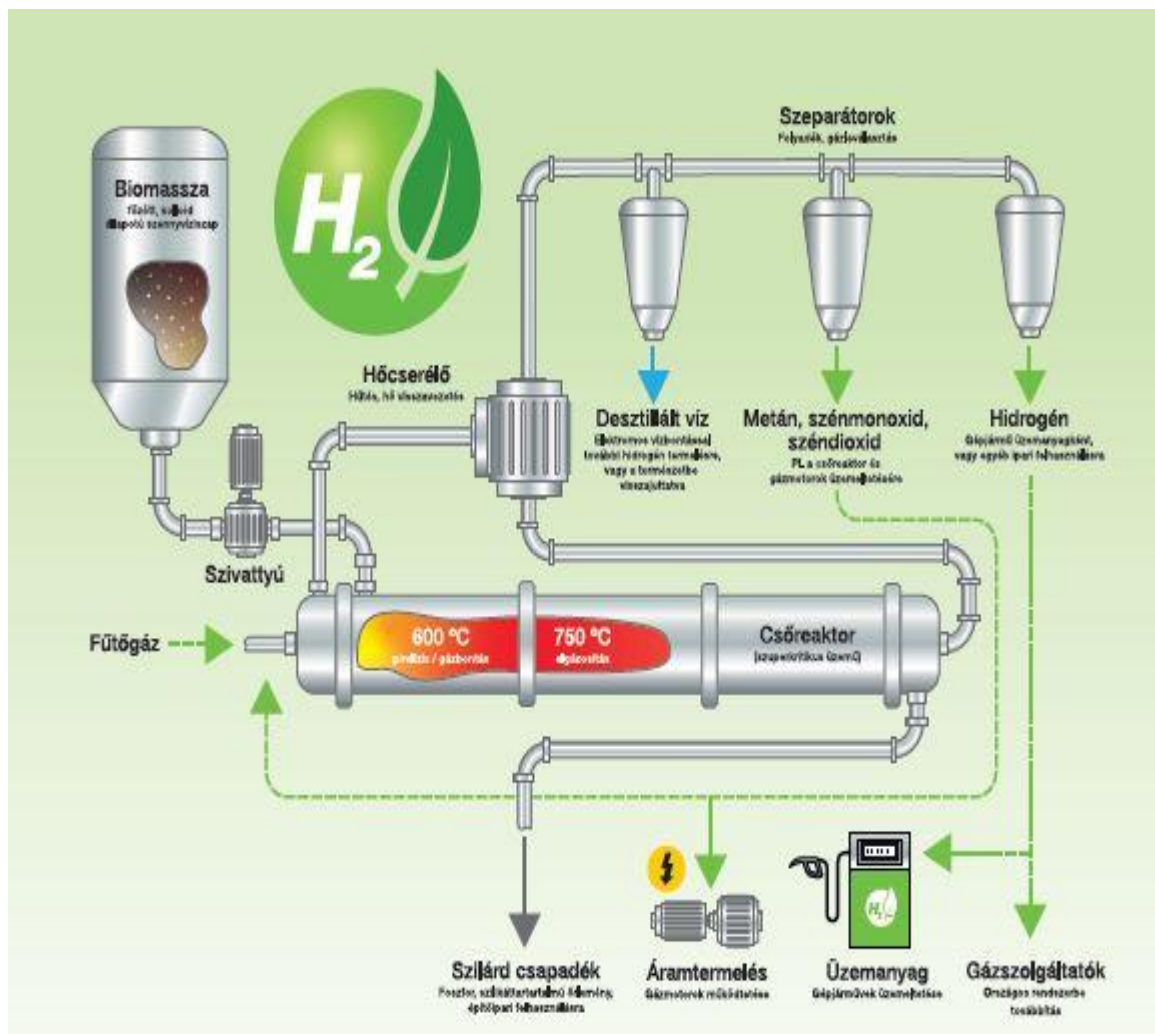


Szennyvíziszapok szuperkritikus vizes elgázosítása; Nedves biomassza alapú hidrogénelőállítás

(Mintaprojekt)



Tartalom

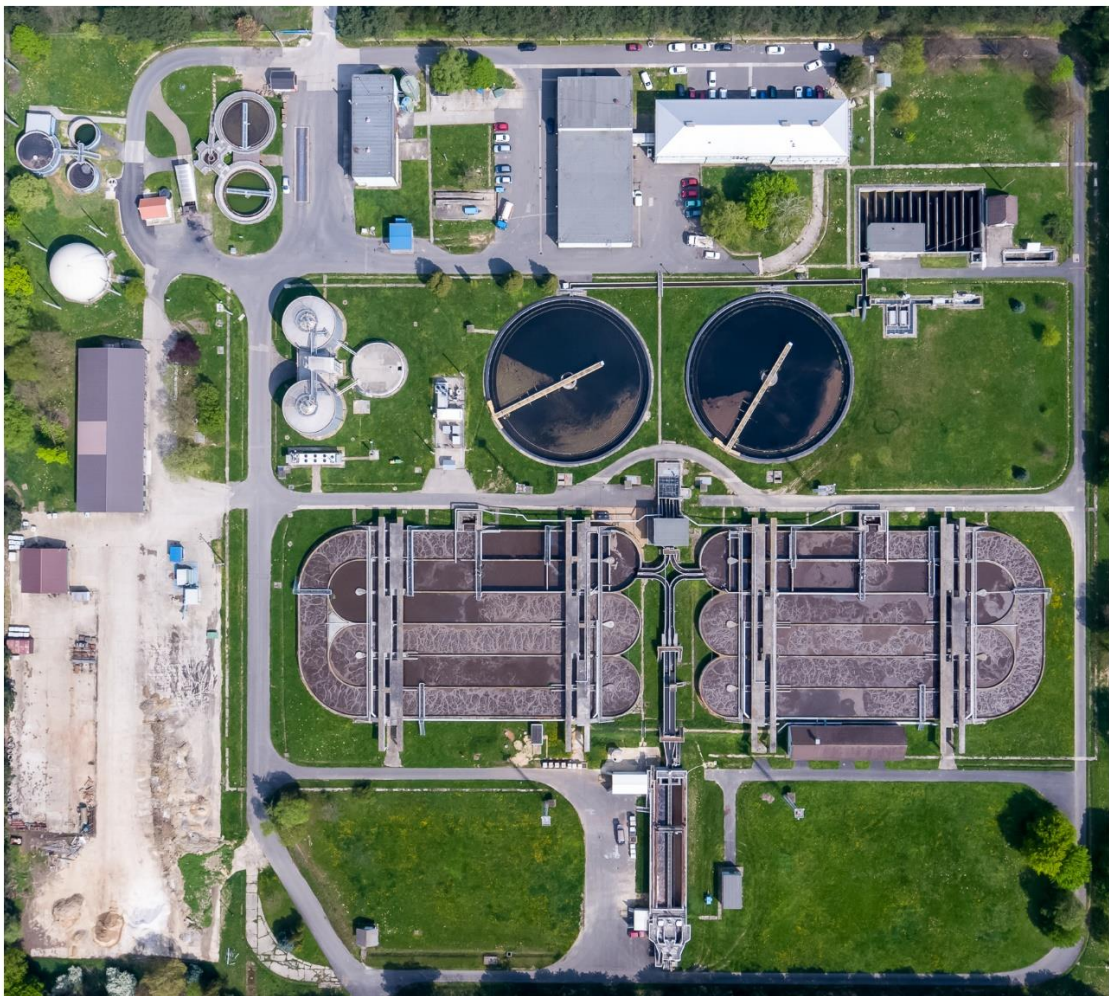
1.	A projektet megvalósítani szándékozó szervezetek.....	3
2.	A projekt célkitűzései	3
3.	A projekt rövid bemutatása (SCWG)	4
3.1.	A projekt műszaki-tudományos tartalma.....	4
3.2.	Mi az a szuperkritikus víz?.....	5
4.	A szuperkritikus vizes technológiák helyzete	7
4.1.	A szuperkritikus vizes oxidáció (SCWO).....	8
4.2.	A szuperkritikus vizes elgázosítás (SCWG).....	11
4.2.1.	A Karlsruhei Technológiai Egyetem (KIT) pilot projektje.....	11
4.2.2.	A svájci Paul Scherrer Institut (PSI) pilot projektje.....	12
5.	Az SCWG megoldandó műszaki problémái, technológiai kihívások.....	13
6.	A SCWG-HU technológia felépítése, működése	14
6.1.	Az 5. pont alatt felsorolt műszaki kihívások SCWG-HU általi kezelése	17
7.	A SCWG-HU jelenlegi státusa	19
8.	A szükséges ipari kutatások és kísérleti fejlesztések ismertetése.....	19
9.	A SCWG-HU technológiában rejlő energetikai és gazdasági potenciál	21
9.2.	A szennyvíztelepek mint megújuló-hidrogén források.....	21
9.3.	Biomassza mennyiségek a SCWG technológia számára.....	22
9.4.	A SCWG alapú energiatermelési potenciál Magyarországon.....	22
9.5.	A SCWG-HU projekt várható pozitív gazdasági hatásai, összegezve	23
10.	A projekt szakterületi, iparági jelentősége, regionális hatása.....	24
11.	A projekt illeszkedése a Magyar Hidrogénstratégia céljaihoz.....	24
12.	A projekt S3-hoz való illeszkedésének bemutatása	25
13.	A projekt megvalósításának költségei, finanszírozási igénye.....	25
14.	A projekt időszerűsége, aktualitása.....	26
15.	Zárszó.....	26
16.	Irodalomjegyzék	27

1. A projektet megvalósítani szándékozó szervezetek

A leendő projektet a résztvevők konzorcium formájában, közvetlen állami támogatás keretében szeretnék megvalósítani, az alábbiak szerint:

- **Zalavíz Zrt**, mint a konzorcium vezetője, projektgazda, (<https://www.zalaviz.hu/>), email: Arnhoffer András vezerigazgato@zalaviz.hu
- **Pannon Egyetem**, mint konzorciumi tag, (<https://zek.uni-pannon.hu>), email: Dr. Prof. Szalai István szalai@almos.uni-pannon.hu
- **Coopinter Kft** mérnökiroda, tervező alvállalkozóként, mint K+F szolgáltató az ipari kutatás és a kísérleti fejlesztés vezetője (a SCWG-HU technológia gazdája); www.coopinter.hu, email: Hujber Ottó műszaki igazgató otto.hujber@coopinter.hu

A leendő projektet a Zalavíz Zrt szennyvíztelepébe tervezzük integrálni:



2. A projekt célkitűzései

A Projekt összetett célokat tűzött ki:

- A Zalavíz Zrt energetikailag önellátóvá való tétele;
- A Zalavíz Zrt-nél keletkező rothasztott iszapok szállítási költségének radikális csökkentése;
- A Zalavíz Zrt szennyvíztelep CO₂ kibocsátásának nagymértékű csökkentése;

- A Zalavíz Zrt szennyvíziszapjából értékesíthető hő és villamos energia-, valamint karbonszegény hidrogén termelése;
- A kifejlesztett és Zalavíz Zrt-nél bevezetett szuperkritikus vizes elgázosítási (SCWG-HU) technológiából a nemzetközi piacokon is versenyképes termékcsalád kialakítása; a jelen technológia és berendezései értékesítéséből folyamatos, évről-évre növekvő nagyságú hazai- és export-árbevétel generálása.

További gazdasági célok:

- A Zalavíz Zrt területén megvalósított, energetikai célú lakossági szennyvíziszap feldolgozó SCWG-HU technológia adaptálása az ipari (pl. húsipari, söripari, konzervipari, papíripari, cukoripari stb.) szennyvíziszapok, valamint az egyéb nedves biomasszák (pl. vágóhídi hulladékok, belsőségek, nedves toll, romlott élelmiszerek, cukorgyári kipréselt fölős répaszelet, működő biogáz üzemek fenékmaradványai, állattartó telepek hígtrágyái, a kommunális hulladékvalogató üzemek nedves szerves frakciói stb.) megújuló energia-termelő potenciáljának megteremtése céljából.
- A 2G cellulóz alapú etanol technológiák 40-90 % körüli nedvességtartalmú melléktermékeit (lignin, szeszmoslék) jelenleg rossz hatásfokkal feldolgozó technológiák (szárítás, égetés) kiváltása.

