben előállított biogázra jellemző, hogy az általánosságban megfogalmazható mutatószámokat illetően a kedvező és a kedvezőtlen paraméterek tekintetében is egyedi. A metántartalom ingadozása kismértékű (60–63 tf% között mérhető), vagyis jó megbízhatósággal tervezhető a fűtőérték, illetve az előállítható elektromos és termikus energia mennyisége.

A sok pozitív tényező mellett kedvezőtlen hatású az állati eredetű hulladékok hasznosítása, felhasználása a gáz minőségében, mert a fehérjékben lévő kéntartalom a gázban magas kénhidrogén-szintet eredményez. A gáz kéntelenítését a bioreaktorokba beadagolt, a gázanalizátorok által mért kénhidrogén-töménységnek megfelelő mennyiségű levegő befúvásával aktivizált kénbaktériumok végzik. Ezek munkája során az elemi kén kicsapódik a bioreaktor gázterében.

A rendszer hátránya, hogy a bioreaktorba csak a robbanás-határérték alsó szintjét meg nem haladó mennyiségű oxigén juttatható be, valamint, hogy a rothasztáshoz anaerob körülményeket kell biztosítani a bioreaktorokban.

A biogáz üzemben a kéntelenítési gondot az előzetesen kalkulált biogáz-hozamhoz beállított rendszer okozza, amely a jelenleg termelt – és a tervezetthez képest lényegesen több – biogáz-mennyiség megfelelő szintű kéntelenítését nem minden esetben tudja biztosítani.

További gond a levegős kéntelenítés miatt, hogy a folyamat nem csak a bioreaktorokban történik, hanem az elvezető csőrendszerben is ahol jelentős kénlerakódás történik a csőfalakon. Ennek eltávolítása rendkívül bonyolult. A biogáz a végső felhasználási pontjához, a blokkfűtő egységhez gázsűrítők segítségével jut el, melyek biztosítják, hogy a gázmotoroknál legalább 60 mbar nyomás legyen a gázosztó után.

A biotrágya útja

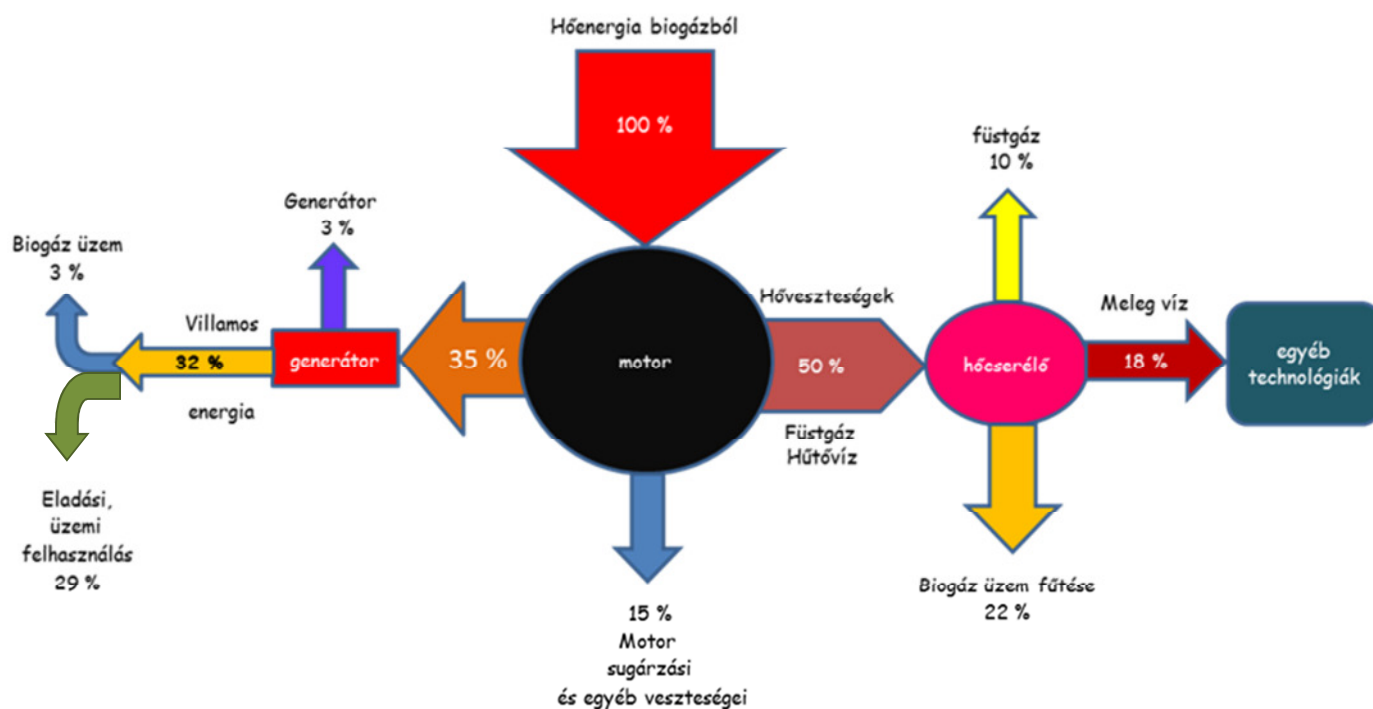
Az utótározókba kikerülő kirothasztott fermentlé csigás szeparátorokon halad át, és leválasztódnak a 0,6 mm-nél nagyobb szilárd részecskék. Ennek jelentős hányadát a cellulózvázakból megmaradt rostok, valamint az azon megtapadó, ki nem erjedt fehérjemaradvány és az elhalt baktériumok tömege alkotja. A folyamatba bekerülő szerves anyagok nagyobb frakciójú részei is a szeparátumba kerülnek. Ez a szilárd

anyag 25–35% közötti szárazanyag-tartalmú steril közeg. Felhasználható a biogáz üzemben további fermentációhoz mint bázis, almozásra, komposztkészítéshez, vagy közvetlen szántóföldi trágyázásra.

