

Biogáz üzemek P2G és SCWG-HU technológiával történő fejlesztése

Upgrading biogas plants using P2G and SCWG-HU technologies

HUJBER Ottó¹; POÓS Tibor², PhD egyetemi docens

¹Coopinter Kft.

H-1135 Budapest, Lehel u. 6., Tel.: +36209448912, www.coopinter.hu
otto.hujber@coopinter.hu

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar,
Épületgépészeti és Gépészeti Eljárás Technika Tanszék

H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., D épület 110., Tel.: +3614632639, www.epget.bme.hu,
poos.tibor@gpk.bme.hu

Abstract

The approximately 40% CO₂ content of biogas, as well as the about 50% organic matter remaining in the digested sludge, cause insufficient energy efficiency and environmental pollution. The methanation of CO₂ content of biogas with P2G technology and use of Hungarian version of supercritical water gasification (SCWG-HU) to process digested sludge can approximately double the energy production of biogas power plants and eliminate the costs associated with the transportation and disposal of digested sludge.

Keywords: sewage sludge, renewable energy, biogas plant, P2G, SCWG, CO₂

Kivonat

A biogáz mintegy 40%-os CO₂ tartalma, valamint a rothasztott iszapban maradó 50% körüli szerves anyag elégtelen energetika hatásfokot és környezetszennyezést okoz. A biogáz CO₂ tartalmának P2G technológiával való metanizálásával és a magyar fejlesztésű szuperkritikus vizes elgázosítás (SCWG-HU) rothasztott iszapok feldolgozására való alkalmazása, mintegy megkétszerezheti a biogáz erőművek energiatermelését, valamint megszünteti a rothasztott iszapok elszállításával és lerakásával kapcsolatos költségeket.

Kulcsszavak: szennyvíziszap, megújuló energia, biogáz üzem, P2G, SCWG, CO₂

1. Bevezetés

A biogáz erőművek energetikai hatásfokát és egyben környezeti hatását két fő tényező határozza meg. Az egyik az, amely szerint a feldolgozandó szervesanyagoknak csak mintegy 50%-ából keletkezik biogáz, annak többi része a rothasztott iszapban marad [1, 2]. A másik tényező az, hogy a metanizáló baktériumok működésének eredményeképpen, a biogáz mintegy 40%-a széndioxid. Mindebből az következik, hogy metán csupán a bevitt szervesanyag 30%-ból keletkezik. A biogáz üzemek nettó energiatermelő képességének vizsgálatához figyelembe kell venni annak önfogyasztását, a rothasztók 21-28 napon keresztül történő keverésének és fűtésének energiaszükségletét. Továbbá figyelembe kell venni a visszamaradó rothasztott iszap elszállításának és lerakásának energiafelhasználását is. A különféle szakirodalmi adatok [3, 4] alapján a biogáz nettó, hasznosítható energiataralma a bevitt energiataralomnak csupán a 27%-a körül lehet. Ha a 40% körüli széndioxid tartalmú biogázból villamosenergiát akarunk előállítani, akkor a magas széndioxidtartalom miatt, 35% körüli villamos hatásfokkal számolhatunk. Ebből az következik, hogy a biogáz üzemek bruttó villamos hatásfoka a biogáz bruttó energiataralmának 9,45%-a ($27\% \cdot 35\% = 9,45\%$). A nettó villamos hatásfok kalkulációjához figyelembe kell venni a rendszer villamos önfogyasztását is. Ha 10% körüli villamos önfogyasztással számolunk, akkor 8,5%-os nettó villamos hatásfokot kapunk ($9,45\% - 10\% \cdot 9,45\% = 8,5\%$). A különféle szakirodalmi adatok [1, 4] alapján a biogáz üzemek nettó villamos hatásfoka 7% és 9% között van.

