

Circular Economy and Environmental Protection

Bilingual scientific journal / Kétnyelvű tudományos folyóirat

Körforgásos Gazdaság és Környezetvédelem



*Official Journal of the
Environmental and Process Engineering Research
Group and Institute of Chemistry*

Volume 1, Issue 4, 2017

EDITORIAL INFORMATION

Editor-in-Chief: Mizsey, Peter

Editorial Advisory Board:

Kraslawski, Andrzej

Mika, Laszlo Tamas

Nagy, Tibor

Plesu, Valentin

Reti, Gabor

Stawski, Dawid

Szlavik, Janos

Toth, Andras Jozsef

Valentinyi, Nora

Vatai, Gyula

Viskolcz, Bela

Journal Editor: Racz, Laszlo (sr)

Assistant Editors:

Andre, Anita

Farkas Szoke-Kiss, Anita

Fozer, Daniel

Haaz, Eniko

Tarjani, Ariella Janka

Publishers:

Environmental and Process Engineering Research Group, and Institute of Chemistry – Mizsey, Peter

ISSN 2560-1024

Contact, manuscript submission: ceep@envproceng.eu

On the first page: An algae farm for fuel production
(<http://www.popularmechanics.com/science/energy/a4677/4333722/>)

CONTENTS / TARTALOM

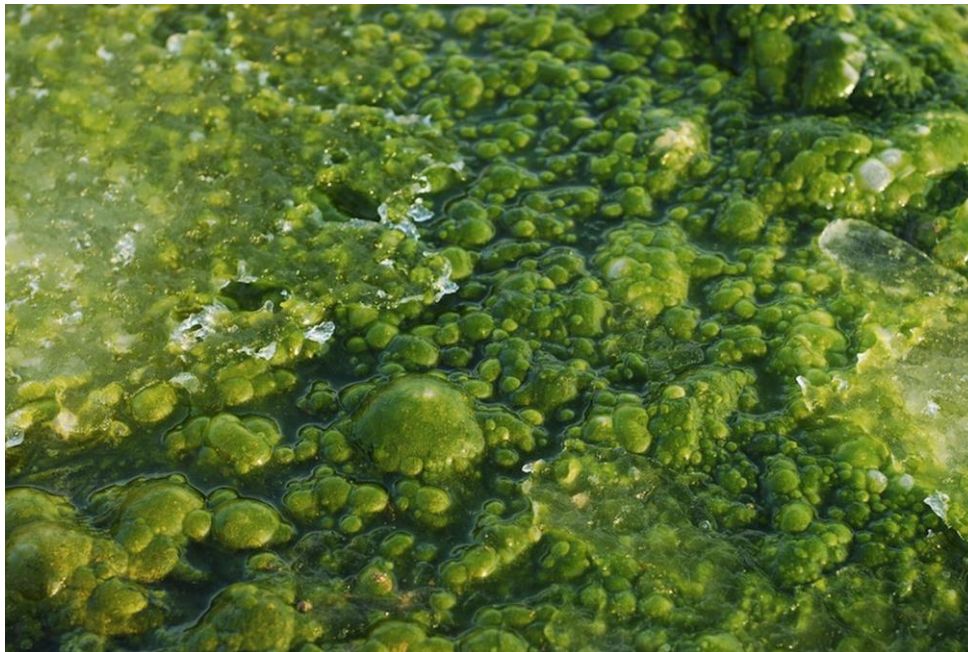
Editorial preface / Szerkesztői előszó.....4

Circular Economy / Körforgásos Gazdaság

**Fózer, Dániel – Kiss, Bernadett – Lőrincz, László – Tóth, András József – André, Anita
– Tarjáni, Ariella Janka – Nagy, Tibor – Haáz, Enikő – Valentínyi, Nóra – Németh,
Áron – Székely, Edit – Mizsey, Péter: Metán- és hidrogéntartalmú biogáz előállításának
vizsgálata mikroalga biomassa hidrotermális elgázosításával.....5–16**

Actualities / Aktualitások

Fózer, Dániel: 'Climate-KIC Pioneers into Practice (PiP)' program.....17–20



What are algae?

(https://www.google.com/search?q=algae+production+plant&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=fGjoNzqXsdpDM%253A%252CWf9etwghBnQIHM%252C_&usg=__4s_tGUu37OlFa1WHzo4dH7_mxM%3D&sa=X&ved=0ahUKEwiZ0fvcz63YAhVSa1AKHYntBPAQ9QEITDAA#imgrc=US54wD6ECCAeSM:)

EDITORIAL PREFACE / SZERKESZTŐI ELŐSZÓ

Tisztelt / Kedves Olvasó,

Ajánlom figyelmükbe a 2017-ben alapított folyóiratunk 4. számát.

Ebben a számunkban Fózer Dániel és munkatársainak tudományos cikkével ismerkedhet meg a Tisztelt Olvasó, amely témája a biomassza hidrotermális elgázosítása. A közleményből megtudhatjuk, hogy a hidrotermális elgázosítás során metán és hidrogén tartalmú biogáz állítható elő megújuló nyersanyagforrások felhasználásával.

Ismeretterjesztő rovatunkban Climate-KIC Pioneers into Practice (PiP) programról olvashatnak, amely az Európai Unió egyik kiemelt klímainnovációs csereprogramja. Megtudhatjuk a jelenlegi és jövőbeli célokat.

Reméljük, hogy olvasóink érdekesnek találják mostani kiadványunkat és kedvet kapnak hozzá, hogy maguk is beküldjék saját munkájukat a szerkesztőségünkbe.

Budapest, 2017. december 31.

Tóth, András József

Metán- és hidrogéntartalmú biogáz előállításának vizsgálata mikroalga biomassa hidrotermális elgázosításával

Fózer, Dániel^{1*}, Kiss, Bernadett², Lőrincz, László¹, Tóth, András József¹,
André, Anita¹, Tarjáni, Ariella Janka¹, Nagy, Tibor¹, Haáz, Enikő¹,
Valentínyi, Nóra¹, Németh, Áron², Székely, Edit¹, Mizsey, Péter¹³

¹BME-VBK Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, 1111 Budapest,
Budafoki út 8.

²BME-VBK Alkalmazott Biotechnológiai és Élelmiszertudományi Tanszék,
1111 Budapest, Szt. Gellért tér 4.

³Miskolci Egyetem, Finomvegyipari és Környezettechnológiai Intézeti Tanszék,
3515, Miskolc, Egyetemváros C/1 108.

*fozerd@ch.bme.hu, +36 1 463 1203

Beküldve: 2017. december 25.

Közlésre elfogadva: 2017. december 31.