Közösségi célok:

- A körkörös gazdaság kialakítása a Zalavíz Zrt szennyvíztelepén, a szennyvíziszapokban lévő foszforvegyületek kivonhatóvá tételével és a szennyvíziszapokból való desztillált víz termelésével. Közösségi cél ezen technológiák széles körű elterjesztése.
- Oktatási funkció betöltése. A Zalavíz Zrt szennyvíztelepén felépülő és működő projekt modern oktatási segédeszköz, laboratóriumi foglalkozásokat lehetővé objektum lehet, amely magas fokon tudja támogatni a Pannon Egyetem mérnökképzését.
- Mintaprojekt funkció betöltése. A Zalavíz Zrt területén felépített és működtetett jelen projekt, mint a nedves biomasszából történő karbonszegény hidrogén előállítás mintaprojektje, alapja lehet szakmai turizmusnak is, a város területére szervezhető üzemlátogatások, szakmai konferenciák és technológiai bemutatók.

3. A projekt rövid bemutatása (SCWG-HU)

3.1. A projekt műszaki-tudományos tartalma

A szennyvíziszap, mint nedves biomassza, hagyományos módon, elégetés útján történő energetikai hasznosítása nem célszerű, hiszen a „víztelenített” iszap nedvességtartalma 80 % körül van és emiatt az égetés hatásfoka nagyon alacsony – az ily módon nyert energia mennyisége, még modernebb eljárások esetén is elég csekély. A hagyományos égetés energiabalansza, a szárítás-, vagy a támasztó-tüzelés energiaigénye miatt, jó esetben is, alig pozitív.

Az égetéssel történő energetikai iszap-hasznosítás környezetvédelmi szempontból sem kívánatos, elsősorban a füstgázban található káros anyagok emissiója miatt.

Modern eljárások esetén, például amikor a szennyvíziszapból biogázt állítanak elő és azt gázmotorban elégetve villamos áramot termelnek, a folyamat energiabalansza már sokkal jobb, de annak összhatásfoka még mindig elég alacsonynak mondható.

Ennek oka kettős: a rothasztás végén, a rothasztókból kikerülő maradvány (rothasztott iszap) szervesanyag tartalma még az eredeti szervesanyag tartalom mintegy 50%-a, és a keletkező biogáz jelentős mennyiségű (40% körüli) széndioxidot tartalmaz.

Magyarországon 61 db 89,9 MW összteljesítményű biogáz erőmű működik, jelentős részük a szennyvíztelepeken. A keletkező biogáz 40% körüli széndioxid tartalma többlet-légkörszennyezésként kerül a környezetbe. A helyzetet tovább rontja, hogy a biogázzá történő feldolgozás eredményeképpen keletkező, rothasztókból kikerülő fenék-maradvány (rothasztott iszap) még jelentős szervesanyag tartalommal bír, amely annak mezőgazdasági hasznosítása vagy lerakása esetén, részben széndioxiddá, részben pedig metánná bomlik.

A biogáz széndioxidtartalma által okozott környezeti problémát P2G technológiával kezelni lehet, de a rothasztott iszapok lerakása által okozott, mintegy tízszeres nagyságú üvegház hatású gázkibocsátás még megmarad.

Az általunk javasolt jelen megoldás, a szuperkritikus vizes elgázosítás (SCWG) alkalmazása a lakossági és az ipari (pl. húsipari, söripari, konzervipari, papíripari, cukoripari stb.) szennyvíziszapok, valamint az egyéb nedves biomasszák (pl. vágóhídi hulladékok, belsek, nedves toll, romlott élelmiszerek, főlös cukorgyári kipréselt répaszelet, működő biogáz üzemek fenékmaradványai, az állattartó telepek híg trágyái, a kommunális hulladékvalogató üzemek nedves szerves frakciói stb.) magas hidrogéntartalmú gázzá való feldolgozására, a leghatékonyabb energetikai és környezeti megoldás, amely térben elosztottan rendelkezésre álló, megújuló karbonszegény hidrogén forrást jelent, a potenciális felhasználókhoz közel. A SCWG technológia csőreaktorából kikerülő generátorgáz magas hidrogéntartalma jelentős mennyiségű, folyamatos karbonszegény hidrogén forrást biztosíthat a személyautók-, és az autóbuszok számára a városokban, valamint a kamionok számára is a fő közlekedési folyosók mentén.

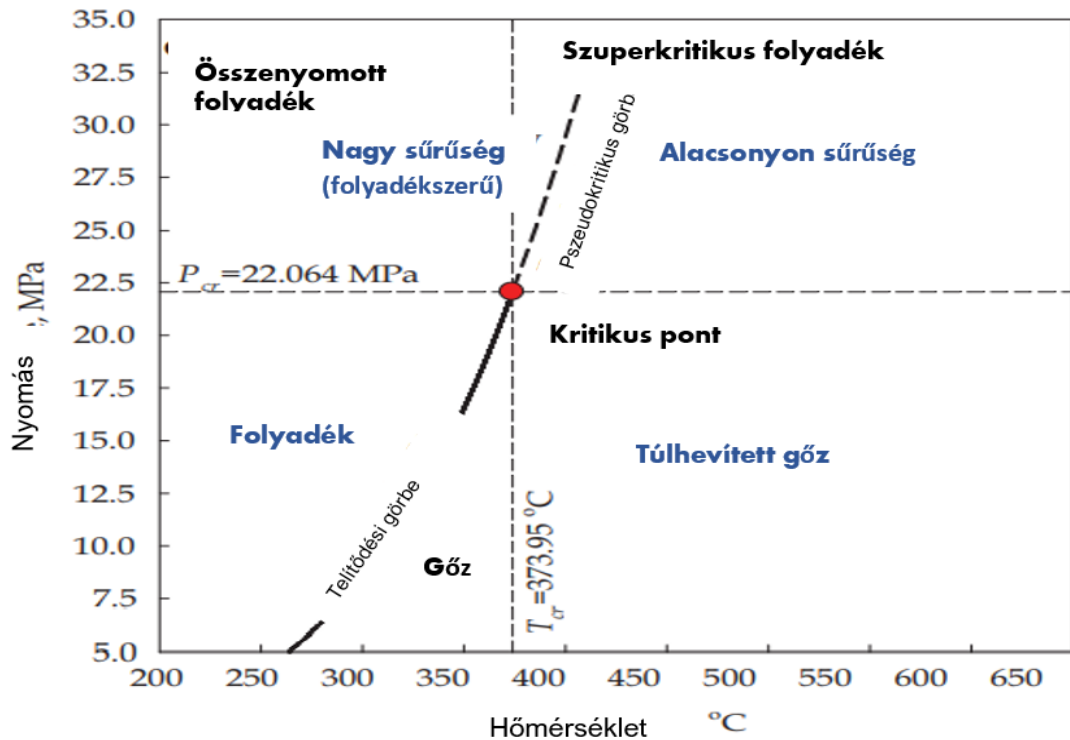
A nagy nedvességtartalmú biomasszák energetikai feldolgozása szuperkritikus vizes elgázosítással (SCWG) célszerű a magas energetikai határfok-, és a jelentős mennyiségű hidrogén keletkezése miatt.

3.2. Mi az a szuperkritikus víz?

Az anyagok kritikus pontját, mint jelenséget, 1822-ben fedezte fel Charles Cogniard de la Tour francia fizikus.

A víz kritikus paraméterei: $T = 374 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 221 \text{ bar}$.

Amint az 1. sz. ábra mutatja, a víz 221 bar nyomás felett már nem megy keresztül fázisváltáson, vagyis bármennyire is emeljük annak hőmérsékletét, nem válik gőzzé. A víz sűrűsége viszont, átlépve a kritikus pontot, egyre csökken és a víz viselkedése gőz-szerűvé válik.



1.sz. ábra

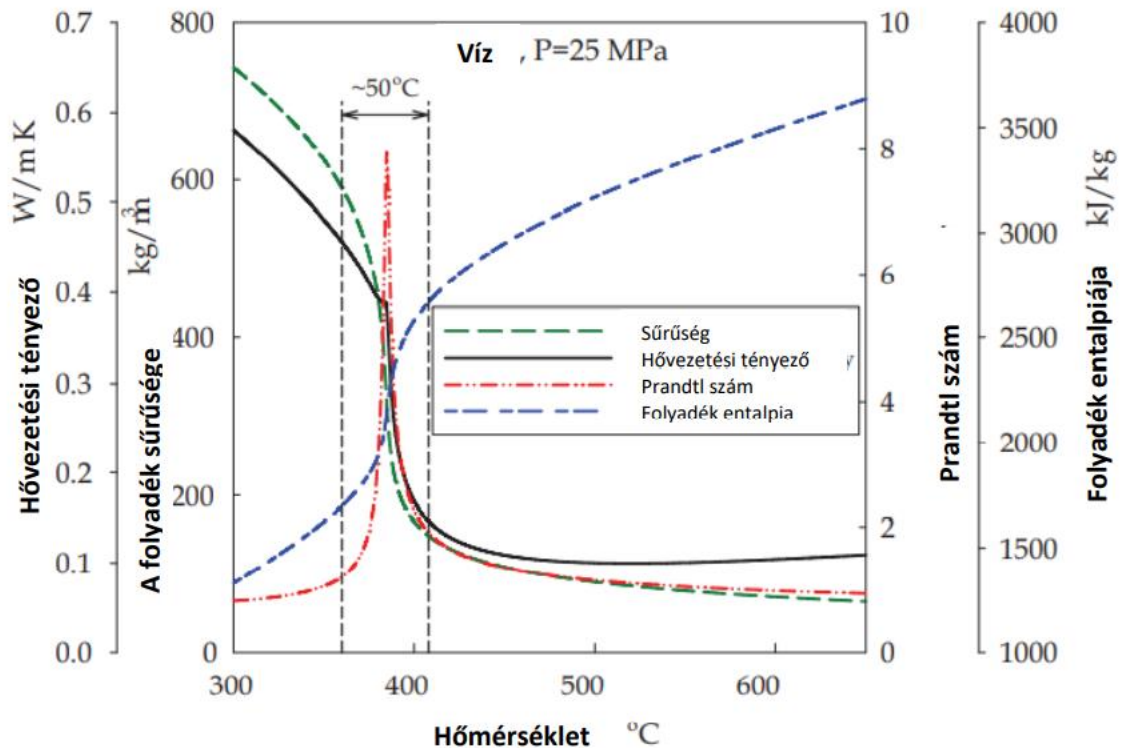
A szuperkritikus víz (SCW) tulajdonságai szerint gőzszerű víz vagy vízszzerű gőz. Ezért „szuperkritikus folyadék” helyett helyesebb a „szuperkritikus fluidum” kifejezést használni.

A víz fizikai és kémiai tulajdonságai a kritikus pontot átlépve gyors változáson mennek keresztül. Többek között jelentősen megváltozik a víz sűrűsége, viszkozitása, dielektromos állandója (relatív permittivitása), oldási képességei, entalpiája és hőátadási tényezője is (lásd 2. sz. ábra).

Átlépve a kritikus pontot, a víz kiváló oldószerré válik a szerves anyagok számára és már nem oldja a szervetlen anyagokat.

A kritikus paramétereken túli tulajdonságai a vizet kiválóan alkalmassá teszik „zöld” vegyipari technológiák megvalósítására.

A szuperkritikus víz (fluidum) környezetipari és egyéb technológiai alkalmazását, nagy teljesítményű, folyamatos üzemű csőreaktorok megvalósítását, sokáig gátolta a magas hőmérsékletet és nagy nyomást egyidejűleg jól viselő szerkezeti anyagok hiánya. Az utóbbi 10 évben, már a gépípar számára is elérhető áron, megjelentek olyan CrNi ötvözetű csövek pl. Inconel 740 H, Sanicro 25 stb., amelyek lehetővé tesznek 650-700 °C hőmérsékletet 260-320 bar nyomás mellett.



2.sz. ábra

Az elmúlt évtizedekben számos laboratóriumi kísérletet végeztek a nedves biomassák szuperkritikus vizes elgázosításával kapcsolatban.

Ezek eredményeképpen megállapítást nyert, hogy a nedves biomassák tekintetében a SCWG technológia jó hatásfokú, fizibilis eljárás, amelynek ipari méretű megvalósítása érdekében még számos kihívást kell kezelni, több műszaki problémát meg kell oldani.

A legfontosabb azonban az, hogy a SCWG technológia több helyen is, pilot projektek keretében, hosszú időn keresztül bizonyította az életképességét – perspektivikus technológiának bizonyult a nedves biomassák energiahatékony feldolgozásához.

