8. előadás: A „szilárd” biomassza formák átalakítása folyékony energiahordozókká

8.1. Keményítő és cukor bázisú bio- tüzelő és hajtóanyagok előállítása.
8.2. Nyersszesz, bioetanol tüzelő- és hajtóanyagként történő felhasználása
8.3. Olajos magvú növényekből növényi tüzelő és hajtóanyagok előállítása.
8.4. A bioetanol, a biodízel előállítás melléktermékei és azok felhasználása
8.5. Motorok, turbinák, törpeerőművek (CCHP).

8.1. Keményítő és cukor bázisú bio- tüzelő és hajtóanyagok előállítása

A **nyersszesz,** majd **bioetanol** nagy tisztaságú víztelenített **finomszesz**. (az előtag, „bio” az előállítására utal, azaz a növényi alapanyagokra: **cukortartalmú** (pl. cukornád, cukorrépa, cukorcirok), **keményítő tartalmú** (kukorica, búza, rozs, árpa, zab, burgonya), **lignocellulóz tartalmú** (gabona szalma, kukorica szár, fa) növényekre. Képlete: C_2H_5OH.

A szesz előállításának alapja az **alkoholos erjedés**, amikor **élesztőgomba cukorból alkoholt állít elő**, közben pedig széndioxid is keletkezik. Legegyszerűbb tehát ez a folyamat a **gyümölcsök** és a **cukornád, cukorcirok** cukrából. Ezek mono-, illetve diszacharid formában tartalmaznak cukrot. (**Agrener Bioenergetikai Fejlesztő Kft** http://www.agrener.hu/index.php**)**

Ezen kívül a **két leggyakoribb cukor polimer** a **keményítő és a cellulóz**. Ahhoz, hogy a polimerekből az erjesztéshez szükséges monomer cukrot tudjunk előállítani, le kell őket bontani. A lebontási folyamat neve a **hidrolízis.** A folyamatot **enzimek** végzik, ezek adják az egyik jelentős költségtényezőt az alkoholgyártásban. A gyártási technológiát tehát kiindulási pontjaik alapján háromféleképpen csoportosíthatjuk: cukron, keményítőn és cellulózon alapuló technológiákra.

Keményítő alapú bioetanol gyártás

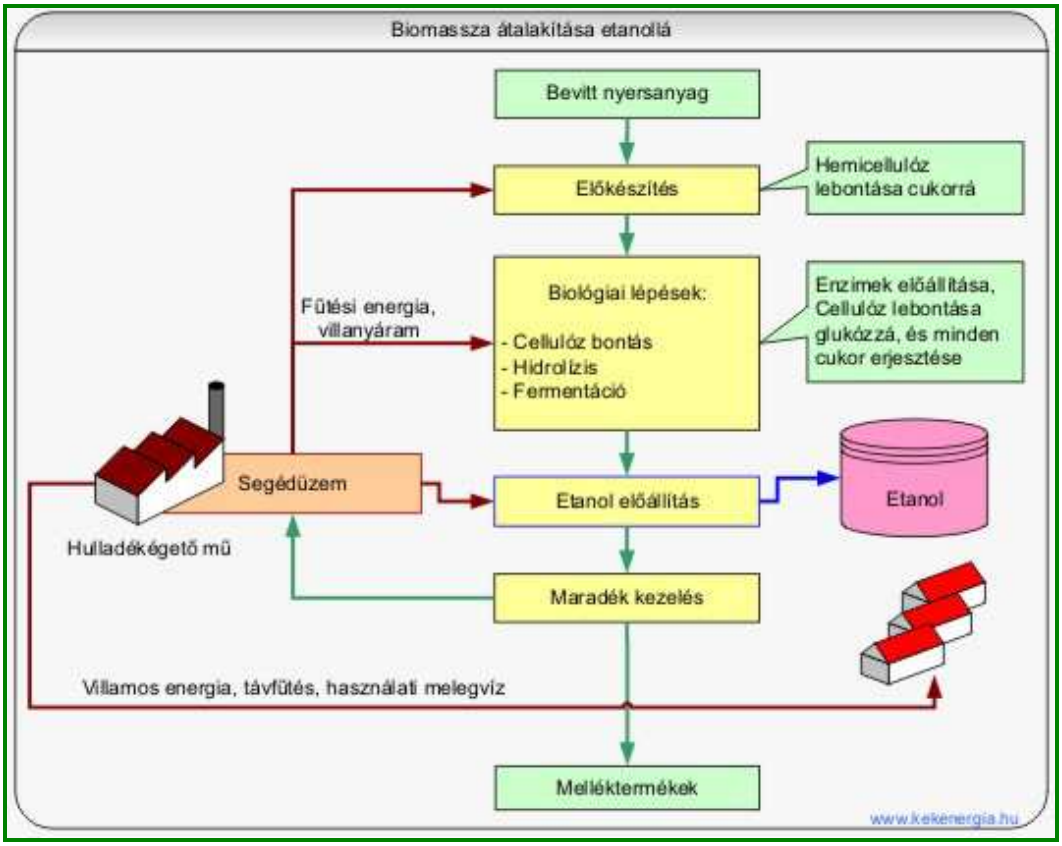
A keményítő tartalmú növényi nyersanyagok (a kukorica, a búza) kétféle módon dolgozható fel:

1. A gabonaszem **nedves őrlése után** különválasztják a keményítőt, és enzimes (α-amiláz, amiloglükozidáz és pullulanáz) hidrolízissel glükózzá bontják. Ezt követően élesztővel etil-alkohollá erjesztik. Az erjesztés utáni lépés az etilalkohol **lepárlása**, amely két műveletből áll: az **elgőzöltetésből és a cseppfolyósításból**. Ezzel a módszerrel legfeljebb 18-20 % (V/V) etanoltartalmú oldatot lehet előállítani, az ennél **töményebb alkoholt desztillálással készítik** (kihasználva azt, hogy az etanol forráspontja (78 °C) alacsonyabb a vízénél (100 °C). Ekkor lehetőség van a magban lévő többi komponens külön-külön kinyerésére és értékesítésére (**csíraolaj, fehérje és rost**).
2. A gabonaszemek **szárazőrlése után** kapott őrleményt, mindennemű szeparálás nélkül enzimes kezelésnek vetik alá és az így nyert hidrolizátumot erjesztik alkohollá.

A hidrolízis és fermentáció az ún. **szimultán szacharifikáció és fermentáció** (továbbiakban **SSF**) elnevezésű művelet keretében egyszerre elvégezhető, és így energia takarítható meg. Az SSF-hez tehát szükség van két vagy több enzimre és egy mikrobára. A mikroba, legtöbbször élesztő (Saccharomyces cerevisiae), ami az erjesztést végzi.

Lepárlási folyamatok

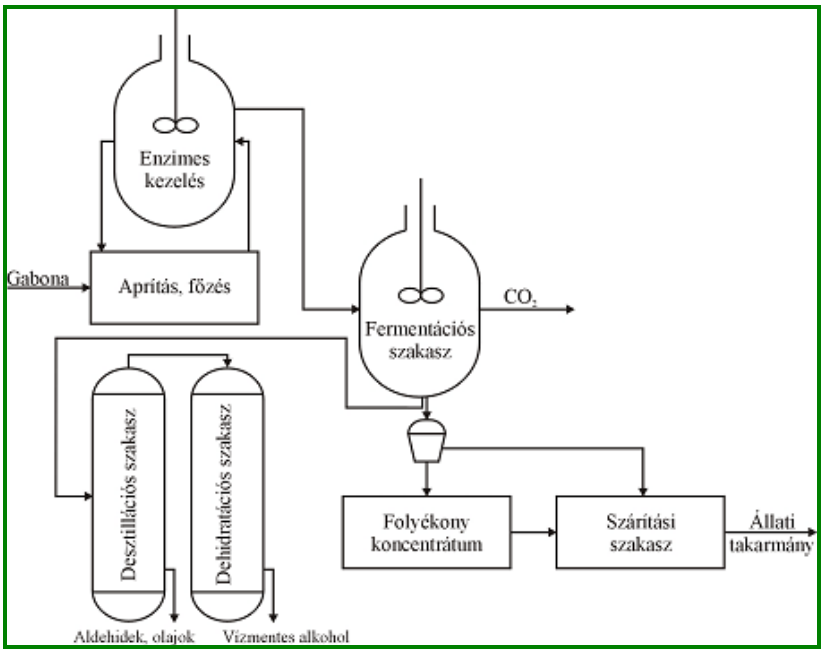
Üzemanyagcélú etilalkohol gyártás esetén a lepárlás és cseppfolyósítás után elengedhetetlen technológiai lépés a **szesz víztelenítése**, amely történhet szárító ágenssel telített szesz-víz elegy lepárlásával, azeotróp desztillációval, illetve pervaporációs, membránszűréses eljárással.



