

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Fuchsz Máté

Gödöllő
2016.

1 A munka előzményei, a kitűzött célok

A biogáztermelés az igen változatos és jól tárolható alapanyag bázisa miatt az egyik olyan megújuló energiaforrás, ami a külső környezeti elemektől (nap, szél) függetlenül képes akár zsinóráram vagy földgázminőségű biometán termelésére. A biogáztermelő beruházások nagy költségintenzitásuk (kivitelezés és üzemeltetés) miatt környezetpolitikai ösztönzők, támogatások nélkül nem minden esetben életképesek. Magyarországon a biogázból termelt villamos energia alacsony kötelező átvételi ára miatt a biogáztermelés nem terjedt el széles körben.

Az Európai Unióban 2011-ben 35856,4 GWh villamos energiát termeltek biogázból (EurObserv'ER, 2012), Magyarországon a mezőgazdasági biogázüzemek csak 92 GWh villamos energiát állítottak elő úgy, hogy 2010-hez képest több mint 70%-os volt a növekedés (Magyar Energia Hivatal, 2012) – 2012-ben további növekedés volt várható az üzemek termelésének felfutása miatt. A biogázüzemek 2011-ben a teljes hazai villamosenergiafogyasztás csupán 0,25%-át adták (Központi Statisztikai Hivatal, 2016; Magyar Energia Hivatal, 2012), ezzel szemben Németországban már több, mint 3%-ot (EurObserv'ER, 2012). Ebből is jól látszik, hogy a hazai megújuló energiatermelés, a biogáz-felhasználással egyetemben elmarad a nyugat-európai trendektől. Magyarországon számos biogázüzem valamilyen mezőgazdasági melléktermék feldolgozására épült, így az európai trendekkel ellentétben nem csak termelt energianövényeket használnak fel, így valamelyest kiegyensúlyozottabb alapanyag-felhasználási mód valósult meg magasabb hulladékhasznosítással. Véleményem szerint ez társadalmi szempontból előnyösebb (alacsony támogatás a villamos energia árában) a pusztán energianövény alapú villamosenergia-termeléshez képest.

A megújuló energiaforrások társadalmi elfogadottságának növelése és használatának elterjesztése érdekében sokszor hangoztatott előny a környezetre gyakorolt negatív hatások hiánya. A doktori értekezés egyik fő célja egy

objektív alapokon nyugvó, számszerűsített, a környezetre gyakorolt hatások kiszámítását lehetővé tevő moduláris felépítésű biogáz üzemi modellrendszer kialakítása volt. A modern életciklus-elemző szoftverek és adatbázisok használatával végrehajtott környezeti hatásértékelési számítások, eredmények segítségével lehetségessé válik a különböző, leginkább mezőgazdasági eredetű alapanyagokra épülő biogáztermelő kapacitások környezeti hatásainak más villamosenergia-termelő erőművekhez vagy a földgáztermeléshez képest történő összehasonlítása. Ezen környezeti hatások aggregált és súlyozott mutatószámai alapján már eldönthető, hogy a környezetpolitikai célok mentén érdemes-e a biogáztermelést és hasznosítást támogatni, ha igen, akkor annak mely típusai okozzák a lehető legkisebb környezetterhelést.

A környezetterhelés csökkentése számos esetben kiadással jár. Az olcsó fosszilis energiahordozók biogázzal való részbeni helyettesítése technikailag lehetséges, a kérdés inkább az, milyen áron? Elsősorban erre a felvetésre ad választ a doktori munka. Vizsgálni kívántam a különböző alapanyag-bázisú (energianövény és mezőgazdasági melléktermékek) biometán-termelés költségvonzatait, figyelembe véve a különböző termelési mérettartományok által okozott költségbefolyásoló hatásokat is. Az olyan fontos tényezők végtermékárat meghatározó hatásaira is választ kívántam adni, mint a vissza nem térítendő beruházási támogatások vagy a biogáztermelésben használt alapanyagok különböző árai. Ezen felül a kapott adatok összesítésével egy lehetséges biometán átvételi árrendszert is kialakítottam, ami iránymutató lehet arra vonatkozóan, hogy milyen áron lehet a mai hazai körülmények között gazdaságosan biometánt előállítani, ill. ez milyen végfelhasználói árváltozással járhat.

2 Anyag és módszer

Munkámban a biogáztermelést, azon belül is a földgázminőségre tisztított biometán termelését magyarországi körülmények között vizsgáltam. Ennek érdekében hazai biogázfermői beruházások kivitelezési és üzemeltetési adatai kerültek felhasználásra (Első Magyar Biogáz Kft., 2013) számos saját adatgyűjtést követően. Az FGSZ Zrt. földgáz hálózati adataink felhasználásával (FGSZ Zrt., 2015) meghatározásra került a lehetséges biogáztisztító kapacitások nagysága.

Munkám során vizsgáltam az egyes mezőgazdasági alapanyag alapú biometántermelés gazdaságossági és környezeti hatásait is, így többféle méretet és alapanyagbázist is modelleztem. Az egyes modellüzemek közötti legfőbb különbség a felhasznált alapanyag összetételében van: kizárólag energianövényt, trágya és energianövény keverékét hasznosító üzemek kivitelezési és üzemeltetési adatai kerültek összehasonlításra. A trágya a teljes energiatermelésben 10, 20 és 30%-ban vesz részt.

A gazdaságossági számítások egyik meghatározó eleme a beruházási költség. A biogázüzemek kivitelezési költségeinek meghatározásával a beépítendő részegységek anyagáramait is megkaptam. Az üzemeltetési költségbecsléshez alapul szolgáló anyag- és energiaáramok az életciklus-elemzésekben is felhasználható. A környezeti hatásvizsgálathoz a GaBi 6.0 életciklus-elemző szoftvert használtam az ecoinvent 3.0 adatbázissal. A gazdaságossági számításokhoz a Microsoft Excel táblázatkezelő szoftvert alkalmaztam, melyben 48 biogázüzemi alapváltozat 192 lehetséges üzemeltetési scenárióját modelleztem.

A kapott eredmények alapján kialakítottam egy az óránként tisztított biogáz mennyiségétől függő betáplálási kötelező átvételi árrendszert beruházási

támogatással vagy a nélkül. Az átvételi árak visszahelyettesítésével kiszámoltam a 48 különböző biometántermelő üzem gazdaságossági mutatóit (pl. NPV), melyek alapján következtetéseket lehet levonni a támogatási rendszerek hatékonyságáról.