A biogáz üzemek feljavítása a veszteségforrások megszüntetésével lehetséges. Amennyiben a rothasztott iszapokban maradt szervesanyagot szuperkritikus vizes elgázosítással (SCWG-HU) szintézisgázzá alakítjuk [5], akkor megszűnik a rothasztott iszapok elszállításával és lerakásával kapcsolatos energiavesztés

és emisszió, valamint a jelentős szállítási és lerakási költség is. Ha a biogáz széndioxid tartalmát P2G eljárással metanizáljuk, akkor megszüntetjük a mintegy 40%-os széndioxid-kibocsátást is [6, 7, 8].

Kutatásunk célja, hogy javaslatot tegyünk a jelenleg működő biogáz üzemek energetikai hatásfokának javítása, és környezetszennyezésének csökkentése érdekében. Ismertetjük az SCWG-HU és P2G technológiák alkalmazását a biogáz üzemek fejlesztésére, és az alkalmazásuk várható eredményeit.

2. A P2G és SCWG-hu alkalmazásának gazdasági hatásai

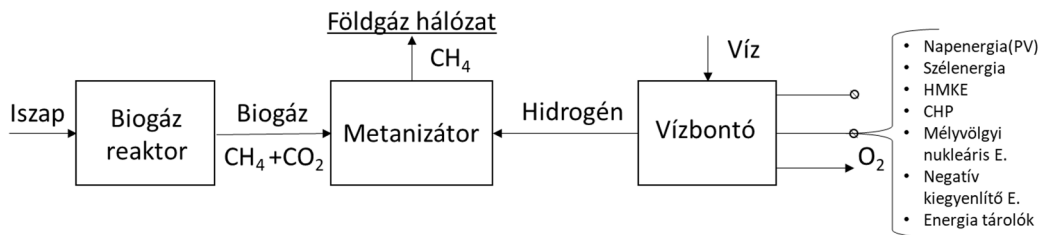
A P2G és a SCWG-HU technológiák alkalmazásának hatását-, az alkalmazások anyag-, és energiamérlegeit az alábbi esetekre vizsgáltuk:

- 1. eset: Csak a P2G eljárás alkalmazása biogáz feljavításra, a biogáz metanizációjával.
- 2. eset: A rothasztott iszap SCWG-HU feldolgozása, plusz a biogáz és a szintézisgáz együttes P2G metanizációja esetét.
- 3. eset: A teljes iszapmennyiség közvetlen (biogáz üzem nélküli) SCWG-HU feldolgozását és a szintézisgáz P2G metanizációját.

A várható gazdasági eredmények számszerűsítése céljából mind a három fenti esetre ugyanazon üzemmegvalósítással számoltunk.

2.1. A P2G eljárás alkalmazása biogáz feljavításra, a biogáz metanizálása útján

A P2G technológia biogáz üzembe történő integrálásának egy lehetséges módját az 1. ábra mutatja. A teljes biogáz - annak 40% körüli széndioxid tartalmával, valamint a vízbontóból származó hidrogénnel együtt -, a metanizátorba kerül, ahol a széndioxid mintegy 95%-a metánná alakul. Ez az eljárás a P2G technológia közeljövőben várható leggyakoribb applikációja lehet [9, 10, 11].



1. ábra. P2G technológia biogáz üzembe történő integrálása

A számítások alapjául 250 m³/h biogázt veszünk 40% széndioxid tartalommal. Ennek a biogáznak a metántartalma:

$$\dot{V}_{CH_4} = x_{CH_4} \cdot \dot{V}_{biogáz} = 60\% \cdot 250 = 150 \frac{m^3}{h}, \quad (1)$$

amely $t_{rend} = 8000 \text{ h/év}$ rendelkezésre állást feltételezve 1 200 000 m³/év. Ennek a metánnak az energiatartalma:

$$\dot{E}_{CH_4} = L_f \dot{V}_{CH_4} = 34 \cdot 10^{-3} \cdot 1\,200\,000 = 40\,800 \frac{GJ}{év} = 11\,333 \frac{MWh}{év}. \quad (2)$$