KIVONAT

A hidrotermális elgázosítás (HTG) olyan művelet, amelynek során metán- és hidrogéntartalmú biogáz állítható elő megújuló nyersanyagforrás, biomassa felhasználásával. A kutatómunka tárgyát *Chlorella vulgaris* mikroalga törzs elgázosításának vizsgálata képezte, mely kiterjedt az elgázosítási hatások, illetve a keletkező gázok minőségének és mennyiségének vizsgálatára a hőmérséklet (350–600°C) és nyomás (200–300 bar) függvényében. A kísérleti eredmények kiértékelése válaszfelületi módszer alkalmazásával történt (Response Surface Methodology, RSM),

ahol a kapott statisztikai modell jól illeszkedett a mérési eredményekre és adekvátnak bizonyult. A legmagasabb elgázosítási hatások 90,74%-nak adódott 550°C hőmérsékleten és 280 bar nyomáson. Az eredmények alátámasztják, hogy a mikroalga biomassa hidrotermális elgázosítása megfelelő feldolgozási módszer metán és szintézisgáz előállítására, a melléktermékként keletkező folyadékfázisban levő aromások alkalmasak lehetnek a technológia alkalmazási körének kibővítésére.

ABSTRACT

Production of methane- and hydrogen-containing biogas through hydrothermal gasification of microalgal biomass

Hydrothermal gasification (HTG) of microalgal biomass is a suitable process for making methane- and hydrogen-rich biogas. We investigated the effect of temperature (350–600°C) and pressure (200–300 bar) on the gasification efficiency, the quality and the quantity of the gas products. Measurements were carried out with alga *Chlorella vulgaris*. Results were evaluated statistically using response surface methodology (RSM), where the given model was adequate and fitted the experimental results well. The highest gasification efficiency was 90.74% at 550°C and 280 bar. The results confirm that hydrothermal gasification is a convenient process to produce methane and hydrogen while the coproduct aromatic liquid phase could expand the application of HTG.

BEVEZETÉS

A mikroalga mint gyűjtőfogalom olyan egysejtű fotoszintetizáló organizmusokat foglal magába, melyek képesek az atmoszféra CO₂ tartalmát megkötni és abból fehérjéket, lipideket és szénhidrátokat szintetizálni. A mikroalga biomassza előnyei között sorolható fel a nagymértékű rendelkezésre állás, magas biodiverzitás és fotoszintetikus határfok, továbbá a széles skálájú felhasználhatóság, mint például bioüzemanyagként, élelmiszeripari, takarmány és gyógyszeripari alapanyagokként (Gikonyo, B. (ed.) (2014); Lardon, L. et al. (2009);

Collet, P. et al. (2013); Zhao and Su (2014); Fozer, D. et al. (2017a)).

A mikroalga biomassza feldolgozását nehezíti az a tény, hogy híg szuszpenzióban tenyészthető, mely a downstream oldalról megköveteli a biomassza megfelelő előkezelését: ülepítést, dekantálást, centrifugálást és szárítást. A nagy volumenben történő víztávoltítás a biofinomító egészére nézve is rentabilitási kérdéseket vet fel (Fozer, D. et al. (2017b)), így az elmúlt időben egyre inkább a hidrotermális konverziós technológiák kerültek a biomassza feldolgozás előterébe. A művelet során alkalmazott reakciókörülmények függvényében három fő hidrotermális eljárást lehet elkülöníteni: (i) hidrotermális elszenesítést (<200°C, <2 MPa), (ii) hidrotermális elfolyósítást (250–370°C, 10–25MPa) és (iii) hidrotermális elgázosítást (350–700°C, 20–30MPa) (Tekin, K., Karagöz, S. & Bektaş, S. (2014); Anastasakis, K. & Ross, B. (2015); Soreanu, G. et al. (2017)).

A hidrotermális elgázosítás (HTG) alkalmazásával biomasszából főként biogáz és más értékes, nagy hozzáadott értékkel rendelkező melléktermékek nyerhetők. A folyamatban a nagy nyomású és hőmérsékletű víz oldószerként és reakcióközegként is szolgál (Miller, A. et al. (2012); Elliot, D.C. et al. (2015)). Az eljárás nem igényli a biomassza jelentős mértékű szárítását, ugyanis a technológia teljes szárazanyag igénye csak 10–25 m/m%. A műveletben a teljes mikroalga biomassza felhasználható (nemcsak a lipidek, hanem a fehérjék és szénhidrátok is). A szuperkritikus víz reakcióközegként való alkalmazása növeli az anyagátadást, továbbá a reakciókörülmények

módosításával a keletkező komponensek minőségét és mennyiségét is lehet változtatni.

Hidrotermális elgázosítás során az alkalmazott nagy hőmérsékletnek és nyomásnak köszönhetően a biomasszát alkotó vegyületekben levő kötések felbomlanak, így a biomasszát kis móltömegű komponensekre lehet bontani (H_2 , CH_4 , CO , CO_2 és C_2 – C_4 gáz). A HTG során a hidrolízis mellett termikus bomlás, víz-gáz reakció és metanálási reakció játszódik le, a reakciókörülmények mérséklésekor repolimerizáció is megfigyelhető (Gollakota, A.R.K., Kishore, N. & Gu, S. (2017)). A mikroalgákban található lipidek legtöbbször triglicerid formában vannak jelen, hidrolízisük során glicerin keletkezik

belőlük, amely a reakciókörülmények függvényében átalakulhat metanollá, acetaldehiddé, propionaldehiddé, akroleinné, allil-alkohollá, etanollá, formaldehiddé, és gázokká (CO , CO_2 , H_2). A nagyobb termikus stabilitású zsírsavak alkalmasak hosszú szénláncú szénhidrogének előállítására. A fehérjékből hosszú szénláncú szénhidrogének, aromás gyűrűk (pl. fenol), illetve nitrogén-tartalmú heteroaromások keletkeznek (indol, pirrol) (Barreiro, D.L. et al. (2013)). Az elgázosítás melléktermékeként keletkező folyadék fázis N-tartalma főleg fehérjékből származik. A szénhidrátok poláris, vízoldható, és jelentős mennyiségű oxigént tartalmazó szerves vegyületekké bomlanak le, mint hangyasav, ecetsav, tejsav, aldehidek, alkoholok, benzol (Biller, P. et al. (2015); Shakya, R. et al. (2017)).



1. ábra. *Chlorella vulgaris* mikroalga törzs 1 000-szeresen nagyított képe olajimmerziós lencsével

A kutatómunka célja a mikroalga biomassza hidrotermális elgázosítását befolyásoló reakciókörülmények, illetve a

keletkező biogáz minőségi és mennyiségi paraméterei közötti kapcsolat vizsgálata és megértése volt.

ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Mikroalga törzs és tápközeg

A fermentációs kísérletekhez a Mosonmagyaróvári Algagyűjteményből (MACC – Mosonmagyaróvár Algal Culture Collection) származó *Chlorella vulgaris* mikroalga törzset használtunk (1.

ábra). A MACC Európa 13. legnagyobb, talajalgákat tekintve pedig a 3. legnagyobb mikroalga gyűjteménye. A tenyésztés BG11-es tápközegben valósult meg ((CCAP (2017)) (CCAP – Culture Collection of Algae and Protozoa), melynek összetétele az 1. táblázatban tekinthető meg.

