

A biomassza alapú etanol előállítás fejlesztésének lehetőségei, a keményítő és cellulóz alapú bioetanol gyártás vonatkozásában

Balla Zoltán

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen
ballazoltan@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A növényi biomassza nagy mennyiségben rendelkezésre álló nyersanyag, melyet a biotechnológia is hasznosíthat a jövőben. Napjainkban lignocellulózokat feldolgozó és erjeszhető cukrokká bontó technológia még kutatási fázisban van. A biomassza egyik lehetséges felhasználási területe, a folyékony üzemanyag, mint például etanol előállítás. Munkámban a keményítő alapú (első generációs) és cellulóz alapú (második generációs) bioetanol gyártást hasonlítottam össze, az irodalomban fellelhető életciklus elemzések alapján, melyek különböző környezeti tényezők (például területhasználat, nyersanyagtermesztés és energiamérleg) figyelembevételével készültek. A vizsgálatokat követően elmondható, hogy mindkét technológiával előállított etanol használata környezeti szempontból előnyös, de a cellulózból gyártott etanol alkalmazása nagyobb mértékű környezeti előnyöket eredményez.

Kulcsszavak: etanol, cellulóz, lignocellulóz, keményítő, kukorica, bioüzemanyag

SUMMARY

The biomass is such a raw material that is available in large quantities and it can be utilized by the biotechnology in the future. Nowadays the technology which can process ligno cellulose and break down into fermentable sugars is being researched. One possible field of use of biomass is the liquid fuel production such as ethanol production. Based on the literary life cycle analysis, I compared the starch-based (first generation) to cellulose-based (second generation) bioethanol production in my study considering into account various environmental factors (land use, raw material production, energy balance). After my examination I came to the conclusion that the use of bioethanol, independent of its production technology, is favorable from environmental point of view but the application of second generation bioethanol has greater environmentally benefits.

Keywords: ethanol, cellulose, lignocellulose, starch, corn, biofuels

A BIOMASSZA FELHASZNÁLÁS JELENLEGI HELYZETE

A Föld egyre gyarapodó népessége a növekvő energiafelhasználás miatt új kihívások elé állította a megújuló energiaforrások felhasználását: a jelenleg alkalmazott fosszilis nyersanyagok használata helyett megújuló nyersanyagokból előállított termékek kerülnek előtérbe a felhasználás kapcsán. A világ minden táján nagy erőfeszítések folynak a jelentkező igények megfelelő kielégítését szolgáló technológiák fejlesztésére. A növényi biomassza energetikai hasznosítása olyan potenciált rejt magában, amely jelentős és még kiaknázatlan. Megállapítható, hogy a Föld minden pontján fellelhető, energia termelés céljára felhasználható nyersanyag a növényi biomassza. A növényi biomasszát természetjük direkt energetikai célokra (energianövények), továbbá mindezek mellett jelentős a mezőgazdaság- és a feldolgozó ipar melléktermékeinek mennyisége. Az egyik felhasználási mód a termokémiai vagy biotechnológiai átalakítás, amely során bioüzemanyagok állíthatók elő a növényi biomasszából. Előnye, hogy a nettó üvegházhatású gáz kibocsátásuk kicsi, így csökkenthető az üzemanyagok környezetre (pl. az éghajlatváltozásra) gyakorolt negatív hatása. Erre jó példa a biodízel, biogáz, bioetanol, vagy a hidrogén.

A BIOETANOLRÓL ÁLTALÁNOSSÁGBAN

Az etanol szintelen, jellegzetes illatú és ízű, magas forráspontú (78 °C) és égéshőjű (1367 kJ/mol) szerves vegyület (Bailey, 1996). Az etanol molekulákban oxigén-atomot találunk, ami nagyban megkönnyíti a gőzének égését, mivel az égéshez fajlagosan kevesebb oxigénre van szükség, mint a szénhidrogéneké, ahol nincs jelen az oxigén-atom. Napjainkban a biomasszából előállított etanol mennyisége kb. 97–98%, míg a maradék 2–3%-a kőolaj krakkolása során előállított etilénből származik.

Az etanol felhasználása nem új keletű dolog, mivel már az autómobilok gyártásának kezdetén a Benz és a Ford is kifejlesztette az etanol meghajtású autókat. Az etanol oktánszáma 113, amely szintén kedvez az üzemanyagként való alkalmazásának (Emőd et al., 2006), valamint a vízmentes alkohol bármilyen arányban elegyíthető a benzinnel.

