Bioetanooli kasutamise eeldused ja võimalused Eestis (energia- ja kütusemajandus)

Aruanne

Ülo Kask

Tallinna Tehnikaülikool

Soojustehnika instituut

Tallinn

September, 2013

Sisukord

Sissejuhatus 4
Valdkonna õigusruum 6
1. Bioetanooli tootmise ja tarbimise regulatsioonid Euroopa Liidus 6
2. Bioetanooli nõudlust tekitavad Euroopa Liidu regulatsioonid ning dekarboniseerimise mehhanism 8
Bioetanool, toorme ressursid ja kasutamise tehnoloogiad 9
3. Vedelate biokütuste toore, liigid ja tootmise tehnoloogiad 9
4. Bioetanooli tootmine ja kasutamine 13
5. Etanool mootorikütusena 17
6. Kütusesegude kasutamine 21
Kõrged segud 21
Madalad segud 21
7. Etanooli tootmise lähteained 22
Suhkrut ja tärklist sisaldav tooraine 22
Lignotselluloosne tooraine 22
Hüdrolüüspiiritus 24
Tooraine 24
Saagised 25
Etüülpiirituse tootmine 25
7. Kvaliteedinõuded bioetanoolile 27
8. Biokütuste tootmise energiabilanss 29
Bioetanooli tootmise eelised ja kõrvalmõjud Eestis ning majanduslik põhjendatus 30
9. Bioetanooli Eestis tootmise eelised 30
10. Bioetanooli tootmise tehnoloogiline areng 36
11. Etanooli tootmise majanduslikkus 37
Esimese põlvkonna bioetanool 37
Teise põlvkonna ehk lignotselluloose etanooli tootmise majanduslikud aspektid 40
Kokkuvõte 45
LISA. Täiendav materjal 47
Eestile sobiv bioeetanooli tootmise mudel 50
Kriitiline väärtõlgendus 50
Probleeme 51
Töös kasutatud materjalid 51
Kokkuvõte 52
Puudujäägid, ettepanekud ja soovitused 52

Faktileht.....55
Avalikud hüved 58

Sissejuhatus

Maailmas, kus pidevalt tõuseb nafta hind ja suureneb sõltuvus vähenevatest fossiilkütuse varudest on suurenenud tähelepanu alternatiivsetele kütustele. Biokütuste kõrge tootmishind on seni jäänud kriitiliseks barjääriks nende laialdasel leviku, kuigi asi on liikunud paremuse poole. Edukalt toimivad tehnoloogiad taimsete õlide tootmisel ja nendest diislikütuse tootmisel. Biokütuste konkurentsivõime kasvab nafta ja teiste fossiilkütuste hinna tõustes ja on juba ületanud kriitilise läve. Siiski sõltub praegu biokütuse konkurentsivõime temale tehtud soodustustest ja subsiidiumitest.

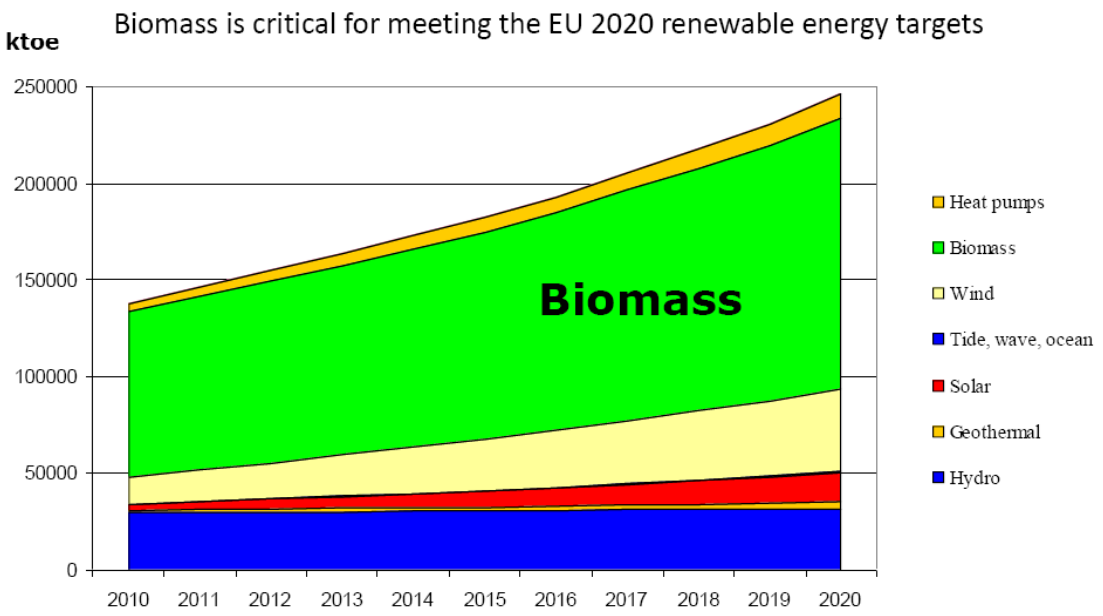
Esimese põlvkonna biokütustel on nende hinnas põhikomponendiks tooraine hind. Kui tooraine-põllukultuuri hind muutub, siis muutub ka biokütuse hind. Biokütuse hinda mõjutab üsna oluliselt teda tootva tehase võimsus. Siiski on see olulisem bioetanooli tootmisel, vähem oluline biodiislikütuse tootmisel. Biodiislikütust on võimalik valmistada ka väiketootjal. Näiteks Saksamaal toodavad biodiislikütust suhteliselt madala hinnaga just väiketootjad.

Biokütused avaldavad laialdast regionaalset sotsiaalmajanduslikku mõju. Nad soodustavad kohalikku ettevõtlust, avavad uued turuvõimalused põllumajandustootjatele. Põllumajanduses ei toodeta mitte ainult toitu, vaid ka energiat.

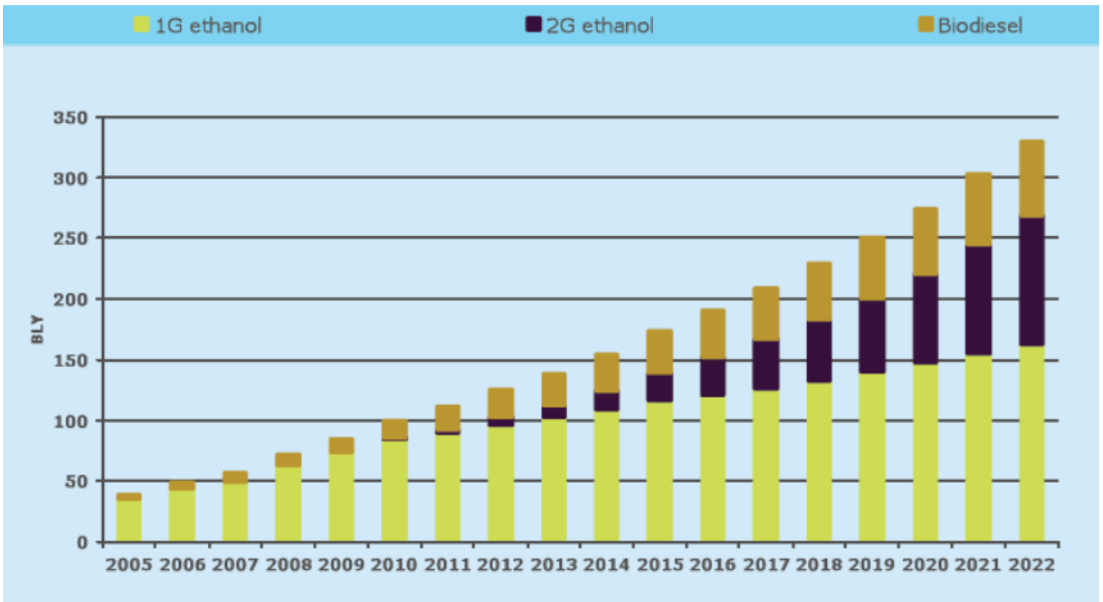
Teise põlvkonna biokütuseid ei toodeta veel kaubanduslikus mõõtmes. Kõrge tootmishinna tõttu pole nad tänapäeval veel eriti konkurentsivõimelised, kuid tehnoloogia arenedes võib neist saada tähtis osa vedelkütusemajanduses. Nende kütuste suurim eelis on tohutu toorainebaas ja selle odavus.

Biokütused vähendavad kasvuhoonegaaside emissiooni, vähendavad õhusaastet, väheneb vajadus importida vedelkütust. Tekib juurde töökohti. Järelikult on biokütused sotsiaalselt ja keskkonnasõbralikkuselt kõige soovitatavam vedelkütus, mida aga ei saa alati arvestada majandusarvestustes.

Biokütuste kasutamine on maailmas alates 2004.a hoogsalt kasvanud ja prognoositakse selle jätkuvat tõusu (vt Joonis 1a ja 1b). Kasvu põhjuseks on volatiilsed naftahinnad, piiratud naftavarud ning riikide soov suurendada oma energiasõltumatust ja vähendada kasvuhoonegaaside (KHG) emissiooni. Paljudes maades on seadusandluse, maksusoodustuste ja riiklike dotatsioonide kaudu loodud tingimused erinevate biokütuste kasumlikuks tootmiseks. Ühtlasi on arenenud nii biokütuste tootmise kui tarbimisega seotud tehnoloogiad. Euroopa Liit võttis 2009.a alguses vastu kliimapaketi, mis seab mitmesugused keskkonnaalased ja Eestile siduvad eesmärgid aastaks 2020. 2008.a rakendus Mootorikütuste Kvaliteedi Standardite direktiiv (*Fuel Quality Directive* ehk edaspidi FQD), mille eeldatava tulemusena soodustatakse oluliselt Euroopa päritolu biokütuse kasutuselevõttu. Ühelt poolt täienenud direktiivi rakendumise ja teiselt poolt Eesti põllumajanduslike ning põlevkivienergeetiliste iseärasuste tõttu avaneb Eestil harukordne võimalus muutuda kütust eksportivaks riigiks. Täpsemalt saab eeskätt muutunud seadusandluse tõttu hakata konkurentsivõimeliste hindade juures tootma vedelaid biokütuseid nagu biodiislikütus ja bioetanool. Tehnoloogilise arengu tulemusena on võimalik Eestis valmistada Enefit või Petroter tehnoloogial põhinevaid vedelkütuseid põlevkivist. Seejuures avaneb tulevikus võimalus kasutada Eestis toodetud põlevkivi vedelkütuste ja biokütuste segu otseselt mootorikütusena, sest segu kvalifitseerub FQD nõuetele. Seeläbi muutub võimalikuks katta Eesti vedelkütuste tarbimine kodumaise toodanguga ja teha pikk samm energeetilise julgeoleku suunas.



Joonis 1a. Taastuvate energiaallikate (sh biomassi) kasutamise kasv



Joonis 1b.Globaalne biokütuste toodang ja selle jätkuv kasv (1G – esimese, G2 – teise põlvkonna bioetanool)

Eesti on riiklikul tasandil võtnud suuna soodustada taastuvenergeetika arengut muuseas valitsuse korraldusega nr 409 „Valdkondlik arengukava „Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020“ koostamise ettepanek“ (24.09.2009). Ettepaneku üheks ajendiks on EL eesmärk kasutada aastal 2020 energiatarbimises taastuvenergiat 20% ulatuses. Ettepanekus rõhutatakse Eestile sobivaimate taastuvenergialahenduste kasutuselevõttu ja vajadusel nende arendamiseks riiklike meetmete, sh investeeringutoetuste rakendamist. Arvestades bioetanooli tootmise mõju riiklike eesmärkide saavutamisele ühelt poolt ja vajadust tagada Eestis toodetud bioetanooli konkurentsivõimeline hind teiselt poolt, võiks bioetanooli tehase rajamine olla osa taastuvenergia tegevuskavast.

Narva elektrijaamade juurde planeeritud biokütusetehase tootmismaht on vahemikus 100 000-150 000 tonni aastas, millest ca 25 000 tonni võiks kasutada Eesti siseturul ning ülejäänu eksportida. Toodangu realiseerimine Eestis 100% ulatuses pole otstarbekas, sest siinse toodangu väärtus on kõrgeim 5% segus fossiilkütustega viimaste dekarboniseerimiseks, mitte aga otse

kütusena kasutades (vt ka Bioetanooli Eestis tootmise eelised). Tehase aastane käive on nimetatud mahu juures ca 64-90 mln eurot, millest vähemalt 75% on eksporditulu.

Euroopa Parlamendi ja Euroopa Liidu Nõukogu 8. mai 2003. aasta direktiivi 2003/30/EÜ kohaselt loetakse biokütusteks:

bioetanool - biomassist ja/või jäätmete bioloogiliselt lagunevast fraktsioonist toodetud etanool, mida kasutatakse biokütusena (mootorikütusena);

biodiislikütus (FAME) - taimsetest või loomsetest õlidest toodetud, diislikütuse omadustega metüülester, mis on mõeldud kasutamiseks biokütusena;

biogaas - biomassist ja/või jäätmete bioloogiliselt lagunevast fraktsioonist toodetud küttegaas, mida on võimalik puhastada maagaasile vastavate omadusteni ning mis on mõeldud kasutamiseks biokütusena;

biometanool - biomassist toodetud metanool, mis on mõeldud kasutamiseks biokütusena;

biodimetüüleeter - biomassist toodetud dimetüüleeter, mis on mõeldud kasutamiseks biokütusena; Bio-ETBE (etüül-tert-butüüleeter) - bioetanoolist toodetud ETBE. Biokütuse sisalduse määraks ETBE-s loetakse 47%;

bio-MTBE (metüül-tert-butüüleeter) -biometanoolist toodetud kütus. Biokütuse sisalduse määraks MTBE-s loetakse 36%;

sünteetilised biokütused - biomassist toodetud sünteetilised süsivesinikud või sünteetiliste süsivesinike segud;

biovesinik - biomassist ja/või jäätmete bioloogiliselt lagunevast fraktsioonist toodetud vesinik, mis on mõeldud kasutamiseks biokütusena;

puhas taimeõli - pressimise, ekstraheerimise või samalaadsete menetluste abil õlitaimedest toodetud, töötlemata või puhastatud, kuid keemiliselt modifitseerimata õli, kui see sobib kasutatava mootoritüübiga ning vastab heitmete kohta seatud nõuetele.

Valdkonna õigusruum

1. Bioetanooli tootmise ja tarbimise regulatsioonid Euroopa Liidus (Eesti Bioetanooli Klaster. Strateegia. Bemixe OÜ / Eesti Energia / Innopolis Konsultatsioonid AS. Tallinn 2009).

2009. aasta alguses võttis Euroopa Liit vastu kliimapaketi, mis seab eesmärgiks saavutada aastaks 2020 järgmised sihid:

- 20% KHG emissiooni kärbe;
- 20% kasv taastuvkütuste kasutamisel;
- 20% energiatarbimise langus efektiivsema energiakasutuse kaudu.

Bioetanooli tootmist Euroopas mõjutavad mitmed EL regulatsioonid, mis kuuluvad peamiselt kliimapaketi alla ning puudutavad ka kemikaalide käitlemisega seotud seadusandlust. Regulatsioonide nimetused ja mõjuala on lühidalt kirjeldatud alljärgnevalt ning põhjalikumalt strateegia asjassepuutuvates alapunktides.

• Renewable Energy Sources Directive (RES-D) on kliimapaketi direktiivide seaduse üldosa, mis sätestab kütusekasutuse keskkonnaalased eesmärgid Euroopa Liidus ja liikmesriikide rolli nende saavutamisel. Kesksel kohal on iga liikmesriigi jaoks siduv eesmärk, et aastal 2020 toodetakse taastuvallikatest 10% igas transpordiliigis tarbitud kütusest. Samuti on olulise mõjuga see, et RES-D määrab biokütuste tootmise säästlikkuse kriteeriumid, millele miinimumnõuete

täitmisel hakatakse arvestama toodetud biokütuse mõju KHG heidete vähenemisele ning millest sõltub seega biokütuse turustatavus.

- Fuel Quality Directive (FQD) sätestab kütuste dekarboniseerimise mehhanismi KHG heidete vähendamise eesmärgil. Rõhutatakse, et eesmärk toota taastuvallikatest 10% transpordikütusest pole mitte mahu põhine, vaid suhteline ehk KHG kärpe põhine. See tähendab, et mida säästlikumalt on biokütus toodetud, seda kõrgem on ka selle turuväärtus, sest seda peab eesmärgiks seatud KHG kärpe saavutamiseks fossiilkütusesse segama väiksemas mahus kui vähem säästlikult toodetud kütust. Teisisõnu - 10l kütuse kohta ei pea tingimata kasutama 1l biokütust, vaid võib kasutada ka nt 0,5l, juhul kui see on toodetud KHG heitmeid samaväärselt kärpival viisil.