Komponensek	g/L
(1) NaNO ₃	15,00
(2) K ₂ HPO ₄	4,00
(3) MgSO ₄ ·7H ₂ O	7,50
(4) CaCl ₂ ·2H ₂ O	3,60
(5) Citromsav	0,60
(6) FeNH ₄ SO ₄	0,60
(7) EDTANa ₂	0,10
(8) Na ₂ CO ₃	2,00
(9) Nyomelemek	
H ₃ BO ₃	2,86
MnCl ₂ ·4H ₂ O	1,81
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,22
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,39
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,08
Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	0,05

1. táblázat. BG11 tápközeg összetétele (CCAP (2017))

Mikroalga tenyésztés

A mikroalgát kevert tartály típusú fotobioreaktorokban tenyésztettük (2. ábra). A fermentor maga 4,25 L ösztérfogatú henger alakú üvegedény, átmérője 15,5 cm, magassága 26 cm. A fermentor palástjának mesterséges megvilágításáról henger alakú LED-állványra rögzített LED-sorok gondoskodtak. (A LED-állvány hivatalos forgalmazója a The University of Texas at Austin (UTEX).) Az RGB-LED-eken (RGB – red, green, blue) az intenzitást és a hullámhosszat is lehet változtatni. A fermentor és az oldatok sterilizálását Tauttnauer 3870 ELV autoklávban

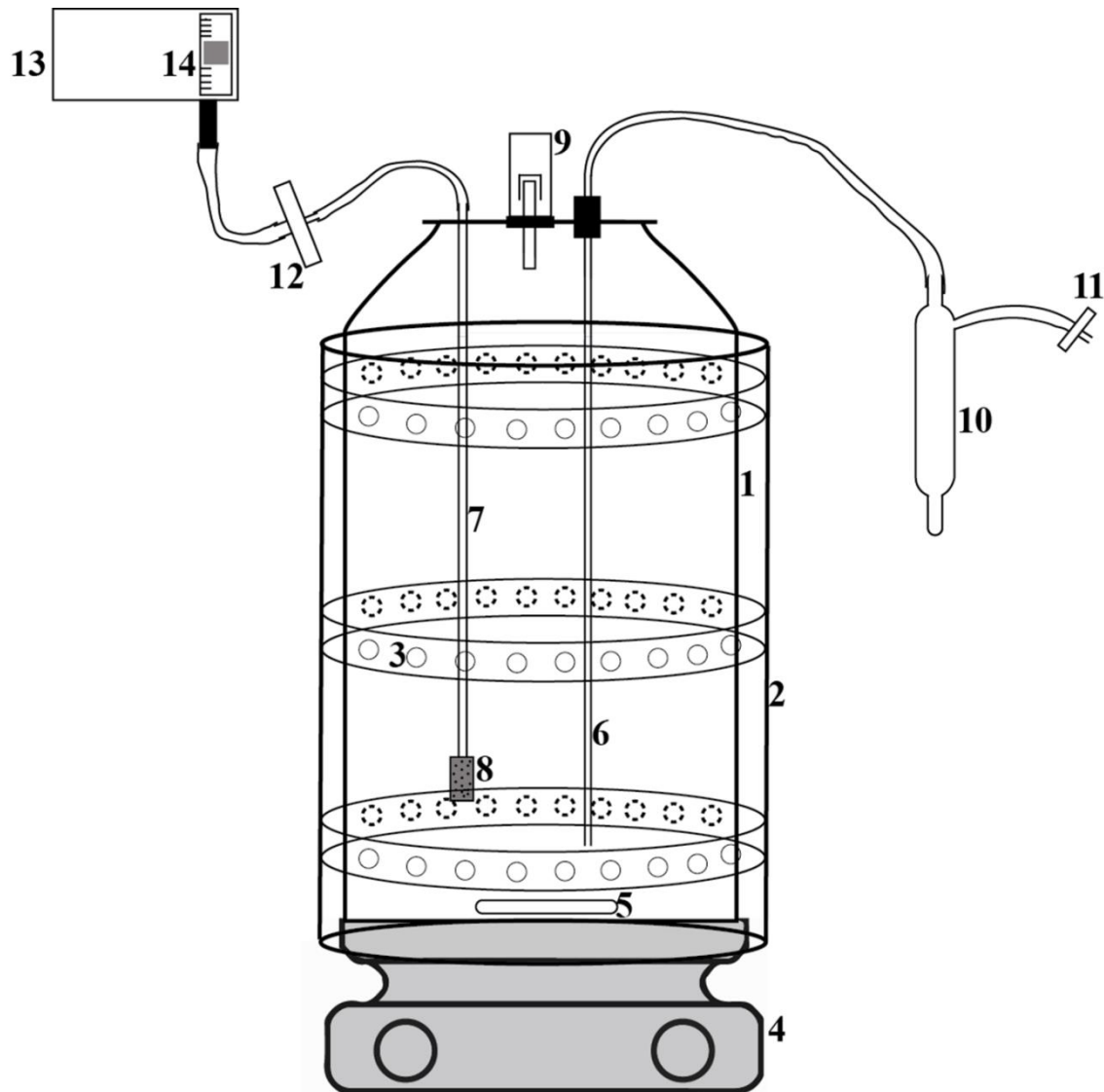
végeztük. A tenyésztés átlagos időtartama 240 óra, az inokulálási arány ~10%. A tenyésztést az optikai denzitás (OD_{560nm}) mérésével monitoroztuk (Pharmacia LKB Ultrospec Plus Spectrophotometer használatával).

A HTG reaktor kialakítása

A hidrotermális elgázosítás folyamatábrája a 3. ábrán tekinthető meg. A csőreaktor (1/8", 316 rozsdamentes acél) egy fűthető kemence belsejében található, hossza 2 m. A reaktorszakasz elején és végén 1-1 K-típusú hőmérő helyezkedik el. A fluidumot két HPLC (high performance liquid

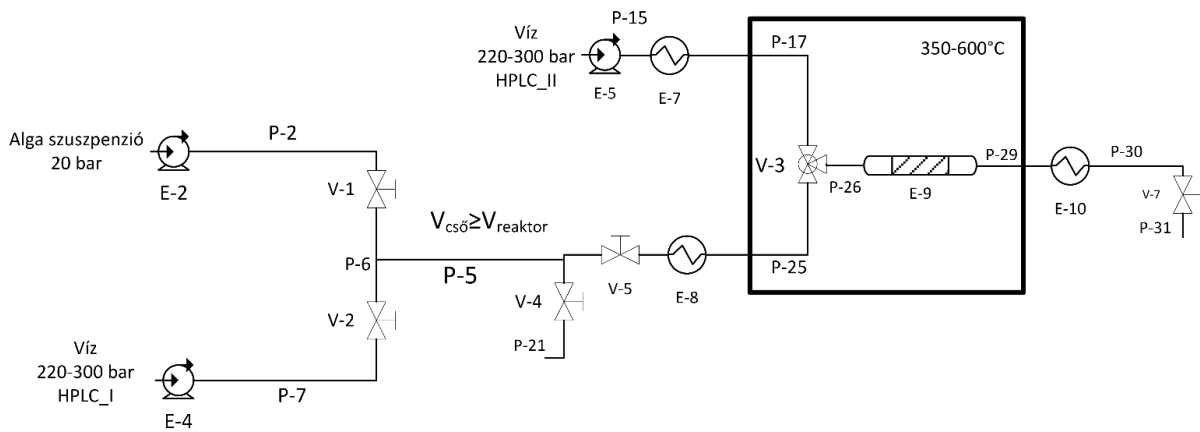
chromatography) pumpa szállítja (Jasco PU-980, Gilson Model 303), melyekkel 300 bar nyomás érhető el. A reaktorszakasz elején keveredik az előmelegített algaszuszpenzió egy

csőkemencében előmelegített vizes árammal, így biztosítva, hogy a fluidum már a reaktorszakasz elején elérje a kívánt reakcióhőmérsékletet.