A 250 m³/h biogáz energiatartalma:

$$\dot{E}_{biogáz} = L_f \dot{V}_{biogáz} = 34 \cdot 250 = 5\,100 \frac{MJ}{h}. \quad (3)$$

Egy átlagos lakossági szennyvíziszap energiatartalmával ($E_{lakosság} = 4\,180 \text{ MJ/t}$) [12] számolva, és figyelembe véve, hogy a szervesanyag mintegy 50%-a a rothasztott iszapban marad, valamint a szervesanyag másik 50%-ának csak a 60%-ából lesz metán:

$$\dot{m}_{iszap} = \frac{\dot{E}_{biogáz}}{x_{sza} x_{CH_4} \cdot E_{lakosság}} = \frac{5\,100}{50\% \cdot 60\% \cdot 4\,180} \cong 4,1 \frac{t}{h}, \quad (4)$$

Figyelembe kell vennünk a biogáz üzem mintegy 10%-os önfogyasztását is, ami $\sum \dot{m}_{iszap} = 4,56 \text{ t/h}$ nyers iszapigényt jelent, a 250 m³/h biogázmennyiség előállításához. Így a biogáz üzembe bevitt energiatartalom éves mennyisége:

$$\dot{E}_{biogáz,év} = \sum \dot{m}_{iszap} E_{lakosság} t_{rend} = 4,56 \cdot 4,18 \cdot 8000 = 152\,486 \frac{GJ}{év} = 42\,357 \frac{MWh}{év}, \quad (5)$$

ami a fentebb kalkulált $\dot{E}_{CH_4} = 11\,333 \text{ MWh év}^{-1}$ energiatartalmú metán előállításához szükséges.

A biogáz üzembe bevitt nyers-iszaphól keletkező rothasztott iszap mennyisége mintegy 94%-a nyers iszap mennyiségének [12] vagyis:

$$\dot{m}_{roth,iszap} = x_{roth,iszap} \sum \dot{m}_{iszap} = 94\% \cdot 4,56 = 4,29 \frac{t}{h} \quad (6)$$

A rothasztott iszapok fajlagos energiatartalma [12] $E_{roth,iszap} = 2,320 \text{ MJ } t^{-1}$.

Becslés alapján, az időjárásfüggő megújuló energiák számára megfelelő nagyságú villamosenergia tárolókapacitást-, és mélyvölgyi nukleáris energia felhasználást-, valamint 90%-os üzemi feszültséget feltételezve, évi 3 942 h vízbontó üzemidővel számolunk. A kalkulációk során 95%-os metanizációs hatásfokot veszünk figyelembe [13, 14, 15]. Ilyen feltételek mellett a P2G eljárás segítségével 742 t év⁻¹ széndioxid léghőbe jutását tudjuk megakadályozni. A kalkulált 742 t év⁻¹ széndioxid léghőbe jutásának megakadályozásához:

$$\dot{V}_{h_2} = \dot{V}_{CO_2} \cdot 4 = 100 \cdot 4 = 400 \frac{m^3}{h} \quad (7)$$

hidrogén szükséges, ami mintegy 1,8 MW villamos teljesítményű vízbontót feltételez.

A tárgyi P2G eljárás metanizációs hatásfoka [16, 17, 18]. mintegy 52,5%. A P2G technológiával kiegészített biogáz üzem metántermelő energetikai hatásfokának számításánál a bemenő nyers iszap energiatartalmának-, plusz a vízbontó energiafogyasztásának összegét kell viszonyítani a keletkező biogáz-, plusz a metanizátorban keletkező metán energiatartalmának összegéhez. Az összefoglalás részben bemutatott táblázatból látható, hogy ez az érték 30,4% körül adódik. Ez azt is jelenti, hogy a bio-metanizáció 52,5%-os hatásfoka megemelte a biogáz üzem közel 27%-os hatásfokát 30,4%-ra. A P2G eljárás által történő kibocsátáscsökkentés után fennmaradó CO₂ kibocsátás mértéke:

$$\dot{m}_{CO_2,ki} = \dot{V}_{CO_2} \rho_{CO_2} t_{rend} = 100 \cdot 1,98 \cdot 8000 = 1\,584\,000 \frac{kg}{\text{év}} \quad (8)$$

$$\dot{m}_{CO_2,P2G\ ki} = \dot{m}_{CO_2,ki} - \dot{m}_{CO_2,ves} = 1584 - 742 = 842 \frac{t}{\text{év}} \quad (9)$$

A rothasztott iszapban maradt szerves szén mintegy 46%-a, annak lerakását követően, talajból kibocsátott széndioxid alakul [19]. Ez megközelítőleg:

$$\overline{\dot{m}_{CO_2}} = 46\% \cdot \dot{V}_{biogáz} = 0,46 \cdot 250 = 115 \frac{m^3}{h} \quad (10)$$

átlagos CO₂ kibocsátást jelenthet. Így a rothasztott iszap lerakásának éves üvegházhatása 8000 üzemórával számolva 1822 t év⁻¹ CO₂ kibocsátás. Ez több mint a kétszerese a P2G technológia általi CO₂ kibocsátás-csökkentésnek.

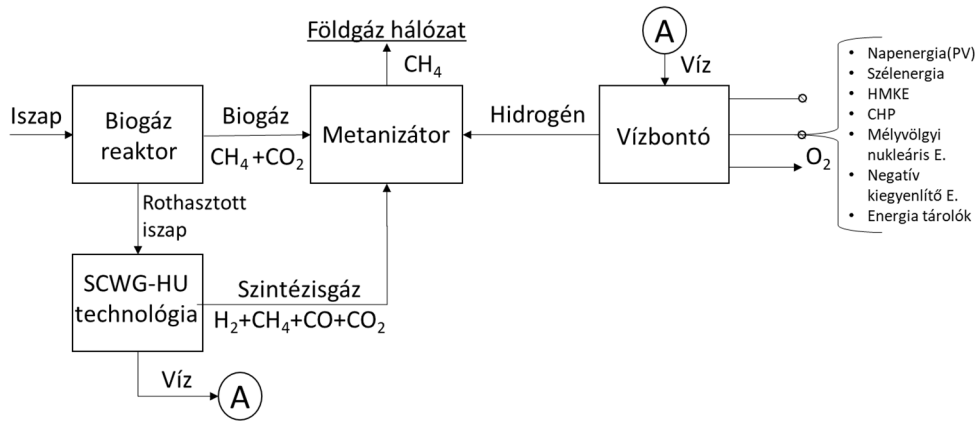
A 4,29 t/h rothasztott iszap szállításával kapcsolatos széndioxid kibocsátás nagysága 50 $g_{CO_2} t_{iszap}^{-1} km^{-1}$ [20]. A szállítás átlagos távolságát 40 km-re vehetjük. Ennek alapján a rothasztott iszapok elszállításával kapcsolatos kibocsátás mintegy 69 t_{CO₂} év⁻¹. Így a P2G technológia bevezetése után 4,56 t/h mennyiségű szennyvíziszap metántermeléssel kapcsolatos CO₂ emissziójának nagysága:

$$\sum \dot{m}_{CO_2,P2G} = \dot{m}_{CO_2,P2G\ ki} + \dot{m}_{roth,CO_2ki} + \dot{m}_{roth,száll} = 842 + 1822 + 69 = 2733 \frac{t}{\text{év}} \quad (11)$$

2.2. A rothasztott iszap SCWG-HU feldolgozása, valamint a biogáz és a szintézisgáz együttes P2G metanizálása

Az SCWG-HU és a P2G technológiák biogáz üzembe történő együttes integrálásának módját a 2. ábra mutatja. Az SCWG-HU technológia folyamatábráját, felépítésének és működésének részletes leírását a [5] cikk tartalmazza.