3 Az eredmények

Tézis 1: A biogázüzemek méretnövekedésével a biometán-termelés energetikai hatásfoka növekszik, így 1 MJ biometán előállításához kevesebb energiára van szükség, függetlenül a fermentációban felhasznált alapanyagok összetételétől.

Az életciklus-elemzés eredményeképpen elmondható, hogy a biometán előállítása során 1 MJ földgáz minőségű biometán előállításához mindösszesen 1,266-1,353 MJ nyers biogázt kell felhasználni, átlagosan 1,295 MJ-t.

1. táblázat A biometán-termelés energiafelhasználása 1 MJ biometán előállításához (MJ/MJ)

	Energiafelhasználás biometán-termelés (TJ)	Energiatartalom biometán (TJ - 20 év)	Energiafelhasználás 1 MJ biometán termelésére (MJ/MJ)
BGA300 0%	1.118	881	1,269
BGA300 10%	1.187	889	1,335
BGA300 20%	1.192	895	1,332
BGA300 30%	1.220	902	1,353
BGA400 0%	1.512	1.175	1,287
BGA400 10%	1.531	1.184	1,293
BGA400 20%	1.538	1.193	1,289
BGA400 30%	1.581	1.202	1,315
BGA500 0%	1.874	1.469	1,276
BGA500 10%	1.874	1.481	1,266
BGA500 20%	1.940	1.492	1,301
BGA500 30%	1.986	1.503	1,322
BGA750 0%	2.806	2.203	1,273
BGA750 10%	2.844	2.221	1,281
BGA750 20%	2.832	2.237	1,266
BGA750 30%	2.869	2.254	1,273

A biogázüzemek átlagos energiafelhasználása a megtermelt nyers biogáz energiatartalmára vetítve 28,41%. A legnagyobb átlagos energiafelhasználással a legkisebb biogáz üzem rendelkezik 30,9%-kal, míg a legkisebb értékkel a

legnagyobb, 750 Nm³/h kapacitású modellüzemek működnek 26,29%-os értékkel. Az átlagos energiafelhasználás az üzemméret növekedésével (a 300 és 750 Nm³/h gáztisztító kapacitások esetén) 15%-kal csökkent.

A biogázüzemekben feldolgozott alapanyagok összetételétől függően elmondható, hogy a négy vizsgált üzemméret közül egy kivételével minden esetben a növekvő mezőgazdasági hulladékmennyiséggel a teljes energiafelhasználása is növekedett. Ez a növekedés a kis energiasűrűségű trágya feldolgozására vezethető vissza, ami magasabb villamos- és hőenergia (biogáz, mint fűtőanyag) fogyasztást eredményezett azonos biogáztermelés mellett. Energetikai szempontból az energianövény-feldolgozás hatékonyabb, mint a trágya és energianövény keverék feldolgozása.

Tézis 2: A biometán-termelés globális felmelegedési potenciálja GWP₁₀₀ CO₂ egyenérték (CML2001 - Apr. 2015) g/MJ_{Hs}-ben kifejezve alacsonyabb környezetterhelést jelent, mint a földgáz esetében.

A földgáz esetében a szakirodalom nagyon tág tartományban, 56-114 g CO₂ eq/MJ_{Hs} adja meg a földgázkitermelés ökológiai lábnyomát (Burnham et al., 2012; Howarth et al., 2011; Hultman et al., 2011; Jiang et al., 2011; Stamford and Azapagic, 2014; Stephenson et al., 2011; Weber and Clavin, 2012).

A biometán-termelés szén-dioxid kibocsátása -20,78 – 68,16 g CO₂ eq/MJ_{Hs}. A feldolgozott alapanyagokon belül a trágya mennyiségének növekedésével az egységnyi megtermelt energiatartalomra vetített CO₂ eq mennyisége csökken. Az eredmények alapján ki lehet jelenteni, hogy az állati trágyák használatával jobb környezeti hatás érhető el, mintha csak energianövényekből termelnénk biometánt.

Ha figyelembe vesszük a földgáz égetése során a környezetbe jutó CO₂ mennyiségét is – 54,16 g/MJ (saját számítás) –, akkor az jól mutatja, hogy a

biometán-termelés a legtöbb esetben környezeti szempontból jobb energiatermelési mód a földgázzal szemben.

2. táblázat A biometán-termelés globális felmelegedési potenciálja, $GWP_{100} CO_2$ egyenértéke (CML2001 - Apr. 2015) g/MJ_{HS} -ben kifejezve

Üzemméret	$GWP_{100} CO_2$ egyenérték g/MJ_{HS}
BGA300 0%	26,37
BGA300 10%	27,34
BGA300 20%	23,23
BGA300 30%	19,63
BGA400 0%	37,25
BGA400 10%	32,53
BGA400 20%	26,54
BGA400 30%	-20,78
BGA500 0%	45,58
BGA500 10%	36,80
BGA500 20%	35,07
BGA500 30%	30,88
BGA750 0%	68,16
BGA750 10%	59,22
BGA750 20%	46,13
BGA750 30%	37,75

Az LCA eredményei alapján elmondható, hogy a biometán előállítása a hazai kitermelésű földgázzal szemben is jobb környezeti hatásokkal rendelkezik.

A biometán trágyából történő előállítása CO_2 egyenértékben kifejezve kisebb környezetterheléssel jár, mint az energianövényből történő biogáz-termelés, így a mezőgazdasági és egyéb eredetű hulladékok felhasználását biogáz-előállításra ezen paraméter alapján érdemes támogatni.

Tézis 3: A biometán-termelés savasodási potenciál és eutrofizációs potenciál környezeti hatásparaméterei a mezőgazdasági melléktermékek feldolgozása esetén alacsonyabb értéket mutat, mint energianövények fermentálása esetén.

A savasodási potenciál esetében az állati trágyát is feldolgozó biogázüzemek eredményeznek magasabb környezetterhelési értékeket. Ez arra

vezethető vissza, hogy habár a növénytermesztésnek, azon belül is a diesel üzemanyag felhasználásából adódóan, nagyon magasak a kén-dioxid egyenértékben kimutatható kibocsátásai, addig a nagyobb mennyiségű állati trágya feldolgozása és az abból származó lebontási maradék kijuttatása során az egyes levegőbe jutott káros anyagok (3. táblázat) összesített savasodási potenciálja még nagyobb.