2. ábra. A mikroalga tenyésztéshez használt kevert tartály típusú fotobioreaktor sematikus ábrája.

1–fermentor, 2–LED-állvány, 3–LED-sor, 4–mágneses keverő, 5–mágnesrúd, 6–mintavevő csonk, 7–légbefúvó csonk, 8–gázelosztó, 9–kotyogó, 10–mintavevő csonk, 11 és 12–steril szűrők, 13–levegőztető rendszer, 14–rotaméter



3. ábra. A hidrotermális elgázosítás folyamatábrája

A reaktor tervezésénél szempont volt a turbulens áramlás, megfelelő keveredés elérése, így a kialakított rendszerben a Reynolds-szám a legalacsonyabb betáplálási térfogatáramok mellett is nagyobb 10^5 -nél. A reaktorban (Millipore® Simplicity® UV használatával készített) ioncserélt víz áramlik keresztül. Az elgázosítási hatások az alábbi egyenlet segítségével határozható meg:

$$GE (\%) = \frac{\dot{V}_{biogáz}}{\dot{V}_{betáp}} \cdot 100 (\%),$$

ahol $GE (\%)$ az elgázosítási hatások, $\dot{V}_{biogáz}$ a keletkező biogáz térfogatárama (ml/min), és $\dot{V}_{betáp}$ a betáplált mikroalga szuszpenzió térfogatárama (ml/min).

A HTG termékek analitikai vizsgálata

A hidrotermális elgázosítás során képződő gáztermékek analitikai vizsgálatát TCD és FID detektorokkal rendelkező HP5890A Series II gázkromatográfval végeztük. Az injektált komponenseket 1/8" átmérőjű 1,9 m hosszú töltetes kolonnán választottuk el, ahol a töltet 80/100 mesh arányú Porapak Q volt. A kemence kezdeti hőmérséklete 50°C fél perc hőntartással, a vég hőmérséklet 2 perc hőntartással 150°C, melyet a készülék 20°C/min fűtési

sebességgel ért el. A vivőgáz argon, áramlási sebessége 22 ml/min volt. A TCD (thermal conductivity detector – hővezetőképességi detektor) és FID (flame ionisation detector – lángionizációs detektor) szimultán összekötése lehetővé tette, hogy az összes gázkomponens minőségét és mennyiségét egyetlen injektálással vizsgálni lehessen.

A elgázosításnál melléktermékként keletkezett folyadékfázis összetételét szűrést követően (FilterBio® PTFE-L, 0,45µm) Shimadzu QP2010 GC-MS készülékkel (SGE BP5 kolonna) határoztuk meg. A kezdeti hőmérséklet 50°C, a fűtési sebesség 20°C/min, a vég hőmérséklet 280°C, az interface hőmérséklete 280°C, és az ionforrás hőmérséklete 250°C volt. Az alkalmazott vivőgáz hélium, az injektált minta térfogata 3µL volt, 1:1 splitaránnyal.

Kísérleti terv, statisztikai kiértékelés

A kísérleti eredmények statisztikai és grafikai kiértékeléséhez STATISTICA 13.1 programot használtunk. A kísérleteket módosított kétfaktoros central composite design (CCD) kísérleti terv alapján végeztük el. A kísérleti eredményekre

illetztett másodfokú polinom az alábbi egyenlettel írható le:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} X_i \beta_{ij} X_j + \epsilon,$$

ahol \hat{Y} a függő változó (H_2 , CH_4 , CO_2 , CO , GE), X_i a független változó (hőmérséklet, nyomás), $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ regressziós koefficiensek, ϵ pedig a hiba.

EREDMÉNYEK, ÉRTÉKELÉS

Az elvégzett kísérleti beállításokat és mérési eredményeket a 2. táblázatban

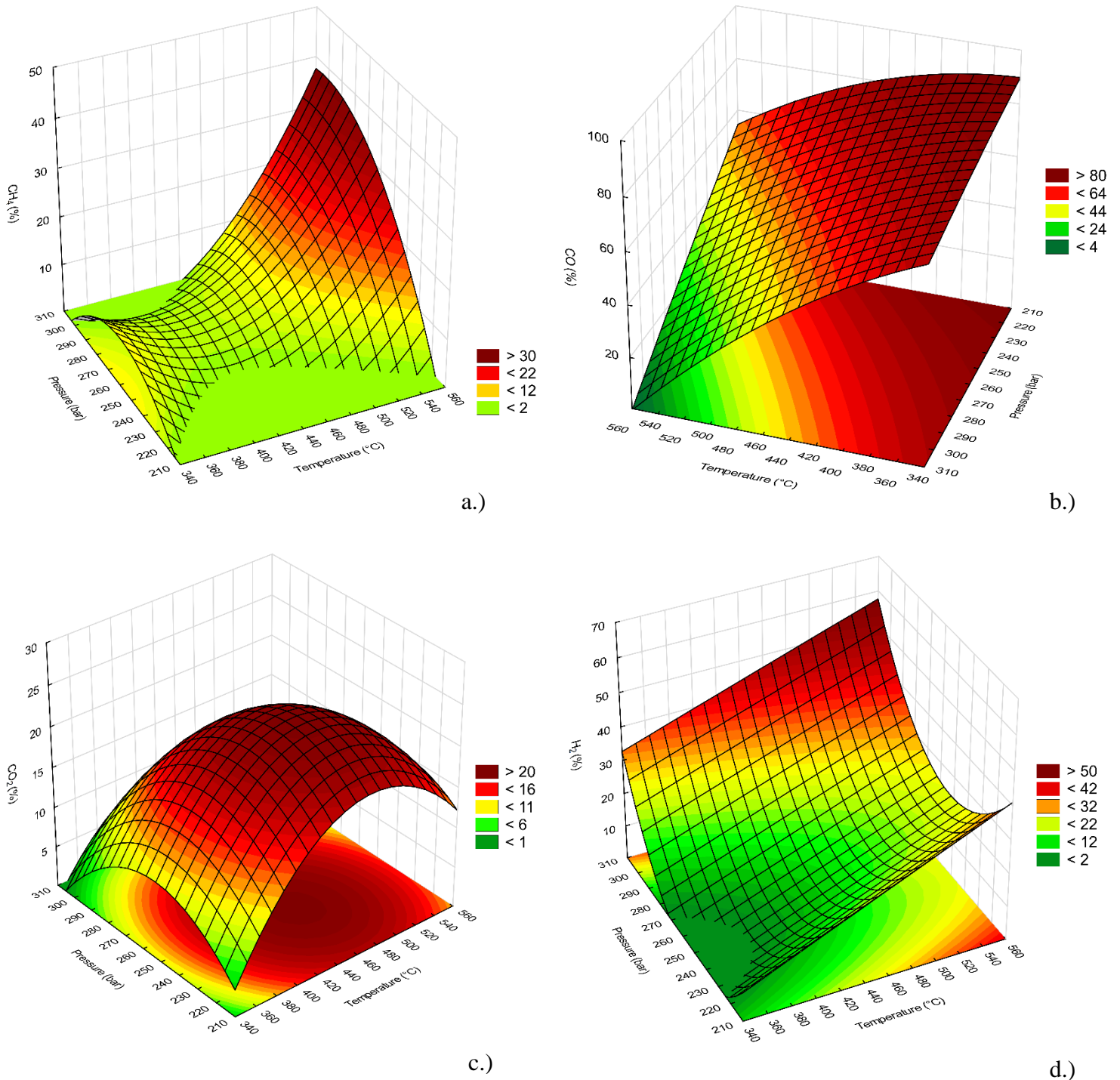
foglaljuk össze. A mérési eredményekből megállapítható, hogy a hőmérséklet és nyomás emelésével növelhető az elgázosítási hatások (GE – gasification efficiency). A legnagyobb elgázosítási hatások 90,74%-nak adódott 550°C-on, 280 bar nyomáson. Az eredményekből kitűnik, hogy a víz szuperkritikus pontja alatt (374°C, 22 MPa) mind a GE, mind a metán- és hidrogénhozam kicsi; növelve a független változók szintjeit, a metán- és a hidrogénhozam egyaránt nő.

