

A BIOGÁZ ÜZEMEK P2G ÉS SCWG-HU TECHNOLOGIÁK ALKALMAZÁSÁVAL VALÓ ENERGETIKAI FEJLESZTÉSE

HUJBER OTTÓ okl. villamosmérnök

otto.hujber@coopinter.hu, +36 20 944 8912

KIVONAT

A szennyvíziszapok és egyéb nedves biomasszák feldolgozásának klasszikus eszköze a biogáz erőmű. A biogáz erőművek technológiája kiforrott, energetikai hatásfokuk azonban meglehetősen alacsony. A működő biogáz erőművek nagy száma és a biogáz technológiában lévő jelentős üzleti potenciál arra sarkalt bennünket, hogy megfogalmazzuk a biogáz erőművek energetikai és környezetvédelmi szempontú fejlesztésének műszaki lehetőségeit.

A biogáz mintegy 40%-os CO_2 tartalma, valamint a rothasztott iszapban maradó szerves anyag, melynek mértéke az eredeti szervesanyag mennyiség 50%-a körül van, okozzák az alacsony energetika hatásfokot és a környezetszennyezést.

Ha a P2G technológiát a működő biogáz üzemekbe integráljuk, akkor a biogáz mintegy 40%-os széndioxid tartalmának több mint 95%-a metánná alakítható.

A szuperkritikus vizes elgázosítás (SCWG) rothasztott iszapok feldolgozására való alkalmazása mintegy megkétszerezheti a biogáz üzemek energiatermelését, valamint megszünteti a rothasztott iszapok elszállításával és lerakásával kapcsolatos költségeket. Az SCWG-HU eljárás végén desztillált vizet kapunk, amelyet

a P2G technológia vízbontója hasznosíthat. A kismennyiségű inert szilárd hulladékból kivonhatóak a foszforvegyületek.

Bemutatjuk, hogy a P2G és a SCWG-HU technológiák biogáz üzemekbe való integrálása, a mintegy kétszeresre növelhető energiatermelés mellett, jelentősen lecsökkentheti azok CO_2 emisszióját, szállítási-, valamint lerakási költségeit és egyben a biogáz üzemeket a körkörös gazdaság mintapéldájává teheti.

Kulcsszavak: szennyvíziszap, rothasztott iszap, szállítási költség, napelemek, szélerőművek, biogáz üzem, P2G eljárás, szuperkritikus vizes elgázosítás, SCWG, SCWG-HU, körkörös gazdaság, hatásfok, CO_2 , széndioxid kibocsátás.

BEVEZETÉS

A mezőgazdasági- és élelmiszeripari hulladékok, valamint a lakóssági-, és az ipari szennyvíziszapok feldolgozásának legismertebb és leggyakrabban használatos módja a biogáz technológia.

A biogáz erőművek fontos szerepet töltenek be gazdaságunkban és a bennük rejlő további üzleti potenciál arra készítet bennünket, hogy közelebbről megvizsgáljuk a biogáz erőművek energetikai tulajdonságait és környezetvédelmi hatásait.

Tesszük ezt azért, hogy javaslatot telessünk a jelenleg működő biogáz üzemek energetikai hatásfokának feljavítása-, és környezet-szennyezésének csökkentése érdekében.

A lenti javaslatunk szerinti megoldások alkalmazásának eredményeképpen mintegy a kétszeresére növekedhet a jelenleg működő biogáz üzemek hasznos energiatermelése és jelentősen csökkenthető azok környezetterhelése. Ezzel meghosszabbítható a biogáz üzemek hasznos élettartama és új, magasabb szintre emelhető a bennük lévő gazdasági potenciál.

A biogáz erőművek energetikai hatásfokát és egyben környezeti hatását két fő tényező határozza meg.

Az egyik az, mely szerint a feldolgozandó szervesanyagoknak csak mintegy 50%-ából keletkezik biogáz, annak többi része a rothasztott iszapban marad [1].

A másik tényező az, hogy a metanizáló baktériumok működésének eredményeképpen, a biogáz mintegy 40%-a széndioxid.

Mindebből az következik, hogy a biogáz energiataralma csupán $0,5 \cdot (1 - 0,4) = 0,3$ vagyis, a bevitt szervesanyag energiataralmának 30%-a körül van.

A biogáz üzemek nettó energiatermelő képességének vizsgálatához figyelembe kell vennünk annak önfogyasztását, a reaktorok (rothasztók) 16-21 napon keresztül történő keverésének és fűtésének energiaszükségletét. Figyelembe kell venni a visszamaradó rothasztott iszap elszállításának és lerakásának energiafelhasználását is.

A különféle szakirodalmi adatok [1, 2] alapján a **biogáz nettó energiataralma** a bevitt energiataralomnak csupán a **27%-a körül lehet** (ha mintegy 10-os önfogyasztással számolunk).