A tapasztalatok és a lefolytatott többéves öntözési-növénytermesztési kísérletek bizonyítják, hogy ez az anyag rendkívül jól hasznosul, jelentős nitrogénbázis, arányosan tartalmazza a káliumot és a foszfort is. Enzimatis hatása révén könnyen felvehetővé teszi a növénykultúra számára akár lombtrágyaként is.

A biogáz hasznosítása

A megtermelt biogázt jelenleg négy blokk fűtőműben hasznosítják. Az egységekben működő biogáz motorokkal hajtott szinkrongenerátorok által termelt áram egy részét (az igényeknek megfelelő mennyiségben) közvetlenül felhasználják a biogáz üzem működtetésére. A többi áram bekerül a transzformátor terembe, és a kapcsolórendszeren át kitáplálásra kerül a külső magasfeszültségű hálózatra. Egy generátor a Baromfi Vágóhíd transzformátorát látja el, ahonnan a környező telephelyek saját hálózatán át kapják a villamos energiát (3. ábra).



3. ábra: A teljes energiaforgalmi mérleg (Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem, 2016)

Forrás: Petis (2007) alapján saját szerkesztés

A gázmotorok hűtése során keletkező nagy mennyiségű 92–110 °C-os meleg víz felhasználása eddig kis mértékben valósult meg. A bioreaktorok fűtéséhez használt és a baromfi feldolgozó üzemnek átadható hőmennyiség az éves összesen keletkező hőenergia 30%-át nem haladja meg. Nehéz megtalálni a technológiai összhangot a folyamatosan működő és meleg vizet folyamatosan előállító erőmű, valamint a szakaszos, ciklikus elvételt igénylő hőhasznosítási pontok között. A gázmotorok megfelelő hőelvétel nélkül automatikusan leállnak.

Vizsgálati és statisztikai módszerek

A statisztikai vizsgálatot, valamint az interakció grafikonok elkészítését R 3.2.4. statisztikai környezetben (*R Core Team, 2016*) RStudio (*RStudio Team, 2016*) és "agricolae" (*de Mendiburu, 2016*) csomagok felhasználásával végeztem.

Statisztikai módszer: a biogáz-termelés során előforduló sok biológiai, környezeti és humán tényező miatt az elsőfajú hibát 10%-nak ($\alpha=0,1$) választottam. Három vizsgált év átlagában vizsgáltam a biogáz-hozamokat és a villamos energia termelést variancia-analízissel, aminek példa R kódja:

- `modell=aov(formula = kihazatal ~ időtényező, data = adatbázis)`
- `summary(modell)`
- `anova(modell)`

A biogáz-hozam hatását villamos energia termelésre általános lineáris modellel (glm) vizsgáltam *Huzsvai* (2012) alapján, melynek R kódja:

- `modell<-with(adatbázis, lm(biogáz~villamos áram))`
- `summary(modell)`
- `anova(modell)`

A felhasznált alapanyagok mennyiségének hatását a dolgozói létszámra általános lineáris modellel (glm) vizsgáltam *Huzsvai* (2012) alapján, melynek R kódja:

- `modell<-with(adatbázis, lm(létszám~darab))`
- `summary(modell)`
- `anova(modell)`

Kutatásaim során hat darab mélyinterjút készítettem biogáz üzemek vezetőivel. A mélyinterjú a kvalitatív adatgyűjtésre alkalmazható eljárás. A személyes megkérdezés során mélyreható információkhoz juthat a kérdező, amely alkalmat kínál a rendszerek és összefüggések megértéséhez (Wyss, 1991). Az interjúk időtartama körülbelül egy órát vett igénybe. Kutatásaim kezdetén készítettem egy listát a Magyarországon működő biogáz üzemekről. Ezután a témavezetőm ajánlásával levélben felvettem a kapcsolatot összes biogáz üzem vezetőjével. Hat darab biogáz üzem reagált érdemben a megkereséseimre. A kapcsolatfelvétel után személyes helyszíni felmérést végeztem az adott telepeken.

A dolgozatban az általam vizsgált biogáz üzemek jellemzőit SWOT-analízis segítségével ábrázolom.

A SWOT analízis fontos ismertetője, hogy amíg az első két terület, vagyis az erősségek és gyengeségek a cég belső tulajdonságaira világít rá, addig a lehetőségek és a veszélyek a céget körülvevő környezetet vizsgálja Chikán (1997).

EREDMÉNYEK

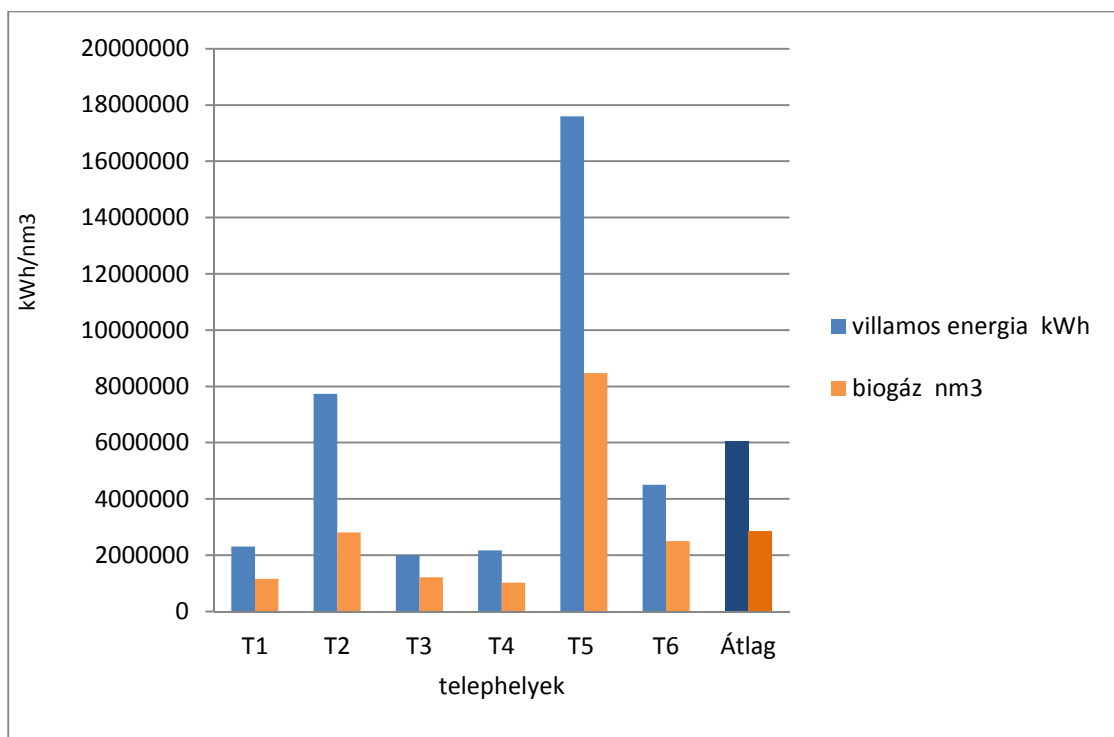
A biogáz üzemekben begyűjtött adatok eredményei