Mérés	Hőmérséklet, °C	Nyomás, bar	H ₂ , V/V%	CH ₄ , V/V%	CO ₂ , V/V%	CO, V/V%	GE, %
1.	450	250	7,97	1,12	22,60	68,31	81,61
2.	450	300	34,20	3,80	12,00	49,00	80,97
3.	350	280	5,62	6,36	9,10	78,92	44,27
4.	550	220	32,19	0	15,38	52,43	89,67
5.	350	220	3,39	0	8,26	88,35	14,39
6.	550	280	30,39	31,13	10,9	20,95	90,74
7.	450	250	9,93	0,63	23,86	65,58	79,31

2. táblázat. HTG kísérleti terv, biogáz összetétel.
(GE – elgázosítási hatások)

A mérési eredményeket válaszfelületi módszerrel értékeltük ki, az illetztett felületek a 4. ábrán tekinthetők meg. Metán szubkritikus körülmények között elhanyagolható mértékben képződik. Tovább emelve a hőmérsékletet és nyomást, a hozam 450°C és 250 bar fölött kezd el növekedni. A legmagasabb metánhozam 31,13 V/V%-nak adódott, amelyet a vizsgált legnagyobb hőmérséklet és nyomás szinteken sikerült elérni. Ez egyben azt is jelenti, hogy a független változók szintjeinek növelésével tovább növelhető a metánhozam, ennek vizsgálata

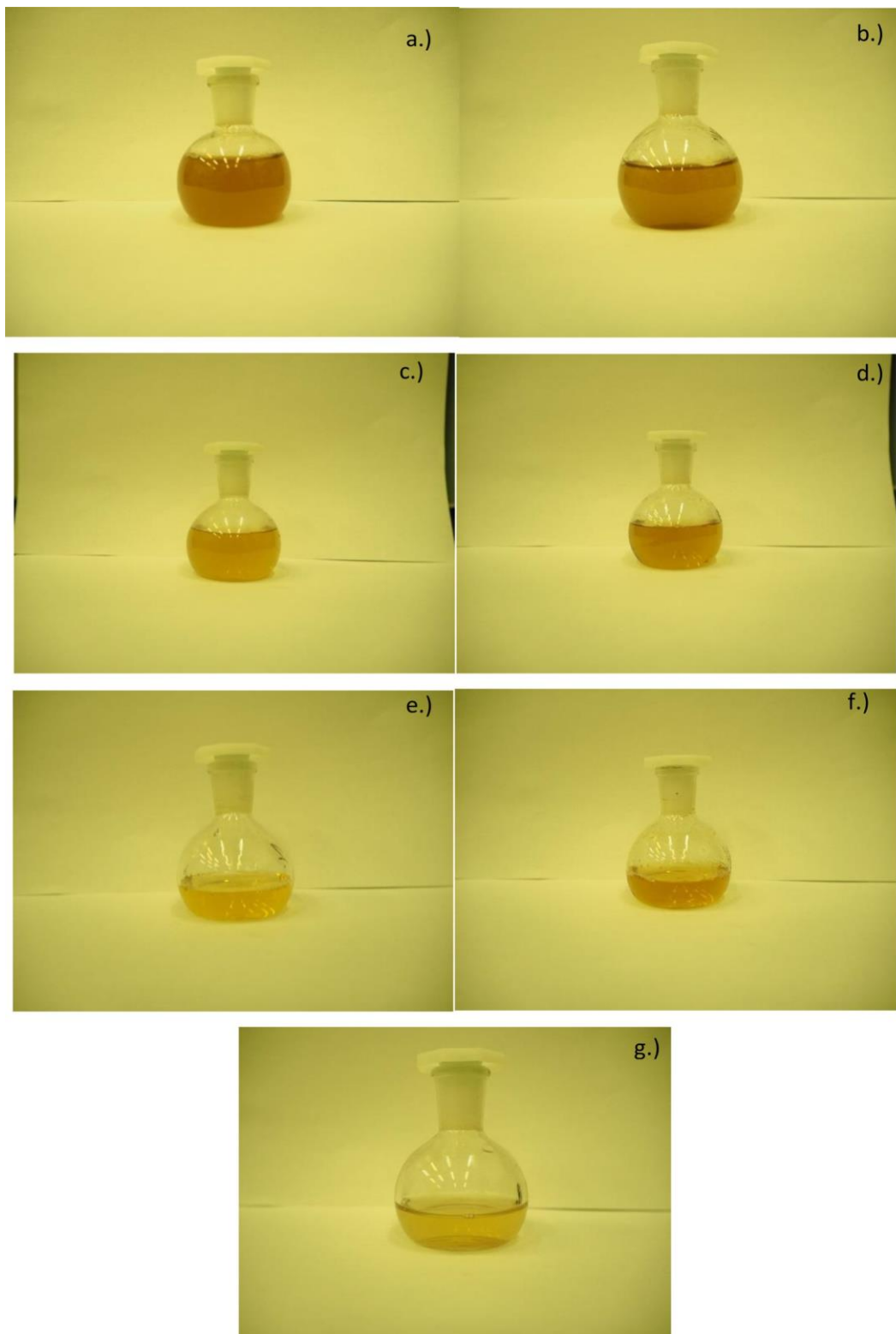
ugyanakkor további méréseket igényel. A 4.b ábrán látható, hogy a CO koncentrációja a hőmérséklet és nyomás növelésével csökkent. A CO₂ koncentrációja a vizsgált hőmérséklet és nyomás tartományban maximumos görbét ad, ahol a szélsőérték 460–470°C, és 250–260 bar között található. A hidrogén esetén megállapítható, hogy a hőmérsékletnek nagyobb szerepe van a hidrogénhozam növelésében; a legnagyobb hozam a hőmérséklet és nyomás együttes növelésével érhető el.



