



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR
OLÁH GYÖRGY DOKTORI ISKOLA

**A LIGNOCELLULÓZ ALAPÚ ALKOHOLGYÁRTÁS
KÍSÉRLETES FEJLESZTÉSE ÉS
TECHNOLÓGIAI-GAZDASÁGI MODELLEZÉSE**

TÉZISFÜZET

Barta Zsolt

Témavezető: Dr. Réczey Istvánné
Egyetemi docens

Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék
Non-Food Kutatócsoport

2011

1. BEVEZETÉS, A KUTATÁS CÉLJA

A fosszilis üzemanyag készletek véges voltának felismerésével megkezdődött az alternatív üzemanyagok kutatása. Az alternatív üzemanyagokkal szemben támasztott követelmények között szerepel a fenntarthatóság és a versenyképes ár. Jelenleg az etanol az egyik legjelentősebb alternatív folyékony üzemanyag, mivel megújuló nyersanyagokból nagy mennyiségben viszonylag alacsony költséggel állítható elő. Az üzemanyag piacra való bevezetését segíti, hogy értékesítése ugyanazt az infrastruktúrát igényli, mint a benzin és a gázolaj, benzinnel teljes mértékben elegyedik, és az olyan etanol-benzin elegyek, melyek etanoltartalma nem haladja meg a 20%-ot, hagyományos belsőégésű motorokban átalakítás nélkül elégethetőek.

A legtöbb államban a kormány direktívák bevezetésével igyekszik elősegíteni az alternatív üzemanyagok használatát a közlekedési szektorban. Az Európai Unió 2020-ra a fosszilis üzemanyagok 20%-nak megújuló üzemanyagokkal történő helyettesítését tűzte ki célul (energia alapon), és ennek a célnak az elérésében az etanolnak várhatóan jelentős szerepe lesz.

A biokémiai úton történő etanolgyártás a nyersanyagtól és az alkalmazott technológiától függően első- és második generációs technológiákra bontható. Az első generáció esetén cukor- és keményítőtartalmú anyagok szolgálnak nyersanyagként, és a technológia ipari léptékben megvalósult. Ezzel szemben a második generációs technológiák lignocellulóz alapúak, és komplexitásuk miatt ipari léptékben egyelőre nem valósultak meg. A lignocellulóz nyersanyagok előnye a cukor- és keményítőtartalmú anyagokkal szemben, hogy nagy mennyiségben állnak rendelkezésre, áruk alacsony, és közöttük sok az olyan melléktermék, melyet jelenleg nem vagy alig hasznosítanak. Továbbá a lignocellulózoknak nincs élelmiszeripari felhasználása szemben az első generációs nyersanyagokkal. Ezek ellenére jelenleg mégis a kukorica és a búza szemtermése, valamint a cukornád és a cukorrépa szacharóztartalmú leve az ipari etanolgyártás két legfőbb nyersanyaga.

Doktori munkám fő célja az volt, hogy bővítsem a lignocellulóz alapú etanolgyártó technológiákkal kapcsolatos ismereteinket. Az információszerzéshez egyrészt kísérletes módszereket alkalmaztam, melyekkel a folyamat egyes lépéseit vizsgáltam, másrészt technológiai-gazdasági modellezést végeztem, amely során a teljes folyamatot vettem górcső alá. A dolgozat az alábbi négy téma eredményeit mutatja be:

- 1) Kenderpozdorja gőzrobbantással történő előkezelése
- 2) Integrált etanoltermelés búzaszalmából és búzadarából
- 3) Üzemen belüli enzimfermentáció modellezése
- 4) A desztillációs fenéktermék alternatív feldolgozásának modellezése különböző melléktermékekké

2. IRODALMI HÁTTÉR

A lignocellulózok cellulózból (lineáris glükóz homopolimer), hemicellulózból (elágazó heteropoliszacharid) és ligninből (fenil-propán alapú polimer) felépülő komplex struktúrák.