3. táblázat A biometán-termelés savasodási potenciálja és eutrofizációs potenciálja

Üzemméret	SO₂-ekvivalens g/MJ_{Hs}	PO₄-ekvivalens g/MJ_{Hs}
BGA300 0%	0,144	0,096
BGA300 10%	0,417	0,171
BGA300 20%	0,432	0,174
BGA300 30%	0,564	0,207
BGA400 0%	0,148	0,101
BGA400 10%	0,289	0,133
BGA400 20%	0,425	0,161
BGA400 30%	0,423	0,155
BGA500 0%	0,147	0,099
BGA500 10%	0,306	0,130
BGA500 20%	0,416	0,163
BGA500 30%	0,517	0,190
BGA750 0%	0,148	0,098
BGA750 10%	0,293	0,131
BGA750 20%	0,391	0,148
BGA750 30%	0,524	0,179

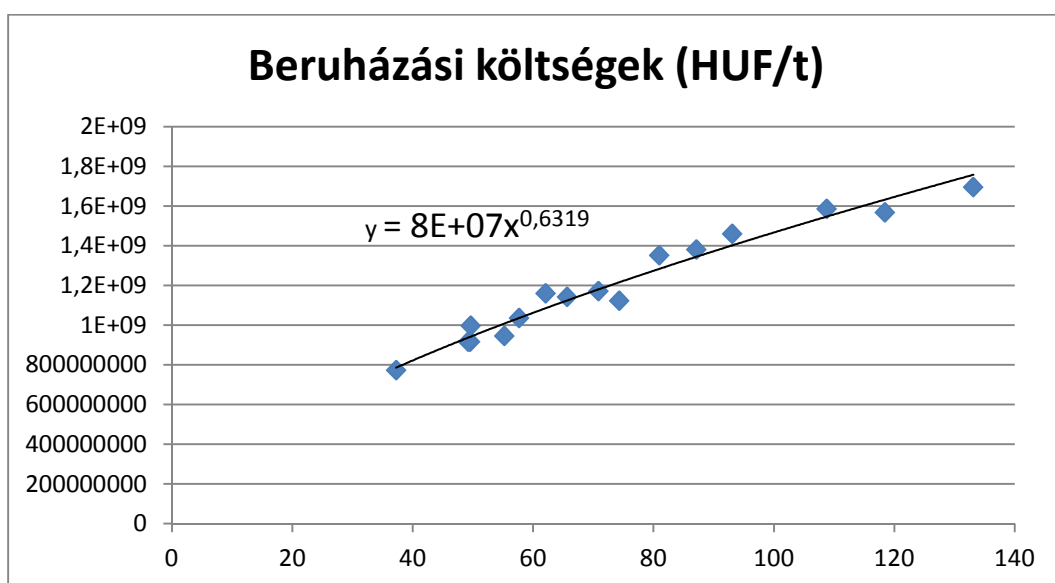
Az eutrofizációs potenciál a növénytermesztés esetén mutat alacsonyabb értéket. Ez a trágyák nitrogén tartalma miatt okozott nagyobb környezetterhelésre vezethető vissza. A magasabb energiatartalmú energianövény-hasznosítás kisebb lebontási maradék kijuttatást jelent, így csökkentve az eutrofizációs potenciál értékeit a trágyát is feldolgozó biogáz üzemekhez képest.

A savasodási potenciál és eutrofizációs potenciál esetén is elmondható, hogy a trágyát is feldolgozó biogázüzemek 1 MJ megtermelt

energiamennyiségére vetített környezeti hatás rosszabb, mint a csak energianövényt feldolgozó biogázüzemek esetében.

Tézis 4: A biogázüzemekben feldolgozásra kerülő alapanyagok napi mennyisége és a beruházási költség között összefüggés van, ami alapján egy képlettel becsülni lehet a beruházási költségek nagyságát.

Kellően nagyszámú modell biogázüzem beruházási költségeinek ismeretében egy képletet lehet kialakítani, amivel a beruházási költségek becsülhetők meg. A napi felhasznált alapanyag-mennyiség tonnában kifejezett értéke és a beruházási költség között összefüggés van (1. ábra).



1. ábra A napi feldolgozott alapanyag-mennyiség (t) és a beruházási költség (HUF) közötti összefüggés

Amennyiben a napi feldolgozott alapanyag mennyiségén belül 30%-nál nem több az állati trágya mennyisége és a napi minimális feldolgozott anyagmennyiség nem kevesebb, mint 37 t, úgy az 1. egyenletben szereplő képlettel meg lehet becsülni a biometántermelő üzem beruházási költségét a napi feldolgozott alapanyag mennyiségéből („x” a t-ban megadott napi alapanyag-mennyiség).

$$y = (8 * 10^7) * x^{0,6319}$$

1. egyenlet **Biometántermelő üzemek várható beruházási költségét (HUF) mutató egyenlet a napi feldolgozott alapanyag mennyiség (t) függvényében**

Tézis 5: A modell biogázüzemek gazdaságossági vizsgálatának eredményeképpen létrehoztam egy lehetséges biometán átvételi árrendszert, mely a biometán-termelés méretétől függő átvételi árakat határoz meg.

A gazdaságossági számítások során 16 különböző méretű és alapanyag összetételű biogázüzem biometán termelésének a mutatóit vizsgáltam. Mindösszesen 192 lehetséges megvalósulás gazdaságossági számítását végeztem el. A legfontosabb paraméterek, melyeket az egyes számítások során módosítottam, a leszámítolási kamatláb nagysága, a feldolgozott alapanyagok beszerzési ára és beruházási vissza nem térítendő támogatás igénybevétele. Ennek eredményeképpen négy különböző biometán termelő kapacitásra és támogatással vagy a nélkül megvalósított beruházásokra tudtam kialakítani egy kötelező biometán átvételi árrendszert.

Az általam létrehozott átvételi árrendszer abban különbözik a biogázból termelt villamos energia kötelező átvételi rendszerétől, hogy nem egy árat nevez meg, ami a nagyobb üzemméret felé tolja el a beruházásokat, hanem ösztönzi a kisebb termelő kapacitásokat is a mérettől függő átvételi árak miatt.