A belsőégésű motorok hajtására a motor károsodása nélkül az optimális bekeverési arány a 85:15 (benzin:bioetanol), de a maximum 80:20 (benzin:bioetanol). A tiszta bioetanol is alkalmas üzemanyagként való alkalmazásban, de hátrányai között szerepel, hogy az etanol energiatartalma kisebb a benzinnél (1 liter etanol = 0,65 liter benzin), ezért ugyanakkora távolság megtételéhez több etanolra van szükség, mint benzinnel.

Nagyon fontos megemlíteni, hogy a bioetanol roncsolja a festék-, gumi és műanyag alkatrészeket, így meg kell oldani, hogy az etanol ne érintkezzen ezekkel a részekkel. Magyarországon 2008. január 1. óta a motorbenzin 4,4% etanolt tartalmaz, energiataralomra vetítve.

AZ ELSŐ GENERÁCIÓS (KEMÉNYÍTŐ ALAPÚ) TECHNOLOGIA ÉS NYERSANYAGOK

Az első generációs bioüzemanyagokat különböző cukor- vagy keményítő tartalmú gabonából és egyéb növényekből állítják elő, például kukoricából (Nicolic et al., 2010; Mojovic et al., 2006), búzából (Talebina et al., 2010), cukornádból (Furtado et al., 2011; Cardona et al., 2010).

Ma a leginkább ismert első generációs bioüzemanyag a bioetanol, amelynek alapanyaga a fermentálható cukor, amit a fent említett alapanyagokból nyernek ki. Az eljárás alapja az enzimes hidrolízis, amit a pékélesztők (*Saccharomyces cerevisiae*) közreműködésével végbemenő fermentációs folyamat követ, ahol megkapják a folyamat végtermékét az etanolt (Sánchez és Cardona, 2008). A bioetanol lepárlással különítik el a többi komponensről, majd a víztelenítés után fosszilis üzemanyagokhoz keverik, vagy önmagában üzemanyagként használják.

Miután az első generációs bioüzemanyagokat az élelmiszerárak emelkedésével és a biodiverzitás fenyegetésével kapcsolatos támadások érik, így a második generációs megoldásokhoz, mint tisztább alternatívákat kellett előtérbe helyezni. Köztudott, hogy számos ország nagy mennyiségben állít elő első generációs bioüzemanyagokat, viszont ennek költségei folyamatosan emelkednek, amiatt, hogy az alapanyag megtermeléséhez földterületeket kell elvonni az élelmiszer szántó gabona és növénytermesztéstől.

A MÁSODIK GENERÁCIÓS (CELLULÓZ ALAPÚ) TECHNOLOGIA ÉS NYERSANYAGOK

A második generációs bioüzemanyagok cellulóz, illetve lignocellulóz tartalmú biomasszából készülnek (Kádár et al., 2004), melyet a növények fás részéből nyernek ki, nem versenyezve ily módon az élelmiszertermeléssel (Bollók et al., 2000). A jövőben nem csak az élelmiszernövények iránti igény, hanem a cellulóz ipari kereslete (pl. lebomló csomagolóanyagok) is várhatóan jelentősen emelkedni fog. Emiatt ez az alapanyag is fel fog értékelődni, a véges mennyiség miatt pedig ebben a szférában is komolyabb versenyhelyzet prognosztizálható (Bai, 2011). A cellulóz a Földön legnagyobb mennyiségben jelen lévő biopolimer, amely a növényi sejtfal évről évre újratermelődő rostanyaga. A növényi sejtfalban komplexet alkot két másik biopolimerrel, a hemicellulózzal és a ligninnel. Strukturájukat tekintve, a cellulóz egyenes láncú cukropolimer, mely szőlőcukor (glükóz) molekulákból épül fel, a hemicellulóz öt és hat szénatomos cukrokból felépülő elágazó heteropolimer, míg a lignin egy fenilpropán alagségekből felépülő térhálós polimer.

A lignocellulóz tartalmú biomasszából történő bioüzemanyag-gyártás esetében az előkezelési és konverziós technológiák szerepe megnő az első generációs

bioüzemanyag előállításához képest (Stevens et al., 2004), hiszen a lignocellulóz egy olyan komplex kémiai struktúrával rendelkezik, mely hatékony megbontása a glükóz molekulák felszabadítása érdekében bonyolult és gondosan megtervezett technológiai folyamatokat igényel.