Az 1. ábra a lignocellulóz alapú etanolgyártás enzimes útját szemlélteti. A nyersanyagot előkezelik, majd celluláz és hemicelluláz enzimekkel egyszerű cukrokra hidrolizálják, melyekből fermentáló mikroorganizmus, például élesztő, segítségével alkoholt erjesztenek. Mind az enzimtermelés, mind az élesztőszaporítás történhet az előkezelt anyag cukortartalmú felülúszóján. Az etanol desztillálással nyerhető ki a fermentléből, és a desztillációs fenéktermék különböző melléktermékké dolgozható fel, úgymint pelletizált szilárd tüzelőanyag, biogáz, elektromos áram, távhő stb.

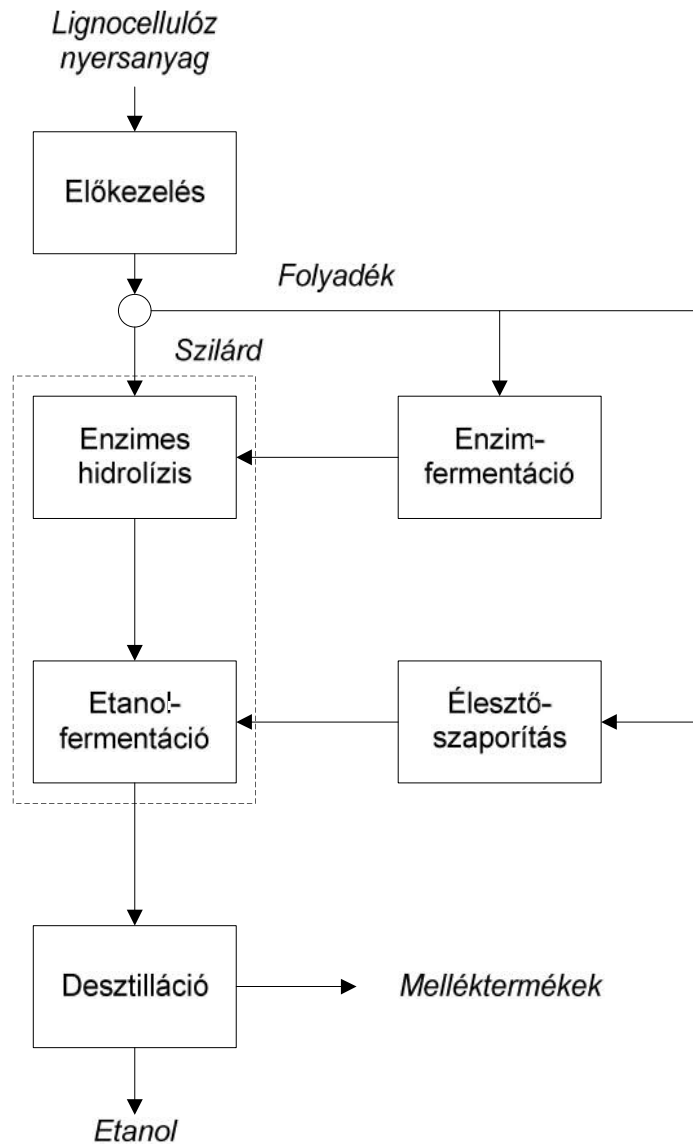
Az előkezelés általánosan a nyersanyag kompakt szerkezetének megbontását célozza, melynek eredményeként a cellulóz és hemicellulóz frakció az enzimek számára hozzáférhetővé és bontható válik. A gőzrobbantás az egyik legkutatottabb és leggyakrabban használt módszer lignocellulózok előkezelésére.

Az enzimes hidrolízishez szükséges celluláz enzimek előállíthatóak fermentációval az üzemen belül, vagy megvásárolhatóak kereskedelmi forgalomban lévő enzimkészítményként. Előbbi előnye, hogy nincs szükség az enzim stabilizálására és formulálására, nincs szállítási költség, a logisztika egyszerűsödik, lehetőség van az alkoholtermelő folyamattal történő integrálásra (például közművek tekintetében), emellett az enzimes hidrolízishez optimalizálható az enzimprofil. Utóbbi fő előnyei – az alacsony fajlagos költségek, a legmodernebb technológia alkalmazása – az ipari léptékben történő termelésből adódnak.

Az enzimes hidrolízis, melyben különböző hidrolitikus enzimek, úgymint cellobiohidrolázok, endoglükánázok, hemicellulázok és β -glükozidázok hidrolizálják a cellulózt és hemicellulózt egyszerű cukrokká, az alkoholtermelő folyamat sebességmeghatározó lépése.