4. táblázat **Átlagos önköltségi árak különböző biogáztisztító kapacitás esetén beruházási támogatás nélkül**

Kapacitás Nm³/h	4,91% IRR	8,78% IRR	Alapár HUF/MJ	Méretbónusz HUF/MJ	Átlagár HUF/MJ
0-300	4,733	4,481	3,777	0,830	4,607
301-400	4,435	4,205	3,777	0,543	4,320
401-500	4,238	4,026	3,777	0,355	4,132
501-750	3,866	3,689	3,777	0,000	3,777

A 4. táblázat egy a gazdaságossági számítások önköltségi árai alapján számított lehetséges kötelező átvételi árrendszerstruktúrát mutat be, vissza nem térítendő beruházási támogatás nélkül.

5. táblázat **Átlagos önköltségi árak különböző biogáztisztító kapacitás esetén
beruházási támogatással**

Kapacitás Nm³/h	4,64% IRR	8,78% IRR	Alapár HUF/MJ	Méretbónusz HUF/MJ	Átlagár HUF/MJ
0-300	4,053	3,913	3,333	0,650	3,983
301-400	3,810	3,684	3,333	0,414	3,747
401-500	3,661	3,545	3,333	0,270	3,603
501-750	3,382	3,285	3,333	0,000	3,333

A 5. táblázat egy a gazdaságossági számítások önköltségi árai alapján számított lehetséges kötelező átvételi árrendszerstruktúrát mutat be, vissza nem térítendő beruházási támogatással megvalósult biogázüzemek esetén. A kétféle betáplálási ár közötti különbség nem számottevően nagy (13,3%-15,6%), annak ellenére, hogy 50%-os beruházási támogatással számoltam. Ez alapján elmondható, hogy egy vissza nem térítendő beruházási támogatást biztosító szabályozási környezet létjogosultsága kérdéses.

A 4. táblázat átvételi árait felhasználva a gazdaságossági számítások megismétlésével a 6. táblázatban szereplő megtérülési mutatók (IRR) jöttek ki.

Az eredmények jól mutatják, hogy az általam javasolt átvételi árrendszerben megvalósuló beruházások csak az alacsonyabb, termelt energianövény-ár mellett tudnak gazdaságosan üzemelni. Annak elkerülése érdekében, hogy a csak energianövényt felhasználó biogázüzemek terjedjenek el, javaslom egy olyan rendszer kialakítását, ami legalább 10%-ban mezőgazdasági melléktermék-felhasználást ír elő.

6. táblázat A biometán-termelés belső megtérülési rátája (IRR) vissza nem térítendő támogatás nélküli esetben

Üzemméret	Alapanyag ár (HUF/t)	Trágya részarány teljes energiatermelésen belül (%)			
		0%	10%	20%	30%
300 Nm ³ /h	10.000	-6,32%	-7,72%	-2,16%	0,80%
	7.500	7,89%	3,93%	7,15%	8,52%
	5.000	20,51%	13,69%	15,80%	15,95%
400 Nm ³ /h	10.000	-12,99%	-6,44%	-2,84%	0,48%
	7.500	4,25%	6,62%	7,32%	8,87%
	5.000	17,35%	18,04%	16,66%	16,91%
500 Nm ³ /h	10.000	-15,93%	-5,23%	-5,06%	-0,95%
	7.500	3,91%	9,34%	6,08%	8,07%
	5.000	18,06%	22,57%	15,95%	16,59%
750 Nm ³ /h	10.000	0,00%	-15,38%	-4,25%	0,04%
	7.500	2,06%	4,14%	9,64%	10,93%
	5.000	18,98%	18,24%	22,40%	21,42%

Tézis 6: Piaci körülmények között, vissza nem térítendő beruházási támogatás igénybevétele nélkül lehetséges 5 HUF/MJ_{HS} önköltségi áron biometánt előállítani.

2014-ben Klinski a 200-700 Nm³/h biogáztisztító-kapacitás esetén 7,8-8,9 cent/kWh önköltségi biometán árat határozott meg. Ez 6,71-7,66 HUF/MJ_{HS} költséget jelentene. Az olcsó mezőgazdasági melléktermékek (trágya) feldolgozása miatt legalább 20%-os költségcsökkenést vártam. A számításokat kétféle leszámítolási kamatlábbal készítettem el, az egyik a WACC (Weighted Average Cost of Capital) elvét követve piaci kamatok figyelembevételével 4,91%, míg a másik a 74/2009. (XII. 7.) KHEM rendelet 4. melléklet 1.1.4.1. pontja szerinti reál hozamfényező, 8,78%.

A számítások eredményeit a 7. táblázat és a 8. táblázat mutatja.

7. táblázat A biometán-termelés önköltségi ára (HUF/MJ_{HS}) vissza nem térítendő támogatás nélkül 4,91%-os WACC esetén

Üzemméret	Alapanyag ár (HUF/t)	Trágya részarány teljes energiatermelésen belül (%)			
		0%	10%	20%	30%
300 Nm ³ /h	10.000	5,168	5,333	5,045	4,877
	7.500	4,437	4,671	4,458	4,359
	5.000	3,706	4,010	3,870	3,842
400 Nm ³ /h	10.000	5,087	4,882	4,759	4,586
	7.500	4,356	4,224	4,172	4,070
	5.000	3,625	3,565	3,585	3,554
500 Nm ³ /h	10.000	4,913	4,573	4,652	4,460
	7.500	4,182	3,914	4,064	3,944
	5.000	3,451	3,255	3,477	3,428
750 Nm ³ /h	10.000	4,626	4,471	4,149	4,000
	7.500	3,895	3,812	3,563	3,484
	5.000	3,164	3,153	2,976	2,968

8. táblázat A biometán-termelés önköltségi ára (HUF/MJ_{HS}) vissza nem térítendő támogatás nélkül 8,78%-os WACC esetén

Üzemméret	Alapanyag ár (HUF/t)	Trágya részarány teljes energiatermelésen belül (%)			
		0%	10%	20%	30%
300 Nm ³ /h	10.000	5,389	5,594	5,304	5,142
	7.500	4,658	4,932	4,717	4,625
	5.000	3,927	4,271	4,129	4,108
400 Nm ³ /h	10.000	5,301	5,103	4,999	4,831
	7.500	4,570	4,444	4,411	4,315
	5.000	3,839	3,785	3,824	3,798
500 Nm ³ /h	10.000	5,111	4,763	4,878	4,690
	7.500	4,380	4,104	4,291	4,175
	5.000	3,649	3,445	3,704	3,659
750 Nm ³ /h	10.000	4,793	4,650	4,324	4,187
	7.500	4,062	3,991	3,738	3,671
	5.000	3,331	3,332	3,151	3,155

Örvendetes látni, hogy a legtöbb esetben hazai körülmények között megvalósítható, hogy támogatás nélkül, köszönhetően az olcsó mezőgazdasági

melléktermékeknek, jóval a külföldi szakirodalmakban feltüntetett önköltségi ár mellett lehet biometánt előállítani.