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 $0,27 \cdot 0,35 = 0,0945$ vagyis a biogáz bruttó energiataralmának 9,45%-a. A nettó villamos hatásfok kalkulációjához figyelembe kell venni a rendszer villamos önfogyasztását is. Ha 10% körüli villamos önfogyasztással számolunk, akkor $9,45 - 0,1 \cdot 9,45 =$ **8,5%-os nettó villamos hatásfokot** kapunk.

A különféle szakirodalmi adatok [2, 3] alapján a biogáz üzemek nettó villamos hatásfoka 7% és 9% között van.

A nettó energetikai hatásfok az önfogyasztáson felül felhasználható energia arányát jelöli – a bevitt energia többi része a veszteség, ami egyben meghatározza a környezetterhelés mértékét is.

A biogáz üzemek környezetszennyezése részben a biogáz 40%-os széndioxid tartalmában-, részben pedig rothasztott iszap elszállításában és lerakásában-, azok üvegház hatású gáz-kibocsátásában rejlik.

Ezen tényezők közül a lerakott rothasztott iszapok által kibocsátott széndioxid környezetszennyező hatása a legjelentősebb, mivel annak mennyisége a bevitt energiataralom mintegy ötven százalékával arányos.

A biogáz üzemek feljavítása a két fentebb jelzett veszteségforrás megszüntetésével lehetséges. Amennyiben a rothasztott iszapokban maradt szervesanyagot szuperkritikus vizes elgázosítással (SCWG) szintézisgázzá alakítjuk [4, 5, 6], akkor megszűnik a rothasztott iszapok elszállításával és lerakásával kapcsolatos energiavesztés és emisszió, valamint

a jelentős (mintegy 15 ezer Ft/tonna) szállítási és lerakási költség is.

Ha a biogáz széndioxid tartalmát P2G eljárással metanizáljuk, akkor megszüntetjük a mintegy 40%-os széndioxid-kibocsátást. (Ez az eljárás egyben lehetőséget nyújt a megújuló nap-, és szél energia szezonális tárolására is.)

A jelen dolgozat célja, hogy ismertesse a fentiekben hivatkozott technológiáknak a biogáz üzemek fejlesztése céljából történő alkalmazását, valamint alkalmazásuk műszaki, gazdasági jellemzőit, és a javasolt eljárások bevezetésétől várható eredményeket.

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

1. Csak a P2G eljárás alkalmazását a biogáz minőségének feljavítására, a biogáz metanizációjának útján.
2. Arothasztottiszap SCWG-HU feldolgozása, plusz a biogáz és a szintézisgáz együttes P2G metanizációja esetét.
3. A teljes iszapmenyiség közvetlen (biogáz üzem nélküli) SCWG-HU feldolgozását és a szintézisgáz P2G metanizációját.

A P2G ÉS SCWG ELJÁRÁSOK ALKALMAZÁSÁNAK MŰSZAKI-GAZDASÁGI HATÁSAI

1. A P2G eljárás alkalmazása biogáz minőségének feljavítására, a biogáz metanizálása útján.

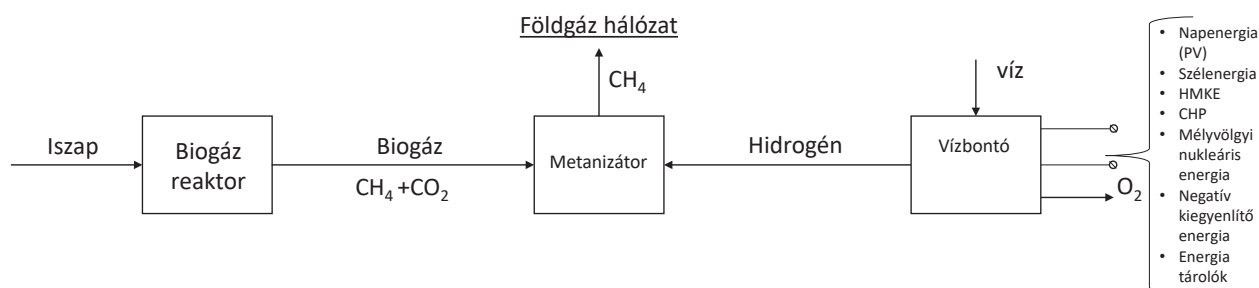
A P2G technológia biogáz üzembe történő integrálásának egy lehetséges módját az 1. számú ábra mutatja.

Lehetséges megoldás még az in-situ metanizálás és a széndioxid biogázból való leválasztása, majd annak metanizálása, is.

Az 1. sz. ábrán mutatott esetben 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 közismert, és a szakirodalmi adatok [7, 8, 9] alapján ez a P2G eljárás alkalmazásának legperspektivikusabb módja, a P2G technológia közeljövőben várható leggyakoribb applikációja lehet. Ez a technológia hatásosan segítheti az időjárásfüggő megújuló erőművek menetrendtartását is [10, 11].

A várható gazdasági eredmények számszerűsítése céljából mind a 3 fenti esetre ugyanazon üzemnagysággal számolunk.