4. A szuperkritikus vizes technológiák helyzete

A szuperkritikus vizes technológiák két fő típusát különböztetjük meg úgy, mint a szuperkritikus vizes oxidációt (SCWO) és a szuperkritikus vizes elgázosítást (SCWG).

A SCWO-t elsősorban veszélyes hulladékok megsemmisítésénél alkalmazzák.

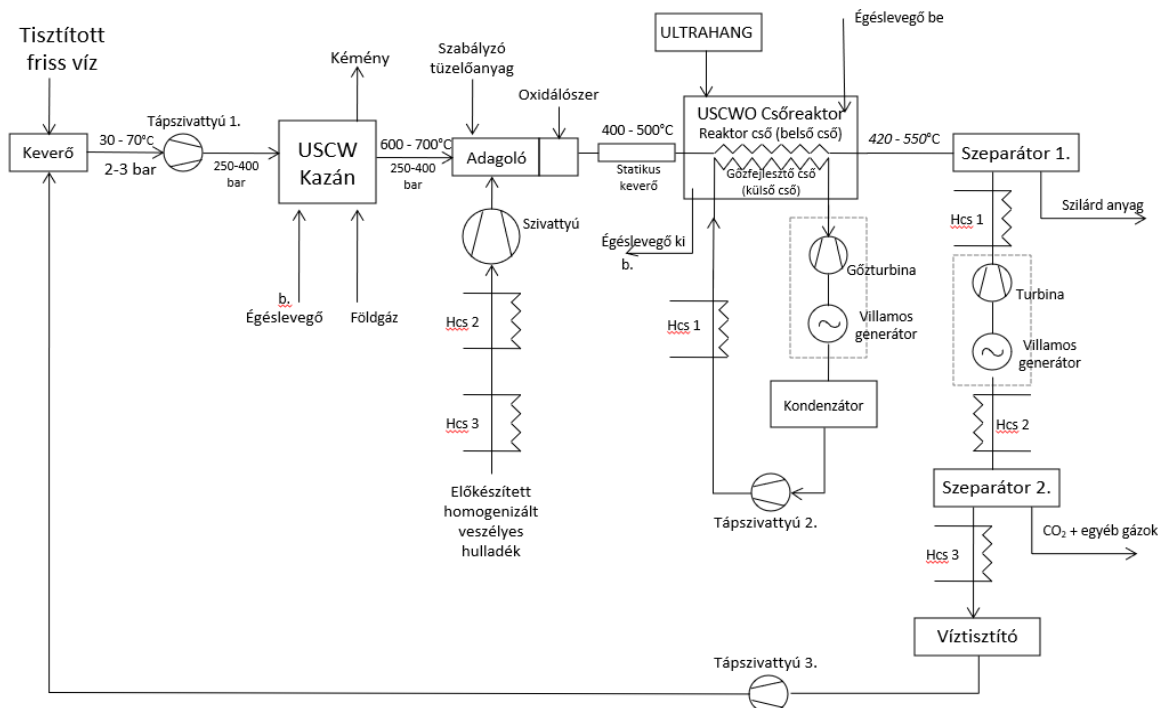
A SCWO, ha azzal nedves biomassát dolgozunk fel energetikai hasznosítási céllal, akkor annak termikus és villamos hatásfoka jelentősen meghaladja az égetés hatásfokát, és energetikai mutatói a biogáz üzemek hasonló adatainál is jobbak, azonban jelentősen elmaradnak a SCWG üzemek kiváló hatásfok-mutatóitól.

A SCWO beruházási költsége (CAPEX) alacsonyabb, üzemeltetési költsége (OPEX) azonban jóval magasabb a SCWG üzemek ezen paramétereinél, azonos teljesítmény esetén.

4.1. A szuperkritikus vizes oxidáció (SCWO)

A szuperkritikus vizes oxidáció exoterm folyamat, ahol az oxigénnel dúsított szuperkritikus vízben a szervesanyag energiataralma hővé alakul a reaktorban. Az így fejlődő hő elvezetésén és hasznosításán alapul a SCWO technológia.

A 3.sz. ábra az SCW oxidációs technológia egy lehetséges elvi felépítését mutatja be.



3.sz. ábra

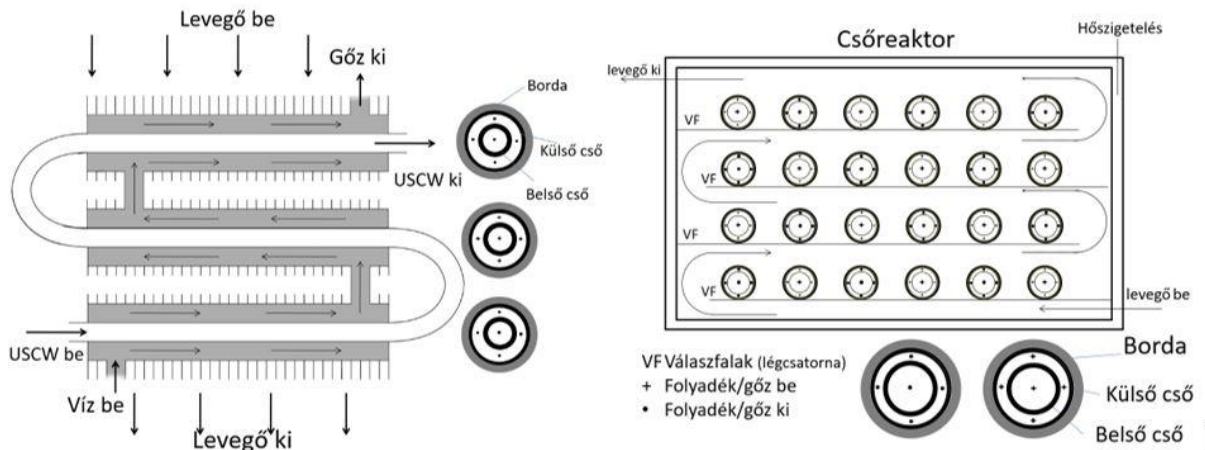
A hulladékok oxidációja során, a felszabaduló hőenergiát a csőreaktor reaktorcsövétől hidraulikusan független, de azzal szoros termikus kapcsolatban lévő gőzfejlesztő csőkiágó túlhevített gőzzé alakítja. A gőz hasznosítása a technológia részét képező gőzturbinás kiserőműben történik.

A rendszerben uralkodó, a csőreaktor szuperkritikus üzemének előállításához szükséges nyomás (250–300 bar) energiáját ez a változat célszerűen egy tárcsás turbinával légköri nyomásra történő expandálás útján hasznosítja.

A megsemmisítendő VH „hordozó anyagát” – az ultraszuperkritikus-vizet – egy speciális konténer-kazán állítja elő. A SCW kazán szabályozható módon változtatható paraméterekkel rendelkezik 500–700°C hőmérséklet- és 250–400 bar nyomástartományokban. A kazán csőkötege három különálló, egyenként kollektorokkal összefogott csőkiágóból áll, egymás fölött elhelyezve, kiváló hőátadást és jó termikus hatásfokot biztosítva.

A SCW oxidációs technológia meghatározó berendezése a szuperkritikus üzemű csőreaktor, amelynek felépítését a 4.sz. ábra mutatja.

A csőreaktor-berendezés két termikusan csatolt, de hidraulikusan független csőkígyót tartalmaz. Egy lehetséges kialakítás szerint, egymásba építve, cső-a-csőben hőcserélőknek megfelelően. A reaktorcsövek korrózióknak, nyomásnak és hőnek jól ellenálló NiCr ötvözetből (INCONEL 740H) készülnek. A hőhasznosítást végző termikusan csatolt csőkígyó P91 kazánacélból gyártható.



4.sz. ábra

A csőreaktor összetett funkciójú berendezés. Egyrészt biztosítja a VH – SCW – oxidálószer elegynek a reakció-paraméterek által megkövetelt nyomás és hőmérséklet melletti, szükséges időtartamú tartózkodását, a megsemmisítendő VH teljes oxidációját. Másrészt biztosítja az exoterm reakció mellett felszabaduló hőenergia folyamatos elvezetését, ezzel biztosítva a rendszer hőstabilitását. Továbbá tartalmaz egy teljesítmény-ultrahang generátort annak rezgőfejeivel együtt, amelyek feladata a csőreaktor reakciócsövei belső felületeinek tisztán tartása.

A tárgyi SCWO technológia működése:

Az USCW kazán a tápvizet a tápvízszivattyútól kapja, amelynek nyomását és teljesítményét a VH által megkövetelt csőreaktori technológiai paraméterek és a VH/SCW arány határozzák meg. Az adagoló egység vízsugár-szivattyú elvén működő eszköz, amely hatékonyan oldja meg az SCW és az előkészített, homogenizált VH, az oxidálószer, valamint a szabályozó tüzelőanyag egyenletes keveredését, majd az így keletkezett elegynek a csőreaktor reaktorcsövébe történő adagolását. A reaktorcsőbe juttatott elegy, a megsemmisítendő VH-ra jellemző reakció-idő (jellemzően $0,5-5,0 \text{ min}$) alatt, áthalad a reaktor-csőkígyón, mialatt megtörténik a VH oxidációja. Közben az oxidációt kísérő hőfejlődés hőenergiája folyamatosan átadódik a reaktor-csőkígyóval közvetlen termikus kapcsolatban álló gőzfejlesztő csőkígyónak. Mindezzel párhuzamosan a külső csőkígyó bordázott felülete felmelegíti, előfűti az USCW kazán csőreaktoron áthaladó égéslevegőjét. Ez a megoldás a kazán gázfogyasztását mintegy 50%-kal lecsökkenti.

A gőzfejlesztő csőkígyó által fejlesztett túlhevített gőz a gőzturbinába-, majd annak a gőzkondenzátorába kerül. A kondenzvizet a tápvíz-szivattyú, egy tápvíz-előmelegítő hőcserélőn keresztül, ismét a gőzfejlesztő csőkígyóba juttatja. Ott a hőcserélő által előmelegített tápvízből ismét túlhevített gőz keletkezik.

A folyamat így ismétlődik tovább, ciklikusan, villamos energiát termelve.

A reaktor-csőkígyóból kilépő fluidum energiátartalmát elegyturbina – villamos generátor gépcsoport hasznosítja, a reaktor-csőkígyóban uralkodó nyomás légköri nyomásra történő

expandálásával. A nyomás redukálása szükséges a kazánvíz minőséget előállító víztisztító üzeme szempontjából.

Az előkészített homogenizált VH-t hőcserélők melegítik elő. A szerves anyagot tartalmazó VH mintegy 180–300°C-ra melegíthető elő, annak szerves-anyaga típusától függően.

Szeperatorok tisztítják meg a csőreaktorból kilépő fluidumot annak inert-anyag tartalmától. A víztisztító kazánvíz minőségű vizet állít elő a hőcserélők által lehűtött-, és a szeperatorok által megtisztított fluidumból. A tápszivattyú az így nyert tápvizet, tisztított friss-vízzel kiegészítve, az USCW kazán nagynyomású tápszivattyújához juttatja, és a VH megsemmisítés ciklikusan így ismétlődik.

Az ismertett technológia és eljárás termikus hatásfoka 70% körül van, a megsemmisítendő VH típusának, anyagának, és a berendezés teljesítményének függvényében.

Jelenleg hét cég foglalkozik kereskedelmileg érett SCWO technológia értékesítésével, amelyek közül a General Atomics (GA) a legrégebbi. A GA 1996 -ban megvásárolta az első SCWO vállalatot (MODAR) és annak tudásvagyományát. Nagy tapasztalattal és számos kialakítási móddal (például mechanikai tisztítás, adalékanyagok hozzáadása) rendelkezik a korrózió és a szervesetlen sók kicsapódásának területén, ezért szélsőséges veszélyes hulladékok ártalmatlanítását is végzik. Jelenleg neurotoxikus anyagok, vegyi reagensek, robbanóanyagok, haditengerészeti fedélzeti hulladékok, rakétahajtóanyagok és egyéb hulladékok ártalmatlanításával foglalkozik az Amerikai Egyesült Államok területén két üzemben (egy 11,4 l/min és egy 4,5 l/min kapacitású).

A Hanwha, amely főleg vegyiparban keletkező veszélyes hulladékokat ártalmatlanít - csőreaktor és tartályreaktor típusú SCWO technológiával is rendelkezik.