- Renewable Energy Directive (RED) sätestab projekti seisukohast olulise asjaolu, et biomassist kütuse tootmisel eelistatakse koostootmist elektri- ja soojusjaamades tulenevalt suuremast KHG heidete kärpest.

- REACH on kemikaalide käsitluse pakett, mis reguleerib EL-s kasutatava kütuse tootjate toormeallika deklareerimist, mis muutub kõigile tootjatele kohustuslikuks alates 1.jaanuarist 2011. REACH raames hinnatakse toodetud biokütuse vastavust kliimapaketi seaduse üldosas RES-D sätestatud säästlikkuse kriteeriumidele.

- Indirect Land Use Change (ILUC) on Euroopa Liidu seisukoht maakasutuse muutusele avalduva kaudse mõju osas. Biokütuste tootmisel tekkivat mõju maakasutuse muutusele võetakse arvesse KHG heidete arvestamisel biokütuste tootmisprotsessis. Rakendusdokumendi täpne iseloom ja mõju oli Euroopa Komisjonis arutlusel 2010. aastal, seejuures esitas Euroopa Komisjon vastava dokumendi projekti liikmesriikidele 1. märtsil 2010 ning see jõustus 2010.a lõpus.

- Community Guidelines on State Aid for Environmental Protection sätestab biokütuste tootmise keskkonnasõbralikkuse tingimused, millele vastates kvalifitseeruvad riigiabile biokütuste tootjad.

Biokütuste direktiivis on öeldud "*soodustada biokütuste ... kasutamist iga liikmesriigi transpordis, aidates sel viisil kaas eesmärkide saavutamisele, nagu on kliimamuutustega seotud kohustuste täitmine, keskkonnasõbralik varustuskindlus ja taastuvate energiaallikate soodustamine*". Biokütuste direktiivis seatakse eesmärgid: saavutada transpordi tarbeks turul olevast diisli- ja bensiinikütustest bio- ja muude taastuvate kütuste indikatiivne osakaal 5,75 % aastaks 2010, arvutatuna kütuste energiasisalduse järgi.

Arvutused näitavad, et selleks tuleb toota 11 miljonit tonni etanooli (EL-25), mille tootmiseks tuleb kasvatada 32 miljonit tonni teravilja. Selleks on vaja kasutada 4 % ELi haritavast maast.

EL direktiivile 2003/30/EÜ tuginedes pidi Eestis aastal 2010 kasutatav biokütuste kogus olema 46 800 tonni toetudes Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi prognoosile kütuste tarbimise osas aastaks 2010.

Euroopa komisjon teeb ettepaneku soovitada saavutada kasutatavates mootorikütustes 2020-ndaks aastaks kohustuslik 10% miinimumosakaal. Direktiiv võimaldab kohaldada vähendatud aktsiisimäära biokütusele.

2. Bioetanooli nõudlust tekitavad Euroopa Liidu regulatsioonid ning dekarboniseerimise mehhanism (Eesti Bioetanooli Klaster. Strateegia. Bemixe OÜ / Eesti Energia / Innopolis Konsultatsioonid AS. Tallinn 2009).

Euroopa Liidu bioetanooliturgu hakkab oluliselt mõjutama alates 01.01.2011 jõustunud Mootorikütuste Kvaliteedi Standardite Direktiiv (FQD), mis toob kaasa kolm peamist uuendust:

1) fossiilkütuste dekarboniseerimise nõuded;
2) võimaluse müüa 10% bioetanooli sisaldusega mootorikütust;
3) regulatsioonid, mille tulemusena soodustatakse biokütuste kasutuselevõttu Põhja-Euroopas.

Eesti seisukohast on olulisimad esimesed kaks muudatust, mis loovad seadusandliku aluse bioetanooli kasutuselevõtuks kogu Euroopas praegusest oluliselt suuremas mahus. FQD-s on sätestatud ka nn dekarboniseerimise mehhanism, mis seab eesmärgiks kärpida aastaks 2020 kasvuhoonegaaside (KHG) heiteid transpordikütuste elutsüklis 10% võrreldes praegusega (FQD lisa 1). Seejuures on eesmärgiks võetud, et biokütuse tootmisel peab KHG heidete hulk, võrreldes fossiilkütuste kasutamisega, vähenema esialgu 35% ja alates 2017. aastast juba 50%. Kui nimetatud määral KHG heited ei vähene, ei arvestata ka kütuse dekarboniseerivat mõju, mistõttu puudub toodangul KHG heidete kärpest tulenev hinnaeelis (RES-D art. 15, § 2; art.17, § 4a). Fossiilkütuste korral on KHG kärbe võimalik saavutada dekarboniseerimise kaudu ehk kas a) alandades kütuse tootmisel tekkivaid KHG heiteid või b) lisades fossiilkütusesse bioloogilist päritolu kütust. Eestis on võimalik mõlemas etapis kärpeid saavutada.

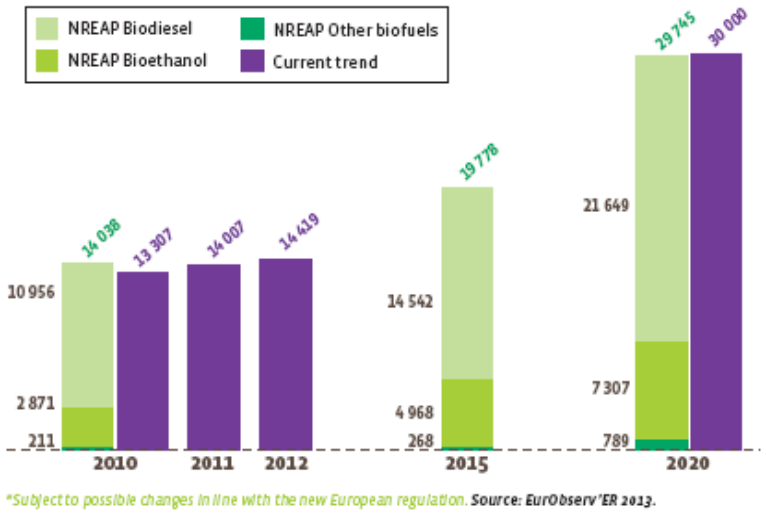
Dekarboniseerimist kütuste segamise teel soodustab vastav seadusandlus ja mootorite tehnoloogiline areng:

- FQD seadustab Põhja-Euroopas 85% etanooli-sisaldusega kütuse kasutuselevõtu.

- Brasiilias, USA-s ja Rootsis, kus bioetanool on ulatuslikumalt levinud, on arvestatav hulk autosid varustatud nn paindliku kütusekasutusega (*flexible fuel*) mootoritega. Need mootorid võimaldavad kasutada 85% etanoolisisaldusega (E-85) kütust, toetudes seega peamiselt kodumaisele kütusele. Eestis saab rakendada analoogset lähenemist, segades nt tulevikus ehitatava Narva bioetanooli- ja põlevkiviõli tehaste toodangut suhtega 85% ja 15%, mis muudab Eestis toodetud lõpp-produkti vastavaks FQD nn Euro 5 kütusestandarditele ehk koheselt kasutatavaks paindliku kütusekasutusega autodes. Sama toodet on lisaks kohalikule tarbimisele võimalik ka eksportida.

- Saksamaal arendab ettevõte Evolv-Ram GmbH koostöös veokitootjaga MAN välja „bioltec“ tehnoloogiat, mis võimaldab tavalistes diiselmootorites kasutada bioetanooli kuni 50% segus tavadiisliga. Selleks lisatakse diiselmootoriga sõiduvahendile eraldi etanoolipaak, mis võimaldab segada kütused mootorisse etteandmise hetkel, mitte paagis. Tehnoloogia on kasutatav nt suuremates ja väiksemates veokites ning põllumajandus- ja (teede-) ehitusmasinates.

Võrreldes hetkeolukorraga, kus Eesti masinates kasutatakse rapsist ehk põllumajanduslikult intensiivselt toodetud biodiislit, on võimalik bioetanooli kasutades neutraliseerida CO_2 heitmeid. Nimelt tekib biodiisli tootmisel 50% CO_2 heitmetest rapsi kasvatamiseks vajalike nitraatväetiste kasutamisel. Teravilja kasvatamisel seda antud mahus tegema ei pea ning kõrvalproduktist põhust on hoopis vajalik 20% väetamise eesmärgil maasse künda ehk teisisõnu saab kasutada loomulikku väetist.



Joonis 2. Biokütuste transpordis kasutamise jooksev trend võrreldes NREAPiga (riiklik taastuvenergia tegevuskava), ktoe.

Kokkuvõttes võib öelda, et EL regulatsioonid ja tehnoloogiline areng sisuliselt mitmekordistavad nõudlust praegusel Euroopa bioetanooli turul (joonis 2).

Bioetanool, toorme ressursid ja kasutamise tehnoloogiad

3. Vedelate biokütuste toore, liigid ja tootmise tehnoloogiad

Eristatakse kahte peamist bioetanooli tootmise allikat suhkruid ja tärklist sisaldavad taimed ja lignotselluloosed taimed. Vastavalt sellele, milliseid kasutatakse, nimetatakse saadavat bioetanooli kas esimese või teise põlvkonna bioetanooliks. Kolmanda põlvkonna bioetanooliks on hakatud nimetama seda toodet, mida valmistatakse geneetiliselt muundatud taimedest, milles sisalduvad valgud (ensüümid) on taimede hilisema töötlemise käigus võimelised tselluloosi ja hemitselluloosi lagundama suhkruteks.

Eestis võiksime bioetanooli tootmise lähtematerjalina (toormena) käsitleda – juurviljasid (kartul, suhkrupeet), teraviljasid (rukis, nisu, tritikale, oder), viljapõhku kui viljakasvatuse kõrvalprodukti (jäädet), looduslikel ja poollooduslikel rohumaadel kasvavat rohtu, puittaimi (peamiselt metsakasvatuse ja metsamajanduses tekkivaid jääke (metsakasvatuse jäägid, raiejäägid), puitpõhise biomassi töötlemise kõrvalsaadusi (saepuru ja kõik muud töötlemisjäägid)) ja biojäätmeid. Kui Eestis peaks mingil põhjusel lõpetatama tselluloosi ja paberi tootmine sobiks seal kasutatavat tooret töödelda 2 põlvkonna bioetanooliks (Rootsis on vastavaid näiteid). Tulevikus võiks etanooli tootmise lähtematerjalina proovida kasvatada ka (mikro-) vetikaid.

Kohaliku kartuli potentsiaal etanooli tootmisel on 5 050 l/ha ja energeetiline potentsiaal 107,6 GJ/ha. Kohaliku suhkrupeedi energeetiline potentsiaal etanooli tootmisel on keskmiselt 58 t/ha juurikaid, etanooli saagis 93 l/t ja saagikus 5 400 l/ha ning energeetiline potentsiaal 115,0 GJ/ha

Kõrgeimad etanooli saagid on Eestis saadud talitritikale (Lamberto) – 3 283-4 756 l/ha ja talinisu (Bjorke) – 3 059-4 143 l/ha sortidelt. Talirukki sortide etanoolisaagid jäid vahemikku 1 840-3 216 l/ha. Kõigi suviviljade etanoolisaagid olid peaaegu poole madalamad taliviljade etanoolisaagist, jäädes vahemikku 1 444-2 252 l/ha. Uutest analüüsitud sortidest olid kõrgeima etanoolisaagiga tritikaled Kansas – 4 462 l/ha, Fidelio – 4249 l/ha ja 9403-97 – 4 188 l/ha; talinisud Residence – 4 035 l/ha (Jõgeva Sordiaretuse Instituut).

Järgnevas tabelis (Tabel 1) esitatakse välismaiseid andmeid erinevate energiakultuuride bioetanooli saagise [kg/(ha aasta)] ja selle maksumuse kohta.

Tabel 1. Erinevatest energiakultuuridest valmistatud bioetanooli saagis ja maksumus.

Type	Yield (t/ha/year)	Conversion rate to sugar or starch (%)	Conversion rate to bioethanol (l/ton)	Bioethanol yield (kg/ha/year)	Cost[a] ($/m^3)
Sugar cane	70	12.5	70	4900	~160
Cassava	40	25	150	6000	700
Sweet sorghum	35	14	80	2800	200–300
Corn	5	69	410	2050	250–420
Wheat	4	66	390	1560	380–480

Märkus: sugar cane – suhkruroog, *cassava* – maniokk, sweet sorgum – magus sorgo, corn –mais, wheat – nisu.

Peale erinevate toormete kasutamise saab neist etanooli valmistada mitmete erinevate tehnoloogiate abil.

Nagu juba nimetatud võib biokütuseid jagada praegu toodetavateks esimese põlvkonna ja nn teise põlvkonna biokütusteks (Tabel 2), millede tootmistehnoloogia on üldjoones teada, kuid vajab veel sobiva lõpptoodangu hinna saavutamiseks täiustamist.

Tabel 2. Vedelate biokütuste liigitus

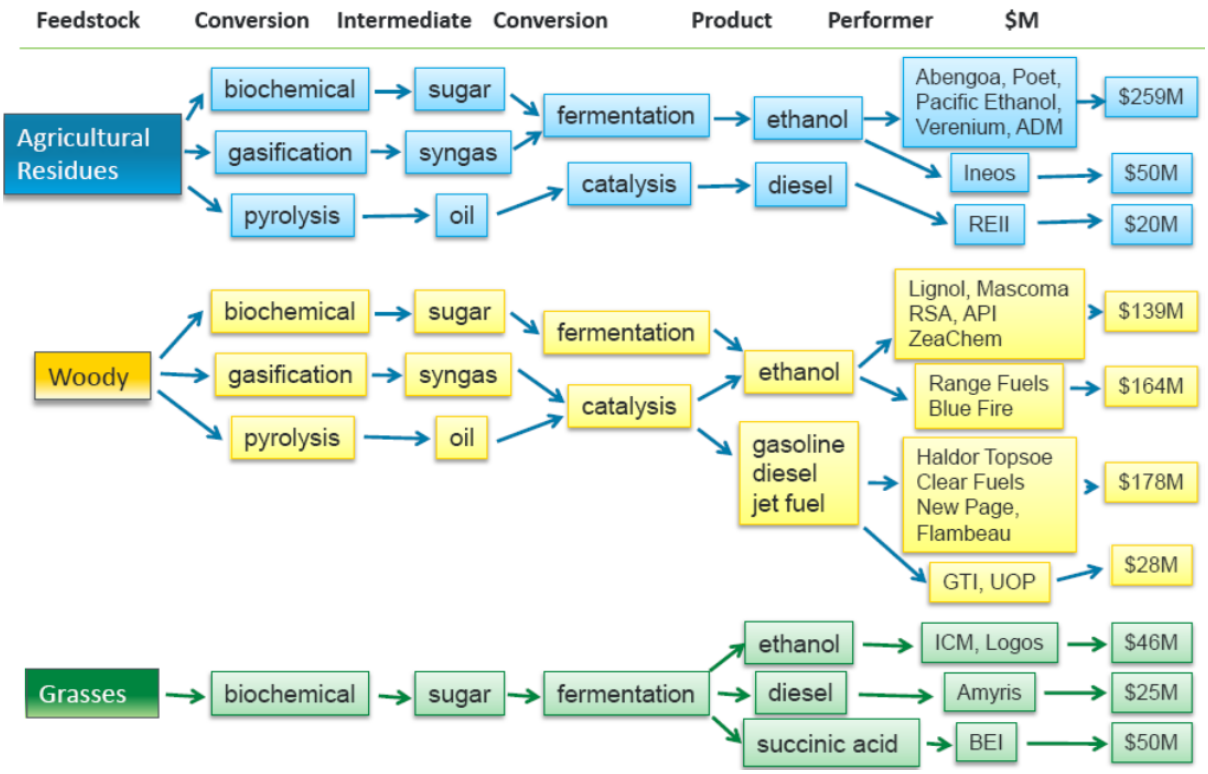
Esimese põlvkonna biokütused	**Teise põlvkonna biokütused**
Bioetanool suhkrust ja tärklisest. Tooraineks on suhkruroog, mais, nisu jt teraviljad, suhkrupeet, kartul	Bioetanool lignotselluloosist (õled, puit). Bioetanool ja biodiislikütus toodetud Fisher-Tropsch tehnoloogiaga. Bio-DME
Biodiislikütus rapsiõlist, sojaõlist	Biometanool. Biodiislikütus. Biodiislikütus, toodetud HTU (HydroThermal Upgrading) tehnoloogiaga

<u>Täiendavaid selgitusi tabeli 2 juurde:</u> biometanool on biomassist toodetav metanool. Mootorikütusena vähesoovitav, kuna on mürgine ja on etanoolist palju korrosiooniagressiivsem. Saab kasutada taimsetest õlidest biodiislikütuse tootmisel ja kütuseelementide kütusena.