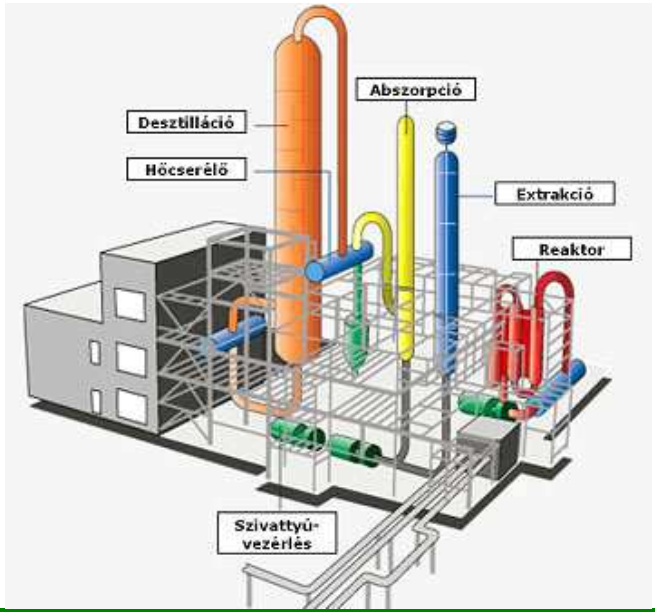
8.1. ábra. Keményítő alapú bioetanol gyártás sémája

8.1. Táblázat. Primer mezőgazdasági produkcióból **folyékony energiahordozónak**

Megnevezés	**Összes (Mt/év)**	**Felhasználható (Mt/év)**	**E (PJ)**
Búza	5,2	nem ilyen célra	---
Kukorica	7,5	1,8	18,0
Olajnövények	1,0	0,4	5,0
Egyéb ipari	3,3	nem ilyen célra	---
Szálas takarmány	7,0	nem ilyen célra	---
Zöldség	2,0	nem ilyen célra	---
Összesen		2,2	**23,0**



8.2. ábra. A bioetanol gabona alapú előállításának technológiai sémája



8.3. ábra. Bioetanol üzem látványképe

8.2. Táblázat. Néhány bioetanol előállításra alkalmas növény termesztési adata

Növény	Termésátlag (t/ha)	Átlagos bioetanol hozam (l/ha)
Cukorrépa	40	4000
Cukorcirok	35	3500
Cukornád	57	5300
Burgonya	20	2000
Őszi búza	5	1500
Kukorica	6	2300
Csicsóka	50	4200

8.3. Táblázat. Az etanol jellemző adatai.

Etanol jellemző adatai (http://www.kekenergia.hu/bioeth.html)	
Sűrűség és halmazállapot	0,789 g/cm^3, folyadék
Oldhatóság vízben	Korlátlanul elegyedik
Olvadáspont	-114.3 °C (158.8 K)
Forráspont	78.4 °C (351,6 K)
Viszkozitás	1.20 mPa·s (20 °C-on)

8.4. Táblázat. Fűtőanyagok összehasonlítása (Égéshő)

Fűtőanyag	**MJ/kg**	**BTU/lb**	**kJ/mól**
Hidrogén	141,8	61 000	286
Benzin	47,3	20 400	---
Gázolaj	44,8	19 300	---
Etanol	**29,7**	**12 800**	**1300**
Propán	50,3	---	2219
Bután	49,5	20 900	2800
Fa	15,0	6500	---
Kőszén	15-27	8000 - 14 000	---
Dúsításmentes urán	500 000	---	---

Folyékony halmazállapotú energiahordozók előállításának előnyei

Az előállított folyékony tüzelő-, és üzemanyagoknak az előnyei a következők:

- A feldolgozással jelentős energiakoncentrálás (pl. 14 MJ/kg égéshőjű (13 % nedvességtartalmú) magból 27 MJ/kg égéshőjű folyadékot, pl. szesz, olaj) érhető el.
- Sokoldalú energetikai felhasználásra nyílik lehetőség, nemcsak jármű üzemanyagként dehidrálás után, hanem nyers formában tüzelőanyagként, akár trigerenrációs (turbinás, motoros tüzelés útján, elektromosságot, hőt, és hűtést biztosító berendezésekben.
- A folyadék halmazállapotú termék, szokásos tartálykocsival könnyen szállítható.
- A folyadék fázisú anyagot felhasználó tüzelő berendezések könnyen számítógép vezérelté tehetők, ezzel magas műszaki és komfortfokozat érhető el.
- A járművekben, üzemanyagként történő felhasználás technológiai kérdései már megoldottak, a világban már kialakított gépek, motorok jelentős mértékben alkalmazhatók.
- A turbinás, motoros berendezések fejlesztést igényelnek, (pl. Svédország, Malmő, Turbec).