Az előkezelésben és enzimes hidrolízisben felszabadított cukrokat élesztő vagy baktériumok segítségével erjeszthetik etanollá. A leggyakrabban *Saccharomyces cerevisiae* élesztőt használnak, elsősorban nagy etanol és inhibitor toleranciája miatt. A fermentációs inhibitorok az előkezelés során képződnek, és a fermentáló mikroorganizmust gátló vegyületek összességét jelentik. Ide tartoznak a cukor és lignin degradációs termékek, szerves savak stb.

Az etanol kinyerése a fermentléből, és 96 V/V%-ra való tisztítása desztillációval történik. Ha abszolút etanolra van szükség, a maradék vizet egy újabb lépéssel távolítják el, mely lehet terner azeotróp desztilláció, molekulaszűrőn történő elválasztás, pervaporáció vagy egyéb membránművelet.



1. ábra A lignocellulóz alapú etanolgyártás enzimes útja.
A szaggatott téglalap szimultán cukrosítást és fermentációt jelöl (SSF).

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Nyersanyagok

A kísérletes munkában poliszacharid-tartalmú nyersanyagként kenderpozdorját, búzaszalmát és búzadarát használtam. A technológiai-gazdasági analízis során lucfenyő alapú alkoholgyártó folyamatot modelleztem.

Gőzrobbantás

A kenderpozdorja gőzrobbantását a madridi CIEMAT kutatóintézet Biomassza csoportjánál végeztem különböző hőmérsékleteken, két különböző méretű reaktorban, 10 perc tartási idő mellett és savkatalizátor hozzáadása nélkül. A kénsavval impregnált búzaszalma gőzrobbantását 190°C-on, 10 perc tartási idő mellett a svédországi Lundi Egyetem Vegyipari Műveletek Tanszékén valósítottam meg.

Enzimek

A keményítő elfolyósítására α -amiláz (Termamyl SC) és amiloglikozidáz (Spirizyme Fuel) amilolitikus enzimeket használtam. A lignocellulózok enzimes hidrolízisét celluláz (Celluclast 1.5 L és NS50013) és β -glükózidáz (Novozym 188 és NS50010;) enzimekkel végeztem. Az összes enzimek készítmény a Novozymes A/S cég (Bagsværd, Dánia) terméke.

Enzimes hidrolízis

Az előkezelt kenderpozdorja mosott szilárd frakciójának enzimes hidrolízisét 25 ml térfogatban, rázatott lombikban, 5% WIS (vízben nem oldható szilárd anyag) koncentráció mellett, 50°C-on, pH 5,0 és 150 1/perc beállítások mellett, NS50013 és NS50010 enzimek készítmények felhasználásával hajtottam végre. Az NS50013 dózisa 15 FPU (szűrőpapír egység)/g WIS volt, és az NS50010:NS50013 térfogatarányt 0,1-re állítottam. A felszabadított cukrok analízisét HPLC (nagyteljesítményű folyadékromatográfia) segítségével valósítottam meg.

Etanolfermentáció

Az előkezelt kenderpozdorja mosott szilárd frakciójának nem steril szimultán cukrosítását és fermentációját (SSF) 50 ml térfogatban, rázatott lombikban, 10% WIS koncentráció mellett, 32°C-on, NS50013 és NS50010 enzimekkel és hexóz fermentáló pékélesztővel végeztem. Az előcukrosított búzadara, az előkezelt búzaszalma és ezen anyagok különböző arányú keverékeinek SSF konfigurációjú erjesztését 2 l-es laboratóriumi fermentorban végeztem 5% WIS koncentráció mellett. A képződött etanolt kenderpozdorjánál gázkromatográfiával, a másik esetben HPLC-vel határoztam meg.

A technológiai-gazdasági analízis módszerei

A folyamatmodell anyag- és energiamérlegeinek megoldására az Aspen Plus 2006.5 szoftvert használtam. A folyamat hőintegrációjának megtervezéséhez az Aspen HX-Net 2006.5 programot használtam. A tőkeberuházás becslése az Aspen Icarus Process Evaluator 2006.5 szoftverrel és árajánlatok alapján történt.