A vizsgált biogáz üzemek eltérő méretűek, amelyek telephelyei az Észak-alföldi régióban helyezkednek el. A vizsgált telephelyek havi és éves villamos energia és biogáz termelését az 1. táblázat és a 4. ábra szemlélteti.

1. táblázat: A vizsgált telephelyek havi villamos energia és biogáz termelése

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Átlag
Havi villamos energiatermelés (kWh)	192000	645000	167000	181000	1466773	375000	490550
Havi biogáz termelés (nm ³)	97000	234000	101000	85000	705719	208300	242300

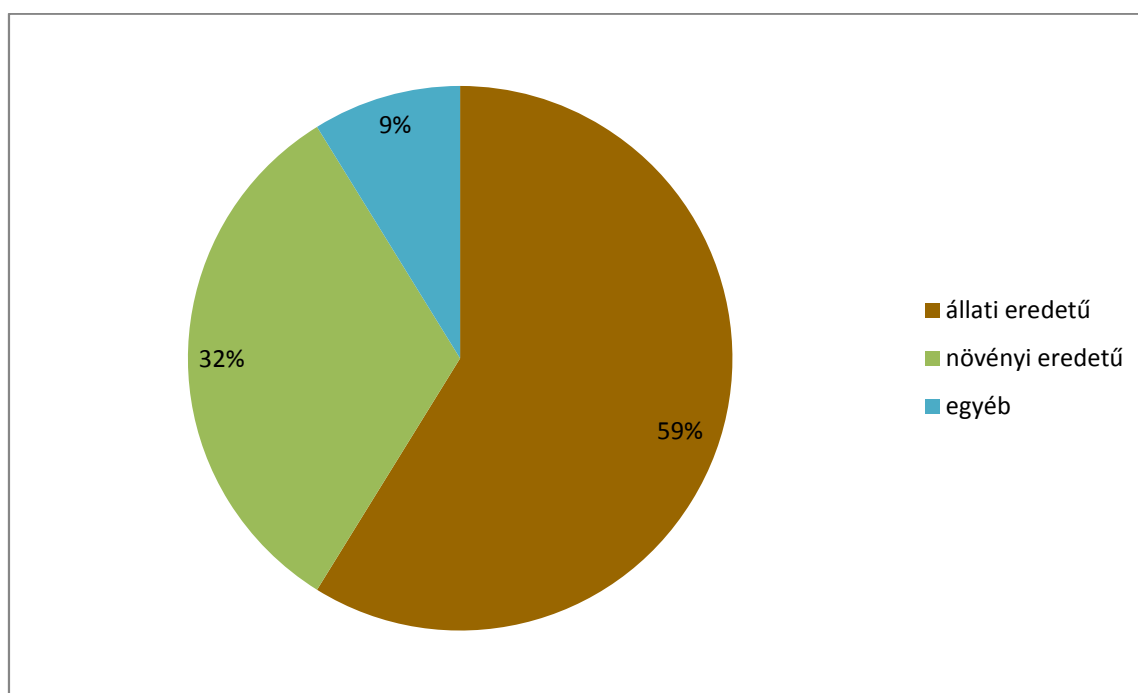
Forrás: saját szerkesztés



4. ábra: A vizsgált telephelyek éves villamos energia és biogáz termelése (kWh, nm³)

Forrás: saját szerkesztés

A vizsgált telephelyeken felhasznált alapanyagok megoszlásának arányát az 5. ábra mutatja. Ebből kitűnik, hogy az állati eredetű alapanyagok vannak túlsúlyban – közel kétharmad arányban – a növényi eredetű (32%) és az egyéb (9%) alapanyag-fajtákhoz képest.