A BIOETANOL ELŐÁLLÍTÁS ÉS FELHASZNÁLÁS KÖRNYEZETI HATÁSAI ÉS EZEKET BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A jelenleg működő gyártási technológia és az azonnal felhasználható terjesztési infrastruktúra miatt a bioetanol talán a legjelentősebb folyékony bioüzemanyag. A bioetanol bioüzemanyagként történő alkalmazásának környezetvédelmi szempontból fontos előnyei vannak. A bioetanol-benzin keverékkel üzemeltetett gépjárművek CO- és SO₂-emissziója kisebb, mint a csak benzinnel hajtott gépkocsiké, valamint az alacsonyabb üzemi hőmérséklet miatt az alkoholos motorok élettartama hosszabb, továbbá a benzin oktánszámát a hozzákevert etanol megnöveli, amely az egyik legnagyobb előnye (Sági, 1998). A bioetanol gyártásnak és magának a bioetanolnak több környezeti vonatkozása van. A keményítőt és lignocellulózt hasznosító technológiákat irodalmi életciklus-elemzések (LCA) alapján hasonlítom össze. Az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátását a felhasznált fosszilis energia mennyiségét, a földhasználatot illetve az energiamennyiséget, mint környezeti tényezőkre ható kimeneti tényezőket vizsgáltam.

Az ilyen típusú elemzések, mint az LCA alkalmazása során a legnagyobb problémát a vizsgálat kereteinek meghatározása jelenti.

Valóságtól nagyon eltérő eredményeket kapunk, ha túl szűk határok között vizsgáljuk a folyamatot, valamint az elemzés kivitelezése nehezebben valósítható meg, ha túl tág a vizsgált terület. Bioetanol LCA elemzések során a következő technológiai lépéseket vizsgálják: a gyártási technológia, a nyersanyag termesztése (mezőgazdaság), a nyersanyag termőhelyről a gyárba történő szállítása.

NYERSANYAG

Mivel minden évben újra megtermeljük, a mezőgazdasági terményeket így azok megújulónak számítanak, de nem elhanyagolható, hogy megtermelésükhöz jelentős energia befektetés szükséges. Több tanulmány foglalkozik a mezőgazdasági termények, elsősorban kukorica előállításához szükséges energia mennyiségének a meghatározásával (Pimental, 2003; Wang et al., 1999; Shapouri et al., 2002; Huzsvai és Dobos, 2008). Az energetikai szempontból vizsgált rendszer lehatárolása ebben az esetben különösen nagy eltérést mutat. Pimental (2003) nyomán 11 MJ/l etanol növénytermesztési energiaigényt vehetünk figyelembe (jelentős öntözéssel számolva), addig Wang et al. (1999) és Shapouri et al. (2002) munkája alapján 5–6 MJ/l etanol energiaigényt vehetünk figyelembe számítások során. Ezzel szemben Huzsvai és Dobos (2008) munkája nyomán elmondható, hogy a termesztés során felhasznált fosszilis energia és a fent említett szakirodalmi adatok eltérőek. Huzsvai és Dobos (2008) tanulmánya

4,3–4,6 MJ értéket közöl egy kilogramm kukoricaszemre vonatkoztatva. Ami bioetanolra átszámítva 13,2–14,2 MJ/kg-ot jelent. Az etanol fűtőértéke tanulmányuk szerint 26,8 MJ/kg. Az adatok szerint a nitrogén műtrágya előállításának energiaszükséglete adja a kukorica-termesztés energiaigényének 30–45%-át, (ebben mind a négy LCA elemzés egyet ért) ami az üvegházhatású gázok számbavételénél is problémaként jelentkezik. 21%-ot tesznek ki a rovarölő és gyomirtó szerek, a mezőgazdasági gépek üzemanyag felhasználása pedig 23%-ot. A természetstechnológiában alkalmazott nitrogén műtrágya mennyisége csökkenthető lenne alternatív termesztési technikák alkalmazásával, mint például a pillangósokkal történő vetésforgó alkalmazása, vagy pillangósokkal történő együttvetés, ezáltal a kukoricatermesztés energiaigénye is csökkenne.