4. ábra. Válaszfelületi ábrák. Metán- ($R^2=0,99$), szén-monoxid- ($R^2=0,99$), szén-dioxid- ($R^2=0,99$), és hidrogén ($R^2=0,99$) hozamok a hőmérséklet és a nyomás függvényében

A mikroalga biomassza hidrotermális elgázosításánál melléktermékként folyadékfázis is keletkezik. A reakciókörülmények változtatásával a

keletkező folyadékfázis minősége és mennyisége is változik, ahogyan az az 5. ábrán látható.



5. ábra. A különböző elgázosítási paraméterek mellett keletkező fluidum.
(a.) 350°C, 220 bar, b.) 350°C, 280 bar, c.) 450°C, 250 bar, d.) 450°C, 250 bar,
e.) 450°C, 300 bar, f.) 550°C, 220 bar, g.) 550°C, 280 bar)

A folyadékfázis minőségi analízisét összegző eredmények a 4. táblázatban tekinthetők meg. Az eredmények megerősítik, hogy a folyadékfázis több komponensből tevődik össze, melyek között megtalálhatóak aromás, heteroatomot tartalmazó aromás, illetve

nagy oxigéntartalmú szerves vegyületek egyaránt. A keletkező komponensek mennyiségi analízise, illetve a reakciókörülményektől való függés megállapítása további vizsgálatokat igényel.

Vegyületek	Egyezőség, %
1,2-propándiamin	91
Aceton	88
(2S)-2-amino-N-etilpropanamid	96
Malonsav	88
1,3,4,-trihidroxi-5-oxociklohexánl-karbonsav	80
1,3,5-cikloheptatrién	94
Ecetsav	96
Etanol	87
2-fenilacetaldehid	92
Acetamid	87
Pirrolidin-2-on	85
1-metilpirrolidin-2,5-dion	89
1H-piridin-4-on	84
Piperidin-2-on	85
1H-indol	89
1-dibutilfoszforilbután	90
3-metil-1H-indol	90

2. táblázat. A folyadékfázis GC-MS elemzési eredményei

ÖSSZEFOGLALÁS

Közleményünkben mikroalga biomassa hidrotermális elgázosítását vizsgáltuk. A kutatás keretein belül a metán, hidrogén, szén-dioxid és szén-monoxid hozam változását tanulmányoztuk a hőmérséklet és nyomás különböző szintjeinek függvényében.

Az elgázosítás során sikeresen előállítottunk nagy metán- és hidrogéntartalmú biogázt. A kiértékelés során megerősítést nyert, hogy a hőmérséklet és nyomás növelésével emelni lehet a metán- és hidrogénhozamot. A legnagyobb metán hozamot (31,13 V/V%) 550°C-on és 280 bar nyomáson értük el.

Az elgázosítás melléktermékeként keletkező folyadékfázis aromás, heteroatomot tartalmazó aromás, illetve nagy oxigéntartalmú szerves vegyületeket tartalmazott.

Az elvégzett kísérletek további mérések alapjául szolgálhatnak, melyekben érdemes vizsgálni más tényezők hatásait a keletkező gázkomponensek hozamára, illetve a folyadékfázisban levő komponensek koncentrációjára.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3-I kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült. A publikáció a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj és a 112699-es számú OTKA pályázat támogatásával készült. A kutatómunka az Európai Unió és a magyar állam támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával, a GINOP-2.3.4-15-2016-00004 projekt keretében valósult meg, a felsőoktatás és az ipar együttműködésének elősegítése céljából.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Anastasakis, K., & Ross, B. (2015) Hydrothermal Liquefaction of Four Brown Macro-Algae Commonly Found on the UK Coasts: An Energetic Analysis of the Process and Comparison with Bio-Chemical Conversion Methods. Elsevier, *Fuel* 139. 546–53. Available from: doi:10.1016/j.fuel.2014.09.006.

Barreiro, D.L., Prins, W., Ronsse, F. & Brilman, W. (2013) Hydrothermal Liquefaction (HTL) of Microalgae for Biofuel Production: State of the Art Review and Future Prospects. *Biomass and Bioenergy*, 53, 113–27. Available from: doi:10.1016/j.biombioe.2012.12.029.

Biller, P., Sharma, B.K., Kunwar, B. & Ross A.B. (2015) Hydroprocessing of Bio-Crude from Continuous Hydrothermal Liquefaction of Microalgae. Elsevier, *Fuel* 159, 197–205. Available from: doi:10.1016/j.fuel.2015.06.077.

CCAP (2017) BG11 (Blue-Green Medium). *The Scottish Association of Marine Science*. Available from: <https://www.ccap.ac.uk/media/documents/BG11.pdf> [Accessed 1st Dec. 2017].

Collet, P., Spinelli, D., Lardon, L., Hélias, A., Steyer, J.Ph. & Bernard, O. (2013) Life-Cycle Assessment of Microalgal-Based Biofuels. Elsevier, *Biofuels from Algae*, 287–312. Available from: doi:10.1016/B978-0-444-59558-4.00013-9.

Elliott, D.C., Biller, P., Ross, A.B., Schmidt, A.J. & Jones, S.B. (2015) Hydrothermal Liquefaction of Biomass: Developments from Batch to Continuous Process. Elsevier, *Bioresource Technology* 178, 147–56. Available from: doi:10.1016/j.biortech.2014.09.132.