5. ábra: A vizsgált telephelyeken fehasznált alapanyagok megoszlásának aránya

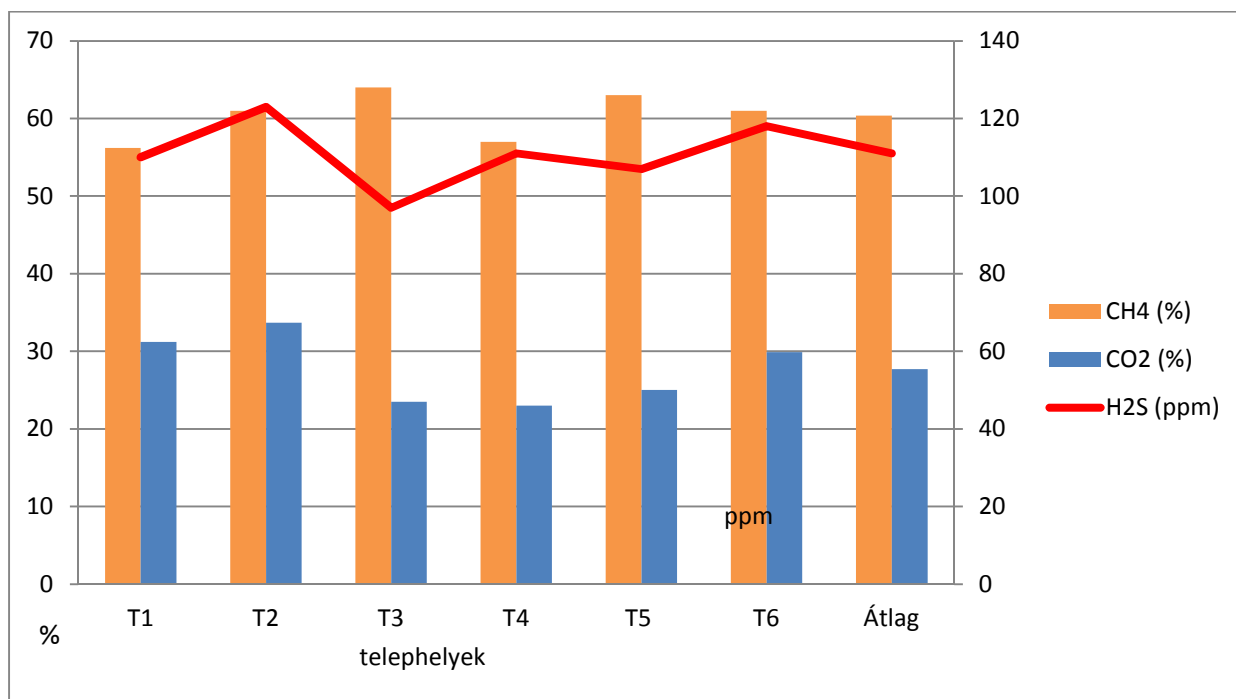
Forrás: saját szerkesztés

Összefoglaltam a vizsgált telephelyektől kapott adatokat a biogáz összetételét tekintve (2. táblázat, 6. ábra). Vizsgáltam a többféle alapanyag használatának hatását a dolgozói létszámra. Az adatokat felhasználva, a telephelyek sorrendjét megcserélve ábrázoltam a dolgozók létszáma és a felhasznált alapanyagok száma közötti egyenes arányosságot (7. ábra).

2. táblázat: A vizsgált telephelyek által termelt biogáz általános jellemzői

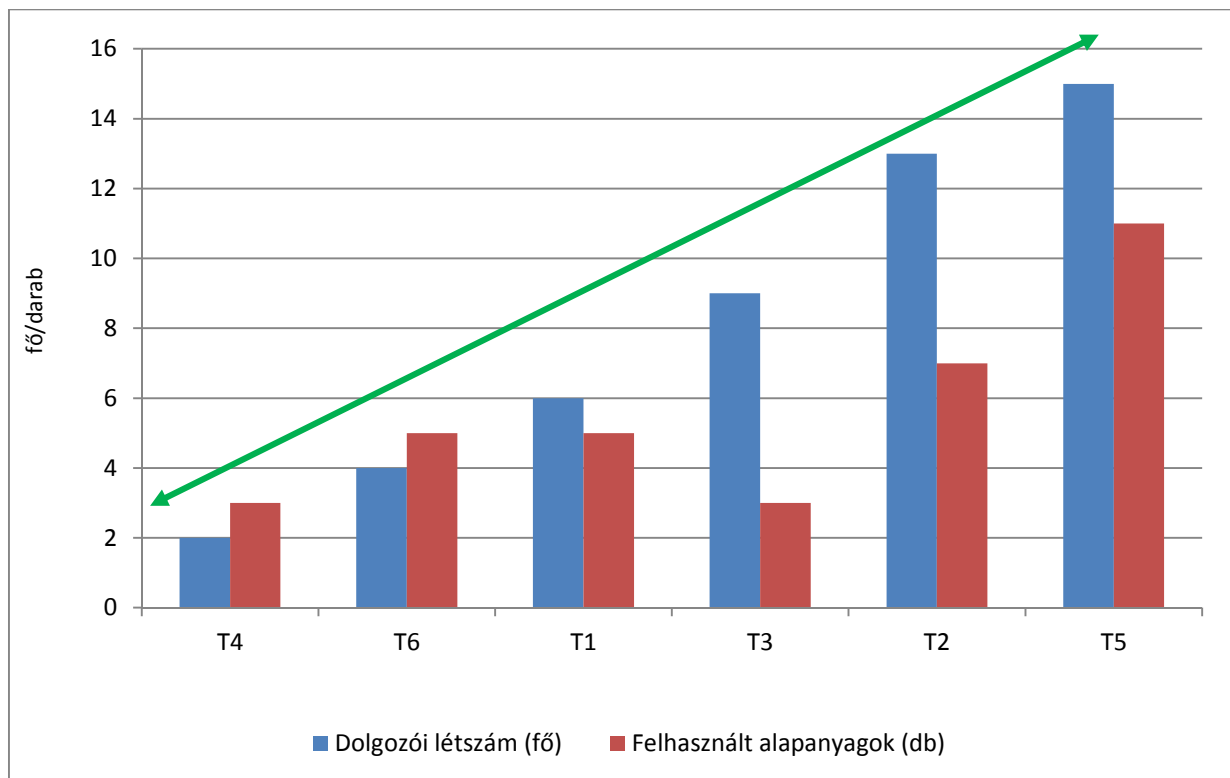
Biogáz összetétel (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Átlag
CH ₄	56,2	61	64	57	63	61	60,36667
CO ₂	31,2	33,7	23,5	23	25	29,9	27,71667
H ₂ S (ppm)	110	123	97	111	107	118	111

Forrás: saját szerkesztés



6. ábra: A vizsgált telephelyeken termelt biogáz összetétele (CH₄%, CO₂%, H₂S ppm)

Forrás: saját szerkesztés



7. ábra: A vizsgált telephelyek dolgozói létszámának és a felhasznált alapanyagok számának összefüggései

Forrás: saját szerkesztés

Az adatok alapján a felhasznált alapanyagok száma befolyásolja a dolgozói létszámot. A regresszió-analízis alapján a felhasznált alapanyagok darabszáma és a dolgozók létszáma között ($r=0,74$) kapcsolat van. A felhasznált alapanyag fajtája 54,28%-ban befolyásolta ($P<0,1$) a dolgozói létszámot.