A számítások alapjául 250 m³/h biogázt veszünk 40% széndioxid tartalommal.



1. ábra

Ennek a metántartalma $0,6 \cdot 250 \text{ m}^3/\text{h} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$; $150 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 8.000 \text{ h/év} = 1.200.000 \text{ m}^3/\text{év}$.

Ennek energiatartalma: $1.200.000 \text{ m}^3/\text{év} \cdot 34 \text{ MJ/m}^3 : 1.000 \text{ MJ/GJ} = 40.800 \text{ GJ/év}$; $40.800 \text{ GJ/év} : 3,6 \text{ GJ/MWh} = 11.333 \text{ MWh/év}$

A $250 \text{ m}^3/\text{h}$ biogáz energiatartalma $0,6 \cdot 250 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 34 \text{ MJ/m}^3 = 5.100 \text{ MJ/h}$.

Egy átlagos lakóssági szennyvíziszap energiatartalmával 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, ez $5.100 \text{ MJ/h} : 4.180 \text{ MJ/t} : 0,5 : 0,6 = 4,067 = 4,1 \text{ t/h}$ iszap.

Figyelembe kell vennünk a biogáz üzem mintegy 10%-os önfogyasztását is $4,1 : 0,9 = 4,56 \text{ t/h}$ nyers iszap igényt jelent, a $250 \text{ m}^3/\text{h}$ biogázmennyiség előállításához.

Így a biogáz üzembe bevitt energiatartalom éves mennyisége: $4,56 \text{ t/h} \cdot 4,18 \text{ GJ/t} \cdot 8.000 \text{ h/év} : 3,6 \text{ GJ/t} = 42.357 \text{ MWh/év}$, ami a fentebb kalkulált 11.333 MWh/év energiatartalmú biogáz előállításához szükséges.

A biogáz üzembe bevitt nyers-iszapból keletkező rothasztott iszap mennyisége mintegy 94%-a nyers iszap mennyiségének, vagyis: $0,94 \cdot 4,56 \text{ t/h} = 4,29 \text{ t/h}$.

A rothasztott iszapok fajlagos energiatartalma [12] 2.320 MJ/t .

Becslés alapján, az időjárásfüggő megújuló energiák számára megfelelő nagyságú villamosenergia tárolókapacitást-, és mélyvölgyi nukleáris energia felhasználást-, valamint 90%-os üzemkésztséget feltételezve, évi 3.942 óra vízbontó üzemidővel számolunk.

A kalkulációk során 95%-os metanizációs hatásfokot veszünk figyelembe.

Ilyen feltételek mellett a P2G eljárás segítségével $0,4 \cdot 250 \text{ m}^3/\text{h} = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ széndioxid-dal számolva; $100 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,98 \text{ kg/m}^3 = 198 \text{ kg/h}$; $198 \text{ kg/h} \cdot 3.942 \text{ h/év} \cdot 0,95 = 741.490 \text{ kg/év} = 742 \text{ t/év}$ széndioxid légkörbe jutását tudjuk megakadályozni.

A kalkulált 742 t/év széndioxid légkörbe jutásának megakadályozásához $100 \text{ m}^3/\text{h}$ $\text{CO}_2 \cdot 4 \text{ m}^3 \text{ H}_2 = 400 \text{ m}^3$ hidrogén szükséges, ami mintegy $1,8 \text{ MW}$ villamos teljesítményű, jó hatásfokú alkáli vagy PEM vízbontót feltételez. A $1,8 \text{ MW}$ teljesítményű vízbontó által felhasznált villamosenergia mennyisége $1,8 \text{ MW} \cdot 3.942 \text{ h/év} = 7.096 \text{ MWh/év}$. Az ebből az energiamennyiségből készített hidrogén segítségével a metanizátorban $100 \text{ m}^3 \cdot 3.942 \text{ h/év} = 394.200 \text{ m}^3/\text{év}$ metán keletkezik (ugyanannyi, mint az átalakítandó széndioxid mennyisége). A 394.200 m^3 metán energiatartalma: $394.200 \text{ m}^3/\text{év} \cdot 34 \text{ MJ/m}^3 = 13.402.800 \text{ MJ}$;

$13.402,8 \text{ GJ/h} : 3,6 \text{ GJ/MWh} = 3.723 \text{ MWh}$.

A tárgyi P2G eljárás metanizációs hatásfoka: $3.723 \text{ MWh} : 7.096 \text{ MWh} = 0,525$, vagyis 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 energiatartalmainak összegéhez: $(11.333 \text{ MWh} + 3.723 \text{ MWh}) : (42.357 \text{ MWh} + 7.096 \text{ MWh}) =$

$15.056 : 49.453 = 0,3044$, vagyis 30,4 %.

Ez azt is jelenti, hogy a bio-metanizáció 52,5%-os hatásfoka megemelte a biogáz

üzem $(100 \cdot 11.333 \text{ MWh} : 42.357 \text{ MWh} = 26,8)$ közel 27%-os hatásfokát 30,4%-ra.