Második generációs bioetanol gyártás alapanyagai lehetnek a mezőgazdasági és ipari melléktermékek, ipari és kommunális hulladékok, illetve energetikai célból termesztett növények. Napjainkban a cellulóz alapú etanol termelés még csak kísérleti üzemi stádiumban van, és a mezőgazdasági melléktermékek hasznosítása sem kielégítő mértékű. Hazánkban 1, illetve 1,5-szeres mennyiségben keletkezik a termelés során a búzaszalma és a kukoricaszár a megtermelt mennyiség terméshozamához viszonyítva. Fontos megemlíteni, hogy a lignocellulóz nyersanyagok egyrészt kisebb százalékban tartalmaznak poliszacharidokat (cellulózt és hemicellulózt), mint a keményítő tartalmú nyersanyagok, illetve a technológia során alacsonyabb konverzió érhető el, ezért a nyersanyagegységre vonatkoztatott etanol hozama alacsonyabb, mint a keményítő tartalmú nyersanyagok esetében. A második generációs etanol LCA számításainál a nyersanyag előállításához szükséges energiaigényként az aratáshoz és szállításhoz kapcsolható energiaáramokat számítják.

NYERSANYAGOK ÉS AZ ETANOL ELŐÁLLÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK ENERGETIKAI ADATAI

Azt, hogy megtérül-e a gyártás során befektetett energia, és ha igen, akkor milyen mértékben azt mind a kettő technológia esetében érdemes megvizsgálni. Negatív energiamérleggel illetik nagyon gyakran a keményítő alapú technológiát. A folyamat energiamérlege javítható azzal, hogy a melléktermékek feldolgozásából vagy elégetéséből származó energia felhasználható az üzem energiaellátására vagy az elektromos hálózaton keresztül történő értékesítésre. Két fajlagos energiamutató alkalmazása jöhet számításba az energetikai vizsgálatoknál: a nettó energiaérték (Net Energy Value, NEV) és a fajlagos energianyereség (Groode és Heywood, 2008). A nettó energiaérték az output és a fosszilis input energiák különbsége, míg a fajlagos energianyereség a kinyert etanol energiataralmára vonatkoztatja a teljes technológia nettó energiaértékét.

Groode és Heywood (2008) cellulóz alapú etanol gyártásra is elvégezték az életciklus elemzést. Itt két nyersanyagot (mezőgazdasági melléktermékként a kukoricaszárát és energianövényként a vesszős kölest (*Panicum virgatum*) vizsgálták meg. Vizsgálatuk alapján megállapították, hogy a nettó energiaérték között sokkal kisebb mértékben jelent meg a szórás. 17,1 és 20,6 MJ/l között változtak az eredmények, azaz a be-

fektetett fosszilis energiának 7–10 szeresét tartalmazza a kapott etanol. Ennek a magyarázata az, hogy a cellulóz tartalmú nyersanyagokban a nyersanyagok csak 30–60%-ából lehet erjeszthető cukrokat előállítani, szemben a keményítő tartalmú anyagok 60–70%-os keményítőtartalmával, és a szénhidrátok mellett jelen levő lignin energetikai célokra hasznosítható (1 kg lignin fűtőértéke 25–30 MJ körül van).

A már említett nyersanyagok (vesszős köles és kukoricaszár) két nyersanyagcsoportot szimbolizálnak, az energianövényeket és a mezőgazdasági melléktermékeket.

Mindent összevetve elmondhatjuk, hogy mindkét technológia (keményítő és cellulóz alapú technológia) nettó energiaigénye pozitív, azonban a cellulóz alapú technológia esetében nagyobb mértékű energianyereség érhető el – technológiától és körülményektől függően –, mint a keményítő alapú technológia esetében.

INDIREKT KÖRNYEZETI HATÁSOK

A megújuló energiaforrásból előállított energiatárolásról szóló 2009/28 EK Európai Uniói irányelv szabályozza a bioüzemanyagok használatát. Abban az esetben, ha a bioüzemanyagok felhasznált mennyiségét növeljük, akkor szignifikánsan nő az alapanyagok iránti kereslet. Ennek következtében kialakulhat egy versenyhelyzet az energetikai célú alapanyag- és élelmiszeripari alapanyagok termelése-felhasználása között. Ezzel további verseny alakul ki azok között, akik csak a minimális létfenntartáshoz szükséges feltételeket szeretnék kielégíteni és azon szereplők között, akik esetenként egyéb igényekkel is rendelkeznek, például a fejlődő országok és az USA.

Az így kialakult helyzet termőterületek növekedéséhez vezet, amelyet megvalósítani csak a természet kárára lehetséges. Köztudott, hogy a területhasználati vetélkedések első áldozatai szinte kivétel nélkül a természetes ökoszisztémák.