A Nyírbátori Regionális Biogáz Üzemben mért adatok értékelése

A 3. táblázatban mutatom be a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem biogáz és villamos energia termelését 2016-ban.

A biogáz üzem – a jelenlegi működési rendszerben – 8,46 millió nm^3 biogáz előállítás mellett 17 601 MWh elektromos áram termelésére képes évente.

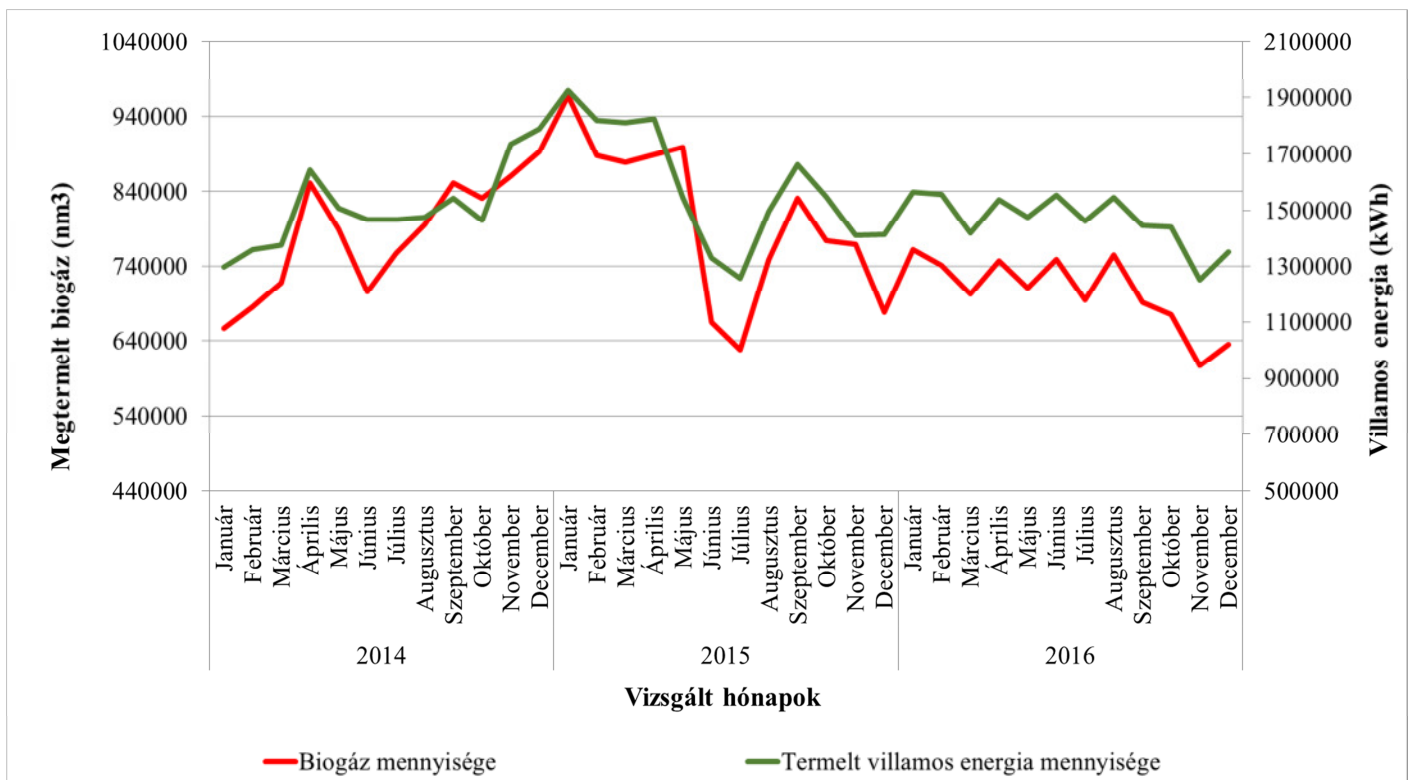
A 8. ábrán látható a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem biogáz és villamos energia termelése a vizsgált években.

Jól látható a szoros kapcsolat a megtermelt biogáz és az abból előállított villamos energia között.

3. táblázat: Az üzem biogáz előállítás és villamos energia termelése
(Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem, 2016)

Hónapok	Termelt biogáz (m ³)	Termelt villamos energia (MWh)
Január	761704	1564,513
Február	740712	1557,747
Március	702008	1418,366
Április	747418	1536,567
Május	710494	1474,567
Június	748938	1555,352
Július	694237	1461,208
Augusztus	754634	1546,290
Szeptember	691167	1445,367
Október	675046	1439,682
November	607120	1251,038
December	635156	1350,576
Összesen	8468634	17601,273

Forrás: saját szerkesztés



8. ábra: A előállított biogáz és a termelt villamos energia kapcsolata

Forrás: saját szerkesztés

A vizsgált évek átlagában havi szinten nem volt különbség a biogáz termelésében, azaz a biogáz kihozatal konstans volt. Ezt a variancia-analízis is alátámasztja (4. táblázat), miszerint nem volt igazolható különbség a vizsgált évek alapján az egyes hónapok között.

4. táblázat: Szezonális hatás a gáztermelésre a vizsgált évek átlagában

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Hónap	11	$5.064 \cdot 10^{10}$	$4.604 \cdot 10^9$	0.475	0.9 ^{ns}
Maradék	24	$2.324 \cdot 10^{11}$	$9.683 \cdot 10^9$		
Szignifikancia jelölése: 0 '****' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 Nem szignifikáns 'ns'					

Forrás: saját szerkesztés

A vizsgált évek átlagában havi szinten nem volt különbség a villamos áram termelésben, azaz a biogáz termeléssel együtt a villamos energia termelés is konstans volt (5. táblázat).