4. EREDMÉNYEK

Kenderpozdorja gőzrobbantásos előkezelése

Kenderpozdorja gőzrobbantását két különböző méretű reaktorban (2 és 10 l) vizsgáltam különböző hőmérsékleteken (200-230°C). A glükánkihozatalok minden esetben 82% fölött voltak, ezzel szemben a xilánkihozatalok 18-66% között változtak. Az enzimes hidrolízisben 62-83%-os és 46-96%-os glükán- és xilánkonverziót értem el. Az SSF-ben kapott etanolhozam 38-70% között változott, melyet a szubsztrát glükán- és mannántartalma alapján számítottam. Az előkezelés és enzimes hidrolízis legnagyobb eredő glükózhozamát (336 g/kg kenderpozdorja szárazanyag, az elméleti 75%-a) 210°C-os előkezelés esetén értem el, ezzel szemben a legnagyobb eredő cukorhozamot (glükóz+xilóz) 200°C esetén kaptam (414 g/kg kenderpozdorja szárazanyag, 63%). A legnagyobb etanolhozamot (141 g/kg kenderpozdorja szárazanyag, 60%) szintén a 210°C-os előkezelés esetén értem el.

Integrált etanoltermelés búzaszalmából és búzadarából

Az első és második generációs etanolgyártás integrálása megkönnyítheti utóbbi technológiák bevezetését. Előcukrosított búzadara (PWM), gőzrobbantott búzaszalma (SPWS) és ezen anyagok különböző arányú keverékeinek SSF konfigurációjú erjesztését vizsgáltam. Mind a végső etanolkoncentráció, mind az etanolhozam emelkedett az PWM arányának növelésével. A legnagyobb etanolhozamot (az elméleti 99%-át) annál az elegynél értem el, amely WIS-re nézve egyenlő mennyiségű PWM-t és SPWS-t tartalmazott (2,5-2,5% WIS). Ez a hozam meghaladta mind a teljes mértékben SPWS-t, mind a kizárólag PWM-t tartalmazó SSF konfigurációjú erjesztések etanolhozamát (68 és 91%). Szintén ennél az elegynél kaptam a legnagyobb etanolkoncentrációt is, amely 56,5 g/l-nek adódott.

Üzemen belüli enzimtermelés technológiai-gazdasági modellezése

Kén-dioxid katalizált gőzrobbantást és SSF erjesztést alkalmazó lucfenyő alapú etanolgyártó üzemen belüli enzimfermentáció technológiai-gazdasági vonatkozásait vizsgáltam. Állandó fehérje- és micéliumhozamot feltételezve az enzimfermentáció szénforrását változtatva az enzimtermelés teljes folyamatra gyakorolt hatását elemeztem. Az enzimfermentációs lépés az eredő etanolhozamot (kereskedelmi enzimkészítmény esetén 270 l/tonna lucfenyő szárazanyag) 5-16 l-rel csökkentette. Az enzimtermelés fő költségtenyezőjének a tökeberuházás adódott, mely a teljes költség 60-78%-át tette ki. Az enzim előállítási költség 0,42-0,52 Svéd Korona (SEK)/l etanol között változott (2010-ben 1 € ≈ 10.5 SEK, 1 SEK ≈ 30 Forint). A legkisebb etanol előállítási költségeket (4,71 és 4,82 SEK/l) azokban az esetekben kaptam, ahol az előkezelt anyag folyadékfrakcióját melasszal kiegészítve használják szénforrásként. Az esetek egy részében az üzemen belüli enzimtermelés a kereskedelmi enzimkészítmény vásárlás gazdaságos alternatívájának bizonyult, mindazonáltal ezt a konklúziót jelentősen befolyásolja a második generációs etanolgyártás számára ipari léptékben előállított kereskedelmi enzimkészítmények ára, amely, mivel ilyen etanolgyártó üzemek ipari léptékben egyelőre nem léteznek, bizonytalan.