A rothasztott iszap SCWG-HU feldolgozása eredményeképpen keletkező szintézisgáz hidrogént, metánt, széndioxidot és kisebb mennyiségben egyéb gázokat tartalmaz. A szintézisgáz összetétele katalizátor (pl. káliumhidroxid) segítségével befolyásolható és elérhető, hogy annak összetétele mintegy 50%-ban hidrogén legyen, és 29% körüli metánt, 12% körüli széndioxidot, valamint 9% körüli egyéb gázt (például szénmonoxidot) tartalmazzon. A szintézisgázt a biogázzal együtt, a metanizátorba juttatjuk, ahol az alkalmazott mikroorganizmusok elvégzik a benne lévő széndioxid metánná alakítását. Mivel a szintézisgáz esetében a hidrogén mennyisége elérheti a benne lévő széndioxid mennyiségének a négyszeresét, így a vízbontó teljesítményének meghatározásánál nem kell a szintézisgáz széndioxid tartalmát figyelembe venni. Szennyvíziszap feldolgozása esetén az SCWG-HU eljárás energetikai hatásfoka 68% és 77% között lehet az üzemnagyság függvényében. A jó hatásfok fő oka az iszap előkészítésében és a reaktor szerkezetében, valamint a reaktor előtt és után való megfelelő hőcserélők alkalmazásában van [5]. A hőcserélőkkel a reaktorból távozó elegy hőtartalmát a reaktorba belépő elegy előmelegítésére fordítjuk.



2. ábra. SCWG-HU és a P2G technológiák biogáz üzembe történő együttes integrálása

A rothasztott iszapból SCWG-HU eljárással még jelentősen több hő-, és/vagy villamosenergia termelhető, mint amennyi a biogáz üzemben már keletkezett. Ennek oka az, hogy bár a rothasztott iszapban maradt szervesanyag mennyiségét óvatos becsléssel 50%-nak tekinthetjük, de a SCWG-HU technológia termikus hatásfoka 68% körül van, míg a biogáz üzem termikus hatásfoka mintegy 27%. A rothasztott iszapból SCWG-HU eljárással termelhető metán mennyiség meghatározásának egyszerűsített módja szerint a rothasztott iszap mennyiségéből és energiatartalmából, valamint a SCWG-HU eljárás termikus hatásfokából indulunk ki:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{CH_4, SCWG-HU} &= \dot{m}_{roth, iszap} t_{rend} E_{roth, iszap} \eta_{term, SCWG-HU} = \\ &= 4,29 \cdot 8000 \cdot 2320 \cdot 68 \cdot 34\% = 1\,592\,448 \frac{m^3_{CH_4}}{év} \end{aligned} \quad (12)$$

Ez a mennyiség mintegy 30%-kal meghaladja a biogázból nyert metán mennyiségét ($1\,200\,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). A rothasztott iszapból nyerhető metán energiatartalma $E_{CH_4, SCWG-HU} = 15\,040 \text{ MWh} \text{ év}^{-1}$.

Az SCWG-HU és P2G technológiával kiegészített biogáz üzem metántermelő energetikai hatásfokának számításánál is a bemenő nyers iszap energiatartalmának-, és a vízbontó energiafogyasztásának összegét kell viszonyítani a keletkező biogáz-, plusz a metanizátorban keletkező metán, és a SCWG-HU eljárásban keletkező szintézisgáz energiatartalmainak összegéhez:

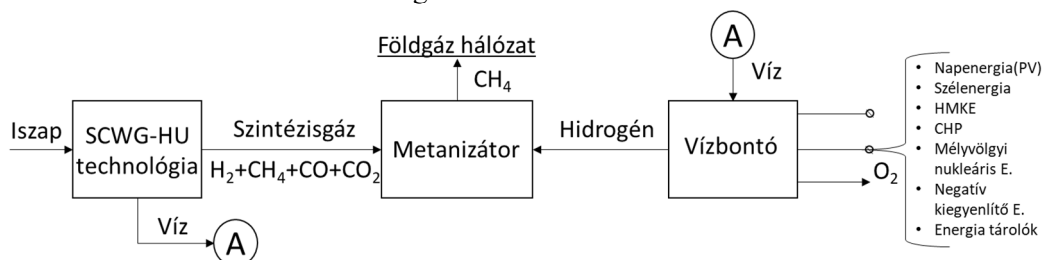
$$\eta_{P2G+SCWG-HU} = \frac{\dot{E}_{CH_4, év} + \dot{E}_{CH_4, év, P2G} + \dot{E}_{CH_4, SCWG-HU}}{\dot{E}_{biogáz, év} + E_{bont}} = \frac{11\,333 + 3723 + 15\,040}{42\,357 + 7096} = 0,609 \quad (13)$$

Ez azt is jelenti, hogy a bio-metanizáció 52,5%-os hatásfoka és a biogáz üzem 27% körüli hatásfoka lecsökkentette a SCWG-HU 68% körüli hatásfokát 60,9%-ra. A rothasztott iszapok SCWG-HU eljárással történő feldolgozása megszünteti az iszap elszállításával és lerakásával kapcsolatos költségeket.

2.3. A teljes iszapmennyiség SCWG-HU feldolgozása

A SCWG-HU technológia közvetlenül iszapfeldolgozásra való felhasználásának módját a 3. ábra mutatja. Ez a megoldás nem a meglévő, jól üzemelő biogáz erőművek műszaki fejlesztését szolgálja, hanem a biogáz technológia leváltását, annak teljes amortizációja esetén.

Mivel a rothasztott iszapok mennyisége csak mintegy 6%-kal kevesebb a kezelt bemenő iszapok mennyiségénél, célszerű a javasolt megoldás SCWG-HU üzemének méretét 6 – 8%-kal túlméretezni, hogy a biogáz üzem teljes amortizációját követően azzal a teljes iszapmennyiséget, külön beruházás nélkül, közvetlenül fel lehessen dolgozni. A szennyvíziszapok közvetlen SCWG-HU feldolgozása esetén ugyanolyan emisszió érhető el, mint amit a 2.2 alfejezetben ismertettünk, csak még jobb energetikai hatásfok, valamint kisebb tőkebefektetés és kisebb működési költség mellett.



3. ábra. SCWG-HU technológia közvetlen iszapfeldolgozásra

A $4,56 \text{ t h}^{-1}$ nyers iszap SCWG-HU feldolgozásával:

$$\dot{V}_{\text{szint.gáz}} = \sum \dot{m}_{\text{iszap}} t_{\text{bont}} E_{\text{lakosság}} \eta_{\text{termSCWG-HU}} L_f = 4,56 \cdot 8000 \cdot 4180 \cdot 68\% \cdot 34 = 3\,049\,728 \frac{\text{m}^3}{\text{év}} \quad (14)$$

metánnak megfelelő energiatartalmú szintézisgáz keletkezik. Ez a mennyiség több mint kétszerese a biogáz metán tartalmának ($1\,200\,000 \text{ m}^3 \text{ év}^{-1}$). Ebből az is látható, hogy ha a prioritás nem a széndioxid kibocsátás csökkentése, hanem a minél nagyobb energiatermelés, akkor a szintézisgáz összetételét nem hidrogénre, hanem metánra kell optimalizálni, megfelelő katalizátor alkalmazásával. A SCWG-HU üzemben keletkező szintézisgáz energiatartalma $E_{\text{szint.gáz}} = 28\,803 \text{ MWh} \text{ év}^{-1}$.