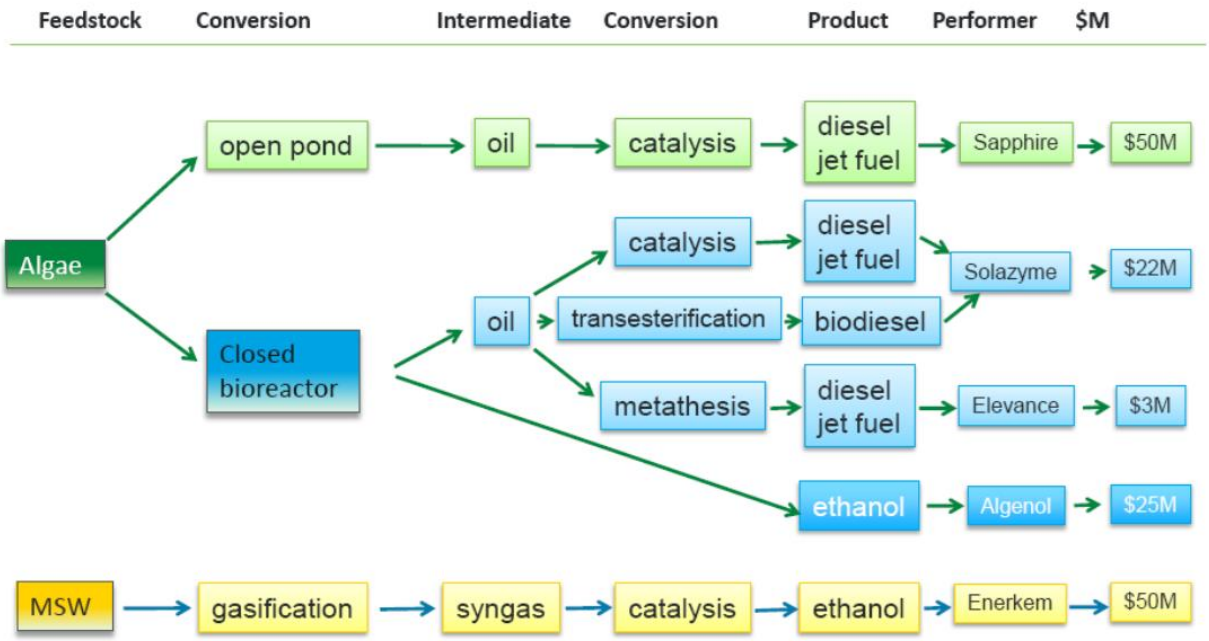
Fischer-Tropsch meetod avastati 1923. aastal sakslaste F. Fischeri ja H. Tropschi poolt hüdrokarbonaatide sünteesiks. Vesinik ja süsinik monooksiid (CO) reageerivad raud- ja koobaltkatalüsaatori juuresolekul. Menetlusega võib saada metaani, vahasid, sünteetilist bensiini ja diislikütust. Kõrvalsaadusteks on vesi ja süsihappegaas. Fischer-Tropsch meetodit on kasutatud ja kasutatakse ka vähesel määral praegu kivisöest vedelkütuse tootmisel. Biokütuse gaasistamine ja saadud gaasist kütuse tootmine on praegu üksikute katseseadmete staadiumis. Töötatakse välja baktereid, mis senisest efektiivsemalt aitavad vesinikust ja süsinikmonooksiidist toota etanooli.

HTU (Hydro Thermal Upgrading) - biomassi ja vee segu töötlemine kõrgel temperatuuril (300 – 350°C) ja rõhul (120 – 180 baari).

Erinevat liiki biomassi vedelateks biokütusteks muundamise tehnoloogiliste radade (ahelate) kirjeldus ja põhitootjad esitatakse joonistel 3a ja 3b.

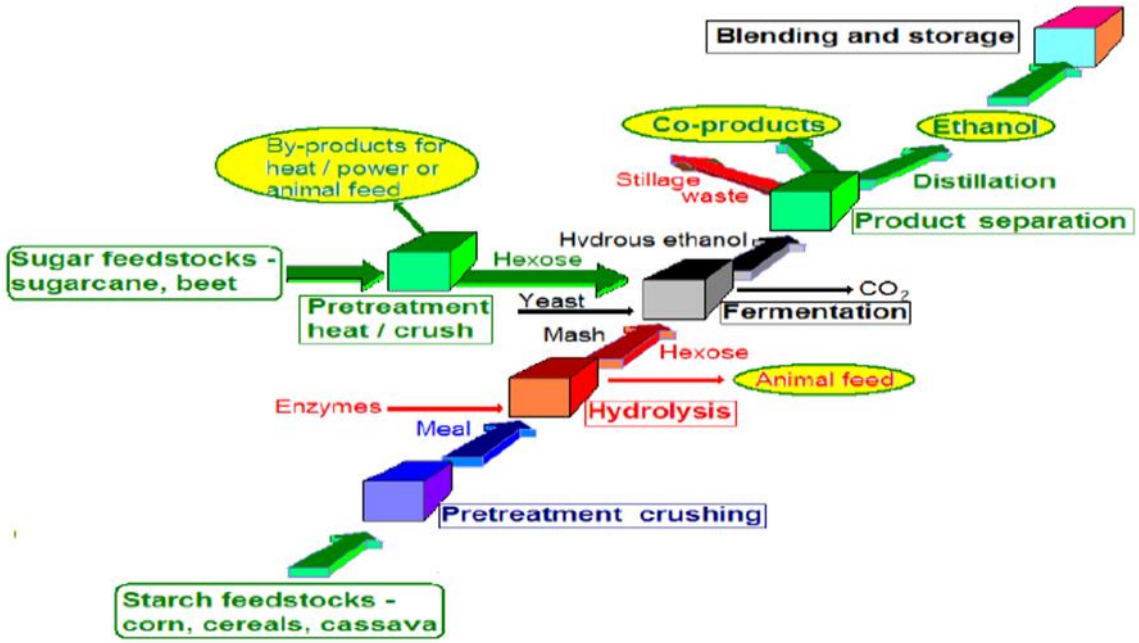


Joonis 3.a. Biomassi liikide vedelateks biokütusteks muundamise tehnoloogilised rajad I.

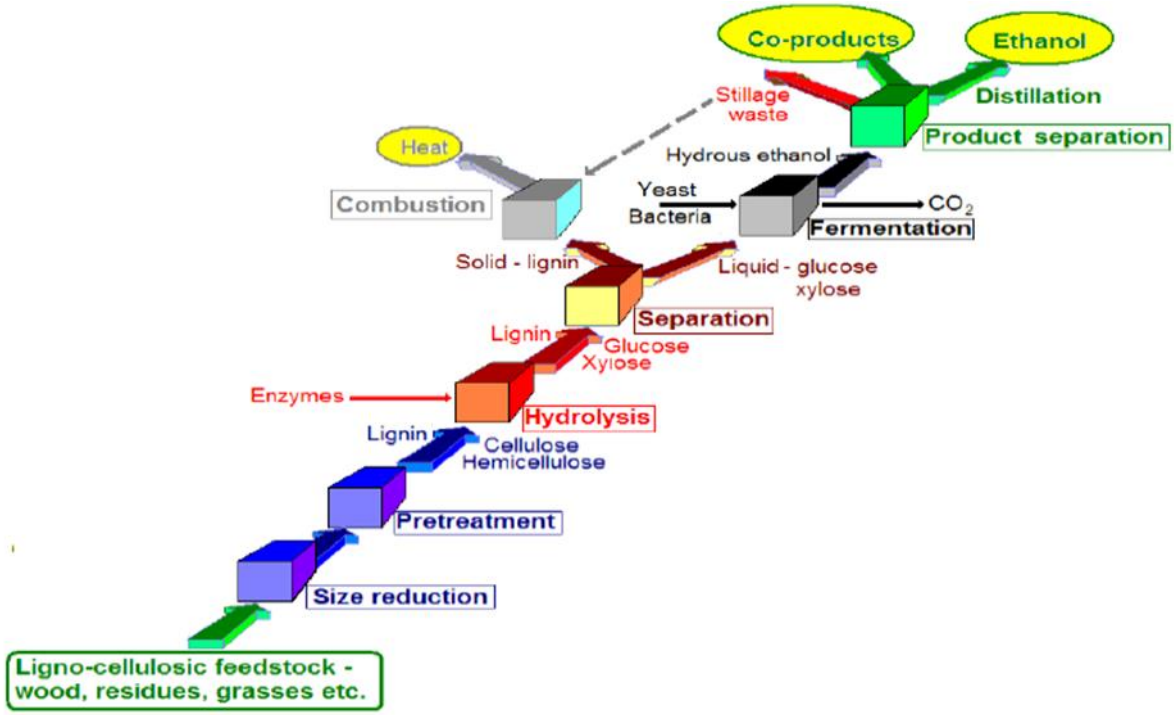


Joonis 3.b. Biomassi liikide vedelateks biokütusteks muundamise tehnoloogilised rajad II.

Järgnevatel joonistel 4a, 4b ja 4c tutvustatakse mõnedest lähtematerjalidest toodetava bioetanooli tootmisprotsessi lülisid ja tehnoloogilisi võimalusi üksikasjalikumalt.



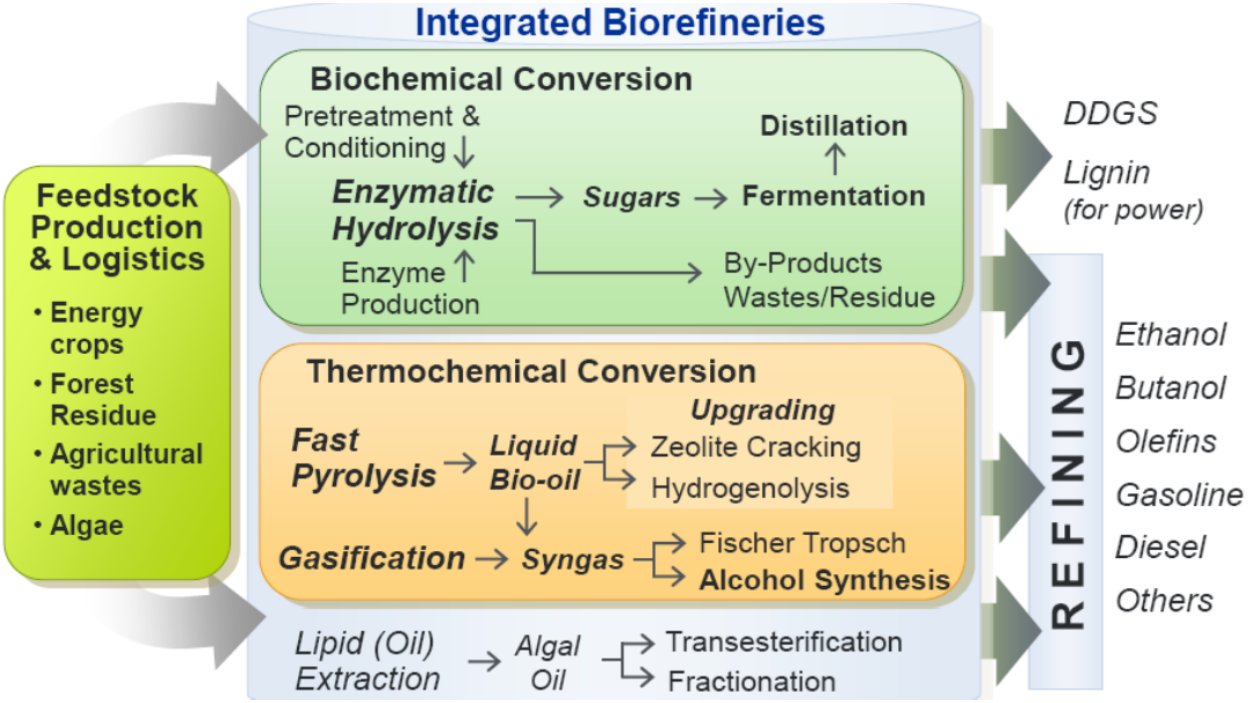
Joonis 4. Suhkruid ja täkilist sisaldava toorme muundamine etanooliks



Joonis 4b. Lignotselluloosse lähteaine bioetanooliks töötlemise etapid

Viimasel ajal on arendatud mitmesuguste *biorefiner*'ite (biokeemia kombinaatide) tootmisskeeme. Ühes sedalaadi ettevõttes saaks töödelda integreeritult erinevaid lähtematerjale eri sorti vedelateks biokütusteks, kusjuures mõned jäägid oleksid kasutatavad loomasöödaks (DDGS – *Dried Distillers Grains with Solubles*, kasutatav jõusöödana loomakasvatuses või edasiseks metaankääritamiseks ja soojuse elektri ning väetise saamiseks) või energia tootmiseks (ligniin). Protsessid oleksid ise ka energeetiliselt seotud ja seega töötaks kombinaat tõhusamalt kui erinevaid tooteid (kütuseid) eraldi valmistades.

Nt – Nisust bioetanooli valmistamisel saadakse ühest tonnist 372 l etanooli 457 kg WDG – *wet destillers grain* - (70% niiskus) või 295 kg of DDGS (10% niiskus).



Joonis 4c. Biomassi liikide kütusteks muundamise tehnoloogilised võimalused biokeemia kombinaadis

4. Bioetanooli tootmine ja kasutamine

Praeguse etanoolkütuste kasutamise algatas 40 aastat tagasi 70-date aastate naftakriisi ajal Brasiilia. Kasutatakse suhkruroogu, mille pressitud taimemassi ehk bagassi põletamisel destillatsiooniks ja keeduks vajaliku auru tootmisel saavutatakse RES-D säästlikkuse kriteeriumi nõuetele vastav sääst fossiilse bensiiniga võrreldes kuni 85%. Kui transportida see Euroopasse ja siin müüa, on sääst WTW arvestuses 65%. Kuna Brasiilia ise on ka antud kütuste üks suurimaid tarbijaid maailmas, pole teiste riikide ekspordiks tootmiseks vaba cerrado alasid võtta, sest konkureeritakse ka suhkrutootmise, kohvi ja sojaga. Vihmametsade arvel laiendamine on aga maakasutuse kaudsete muudatuste (ILUC) negatiivsete mõjude klassika. ”Sääst” võrreldes naftabensiiniga oleks - 351%. Euroopas siis olemasolevate tootmiste etanool kvalifitseeruks ja uute alade oma kindlalt mitte.

1970ndate naftakriisi tulemusena hakati USAs kasutama gasoholi, milles peale bensiini sisaldub 10 % etanooli. Tänapäeval moodustab gasohol USAs 10% kogu bensiinitarbimisest. 90% Brasiilias 1980ndate alguses turustatud autodest olid seadistatud etanooli kasutamisele. Maailma suurimad bioetanooli tootjad on Brasiilia (suhkruroost) ja ameerika Ühendriigid (maisist ja ka nisust). Umbes 13 % Ameerika maisitoodangust kasutatakse bioetanooli tootmiseks.

Käesoleva sajandi algul algatas USA oma väga efektiivse põllumajanduse ja põhiliselt maisikasvatuse arvel bioetanooli tootmise kuni 10% piires segamiseks bensiiniga. Etanooliks kääritada saab nii taimset suhkrut (Brasiilia) kui ka (maisi-) tärklist (USA), peale maisi kasutatakse vähemal määral tootmiseks nisu ja ka otra. Shell on arvestanud, et kogu USA söötis haritava maa reservi kasutuselevõtul ja maisi ekspordi lõpetamisel saavutaks USA oma massiivsel bensiiniturul etanooliga kuni 17% turuosa (Shell, WBM, Brüssel 2007). Tegelikult on kasutusel 6% ringis ja ka sellega on USA oma tootmismahtudelt möödunud Brasiiliast. USA põhiliselt gaasküttel energiasisendi säästlikkus WTW arvestuses on 20-30% võrreldes fossiilse bensiiniga ja EL kriteeriumide alla see ei kvalifitseeru. USA valitsus soovis 2008.a. piirata

etanoolitööstuse senist ekstensiivset arengut ja määras toormebaasi laiendamiseks ning keskkonnamõjude vähendamiseks tselluloosipõhise tootmise toetuseks liitri kohta 1,10 USD. Dotatsioon ületab omahinna vahe, mis tärklisest tootes on tasemel 0,5 EUR/l ja tselluloosist 0,95 EUR/l. Nii rajasid Euroopa kui USA suuremad tootjad esimesed täismõõdus teise põlvkonna (G2) tehased alates 2010 USA-sse. EL liitri baasil ei doteeri, kuid varem viidatud dekarboniseerimise mehhanismi rakendumisel saadav kõrgema säästlikkuse hinnalisa peaks vahe kompenseerima ning alates 2012 ehitatakse G2 tehaseid ka Euroopasse. Seni olid demonstratsioonseadmed, välja arvatud Dong Energy uus Kalundborgi tehas Taanis, mis toormena kasutab põhku.