Fózer, D., Sziraky, F.Z., Racz, L., Nagy, T., Tarjani, A.J., Tóth, A.J., Haáz, E., Benko, T. & Mizsey, P. (2017a) Life Cycle, PESTLE and Multi-Criteria

- Decision Analysis of CCS Process Alternatives. *Journal of Cleaner Production*, 147. Available from: doi:10.1016/j.jclepro.2017.01.056.
- Fozer, D., Valentinyi, N., Racz, L., & Mizsey, P. (2017b) Evaluation of Microalgae-Based Biorefinery Alternatives. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 19 (2), 501–15. Berlin, Heidelberg, Springer. Available from: doi:10.1007/s10098-016-1242-8.
- Gikonyo, B. (ed.) (2014) *Advances in Biofuel Production: Algae and Aquatic Plants*. Toronto, New Jersey, Apple Academic Press. Available from: doi:10.1016/j.rser.2014.07.030.
- Gollakota, A.R.K., Kishore, N. & Gu. S. (2017) A Review on Hydrothermal Liquefaction of Biomass. Elsevier, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, May, 1–15. Available from: doi:10.1016/j.rser.2017.05.178.
- Lardon, L., Hélias, A., Sialve, B., Steyer, J.-Ph. & Bernard, O. (2009) Life-Cycle Assessment of Biodiesel Production from Microalgae. *Environmental Science & Technology* 43 (17), 6475–81. Available from: doi:10.1021/es900705j.
- Miller, A., Hendry, D., Wilkinson, N., Venkitasamy, Ch., & Jacoby W. (2012) Exploration of the Gasification of Spirulina Algae in Supercritical Water. Elsevier, *Bioresource Technology*, 119, 41–47. Available from: doi:10.1016/j.biortech.2012.05.005.
- Shakya, R., Sushil Adhikari, Ravishankar Mahadevan, Saravanan R. Shanmugam, Hyungseok Nam, El Barbary Hassan, & Dempster, T.A. (2017). Influence of Biochemical Composition during Hydrothermal Liquefaction of Algae on Product Yields and Fuel Properties. Elsevier, *Bioresource Technology*, 243, 1112–20. Available from: doi:10.1016/j.biortech.2017.07.046.
- Soreanu, G., Tomaszewicz, M., Fernandez-Lopez, M., Valverde, J.L., Zuwała, J. & Sanchez-Silva, L. (2017) CO₂ Gasification Process Performance for Energetic Valorization of Microalgae. *Energy*, 119, 37–43. Available from: doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.046.
- Tekin, K., Karagöz, S. & Bektaş, S. (2014) A Review of Hydrothermal Biomass Processing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 673–87. Available from: doi:10.1016/j.rser.2014.07.216.
- Zhao, B. & Su, Y. (2014) Process Effect of Microalgal-Carbon Dioxide Fixation and Biomass Production: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 121–32. Available from: doi:10.1016/j.rser.2013.11.054.
-

'EIT Climate-KIC's Pioneers into Practice (PiP)' program

„A Climate-KIC az Európai Innovációs és Technológiai Intézet (European Institute of Innovation and Technology – EIT) által 2010-ben létrehozott három Tudás- és Innovációs Közösség (Knowledge and Innovation Community, KIC) egyike. Az EIT európai uniós testületként küldetésének a fenntartható fejlődés megteremtését tekinti. A Climate-KIC az éghajlatváltozás elleni küzdelem és alkalmazkodás (mitigation and adaptation) témáival foglalkozik.” Kinyilvánított szándéka szerint „integrálja az oktatást, a vállalkozói szellemet és az innovációt, hogy a tudás és az elképzelések összekapcsolt és kreatív transzformációjával az éghajlatváltozás elleni küzdelmet segítő, gazdaságilag életképes termékeket és szolgáltatásokat hozzanak létre” (eit Climate-KIC (2017)).

„A Climate-KIC hat nagyobb, Nyugat-, Kelet- és Dél-Európát lefedő régió csoportosulása. Ezek Közép-Magyarország, Emilia-Romagna (IT), Hessen (D), Alsó-Szilézia (PL), Valencia (E) és West Midlands (UK).” Központja Londonban van, brüsszeli irodával is rendelkezik. Magyarországi 'inkubátorként' a www.mycorporation.hu szerepel (honlapja nem volt elérhető 2017. december végén) (Climate-KIC regional centres (2017)). A Climate-KIC helyszíneiként Ausztria, Belgium, Egyesült Királyság és Írország, észak-európai országok, Franciaország, Hollandia, Lengyelország, Németország, Olaszország, Spanyolország, Svájc, valamint az EIT Regionális Innovációs Séma vannak megjelölve (eit Climate-KIC (2017)).

A Climate-KIC olyan kiemelkedő innovációs potenciállal rendelkező nemzetközi projekteket támogat, melyek jelentős mértékben hozzájárulnak a klímaváltozás elleni védekezéshez és alkalmazkodáshoz. Aktuális ismertetőjük szerint programjaik célja az áttörő elképzelések felszínre hozatala, az innováció gyorsítása, demonstrálása és méretnövelése, valamint innovációs eszközök együttes megalkotása. A <http://www.climate-kic.org/> honlapon 2017. december végén a következő programokat tüntetik fel: Climathon, Climate Launchpad és Pathfinder.

Climathon: globális 24-órás 'hackathon' (számítógépes eszmecsere) innovátorok, vállalkozók, diákok és szakemberek részvételével a városok klímahívásait kezelő innovatív megoldások keresésére. A legutóbbi Climathon-t 2017. október 27-én tartották, a következőt 2018. október 26-ára tűzték ki.

ClimateLaunchpad: ez a 'zöld üzleti elképzelések', ötletek globális versenye, a nyerteseket díjazzák. A következő ClimateLaunchpad-re 2018. január 30-ától lehet majd jelentkezni.

Pathfinder: e projektek segítik az innovátorokat az ötletükkel kapcsolatos feltételezések ellenőrzésében, finomításában és megerősítésében. Céljuk a kutatók és az üzleti partnerek együttműködésének elősegítése; tipikusan 2–6 hónap időtartamúak és max. 50 ezer Euro támogatással járnak (eit Climate-KIC (2017)).

A jelen ismertetés címében említett és az elmúlt években (így 2017-ben is

megszervezett) *Pioneers into Practice program* célja a kis szén-dioxid kibocsátással rendelkező versenyképes európai gazdaság kialakításának elősegítése a terület szakértőinek megfelelő helyre történő elhelyezésével. A klímaváltozással és / vagy fenntarthatóság kialakításával foglalkozó szakértőket a program keretein belül nemzetközi fogadószervezeteknél helyezik el 4–6 hétre. Mint ahogyan az a 'Klimainnovációs' Közösség honlapján is olvasható, a szakértők egy a fogadó

szervezet által meghatározott klímaváltozással kapcsolatos kihíváson dolgoznak. "Ilyen projekt lehet például a szervezeten belüli energiafelhasználás csökkentése és a fenntartható városi rendszerek fejlesztése. A szakértők a gyakorlati munkán túl workshopokon és online kurzusokon vesznek részt. A részvétel költségeit a program 2 000 eurós keretben támogatja." (klimainnovacio.hu (2017)).

A *Pioneers into Practice* és *Climate KIC* logói az 1. ábrán láthatók.



6. ábra. Climate-KIC és PiP program logók (forrás: <https://eit.europa.eu/newsroom/eit-climate-kic-pioneers-into-practice-2017>)

A Pioneer-ok a legkülönbözőbb foglalkozási területekről érkeznek, mint hulladékkezelés, energiahatékonyságnövelés, víz- és földgazdálkodás, megújuló energia, mobilitás, megújuló városi rendszerek, és biogazdálkodás.