A vizsgált éveknek szignifikáns hatása volt a gáztermelésre (6. táblázat).

A grafikon alapján elmondható hogy a biogáz termelés hatott a villamos energia termelésre (9. ábra).

5. táblázat: Szezonális hatás a villamos energiatermelésre a vizsgált évek átlagában

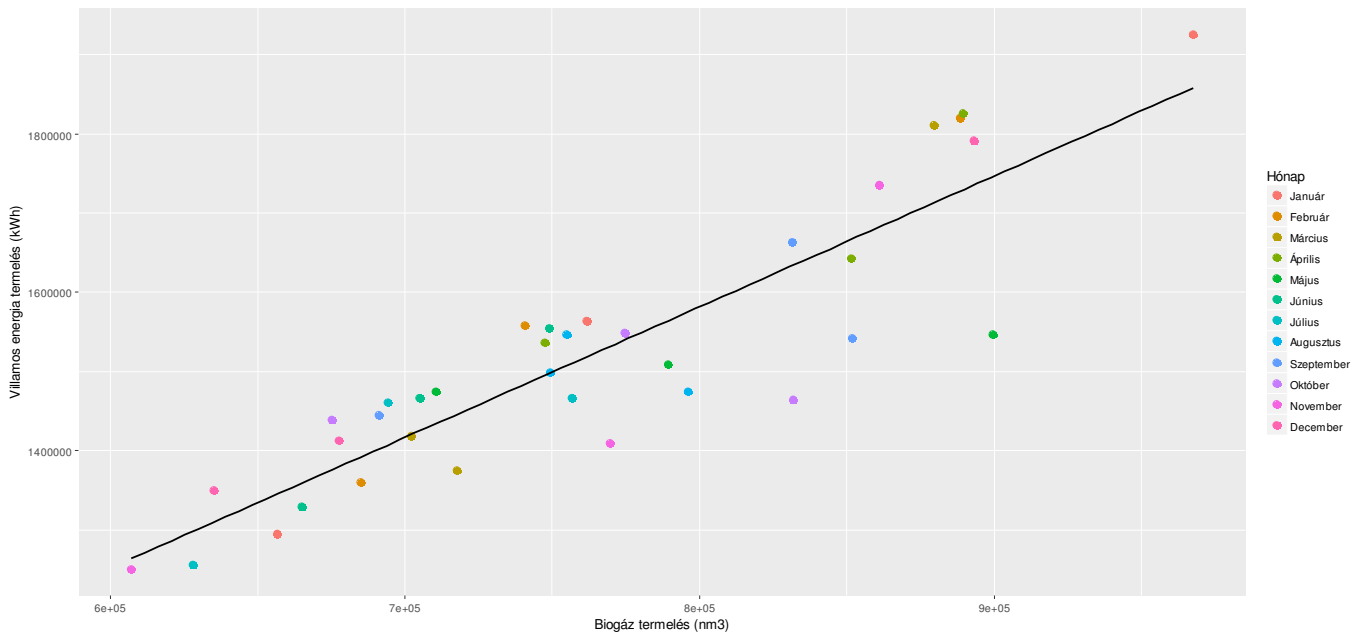
	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Hónap	11	$1.721 \cdot 10^{11}$	$1.565 \cdot 10^{10}$	0.476	0.9 ^{ns}
Maradék	24	$7.896 \cdot 10^{11}$	$3.290 \cdot 10^{10}$		
Szignifikancia jelölése: 0 '****' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 Nem szignifikáns 'ns'					

Forrás: saját szerkesztés

6. táblázat: Gáztermelés éves hatása

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Év	2	$6,198 \cdot 10^{10}$	$3,099 \cdot 10^{10}$	4,626	0,0169*
Maradék	33	$2,211 \cdot 10^{11}$	$6,699 \cdot 10^9$		
Szignifikancia jelölése: 0 '****' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 Nem szignifikáns 'ns'					

Forrás: saját szerkesztés



9. ábra: A biogáz hozam és a villamos energiatermelés összefüggése a vizsgált évek átlagában

Forrás: saját szerkesztés

KÖVETKEZTETÉSEK

Véleményem szerint a biogáz-termelés csak akkor lehet versenyképes a fosszilis energiahordozókkal szemben, ha az egész termelési folyamatot egy rendszernek tekintjük.

A rendszer előnyeit megvizsgáltam és megállapítottam, hogy a biogáz üzemekben feldolgozott alapanyagok, melléktermékek és hulladékok felhasználása pozitív hatással van a minket körülvevő környezetre.

A biogáz-termelési folyamat során a különböző ipari szektorok hulladékainak ártalmatlanítása nem csak környezetvédelmi szempontból fontos, hanem gazdasági szempontból is jelentős bevételt jelent az üzemeltetőnek.

Bízató jelek mutatják, hogy a megújuló energiák alkalmazása és integrálása az energiaellátó rendszerekbe egy gyorsulóban lévő folyamat.

Több kutató, szakember véleménye szerint 2020-ig megközelítőleg 200 biogáz üzem kerülhet kivitelezésre Magyarországon.

Megállapítottam, hogy az általam vizsgált években a Nyírbátori Regionális biogáz üzem biogáz és villamos energia termelése konstans, attól függetlenül, hogy változatos szortimenttel működik.

2016-ban a glicerín mint alapanyag felhasználása megszűnt.

Megállapítottam, hogy a vizsgált éveknek szignifikáns ($P < 0,05$) hatása volt a gáztermelésre.

Megvizsgáltam az egyes évek közötti gázkihozatalt, amely alapján a statisztikailag igazolható legkisebb szignifikáns különbség 67979,56 volt.

Regresszió-analízissel vizsgáltam a biogáz-termelés hatását a villamos energia termelés mennyiségét tekintve. A vizsgált három év átlagában szoros ($r=0,89$) volt a kapcsolat a biogáz mennyisége és a villamos energia termelés között ($P < 0,001$). Az eredmények alapján a biogáz mennyiségének alakulása 79,29%-ban befolyásolta a villamos energiatermelést.

ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy a mezőgazdasági biogáz üzemek működését a felhasznált alapanyagok fizikai szerkezete – különösen a szárazanyag-tartalom és a szervesanyag-tartalom – alapvetően befolyásolja.
2. Megállapítottam, hogy biogáz-előállítás során rendszerszerűen hőtermelés is történik. A hőtermelés mennyiségéhez és minőségéhez illeszkedő rendszer mind műszaki, mind technológiai, mind gazdasági szempontból szükséges.
3. Megállapítottam, hogy a bioreaktorok működése szempontjából a környezetvédelem, valamint a növénytermesztésből származó input anyagok és a fermentlé együttes hasznosítása elkerülhetetlen feladat.
4. Megállapítottam, hogy – az általam vizsgált években – a széles alapanyag-felhasználás miatt a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem biogáz és villamos energia termelése megbízható.
5. Az egyes évek közötti gáztermelésben a statisztikailag igazolható legkisebb szignifikáns differencia 67979,56 ($P < 0,05$) volt. Igazolható különbség nem volt 2014 és 2015 között, de 2015 és 2016, valamint 2014 és 2016 között igazolható különbséget állapítottam meg. Ennek okát az alapanyag-féleségek mennyiségi és minőségi mutatóival határoztam meg. Ez alapján megállapítottam, hogy a 2016-os év eredményeit legfőképpen a glicerínhiány indokolja.

6. Regresszió-analízissel vizsgáltam a biogáz-termelés hatását a villamos energia termelésre. A vizsgált három év átlagában szoros volt a kapcsolat ($r=0,89$) a biogáz mennyisége és a villamos energia termelés között ($P<0,001$). Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a biogáz mennyiségének alakulása 79,29%-ban befolyásolta a villamos energia termelést.

GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

1. A biogáz-üzemekben történő villamos energia termelés során keletkező, fel nem használt hőmennyiséget innovatív módon kell hasznosítani a hatékonyság érdekében. Ezek alapján javaslom egy adszorpciós hűtőberendezés alkalmazását, ami az áprilistól novemberig tartó időszakban lehetővé teszi egy olyan hűtőház hűtését, ahol nem kell $+5\text{ °C}$ foknál alacsonyabb hőmérsékletet biztosítani. Az eljárás alkalmas zöldségek és gyümölcsök megfelelő hőmérsékleten való tárolására. A fent említett időszakban a hulladékhő hasznosítását egy terményszárító üzembrész kialakításával lehet hatékonyan megoldani, amely alkalmas szálas, illetve szemes termés befogadására.
2. Kutatásban szerzett tapasztalataim alapján javaslom, hogy a bioreaktorokból kikerülő fermentlé kezelésekként fázis-leválasztást kell végezni, amely során külön válik a szilárd és a folyadék fázis. A szilárd fázist – vagyis a zagylét – 15–20%-os szervesanyag-tartalma miatt fel kell használni és vissza kell juttatni a termelési folyamat elejére hígító léként, ami csökkenti az alapanyag-költségeket. A folyadék fázist egy dekantáló berendezésen kell átfolyatni, ami további hígítás után – 1–2%-os szervesanyag-tartalommal – alkalmas üvegház vagy fóliaház mikroszórófejes tápoldatozásra. Ezen módszer segítségével egy termékből két új termék hozható létre.
3. A fermentlé hasznosítását javaslom a bioreaktorokba való visszavezetésként a szántóföldi növénytermesztésben való hasznosítás céljából. Mindehhez a közvetlen és – a szeparátorral való – közvetett hasznosítás kölcsönös rendszertani összefüggéseit kell alkalmazni.
4. Vizsgálataim alapján javaslom egy padlófűtéssel ellátott biotrágya utótároló-tér kiépítését, ahol a biotrágya 30–40% szárazanyag-tartalma 2–3 nap után 75–80%-osra növelhető, ami ezután trágyázásra felhasználható.

IRODALOM, HIVATKOZÁSOK

- Chikán A.*: 1997. Vállalatgazdaságtan. Aula Kiadó. Budapest. 616.
- de Mendiburu, F.*: 2016. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.2-4. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Gilly Zs.*: 2001. Ökológiai lábnyom. Dél-Dunántúli Kooperációs Kutatási Központ. <http://mkne.hu/pie/piekonyv3.htm>
- Hagymássy, Z.–Vántus, A.–Csatári, N.*: 2015. Mechanical analysis and investigation of the impact of climate change on crop production in different climate area. *Növénytermelés Suppl.* 64: 65–72.
- Huzsvai L.*: 2012. Statisztika gazdaságelemzők részére – Excel és R alkalmazások. Seneca Books. Debrecen. 153.
- Juhász, Cs.–Szöllősi, N.–Mézes, L.–Petis, M.–Tamás, J.*: Fertilizers and liquid digestate within agroecosystems in the region of Nyírbátor. *Növénytermelés Suppl.* 63: 315–318.
- Kruijt, B. W.–Jan-Philip, M.–Jacobs, M. J.–Cor, T.*: 2008. Kroon effects of rising atmospheric CO₂ on evapotranspiration and soil moisture: a practical approach for the Netherlands *J. Hydrol.* 349: 257–267.
- Megújuló energiapark*: 2008. energiapark – Ökológiai lábnyom. <https://megujulo-energiapark.hu/energiaforrasok/okologiai-labnyom>
- Nagy, O.–Tamás, A.–Harsányi, E.–Vántus, A.–Kith, K.*: 2015. Possibilities of reducing carbon dioxide emissions in arable crop production. *Növénytermelés Suppl.* 64: 143–146.
- Petis M.*: 2007. Biogázzal a gyakorlatban. *Bioenergia. Bioenergetikai Szaklap.* Szekszárdi Bioráma Kft. Szekszárd. 2. 2: 21–25.
- Tamás A.*: 2015. Megújuló energiák hasznosításának lehetőségei Hajdú-Bihar és Szabolcs-Szatmár-Bereg megyékben. *Agrártudományi Közlemények.* 63: 143–146.
- Tóth G.*: 2007. A Valóban Felelős Vállalat – A fenntarthatatlan fejlődésről, a vállalatok társadalmi felelősségének (CSr) eszközeiről és a mélyebb stratégiai megközelítésről. *KÖVET – Környezettudatos Vállalatirányítási Egyesület.* 108.