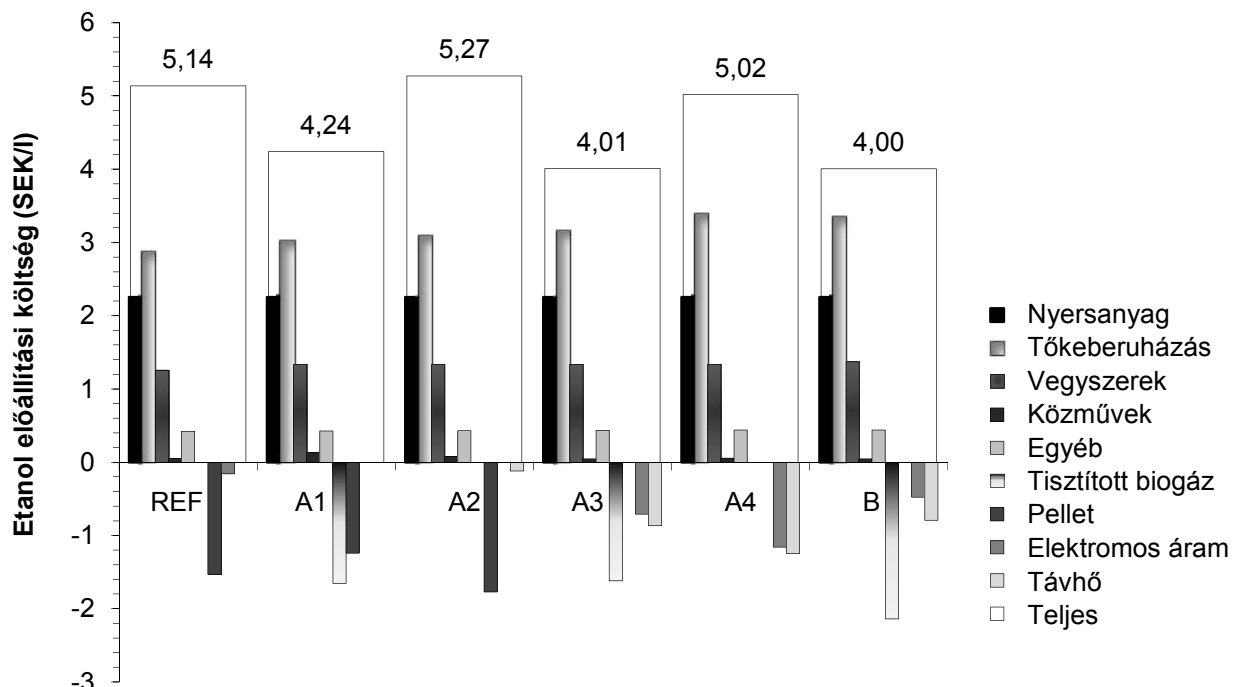
A desztillációs fenéktermék feldolgozásának technológiai-gazdasági vizsgálata

A desztillációs fenéktermék energiaintenzív bepárlásának biogázosítással történő helyettesítése egy lehetséges módja a lignocellulóz alapú etanolgyártás energiaigényének csökkentésére. Kén-dioxid katalizált gőzrobbantást és SSF erjesztést alkalmazó lucfenyő alapú etanolgyártó üzemben belül különböző biogázosítási konfigurációkat vizsgáltam (1. táblázat), különböző melléktermékeket állítva elő. Az A esetekben a fenéktermék folyadék frakciója kerül biogázosításra, míg a B esetben a teljes áram.

1. táblázat A vizsgált esetek jellemzői

Eset	Pellet	Biogáz tisztítás	Melléktermékek	Elégetik az üzemben
A1	Szilárd fr. része	Igen	Biogáz, pellet, el. áram	Szilárd fr. része
A2	Szilárd fr. egésze	Nem	Pellet, el. áram, távhő	Biogáz
A3	-	Igen	Biogáz, el. áram, távhő	Szilárd fr. része
A4	-	Nem	El. áram, távhő	Szilárd fr., biogáz
B	-	Igen	Biogáz, el. áram, távhő	Préselt anaerob maradék

Az eseteket energiahatékonyság és etanol előállítási költség szempontjából hasonlítottam össze, referencia esetnek a bepárlást választva. A fenékterméket biogázosító esetek energiahatékonysága 87-92% között változott a fűtőértékeket (LHV) véve alapul, míg bepárlás esetén 81%-os hatékonyságot kaptam. Annak ellenére, hogy az etanoltermelés minden esetben azonos volt, az etanol előállítási költség 4,00 és 5,27 SEK/l között változott (2. ábra).