Tézis 7: Kiszámítottam, hogy a teljes lakossági földgázfogyasztás 5%-nak biometánnal történő kiváltása esetén milyen mértékű árnövekedésre lehet számítani.

További számításokat készítettem arra vonatkozóan, hogy milyen társadalmi terheket jelentene a különböző biometán önköltségi ár 5%-os kötelező bekeverési részarány esetén, a teljes lakossági földgázfogyasztásra vonatkoztatva. A MEKH statisztikai adatai alapján a teljes lakossági földgázfogyasztás 2014-ben 62.979.192,53 GJ energia volt, kb. 1,799 milliárd m³ (Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, 2015b). 1,696 HUF/MJ földgáz ár és 5%-os biometán részarány esetén a legnagyobb biogáztisztító kapacitás biometán önköltségi árával számolva, vissza nem térítendő beruházási támogatásban részesült biogázüzemekben termelt biometán (3,333 HUF/MJ) bekeverése esetében a lakossági földgáz ára 4,83%-kal, 1,778 HUF/MJ értékre nő (9. táblázat). Ugyanezen üzemméret, támogatás nélküli árával számolva a lakossági földgáz ára 6,14%-kal 1,800 HUF/MJ-ra növekedne. 10%-os bekeverési részarány esetén az árváltozás nagysága %-ban kifejezve kétszeres.

9. táblázat A lakossági földgázár alakulása a gazdaságossági vizsgálatokban kiszámított különböző biometán árak és 5%-os bekeverési részarány esetén

	Ár (HUF/MJ)	Ár (HUF/MJ)
Biometán	3,333	3,777
Földgáz	1,696	1,696
Földgáz átlagár (Ft/MJ)	1,77785	1,80005
Különbség (Ft/MJ)	0,08185	0,10405
Különbség (%)	4,83%	6,14%

Meg kell említeni, hogy a jelenleg érvényes jogszabályok alapján csak az USD/HUF váltási árfolyamának változásából adódóan is lehet 5-10%-os változás a lakossági földgázárban (Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási

Hivatal, 2015a), a negyedéves ármeghatározás miatt. A fűtőolaj és gázolaj árából (U.S. Energy Information Administration, 2015a, 2015b), ill. a negyedéves import földgázár meghatározó képlet alapján 2015 szeptemberében 260 HUF/USD árfolyam esetén 2,668 HUF/MJ, 280 HUF/USD árfolyamon viszont már 2,873 HUF/MJ import földgázarat kapunk. Ez a jogszabályban meghatározott 2,28272 HUF/MJ import földgázárhoz képest már 17 ill. 26%-os növekedést mutat.

Ha a legnagyobb, 750 Nm³/h biometán termelő kapacitású biogáz üzemeket vesszük figyelembe, akkor több mint 16 üzem lenne képes fedezni a lakossági földgázfogyasztás 5%-át.

4 Következtetések és a javaslatok

A doktori munkámban olyan biogázüzemi modelleket állítottam össze, melyek a földgázelosztó-hálózat technikai paramétereinek figyelembevételével gazdaságossági szempontból vizsgálhatóak a 300-750 Nm³/h betáplálási mérettartományban. Az egyes modellüzemek közötti legfőbb különbség a felhasznált alapanyag összetételében van: kizárólag energianövényt, trágya és energianövény keverékét hasznosító üzemek kivitelezési és üzemeltetési adatai kerülnek összehasonlításra.

A rendelkezésemre álló üzemeltetési adatokból extrapolációval külön kiszámításra került az egyes vizsgált kiserőművek teljes villamos energia önfogyasztásának nagysága. A kalkulált villamosenergia-fogyasztás a 6,93 – 9,31%-os értékeivel a Németországban vizsgált üzemek adataival mutat hasonlóságot (Gemmecke, 2009). Az egyre növekvő hulladék (trágya) felhasználás az egyes üzemek saját villamos energia fogyasztását egyre nagyobb mértékben növeli – ugyanazon biometán termelő kapacitás esetén 300 Nm³/h biogáztisztítási kapacitással számolva a 30%-ban trágyát hasznosító üzem 27%-kal több villamos energiamennyiséget használ fel, mint a csak energianövényes üzem. Ez rámutat arra, hogy a fogyasztás sokkal inkább attól függ, hogy milyen alapanyagokból kerül előállításra a biogáz. A legnagyobb, 750 Nm³/h biogáztisztítási kapacitású üzemek voltak villamosenergia-fogyasztás szempontjából a leghatékonyabbak. Ezen paraméter alapján **érdemes a nagyobb gáztisztító üzemek kialakítását előnyben részesíteni.**

A különböző alapanyagbázisra épülő biogázüzemek környezeti hasznosságára vonatkozóan csak a CO₂ mérleg alapján nem lehet messzemenő következtetéseket levonni.

A teljes nyers biogáz energiamennyiségének 25,56–33,67%-a szükséges ahhoz, hogy a földgázhálózatba betáplálható biometánt megtermelhessük. A legkisebb fajlagos energiafelhasználással a csak energianövényeket feldolgozó biogázüzemek rendelkeznek. Ezt a kevesebb, éves szinten megmozgatott alapanyag-mennyiség miatt, ill. a kisebb fermentor méretek és az ezek által biztosított alacsonyabb villamosenergia-fogyasztás és a fűtésre használt kevesebb biogázmennyiség okozza. Érdemes megjegyezni, hogy a 400 Nm³/h tisztítási kapacitástól kezdődően az energiafelhasználás csökken.