8.2. Nyersszesz, bioetanol tüzelő- és hajtóanyagként történő felhasználása

Az etilalkohol üzemanyagként történő felhasználása.
Kétféle felhasználási forma alakult ki:

- **eredeti** formában benzinbe keverve, illetve
- komponensként **üzemanyag-adalék** formájában.

Bekeverés (tiszta formában) különféle térfogatszázalékban történhet, legelterjedtebb megoldások az E5, E10, E85, azaz az 5, 10, 85 %-ban bioetanolt tartalmazó üzemanyagok. **Üzemanyag-adalékként** történő felhasználásának legelterjedtebb módja annak etlil-tercier-butil-éter (ETBE) formában történő alkalmazása, amely oktánszámjavító, az ETBE 47 %-ban tartalmaz biokomponenst.

8.3. Olajos magvú növényekből növényi tüzelő és hajtóanyagok előállítása

Az olajos növényekből olaj **sajtolható**. A jelenlegi préselő berendezések **elektromos energia felhasználók**, olajos magvú növényeket, repcét, napraforgót dolgoznak fel. Már a nyersolaj alkalmas közvetlenül tüzelésre. Észterezés és adalék anyagok bekeverése után pedig, mint **biodízel,** járművek üzemanyagaként használható fel. További termék még a glicerin. A préselés „hulladékából” repcepogácsa, napraforgó pogácsa készülhet energetikai felhasználás céljából.

Biodízel előállítására hazánkban leginkább a **napraforgó** és a **repce** magas olajtartalmú részeit dolgozzák fel. Ezen növények magja 44-50% olajat tartalmaz, melynek 85-92%-a nyerhető ki, a többi pedig a préseléssel előállított olajpogácsában marad, javítva ezzel annak etethetőségét. A növényekből kinyert olajat kémiai úton, **észterezéssel alakítják át**. A **repce-metilészter (RME)** például a repceolaj megbontásából keletkező növényi zsírsavak metilalkohollal való átészterezésével készül.

Az Európai Unió **2003/30/EC irányelve** szerint 2005 végéig az eladott üzemanyag 2%-ának, 2010 végére pedig 5,75%-ának bioüzemanyagnak kell lenni. Hazánkban állami támogatással elindított beruházási program keretében a kunhegyesi üzem valósult meg eddig.

8.4. Kisüzemi biodízel reaktor

8.4. A bioetanol, a biodízel előállítás melléktermékei és azok felhasználása

A növényi anyagok feldolgozása, az állattartás, valamint a tüzelés során keletkezett melléktermékekből (gabonamoslék, repce préselmény, istállótrágya, fűtőműi, erőműi hamu) sok TERMÉK állítható elő:

- növényi hulladék, szeszmoslék, stb. talajjavító keverékekké (komposztok) alakítható, ami a műtrágyák (K, N, P) részleges, vagy teljes kiváltását teszi lehetővé.
- az istállótrágya fermentálása során biotrágya keletkezik Ezt is célszerű az adott földterületek talajjavítására használni.
- a gabonamoslékot, szeszmoslékot akkor „kapjuk”, amikor a kukoricát feldolgoztuk (a ez akkor jelentősebb mennyiségű, amikor jó volt a termés, ekkor „nem sikerült” magát a kukoricát teljesen megetetni az állatokkal). A moslék egy része azonban ekkor is állatokkal (tehenek, sertések) megetethető,
- a moslék fehérje tartalmát (DDGS), beszárítás, granulálás után olyan időszakra lehet „tartósítani”, eltenni, amikor kevésbé jó a kukorica termés, amikor magas az ára és az állatnak is „kevesebb” jutna belől.
- a moslék még további részéből beszárítás után tüzelőanyag készíthető.

8.5. Motorok, turbinák, törpeerőművek (CCHP).

A növényi eredetű, folyékony energiahordozókat (nyers és finomított formában) lehet

- közvetlenül tüzeléssel melegítésre,
- üzemanyagként, járművekben közlekedésre, és
- **integrált energetikai berendezésekben**, telepítetten, **összetett energetikai szolgáltatás biztosítására** felhasználni.