A programban résztvevő fogadószervezetek széles skálát mutatnak, jelen vannak mikro-vállalkozások, kis és közepes vállalatok, multinacionális vállalatok, kutatóintézmények, egyetemek, önkormányzatok, civil szervezetek. A *Pioneers into Practice* 2017. évi idővonala a 2. ábrán tekinthető meg.

2017-ben a programban részt vett egyik fogadószervezet a *Bolognai Egyetem Interdepartmental Centre for Industrial*

Research 'Energy and Environment' tanszéke volt. A következőkben az ottani tapasztalatokról számolunk be.

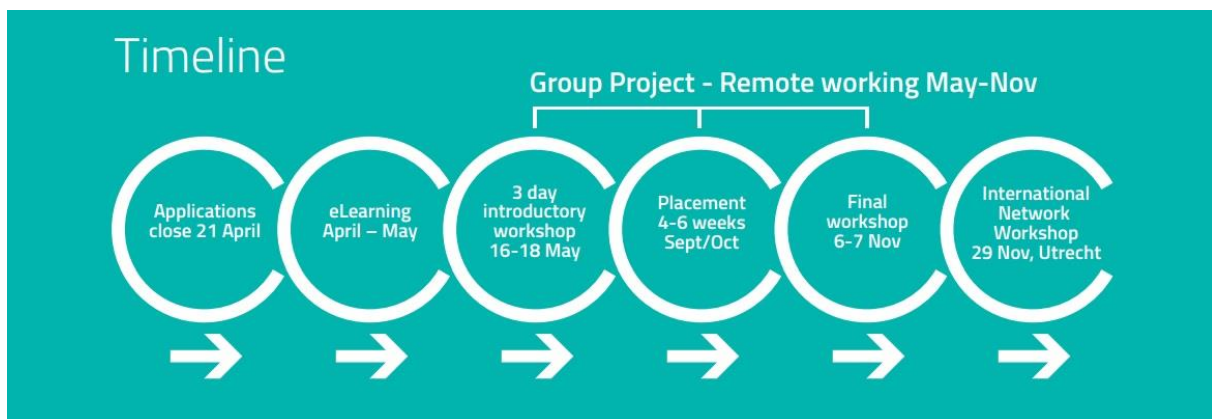
A tanszéken folyó kutatások kiemelten foglalkoznak 3 tématerülettel:

- bioenergia,
- biomassa és
- ipari öködesign, életciklus elemzés (LCA – life cycle analysis).

Az intézményben a bioenergetikához kapcsolódó kutatási tevékenység kiterjed energianövények és biomassa maradék mezőgazdaságban történő alkalmazására, megújuló energiaforrásokat alkalmazó technológiák fejlesztésére, mint

bioüzemanyagok, hidrogén, szintézisgáz előállítása és éghajlatváltozást elősegítő gázok felhasználását szolgáló katalitikus folyamatok fejlesztése, valamint üzemanyagcellák tanulmányozása. További tevékenységi köreik közé tartozik az energia- és bioenergia-ellátási láncok általános hatékonyságának javítása, az energiaellátási lánc ellenőrzése, a

környezeti hatások elemzése, az ellátási láncok környezeti és gazdasági fenntarthatóságának elemzése, és az energiahordozók vizsgálata, a bioüzemanyagok felhasználásához, valamint a biomassza feldolgozásához kapcsolódó BAT (Best Available Technology) korszerűsítése.



7. ábra. A Pioneers into Practice program 2017-es idővonala (forrás: <https://eit.europa.eu/newsroom/eit-climate-kic-pioneers-into-practice-2017>)

A Biomassza Üzemeltetési Egység kutatást folytat a különböző biomassza típusok energetikai termékekké történő alakításához használható innovatív megoldások kifejlesztésére. Az egység tevékenységei közé tartozik:

- a biomassza pirolízise, folyékony és gáznemű bioüzemanyagok előállítása, a pirolízis termékek kémiai jellemzésére szolgáló analitikai módszerek fejlesztése, a pirolízis monitorozása
- harmadik generációs, mikroalga biomassza vizsgálata, hagyományos és nem hagyományos típusú szerves mátrixok (beleértve az alga biomasszákat) anaerob lebontása. Biotechnológiai eljárások az alga biomassza fermentálásának fejlesztésére
- laboratóriumi és kísérleti skála szerinti anaerob emésztőművek megvalósítása és optimalizálása
- innovatív megoldások kidolgozása a biomassza gyűjtésére és átalakítására az energetikai és mezőgazdasági termékek szélesebb körében
- a pirolízis integrálása, biomassza anaerob lebontásának technológiáinak fejlesztése
- analitikai módszerek kidolgozása végtermékek és nyomelemek kimutatására
- alga biomassza gyűjtésére és hasznosítására szolgáló technológiák fejlesztése
- specifikus biomassza anaerob kezelésével foglalkozó inokulumok kifejlesztése, és

- a pirolízishez és az anaerob emésztéshez kapcsolódó termékek és folyamatok környezeti fenntarthatóságának kvalitatív és kvantitatív ellenőrzése.

Az Ipari Ökodesign, Életciklus Elemzés Kutatócsoportjuk fő tevékenységei:

- környezetbarát tervezés, ökohatékonyág fejlesztése az ipari tevékenységek gazdasági-környezeti fenntarthatóságának növelése érdekében
- a hulladék életciklusának vizsgálata a megelőzéstől az újratermelésig
- folyamat fenntarthatósági validációs eszközök (LCA, LCC – life cycle cost, LCM – life cycle management) vizsgálata
- mechanikai, kémiai-fizikai és biológiai folyamatok vizsgálata vegyi anyagok kinyerésére
- helyi energiatermelés, energetikai optimalizálás az ipar számára
- módszerek, technikák és folyamatok kidolgozása anyag és energia inputok hatékonyabb kezeléséhez, és
- a technikai-gazdasági életciklus-menedzsment (LCC és LCM) eszköztárának alkalmazása a

hatékony erőforrás-elosztás megvalósítása céljából.

A PiP program lezárása az International Final Workshop, amelyet 2017-ben Utrecht-ben, Hollandiában rendeztek meg. A lezáró rendezvényen minden fogadó országból a három legkiválóbb teljesítményt nyújtó Pioneer vehetett részt. A kétnapos rendezvény megnyitóján beszédet mondott Tom Bakkum, a Climate-KIC BENELUX vezetője, Bernice Notenboom sarkkörü kutató, valamint Renee Lertzman klímaszakértő. A rendezvény második napján a KiOR biomassza feldolgozásával foglalkozó vállalat (USA-beli bioetanol termelő) bukásaihoz vezető okokat ismerhették meg a Pioneer-ok, emlékeztetvén Őket, hogy a klímaváltozás rentabilitási kérdésekkel együtt kezelendő.

A Pioneers into Practice program 2018-ban is megrendezésre kerül, ahol a résztvevők az eddig megvalósult programokat alapul véve színes és rendkívül hasznos szakmai és személyes gyarapodásra számíthatnak.

Hasznos linkek: <http://www.climate-kic.org/>; <https://pioneers.climate-kic.org/>

Fózer, Dániel