Az SRI International az SCWO technológiát a japán vállalatok számára értékesíti PCB -k (poliklórozott bifenilek) kezelésére. Az Aquarden Technologies gyógyszeripari hulladékok, hormonok és endokrin rendszert károsító anyagok ártalmatlanítását, valamint az Odense-i hulladéklerakók csurgalékvízének kezelését végzi.

A SuperWater Solutions 2009-ben 5 t/nap száraz iszap kezelésére alkalmas SCWO bemutatóüzemet épített Orlandóban, és egy 300 t/nap kommunális iszap (80% -os nedvességtartalom) kezelésére szolgáló SCWO üzem tervez megépíteni. A SuperWater Solutions csőreaktor alkalmaz, valamint nagy áramlási sebességet és mechanikus keféket használ a sók/szilárd anyagok felhalmozódásának szabályozására.

A SuperCritical Fluids International (SCFI) csőreaktorait alapvetően szennyvíziszap kezeléshez fejlesztette ki, és a nevéhez köthető 2008 óta Írországból egy 6 t/nap kapacitású demonstrációs üzem; 2015-ben Spanyolországban egy 6 t/nap kapacitású nedves iszap kezelő SCWO üzem; egy 60 t/nap kapacitású nedves iszap kezelő üzem San Franciscóban; egy 20 t/nap kapacitású petrokémiai szennyvíz kezelő a San Franciscó-i öböl térségében; egy 60 t/nap kapacitású szennyvíz kezelő Los Angelesben; és egy 24 t/nap kapacitású alkáli hulladék kezelő Szaúd-Arábiában.

Az Innoveox a Francia Nemzeti Tudományos Akadémiával együttműködve kidolgozta a multioxidáns befecskendező reaktorokat, és 2011 júniusában a dél-franciaországi Arthez-de-béarn-ben építette fel a 1 t/h kapacitású SCWO ipari hulladékkezelőt Ennek a lényege, hogy az oxidálószer több ponton adagolják be a csőreaktorba, ezzel növelve a reakció hatásfokát. Az ENN Envirotech 240 t/nap kapacitású SCWO üzemmel rendelkezik veszélyes és nukleáris hulladékok kezelésére.

4.2. A szuperkritikus vizes elgázosítás (SCWG)

A szuperkritikus vizes elgázosítás endoterm folyamat, melynek során hőt kell bevinni a technológia reaktorába ahhoz, hogy a nedves biomassza szilárd szervesanyag tartalma szintézis gázzá alakuljon.

A szintézis gáz elsősorban metánt, hidrogént, szénmonoxidot és széndioxidot tartalmaz. A leválasztott és megtisztított hidrogén magasnyomású tartályokba tölthető és elszállítható, vagy a helyszínen felhasználható.

A szintézisgáz fennmaradó CH_4 , CO tartalma kisebb részben a reaktor energiaellátását szolgálhatja, nagyobb részben pedig CHP gázmotorban vagy kombinált ciklusú gázturbinás erőműben hasznosítható.

Ez mutatja, hogy a SCWG technológia villamos hatásfoka jelentősen meghaladhatja a gázturbinás SCWO technológia villamos hatásfokát.

Az elmúlt évtizedekben a számtalan laboratóriumi kísérleten túlmenően több pilot üzem is megépült, amelyek közül az alábbi két objektum a legfontosabb.

4.2.1. A Karlsruhei Technológiai Egyetem (KIT) pilot projektje

A KIT kutató professzora Dr. Nikolaos Boukis munkatársaival több mint 20 éve foglalkozik biomasszák szuperkritikus vizes elgázosításával (lásd az irodalomjegyzékben szereplő publikációkat).

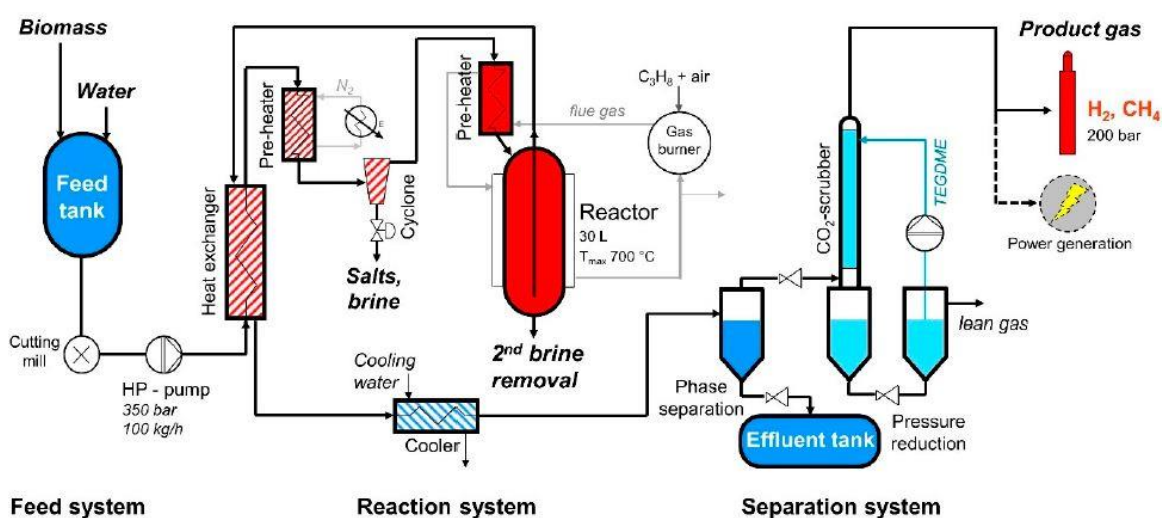
A VERENA KIT kísérleti üzem maximális áteresztőképessége 100 kg/h (maximum 20 tömeg% szárazanyag tartalmú biomassza), a szokásos áteresztőképessége 50 kg/óra.

A maximális üzemi nyomás és hőmérséklet 350 bar, illetve 700 C.

A szokásos reakciókörmények jellemzően 660 C és 280 bar.

Az üzem három fő részből áll: az adagoló rendszerből, a reakciót lebonyolító részből és az elválasztó rendszerből.

Az 5. ábrán az egyszerűsített eljárási séma (folyamatábra) látható.



5.sz. ábra

Az adagolórendszer több tartályból, macerátorból, kolloid malomból és több nagynyomású szivattyúból áll.

A folyékony szerves hulladékok, például a nyers glicerin közvetlenül szivattyúzhatók a reakciórendszerhez.

A biomasszát vagy a nagyobb részecskéket tartalmazó hulladékot elő kell kezelni, azt aprítani és homogenizálni kell.

Az adagolandó anyag megfelelő szemcseméretét és homogenitását az előkezelés során nedves aprítóval, majd kolloid malom alkalmazásával érik el.

Az adagolandó anyag víztartalmát úgy állítják be, hogy az szivattyúzásra alkalmas legyen.

A kapott szuszpenziót (zagyt) folyamatosan adagolják, áramlásvezérelt nagynyomású adagolószivattyúval.

A feldolgozandó zagyt egy cső-a-csőben hőcserélőbe táplálják, ahol a belépő anyagot előmelegítik a reaktorból kilépő fluidummal.

A betáplált áram lineáris sebessége 400 °C hőmérsékleten 2 m/s tartományba esik és eléri a 4 m/s-ot 450 °C-on. Ennek oka a szuperkritikus anyag kisebb sűrűsége a víz magasabb hőmérsékletén.

A feldolgozandó zagy sóit és egyéb szervesanyagait még a reaktor előtt ciklonnal leválasztják.

A ciklonból a szilárd anyagok ürítését nagyon rövid idejű megszakításokkal, 280 bar-ról környezeti nyomásra való nyomásleengedéssel, ciklikusan működtetik. A leválasztott sóvízáram átlagos mennyisége általában körülbelül 1 kg/h.

A technológia következő része az osztott reakció rendszer. Ennek első része egy 60 kW teljesítményű, földgázüzemű külső fűtésű speciális hőcserélő. Csöveinek hossza 60 m, külső átmérője 14,3 mm. A hőcserélő által előállítható maximális hőmérséklet 700 °C.

Az így előmelegített szuszpenzió a reakció-rendszer második részét képviselő 30 liter űrtartalmú 10 cm belső átmérőjű hosszú tartályba (reaktorba) kerül, ahol az megkapja az elgázosításhoz szükséges tartózkodási időt (60-180 másodpercet, a feldolgozandó szervesanyagtól függően).

A technológia harmadik része a szeparációs rendszer, amelyben elválasztásra kerülnek a szilárd részecskék, a folyadék és a gázok.

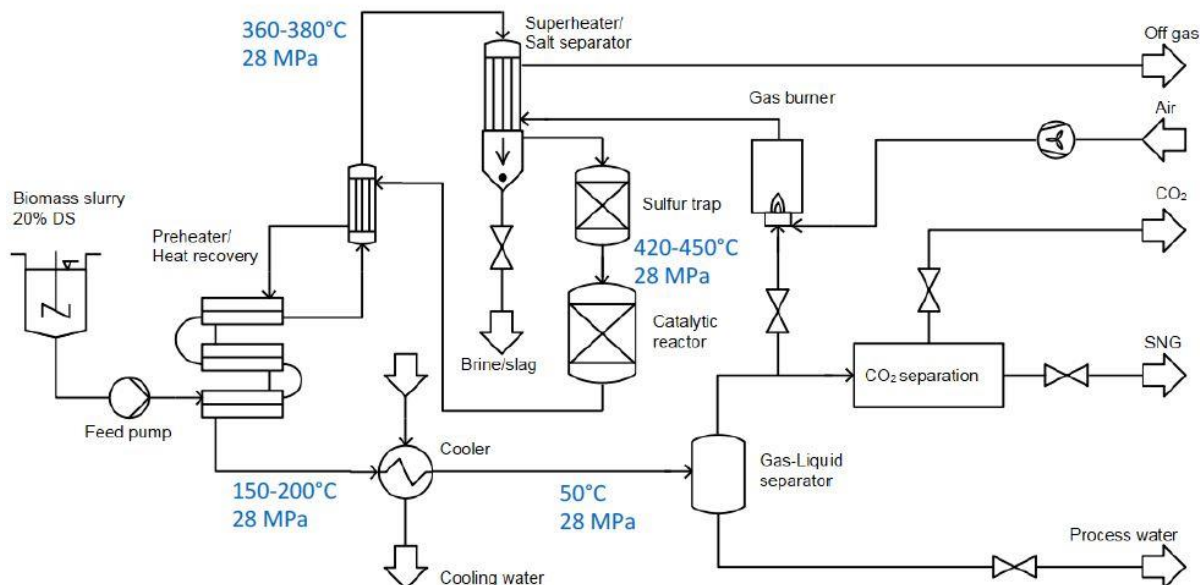
Végül, a szintézis gázok közül leválasztásra és tisztításra kerül a hidrogén.

A VERENA pilot üzem már több mint 10 éve üzemel. Az elmúlt 10 év során szerzett pozitív és negatív tapasztalatokat, valamint a SCWG technológia ipari méretű megvalósításával kapcsolatos kihívásokat az 5. pont alatt ismertetjük.

4.2.2. A svájci Paul Scherrer Institut (PSI) pilot projektje

A svájci Paul Scherrer Institut keretein belül Prof. Dr. Frédéric Vogel, a katalitikus folyamatmérnöki csoport igazgatója, vezeti a biomasszák szuperkritikus vizes elgázosításával kapcsolatos munkákat.

A 6.sz. ábrán látható a PSI egyszerűsített folyamatábrája.



6.sz. ábra

Az egyszerűsített ábra magáért beszél. Az előkészített (aprított és homogenizált) biomasszát 20%-os szilárdanyag tartalmú szuszpenzió formájában adagolják az azt előmelegítő hőcserélőbe. Itt is megtaláljuk a sólevasztó szeparátort és a gázfűtésű túlhevítőt, valamint egy katalitikus reaktort.

A folyamat itt is a szeparátorokkal fejeződik be: elválasztják egymástól a szilárd részecskéket és a gázokat tartalmazó folyadékot, majd a folyadékot a gázoktól és végül a szintézisgázok közül leválasztják a széndioxidot.

Ennél a pilot üzemnél is hasonló műszaki problémák és technológiai kihívások merültek fel, akárcsak a KIT pilot üzem esetében. Ezeket lentebb, az 5. pont alatt ismertetjük.