3. Összefoglalás

A vizsgált három technológiai változat műszaki-gazdasági jellemzőit az 1. táblázatban foglaltuk össze. A táblázat a vizsgált $4,56 \text{ t h}^{-1}$ kapacitású üzemméretre számított adatokat tartalmazza. Nem számoltunk a metán, és a szintézisgáz gázmotorban vagy kazánban való elégetésének széndioxid kibocsátásával, mivel az mind a három technológia esetében ugyanolyan kibocsátási jellemzőkkel bír. A 9. oszlopban szereplő energetikai hatásfokokat az adott technológiából metán és/vagy szintézisgáz formájában nyert energiamennyiség, és a rendszerbe nyersiszap, és a vízbontót működtető karbonmentes (nap, szél, nukleáris) energia formájában bevitt energiamennyiség hányadosaként határoztuk meg. A nyers-iszapból termelhető energiamennyiségeket a 10. oszlop tartalmazza.

A három technológia műszaki-gazdasági jellemzői

1. táblázat

	CO ₂ emisszió csökkentés (t/év)	CO ₂ emisszió, csökkentés után (t/év)	Termelt biogáz- energia, metán (MWh/év)	Termelt SCWG energia (MWh/év)	Vízbontó teljesítménye (MW)	Felhasznált villamosenergia (MWh/év)	Termelt P2G energia, metán (MWh/év)	Biogáz + SCWG üzembe bevitt iszap (MWh/év)	Energetikai hatásfok (%)	Iszapból termelhető energia (MWh/év)
P2G	742	2 733	11 333	n.r.	1,8	7 096	3 723	42 357	30,4	11 333
P2G + SCWG	2 633	842	11 333	15 040	1,8	7 096	3 723	42 357	60,9	26 373
SCWG	3 475	n.r.	n.r.	28 803	n.r.	n.r.	n.r.	42 357	68,0	28 803

n.r.: nem releváns

Az ismertetett három fejlesztési megoldás mindegyikét jól kiegészítheti a gázmotor alapú P2G eljárás, amely alkalmas a közel zéró széndioxid kibocsátású üzem megvalósítására. A gázmotor alapú, e-oxy rendszerű P2G eljárás lényege, hogy a gázmotor égéslevegőjét oxigén és széndioxid keverékével cseréljük le; az oxigén a P2G rendszer részét képező vízbontó melléktermékeként keletkezik [21].

4. Következtetések

A P2G és SCWG-HU technológiák szennyvíztelepi biogáz üzemekbe való integrálása javítja a biogáz üzemek műszaki paramétereit, azok együttes bevezetése gazdasági-, és környezeti szempontból is célszerű. Ha a P2G technológia mellé, a rothasztott iszapok feldolgozása céljából, az SCWG-HU technológiát is integráljuk a biogáz üzemekbe, akkor több, mint kétszeresére nőhet a telep iszapból való energiatermelése és mintegy háromszorosára nő a CO₂ emisszió csökkentésének mértéke. Az SCWG-HU eljárás integrálásának jelentős hozadéka, a rothasztott iszapok energiahasznosítása mellett az azokkal kapcsolatos szállítási és lerakási költségek drasztikus csökkentése.

A SCWG-HU technológia szennyvíztelepi alkalmazása lehetővé teszi a technológiai eljárás végén a maradvány-anyagból a foszfor-vegyületek kivonását, és keletkeztethet a feldolgozott iszapmennyiség több mint 70%-ának megfelelő mennyiségű 650°C -on kezelt tiszta vizet ipari célra, pl. a P2G technológia elektromos vízbontó tápvizeként, hozzájárulva ezáltal a körkörös gazdaság kiépítéséhez, megvalósításához.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak (NKFIH FK-142204) Dr. Poós Tibor munkájában nyújtott támogatásért.