2. ábra Az etanol előállítási költség lebontása Svéd Korona (SEK)/l-ben. A vegyszerek tartalmazzák az enzimmérséget. Az 'Egyéb' a munkabérséket, és a biztosítási és karbantartási költségeket jelenti. REF: referencia eset; 1 € ≈ 10 SEK.

5. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

1. Megállapítottam, hogy a kenderpozdorja gőzrobbantásának optimális hőmérséklete 10 perc tartási idő mellett, 10 literes reaktortérfogatban, katalizátor hozzáadása nélkül 210°C az eredő glükózhozam (336 g/kg kenderpozdorja szárazanyag, az elméleti 75%-a) és az etanolhozam (141 g/kg kenderpozdorja szárazanyag, 60%) tekintetében. Ezzel szemben a legmagasabb eredő cukorhozamot (414 g glükóz+xilóz/kg kenderpozdorja szárazanyag, 63%) 200°C-on kaptam (I. közlemény).
2. Kimutattam, hogy gőzrobbantott búzaszalma és előcukrosított búzadara azonos mennyiségű vízben nem oldható szilárd anyagot tartalmazó keveréke szimultán cukrosítva és erjesztve nagyobb etanolhozamot eredményez (az elméleti 99%-a), mint a kizárólag előcukrosított búzadarát tartalmazó szimultán cukrosítás és erjesztés (91%) (II. közlemény).
3. Megállapítottam, hogy a lignocellulóz alapú etanolgyártásba integrált enzimermelés esetén a fajlagos enzimköltség (egységnyi térfogatú etanolra vonatkoztatva) a cellulázfermentáció produktivitásának függvénye. Adott konfiguráció esetén az enzimköltség csökkenését a produktivitás növekedésének mértéke határozza meg, és nem a növekedés eredete (III. közlemény).
4. Modellszámításaim alapján megállapítottam, hogy annak ellenére, hogy az enzimermelés az alkoholgyártó folyamatba integráltan történik, s az enzimermentáció során mind a hexóz, mind a pentóz cukrok hasznosulnak, a pentóz cukrok nagy része (87%≤) égetésre vagy szilárd tüzelőanyag-gyártásra kerül. Emellett megállapítottam, hogy az előkezelt nyersanyagban jelenlévő hexóz cukrok kevesebb, mint 6%-a szükséges csak az enzimermeléshez (IV. Közlemény).
5. Kimutattam, hogy a fajlagos enzimköltség fő költségtényezője a tőkeberuházás. Az üzemen belüli enzimermelés költsége 9-11%-át tette ki az etanol előállítási költségnek (IV. közlemény).
6. Modellszámításaimmal igazoltam, hogy desztillációs fenéktermék biogázosítása jelentősen csökkenti a folyamat hőigényét a fenéktermék bepárlásához képest (27.8 MW-ról 17.1-17.9 MW-ra). Ezzel párhuzamosan a folyamat fűtőértékek alapján számított energiahatékonysága 81%-ról 87-92%-ra nő (V. Közlemény).
7. Azt tapasztaltam, hogy a desztillációs fenéktermék biogázosítása néhány esetben alacsonyabb etanol előállítási költséget eredményezett, mint a fenéktermék bepárlása. A fenéktermékből előállított melléktermékek tekintetében kedvezőnek találtam a tisztított biogáz – pellet és a tisztított biogáz – elektromos áram – távhő kombinációkat. Ezek a kombinációk akkor is kedvezőek maradtak, ha bármely, de egyszerre csak egy melléktermék ára -40% és +40% között változott. Tisztított biogáz – elektromos áram – távhő kombinációnál az etanol előállítási költségben nem mutatattam ki szignifikáns különbség attól függően, hogy a teljes fenéktermék, vagy annak csak folyadék frakciója kerül biogázosításra.