A P2G eljárás által történő kibocsátáscsökkentés után fennmaradó CO₂ kibocsátás mértéke:

$100 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,98 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 8.000 \text{ óra}/\text{év} = 1.584.000 \text{ kg}/\text{év} = 1.584 \text{ t}/\text{év} - 742 \text{ t}/\text{év} = 842 \text{ t}/\text{év CO}_2$.

A rothasztott iszapban maradt szerves szén mintegy 46%-a, annak lerakását követően, talajból kibocsátott széndioxidá alakul [13]. Ez megközelítőleg $250 \text{ m}^3 \cdot 0,46 = 115 \text{ m}^3/\text{h}$ átlagos CO₂ kibocsátást jelenthet.

Így a rothasztott iszap lerakásának éves üveg-házhatása 8.000 üzemórával számolva $115 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,98 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 8.000 \text{ h}/\text{év} = 1.821.600 \text{ kg}/\text{év} = 1.822 \text{ t}/\text{év CO}_2$ kibocsátás. Ez több mint a kétszerese a P2G technológia általi CO₂ kibocsátás-csökkentésnek.

Az 4,29 t/h rothasztott iszap szállításával kapcsolatos széndioxid kibocsátás nagysága 50 gr/tonna km, lásd az irodalomjegyzékben a [14] cikket. A szállítás átlagos távolságát 40 km-re vehetjük.

Ennek alapján a rothasztott iszapok elszállításával kapcsolatos kibocsátás: $4,29 \text{ t}/\text{h} \cdot 8.000 \text{ h}/\text{év} \cdot 40 \text{ km} \cdot 50 \text{ gr}/\text{t km} = 68.640.000 \text{ gr}/\text{év} = 68.640 \text{ kg}/\text{év} = \text{mintegy } 69 \text{ t}/\text{év CO}_2$

Ezzel a P2G technológia bevezetése után 4,56 t/h mennyiségű szennyvíziszap metánermeléssel kapcsolatos CO₂ emissziójának nagysága: $842 + 1.822 + 69 = 2.733 \text{ t}/\text{év}$

Az 4,29 t/h rothasztott iszap éves lerakási költsége, beleértve a szállítási költséget is, 8.000 óra éves üzemidővel számolva $8.000 \text{ h}/\text{év} \cdot 3,85 \text{ t}/\text{h} \cdot 15.000 \text{ Ft}/\text{t} = 507.480.000 \text{ Ft}$ (507,5 millió Ft/év).

Megjegyzés:

Az 4,56 t/h mennyiség 8.000 h $\cdot 4,56 \text{ t}/\text{h} = 36.480$ tonna éves mennyiség.

A magyarországi víztelenített (80% nedves-ségtartalmú) lakószági szennyvíziszap éves mennyisége 1.230.000 tonna.

Ez azt jelenti, hogy az országos iszapmennyiség 1.230.000 t/év: $36.480 \text{ t}/\text{év} = 33,7$ -szeres nagyságú, a jelen dolgozatban kalkulált mintazem iszapmennyiségéhez képest.

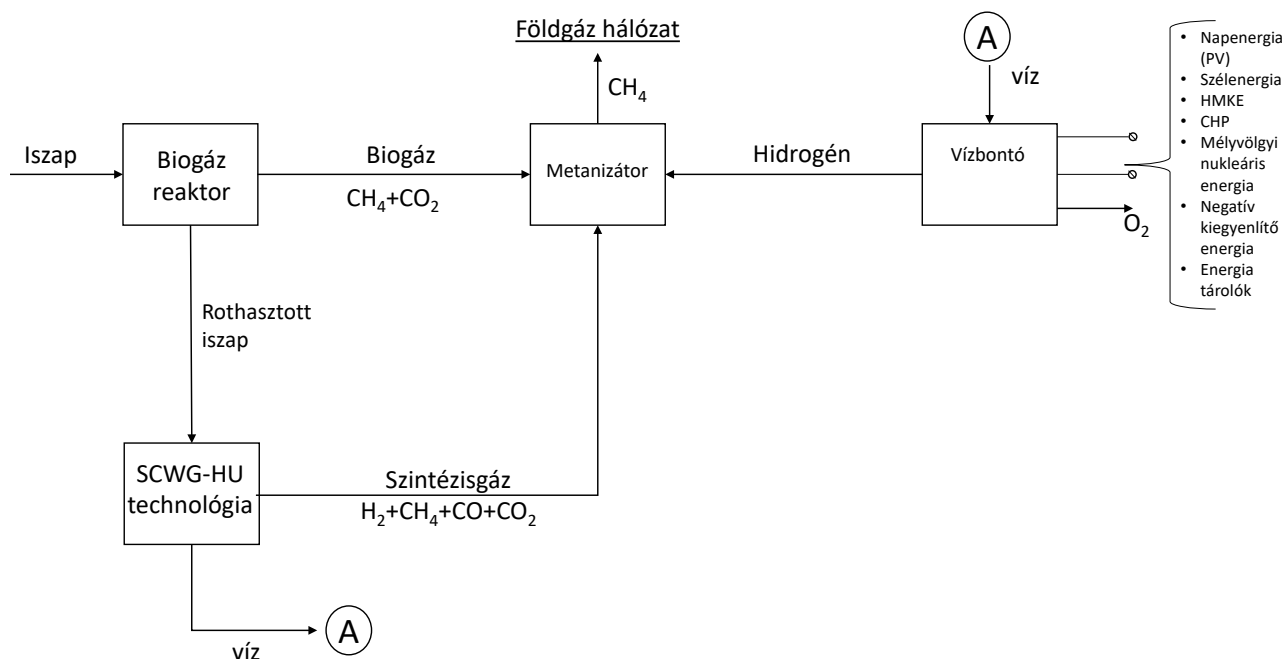
2. A rothasztott iszap SCWG-HU feldolgozása, valamint a biogáz és a szintézisgáz együttes P2G metanizálása.