1 MJ biometán előállításához 1,266-1,353 MJ nyers biogázt kellett felhasználni. Az eredmények jól mutatják, hogy a kisebb energiasűrűségű alapanyagot (állati trágyát) feldolgozó üzemek energetikai szempontból nézve rosszabb határfokot dolgoznak. Ezt a hátrányt a nagyobb méretű gáztisztító kapacitással rendelkező üzemek valamelyest képesek kompenzálni, de kimagaslóan jobb értékeket nem érnek el.

A biometán-termelés alacsony szén-dioxid-kibocsátással rendelkezik, melynek nagysága -20,78 – 68,16 g CO₂ eq/MJ_{Hs}. A földgáz esetében a szakirodalom nagyon tág tartományban, 56-114 g CO₂ eq/MJ_{Hs} adja meg a földgáztermelés ökológiai lábnyomát (Burnham et al., 2012; Howarth et al., 2011; Hultman et al., 2011; Jiang et al., 2011; Stamford and Azapagic, 2014; Stephenson et al., 2011; Weber and Clavin, 2012). Ezen adat ismerete alapján elmondható, hogy a lokálisan előállított biometán 1 MJ energiatartalma környezetkímélőbb, mint a földgáz használata.

A mindösszesen 6 környezeti hatásparaméter vizsgálata esetén számszerűen kimutatható volt, hogy a globális felmelegedési potenciál (GWP₁₀₀ CO₂ egyenérték) kivételével az állati trágyát feldolgozó biogázüzemek környezeti hatásai rosszabbak, a csak és kizárólag energianövényeket feldolgozó biogázüzemekkel összehasonlítva.

Érdemes megemlíteni, hogy minden egyes alapanyagbázis esetén a lebontási maradék szántóföldi kijuttatásakor a környezetbe kerülő emissziók miatt lettek az állati trágyát hasznosító üzemek károsabbak.

A gazdaságossági számításokban cashflow alapon történt a nettó jelenérték kiszámítása úgy, hogy a számított biometán átvételi ár alkalmazásával a beruházás NPV értéke 0 HUF-ra jöjjön ki.

A vizsgált beruházási lehetőségek közül minden esetben az alapanyag beszerzési ára határozza meg, hogy a megtermelt biometán mekkora költséggel állítható elő. Abban az esetben, ha az energianövény 10 000 HUF/t költséggel kerül felszámításra és a megvalósítás vissza nem térítendő beruházási támogatással valósul meg, a nagyobb beruházási költség ellenére a mezőgazdasági hulladékokat feldolgozó biogázüzemben termelt biometán önköltségi ára alacsonyabb, mint a csak energianövényt feldolgozó biogázüzem esetében. Ha az energianövény ára 5000 HUF/t értékre csökken, akkor a csak energianövényeket feldolgozó üzemek biometán önköltségi ára minimálisan lesz magasabb a trágyát is feldolgozó üzemek árával szemben. Ez elsősorban azzal magyarázható, hogy a legnagyobb éves változó költséget az alapanyagok jelentik. Ugyanazon gáztermelő kapacitáshoz viszont magasabb beruházási és üzemeltetési (villamosenergia-költségek, gépek amortizációja és karbantartási költsége) költségek kapcsolódnak a növekvő trágyamennyiséggel. Így a kétféle alapanyag-bázisú üzem között nagy mértékben csökken a végtermék önköltségi ára közötti különbség.

A gazdaságossági számítások eredményeképpen létrehoztam egy lehetséges biometán átvételi ár rendszert, amennyiben a beruházások támogatással vagy a nélkül valósulnának meg (4. táblázat és 5. táblázat). A kétféle betáplálási ár közötti különbség nem számottevően nagy (13,3% - 15,6%), így a vissza nem térítendő beruházási támogatásos rendszer létjogosultsága kérdéses.

A 7. táblázat és a 8. táblázat adatai alapján elmondható, hogy az általam javasolt biometán kötelező átvételi árak alkalmazása a magas, természetett energianövény-árak mellett nem megtérülő beruházásokat eredményeznének. A nagyon alacsony energianövény ár esetében viszont az összes esetben a csak energianövényekkel dolgozó biogázüzemek megtérülési mutatói majdnem azonosak vagy jobbak, mint a trágyát is használó üzemek esetén. Ezért környezetpolitikai cél lehet egy biometán termelést támogató rendszer kialakítása esetén a csak energianövényt feldolgozó üzemek kizárása a rendszerből.

A biogázüzemek teljes energiafelhasználását a végtermék nettó energia mennyiségére vonatkoztatva az látható, hogy a villamosenergia-termelő üzemek alacsonyabb energiafelhasználás mellett tudnak energiát előállítani, mint a biometántermelő-üzemek. Így a környezetpolitikai célok meghatározásakor, érdemes ezt a típusú energiatermelési módot előnyben részesíteni a biometán-termeléssel szemben.

A biometán-termelés gazdaságossági vizsgálatai jól mutatják, hogy a jelenlegi feltételek mellett a biometán 1 MJ-ra vetített költsége csak minimálisan magasabb, mint az import földgáz ára, amennyiben a biogáztermelésben nagyobb mennyiségű állati trágya kerül felhasználásra. Az általam kialakított kötelező átvételi tarifa rendszer árainak alkalmazásával vizsgált üzemi gazdaságossági számítások azt mutatják, hogy a vissza nem térítendő beruházási támogatások a csak energianövényt alkalmazó biogázüzemek kivitelezése felé terelik a beruházókat a jobb megtérülési mutatók miatt. Amennyiben a mezőgazdasági hulladékok hasznosításának irányába kíván a környezetpolitika elmenni, érdemes kizárni a csak energianövényt feldolgozó biogázüzemeket egy

magasabb garantált átvételi áras rendszerből. Megoldás lehet egy még alacsonyabb garantált átvételi ár biztosítása.

Összességében véve elmondható, hogy a számos biogázüzemi modell vizsgálatával sem lehetett olyan alacsony biometán árat elérni, ami versenyképes lenne akár csak az import földgáz árával is. Az import földgáz ára a legrosszabb esetben is 2,873 HUF/MJ értéket mutatna, ami még mindig majdnem 1 HUF-fal alacsonyabb, mint az általam számított, beruházási támogatásban nem részesülő legnagyobb biogázüzem biometán ára (3,777 HUF/MJ). Ezek az értékek jól mutatják, hogy a biometán-termelés még optimális körülmények között is egy igen drága energiaforrás, ami a földgázhoz képest nem tud érdemleges környezeti előnyöket sem felmutatni, így bármilyen típusú környezetpolitikai támogatása jelen pillanatban nem alátámasztható.