Viimase viie aastaga on maailma suuruselt kolmandaks tootjaks ja tarbijaks tõusnud Hiina. Siiski pole seal arvestatavat haritava maa vaba ressurssi ega ka kasutamata loodusliku biomassi reserve.

Euroopa Liit panustas oma 2003. aasta direktiividest tulenevalt, oma diislikasutuse probleeme arvestades, biodiisli tootmisse ja on selles valdkonnas maailma suurim tootja. Intensiivselt on biodiislit arendanud Soome Neste, kes investeeris oma Porvoo biodiislitehasesse, Singapuri kui Taisse kus kasutab palmiõli ja mitmeid teisi toormeid. Suur osa rajatud tootmisvõimsustest siiski täna seisab (mitte küll soomlastel). Eriti rapsi ja teisi kohalikke õlikultuure toormena kasutavad tehased, sest 2008. aasta toiduainete hinnatõusus tõusid kõige rohkem toiduõlide hinnad. Õlikultuurid on aga põllumajanduskõlvikute mahust kuni 20%, seda suhet tõsta pole viljavahelduse nõudeid järgides võimalik ja enamuse õlikultuuride maast hõlmab soja, mida Euroopas kasvatatakse väga vähe. Teraviljahinnad langesid uuesti, kuid õlikultuurid jäidki kalliks, sest toiduõli tarbimine kasvab Aasias ja Aafrikas kiiremini kui taimevalgu tarbimine.

Etanoolitehaste arendamisel kanti „säästlikkuse kriteeriumi“ nõuete avaldamisel 2008-2009 eBio ja EIP hinnangutel 68 elujõulist projekti maha, sest 35% miinimumi tähendab sisuliselt, et vedelate biokütuste tootmiseks ei tohi energiasisendis põletada täiendavat kogust fossiilkütuseid. Peale 2009. aastat on juba rajatud mitmesuguste “advanced“ lahenditega taastuvenergial põhinevaid tootmisi nagu Ghent või BioWanzee Belgias, Verbio Rostockis või Rootsi Agroethanoli laiendus (tabel 3).

Balti mere idakalda riikides arvestatavaid bioetanooli tootjaid ei ole. On Leedu MV grupi ettevõttele Biofuture kuuluv Šilute tehas aastase tootmismahuga kuni 36 000 tonni. See on kokku pandud Leedu vanade toorpiirituse tehaste sisseseadest ja uuendatud automaatikast ning Jaapani päritolu molekulaarfiltritest. Kuna ta kasutab energeetilises sisendis hakkpuitu ja toormena kohalikku vilja, võib säästlikkuse kriteeriumi 35% nõudele isegi vastata, ehkki pole teadlikult taolise arvestusega rajatud. Teine, täismõõdus G1 tehas „Bioelan“ Telšiai juures, toormeks tritikale, on lõpuni ehitamata. Lätis on Baltikumi esimene tootja Jaunpagastsis asuv Jaunpagasts Plus. Tema tootmismaht on aga Rakvere toidupiirituse tehase võimsusest väiksem 2 500 tonni aastas.

Seoses RES-D ja FQD vastuvõtmisega peatati 2008 Šilute laiendus, Soome Koskenkorva tehase rajamine mahus 75 000 tonni aastas odra baasil ja lätlaste ning Saksa Verbio ühisprojekt Ventspilsi lähedal.

Eestis ehitas Kadarbiku talu omanik 2009 väikesemahulise bioetanooli tehase oma maadel kasvatatava suhkrupeedi mahtu arvestades, kuid ei suutnud sellele mootorikütuste aktsiisilao luba hankida ning käivitas tootmise meditsiinilise piirituse tootjana. MTA väljastas biokütuste käitlemiseks kuni 14 luba 2011. Aastal, kuid alaliselt tööle ei hakanud ükski rajatis, v.a Biodiesel Paldiski, mis läks aga pankrotti.

Tabel 3. Euroopa peamiste bioetanoolitehaste tootmisvõimsused aastal 2012* (mln liitrit)

Company	Country	Production sites	Number of plants in Europe	Production capacity in 2012 (millions of litres)	Raw materials
Abengoa Bioenergy	Spain	Spain (4), Netherlands (1), France (1)	6	1 281	Barley, wheat, cereals, raw alcohol, maize, maize lignocellulose
Tereos	France	France (6) Czech Rep. (2) Belgium (1)	6	883	Sugar juices, sugar beet, wheat
CropEnergies/ BioWanze (BE)	Germany	Germany (1), Belgium (1), France (1)	3	808	Sugar juices, sugar beet, cereals, wheat
Cristanol	France	France (4)	4	540	Sugar juices, sugar beet, wheat, glucose, raw alcohol
Ensus	United Kingdom	United Kingdom (1)	1	400	Wheat
Agrana	Austria	Austria (1), Hungary (1)	2	400	Wheat, maize
Verbio	Germany	Germany (2)	2	380	Sugar juices, cereals
Agroetanol	Sweden	Sweden (1), Czech Rep. (1)	2	210	Cereals

* Only European plants are included. Source: EurObserv'ER 2013.

Bioetanoolina kui mootorikütusena BTI CN kood 3824 90 98 99 mõttes tuleks EL tolliterritooriumil käsitleda ikkagi ainult WTW või WTT nõuetekohase tõendamismenetluse läbinud dehüdreeritud etanooli.

Dehüdreeritud etanool on suhkrust või tärklisest fermendiga kuni 6 mahuprotsendise alkoholisisalduseni (võib esineda fermendist tulenevalt kuni 21 mahuprotsenti) kääritatud virre, mis on seejärel destilleeritud ühekordselt enamasti 82 mahuprotsendini (toorpiiritus e raw spirits) ja seejärel molekulaarfiltritega veetustatud 99,6 mahuprotsendiline etanool, mis puhastamise järgselt on nn „surnud produkt" ja õhuniiskusega ei reageeri. Alkohoolsete jookide tootmiseks see korralikult puhastamata etanool maitseomaduste tõttu ei kõlba. Oleks ka ohtlik tervisele toidupiirituse normidest kõrgema metanooli ja estrite sisalduse tõttu. Puupiirituse ehk metanooliga võrreldavat mürgist mõju siiski pole.

Dehüdreerimata etanool võib olla omaette kaubakoodidega toorpiiritus või alkohoolse joogina defineeritav kaks kuni kolm korda erinevates destilleerimiskolonnides puhastatud etanool. Väljub destilleerimiselt 100 mahuprotsendilise etanoolina kuid reageerib" elusa produktina" nagu vein või õlu õhuniiskusega, stabiliseerudes 93-97 mahuprotsendi juures.

Denatureeritud etanool on seadusandluses ettenähtud lisaainete lisamisega joogikõlbmatuks muudetud dehüdreerimata etanool, mida kasutatakse tehnilisel otstarbel ja ei maksustata alkoholiaktsiisiga.

Dehüdreerimata etanooli käive rahvusvahelises kaubanduses jääb mahtudelt tänapäeval kütteetanoolile kordades alla, kuid selle väga olulised tootjad on SRÜ riigid, eriti Venemaa. Suure tarbimise tõttu alkohoolsete jookide valmistamiseks on piiritus seal riikliku jaotuskavaga müüdav suhteliselt defitsiitne toode ja seda eriti ei ekspordita. Küll on vanade seadmetega võimalik ekspordiks valmistada toorpiiritust edasiseks töötlemiseks, millele kohapeal eriti turgu pole.

Suured dehüdreerimata alkoholi tootjad on veel USA, Saksamaa ning Prantsusmaa. Kõik aga veavad sisse ka kolmandatest riikidest, peamiselt arengumaadest ja teadmata toormest valmistatud toorpiiritust. BTI kütuste koode sellel ei kasutata ,otse ta mootorisse ei sobi liiga kõrge veesisalduse tõttu.

Dehüdreerimine tekkiski mootorikütuste standarditest, mis üle 1% niiskust, näiteks veel Euro 4 keemilises koostises, ei lubanud. Praktiliste katsetega ilmnes hiljem, et 3-4% vett bensiinis mootorile halvasti ei mõju ja bloki sisemise jahutamisega võib isegi võimsust tõsta. Puhastatud dehüdreerimata etanool (anhydrous ethanol) vastab neile nõuetele. Ometi pole võimalik selle nõuetelevastavuse tõendamine WTW analüüsiga nagu REACH menetlus ette näeb ja rakendub REACH artikkel 5: "*No data, no market*". Siiski pole see sisseveo keeld, sest määratleb mittevastavuse kemikaalina, nagu kütus, kasutamiseks. Muul otstarbel võiks kasutada aga ilma biokütuste BTI CN koodita ringluses. Euroopa riikide bioetanooli toodangu kohta esitatakse andmed tabelis 4 ja kasutuse kohta transpordisektoris tabelis 5.

Tabel 4. Euroopa Liidu liikmesriikide bioetanooli toodang aastail 2011 ja 2012, mln liitrit.

Country	2011	2012*
France	1 007	1 200
Germany	770	773
Belgium	400	450
Netherlands	275	450
Spain	463	381
Sweden	200	230
Hungary	173	220
Austria	195	216
Poland	167	212
United Kingdom	320	167
Italy	60	150
Czech Republic	110	130
Slovakia	130	130
Bulgaria	10	40
Lithuania	18	27
Romania	65	20
Latvia	5	15
Finland	10	10
Ireland	10	10
Denmark	5	5
Cyprus	0	0
Estonia	0	0
Greece	0	0
Luxembourg	0	0
Malta	0	0
Slovenia	0	0
Portugal	0	0
TOTAL Biofuels EU 27	4 393	4 836

* Estimate. Source: ePURE 2013.

Tabel 5. Biokütuste kasutus Euroopa Liidu transpordisektoris aastal 2012*, (toe)

Country	Bioethanol	Biodiesel	Other biofuels**	Total consumption	% certified as sustainable
Germany	805 460	2 190 767	22 093	3 018 321	100%
France	417 600	2 299 800	0	2 717 400	100%
Spain	208 675	1 718 649	0	1 927 325	0%
Italy	98 667	1 263 734	0	1 362 401	n.a.
Poland	144 635	755 006	0	899 641	n.a.
United Kingdom	388 722	499 713	0	888 435	83%
Sweden	207 564	307 929	71 394	586 887	91%
Austria	57 124	449 024	13 141	519 289	83%
Belgium	48 366	281 026	0	329 393	n.a.
Netherlands	123 818	202 374	0	326 192	n.a.
Portugal	2 833	284 209	0	287 042	4%
Czech Republic	59 965	221 169	0	281 134	100%
Finland	85 268	169 461	0	254 729	n.a.
Denmark	70 528	159 006	0	229 534	100%
Romania***	47 721	138 746	9 721	196 188	n.a.
Greece	0	124 606	0	124 606	0%
Slovakia	23 789	76 566	502	100 856	94%
Ireland	28 710	54 665	62	83 436	n.a.
Hungary	27 236	30 835	23 429	81 500	n.a.
Lithuania	8 707	51 810	0	60 517	100%
Slovenia	5 290	46 337	0	51 627	100%
Luxembourg	1 286	45 582	119	46 987	100%
Latvia	6 703	12 514	0	19 217	0%
Cyprus	0	16 136	0	16 136	0%
Bulgarie	0	9 809	0	9 809	n.a.
Estonia	0	0	0	0	0%
Malta	0	0	0	0	0%
Total EU 27	**2 868 669**	**11 409 473**	**140 462**	**14 418 603**	**57%**
Croatia	905	31 458	0	32 363	100%

*Estimate. ** Vegetable oils used in the pure state for Germany, Austria, Ireland, Luxembourg, Romania; biogas fuel for Sweden.
*** As 2012 data for Romania was unavailable at the time of publication, 2011 data was used by default. **Source : EurObserv'ER 2013.**

2011. aastal olid suurimad bioetanooli tootjad maailmas (mln gallonit):

USA - 13 900,00*

Brasiilia - 5 573,24

EL - 1 199,31

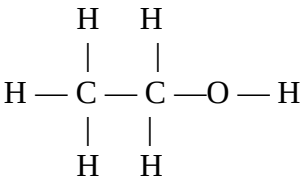
Hiina - 554,76

Kanada - 462,30

* hinnanguline

5. Etanool mootorikütusena

Etanool ehk etüülalkohol ehk viinapiiritus (ka piiritus) ehk metüülkarbinool (valemiga CH_3CH_2OH) on üks tuntumaid alkohole.



Etanool põleb, moodustades CO_2 ja vee: $CH_3CH_2OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$ on iseloomuliku lõhnaga kergesti lenduv tuleohtlik vedelik. Ta seguneb veega igas vahekorras. Etanooli on võimalik kasutada mootorikütusena nii puhtal kujul kui ka segus bensiiniga. Tänapäeval lisatakse etanooli bensiinile enamasti muude lisandite (plii, aromaatsed ühendid jt) asemel. Etanooli oktaanarv on väga kõrge, seetõttu suurendatakse sellega bensiini oktaanarvu. Kuni 10% etanooli sisaldav bensiin sobib tavalistele bensiinimootoritele, suurema etanoolisisaldusega bensiini korral on tarvis mootoreid ümber seadistada. Euroopas muundatakse etanool enne bensiiniga segamist ETBE-ks (etüül-tert-butüüleeter), mille oktaanarv on kõrge ning mis on vähem lenduv kui etanool. Teatud määral kasutatakse seda ka lahustina.

Etanooli kasutamise idee sisepõlemismootori kütusena on kaunis vana idee. Henry Fordi auto Mudel T oli disainitud etanooli kasutamiseks. Ta valis "ajutise odava lahendina" naftabensiini ja nii algas ka naftaajastu. 1921. aastal tutvustas Thomas Midgley Autoinseneride Ühingus oma ideed etanooli ja bensiinisegu kasutamiseks kõrge oktaanarvuga mootorikütusena. Nende varasemate ideede reaalseks kasutuseks andis tõuke 1970. aastate energiakriis, mille Araabiamaad põhjustasid poliitilistel motiividel. Eriti valusalt puudutas see kriis Brasiiliat, kus puuduvad oma naftamaardlad, mis ajendas bensiini asendama suhkruroo baasil toodetava etanooliga. Etanooli tootmine suhkruroost osutus Brasiilias sedavõrd edukaks, et 2006. aastal võidi deklareerida riigi majanduse sõltumatust bensiini tarnest.

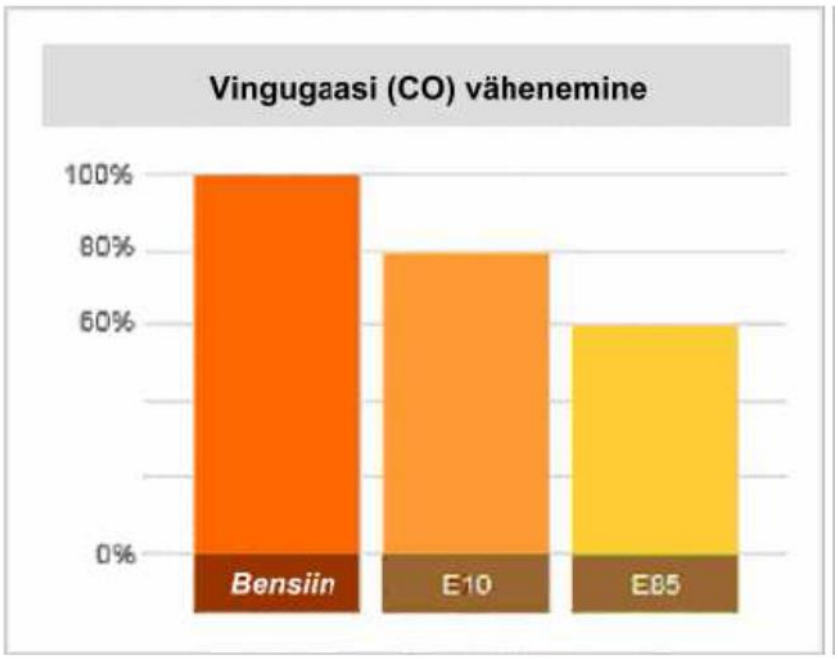
Mootorikütuseks sobivas etanoolis peab selle veesisaldust täiendavalt alandama. Tavalise destillatsiooni käigus saadakse 96 %-line etanool, milles on 4 % vett. Mootorikütusena kasutamisel tohib etanool sisaldada maksimaalselt 0,5 % vett. Veesisalduse täiendav alandamine saavutatakse vettsiduvate mineraalsoolade abil, mis on korduvkasutuses peale kristallvee eraldamist kuumutamise teel.