A SCWG-HU és a P2G technológiák biogáz üzemébe történő együttes integrálásának módját az 2. sz. ábra mutatja.

A SCWG-HU technológia folyamatábráját, felépítésének és működésének részletes leírását, amely meghaladja ezen dolgozat kereteit, a [6] cikk tartalmazza. A SCWG technológiákkal és alkalmazásukkal kapcsolatosan még értékes információ található a [15, 16, 17] szócikkekben.

A rothasztott iszap SCWG feldolgozása eredményeképpen keletkező szintézisgáz hidrogént, metánt, széndioxidot és kisebb mennyiségben egyéb gázokat tartalmaz [18].

A szintézisgáz összetétele katalizátor (pl. káliumhidroxid) segítségével befolyásolható és elérhető, hogy annak összetétele mintegy 50%-ban hidrogén legyen, 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 [19]



2. ábra

Mivel a szintézisgáz esetében a hidrogén mennyisége általában elérheti a benne lévő széndioxid mennyiségének a négyszeresét, így a vízbontó teljesítményének meghatározásánál nem kell a szintézisgáz széndioxid tartalmát figyelembe venni. Természetesen, amennyiben ez nem így van, és a szintézisgáz széndioxid tartalma magasabb, valamint még jelentős mennyiségű szénmonoxidot is tartalmaz, akkor ezt figyelembe kell venni a vízbontó méretezésénél, a többlet hidrogén-igény miatt.

Szennyvíziszap feldolgozása esetén az SCWG-HU eljárás energetikai hatásfoka 68% és 77% között lehet az üzemnagyság függvényében. A jó hatásfok fő okai az iszap előkészítésében és a reaktor szerkezetében, valamint a reaktor előtt és után való megfelelő hőcserélők alkalmazásában van [20], melyekkel a reaktorból távozó elegy hőtartalmát a reaktorba belépő elegy felmelegítésére fordítjuk.

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 mennyisége meghatározásának egyszerűsített módja szerint a rothasztott iszap mennyiségéből és energiatartalmából, valamint a SCWG-HU eljárás termikus hatásfokából indulunk ki (lásd fentebb a kiinduló adatokat).

$4,29 \text{ t/h} \cdot 8.000 \text{ óra/év} \cdot 2.320 \text{ MJ/t} \cdot 0,68 : 34 \text{ MJ/m}^3 = 1.592.448 \text{ m}^3 \text{ metán/év}$. Ez a metánmennyiség mintegy 30%-kal meghaladja a biogázból nyert metán mennyiségét ($1.200.000 \text{ m}^3/\text{év}$).

A rothasztott iszapól keletkező metán energiatartalma: $1.592.448 \text{ m}^3/\text{év} \cdot 34 \text{ MJ/m}^3 : 1.000 \text{ MJ/GJ} = 54.143,2 \text{ GJ}/\text{év}$; $54.143,2 \text{ GJ} : 3,6 \text{ GJ/MWh} = 15.040 \text{ MWh}/\text{év}$.

A SCWG-HU és P2G technológiával kiegészített biogáz üzem metántermelő energetikai hatásfokának számításánál is a bemenő nyers iszap energiatartalmának-, plusz a vízbontó energiafogyasztásának összegét kell viszonyítani a keletkező biogáz-, plusz a metanizátorban keletkező metán-, plusz a SCWG-HU eljárásban keletkező szintézisgáz energiatartalmainak összegéhez: $(11.333 \text{ MWh} + 3.723 \text{ MWh} + 15.040 \text{ MWh}) : (42.357 \text{ MWh} + 7.096 \text{ MWh}) = 30.096 \text{ MWh} : 49.453 \text{ MWh} = 0,609$ vagyis 60,9 %.

Ez azt is jelenti, hogy a bio-metanizáció 52,5%-os hatásfoka és a biogáz üzem 27% körüli hatásfoka lecsökkentette a SCWG-HU hatásfokát 68 % körüli hatásfokát 60,9 %-ra.