A bioüzemanyagok használata okozhatja azt a folyamatot is, hogy az általuk generált környezeti terhelket a harmadik világra hárítjuk át (Gyulai, 2009).

A FÖLDHASZNÁLAT HATÉKONYSÁGA

Az indirekt földhasználat az etanol gyártás hatékonysági mutatója lehet. Értéke nagymértékben függ az adott növény terméshozamától és szénhidrát-tartalmától.

Groode és Heywood (2008) tanulmánya szerint egy hektár kukoricatábláról 2500–3500 liter etanol nyerhető. Abban az esetben, ha ugyanerről a területről származó kukoricaszárból is gyártanánk etanolt, az még 650 liter többlet mennyiséget eredményezne a 2500–3500 liter mellé.

Azon növények esetében, amelyeket energetikai céllal termesztene jobban a helyzet, mivel egységnyi területre nagyobb produktivitást eredményeznek. Ez vessző köles esetén 20–22 t/ha. Így akár a keményítő tartalmú alapanyagokkal megegyező területi etanol hozamot lehet elérni, annak ellenére, hogy az alacsonyabb szénhidrát-tartalmú és az összetettebb technológiával kell dolgozni.

ÜVEGHÁZHATÁSÚ GÁZKIBOCSÁTÁS MEGTAKARÍTÁSA

Üvegházhatású gázoknak (ÜHG) nevezzük azokat a többnyire antropogén eredetű, gáz halmazállapotú anyagokat, melyek a földről visszavert hő egy részét elnyelik, ezáltal megváltoztatják a jelenlegi klimatikus viszonyokat. Azok az iparágak felelősek az ÜHG kibocsátásért, melyek hagyományosan fosszilis tüzelő és üzemanyagokat használnak, pl. a közlekedés, az erőművek, a feldolgozóipar, illetve maga a fosszilis nyersanyagok kitermelése.

A kukorica alapú etanol gyártás során az összes kibocsátás mennyiségét a mezőgazdasági művelés alatt felhasznált üzemanyagok CO₂ kibocsátásai, a nitrogéntrágyázásból származó NO_x kibocsátások, a nyersanyag szállítás CO₂ kibocsátásai, és az etanol üzem működéséhez szükséges hő és villamos áram előállításánál felmerülő üvegházhatású gázok, valamint a cukor-etanol átalakítás során felszabaduló CO₂ adja. 90 g CO₂ ekvivalens MJ ÜHG keletkezik az egységnyi benzin előállítása és felhasználása során. Ezzel szemben a szakirodalmak a kukorica-etanol esetében többnyire alacsonyabb értékekről számolnak be. Abban az esetben alacsonyabb ÜHG termelési értéket kapunk, ha a technológia energiaigényét megújuló energia felhasználásával elégítik ki. Pimental (2003), Wang et al. (1999), Shapouri et al. (2002) és Farrel et al. (2006) kutatásaikban közölt adatok alapján elmondható, hogy az ÜHG kibocsátás szempontjából csak az arra leginkább alkalmas területen és csak az arra alkalmas technológiával lehet üzemanyag alkoholt gyártani kukoricából. Ezekre azon adatok alapján lehet következtetni, amelyek szerint a bioetanol termelésével és használatával 58 százalékos ÜHG megtakarításról, 56 százalékos többletig terjedő spektrummal kell számolni.

Mivel a lignocellulózok nagyobb százaléka lignin, így sokkal kedvezőbb ÜHG kibocsátási értéket kapunk a cellulóz alapú technológia alkalmazása és vizsgálata során. Oka, hogy az említett lignin magas fűtőértékű, amelynek elégetésével a technológia energiaigénye nagyobb arányban fedezhető. Továbbá a nyersanyag termesztése is alacsonyabb ÜHG kibocsátást okoz, mint a keményítő-etanol nyersanyag termelése (Groode és Heywood, 2008).

KÖVETKEZTETÉSEK

Ezen tanulmányok alapján összességében megállapítható, hogy mind a keményítő, mind a cellulóz alapú etanol gyártás a megszokott benzinhez képest csökkenti az ÜHG kibocsátást. A csökkentés mértéke keményítő alapú technológia esetén 15–40%, míg a cellulóz alapú etanol esetén 65–90% is lehet. Az energia szektorban folytatott gyakorlat nem versenyképes, mert a meghatározó energiahordozók ára és beszerzése bizonytalanná válik a jövőben, ami keresleti piac kialakulásához vezethet, a végtelen gazdasági növekedés modell nem folytatható a végtelenségig.