Etanooli kütteväärtus (energeetiline väärtus) on bensiini omast 33 % madalam, vastavalt 23 321,79 kJ/l (kilodžauli) ja 34 783,80 kJ/l (liitri) kohta. Seetõttu väidetakse, et paagitäie bensiiniga saab enam kilomeetreid läbida võrreldes etanooliga. Tänu etanooli kõrgemale oktaanarvule aga suureneb mootori võimsus, võrreldes bensiini kasutamisega.

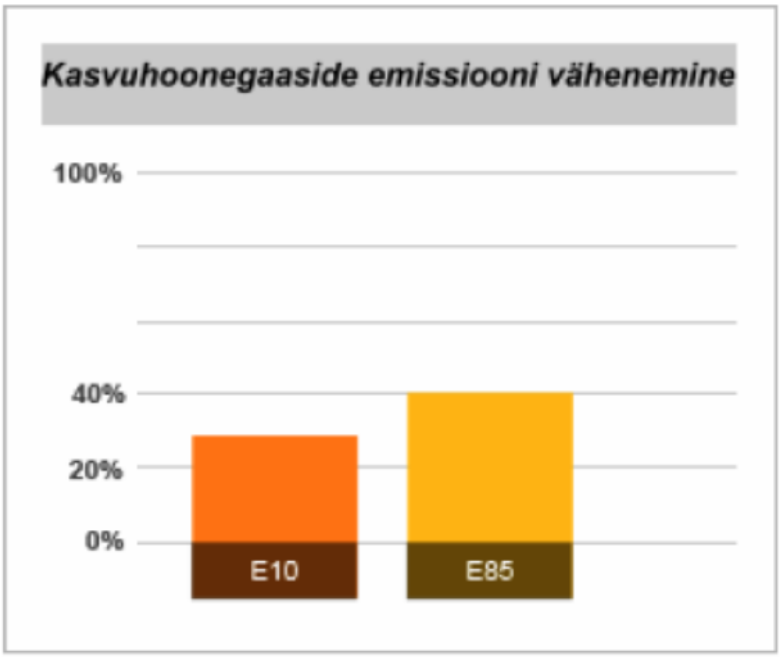
Puhast etanooli mootorikütusena ei saa inimlikel ja majanduslikel põhjustel kasutada. Ameerikas, näiteks, on kasutusel "E10" ja "E85" mootorikütused, mis sisaldavad vastavalt 10% ja 85% etanooli (99,5 %-list) ja pliivaba bensiini 90% või 15%. Mõõtmistulemused on näidanud, et näiteks turbomootoriga Rootsi automudelil Saab 9-5 BioPower suureneb E85 kasutamisel mootori võimsus 160 kilovatini, võrreldes puhta bensiini kasutamisel saavutatud 130 kilovatiga. Hoolimata E85 bensiini 28% võrra madalamast energiasisaldusest vähenes Saab 9-5 paagitäie E85 kütuse kasutamisel suurenenud mootorivõimsuse arvel läbitud kilometraaž vaid 18% võrra.

Kui turbolaadimisega Saab 9-5 BioPower mootor oleks olnud optimeeritud E85 kasutamisel 130 kW peale, võinuks läbitud kilometraaž olla teoreetiliselt 30% parem – vaid 5 % väikesem, võrreldes puhta bensiini kasutamisega. E85 bensiin talub kompressiooniastet 15 või enamgi, kuid bensiini kompressiooniaste jääb alla 10.

Võrdluseks olgu toodud, et diiselmootorite kompressiooniaste on 13 piires ning see on üheks teguriks, miks diiselmootoritega autodel on kütusekulu väiksem, võrreldes bensiinil töötavate autodega. E85 bensiini kasutamise oluliste eeliste hulka tuleb arvestada ka vingugaasi CO ja kasvuhoone efekti põhjustavate gaaside väiksemat emissiooni (joonis 5 ja 6).



Joonis 5. Vingugaasi vähenemine heitgaasides etanooli kasutamisel



Joonis 6. Kasvuhoonegaaside vähenemine heitgaasides etanooli kasutamisel

Mootorikütuse E10 kasutamisel väheneb heitgaasides vingugaasi sisaldus, võrreldes puhta bensiiniga 20% ja E85 kasutamisel 40% võrra. Kasvuhoone efekti põhjustavate gaaside sisaldus langeb E10 kasutamise l ligi 30%, ning E85 puhul 40%. Veel on leitud, et E85 alandab heitgaaside NOx sisaldust 10% ja sulfaatide emissiooni 80%. Etanooli lisamine bensiinile vähendab ka tahmaosakeste arvu heitgaasides. E10 puhul väheneb uutes autodes tahma osakeste emissioon 36 % võrra ja vanematel autodel kuni 22 %.

Etanooli kõrval peetakse ökoloogiliselt ohutuks tulevikukütuseks ka gaasilist vesinikku. Võrreldes naftasaaduste või etanooliga on vesiniku kasutusel enam riskitegureid. Tabelis 6 on toodud riskifaktorid naftasaaduste, vesiniku ja etanooli kohta.

Tabel 6. Naftasaaduste, vesiniku ja etanooli riskivõrdlus mootorikütusena

	Nafta	Vesinik	Etanool
Energiavarustuse risk	Kõrge	Madal	Madal
Hind kilomeetri kohta	Ajas tõusev	Kõrge?	Madal
Infrastruktuuri maksumus	Madal	Väga kõrge	Madal
Tehnoloogiline risk	Väga madal	Väga kõrge	Madal
Risk keskkonnale	Väga kõrge	Madal-kõrge?	Madal
Teostuse risk	Väga madal	Väga kõrge	Madal
Huvigruppide vastuseis	Väga kõrge	Kõrge	Madal
Poliitilised raskused	?	Kõrge	Madal
Rõhu all hoidmise vajadus	Määratlemata	Väga kõrge	Madal

Tabelist 6 järeldub, et etanooli kasutamisel mootorikütusena on riskifaktorid (energiavarustuse risk, hind kilomeetri kohta, infrastruktuuri maksumus, tehnoloogiline risk, keskkonna riskid, teostuse risk, huvigruppide vastuseis, poliitilised raskused ja rõhu all hoidmise vajadus), võrreldes naftaproduktide ja vesinikuga, tervikuna kõige madalamal tasemel. Tehnoloogiline ja teostuslik risk on naftasaaduste puhul madalamad kui etanooli puhul, mis on mõistetav selle produkti kasutuse sajandipikkuse kogemuse tulemusena. Vesinikkütuse puudused seostuvad eelkõige selle hoidmises kõrge surve all, spetsiaalsete tankimisjaamade rajamise ning tootmise kõrge energeetilise kuluga. Vesiniku tootmiseks kasutatavast elektrienergiast kulub vaid 30 vesiniku saamiseks.

Järgnevalt on näidatud etanooli omadused, mis on olulised kui seda kasutada kütusena:

• Etanool on hügroskoopne (ümbritsevast õhukeskkonnast vee sidumisvõime) ja täielikult vees lahustuv;
• Etanooli on võimalik kasutada ka bensiini oktaanarvu tõstmiseks;
• Etanool reageerib mitmete elastomeeride ja terasega, seetõttu tuleb materjalide ühilduvusele tähelepanu pöörata;
• Etanool on biolagunev;
• Etanooli küttevääртus on ruumalapõhiselt 68% ja massipõhiselt 63% bensiini küttevääртusest (kui bensiinis sisaldub vähe etanooli, siis on täheldatud, et sõidukite kütusetarbimine ei kasva). Etanooli küttevääртus on 7,5 MWh/t (6,0 MWh/m^3), ETBE küttevääртus on 10,0 MWh/t (7,5 MWh/m^3). Bensiini küttevääртus on 12 MWh/t.
• Alkoholide head lahustuvust kasutatakse tihti puhastamisel. Etanool lahustab sadestised kütusemahutites ja torudes, mille tõttu tuleb filtreid vahetada tihedasti;
• Alkoholidel on halvad määrdeomadused. Koos alkoholi puhastusomadustega võib see suurendada kütusesüsteemi osade (nt pumpade) kiiremat kulumist;
• Alkoholid juhivad paremini elektrit kui bensiin ja diislikütus, mis tõstab galvaanilise korrosiooni tekke riski;
• Alkoholi aurustamine vajab ligikaudu kolm korda rohkem energiat kui bensiini aurustamine, seega on lenduvusemissioon madalam, ka bensiini ja alkoholide segudel;

• Oksüdeerumise stabiilsus sõltub säilitustingimustest nt temperatuurist. Oksüdeerumine võib viia vaigu tekkele bensiini ja etanooli segu säilitusmahutites;
• Vesi etanooli ja bensiini segudes võib tekitada kihistumist.
• Etanool ei ole mürgine (denatureerimata kujul) ega reosta loodust ka pinnasesse sattudes.

Kuigi etanooli eelpoolnimetatud omadused võivad tekitada kahtlusi etanooli sobivuses kasutamisel kütusena, on siiski tõestatud, et etanool ja etanooli ja bensiini segu on sobivad mootorikütuseks. Kasutamine ei ole problemaatiline kui materjalide ühilduvust võetakse arvesse, ning kui välditakse setete teket mahutites ning kütuse etteandesüsteemis. Kui etanooli kasutatakse segus bensiiniga tuleb vee sisaldus hoida võimalikult madalal, et vähendada kütuse korrosiivset toimet.

6. Kütusesegude kasutamine

Kõrged segud

Kõrged segud, kui 10 mahuprotsenti ja enam bioetanooli segus bensiin + bioetanool, nõuavad kasutamiseks kohaldatud sõidukeid, seevastu aga madalad segud ei nõua. Kõrged segud oma suure bioetanooli sisaldusega asendavad jällegi efektiivsemalt fossiilkütuseid ja vähendavad oluliselt nende heitmeid, sõltuvalt asjaolust, kuidas on nad valmistatud. Tulenevalt mõningate fossiilkütuste ja bioetanooli omaduste erinevusest on kõrgemate segude kasutamiseks vajalikud modifitseeritud mootori ja kütusesüsteemiga sõidukid. Samuti tuleb kohaldada tankimiseks vajalikke kütusepumpasid ning-mahuteid.

BEST testis järgmisi kõrgeid küttesegusid:

- E 85-85% dehüdreeritud bioetanooli ja 15% fossiilbensiini segus. Kasutatav FFV sõidukitena tuntud autodes, mis on uuena sellisteks ehitatud või bensiinisõidukitest ümber ehitatud. Nõuab erimärgistust ja omaette pumpa tanklas müügil. Kõige otstarbekam on tanklas omada ka omaette mahutit bioetanooliga, millest tankimisautomaat segab bensiinina kokku kas E-88,45 või 25 segu vastavalt ostja soovib.
- E 100-100% dehüdreerimata etanool (alkoholi mahuprotsent 93-96). Kasutatav väljaspool ELi BEST projekti raames Hiinas Nanyangi bussidel ja Sao-Paolos.
- ED 95-95,5% bioetanooli ja 3,5% keemilisi lisandeid survest süttimise kindlustamiseks. Kasutati ümberehitatud diiselmootoriga bussides (peamiselt Scania) ja ümberkohaldatud rasketes diiselveokites, peamiselt Rootsi prügiautod ja puksiirid.

Madalad segud

Madalad segud kätkevad endas võimalusi asendada suurel hulgal tarbitavaid fossiilkütuseid ilma mingite ümberehitusteta sõidukites või neid teenindavas taristus. Täna üleeuroopaline standardkütus (mitte Eestis). Üks vähemkulukamaid võimalusi fossiilkütuste asendamisel.

Madalaid etanooli segusid bensiinis ja diislis on eriti ETBE liinis Euroopas kasutatud alates 1900 aastate algusest.2009.a. kehtestati FQD nõuetega, et kuni 10% bioetanooli sisaldust on bensiinis standardne koosseis ja seetõttu on BEST testitud E5 ja E10 bensiinina müüdavad üle Euroopa. Lisaks E10 bensiinile testis BEST Järgmisi variante:

- HE-15-katsetati Rotterdamis, sisaldab 15% dehüdreerimata etanooli ja 85% fossiilbensiini. Kasutati ümberehitamata bensiiniautodes, põhiliselt kontrollimaks Brasiilia standardit kus 25% on bensiinis minimaalne etanoolisegu. FQD ei tunnista Euroopas HE-15 bensiinina, kuid eraldi tähistades saab seda müüa. Saab sõita, kuid tema pikemaajalisem mõju küttesüsteemi seisukorrale vajaks täiendavat uurimist.

- E Diisel 7,7% dehüdreerimata etanooli 0,62% nitrolisandeid ja diislikütus. Testiti võrdlussõidukis. Töötab diislikütusena kuid on diislist tuleohtlikum ja käidelda tuleb bensiini normide kohaselt.
- ED Diisel 10% bioetanooli derivaati (mitte puhas bioetanool) segatuna diislikütusega. Katsetatud kahes võrdlusbussis tavalise diiselmootoriga. Käideldi diislina.

Eesti kogemus: 1990-1991.a. bensiinipuuduse ajal ehitas TERMAK (Tervishoiuministeeriumi autopark) 16 vene päritolu teenindavat autot ümber, muutes etteandel mehhaaniliselt süütenurka. Kütusena kasutati piiritusetootmise tootmisjääki EAF (esteraldehüüdfraktsioon). See on 75% ulatuses piiritus kuid metanooli, puskariõlide ja eetrite olulise lisaga. Sõidukid töötasid edukalt 2 aastat, ainult kütusetorustik kippus kohati tilkuma.

7. Etanooli tootmise lähteained (Rein Reiska. Bioetanool puidust. Õppeaine: KMM0210 « Puiduteadus ». TTÜ. 2010)

Suhkrut ja tärklist sisaldav tooraine

Etanooli tootmise maksumus USA-s traditsiooniliselt kasutatavast maisist on ligikaudu võrdne bensiini tootmise maksumusega. Brasiilias on suhkruroost toodetava etanooli maksumus ligikaudu poole väiksem.

Tabelis 7 toodud etanooli saagised tooraine tonni kohta ei väljenda siiski ühe või teise tooraine kasutamise otstarbekust. Olulisteks teguriteks on ka hektarisaagis, toorme kuivainesisaldus, transpordikulu ja säilituskaod aastaringseks tootmiseks.

Tabel 7. Alkoholi (99,5 %-line) saagis tonni tooraine kohta

Tooraine	Saagis liitrites	Tooraine	Saagis liitrites
Nisu	321,8	Kartul	86,7
Mais	318,0	Suhkrupeet	83,6
Riis (töötlemata)	300,9	Suhkruroog	57,5
Oder	299,8	Õunad	54,5
Rukis	298,3	Ploomid	41,3
Kaer	240,8	Pirnid	43,5

Suhkrupeedist ja kartulist oleks võimalik hektari põllumaa kohta toota enam piiritust kui maisist ja teistest teraviljadest. Siinjuures tuleb aga ka arvestada kartuli ja suhkrupeedi suure veesisaldusega, mis suurendavad nende transpordikulu ning ümbertöötlemisel tekkiva reovee kogust. Samuti peab arvestama, et kõik põllukultuurid ei sobi parasvöötme kliimas aastaringse tootmise korraldamiseks.

USA-s toodetava E85 mootorikütus maksumus on oluliselt odavam, kui puhtal bensiinil. Paraku on seal registreeritud 240 miljonist autost võimelised sellist bensiini kasutama vaid 5 miljonit autot.

Etanooli tootmisel tärklist ja suhkrut sisaldavatest põllukultuuridest on kaks olulist puudust. Esiteks on enamik põllukultuure tähtsad toiduainena. Teiseks põllukultuuride puuduseks on see, et neis sisalduvad kiudained tselluloos, hemitselluloos ja pektiin ei ole traditsiooniliste biotehnoloogiliste kääritamismeetoditega etanooliks konverteeritavad. Etanooli tootmiseks kasutatava teravilja puhul on põldudelt koristatud terade saagis tonnides (või tsentrites) sama suur või isegi väiksem, kui põhu ja aganate mass.

Lignotselluloosne tooraine

Mets moodustab 80% maailma biomassist. Seetõttu moodustab ta küllaldaselt saadava, inimtoiduga mitte konkureeriva suhteliselt odava tooraine bioetanooli tootmiseks. Puit ja ka õled

koosnevad ligniinist, tselluloosist ja hemitselluloosist (Tabel 8). Seetõttu nimetatakse teda ka lignotselluloosi biomassiks.