5. Az SCWG megoldandó műszaki problémái, technológiai kihívások

A SCWG folyamatok esetében az alábbi műszaki problémák, feladatok merültek fel, amelyek energiahatékony megoldása jelentős mérnöki kihívást jelentenek.

- A biomasszák megfelelő előkészítése annak érdekében, hogy az előkészített szuszpenzió könnyen szivattyúzható legyen. Fontos a szivattyúzhatóságon túlmenően a szuszpenzió megfelelő homogenitása, a szuszpenzióban lévő szilárd részecskék méretazonossága, a részecskék minél kisebb mérete.
- A technológia csövei-, és hőcserélői-, valamint a reaktor eltömődésének megakadályozása, a sók és egyéb szilárd anyagok kicsapódásának és lerakódásának megakadályozása azok megfelelő időben és helyen történő leválasztásával, szeparálásával.

- Olyan olcsó és hatékony katalizátorok alkalmazása, amelyek biztosítják a szintézisgázok megrendelők által igényelt összetételét (többségében hidrogén, vagy többségében metán összetételét) és egyben meggyorsítják az elgázosítás folyamatát (lecsökkentve a szükséges reakció időt), valamint csökkentik az elgázosításhoz szükséges hőmérsékletet annak érdekében, hogy a reaktor méretei kisebbek lehessenek és a reaktor olcsóbb anyagokból készülhessen.
- A korróziós sebesség lecsökkentése. Ez az egyik legnagyobb kihívás, amely megfelelő pH értékkel, reakcióhőmérséklettel és anyagválasztással kezelhető. Ez azt is jelenti, hogy ez minden egyes alapanyagra (lakossági szennyvíziszap, különféle ipari iszapok, különféle biomasszák stb.) külön-külön megoldandó feladat.

Jó hír, hogy a fenti feladatokat a SCWO technológiák esetében már többségében megoldották.

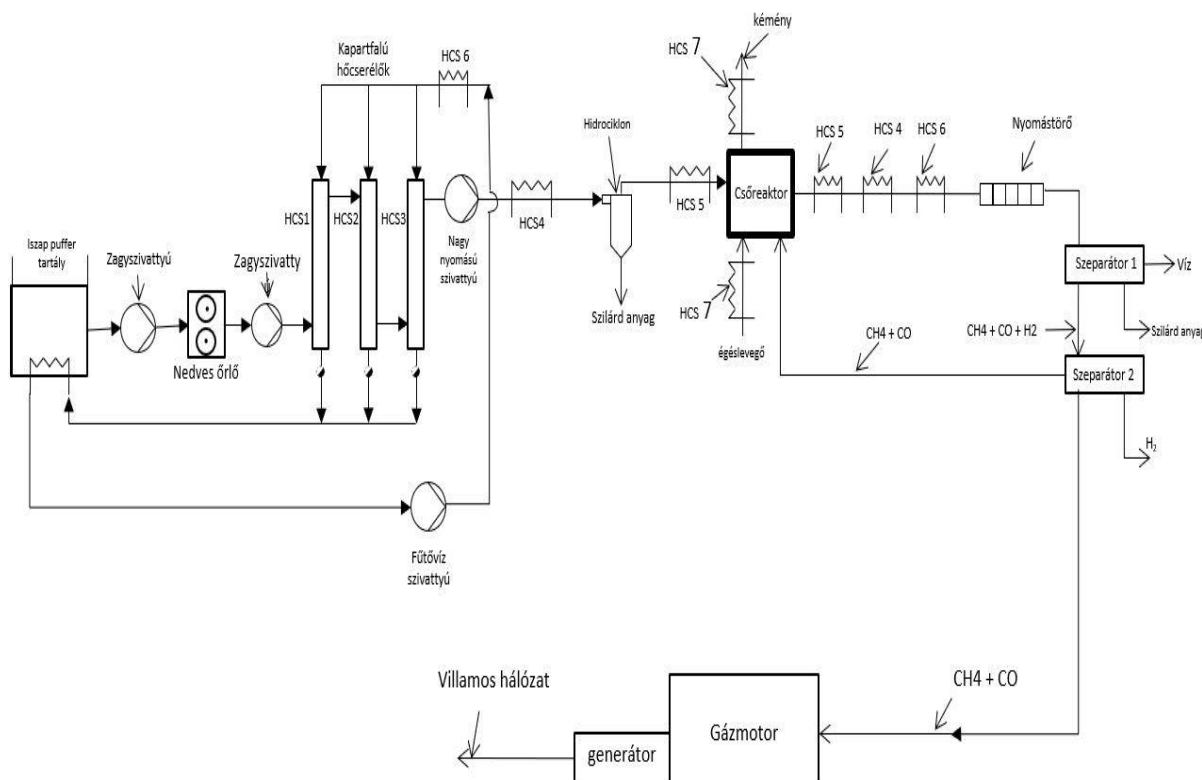
A 4.1 pont alatt ismertetett hét cég több évtizede üzemeltet ipari méretű (pl. 10 t/h kapacitású) üzemeket.

Az általunk fejlesztett SCWG-HU technológia is kezeli a felsorolt kihívásokat, lásd a 6.1 pontot.

Az általunk javasolt technológia magában ötvözi a szuperkritikus vizes technológiák (SCWO és SCWG) több tíz éves üzemeltetési tapasztalatait.

6. A SCWG-HU technológia felépítése, működése

Az általunk javasolt továbbfejlesztett szuperkritikus vizes elgázosítási eljárás (SCWG-HU) felépítésének egyszerűsített vázlata a 7.sz. ábrán látható (a részletes technológiai folyamatábra a SCWG-HU minta üzem basic tervében megtalálható).



7.sz. ábra

A SCWG-HU technológia működése:

A szennyvíziszapot megfelelő módon előkészítjük: aprítjuk, homogenizáljuk, előmelegítjük, majd azt 14-16 bar nyomás mellett, 180-190 °C-os hőmérsékleten félórán keresztül főzzük, célszerűen kapartfalú hőcserélőkben.

Ezt követően, a főzött iszapot nagynyomású szivattyúval a szuperkritikus üzemű csőreaktorba juttatjuk.

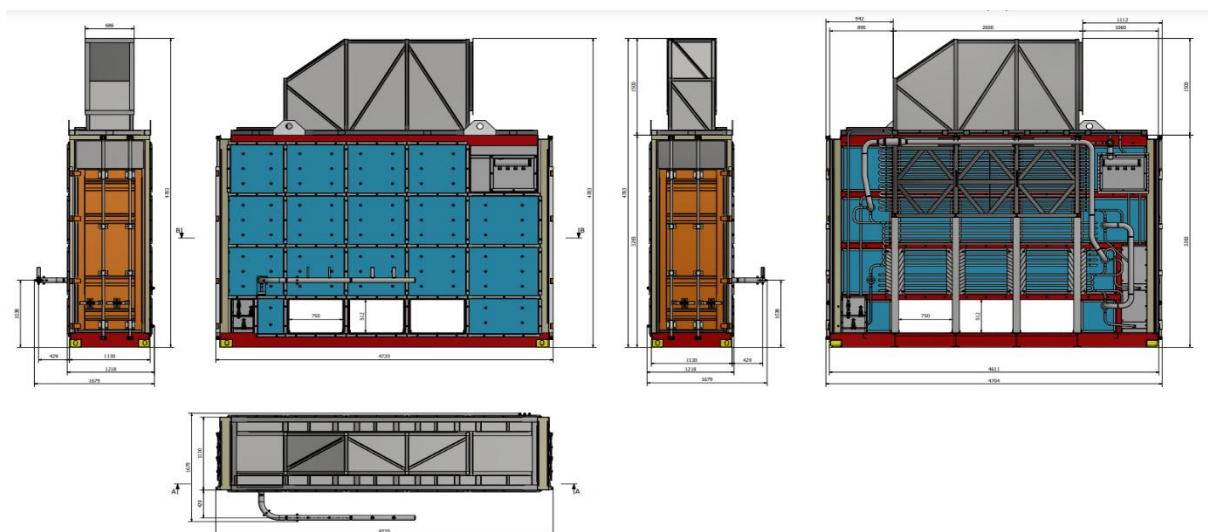
A benne keletkező generátorgázzal működtetett gázfűtésű csőreaktor reaktorcsöveinek hossza a szennyvíziszap teljes elgázosodásához szükséges reakcióidő (3,5-4 perc) alapján kerül meghatározásra.

A csőreaktorból kilépő elegyet az 1. sz. szeparátor segítségével szétválasztjuk. A vizet, amely gyakorlatilag desztillált víz, ipari célra (pl. elektromos vízbontó tápvizeként, kazántápvizként stb.) vagy öntözésre használhatjuk. Az inert szilárd részeket, miután kivontuk belőle a foszfor vegyületeket, az építőipar felhasználhatja.

A csőreaktorból kilépő elegy gáztartalmából a hidrogént a 2. sz. szeparátor segítségével választjuk le.

A generátorgáz metán és szénmonoxid tartalma kisebb részben a csőreaktor fűtésére, nagyobb részben gázmotorban használandó fel, belőle hálózatra adható villamos áram-, és kapcsoltan hő termelhető a szennyvíztelep energiaszükségleteinek kielégítésére.

A csőreaktor szerkezete a lentebbi 8.sz. ábrán látható.



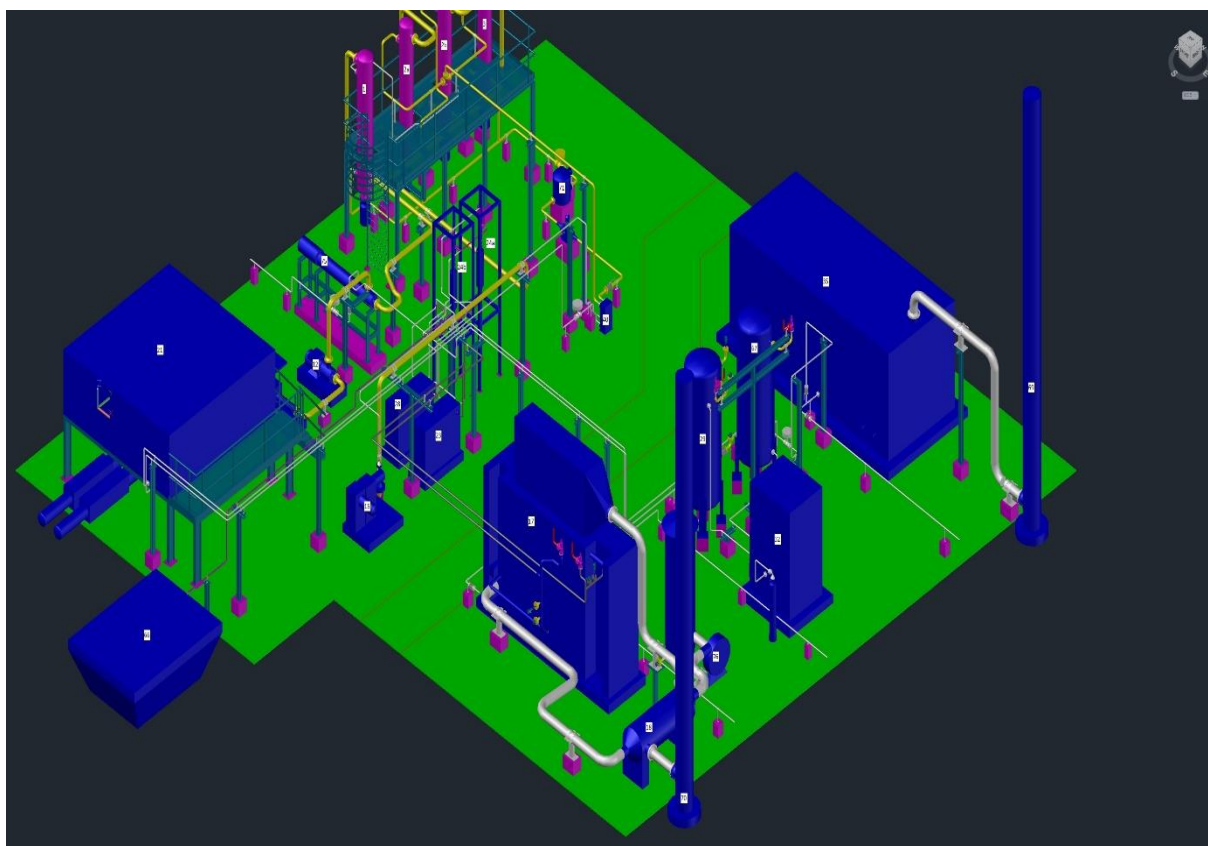
A tárgyi SCWG-HU üzem csőreaktorának kimenetén keletkező energiatartalmú anyagok (éghető gázok) lehetséges hasznosítása:

- a generátorgázból leválasztott hidrogén alkalmas a szennyvíztelepen jelenleg előállított biogáz széndioxid tartalmának jelentős csökkentésére;

- abban az esetben, ha a tárgyi technológia nem rothasztott iszap feldolgozását végzi egy olyan telephelyen, ahol már működik biogáz üzem, biogázt termelve, hanem a vegyes-iszaptól közvetlenül termel generátorgázt, két lehetőség adódik:
 - ✓ Megfelelő katalizátorral megnöveljük az elszeparálható H₂ mennyiségét, amely tartályokba töltve értékesíthető vagy az előállítás helyszínén üzemanyagcellában felhasználható.
 - ✓ megfelelő katalizátorral megnöveljük a generátorgáz metán tartalmát, így csökkent hidrogéntartalmú generátorgázt kapunk, amit hidrogéntűró gázmotorban hasznosítunk.