Az SCWG-HU eljárás rothasztott iszapok feldolgozására való bevezetése megszünteti az azok elszállításával és lerakásával kapcsolatos költségeket (507,5 millió Ft/év), és a szállítással kapcsolatos emissziót (69 t/év), valamint a lerakásból származó CO_2 talajemissziót (1.822 t/év), így annak nagysága 842 t/év széndioxid lehet – a lásd az előző pontot.

A többlet energiatermelés további kiadás-csökkenést (vagy plusz árbevételt) jelenthet, növelve a szennyvíztelep szállítási és lerakási költségeinek megszűnése miatti eredményt.

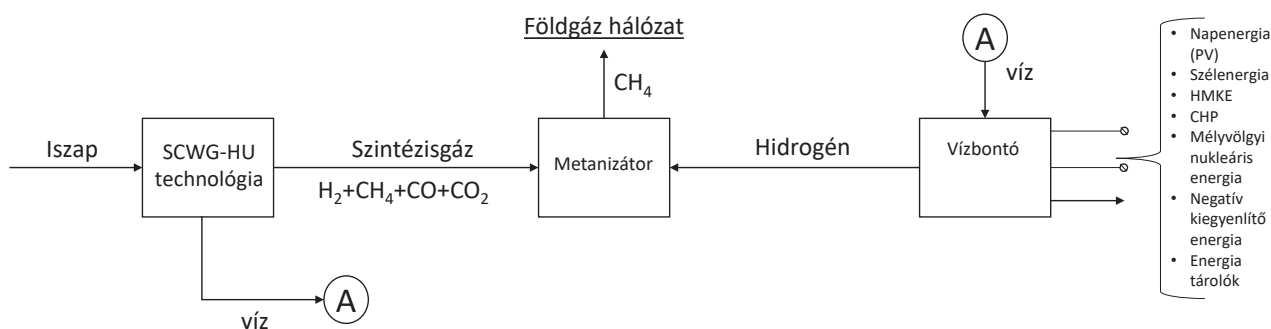
3. A teljes iszapmennyiség közvetlen SCWG-HU feldolgozása és a szintézisgáz P2G metanizációja.

A SCWG-HU technológia közvetlenül iszapfeldolgozásra való felhasználásának módját az 3. sz. ábra mutatja.

Ez a megoldás nem a meglévő, jól üzemelő biogáz erőművek műszaki feljavítását szolgálja, hanem a biogáz technológia kiváltását, például annak teljes amortizációja esetén.

Mivel a rothasztott iszapok mennyisége csak mintegy 6%-kal kevesebb a kezelt bemenő iszapok mennyiségénél, célszerű a 2. pont alatt javasolt megoldás SCWG-HU üzemének méretét 6 – 8 %-kal túlméretezni, hogy a biogáz üzem teljes amortizációját követően azzal a teljes iszapmennyiséget biogáz üzem nélkül is, külön beruházás nélkül, közvetlenül fel lehessen dolgozni.

A szennyvíziszapok közvetlen SCWG-HU feldolgozása esetén ugyanolyan környezeti



3. ábra

hatás (emisszió) érhető el, mint amit a 2. pont alatt ismertettünk, csak még jobb energetikai hatások, valamint kisebb CAPEX és OPEX mellett.

A vonatkozó CAPEX és OPEX számok meghatározása, illetve részletes vizsgálata meghaladja ezen tanulmány kereteit.

Azonban könnyű belátni, hogy a két üzem (biogáz plusz SCWG) CAPEX és OPEX számai jelentősen magasabbak, mint amikor csak a SCWG-HU eljárás létezik és üzemel.

A 4,56 t/h nyers iszap SCWG-HU feldolgozásával $4,56 \text{ t/h} \cdot 8.000 \text{ h/év} \cdot 4.180 \text{ MJ/t} \cdot 0,68$: $34 \text{ MJ/m}^3 = 3.049.728 \text{ m}^3/\text{év}$ metánnak megfelelő energiatartalmú szintézisgáz keletkezik. Mivel a metanizátor energetikai hatásfoka 83% körül van, ezzel be kell szorozni a szintézisgáz mennyiségét, vagyis $3.049.728 \cdot 0,83 = 2.531.274 \text{ m}^3/\text{év}$ metán mennyiséggel számolhatunk. Ez a mennyiség még mindig több mint kétszerese a biogáz metán tartalmának ($1.200.000 \text{ m}^3/\text{év}$). 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. Akkor megtakaríthatjuk a metanizátor energetikai hatásfokából eredő veszteségeket. Ebben az esetben $3.049.728 \text{ m}^3 : 2.531.274 \text{ m}^3 = 1,205$ vagyis 20,5%-kal több energiát kapunk. Így még jelentősebb a SCWG-HU eljárás előnye a biogáz technológiával szemben $3.049.728 : 1.200.000 = 2,54$ vagyis az SCWG-HU üzemből keletkező szintézisgáz energiatartalma mintegy a két

és félszerese a biogáz üzemből nyerhető metán energiatartalmának.