Tabel 8. Lignotselluloosse biomassi koostis

Biomassi liik	Tselluloos	Hemitselluloos	Ligniin	Tuhk
Lehtpuu	45±2	30±5	20±4	0.6±0,2
Lehtpuu koor	22 – 40	20 – 38	30 – 55	0.8±0,2
Okaspuu	42±2	27±2	28±3	0.5±0,1
Okaspuu koor	18 – 38	15 – 33	30 – 60	0.8±0,2
Nisu õled	37 – 41	27 – 32	13 – 15	11 – 14
Ajalehepaber	40 – 55	25 – 40	18 – 30	

Tselluloosi molekulid koosnevad pika ahelaga glükoosi molekulidest (6-süsinikuga suhkur), mis omavad tärklise molekulidest teistsugust struktuurset ehitust. Need struktuursed erinevused ja see, et tselluloos on ümbritsetud ligniinist kestaga teeb tema hüdrolüüsi raskemaks kui tärklist sisaldava materjali. Hemitselluloos koosneb paljudest monosuhkrutest ja on lagundamisele palju vastupidavam kui tselluloos.

Sisaldades keskmiselt 42% tselluloosi ja 21% hemitselluloosi on ühest grammist puidust teoreetiliselt võimalik saada 0,32 grammi etanooli.

2004. aastal hakkas Kanada valitsuse toel tselluloosist etanooli tootma Iogen Corporation. Teine ettevõte, kes on teinud suuri edusamme tselluloosist etanooli tootmisel on Hispaania kompanii Abengo Bioenergy. Ta kasutab Kanada teise suure etanooli tootja Sun Opta Inc. tehnoloogiat. Lignotselluloosist bioetanooli tootmise tehased on Hiinas, Rootsis, Saksamaal. Kõik need on väikese võimsusega nn “piloot” tehased ja on rajatud tootmisprotsessi omandamiseks.

Lignotselluloosist bioetanooli tootmise optimaalse tehnoloogia väljatöötamiseks on erinevate maade valitsused grantide ja subsiidiumide näol eraldanud palju raha. Suurim panus on siin Ameerika Ühendriikidel. 28.02.2007. eraldas USA Energeetikaministeerium 385 miljonit dollarit 6 tehase rajamiseks. See katab 40% nende maksumusest. Praegu ületab tselluloosist etanooli tootmise tehase maksumus 2,5 – 4 korda investeeringud tehasesse, mille tooraineks on teravili.

2006. aasta juunis oli lignotselluloosist toodetud bioetanooli hind Ameerika Ühendriikides 0,59 dollarit liiter. Võrdluseks: see oleks bensiini hind, mida toodetakse naftast hinnaga 120 dollarit barrel (siin on arvesse võetud bioetanooli bensiinist madalam kütteväärtus). Ameerikas oli püstitatud eesmärk toota 2012. aastal lignotselluloosist bioetanooli hinnaga 0,28 dollarit liiter.

Viimasel ajal pööratud suurt tähelepanu tselluloosi sisaldava toorme töötlemise tehnoloogiatele, mis võimaldaks asendada fossiilset vedelkütust naftat ja naftasaadusi etanooli või teiste vedelkütustega. Tselluloossest toorainest etanooli tootmiseks on järgmised tehnoloogiad:

• Hüdrolüüsil põhinev tehnoloogia
- hüdrolüüs lahja väävelhappega
- hüdrolüüs kontsentreeritud väävelhappega
- ensümaatiline hüdrolüüs
• Gaasistamisel põhinev tehnoloogia

Hüdrolüüspiiritus

Tooraine

Tooraineks võivad olla erinevad puidujäätmed. Metsatööl moodustub jäätmeid 15-25% (oksad, kännud, ladvad, koor jm). Lisaks tekib ca 10-12% pehmeid jäätmeid (saepuru) ja 20% kõvu jäätmeid (tükkjäätmed) saetööstuses. Potentsiaalne tooraine on õled. Hüdrolüüsiks sobib: laast pikkusega 5-35 mm, koore sisaldus kuni 12%, mädanikku mitte üle 6%, mineraalseid lisandeid mitte üle 1%. Saepuru, höövlilaast ja ekstraktsioonilaast sobivad ilma igasuguse lisatöötluseta. Puidu ja üheaastaste taimede keemiline koostis on esitatud tabelites 9 ja 10.

Tabel 9. Puittooraine keemiline koostis, %

Komponendid	Puiduliigid		Üheaastased taimed
	Okaspuit	Lehtpuit	
Tselluloos	40 - 50	35 - 45	40 - 44
Ligniin	28 - 30	18 - 25	15 - 20
Pentosaanid	7 - 11	20 -30	20 - 30
Heksosaanid	5 - 15	5 - 10	5 - 10
Ekstraktiivained	2,5 – 6,5	1,5 - 3,0	1,5 – 3,0

Tabel 10. Puittooraine keemiline koostis, %.

Keemilised komponendid	Kuusk	Haab
Polüsahhariidid	65,3	64,3
- kergelthüdrolüüsuvad	17,3	20,3
- raskelthüdrolüüsuvad	48,0	44,0
Pentosaanid+uroonhapped	9,2	24,3
Heksosaanid	58,7	45,4
Tselluloos	46,1	41,8
Ligniin	28,1	21,8
Vaik (eetriekstrakt)	0,9	2,8
Tuhk	0,3	0,3

Perspektiivseks toormeks bioetanooli tootmisel võib olla energiavõsa. Energiavõsa on lühikese raieringiga (3 – 7 aastat) kütuste tootmiseks rajatud kiiresti kasvavate puuliikide (paju, hall lepp, pappel) istandused. Energiavõsa kasvatamine on ka üheks põllumajanduse alternatiivseks vormiks. Energiavõsa kasvatamisega seonduvalt on tehtud uurimistöid mitmes Euroopa riigis. Populaarseks on energiavõsa kasvatamine (peamiselt paju) saanud Rootsis. Kasvandusi on rajatud ka Ameerika Ühendriikides, Hollandis, Suurbritannias, Saksamaal jm. Eestis alustati koos Rootsi Põllumajandusülikooli teadlastega teadusliku uurimisprojektiga 1993.aastal. Programmi raames rajati kokku seitse pajuvõsa istandust, kogupindalaga 2 hektarit.

Järgnevas tabelis (Tabel 11) on toodud arvutus energiavõsa orienteeruvast vajadusest Eestis üleminekul biokütuse kasutamisele transpordis, lähtudes kütuse ja energiamajanduse riiklikust arengukavast aastani 2015 ja biokütuse tootmisest puidu gaasistamise meetodiga.

Tabel 11. Energiavõsa vajadus biokütuste tootmiseks

Vedelkütuse vajadus 2010, tonni	Lisatav biokütuse kogus, tonni	Biokütuse saagis tonnist puidust, liitrit	Vajalik kuiva energiavõsa, tonni	Vajalik pindala võsa kasvatamiseks, hektarit
Bensiin 328000	278800	258	1 080 620	90050 – paju või 168850 - leppa
Diiselkütus 208000	208000	258	806 200	67200 – paju või 126000 - leppa
Kokku				157250 – paju või 294850 - leppa

Bensiini asendamiseks on arvutus tehtud mootorikütusele E85, etanooli sisaldusega 85%. Energiavõsa saagiseks hektarilt on võetud aastas 12 tonni paju ja 6,4 tonni leppa. Lisaks saadavale vedelkütusele vabaneb tootmisprotsessis hulgaliselt soojust, mis on kasutatav elektrienergia tootmiseks või linnade soojusmajanduses.

Saagised

Okaspuude puidust võib happelise hüdrolüüsi meetodiga saada 150 – 180 kg 100%-list etüülpiiritust 1 tonni absoluutselt kuiva puidu kohta. Allpool on orienteeruvad saagised 1 tonni absoluutselt kuiva puidu kohta piiritusepärmi segatootmise puhul, kg:

Etüülpiiritus (absoluutalkohol) 175
Metüülpiiritus 2,0
Pärm (abs. kuiv) 29
Furfurool (94%) 5,6
Vedel süsihappegaas 70
Puskariõli 0,3
Ligniin (abs. kuiv) 380
Sade (abs. kuiv) 225
Invertori jääk 40

Piirituse saagis 100 kg heksoosidest on tavaliselt 55 - 62 l.

Etüülpiirituse tootmine

Etüülpiiritust saadakse hüdrolüsaadist, mis sisaldab heksoose. Suhkrute kääritamine piirituseks toimub pärmseente abil 6-aatomiliste suhkrute lagundamisega piirituseks ja süsihappegaasiks. Teoreetiliselt võiks saada 110 kilogrammist heksoosidest 51,14 kg etüülpiiritust ehk 69,34 liitrit (tihedusega 0,792 g/cm^3 temperatuuril 15 ºC). Reaalne tulemus aga ei ületa kõrvalreaktsioonide tõttu 61 liitrit. Seetõttu on meskis ka 4 – 7% metüülpiiritust. Käärimine toimub pidevmeetodil temperatuuril 32 – 35 ºC kahes paralleelselt töötavas käärimistõrres ja ühes järelkäärimistõrres. Iga tõrre maht on ca 300 m^3.

Arkenoli protsess

Moderniseeritud tehnoloogia kohaselt Arkenoli protsessil hüdrolüüsi käigus reovett ei teki ning väävelhape regenereeritakse kuni 97 % ulatuses. Allpool on esitatud Arkenoli protsessi tehnoloogiline skeem.

Arkenoli protsessi tehnoloogilised etapid (Joonis 8)

Tooraine ettevalmistus.

Tooraine valik on väga suur: erinevad puidujäätmed, kõrrelised, vanapaber jm polüsahhariide sisaldavad jäätmed. Tooraine tuleb peenestada ja kuivatada jääkniiskuseni mitte üle 10%.

Dekristallisatsioon ja 1. astme hüdrolüüs.

Biomassi töödeldakse esmalt kuni 50 ºC 70-77%-lise väävelhappega. Hapet lisatakse vahekorras 1,25:1 (hape : tselluloos + hemitselluloos). Madala temperatuuri hoidmine selles faasis vabastab pika ahelaga tselluloosikiud hemitselluloosist ja väldib tekkinud suhkrute lagunemist. Kontsentreeritud happega töötlemise tulemusena tekib geelitaoline mass, mis järgnevalt lahjendatakse veega langetamaks happe kontsentratsiooni 20-30 %-ni. Happe lahjendamise järel tõstetakse 1 tunniks temperatuur 100 °C juurde suhkrustamise läbiviimiseks, mille tulemusena tekivad peamiselt ksüloos ja glükoos.

Vedela ja tahke faasi eraldamine.

Filterpressil eraldatakse vedel faas, mis sisaldab hapet ja suhkruid. Tahkesse faasi jäävad ligniin, hüdrolüüsumata polüsahhariidid, mikroelemendid.

Hüdrolüüsi 2. aste.

Tahket jääki keedetakse väävelhappega temperatuuril ca 85 ºC, lisatakse vett ning toimub raskesti hüdrolüüsuvate polüsahhariidide hüdrolüüs, mille käigus moodustub peamiselt tselluloosist glükoos.

Vedela ja tahke faasi eraldamine.

Filterpressil eraldatakse vedel faas, mis sisaldab hapet ja suhkruid. Tahkesse faasi jäävad ligniin ja veidi hüdrolüüsumata polüsahhariide.

Suhkrute kromatograafiline eraldamine happest.

Happe/suhkru lahus juhitakse läbi staatilise elektrilaenguga plastosakeste kolonni, kus toimub erinevate molekulide liikumise kiirenemine või aeglustumine. Happe ja suhkru eraldamise protsessi täiustamine on avanud võimaluse etanooli kasumlikuks tootmiseks tselluloosi sisalduvast toormest. Arkenoli protsess võimaldab happesuhkrute segust eraldada vähemalt 98 % suhkruid.

Väävelhappe kontsentreerimine.

Lahjenenud väävelhappest aurustatakse välja vesi, mis suunatakse korduvkasutusele. Kontsentreeritud väävelhape läheb uuesti kasutusele 1. ja 2. astme hüdrolüüsis. Happe kadu tekib koos suhkrulahuse eemaldamisega ning see ei ületa 3 %.
Suhkrulahuse neutraliseerimine.
Suhkrulahusesse jäänud vähene kogus hapet neutraliseeritakse lubjaga, mille käigus moodustub kips, mis sadestatakse ja tsentrifuugitakse.

Ligniini tootmine.

Filterpressil saadud ligniini niiskus on 40 – 50%. Õhu käes kuivatamisega vähendatakse niiskust alla 25% ja selliselt sobib ta kütuseks.

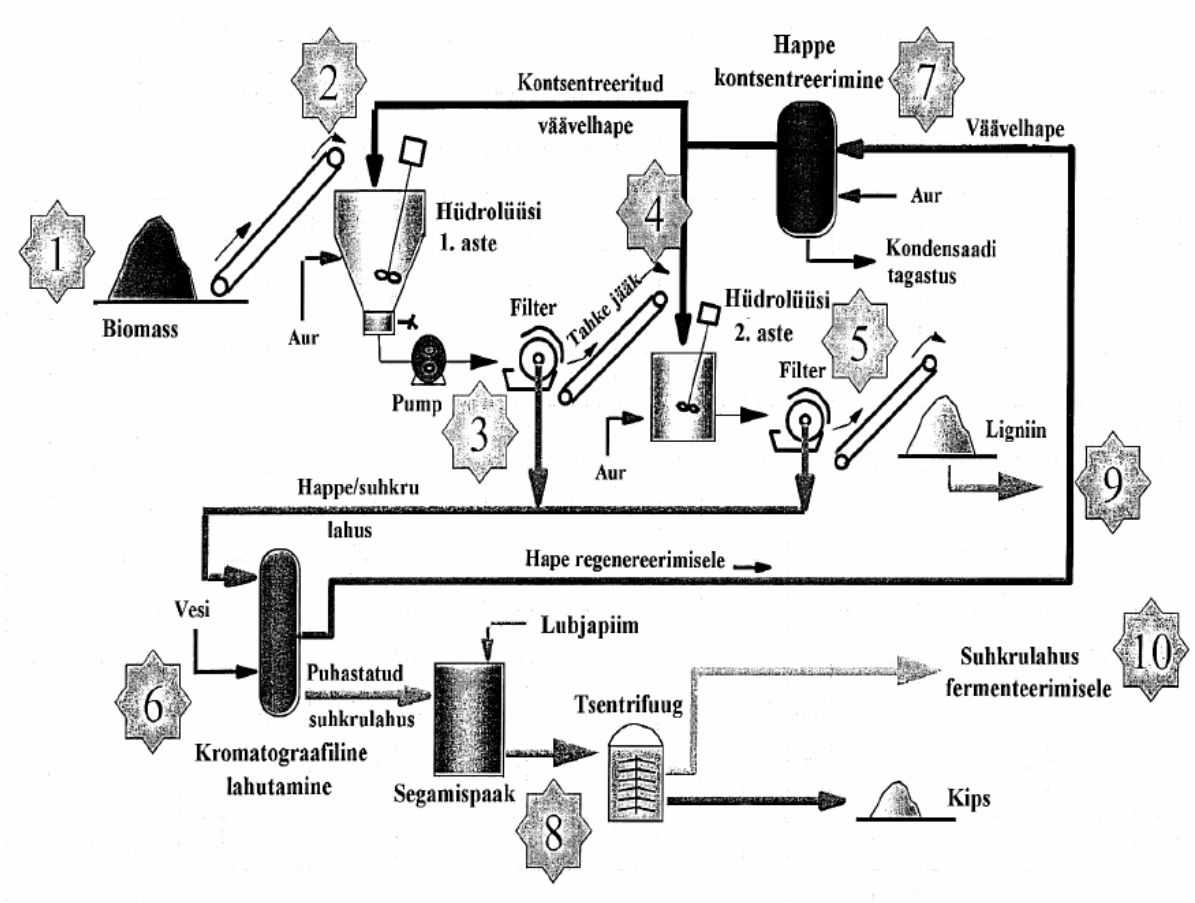
Etanooli tootmine.

6 ja 5-aatomilised suhkrud fermenteeritakse etanooliks. Olenevalt 5-aatomiliste suhkrute kogusest võib protsess kesta 24 – 48 tundi. Mikroorganismi Zymomonas mobilis vahendusel toimub nii ksüloosi kui glükoosi fermentatsioon etanooliks, mille teoreetiline saagis on vastavalt 85% ja 92%.

Tooraine ja toodang.