A hidrogén szintézisgázból membránszeparációval történő leválasztása és tisztítása már több nemzetközi (USA, EU, Japán) vállalat által megoldott feladat. Az általunk bekért árajánlatok mintegy 750 ezer USD nagyságúak 3.000 Nm³ szintézisgáz (mintegy 10 t/h iszapfeldolgozási kapacitás) esetére. Ezt tartják a legkisebb célszerű ipari üzemméretnek.

A leendő 1 t/h névleges kapacitású SCWG-HU technológián alapuló szennyvíziszap-feldolgozó üzem egyik feliratozott 3D képe az alábbiakban, az 9.sz. ábrán látható. Az ábra alatti táblázat tartalmazza az egyes berendezések megnevezését.



9.sz. ábra

Sorszám	Készülék jele	Gép- és készülékjegyzék	Sorszám	Készülék jele	Gép- és készülékjegyzék
1	TK-001	Kapartfalú hőcserélő	35	GE-035	Gázmotor
2a	TK-002A		38	-	Villamos generátor
2b	TK-002B		39	-	20kV hálózatra csatlakozás
3	TK-003		40	E-040	Hőcserélő
11	NETZSCH-011	Zagyszivattyú 1.	50	-	Gázüzemű szőnyegegő
12	CM-012	Izlap örlő malom	51	-	Ultrahang rezgőfejek
15	U-015	Magas nyomású szivattyú	65	P-065	Hűtővíz szivattyú
17	U-017	Szuperkritikus csőreaktor	66	KONT-066	Szilárd anyag tároló tartály
18	CH-018	Hőcserélő	67	SP-067	Gáz puffertartály
21	TK-021	Szennyvíziszap puffer tartály	68	U-068	Szalagmérleg
23	E-023	Hőcserélő	69	CH-069	Gázmotor kémény
24	VE-024a/b	Folyadék-szilárd anyag szeparátor	70	CH-070	Reaktor kémény
28	E-028	Hőcserélő	71	TK-071	Hűtővíz puffertartály
29	SP-029	Víz-gáz szeparátor	75	NETZSCH-075	Zagyszivattyú 2.
32	HS-032	Gáz-gáz szeparátor (Hidrogén)	76	AB-076	Légfúvó

A leendő minta-üzem basic tervének részét képező „Műszaki Leírás” tartalmazza az üzem berendezéseinek listáját, az üzem alaprajzát, valamint az üzemi paramétereket is megjelölő folyamatábrát, a technológia vezérlésének és szabályozásának ismertetését is, a kísérletek végzéséhez szükséges mérési-, és műszer listával együtt.

6.1. Az 5. pont alatt felsorolt műszaki kihívások SCWG-HU általi kezelése

A SCWG-HU technológia számos műszaki újdonsággal rendelkezik, amelyek választ jelentenek a KIT és a PSI pilot üzemei során felmerült műszaki kihívásokra, megoldják a pilot berendezések üzemek során felmerült problémákat. Ezek közül az alábbiak a legfontosabbak.

- A kötött víz „kiszabadítása” nyomás alatti főzéssel. Ez a megoldás szükségtelenné teszi az izlap hígítását a csőreaktor előtt. A szennyvíziszap előkészítés ezen módjának köszönhetően a víztelenített-, de mégis 80% körüli nedvességtartalmú, ám „földnedves” állapotú szennyvíziszaphoz nem kell további vizet adni. Ez az módszer szükségtelenné teszi az izlap 90-92% nedvességtartalmúra való felhígítását, annak szivattyúzhatóvá tétele érdekében.
A nedves-aprításnak, előfűtésnek, majd a nyomás alatti főzésnek köszönhetően, a kötött víz felszabadul és így, a szennyvíziszap kiválóan szivattyúzhatóvá válik. A 75-80% körüli víz/száranyag arány (a 90-92% körüli vízárányhoz képest) nagyban hozzájárul a technológia energiahatékonyságához azzal, hogy ciklusonként ugyanazzal a hőenergia-mennyiséggel, illetve ugyanakkora hőveszteséggel, mintegy kétszer annyi szárazanyagot gázosít el.
- Az izlapfőzésre kapartfalú hőcserélő alkalmazása autoklávok helyett. Ez a megoldás lecsökkenti a viszkózus szennyvíziszap felfűtéséhez és nyomás alatti főzéséhez szükséges hőcserélő-felületek nagyságát és a berendezések szükséges falvastagságát.

Ez a megoldás egyben nagyobb üzemnagyságok létesítését teszi lehetővé, kisebb beruházási költséggel.

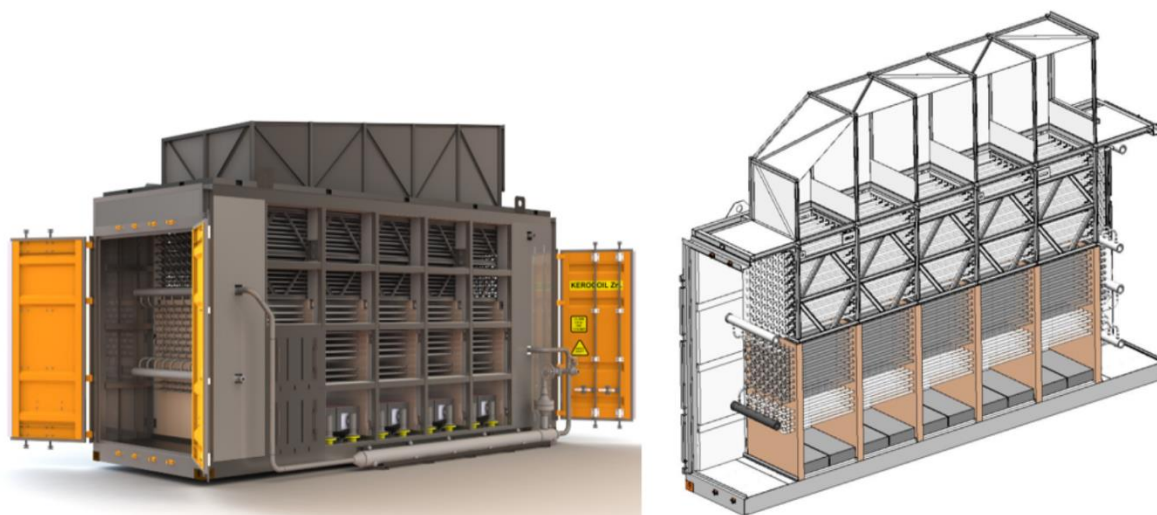
- Hidrociklon alkalmazása a csőreaktor előtt, a 410-440 °C hőmérséklet-tartományban, a szervesen sók és ásványi anyagok kiszűrésére. Mint az ismeretes, a víz kritikus hőmérsékletének elérése után, annak mintegy 40-50°C-kal való meghaladásakor, az addig oldatban lévő szervesen sók kiválnak, és képesek lerakódni a berendezés csöveiben, a reaktorcsövekben, illetve a reaktorcsövek felületein.
A hidrociklon alkalmazásával nagyrészt megakadályozható a csőreaktor csöveinek elrakódása, blokkolódása.
- A csőreaktor gázüzemű szőnyegégője égéslevegőjének 600 °C-ra való előmelegítése egy léghevítővel, amit a csőreaktor füstgázai fűtenek. A SCWG technológia önfogyasztása mértékét csökkenti, javítja a csőreaktor-, és ezzel a technológia hatásfokát. Fontos a léghevítő megfelelő konstrukciója és anyaga, a minél jobb termikus hatásfok elérése érdekében, a lehetőleg kondenzációs üzemmódban való üzemelés miatti korrózió megakadályozása érdekében.
- Ultrahang generátor alkalmazása a csőreaktor méretének csökkentése-, és az elgázosodás mértékének javítása, növelése érdekében. A reaktorcsövekre megfelelő módon elhelyezett ultrahang rezgőfejek hatékonyan akadályozzák az elgázosodás során kokszt-részecskék keletkezését, illetve azok agglomerálódását.
A rezgőfejek egyben növelik a szervesanyag részecskék fajlagos felületét, vagyis segítik jobb lebomlásukat, teljesebb elgázosodásukat.
Az ultrahangos aprítás folyamata, meggyorsítja a szerves anyagok elgázosítását, lecsökkenti a szükséges reakció időt és ezzel lecsökkenti a szükséges csőreaktor méretet is, a reaktorcsövek szükséges hosszának csökkenésével.
Az ultrahang rezgőfejek megakadályozzák a hidrociklon után még megmaradó kisebb mennyiségű szilárd részecskék csőfelületekre való lerakódását is, segítik tisztántartani a reakciócsöveket.
- A generátorgáz összetételének megfelelő katalizátorokkal, a megrendelő/felhasználó igényinek megfelelő módon történő befolyásolása. A felhasználó érdekelt lehet a generátorgáz minél nagyobb hidrogén-tartalmában, de más felhasználó viszont abban lehet érdekelt, hogy a generátorgáz minél több metánt tartalmazzon.
Megfelelő katalizátorok alkalmazásával mindkét cél elérhető. Laboratóriumi mérések alapján ilyen ipari megoldás lehetséges és üzletileg támogatni fogja a piacra lépést és a piaci expanziót.
- A katalizátorok megfelelő kiválasztása elősegíti a szükséges pH érték beállítását is, valamint segíti a megfelelő szerkezeti anyagok kiválasztását, vagyis egyben hozzájárul a korróziós sebesség megfelelő határok között való tartásához.

7. A SCWG-HU jelenlegi státusa

Az SCWO és a SCWG technológiánk beadott találmánnyal, az SCW kazánunk megadott szabadalommal rendelkezik.

Egy SCW kazánunk kiviteli tervdokumentációval és TÜV Rheinland gyártási engedélyével rendelkezik a Kerogoil Zrt nevű cégünk, lásd a lentebbi ábrákat.

Az engedélyes kazánunk paraméterei: 10 t/h; 610 °C; 400 bar, az Ománi Nemzeti olajtársaság számára készül.



Elkészült a Zalavíz Zrt területére tervezett SCWG-HU Pilot Üzem (mintaprojekt) basic terve, azon belül a részletes technológiai folyamatábra, a berendezések (hőcserélők, léghevítő, csőreaktor stb.) méretezései, eszköz és gép specifikációk, mérőhely-, mérőműszer lista, a leendő üzem elrendezési terve, 3D modellje, anyagjegyzék, költségvetés.

Várjuk a megfelelő kormányzati támogatást a megvalósításhoz.

8. A szükséges ipari kutatás és kísérleti fejlesztések ismertetése

Az ipari kutatási és kísérleti fejlesztési tevékenység a SCWG technológia berendezései-, és szerkezeti elemei méreteinek (felületek, falvastagságok stb.) optimalizálását és szerkezeti anyagaik megválasztását, valamint a technológia és berendezései üzemi paramétereinek (mennyiségek, nyomás, hőmérséklet, elegysebességek stb.) az optimalizálását tűzik ki célul.

A rendelkezésre álló laboratóriumi adatok alapján megtervezett, legyártott berendezésekből felépített technológia kellő számú mérőhellyel van ellátva (lásd a basic tervben a részletes technológiai folyamatábrát és a mérőműszer-, mérőhely listát), amely mérőműszerek lehetővé teszik a különféle üzemi paraméterek (mennyiség, hőmérséklet, nyomás, elegysebesség) változtatása által okozott változások folyamatos mérését, valamint a mérési eredmények rögzítését és gyűjtését, más üzemi paraméterek (az elgázosodás mértéke, az elgázosodás energiaszükséglete illetve a képződéshő nagysága, reakció-idők, a csőreaktor szükséges mérete, termikus és villamos hatásfokok, gázösszetétel stb.) vonatkozásában is.