Amennyiben fontos, hogy a társadalom energiaigényét mégis kis részben megújuló forrásból fedezzük, a biometán-termelés a lakossági földgáz-felhasználás 5%-ban használható minimális költségnövekedéssel. Ennél nagyobb részarány a végfelhasználói ár túlzott mértékű növekedése, ill. a környezetre gyakorolt nem bizonyítható pozitív hatás hiánya miatt nem javasolt.

5 Publikációs lista

1. Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény

1.1. Idegen nyelvű, impact faktoros nemzetközi folyóiratban

FUCHSZ M. – KOHLHEB N. (2014): Comparison of the environmental effects of manure- and crop-based agricultural biogas plants using life cycle analysis. *In Journal of Cleaner Production*. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.08.058.

1.2. Idegen nyelvű, nem impact faktoros nemzetközi folyóiratban

KOVÁCS A. - FUCHSZ M. (2011): Ungarn – Land des unbenutzten Potenzials. *Biogas Journal*, ISSN 1619-8913, XIV. évf. (2. sz.)

1.6. Magyar nyelvű, nem impact faktoros hazai folyóiratban

FUCHSZ M. (2006): Német biogázüzemek gazdaságossági vizsgálata magyar árviszonyok között. *Gazdálkodás*, 50. évf. (5. sz.) 30. old.

2. Szakmai folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), teljes szövegű szakmai, népszerűsítő közlemény, tanulmány

2.1. Szakmai folyóiratban megjelent közlemény

KOVÁCS A. – FUCHSZ M. (2006): Vitaindító a bioüzemanyagokról I. *Bioenergia*, I. évf. (2. sz.) p. 2-7.

KOVÁCS A. - FUCHSZ M. (2007): Vitaindító a bioüzemanyagokról II. *Bioenergia*, 2 (1) p. 2-4.

FUCHSZ M. (2008): Biogáz előállítás száraz fermentációval. *Bioenergia*, 3 (1) p. 11-14.

FUCHSZ M. – KOHLHEB N. – PORTELEKI A. (2008): A megújuló energiatermelés tervezési keretei és módszerei környezetgazdálkodási szemszögből I. *Bioenergia*, 3 (2) p. 19-20.

FUCHSZ M. – KOHLHEB N. – PORTELEKI A. (2008): A megújuló energiatermelés tervezési keretei és módszerei környezetgazdálkodási szemszögből II. *Bioenergia*, 3 (3) p. 13-15.

FUCHSZ M. (2008): A németországi EEG biogázra vonatkozó szabályozásának összehasonlítása a magyarországi rendeletekkel I. *Bioenergia*, 3 (3) p. 32-35.

FUCHSZ M. (2008): A németországi EEG biogázra vonatkozó szabályozásának összehasonlítása a magyarországi rendeletekkel II. *Bioenergia*, 3 (4) p. 26-32.

FUCHSZ M. (2008): Biogáz a földgázhálózatban - A földgáz minőségre tisztított biogáz (biometán) hasznosítási lehetőségei. *Hulladéksors*, 9 (11) p. 48-49.

KOVÁCS A. – FUCHSZ M. (2009): A biogázipar helyzete és perspektívái Magyarországon. Biogáz előállítás és felhasználás. Műszaki kiadványok 183. szám. p. 9-10.

KOVÁCS A. – FUCHSZ M. – HIDEG P. (2009): Biogáztisztítási technológiák. Biogáz előállítás és felhasználás. Műszaki kiadványok 183. szám. p. 53-55.

KOVÁCS A. - FUCHSZ M. (2010): Első lépések egy biogáz üzem tervezése során. *Agro Napló Országos mezőgazdasági szakfolyóirat*, XIV. évf. (1. sz.)

FUCHSZ M. – KOHLHEB N. (2013): Mezőgazdasági biogázüzemek környezeti hatásainak összehasonlítása életcikluselemzéssel. *Magyar Energetika*, XX. évf. (3. sz.) p. 44-48.

2.2. Népszerűsítő folyóiratban megjelent közlemény

FUCHSZ M. (2006): Zöld utat a biogáznak Németországban. *Az Európai Unió agrárgazdasága*, ISSN 1416-6194, 11. évf. (5. sz.) p. 27.

3. Lektorált könyv/jegyzet (részlet) (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón), népszerűsítő könyv

3.8. Népszerűsítő könyv

FUCHSZ M. (2006): *Energia? Természetesen*. Budapest: Magyar Biogáz Egyesület. p. 20.

FUCHSZ M. – BAGI Z. (2009): *Biometán*. Budapest: Magyar Biogáz Egyesület. p. 42.

SOMOSNÉ NAGY A. (Szerk.) (2010): *A biogáz szerepe a vidéki gazdaságban*. s.l.: Bács-Kiskun Megyei Agrárkamara, p. 55.

4. *Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények – nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – kizárólag az ISBN, ISSN vagy más, hitelesített kiadványaira vonatkozóan*

4.2. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, idegen nyelven, lektorált formában megjelentetve

FUCHSZ M. (2007): Economic comparison of biogas plants under Hungarian price conditions. 15th European Biomass Conference and Exhibition. Berlin - Germany, ICC Berlin, 2007. május 7-11. Proceedings DVD ISBN 978-88-89407-59-X ISBN 3-936338-21-3

FUCHSZ M. (2008): Economic comparison of biogas plants under the new Hungarian price conditions. Multifunctional agriculture. Hódmezővásárhely – Hungary, 2008. április 24. ISSN 1788-5345

BAUM, S., NACHTMANN, K., HOFMANN, J., PAETZOLD, J., FALK, O., FUCHSZ, M. (2015). Pressureless and cryogenic conversion of biogas into liquefied biomethane and solid carbon dioxide. In: IBBK, Conference proceedings Progress in Biomethane Mobility, ISBN 978-3-940706-08-9, Schwäbisch Hall, Germany.