6. KÖVETKEZTETÉSEK, ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK

Az etanol fontos megújuló üzemanyag, melynek lehetséges előállítása a lignocellulóz nyersanyagok biokémiai úton történő feldolgozása. A poliszacharid-tartalom egyszerű cukrokká, majd alkohollá alakítása az előkezelés, enzimes hidrolízis, és fermentációs lépésekben azonban még sok fejlesztést igényel ahhoz, hogy a folyamat ipari léptékben megvalósulhasson. A gőzrobbantásos előkezelésnél a megfelelő cellulóz bonthatóság elérése mellett fontos a hemicellulóz frakció kihozatala is. A kenderpozdorjánál kapott gyenge xilánkihozatal javítható katalizátorok hozzáadásával, illetve kétlépcsős gőzrobbantás alkalmazásával. Verifikálandó azonban, hogy a nagyobb működési és beruházási költséget kompenzálja a hozamnövekedés. Gőzrobbantott búzaszalma és előcukrosított búzadara megfelelő arányú keverékével az elméleti maximumhoz közeli etanolhozam és olyan alkoholkoncentráció érhető el szimultán cukrosítás és erjesztés konfigurációban, mely gazdaságosan desztillálható. Az alkoholkoncentráció tovább növelhető nagyobb szárazanyag-koncentráció alkalmazásával, feltéve, hogy az alkoholhozam nem csökken, illetve a jövőben olyan mikroorganizmusok használatával, melyek együtt képesek erjesztetni a hexóz és pentóz cukrokat. Üzemen belüli enzimermentációt alkalmazó etanolgyártó technológia gazdaságossága javítható, ha az enzimermelés produktivitását növeljük. Ez elérhető törzsfejlesztéssel, emelt cukorkoncentrációval katabolit represszió rezisztens mutánsokat alkalmazva, illetve fed-batch fermentációs technikával. A desztillációs fenéktermék biogázosítása, majd a képződött biogáz tisztítása és értékesítése a modellszámítások szerint a fenéktermék feldolgozásának energia- és költséghatékony módja, így a jövőben mindenképpen érdemes hangsúlyt fektetni az ilyen irányú kutatásokra.

7. KÖZLEMÉNYEK JEGYZÉKE

Az értekezés alapját képező folyóiratcikkek

- I. **Barta, Zs.**, Oliva, J.M., Ballesteros, I., Dienes, D., Ballesteros, M., Réczey, K. (2010) Refining hemp hurds into fermentable sugars or ethanol. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*. 24 (3), 331-339. IF: 0.35
- II. Erdei, B., **Barta, Zs.**, Sipos, B., Réczey, K., Galbe, M., Zacchi, G. (2010) Ethanol production from mixtures of wheat straw and wheat meal. *Biotechnology for Biofuels*. 2010, 3:16, doi:10.1186/1754-6834-3-16. IF: 4.12
- III. **Barta, Zs.**, Sassner, P., Zacchi, G., Réczey, K. (2008) Techno-economic aspects of on-site cellulase production. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry Veszprém*. 36 (1-2), 5-9.
- IV. **Barta, Zs.**, Kovács, K., Réczey, K., Zacchi, G. (2010) Process design and economics of on-site cellulase production on various carbon sources in a softwood-based ethanol plant. *Enzyme Research*. 2010, 734182, doi:10.4061/2010/734182.
- V. **Barta, Zs.**, Réczey, K., Zacchi, G. (2010) Techno-economic evaluation of stillage treatment with anaerobic digestion in a softwood-to-ethanol process. *Biotechnology for Biofuels*. 2010, 3:21 doi:10.1186/1754-6834-3-21. IF: 4.12

Szóbeli előadások

Barta, Zs., Réczey, I., Zacchi G. Milyen melléktermékek esetén a leggazdaságosabb egy lignocellulóz alapú alkoholgyár? *Doktoranduszok Fóruma*. Debrecen, 2010. november 4.

Barta, Zs., Dienes, D., Réczey, I. Hogyan tehető gazdaságossá egy cukorcirok alapú alkoholgyártó kisüzem? *LI. Georgikon Napok*. Keszthely, 2009. október 1-2.

Barta, Zs., Oliva, J.M., Ballesteros, I., Dienes, D., Ballesteros, M., Réczey, I. Kenderpozdorja feldolgozása fermentálható cukrokká és etanollá. *336. Tudományos kollokvium*. Budapest, 2009. szeptember 18.

Barta, Zs., Dienes, D., Réczey, K. Mezőgazdasági melléktermékeken végzett enzimes cellulózhidrolízis kinetikai leírása. *Poliszacharidkémiai munkabizottsági ülés*. Budapest, 2008. szeptember 29.