A SCWG-HU üzemből keletkező szintézisgáz energiatartalma $4,56 \text{ t/h} \cdot 8.000 \text{ h/év} \cdot 4,18 \text{ GJ/t} \cdot 0,68 = 103.691 \text{ GJ/év}$; $103.691 \text{ GJ/év} : 3,6 \text{ GJ/MWh} = 28.803 \text{ MWh/év}$

A 3. sz. ábrán jelöltük a vízbontót is, arra az esetre, ha a szintézisgázban több metán és kevesebb hidrogén keletkezik, tehát a szintézisgáz széndioxid tartalmának a metanizáláshoz szükség van a vízbontóból származó hidrogénre is, de az egyszerűség kedvéért ezzel az esettel most nem számolunk.

A biogáz technológia helyett csak a SCWG-HU eljárás alkalmazása új beruházás esetén is megfelelő megoldás lehet, ha olyan nedves biomasszák feldolgozásáról van szó, amelyek biogáz technológiával való feldolgozása nehéz és rosszabb hatásfokú, pl. a lignin esetében (lásd lignin-zagy, a 2. generációs bioetanol gyártás mellékterméke). A nagy nedvességtartalmú fosszilis energiahordozók, például az 50% körüli nedvességtartalmú lignitek feldolgozása biogáz üzemből nem is lehetséges, viszont a SCWG-HU eljárás a lignitek esetében tisztaszen technológiát jelenthet. Az SCWG-HU technológiával elérhető lehetőségekkel kapcsolatosan a [20] szakcikk nyújt bővebb információt.

Megjegyzés:

A fenti 1., 2., 3. ábrák csak elvi vázlatok, amelyek nem tartalmazzak minden működéshez szükséges elemet (szelepeket, tartályokat, kompresszorokat, szeparátorokat stb.).

ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgált 3 technológiai változat műszaki gazdasági jellemzőit az alábbi két táblázatban foglaltuk össze.

Az 1. számú táblázat a vizsgált 4,56 t/h (36.480 t/év) kapacitású üzemméretre számított adatokat tartalmazza.

A táblázat vízszintes sorai a 3 különféle technológiára vonatkozó adatokat tartalmazzák, a függőleges oszlopokban megjelölt környezeti, energetikai jellemzőket illetően.

Az 1.-ső és 2.-ik oszlop a metán-termelés CO² emisszióját mutatja be, annak három fő típusával: a biogázban lévő-, a rothasztott iszap lerakása-, és a rothasztott iszap szállítása következtében keletkező CO² kibocsátásokat. Nem számolunk a termelt metán, és szintézisgáz gázmotorban vagy kazánban való elégetésének széndioxid kibocsátásával, mivel

az mind a 3 technológia esetében ugyanolyan kibocsátási jellemzőkkel bír. (Ez a fajta kibocsátás szüntethető meg a gázmotor alapú, zero CO² kibocsátású, szintetikus földgázt előállító, zárt ciklusú körforgásos P2G eljárással – lásd www.coopinter.hu/letoltések).

A 9.-ik oszlopban szereplő energetikai hatásokokat az adott technológiából metán és/vagy szintézisgáz formájában nyert energiamennyiség-, és a rendszerbe nyers iszap-, plusz a vízbontót működtető karbonmentes (nap, szél, nukleáris) energia formájában bevitt energiamennyiség hányadosaként határoztuk meg: a 3.+4.+7. oszlop értékeinek összege osztva a 6.+8. oszlop értékei összegével. Az egyes technológiák által a nyers-iszapból termelhető energiamennyiségeket a 10. oszlop tartalmazza.

A rothasztott iszapok elszállításával és lerakásával kapcsolatos költségnek nincs oszlopa,

1.sz. táblázat	1.CO₂ emisszió csökkentés (t/év)	2.CO₂ emisszió, annak csökkentése után (t/év)	3.Termelt biogáz-energia, metán (MWh/év)	4.Termelt SCWG energia, metán (MWh/év)	5.Vízbontó teljesítménye (MW)	6.Felhasznált karbonmentes villamosenergia (MWh/év)	7.Termelt P2G energia, metán (MWh/év)	8.A biogáz és a SCWG üzemekbe bevitt iszap-energia (MWh/év)	9.Energetikai hatások (%)	10.Az iszapból termelhető energia mennyisége (MWh/év)
1.Csak a P2G eljárás alkalmazása biogáz feljavításra, a biogáz metanizációja útján.	742	2.733	11.333	---	1,8	7.096	3.723	42.357	30,4	11.333
2.A rothasztott iszap SCWG-HU feldolgozása, plusz a biogáz és a szintézisgáz együttes P2G metanizációja.	2.633	842	11.333	15.040	1.8	7.096	3.723	42.357	60,9	26.373
3.A teljes iszapmennyiség közvetlen SCWG-HU feldolgozása és a szintézisgáz P2G metanizációja.	3.475	---	---	28.803	---	---	---	42.357	68,0	28.803

annak értéke a mintaüzem esetében 507,5 millió Ft/év, országosan 17.1 milliárd Ft/év.