120 000 tonni etanooli tootmise puhul aastas on ööpäevane absoluutselt kuiva tooraine vajadus 1 297 tonni; väävelhappe osas 51,4 t; lubja osas 10,3 t. Ligniini (50% kuivainet) tuleb ööpäevas utiliseerida 1 037 tonni; kipsi (60 % kuivainet) 85,7 t; presspärmi saab (20% kuivainet) 157 tonni või kuivpärmina 30 tonni. Süsihappegaasi moodustub 346 tonni ööpäevas, mille utiliseerimine täies ulatuses on problemaatiline.

Arkenol protsessil töötab alates 2002 aastast ka Izumi Biorefinery katsetehas (Kagoshima Prefectuur, Jaapan).



Joonis 8. Arkenoli protsessi tehnoloogiline skeem

7. Kvaliteedinõuded bioetanoolile

Mootorikütusena kasutatavale bioetanooli kvaliteedile kehtib Euroopa standard EN15376 Bioetanool. Spetsifikatsioonid. Kvaliteedinõuded on rangemad kui joogipiiritusele (Tabel 12). Tabelis 13 esitatakse bensiini ja bioetanooli võrdlus.

Tabel 12. EN 15373

Näitajad	Nõuded
Etanooli sisaldus (mahu %), min	99,41
Metanooli sisaldus (mahu %), max	0,2
Lahustiga väljapestav vaik (mg/100 ml) max	1,0
Veesisaldus (mahu %), max	0,18
Anorgaaniliste kloriidide sisaldus (mg/l), max	10
Vase sisaldus (mg/kg), max	0,004
Happesus (CH_3COOH mg/l), max	0,001
pH	6,7
Välisilme	Selge ja hele
Tihedus 20 ºC (kg/l), max	0,790

Tabel 13. Bioetanooli, bensiini ja ETBE omadused

Kütuse omadus	Bensiin	Bioetanool	ETBE
Molekulkaal [kg/kmol]	111	46	102
Tihedus [kg/l], 15ºC	0.75	0.80-0.82	0.74
Hapnikusisaldus [massi-%]	-	34.8	
Kütteväärtus [MJ/kg]	41.3	26.4	36
Aurumissoojus, kJ/kg	180	930	320
Oktaaniarv (RON)	97	120	118
Oktaaniarv (MON)	86	102	105
Tsetaani arv	8	11	-
Stöhhiomeetriline õhk/kütus suhe [kg õhku/kg kütust]	14.7	9.0	-
Keemistemperatuur [ºC]	30-190	78	72
Aururõhk RVP [kPa]	75	16.5	28

ETBE-etüültertsiaarbutüüleeter; Toodetakse segades ja soojendades etanooli ja isobutüleeni katalüsaatori juuresolekul. Kasutatakse bensiini hapnikku sisaldava lisandina. ETBE toodetakse etanooli ja isobutüleeni või maagaasi esterdamisega. Biokütuse määraks ETBE-s loetakse 47%. Vastupidiselt etanoolile ta ei indutseeri bensiini aurustumist segust, ei absorbeeri niiskust ja ei kutsu esile korrosiooni. Umbes 75 % etanoolist Euroopas kasutatakse ETBE-na. Teda võib kütuses olla kuni 15 mahuprotsenti.

Etanool lagundab mõningal määral mootori plastmass- ja kummidetaile ning teisi elastseid osi, Kiirendab alumiiniumi, valgevase, tsingi ning seatina korrosiooni.

Võib tekkida süüte ja küttesüsteemi vigastusi. Korrosiooni aktiivsus suureneb kütuses etanoolisisalduse suurenemisega. Seega suure etanoolisisaldusega kütuse korral on vaja mootoris kasutada korrosioonikindlaid materjale nagu teflon, või teised suure floorisisaldusega plastikud. Korrosioon on välditav roostevaba terasest materjalide kasutamisega. Seega on etanooliga töötav mootor kallim.

Nii kirjandusallikates, kui ka kütuse ja autotootjatel on omaks võetud, et kuni 10 % etanoolilisandiga bensiini (E10) võib kasutada ilma mootorit ümber seadistamata. Enamikel autotootjail jääb sellise kütuse kasutamisel kehtima ka tootjapoolne garantii. Osa autotootjaid ei luba kasutada ka väikest etanoolilisandit. Väikese etanoolisisaldusega segusid (E5 ja E10) kasutatakse Ameerika Ühendriikides, Kanadas; Austraalias ja paljudes Euroopa maades. E10-l on kõrgem oktaaniarv kui bensiinil, ta põleb aeglasemalt ja madalamal temperatuuril . Suure hapnikusisalduse tõttu põleb ta täielikumalt.

Üle 10% etanooli sisaldusega kütuse kasutamisel on vajalik mootori seadistamine või paindliku kütusekasutusega auto kasutamine. Brasiilias kasutatakse 20-25 % etanoolisisaldusega kütust elektroonilise kütusesisestamise reguleerimisega mootorites nende minimaalse ümberseadistamisega (kasutusel on etanoolile vastupidavad elastosad). Ka Ameerika Ühendriikides on uuringud näidanud, et tavalised minimaalse ümberseadistamisega autod võivad sõita üle 10 %-lise etanoolisisaldusega bensiiniga. Suurema etanoolisisaldusega bensiini puhul tuleb ümberseadistamine ette võtta kütuse kokkuhoiu saavutamiseks, kuna etanoolil on suurem oktaanarv.

Tabelist 12 on näha, et hapnikusisalduse tõttu on etanooli põlemissoojus 35-40% väiksem ja aurumissoojus üle viie korra suurem kui bensiinil. Aurustumisel töösegu temperatuuri ligi 80 ^{o}C alanemise tõttu võib suure etanoolisisaldusega kütuse korral olla raskusi mootori käivitamisega.

Etanool seguneb bensiiniga mistahes vahekorras. Ka veetustatud etanool sisaldab mõningal määral vett (ASTM D 4806 lubab maksimaalselt 1,25 massiprotsenti). Samas on etanool ahnelt vett siduv ning neelab õhust niiskust. Kui etanoolisisaldusega bensiini veesisaldus ületab teatud piiri, setib liigne vesi välja. Etanoolisisaldusega bensiini veetaluvus väheneb temperatuuri alanedes. Temperatuuri langedes bensiin esialgu hägustub, bensiinipaagi põhja võib tekkida veekiht. Veekihti läheb ka bensiinis sisalduv etanool. Etanooli sisaldava bensiini kihistumine toimub kitsas temperatuurivahemikus ja spontaanselt.

8. Biokütuste tootmise energiabilanss

Energiabilansiks nimetatakse biokütuse tooraine ja tootmiseks kulutatud energia suhet biokütuse energiasse.

E = (MJ, biokütuse toorme energia – MJ, biokütuse tootmiseks kulutatud energia)/(MJ, biokütuse energia)

Tooraine (biomassi) kasvatamiseks kulutatud energia kogus sõltub biomassi liigist, klimaatilistest tingimustest, mullaviljakusest, kasutatavast agrotehnikast, biokütuse tootmise tehnoloogilisest protsessist. Troopilistes tingimustes kasvatataval bioetanooli toorainel suhkrurool on energiatarve palju väiksem, kui mõõduka kliimaga piirkonnas kasvatataval nisul või rapsil. Tihti kultiveeritakse troopikas kultuure käsitsi väga väikese fossiilse kütuse vajadusega ja kasutatakse vähe väetisi ning taimekaitsevahendeid.

Taastuvatest energiaallikatest biokütuse tootmisel on teiseks oluliseks näitajaks tema tootmiseks kulutatud fossiilse energia hulk.

F = (MJ, fossiilset energiat)/(MJ, biokütuse energia)

Näiteks F=0,5 tähendab, et biokütuse tootmiseks kasutati 50% energiast, mis vabaneb biokütuse põlemisel.

Tabelis 14 esitatakse bioetanooli tootmise energiabilanss ja võrdluseks biodiislikütuse tootmise energiabilanss tabelis 15. Järgnevalt tuuakse eelneva selgituseks kaks illustreerivat näidet:

Näide 1. Kui 1 kg nisu energiasisaldus on 17 MJ ja sellest saadakse 0,372 kg bioetanooli energiasisaldusega 9,82 MJ (kütteväärtus 26,4 MJ/kg). Kui 1 kg nisu muundamiseks bioetanooliks vajatakse 3 MJ fossiilset energiat, siis E = (17-3)/9,82 = 1,43 (ilma praaga kasutamist (loomasööta) arvestamata).

Näide 2. Kui 1 kg nisu muundamisel bioetanooliks kulus 3 MJ fossiilset energiat ja saadi 9,82 MJ biokütuse energiat, siis F = 3/9,82 = 0,31 (ilma praaga (loomasööta) arvestamata).

Tabel 14. Bioetanooli tootmise energiabilanss

	Suhkrupeet Kook söödaks	Suhkrupeet Kook kütteks	Nisu Maagaasi katel loomasööt	Nisu õled kütteks loomasööt	Nisuõled	Puit	Bensiin
E	1,8	1,3	1,75	1,7	1,3	1,9	
F	0,82	0,3	0,87	0,27	0,1	0,25	0,2

Tabel 15. Biodiisli tootmise energiabilanss tootmisel rapsiseemnest

	Biodiisel Glütseriin loomatoiduks	Biodiisel Glütseriin kemikaaliks	Diiselkütus
E	1,21	1,20	
F	0,4	0,43	0,18

Kõigil juhtudel on kütuse tootmiseks vaja kulutada mitu korda rohkem energiat kui fossiilkütuse puhul. Mõnel juhul on muidugi energia kulu suurem biomassi kasvatamisel (väetisteks ja taimekaitseks), teisel juhul ümbertöötamisel. Energeetiliselt on efektiivsem kui vedelkütuse tootmise kõrvalsaadusi kasutatakse energia saamiseks.

Teiste maade andmed ei pruugi kehtida Eesti kohta. Näiteks on Saksamaal rapsi hektarisaak kolm korda suurem kui Eestis ja seetõttu ka saadud biodiisli hulk sama arv kordi suurem. Kuna seal kasvatatakse talirapsi, mis valmib juulikuus, siis pole tavalisel seemet ka vaja kuivatada.

Eestis on biodiisli valmistamiseks vajalikke energiakulusid hinnanud Eesti Riigikontroll koos Maaviljeluse Instituudiga.

Võeti arvesse energiakulu rapsi kasvatamisel, õli tootmisel ja esterdamisel biodiislikütuseks. Rapsi saagikuse tasemeks võeti Eesti aastate 2000 – 2004 keskmine saak, s.t 1,5 t/ha.

Rapsi saagikuse juures 1,5 t/ha saab ühe kulutatud mahuühiku vedelkütuse puhul tagasi 1,3-1,4 mahuühikut biodiislikütust. Siin on maagaasi, kivisöe, põlevkivi kulu väetiste ja taimekaitsevahendite tootmiseks, tootmisel vajaliku elektrienergiatootmiseks jne. ümberarvutatud vedelkütuseks.

Kontrollaruandes tullakse järeldusele, et biodiislikütuse tootmine rapsist on Eestis energeetiliselt otstarbekas. Seni ei tea olevat tehtud Eesti tingimustele vastavat uurimist etanooli tootmise energeetilise otstarbekuse kohta.

Bioetanooli tootmise eelised ja kõrvalmõjud Eestis ning majanduslik põhjendatus

9. Bioetanooli Eestis tootmise eelised

Euroopa Liidus kasutatav bioetanool peab vastama teatud FQD-s ja RED-s sätestatud säästlikkuse kriteeriumidele. Säästlikkuse kriteeriumide hulka kuulub nõue KHG heidete vähendamise kohta (35% koheselt ja 50% alates 2017.a), kuid lisaks sellele rakendatakse veel mitmesuguseid alljärgnevalt lahti seletatud norme. Üldistatult võib öelda, et Eestil on bioetanooli tootjamaana mitmesuguseid eeliseid, võrreldes teiste Euroopa riikidega, mis tulenevad ühest küljest põllumajanduslikest ja põlevkivipõhisest elektri- ning soojatootmise iseärasustest ning teisest küljest EL regulatsioonidest.

KHG kärpe mõõtmisel kasutatakse säästlikkuse kriteeriumide arvutamisel nn massbilansi asendusmeetodit, kus lähenetakse KHG heidete kasvule/kahanemisele transpordikütuste elutsüklis terviklikult – st, et lisaks kütuse tootmisel ja kasutamisel tekkinud KHG heidetele võetakse arvesse ka tootmise kõrvalproduktide kasutamise ja kütuse transpordi mõju KHG heidete kasvule/kahanemisele. Täpsemalt on tegu nn *well-to-wheels* (WTW) ehk „kaevust-ratasteni“ analüüsiga, mida rakendatakse kõikvõimalike Euroopa Liidus kasutatavate kütuste energiabilansi ja KHG emissiooni arvutamisel. Analüüs arvestab kolme etapiga kütuse elutsüklis:

- Kütuse tootmiseks vajaliku toorme ammutamisel, transpordil ja ladustamisel,
- Kütuse tootmisel, distributsioonil, transportimisel ja ladustamisel,
- Kütuse kasutamisel sõidukis - tankimisel, põletamisel ja aurustumisel.

Toorme ja tootmise etappi nimetatakse „*well-to-tank*“ (WTT) ehk „kaevust-paaki“ etapiks ja otseselt sõidukit puudutavat etappi nimetatakse „*tank-to-wheels*“ (TTW) ehk „paagist-ratasteni“ etapiks. Etappide selline eristamine on oluline, sest WTT etapis on võimalik välja arvutada KHG emissioonide absoluutväärtus, samas kui kütuse kasutamine sõidukis sõltub selle kvaliteedist ja segu osakaalust. Neid aspekte on vaja kütuse säästlikkuse hindamiseks vaja analüüsida eraldiseisvalt.

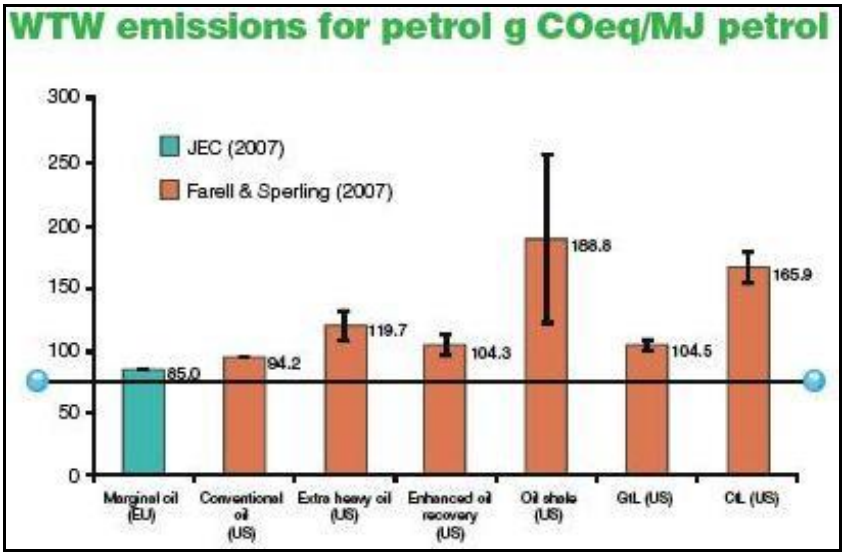
Eestis toodetud bioetanooli olulisim eelis tulenebki elutsükli põhisest arvutamisest. Kui kasutada lähenemist, kus teraviljast toodetakse nii elektrit kui ka bioetanooli, on leitud elutsükli analüüsi tulemusena, et WTT etapis saavutatakse Eesti kontekstis seeläbi suurim võimalik KHG heidete kärbe, millele lisanduvad mitmed teised eelised ja positiivsed kõrvalmõjud.

Eelis 1.

Bioetanooli tootmise kõrvalprodukt praak (praaga) on elektritootmisel taastuvkütus, millel puudub EL regulatsioonide arvestuses, võrreldes fossiilkütustega, CO_2 emissioon, mistõttu on, võrreldes konkurentidega, kõrgem Eestis toodetud bioetanooli hind.

Iga tonni bioetanooli tootmisel eraldub kõrvalproduktina 1,34 tonni praaka, mis on Eestis kasutatav taastuvkütusena. 1 tonn praaka on 50% niiskuse juures sama küttevääritusega mis 1 tonn põlevkivi, ent kui 1 tonni põlevkivi põletamisel heitub atmosfääri 1,18 t CO_2, siis praaga kui põllumajandusliku jääte põletamisel on KHG heidete maht arvestuslikult 0 tonni. Täpsemalt ei kvalifitseeru põllumajanduslikku päritolu taimsete jääkide (praaga) põletamine CO_2 arvestuses, sest biomassi peetakse CO_2 heidete suhtes neutraalseks, kuivõrd põletamisel heituv CO_2 on suhteliselt hiljuti atmosfäärist taimede poolt kinni püütud.