Nyilvántartási szám: DEENK/51/2017.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kith Károly
Neptun kód: TVR4WE
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10048200

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

1. **Kith, K.**: Mezőgazdasági biogáz üzemek Kelet-Magyarországon.
Agrártud. közl. 63, 79-81, 2015. ISSN: 1587-1282.
2. Nagy, O., Balla, Z., **Kith, K.**, Tamás, A.: A hulladékgazdálkodás szabályozásának elemei.
Debreceni Műszaki Közl. 2, 89-93, 2014. ISSN: 1587-9801.
3. **Kith, K.**, Tamás, A., Nagy, O.: Hulladékkezelési technológiák alkalmazásának összehasonlítása Hajdú-Bihar megyében.
Debreceni Műszaki Közl. 2, 104-108, 2014. ISSN: 1587-9801.
4. **Kith, K.**: A biogáz termelés jelentősége Magyarországon.
Agrártud. közl. 51, 127-129, 2013. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

5. **Kith, K.**: Carbonhidroxide and the biogas production.
Növénytermelés. 64 (Suppl.2.), 101-105, 2015. ISSN: 0546-8191.
6. Balla, Z., Csatári, N., Hagymássy, Z., Vántus, A., **Kith, K.**: The potential utilisation of a "bio-fertiliser" - produced as a by-product in a biogas plant.
Növénytermelés. 63 (Suppl.), 87-90, 2014. ISSN: 0546-8191.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12666/Novenyterm.63.2014.Suppl>

Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

7. Nagy, O., **Kith, K.**: Az éghajlatváltozás hatásai a mezőgazdaságra.
In: Az 5. Báthory-Brassai Konferencia tanulmánykötetei • Tanulmányok, publikációk és előadások az 5. Báthory-Brassai Konferencia programjából. Szerk.: Rajnai Zoltán, Fregan Beatrix, Ozsváth Judit, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, 395-399, 2014. ISBN: 9786155460388



Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

8. Csatári, N., **Kith, K.**, Vántus, A.: Interaction of animal breeding and crop production via biogas.
Növénytermelés. 64 (Suppl.), 151-154, 2015. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

9. **Kith, K.**, Nagy, O., Balla, Z., Tamás, A.: Biogas - the calculable energy.
Geophys. Res. Abstr. 17, [1], 2015. ISSN: 1607-7962.

További közlemények

Magyar nyelvű közlemények hazai folyóiratban (1)

10. Vántus, A., Hagymássy, Z., Balla, Z., Csatári, N., **Kith, K.**: A műszaki színvonal hatása a termék-előállítás eredményességére.
Taylor. 7, 192-199, 2015. ISSN: 2064-4361.

Magyar nyelvű konferencia közlemények (3)

11. Vántus, A., Hagymássy, Z., Csatári, N., Nagy, O., **Kith, K.**: A termelés tárgyi tényezőinek hatása az eredményességre.
In: Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban : konferencia előadásai [elektronikus dokumentum]. Szerk.: Pokorádi László, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 313-318, 2014, (Műszaki füzetek ; 14) ISBN: 9789635087525
12. Csatári, N., Balla, Z., Hagymássy, Z., Nagy, O., Vántus, A., **Kith, K.**: Mezőgazdasági biogáz üzemek technológiai összehasonlítása.
In: Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban : konferencia előadásai [elektronikus dokumentum]. Szerk.: Pokorádi László, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 91-96, 2014, (Műszaki füzetek ; 14.) ISBN: 9789635087525
13. Hagymássy, Z., Vántus, A., Csatári, N., **Kith, K.**, Balla, Z., Battáné Gindert, K. Á.: Napelemes villamos energiatermelés tapasztalatai.
In: Műszaki Tudomány Az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2014 [elektronikus dokumentum]. Szerk.: Pokorádi László, MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, Debrecen, 97-101, 2014, (Műszaki füzetek ; 14) ISBN: 9789635087525



Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

14. Nagy, O., Tamás, A., Harsányi, E., Vántus, A., **Kith, K.**: Possibilities of reducing carbon dioxide emissions in arable crop production.
Növénytermelés. 64 (Suppl.), 143-146, 2015. ISSN: 0546-8191.
15. Vántus, A., Hagymássy, Z., Csatári, N., **Kith, K.**, Nagy, O.: Results of infrastructure development in dairy.
Növénytermelés. 64 (Suppl.), 213-216, 2015. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (4)

16. Balla, Z., **Kith, K.**, Tamás, A., Nagy, O.: Renewable energy from biomass: a sustainable option?: Hydrogen production from alcohols.
Geophys. Res. Abstr. 17, [1], 2015. ISSN: 1029-7006.
17. Tamás, A., Nagy, O., Balla, Z., **Kith, K.**: Resource efficiency and its necessity.
Geophys. Res. Abstr. 17 (9096), [1], 2015. ISSN: 1607-7962.
18. Balla, Z., Csatári, N., **Kith, K.**, Nagy, O.: Use of corn (*Zea mays* L.) hybrids to product bioethanol. In: 22nd European Biomass Conference and Exhibition / [ed. by ETA-Florence Renewable Energies], ETA-Florence Renewable Energies, Florence, 126, 2014.
19. Kovács, G., Balla, Z., **Kith, K.**, Csatári, N., Heil, B.: Nutrient status examinations in short rotation coppice.
Növénytermelés. 62 (Suppl.), 83-86, 2013. ISSN: 0546-8191.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12666/Novenyterm.62.2013.suppl>

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2017.03.08.