KÖVETKEZTETÉSEK

A P2G és SCWG-HU technológiák szennyvíztelepi biogáz üzemekbe való integrálása feljavítja a biogáz üzemek műszaki paramétereit, azok együttes bevezetése gazdasági-, és környezeti szempontból is célszerű.

A P2G technológia biogáz üzembe való integrálása CO² emisszió csökkentéssel jár, a biogáz széndioxid tartalma metanizálásának köszönhetően. Egyben lehetővé teszi a karbonmentes villamos energiák szezonális tárolását is.

Ha a P2G technológia mellé, a rothasztott iszapok feldolgozása céljából, a SCWG-HU technológiát is integráljuk a biogáz üzemekbe, akkor több mint kétszeresére nő a telep iszaptól való energiatermelése és mintegy háromszorosára nő a CO² emisszió csökkentésének mértéke.

Ennek oka az, hogy az emisszió forrása a biogáz 40% körüli széndioxid tartalma mellett, elsősorban a rothasztott iszap lerakásból származó talajemisszió, valamint a szállítási emissziója.

A SCWG-HU eljárás integrálásának jelentős hozadéka a rothasztott iszapok energiahasznosítása mellett az azokkal kapcsolatos szállítási és lerakási költségek drasztikus csökkentése.

Ha a nyers iszapot közvetlenül SCWG-HU technológiával dolgozzuk fel (például a biogáz üzem teljes amortizációját követően), akkor a telep energiatermelése még további 20% körüli mértékben nő,

a CO²emisszió-csökkenés pedig több mint a négyszerese lehet, a csak P2G technológia alkalmazásához képest.

Ebben az esetben is megszűnnek a rothasztott iszapokkal kapcsolatos szállítási és lerakási költségek.

A tárgyi tanulmány kimutatta, hogy a biogáz üzemek feljavításának legcélszerűbb módja, ha azok két legjelentősebb veszteség-, és emisszióforrását, a biogáz széndioxidtartalmát és a rothasztott iszapokat egyszerre szüntetjük meg: a P2G eljárással a biogáz széndioxid tartalmát metanizáljuk, a SCWG-HU technológiával pedig a rothasztott iszapok energiataralmát hasznosítjuk, valamint megszüntetjük az azok szállításával és lerakásával kapcsolatos költségeket és a kapcsolódó CO² emissziót.

Magyarországon az 1,23 millió tonna/év víztelenített szennyvíziszap 970.661 MWh/év megújuló energiaforrást jelent, amelynek SCWG-HU feldolgozása, a villamosenergia termelés mellett, mintegy 8.450 t/év karbonzegény hidrogén előállítását is lehetővé teheti, 117.108 t/év széndioxid-kibocsátás megakadályozása mellett.

A SCWG-HU eljárás szennyvíztelepekbe való integrálása mintegy 17,1 milliárd Ft/év szállítási és lerakási költség megtakarítását teszi lehetővé, a rothasztott-iszapokkal kapcsolatosan felmerülő szállítási igény drasztikus (90% feletti) csökkentésének köszönhetően.

A SCWG-HU technológia szennyvíztelepi alkalmazása lehetővé teheti a technológiai eljárás végén a maradvány-anyagból a foszfor-vegyületek kivonását, és keletkeztethet mintegy évi kilencszázmillió liter 650 °C-on

kezelt tiszta vizet ipari célra, pl. a P2G technológia elektromos vízbontóinak tápvizét biztosíthatja.

Korunk legnagyobb kihívásai közé tartozik a lerakott hulladékok- és a széndioxid-kibocsátás mennyiségének csökkentése, a körkörös gazdaság és a hidrogéngazdaság megteremtése, a megújuló energiaforrások

hasznosítása, valamint az energiahordozók importjától való részleges függetlenedés.

A rothasztott iszapok SCWG-HU technológiával történő feldolgozása egyszerre felel meg mindezen célkitűzéseknek. A fenti előnyök célszerűvé teszik egy szennyvíztelepi SCWG-HU pilot projekt mielőbbi megvalósításának kormányzati támogatását.

► IRODALOMJEGYZÉK

ÖNÉLETRAJZ:



Hujber Ottó okl. villamos mérnök (Moszkvai Energetikai Egyetem, 1979, Summa Cum Laude), a Coopinter Kft. műszaki igazgatójaként a nedves biomasszák hasznosítási lehetőségeivel foglalkozik. Fő kutatási és fejlesztési területe a szuperkritikus vizek ipari hasznosítása, kiemelt tekintettel a szuperkritikus vizes oxidációs-, (SCWO) és a szuperkritikus vizes elgázosítási (SCWG) technológiákra.