Irodalmi hivatkozások

- [1] Bai A. (2013): Biogáz előállításának technológiája. Debreceni Egyetem
- [2] Barótfy I. (2000): *Környezettechnika*. Szent István Egyetem, Gödöllő
- [3] Kárpáti Á. (2018): *A rothasztás ABC-je*. MASZESZ Hírcsatorna
- [4] Szabó D. I. (2014): Biogáz üzem energetikai értelmezése és élelciklus elemzése. Szent István Egyetem, szakdolgozat.
- [5] Hujber, O. (2021). A szennyvíztelepek karbon lábnyomának csökkentése a rothasztott iszapok szuperkritikus vizes (SCWG) feldolgozásával és a biogáz szén-dioxid tartalmának biometánná alakításával. Hidrológiai Közlöny, 101. évf. 3. szám.
- [6] Csedő Z.: A power-to-gas technológia ipari környezetben való tesztelése: egy szennyvíztisztító telepen szerzett K+F tapasztalatok. Energiagazdálkodás 63. évf. 2022. különszám.
- [7] Groniewsky A., Kustan R., Imre A.: *Power-to-Methane technológia: műszaki összegzés és esettanulmány*. Energiagazdálkodás 63. évf. 2022. különszám.
- [8] Csányi Sz., Zsiborács H., Pintér G., Hegedűsné Baranyai N., Vincze A.: *A biogáz alapú Power-to-Gas technológia szerepe a magyarországi energiagazdálkodásban*. Energiagazdálkodás 63. évf. 2022. különszám.
- [9] Csedő Z., Imre A.: *A Power-to-Gas/Power-to-Methane technológia – merre tovább?* Energiagazdálkodás 63. évf. 2022. különszám.
- [10] Jászberényi Z.: Biogáz termelés jövőbeni szerepe és lehetőségei az energiahatékonyság fokozása területén. Energiagazdálkodás 63. évf. 2022. különszám
- [11] Birkner Z.: A Power-to-Gas/Power-to-Methane technológia – merre tovább? Energiagazdálkodás 63. évf. 2022. különszám
- [12] OVF (2015). Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia 2014 -2023.
- [13] Boukis, N., Herbig, S., Hauer, E. (2016). Gasification of Dutch sewage sludge in supercritical water commissioned by STOWA / NL STOWA Project number DQL 432.601 Final Report
- [14] Boukis., N., Stoll., K. (2021). Gasification of Biomass in Supercritical Water, Challenges for the Process Design—Lessons Learned from the Operation, Experience of the First Dedicated Pilot Plant. Process, MDPI
- [15] Antal M., Allen S. G., Schulman, D., Xu, X., Divilio R.J. (2000). *Biomass Gasification in Supercritical Water*, Ind. Eng. Chem. Res. 39, 11, 4040–4053
- [16] Safari, F., Ataei, A., Tavasoli, A. (2016). *Gasification of sugarcane bagasse in supercritical water media for combined hydrogen and power production: a novel approach*. International Journal of Environmental Science and Technology, Volume 13, page 2393–2400.
- [17] Hujber O., Poós T. (2021). *Berendezés és eljárás veszélyes hulladékok szuperkritikus-vizes oxidációval történő energiahatékony megsemmisítésére*. EMT Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság. XXIX. Nemzetközi Gépészeti Konferencia (OGÉT)
- [18] Piro, I., Mokry, S. (2011). Thermophysical Properties at Critical and Supercritical Conditions book: Heat Transfer - Theoretical Analysis, Experimental Investigations and Industrial Systems.
- [19] Szili Kovács T. (1985): *A szennyvíziszap-elhelyezés talajmikrobiológiai problémái*. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest
- [20] Sós N. E. (2020): A közúti áruszállítás szerepe az árumozgatásban, és a tevékenység során kibocsátott káros anyagok mennyiségének változása. Műszaki Katonai Közlöny, 30 (1). pp. 139-150.
- [21] Hujber O.: *Gázmotor alapú, e-oxy rendszerű P2G technológia szintetikus földgáz előállításához*. www.coopinter.hu/letöltések .