Az utóbbi esetben szervezhető meg a tüzelőanyag legmagasabb energetikai hasznosítása. Ekkor beszélünk a **Kapcsoltan Hűtést, Fűtést** (használati melegvíz is) és **Elektromos energia ellátást** együttesen szolgáltató és fogyasztó rendszerről. Az ilyen rendszerek energetikai részét angolul **C**ombined **C**ooling **H**eating and **P**ower Plant (kezdőbetűivel **CCHP**) kifejezéssel illetik. Ilyen rendszerekben a mechanikai energiát **motorok, turbinák** biztosítják. Ezekre a „törpe erőmű” megnevezés is használatos.

A legjobb energetikai hatásfokot **mikroturbinás energetikai berendezések**kel lehet elérni. Ezek a következő tulajdonságokkal bírnak:

- **Mobil módon összeépíthető tetszőleges méretű rendszer a 100 kW-os „elemekből”:** a 100 kW és 1000 kW közötti teljesítményű, energiaszolgáltató rendszer összerakható, amely rugalmasan biztosítja az elektromos energiát, a fűtést és a hűtést a napszaknak és az évszaknak megfelelően.
- **Magas összenergia hatásfok:** ~85 %, ebből az elektromos energia rész >40%.
- **Kiváló emissziós paraméterek:** a mikroturbinás rendszer NOx kibocsátása kisebb, mint 7 ppm földgáz, biogáz felhasználása esetén.
- **Felhasználás biztonság:** 11.000 órás folyamatos üzemi ciklusok esetén csak >45.000 óra után kell szerviz.
- **Gazdasági versenyképesség:** Ára alacsonyabb, mint 500 Euro/kW_e és az elektromos energia előállítási költsége versenyképes más alternatív technikával.
- **Üzemanyag rugalmasság:** Alternatív módon alkalmazhatók a következő energiahordozók: diesel olaj, etanol, földgáz, biogáz, növényi préselt olaj.

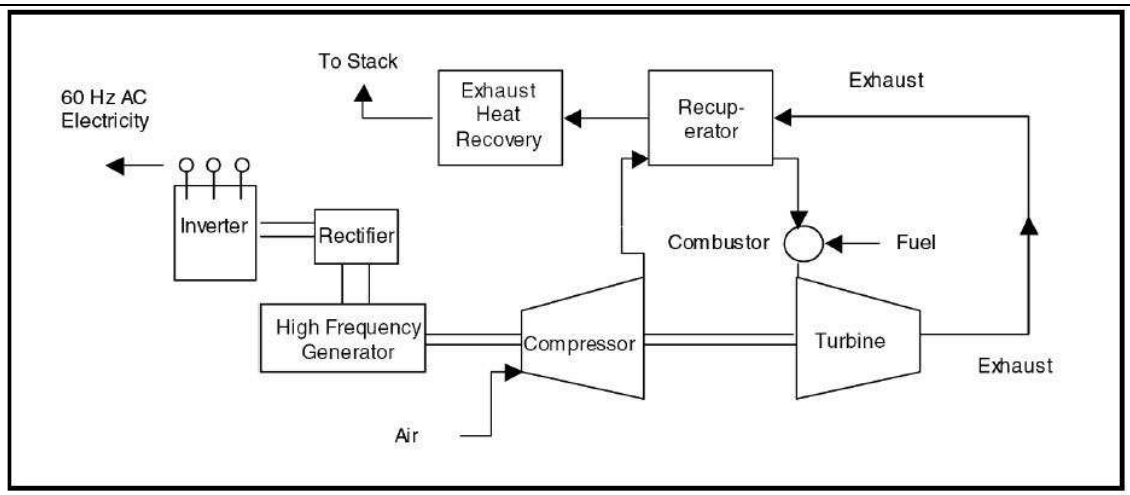
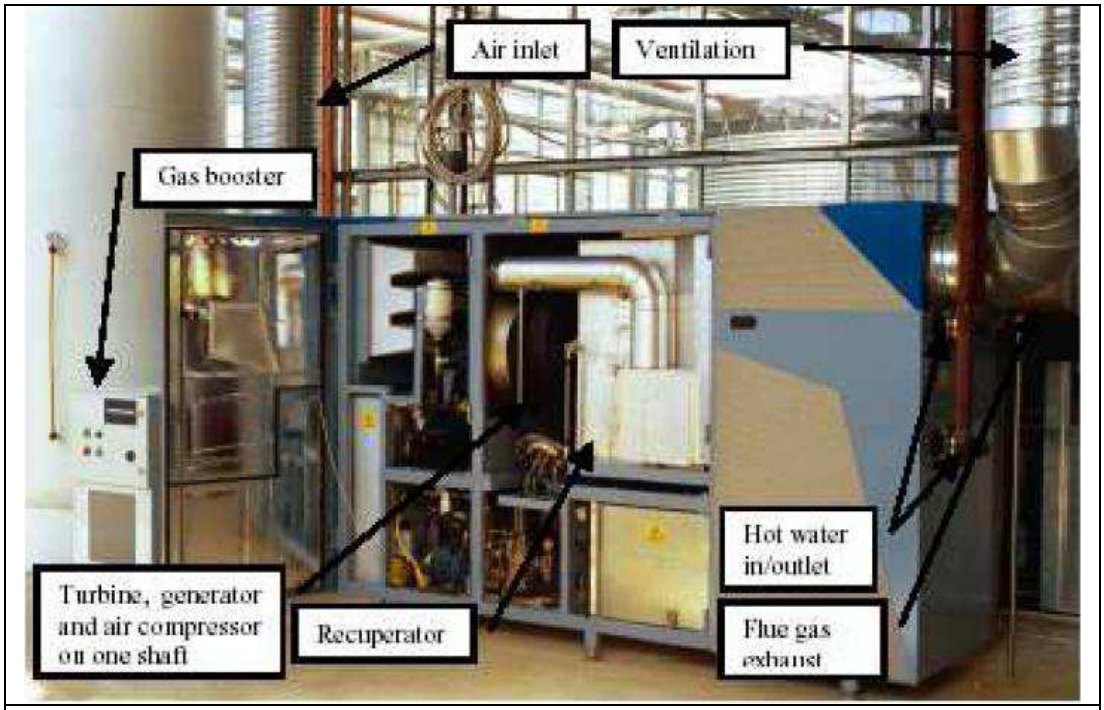