Továbbá ez a gyakorlat nem lesz fenntartható, mert a készletek fogyasztása nagyobb sebességgel történik, mint újratermelődésük. A megoldásként szolgálhat a társadalmi szemlélet megváltoztatása, valamint új és hatékonyabb technológiák bevezetése.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 számú projekt támogatta.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

- Az Európai Parlament és a Tanács 2009/28/EK irányelve (2009. április 23.) a megújuló energiaforrásból előállított energia támogatásáról, valamint a 2001/77/EK és a 2003/30/EK irányelv módosításáról és azt követő hatályon kívül helyezéséről.
- Bai A. (2011): Újabb generációs bioüzemanyagok perspektívái. Magyar Tudomány. 861.
- Bailey, B. K. (1996): Performance of ethanol as a transportation fuel. [In: Wyman, C. E. (ed.) Handbook of bioethanol: production and utilization.] Taylor & Francis. Bristol. 37–60.
- Bollók, M.–Réczey, K.–Zacchi, G. (2000): Simultaneous Saccharification and Fermentation of Steam-Pretreated Spruce to ethanol. Applied Biochemistry and Biotechnology. 84. 86: 69–80.
- Cardona, C. A.–Quintero, J. A.–Paz, I. C. (2010): Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives. Bioresource Technology. 101: 4754–4766.
- Emőd I.–Tölgyesi Z.–Zöldy M. (2006): Alternatív járműhajtások. Maróti Kiadó. Budapest.
- Farrell, A. E.–Plevin, R. J.–Turner, B. T.–Jones, A. D.–O’Hare, M.–Kammen, D. M. (2006): Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals. Science. 311: 506–508.
- Furtado, A. T.–Scandiffio, M. I. G.–Cortez, L. A. B. (2011): The Brazilian sugarcane innovation system. Energy policy. 39: 156–166.
- Groode T. A.–Heywood J. B. (2008): Biomass to Ethanol: Potential Production and Environmental Impacts. February 2008. LFEE 2008-02 RP Massachusetts Institute of Technology. <http://lfee.mit.edu/publications/reports>
- Gyulai I. (2009): A biomassza-dilemma – 2009. <http://www.mtvsv.hu>
- Huzsvai L.–Dobos A. (2008): Napenergia-kukorica-bietanol. [In: Baranyi B.–Nagy J. (szerk.) Regionalitás, területfejlesztés és modernizáció az Észak-alföldi régióban.] DE Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma – MTA Regionális Kutatások Központja. Debrecen. 281–293.
- Kádár, Zs.–Szengyel, Zs.–Réczey, K. (2004): Simultaneous saccharification and fermentation of industrial wastes for the production of ethanol. Industrial Crops Production. 20: 103–110.
- Mojovic, L.–Nikolic, S.–Rakin, M.–Vukasinovic, M. (2006): Production of bioethanol from corn meal hydrolyzates. Fuel. 85: 1750–1755.
- Nicolic, S.–Mojovic, L.–Pejin, D.–Rakin, M.–Vukasinovic, M. (2010): Production of bioethanol from corn meal hydrolyzates by free and immobilized cells of *Sacharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus*. Biomass and Bioenergy. 34: 1449–1456.
- Pimental, D. (2003): Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts are Negative. Natural Resources Research. 12. 2: 127–134.

- Sági F. (1998): Energiahasznosítás a mezőgazdaságban Mezőgazdaságunk útja az Európai Unióba. 1. füzet. Budapest. OMgK.
- Sánchez, Ó. J.–Cardona, C. A. (2008): Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*. 99: 5270–5295.
- Shapouri, H.–Duffield J. A.–Wang M. (2002): The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update. USDA.
- Stevens, D. J.–Worgetten, M.–Saddler, J. (2004): Biofels for transportation: an examination on policy and technical issues. IEA Bioenergy Task 39. Liquid Biofuels Final Report. Canada. 2001–2003.
- Talebina, F.–Karakashev, D.–Angelidaki, I. (2010): Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresource Technology*. 101: 4744–4753.
- Wang, M.–Saricks, C.–Santini, D. (1999): Effects of Fuel Ethanol Use on Fuel-Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions. IL: Argonne National Laboratory.