Az ipari kutatás módszere és azok kiemelt céljai:

- Meghatározni a kapartfalú hőcserélők, csőreaktor, cső-a-csőben hőcserélők, hidrociklon, nyomáscsökkentő szelep pontos méretezéséhez szükséges, erősen hőmérsékletfüggő fajhők és viszkozitások, valamint az elegysebességtől és a hőmérséklettől függő hőátadási, illetve hőátbocsátási tényezők pontos értékét a magas hőmérsékleti tartományokra is. Cél: pontos és megbízható tervezési adatok szerzése, amelyek alapján pontosan méretezhetővé válnak a technológia berendezései nagyobb ipari méretekben is.
- Meghatározni a technológia termikus és villamos hatásfokának függését az egyes berendezések kapacitásától és a nominális teljesítménytől való eltérés (részteljesítményekkel való üzemelés) függvényében. Cél: egy optimális üzemméretű berendezés-család kialakítása.
- Meghatározni a technológia termikus és villamos hatásfokának függését az iszap-elegy szilárd anyag tartalmától 15% és 35% között, több lépcsőben; Cél: a gazdaságilag optimális szilárd anyag/víz arány meghatározása.
- A termikus és villamos hatásfokok változásának meghatározása a különféle csőreaktor üzemállapotok (hőmérséklet, nyomás, reakció idő), iszap szárazanyag tartalom-, iszap szerves és szervesetlen anyag arányok-, és az iszapelőkészítési paraméterek (szemcsenagyság, főzési idők és hőmérsékletek) függvényében. Cél: egy gazdaságilag optimális üzemi paraméterekkel rendelkező csőreaktor kifejlesztése.
- A generátor-gáz összetétele és fűtőértéke változásának meghatározása a különféle csőreaktor üzemállapotok (hőmérséklet, nyomás, elegysebesség, reakció idő) és különféle katalizátorok alkalmazásának függvényében. Cél: a generátorgázok összetételének optimalizálása, energiatartalmuk és/vagy hidrogéntartalmuk maximalizálása.
- Az elgázosítás fajlagos energiaszükségletének-, és az elgázosodás mértékének meghatározása a különféle előkészítési (aprítási és főzési) paraméterek-, valamint többféle csőreaktor reakció-paraméter (nyomás, hőmérséklet, szilárd/szerves anyag-víz arány, reakció idő) függvényében. Cél: az elgázosítás mértékének és energiaszükségletének, hatásfokának optimalizálása.
- A technológia mechanikai energiaszükségletének (lásd a villamos motorok fogyasztásának) változása az iszap-előkészítés (aprítás, főzés) paraméterei változásának függvényében. Cél: az iszap-előkészítés gazdasági optimalizálása a technológia mechanikai energia igénye szempontjából is.
- A mérések végső célja: megbízható tervezési adatok nyerése egy gazdaságilag optimális technológia-, és berendezés család kialakításához, többféle nedves

biomassza SCWG feldolgozását illetően (a fenti kísérlet-sorozatokat minden érintett anyagra külön-külön el kell végezni).

További cél a jövőbeni tervezési feladatok automatizálásához szükséges adatok kinyerése, rendszerezése, aggregálása.

A mérések és az adatgyűjtés, valamint az adatokból való következtések levonása az ipari kutatás tárgykörébe tartoznak, míg az azok alapján hozott döntések, szerkezeti méret-módosítások, üzemi paraméter-változtatások és technológiai módosítások, valamint a kiegészítő gyártások, kísérleti fejlesztési igényt jelentenek. A kísérleti fejlesztés és az ipari kutatás szervesen egymásra épülő, egymást támogató, egymástól elválaszthatatlan folyamatok.

9. A SCWG-HU technológiában rejlő energetikai és gazdasági potenciál

9.1. A szennyvíziszapok energiatartalma

A különféle szennyvíziszapok energia tartalma:

- friss iszap esetén: 25,5 GJ/t száraz anyag = **5,1 GJ/t iszap**, 80% nedvességtartalmú iszapnál
- vegyes iszap esetén: 20,9 GJ/t száraz anyag = **4,18 GJ/t iszap**, 80% nedvességtartalmú iszapnál
- rothasztott iszap esetén: 11,6 GJ/t száraz anyag = **2,32 GJ/t iszap**, 80% nedvességtartalmú iszapnál

A víztelenített lakossági szennyvíziszapok megújuló mennyisége: **1.230.000 tonna/év**

Vegyes iszappal számolva ez: $1.230.000 \cdot 4,18 = 5.141.400$ **GJ/év** hasznosítható energiatartalmat jelent.

A SCWG-HU technológia ezen energiamennyiség jó hatásfokú, környezetbarát hasznosítását teszi lehetővé.

9.2. A szennyvíztelepek mint megújuló-hidrogén források

Az energetikai önellátáson túlmenően a szennyvíztelepek nagy lehetősége a megújuló hidrogén termelés és a CO₂ kibocsátás csökkentése is:

- friss iszapnál (5,1 GJ/t) = $(5.100:120) \cdot 0,263 \cdot 075 =$ **8,38 kg H₂/tonna iszap**, 80% nedvességtartalmú friss iszap esetén, a hidrogéntermelő potenciál;
- vegyes iszapnál (4,18 GJ/t) = $(4.180:120) \cdot 0,263 \cdot 075 =$ **6,87 kg H₂/tonna iszap**, 80% nedvességtartalmú vegyes iszap esetén, a hidrogéntermelő potenciál;
- rothasztott iszapnál (2,32 GJ/t) = $(2.320:120) \cdot 0,263 \cdot 075 =$ **3,81 kg H₂/tonna iszap**, 80% nedvességtartalmú rothasztott iszap esetén, a hidrogéntermelő potenciál.
- A Magyarországi lakossági szennyvíziszapok hidrogén előállítási potenciálja: $1.230.000$ tonna iszap/év $\cdot 6,87$ kg H₂/tonna iszap = $8.450.100$ kg H₂/év, azaz **8.450 tonna megújuló karbonszegény hidrogén évente.**

A hidrogén termelés segítségével országosan évente **95.151,2 tonna széndioxid** légkörbe jutását tudjuk megakadályozni

9.3. Biomassza mennyiségek a SCWG technológia számára

1. Lakossági szennyvíziszapok: 1,23 millió t/év

- + romlott, lejárt élelmiszerek (a lakossági szennyvíziszaphoz is adagolható), **X** t/év
- + nedves toll, vér, bél stb. a baromfi-feldolgozó üzemekből (a lakossági szennyvíziszaphoz is adagolható), **Y** t/év
- + vér, belek, szőr stb. a vágóhidaktól (a lakossági szennyvíziszaphoz is adagolható), **Z** t/év

Az X, Y és Z mennyiségeket nem számszerűsítjük. Évi több százezer tonnás mennyiségük elhanyagolásával a tudatosan a biztonság javára tévedünk.

2. A lakossági hulladékok szervesanyag tartalmú részének nedves frakciója (komposztálható rész) 1,35 millió t/év

3. Bálázott kukoricaszár: 3,9 millió tonna/év (a Magyarországon keletkező összes kukoricaszár mennyisége mintegy 7- 9 millió tonna/év!); *cellulóz alapú bioetanol gyártás közbeiktatásával.*

4. Bálázott gabonaszalma: 1,5 millió tonna/év (az összes gabonaszalma mennyisége 4-5 millió tonna/év); *cellulóz alapú bioetanol gyártás közbeiktatásával.*

Összesen: mintegy **8 millió tonna** biomassza válik elérhetővé energetikai célú feldolgozásra, hidrogén, etanol, villamos energia termeléséhez, a tárgyi **SCWG-HU** technológia által.

9.4. A SCWG alapú energiatermelési potenciál Magyarországon

Lakossági szennyvíziszapok:

Éves feldolgozható mennyiség: **1.230.000 t/év**

Hidrogéntermelő potenciál: 8.450 t/év (lásd 9.2 pont)

A szintézisgáz fennmaradó energiataralma a hidrogén leválasztása után: 4,18 GJ/t*(1-0,263)

A termelhető fajlagos villamosenergia mennyisége: $4,18 \text{ GJ/t} \cdot (1 - 0,263) \cdot 0,75 \cdot 0,4 : 3,6 = 0,257 \text{ MWh/tonna iszap.}$

A lakossági szennyvíziszap mennyiség éves villamosenergia potenciálja: $1.230.000 \text{ t/év} \cdot 0,257 \text{ MWh/t} = \underline{316.110 \text{ MWh/év.}}$

A beépíthető villamos teljesítmény: $316.110 : 8.000 = \underline{40 \text{ MW}}$

A lakossági hulladékok szervesanyag tartalmú részének nedves frakciója:

Éves feldolgozható mennyiség: **1.350.000 t/év**

A fajlagos energiataralmat azonosnak véve, csak a mennyiségek különbségével számolunk.

Ennek eredményeképpen a szorzószám: $1.350 : 1.230 = 1,098$

Hidrogén termelő potenciál: $8.450 \cdot 1,098 = 9.278 \text{ t/év}$

Villamosenergia termelő potenciál: $316.110 \cdot 1,098 = \underline{347.089 \text{ MWh/év}}$ (a beépíthető villamos teljesítmény: 44 MW)

Kukoricaszár:

Éves feldolgozható mennyiség: **3.850.000 t/év**

Cellulóz alapú etanol termelő potenciál: 522.720 tonna/év (663 millió liter)

Hidrogén termelő potenciál: 27.328 t/év

Villamosenergia termelő potenciál: 1.696.000 MWh/év (a beépíthető villamos teljesítmény: 212 MW)

Gabonaszalma:

Éves feldolgozható mennyiség: **1.500.000 t/év**

Cellulóz alapú etanol termelő potenciál: 203.861 tonna/év (259 millió liter)

Hidrogén termelő potenciál: 10.658 t/év

Villamosenergia termelő potenciál: 661.440 MWh/év (a beépíthető villamos teljesítmény: 83 MW)

Összesen:

- **Hidrogén: 55.714 tonna/év**
- **Villamos energia: 3.020.639 MWh** (379 MW beépíthető villamos teljesítmény)
- **Etanol: 726.581 tonna/év** (921 millió liter/év)

9.5. A SCWG-HU projekt várható pozitív gazdasági hatásai, összegezve A SCWG-HU technológia lakossági és ipari szennyvíztelepekbe történő integrálása, jelentős **széndioxid kibocsátás-csökkentés mellett, megduplázza azok energiatermelését**, energetikailag önellátóvá teheti a szennyvíztelepeket.

A SCWG-HU szennyvíztelepi bevezetése **radikális szállítási igény csökkenést** eredményez a rothasztott iszap megszűnése miatt, ami jelentős kiadáscsökkentést jelent.

Karbonszegény hidrogén formájában, **térben elosztott módon** keletkező megújuló energia jelentős mennyisége hozzájárulhat a közösségi közlekedés **és az áruszállítás nagymérvű zöldítéséhez.**

A SCWG-HU technológia széleskörű bevezetése egyben komoly lépést jelenthet a dekarbonizáció és **a körkörös gazdaság** megvalósítása felé is, lásd: **foszforvegyületek kinyerése**, nagy tisztaságú víz termelése.

A SCWG-HU technológia hozzájárulhat az **energia-importtól** való részleges függetlenedéshez és a **rezsicsökkentés** eredményeinek megtartásához is azzal, hogy lehetővé teszi a rendelkezésünkre álló **biomassza potenciál** jó hatásfokú, környezetbarát energetikai hasznosítását.

A tárgyi mintaprojekt sikeres üzeme és annak Magyarországon széles körben történő hasznosítása egyben lehetőséget jelent a SCWG-HU technológia exportjára is, részben gépipari berendezések (működő üzemek) formájában, részben pedig technológia transzfer formájában.

10. A projekt szakterületi, iparági jelentősége, regionális hatása

A pályázat tárgyát képező SCWG technológia jelentős hatással lehet a szennyvízipar és a gépipar, valamint a külkereskedelem területeire is. Pozitív regionális hatása nem csak Magyarországon várható, de megmutatkozhat az Európai Unió teljes területén is, az alábbiak szerint.