Figure 1: Microturbine based CHP system [1]

Egy mikroturbinás berendezés főbb részei	**Egy mikroturbinás rendszer szolgáltatásai**
Tüzelőanyag adagoló, égető rész Légtisztító, légsűrítő Nagy fordulatszámú turbina, Nagyfrekvenciás generátor, Rektifier (egyenirányító, feszültség átalakító) Rekuperátor (gáztisztító, hőcserélő) Abszorpciós hűtőkör	Elektromos energia Forró víz fűtésre, használati melegvíznek Hűtőkör



Mikroturbinás berendezés melegházban

Figure 2: Microturbine installation at an office building

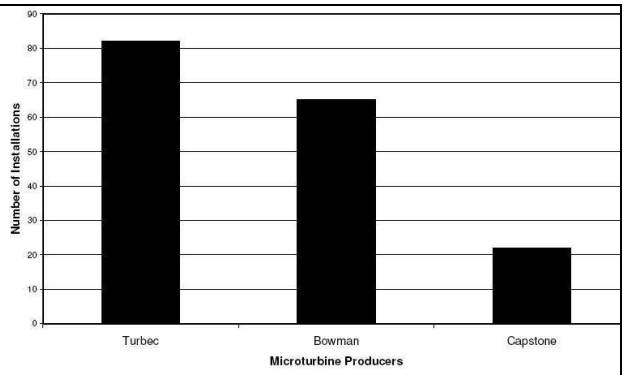


Figure 5: Microturbine market share by producer

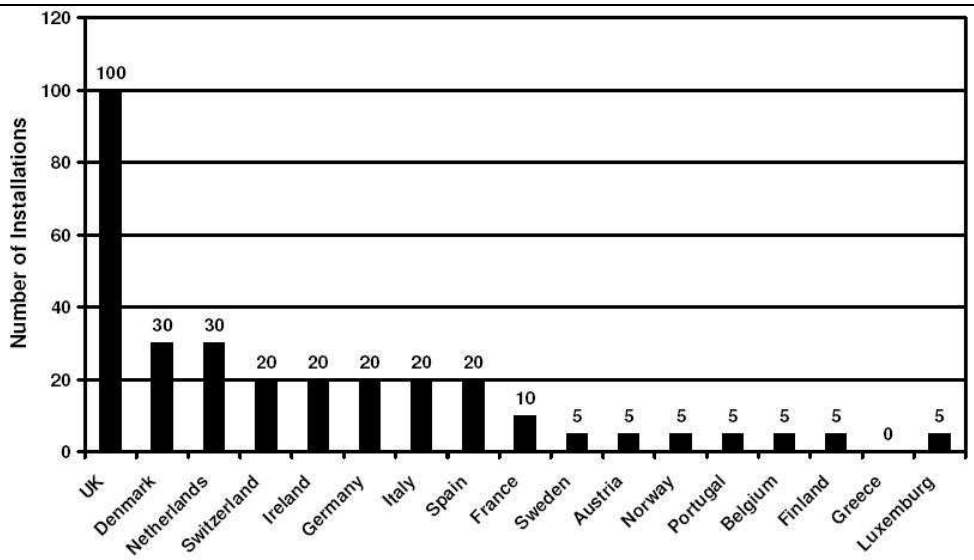


Figure 4: European microturbine market in 2003

8.5. Táblázat. Az üzemanyagok energia-értékeinek (égéshőjének - L) összehasonlítása (http://muszakiak.com/energia/a-jovo-energiahordozoi.html)

Üzemanyag NCV tömeg alapján	L (MJ/kg)
Shell 95-ös ólmozatlan (EU)	**42,9**
PB-gáz (Gepel)	**46,0**
Shell Dízel	42,6
Zsírsav-metilészter (FAME)	**37,7**
GTL Dízel	**44,0**
CNG	46,6
Dimetil-éter	28,4
Etanol E85	**29,0**
Hidrogén	**119,9**

Hivatkozások:

KF-II-8.1.	A biomassza energetikai hasznosítása Szendrei János; Agrártud. Közl., 2005/16 http://www.date.hu/acta-agraria/2005-16/szendrei.pdf	
KF-II-8.2.	Biomassza potenciál és hasznosítása Magyarországon; Gőgös Z. Agrárágazat http://www.agraroldal.hu/biomassza-3_cikk.html	
KF-II-8.3.	A bioetanol magyarországi bevezetésének feltételei; Magyar Tud. 2005/3 278.o. http://www.matud.iif.hu/05mar/03.html	
KF-II-8.4.	Biodízel, bioetanol mint alternatív üzemanyag, Puppán Dániel. Ma.Tud. 2001/11 http://www.kornyezetunk.hu/belso/mg16.html	
KF-II-8.5.	Bioetanol előállítása http://www.kekenergia.hu/bioeth.html	
KF-II-8.6.	Bio-motorhajtóanyag előállítás lehetőségei Magyarországon; HajdúJ; 2006 http://www.csongrad-megye.hu/hirek/2006_014.pdf	