4.3. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, magyar nyelven, lektorált formában megjelentetve

FUCHSZ M. (2006): Biogázüzemek gazdaságossági vizsgálata magyar árviszonyok között. Az alternatív energiaforrások hasznosításának gazdasági kérdései, Nemzetközi Tudományos Konferencia, Sopron, CD-kiadvány (ISBN 978-963-9364-82-0), 14 p.

4.4. Megtartott előadás vagy bemutatott poszter alapján készített egy oldalas idegen vagy magyar nyelvű összefoglaló, szerkesztett tudományos folyóiratban, vagy annak különszámában

BAGI Z. - KOVÁCS A. - FUCHSZ M. – KOVÁCS K. L. (2008): Present state, experiences and development of biogas plants in hungarian agriculture. Klimatizacija, grejanje, hladjenje i ventilacija objekata u poljoprivredi. Becej – Szerbia, 2008. október 4. Biblid: 0354-2029 (2008)18: 5. p. 44-46.

5. *Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények – nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – nem hitelesített kiadványokra vonatkozóan*

5.1. Teljes szövegű közlemény idegen nyelven

KOHLHEB N. – FUCHSZ M. (2009): Bioenergy production for farm income diversification in Hungary. FAO Central Asia Agricultural and Rural Development Policy Forum, October 26-28, 2009, Ankara, Turkey

6. *Egyéb helyen megjelent dolgozat*

KAZAI et al. (2007): A biomassza energetikai alkalmazásának jövője, aktuális problémái

BAGI Z. – FUCHSZ M. (2010): SEBE – Sustainable and Innovative European Biogas Environment, Work package 4: Technology framework and research – Hungary. 2010.

6 Irodalomjegyzék

- Burnham, A., et al. (2012): Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of Shale Gas, Natural Gas, Coal, and Petroleum. In: *Environ. Sci. Technol.* 46, 619–627 pp.
- Első Magyar Biogáz Kft., 2013: Biogáz üzemek anyagkiírásai. Szóbeli adatközlés: Budapest.
- EurObserv'ER (2012): Biogas Barometer 2012. <http://www.euroserver.org/pdf/baro212biogasEu.asp>. Keresőprogram: Google. Keresőszavak: biogas barometer. Lekérdezés időpontja: 2013.05.01.
- FGSZ Zrt. (2015): Betáplálási és kiadási pontok műszaki és kapacitás adatai 2015. augusztus 3. gáznapon. http://tsodata.fgsz.hu/pub_data/date/2015-08-03/capacities/m325/hour. Keresőprogram: Google. Keresőszavak: FGSZ betáplálási pontok. Lekérdezés időpontja: 2015.08.25.
- Gemmecke, B. (2009): Biogas-Messprogramm II. 61 Biogasanlagen im Vergleich, 1.th ed. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe: Gülzow bei Güstrow. 168 p.
- Howarth, R.W., Santoro, Renee, Ingraffea, Anthony (2011): Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations. In: *Climatic Change* 106, 679–690 pp.
- Hultman, N., et al. (2011): The greenhouse impact of unconventional gas for electricity generation. In: *Environ. Res. Lett.* 6, 44008 pp.
- Jiang, M., et al. (2011): Life cycle greenhouse gas emissions of Marcellus shale gas. In: *Environ. Res. Lett.* 6, 34014 pp.
- Központi Statisztikai Hivatal (2016): Villamosenergia-ellátás (1990–). http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_zrk004.html. Keresőprogram: Google. Keresőszavak: KSH villamosenergia. Lekérdezés időpontja: 2016.05.05.
- Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (2015): A földgázpiaci egyetemes szolgáltatáshoz kapcsolódó árak képzéséről szóló 29/2009. (VI. 25.) KHEM rendelet szerint közzéteendő adatok a rendelet szerinti felsorolásban. <http://www.mekh.hu/hatosagi-arak-2/foldgaz/egyetemes->

- szolgáltatás/343-a-foldgazpiaci-egyetem-es-szolgáltatashoz-kapcsolodo-arak-kepzeserol-szolo-292009-vi-25-khem-rendelet-szerint-kozzeteendo-adatok.html. Keresőprogram: Google. Keresőszavak: földgáz árképzés. Lekérdezés időpontja: 2015.03.28.
- Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (2015): Földgázipari társaságok 2014. évi adatai. <http://www.mekh.hu/gcpdocs/97/F%C3%B6ldg%C3%A1zipari%20%C3%A1rsas%C3%A1gok%20adatai%202014.xlsx>. Keresőprogram: Google. Keresőszavak: földgázipari adatok. Lekérdezés időpontja: 2015.04.10.
- Magyar Energia Hivatal (2012): Beszámoló a megújuló alapú és a kapcsolt villamosenergia-termelés, valamint a kötelező átvételi rendszer 2011. évi alakulásáról. http://www.eh.gov.hu/gcpdocs/49/MEH_K%C3%81T_besz%C3%A1mol%C3%B3_2011.pdf. Keresőprogram: Google. Keresőszavak: MEH kapcsolt villamosenergia. Lekérdezés időpontja: 2013.05.01.
- Stamford, L., Azapagic, Adisa (2014): Life cycle environmental impacts of UK shale gas. In: *Applied Energy* 134, 506–518 pp.
- Stephenson, T., Valle, Jose Eduardo, Riera-Palou, Xavier (2011): Modeling the Relative GHG Emissions of Conventional and Shale Gas Production. In: *Environ. Sci. Technol.* 45, 10757–10764 pp.
- U.S. Energy Information Administration (2015): New York Harbor No. 2 Heating Oil Spot Price FOB (Dollars per Gallon). http://tonto.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=EER_EPD2F_PF4_Y35NY_DPG&f=M. Keresőprogram: Google. Keresőszavak: New York Harbor heating oil spot price. Lekérdezés időpontja: 2015.09.23.
- U.S. Energy Information Administration (2015): New York Harbor Ultra-Low Sulfur No 2 Diesel Spot Price (Dollars per Gallon). http://tonto.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=EER_EPD2DXL0_PF4_Y35NY_DPG&f=M. Keresőprogram: Google. Keresőszavak: FOB Ultra-Low Sulfur Diesel Spot Price. Lekérdezés időpontja: 2015.09.23.
- Weber, C.L., Clavin, Christopher (2012): Life Cycle Carbon Footprint of Shale Gas: Review of Evidence and Implications. In: *Environ. Sci. Technol.* 46, 5688–5695 pp.