Barta, Zs., Sassner, P., Zacchi, G., Réczey, K. Celluláztermelés technológiai és gazdasági elemzése. *Műszaki Kémiai Napok '08*. Veszprém, 2008 április 22-24.

Barta, Zs. Etanol előállítás lignocellulóz szénforrásból - Előkezelés, fermentáció és a downstream műveletek modellezése Aspen Plus-szal. *Poliszacharidkémiai munkabizottsági ülés*. Budapest, 2007 november 7.

Poszter előadások

Barta, Zs., Réczey, K., Zacchi, G. Improving the energy efficiency and economics of a softwood-based ethanol process by producing biogas from the stillage. *The 4th*

Annual Workshop of COST FP0602, Biotechnical processing of lignocellulosic raw materials. Cesme, Turkey, September 21-24, 2010.

Barta, Zs., Réczey, K., Zacchi, G. Techno-economic evaluation of biogas production from stillage in a spruce-to-ethanol process. *32nd Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals.* Clearwater Beach, FL, USA, April 19-22, 2010.

Gyalai-Korpos, M., Mangel, R., Barta, Zs., Alvira, P., Dienes, D., Ballesteros, M., Reczey, K. Cellulase production using different streams of wheat grain and wheat straw based ethanol processes. *32nd Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals.* Clearwater Beach, FL, USA, April 19-22, 2010.

Barta, Zs., Oliva, J.M., Ballesteros, I., Dienes, D., Ballesteros, M., Réczey, K. Kenderpozdorja feldolgozása fermentálható cukrokká es etanollá. *Oláh György Doktori Iskola VII. Doktoráns Konferenciája.* Február 4., 2010.

Barta, Zs., Oliva, J.M., Ballesteros, I., Dienes, D., Ballesteros, M., Réczey, K. Steam pretreatment of hemp hurds for bioethanol production. *Third European Workshop on Biotechnology for Lignocellulose Biorefineries.* Varenna, Italy, September 3-4, 2009.

Barta, Zs., Deák, A., Sipos, B., Réczey, K. Cukorcirok alapú alkoholgyártó üzem modellezése – teljes növény hasznosítás. *Oláh György Doktori Iskola VI. Doktoráns Konferenciája.* Február 4., 2009.

Barta, Zs., Deák, A., Sipos, B., Réczey, K. Modelling a sweet sorghum processing bioethanol plant – whole crop utilization. *Second European Workshop on Biotechnology for Lignocellulose Biorefineries.* Biel, Switzerland, December 4-5, 2008.

Sipos, B., Barta, Zs., Gyalai-Korpos, M., Sassner, P., Réczey, K. Can sweet sorghum be a feasible raw material for ethanol production in Hungary? *16th European Biomass Conference & Exhibition.* Valencia, Spain, June 2-6, 2008.

Gyalai-Korpos, M., Barta, Zs., Sipos, B., Reczey, K. Looking for feedstock – bioethanol potential in Hungary. *16th European Biomass Conference & Exhibition.* Valencia, Spain, June 2-6, 2008.

Barta, Zs., Dienes, D., Réczey, K. Kinetic modelling of enzymatic hydrolysis of agricultural residues. *Era-chemistry workshop.* Krakow, Poland, April 13-16, 2008.

Barta, Zs., Dienes, D., Réczey, K. Kinetic modelling of enzymatic hydrolysis of agricultural residues. *First European Workshop on Biotechnology for Lignocellulose Biorefineries.* Copenhagen, Denmark, March 27-28, 2008.

Konferenciakiadványok

Barta, Zs., Dienes, D., Réczey, I. (2009) Hogyan tehető gazdaságossá egy cukorcirok alapú alkoholgyártó kisüzem? *LI. Georgikon Napok Tudományos Konferencia Kiadvány* (ISBN: 978-963-9639-35-5) 73-82.

Barta, Zs., Sassner, P., Zacchi, G., Réczey, K. (2008) Celluláztermelés technológiai és gazdasági elemzése. *Műszaki Kémiai Napok '08 Konferencia Kiadvány* (ISBN 978-963-9696-36-5), 31-36.