KF-II-8.7.	Biomassza energetikai hasznosításának jelene és tendenciái. Bai A. 2005. http://193.224.162.52/ELFO/mag052.pdf	
KF-II-8.8.	A bioetanol-előállítás gazdasági kérdései**;** Bai A. Agrártud. Közl., 2004/14 www.date.hu/acta-agraria/2004-14/bai.pdf	
KF-II-8.9.	A biomassza eredetű hajtóanyag előállítás; Bai A., MSZET kiadványai No 2. http://meteor.geo.klte.hu/hu/doc/011BaiA.pdf	
KF-II-8.10.	A biomassza dilemma; Gyulai Iván http://www.e-misszio.hu/dok/Gyulai_Ivan.pdf	
KF-II-8.11	Biohajtóanyagok szerepe a fenntartható fejlődésben; Hancsók Jenő NKTH 2005 http://www.nkth.gov.hu/main.php?folderID=507&articleID=4327&ctag=articlelist&iid=1	
KF-II-8.12	A biomassza dilemma2; Gyulai Iván http://www.mtvsz.hu/dynamic/biomassza-dilemma2.pdf	
KF-II-8.13	Food, Feed, and Fuel: How do we balance the three for optimal growth? 2006 www.card.iastate.edu/presentations/food_feed_fuel.ppt	
KF-II-8.14	E85-A Clean Alternative Fuel option NOW; 2005 Sept. San Diego http://www.eri.ucr.edu/ISAFXVCD/ISAFOCAP.htm	
KF-II-8.15	Bioetanol, biodízel, biogáz, Agrener Bioenergetikai Fejlesztő Kft. Bemutatkozás http://www.agrener.hu/index.php	
KF-II-8.16	Etanol előállítása lignocellulózokból http://www.kornyezetunk.hu/belso/mg40.html	
KF-II-8.17	Gáz, bioetanol felhasználása a járművekben 06.03.18 http://www.folder.hu/cikkek.php?id=29	
KF-II-8.18	Bioetanol Lap; Mindenféle információk a bioetanolról http://bioetanol.lap.hu/	
KF-II-8.19	Biodízel Lap; Mindenféle információk a biodízelről http://biodizel.lap.hu/	
KF-II-8.20	Bioturbines – Challenge for a new Bioenergy Market;; WIP, EUBIA http://www.bioturbine.org/Publications/PDF/Abstract_Biomass_Rome-BIOTURBINE-2003-11-05.pdf	
KF-II-8.21	How Ethanol Is Made http://www.ethanolrfa.org/resource/made/	
KF-II-8.22	MICROTURBINES; Volvo Aero Corp. 2005. április www.energy.kth.se/courses/4a1626/ahpt2006/MicroturbineSection%201.pdf	