Szakterületi, iparági jelentőség:

- A víziközművek, főleg azok szennyvíztelep üzemegységei, jelentős energiafogyasztók. A szennyvíztelepek költségeinek mintegy 60%-a az energiaköltség. A SCWG technológia a szennyvíztelepeket energetikailag önellátóvá teszi és lehetőséget ad nekik arra is, hogy a megtermelt fölös energiából (villamos energia és/vagy karbonszegény hidrogén formájában) többlet-árbevételre tegyenek szert.
- A biogáz üzemmel rendelkező szennyvíztelepek által termelt biogáz 40% körüli CO₂ tartalmú, ami a biogáz elégetésekor jelentős többlet-környezetterhelést jelent. A fermentorokból kikerülő rothasztott iszapok környezetterhelése még ennél is sokkal nagyobb, belőlük metán keletkezik, ami szintén a légkörbe jut. A rothasztott iszapok SCWG technológiával történő feldolgozása nem csak energetikailag teheti önellátóvá a szennyvíztelepeket, de jelentősen csökkentheti azok CO₂ kibocsátását, környezetterhelését is.
- A SCWG minden elemében modern technológia, amely pozitív hatással lehet az oktatás és a gépipar technológiai szintjére, termelési volumenére, valamint annak bevételeire és export-teljesítményére.

Regionális hatás:

- A SCWG technológia minden jelenleg Magyarországon, az EU-ban, vagy bárhol máshol működő szennyvíztelepen alkalmazható.
- Az SCWG technológia bázisán létrehozhatók körzeti szennyvíziszap feldolgozó üzemek is olyan kis szennyvíztelepek számára, ahol ma nem működik biogáz üzem, azok kis mérete miatt. Ebben az esetben nem keletkezik rothasztott iszap, a friss-, és vegyesiszap feldolgozása közvetlenül a SCWG technológiával történik. A jövőben, a jelenleg működő biogáz üzemeket, azok teljes fizikai amortizációját követően, az SCWG kiválthatja, csökkentve az szennyvíztelepek jelenlegi költségeit.

11. A projekt illeszkedése a Magyar Hidrogénstratégia céljaihoz

A SCWG-HU technológia széleskörű bevezetése hatékonyan támogathatja a Magyar Hidrogénstratégia (MHS) által kitűzött célokat. Az évi mintegy 55 ezer tonna karbonszegény hidrogén előállítás (lásd 9.4. pont) komoly lépést jelenthet a hidrogéngazdaság megteremtése felé.

12. A projekt S3-hoz való illeszkedésének bemutatása

A SCWG-HU technológia szorosan illeszkedik az S3 több nemzetgazdasági prioritásához, úgy mint:

- élvonalbeli technológia;
Az SCWG-HU minden elemében (berendezéseinek működési elve, konstrukciós anyagai, üzemi paraméterei, hatékonysága és hatásossága stb.) a legmodernebb, élvonalbeli technológia.
- erőforrás-hatékony technológia;
A SCWG-HU technológia termikus és villamos hatásfoka mintegy kétszerese a biogáz üzemek hatásfokának. Lehetővé teszi a szennyvíziszapban lévő foszforvegyületek kivonását, majd azok mezőgazdasági hasznosítását; Az SCWG-HU technológia bevezetése komoly lépés lehet a körkörös gazdaság megteremtése felé is.
- energia és klíma-célokat szolgáló technológia;
A SCWG technológia hulladékokból (szennyvíziszapokból) állít elő energiát. Annak magas termikus és villamos hatásfoka egyben alacsony kibocsátást is jelent. Az SCWG technológia csőreaktorából hidrogénben gazdag (mintegy 50% H₂ tartalmú) generátorgáz keletkezik, amelynek H₂ tartalma támogatja a hidrogéngazdaság kiépítését.

A horizontális prioritások közül pedig illeszkedik a:

- közsféra és egyetemek innovációja ponthoz.
A SCWG technológia bevezetésével kapcsolatos ipari kutatás és kísérleti fejlesztés hozzájárul a Pannon Egyetem további fejlődéséhez. Az egyetemi kutatók, tudósok és szakemberek tollából, angol nyelven, neves és rangos nemzetközi folyóiratokban, a nedves biomasszák SCWG elgázosításával, karbonszegény hidrogén termelésével kapcsolatos publikációk jelenhetnek meg, tovább öregbítve a magyar tudomány és ipar jó hírét.

13. A projekt megvalósításának költségei, finanszírozási igénye

A tárgyi mintaüzem felépítése, és a 8. pont alatt ismertetett ipari kutatási és kísérleti fejlesztési feladatok elvégzése, valamint a SCWG-HU technológia független piaci szereplők (SGS, TÜV) általi minősítése, **3 éves** feszített ütemű **programot** jelent.

A projekt összköltsége mintegy 3 milliárd Ft-ra tehető, az alábbiak szerint:

Anyag költség: 954,8 millió Ft

Gépipari beszállítók: 447,2 millió Ft

Műszerek és adatrögzítő, feldolgozó eszközök: 155 millió Ft

Költségátalány (tervezés, projekt management, SGS és TÜV minősítések): 226 millió Ft

Béreköltség: 1.213,7 millió Ft

14. A projekt időszerűsége, aktualitása

- Mintegy 20 éves laboratóriumi kísérleti időszakon-, és több mint tíz éves pilot üzemi tapasztalatszerzésen vannak túl több nemzet kutatói (lásd a mellékelt szakirodalmat). A SCWG technológia kellően előkészítettnek és érettnek tekinthető ahhoz, hogy egy ipari méretű, 1 t/h kapacitású mintaüzem épüljön, amelynek üzemi tapasztalatai alapján megtörténhet a SCWG-HU technológia szélesebb körű bevezetése.
- Az ipar számára is elérhető áron megjelentek a magasan ötvözött Ni, Cr szerkezeti anyagok (Sanicro 25 és 35, Inconel 740H, Alloy 625, 602 stb.), amelyek lehetővé teszik hosszú életű hatékony folyamatos üzemű csőreaktorok gyártását.
- Az energiahordozók importjának csökkentésére egyre nagyobb az igény, és azok drasztikus árnövekedése miatt egyre időszerűbb ez a feladat. Ezért is fokozott igény van a nedves hulladékok és egyéb nedves biomasszák energiahatékony, környezetbarát energetikai célú feldolgozására is.
- Az energiatünetlenedéssel párhuzamosan, a dekarbonizáció és a hidrogéngazdaság megteremtése nagy feladat, amelynek megoldásában a biomassza alapú hidrogén- és villamosenergia előállítás egy jelentős portfólió lehet.
- A biomassza alapú üzemanyag technológiák (lásd pl. 2G cellulóz alapú etanol előállítás) hatékonyságának és energetikai hatásfokának javítása, azok térnyerése érdekében, szükségszerű, valamint az élelmiszerek (búza, kukorica) árának ugrásszerű növekedése miatt időszerű is – ezt szolgálhatja majd a SCWG technológia 2G etanol-technológiákba való integrálása, mivel azok nagy arányú, 40% és 90% körüli nedvességtartalmú, mellékterméket (lásd: lignin és szeszmoslék) termelnek, amit ma rossz hatásfokkal dolgoznak fel.
Magyarország jelentős kukoricaszár és gabonaszalma potenciállal rendelkezik, ami lehetőséget ad a mai mintegy 900 millió liter keményítő alapú bioetanol gyártás megduplázására, bioetanol exportunk további jelentős növelésére, amennyiben a jelenlegi 2G etanol-technológiák hatékonysága és energetikai hatásfoka a jövőben jelentősen javul, a SCWG-HU technológia integrálásának köszönhetően.

15. Zárszó

A jelen rövid műszaki-gazdasági ismertetővel szerettük volna tudatosítani, hogy a projekt megvalósítása időszerű és célszerű, valamint azt is, hogy a SCWG technológia érettsége, nemzetközi szintű előkészítettsége okán a tárgyi mintaprojekt megvalósításával kapcsolatos kockázatok a kutatási-fejlesztési kockázatok szokásos mértékén belül vannak.

Szerettük volna azt is bemutatni, hogy a mintaprojekt „időzítése” ideálisnak mondható.

Reméljük, hogy a fenti rövid ismertető anyag meggyőzi a döntéshozókat arról, hogy a tárgyi mintaprojekt érdemes a kiemelt kormányzati figyelemre és az annak megvalósítását lehetővé tevő pénzügyi támogatásra.

Budapest, 2022.08.26

Hujber Ottó
okl. villamosmérnök
műszaki igazgató

Coopinter Kft
1135 Budapest, Lehel út 61
mobil: +36 20 944 8912
otto.hujber@coopinter.hu
www.coopinter.hu

16. Irodalomjegyzék

- Amrullah, A., Matsumura Y.* (2018). Supercritical water gasification of sewage sludge in continuous reactor, *Bioresource Technology*, Volume 249, , Pages 276-283.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417317820>
- Antal M., Allen S. G., Schulman, D., Xu, X., Divilio R.J.* (2000). Biomass Gasification in Supercritical Water, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2000, 39, 11, 4040–4053
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie0003436>
- Bailera, M., Lisbona, P., Romeo, L.M., Espatoler, S.* (2017). Power to Gas projects review: Lab, pilot and demo plants for storing renewable energy and CO₂, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 69, Pages 292-312,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116307833>
- 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
- 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
- De Blasio, C., Prestipino, M., Galvagno, A.* (2019). An Assessment of Operating Conditions for Supercritical Water Gasification and Safety Issues Conference: The 5th World Congress on New Technologies,
file:///C:/Users/vera/OneDrive%20%20VTK%20Innosystem%20Kft/X1/Downloads/ICERT_120_in_proceedings.pdf
- European Policy Center* (2020). The digital circular economy, A driver for the European Green Deal
https://www.epc.eu/content/PDF/2020/DRCE - Executive_summary1.pdf
- 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.
- 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)
- Lardon, L.* (2017). BioCat – Power to Gas technology by Biological methanation; Integration to a resource treatment plant https://www.grese.ch/wp-content/uploads/2017/02/09_Laurent-Lardon.pdf

Liebetrau, J., Baier, U., Wall, D., Murphy, J.D. (2020). Integration of biogas systems into the energy system, technical aspects of flexible plant operation IEA Bioenergy: Task 37 <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/09/Integration-of-biogas-systems-into-the-energy-system-Report.pdf>

Lochbrunner, A., Schirrmeister, S. (2018). Innovative large-scale energy storage technologies and Power-to-Gas concepts after optimisation PtG demonstration plant Solothurn commissioned. <https://ec.europa.eu › documents › downloadPublic>

OVF (2015). Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia 2014 -2023. http://biopsol.hu/files/file/Szennyviziszap_kezelesi_es_hasznositasi_strategia_2018_2023.pdf

Pincés, Zs. (2021) Veszélyes hulladékok szuperkritikus-vizes oxidációval történő megsemmisítése, Diplomamunka. Konzulens: Hujber Ottó

Pinkard, B.R., Gorman, D.J., Tiwari, K., Rasmussen, E.G., Kramlich, J.C., Reinhall, P.G., Novosselov, I.V. (2019). Supercritical Water Gasification: Practical Design Strategies and Operational Challenges for Lab-Scale, Continuous Flow Reactors. Heliyon, Volume 5, Issue 2. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01269>

Pioro, I., Mokry, S. (2011). Thermophysical Properties at Critical and Supercritical Conditions book: Heat Transfer - Theoretical Analysis, Experimental Investigations and Industrial Systems. DOI:[10.5772/13790](https://doi.org/10.5772/13790)

Pioro, I., Mokry, S. (2011). Heat Transfer to Fluids at Supercritical Pressures. https://www.researchgate.net/publication/267423548_Heat_Transfer_to_Fluids_at_Supercritical_Pressures

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. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-016-1055-7>

Schlautmann, R., Böhm, H., Zauner, A., Mörs, F., Tichler, R., Graf, F., Kolb, T. (2021). Renewable Power-to-Gas: A Technical and Economic Evaluation of Three Demo Sites Within the STORE&GO Project. <https://doi.org/10.1002/cite.202000187>

Zavarkó M., Csedő Z., (2021). Körkörös gazdaságfejlesztési és dekarbonizációs lehetőségek a power-to-gas technológia magyar szennyvíztisztító telepeken való alkalmazásával. Hidrológiai Közöny, 101. évf. 3. szám.