Kérdések:

KF-II-8.1. Mit nevezünk nyersszesznek és finomszesznek?
KF-II-8.2. Mit nevezünk bioetanolnak, írja fel a tapasztalati képletét?
KF-II-8.3. Milyen növényi alapanyagokból állítható elő etilalkohol?
KF-II-8.4. Mit történik az alkoholos erjedés során?
KF-II-8.5. Mi a két leggyakoribb cukor polimer?
KF-II-8.6. A milyen vegyületek keletkeznek az alkoholos erjedés során?
KF-II-8.7. Mely azok a cukortartalmú növények, amelyek felhasználhatók etanol előállítására? Melyik ezek közül az, amelyikből a legnagyobb mennyiségben teszik ezt a világon?
KF-II-8.8. Mely azok a keményítő tartalmú növények, amelyek felhasználhatók etanol előállítására?
KF-II-8.9. Mely azok a lignocellulóz tartalmú növények, növényi részek, amelyek felhasználhatók etanol előállítására?
KF-II-8.10. Milyen kémiai folyamat a cukor polimer lebontása és milyen vegyületek végzik azt?
KF-II-8.11. Mik a keményítő alapú bioetanol gyártás főbb lépései a „nedves őrlés” során?
KF-II-8.12. Mik a keményítő alapú bioetanol gyártás főbb lépései a „száraz őrlés” során?
KF-II-8.13. Milyen módszerekkel történhet a magas etanol tartalmú szesz víztelenítése?
KF-II-8.14. Mennyi a termésátlag a következő növények esetében a termésátlag (t/ha): cukorrépa, cukorcirok, cukornád, burgonya, őszi búza, kukorica és mennyi az átlagos bioetanol hozam (l/ha)?
KF-II-8.15. Sorolja fel, hogy milyen komfort növelés érhető el a szilárd halmazállapotú növényi anyagok folyékony halmazállapotú energiahordozókká történő átalakításával?
KF-II-8.16. Hogyan történhet az etilalkohol üzemanyagként történő felhasználása?
KF-II-8.17. Milyen arányú bekeverések vannak és várható etanol esetében benzinhez és gázolajhoz?
KF-II-8.18. Miből készülhet „biodízel”?
KF-II-8.19. Milyen célokra használható a repcéből, napraforgóból sajtolt olaj?
KF-II-8.20. Milyen technológiai lépései vannak a „biodízel” előállításnak?
KF-II-8.21. Hogyan alakítják át a növényekből kinyert olajat kémiai úton biodízellé?
KF-II-8.22. Hány százalékban kell tartalmaznia az eladott gépjármű üzemanyagnak az Európai Unió 2003/30/EC irányelve szerint 2005 végéig, majd 2010 végéig bioüzemanyag részt?
KF-II-8.23. Melyek a nyersszesz, majd a bioetanol, előállítás melléktermékei és mire lehet azokat felhasználni?
KF-II-8.24. Melyek a préselt olaj, majd a biodízel előállítás melléktermékei és mire lehet azokat felhasználni?
KF-II-8.25. Mennyi az etanol és a növényi olaj égéshője?
KF-II-8.26. Milyen energetikai célokra lehet felhasználni növényi eredetű, folyékony energiahordozókat?
KF-II-8.27. Milyen energiahordozók alkalmazhatók egy mikroturbinás rendszerben?
KF-II-8.28. Milyen energetikai berendezésekkel szervezhető meg a tüzelőanyag legmagasabb hatásfokú energetikai felhasználása?
KF-II-8.29. Mit jelent ez a betűszó angolul és mi felel meg ennek magyarul: CCHP?
KF-II-8.30. Milyen tulajdonságokkal bír egy mikroturbinás energetikai berendezés?
KF-II-8.31. Milyen energetikai szolgáltatásokkal bír egy mikroturbinás rendszer?
KF-II-8.32. Mik a főbb részei egy mikroturbinás rendszernek?

Pécs, 2012. január 20

Dr. Német Béla