2008. aastal koostas Saksama ettevõte Lurgi AG massbilansi ülevaate Eesti bioetanooli tootmise kohta, toetudes seejuures RES-D artikkel 17 p2-s sätestatud kriteeriumidele. Analüüsi tulemusena selgus Eestis bioetanooli tootmisest tuleneva KHG kärpe ligikaudne aktuaalväärtus. Ühe megadžauli põlevkivist toodetud elektri kohta emiteeritakse 150 g CO_2 (vt Joonis 9). Arvestades, et praaga põletamisel on CO_2 emissiooni ekvivalent 0 g megadžauli kohta, on võimalik KHG heitmeid vähendada ca 150%. Ühtlasi lisandub KHG kärpele ka fossiilsete mootorikütuste bioetanooliga asendamisest tulenev heidete vähenemine ca 20-30 g CO_2 megadžauli kohta, mille tulemusena on kogukärbe ca 180%. Indikatiivselt võib väita, et võrreldes Euroopa Liidu kasutatava fossiilkütuste põletamise arvestusliku keskmisega 83,8 grammi ekvivalent CO_2 megadžauli kohta on vahe enam kui kahekordne.



Joonis 9. Erinevate fossiilkütuste CO_2 emissiooni (grammides) ekvivalent megadžauli kohta

Suurest kärpevõimest tulenevalt võib Eestis toodetud bioetanooli lisada fossiilkütustele seega poole vähem kui nt Brasiilia roost toodetud bioetanooli (nt 10 l mootorikütust võib sisaldada 0,5 l Eesti bioetanooli või 1 l Brasiilia oma sama kärpeefekti saavutamiseks), mis annabki Eesti bioetanoolile selge konkurentsieelise, tagades kõrgema müügihinna liitri kohta.

Siinkohal on oluline rõhutada, et kärpe täpne ulatus arvutatakse välja Euroopa Liidu REACH kemikaalide käsitluse paketi alusel. REACH menetluse käigus deklareeritakse muuhulgas bioetanooli keemiline koostis ja päritolu ning sellele tuginedes arvutatakse välja keskkonnamõju. Deklareerimise protsess hõlmab komplekssete andmete edastamist toodangu kohta, millest sõltub selle turustatavus. Deklareerimise lihtsustamiseks on asutatud ühing EtOH REACH (Ethanol REACH Association), mis võimaldab oma liikmetel ühiselt ja seeläbi odavamalt ning lihtsamalt esitada nõutavad andmed Euroopa Liidule.

Eelis 2.

Eestis on võimalik bioetanooli toota minimaalse mõjuga maakasutuse muutusele, mistõttu on:

a) võimalik suhteliselt lihtsalt tagada tehase jaoks vajaliku toorme olemasolu ja

b) vältida Euroopa Komisjoni poolt 2010. aasta jooksul määratletavate tegurite mõju (nn *indirect land use change* ehk ILUC), mis alandaks toodangu arvestuslikku KHG kärbet ja seeläbi ka toodangu hinda.

Bioetanooli tootmise säästlikkuse kriteeriumidega arvestatakse muuseas neid KHG heiteid, mis tulenevad toorme kasvatamiseks vajaliku uue maa kasutuselevõtust ehk mõjust maakasutuse muutusele. Seejuures eristatakse „otsest mõju maakasutuse muutusele“ ja „kaudset mõju maakasutuse muutusele, mida käsitletakse alljärgnevalt Eesti näitel.

„Otsene mõju maakasutusele“ käsitleb seda, kui palju uut maad võetakse tootmisregioonis kasutusele bioetanooliks tarviliku tooraine kasvatamiseks. Regulatsioonid sätestavad, et biokütuse tooraine ei tohi pärineda järgmist tüüpi maa-aladelt:

- maalt, mis on pärast 2008. aasta jaanuarit olnud kõrge bioloogilisele mitmekesisuse tasemega. See hõlmab primaarmetsa ja muid metsaga kaetud alasid, looduskaitsealasid, rohumaid ja kõrge bioloogilise mitmekesisuse tasemega mitte-loomulikke rohumaid;

- maalt, mis on enne 2008. aasta jaanuarit olnud kõrge süsinikusiduvusega ökosüsteem – märgala, pidevalt metsastatav ala, kus enam kui 1 hektar on kaetud vähemalt 5 m puudega ja ala mis on kaetud taimkattega 10-30% ulatuses;

- piiratud on ka turbaala kasutamine, välja arvatud juhul kui suudetakse tõestada, et turba kaevandamine ei hõlma sellise ala kuivatamist, mis pole varem kuiv olnud.

„Kaudne mõju maakasutusele“ käsitleb seda, kui palju uut maad võetakse kasutusele kusagil mujal (st ükskõik millises teises riigis) selle tulemusena et osa tootmisregioonis kasutatavast maast pühendatakse bioetanooliks vajaliku tooraine kasvatamisele. Kalkulatsiooni aluseks on põhimõte, et kuivõrd nõudlus antud pinnal varem kultiveeritud põllumajandussaaduse järele ei muutu, siis võetakse samasugune hulk maad kasutusse teises kohas, mille tulemusena kasvavad KHG heited (nt metsaraie tulemusena vabaneb varasemalt ökosüsteemis seotud CO_2 ja ühtlasi väheneb atmosfääris süsihappegaasi vähendamiseks ja hapniku tootmiseks vajalik fotosünteesi maht). Kuivõrd kirjeldatud põhimõtte paikapidavuse osas pole teaduslikku konsensust, kujundab Euroopa Komisjon positsiooni maakasutuse muutusele avalduva kaudse mõju osas.

Eestis on võimalik bioetanooli toota minimaalse mõjuga maakasutusele, mis tuleneb nõukogude perioodil kasutusel olnud ja hetkel kasutamata põllumajandusmaast. Nõukogude perioodil oli kasutusel ca 1,2 mln hektarit põllumajandusmaad, millest on hetkel kasutusel 1,07 mln hektarit, sh aktiivselt haritav 0,916 mln hektarit. Eestis on võrreldes EL vanade liikmesriikidega (EL15) aktiivselt haritavat ja põllumajandusmaad elaniku kohta vastavalt 2,2 ja 1,7 korda rohkem. Seega pole Eestil vaja kasutusele võtta uusi maid, mis on regulatsioonide järgi sisuliselt ka keelatud, sest see muudaks otseselt maakasutust keelatud aladel. Teisisõnu on meil võimalik võrdlemisi lihtsalt tagada bioetanooli tehase jaoks vajaliku toorme olemasolu. Kaudsed mõjud maakasutuse muutusele pole samuti märkimisväärsed, sest võttes kasutusele söötis maa Eestis, ei tekitata vajadust võtta kasutusele uut maad mujal. Seega – kui Euroopa Komisjon kujundab välja piirangud, mis tulenevad kaudsest mõjust maakasutuse muutusele, siis Eestis toodetud bioetanoolile need piirangud ei rakendu. Mõjude puudumine maakasutuse muutusele hoiab kõrgel Eestis toodetud bioetanooli säästlikkuse taset ehk tagab taaskord kõrgema müügihinna liitri kohta.

Eelis 3.

Eestis on soodne kliima bioetanooli tootmiseks sobiliku teravilja kasvatamiseks. Eesti asukohast tulenev võrdlemisi kõrge sademete hulk tingib siinset päritolu teraviljas kõrge tärklisesisalduse, mis tagab kõrgema bioetanooli toodangu, võrreldes mujal Euroopas kasvatatud teraviljaga. Jõgeva Sordiaretuse Instituudi poolt tehtud uuringute tulemusena selgub, et bioetanooli tootmiseks sobivaimad põllukultuurid on rukis, nisu ja tritikale järgmistel põhjustel:

- kõrge tärklisesisaldus;
- põhu kõrge energiasisaldus elektri ja soojuse koostootmiseks ;
- põhust tuleneva tuha sobiv sulamistemperatuur, mis on oluline elektri ja soojuse koostootmisel katelde ekspluatatsiooni seisukohast.
- põhu kõrge tselluloosisisaldus ja sellest tulenev sobivus teise põlvkonna bioetanooli tootmiseks mõnes järgmises etapis.

Eelis 4.

Eestil on bioetanooli ekspordiks logistiline konkurentsieelis. Eestis toodetud bioetanool omab logistilist konkurentsieelist, võrreldes regiooni suurte põllumajandusriikidega (nt Poola, Ukraina). Euroopa suurimad biokütuste tarbijad on Saksamaa ning Põhjamaad eesotsas Rootsiga. Eesti toodangu kerge ligipääs kaubasadamatele ja sihtturu lähedus võimaldavad kütust tarnida kiiresti ja madalate transpordikuludega.

Eelis 5.

Kui rajada bioetanoolitehas Narva elektrijaamade juurde, siis elektrijaam muutub ka soojuse ja elektri koostootjaks, kuivõrd bioetanooli tehas kujuneb sooja tööstuslikuks kasutajaks. Siinkohal väärib märkimist, et Keskkonnaministeerium planeerib ellu viia jääksoojuse kasutamise uuringu, samas kui bioetanooli tehas annab jääksoojusele juba selge rakenduse.

Bioetanooli tootmise positiivsed kõrvalmõjud

Bioetanooli tootmisest tuleneb mitmesuguseid positiivseid kõrvalmõjusid, mis on omakorda Eesti majandusele kasulikud.

Kõrvalmõju 1.

Põhupõhise etanoolitootmise potentsiaal (ca 30 000 tonni aastas). Bioetanooli tootmisel teraviljast tekib põllumajandusliku kõrvalproduktina põhk, millest hetkel on võimalik toota elektrit ja soojust. Alates 2011. aastast muutus reaalseks põhupõhine etanoolitootmine, mida on võimalik Eestis teha mahus ca 30 000 tonni aastas. 2010. aastal muutus äriliselt tasuva hinna juures kättesaadavaks ensüüm tsellulaas, mis on vajalik põhu koostisainest tselluloosist bioetanooli tootmiseks. Tselluloosipõhise (põhust toodetud) bioetanooli omahind on hetkeprognooside järgi, võrreldes tärklisepõhisega (rukkist toodetuga), 0,46 EUR/l kallim (Taani ensüüme tootva ettevõtte Novozymes hinnangul). Aastal 2011. rakendunud Euroopa Liidus täiendatud Mootorikütuste Kvaliteedi Standardite direktiiv ja kemikaalide direktiiv REACH, mille tulemusel tõuseb bioetanooli hind selle dekarboniseeriva mõju tõttu. Bioetanooli kõrgem hind korvab eritöötlust vajavast toorainest toodetud kütuse hinnavahe 0,46 EUR/l, mille tulemusena muutub põhupõhine tootmine aktuaalseks ka Eesti tehases. Kuivõrd Eestis saab kombineerida viljast ja põhust kütuse tootmise, tõuseb omakorda nii maakasutuse efektiivsus kui ka toodetud bioetanooli CO_2 kärpevõimekus ja sellest tuleneb kõrgem müügihind liitri kohta.

Kõrvalmõju 2.

Praaga (134 000-201 000 t/a) põletamisest tulenev sääst CO_2 kvootide arvelt. Elektri ja soojuse tootmine praagast võimaldab vältida kulutusi kvootidele, sest bioloogilist päritolu tooraine põletamisel arvestuslikult CO_2 emissioon puudub. 1 tonni CO_2 kvoodi hind on olnud vahemikus 15-20 EUR/tonn (2013. aastal, 3-5 EUR/t). Bioetanooli tehase tootmisprotsessi kõrvalproduktina tekib sõltuvalt toodangu mahust 134 000-201 000 t praaka. Praaga kasutamisel on iga-aastane rahaline sääst 20 EUR/t CO_2 hinna juures 3 mln EUR (ehk ligi 50 mln krooni) ja hinna 5 EUR/t CO_2 0,75 mln eurot.

Kõrvalmõju 3.

Eesti põllumajanduse elujõulisuse, tootlikkuse, jätkusuutlikkuse ja rahvusvahelise konkurentsivõime areng.

Koos põlevkivi elektrijaamadega toodetava bioetanooli projekt evib ka mitmekülgset mõju Eesti põllumajanduse elujõulisusele, sest bioetanooli tooraine on põllumajanduslikku päritolu. Viimastel aastatel on Eestis suurenenud teraviljade kasvupind, saagikus ja kogusaak, mistõttu on loodud head eeldused bioetanooli tootmiseks vajaliku tooraine pakkumiseks kasvavas mahus. Eestis tarbitakse aastas ca 700 tuhat tonni teravilja, viimase kolme aasta toodang on olnud vahemikus 850-900 tuhat tonni. 2008/2009 a müügiperioodil eksporditi Eestist valdavalt söödaviljana üle 300 tuhande tonni teravilja. Tehase rajamisel tekib lisanõudlus ca 300 000 – 400 000 tonni logistilistel põhjustel eelistatavalt Eesti päritolu teravilja jaoks, mis loob siinsetele põllumeestele arvestatava sissetulekuallika. Ka on võimalik bioetanooli tootmise korral pakkuda viljakasvatajatele saagi eest põllumeeste endi hinnangul õiglast hinda mida praegune turuolukord ei luba (nt 2009.a sügisel oli turuhind ca 1 300 kr/t ja riiklik kokkuostuhind ca 1 500 kr/t). Praegu (2013) on vilja hind 190-200 EUR/t. Bioetanooli tootmine võimaldab hoida vilja hinna

stabiilsemana, mis tagab põllumeestele jätkusuutlikku ja prognoositava sissetuleku. Vajadusel ostetakse vilja sisse ka mujalt Baltikumist ning Venemaalt, aga see on suuremate transpordikulude tõttu sekundaarne valik.

Põllumajandussektor võidab ka sellest, et bioetanooli tehasele on saadusi lihtsam realiseerida kui toiduainetööstuses. Suurostja korral on turunduskulud minimaalsed ning kuivõrd kütusetootmisel ei pea saadused vastama toiduainetööstuse regulatsioonidele, on tootmine vähem mõjutatav kvaliteeti vähendatavatest ebasoodsatest ilmastikutingimustest. Seeläbi on võimalik tõsta Eesti põllumajandussektori tootlikkust. Tootlikkust tõstab ka see, et suurema haritava maa-ala kasutuselevõtt võimaldab põllumeestel saavutada mastaabi efekti, mis alandab vilja tootmishinda.

Bioetanooli toormena kasutatakse viljasegu kombinatsioonis rukkist (60%), nisust (20%) ja tritikust (20%). Märkimisväärne lisanõudlus kolme eri kultuuri järgi on kasulik Eesti põllumajandusele maaharimise seisukohast, sest soodustab viljavaheldust. Eeskätt kasulik mõju on suuremal nõudlusel rukki järele, sest rukkis kasvab madala viljakusega maal, vajab 50% vähem lämmastikväetiseid kui nt nisu ning on seeläbi väiksema keskkonnamõjuga. Neil põhjustel on rukist hea kasutada vaheldumisi intensiivsemate viljadega. Seeläbi on võimalik muuta Eesti maaharimine jätkusuutlikumaks ja tootlikumaks.

Projekti raames on vajalik ehitada Põhja-Eestisse (eelduslikult Rakvere piirkonda) viljaelevaator, mille kaudu tarnitakse toorainet bioetanooli tehasele Narvas. Lisaks ehitatakse välja raudtee pealelaadimiskohad Lõuna-Eestisse (Tartu/Jõgeva/Viljandi kanti), et põllumehed saaksid vilja oma regioonis (ca 50 km raadiuses) kokku tuua. Lisaks bioetanooli tehase teenindamisele tuleneb põllumeestele kirjeldatud infrastruktuurist veel lisahüvesid:

- Hetkel puudub paljudel põllumeestel koht oma saagi ladustamiseks suures mahus ja pikema perioodi vältel, mistõttu ollakse sunnitud vili maha müüma turul saagikorjamise ajal valitseva hinnaga. Loodavate ladustamistingimuste tulemusena on võimalik müügihetke valida ja sellest tulenevalt saada ka kõrgemat müügihinda.

- Logistiliste piirangute tõttu on hetkel komplitseeritud Eesti põllumajandussaaduste eksport. Laadimisjaamade ja elevaatori kaudu tekib infrastruktuur, mida saab kasutada vilja suuremamahuliseks ekspordiks välisturgudele. Arvestades, et Euroopas on võrdlemisi kõrge nõudlus nt nisu, odra ja rapsi järgi, mida oleks võimalik kasvatada Eesti hetkel söötis oleval maal, tekib võimalus parandada olulisel määral Eesti põllumajanduse rahvusvahelist konkurentsivõimet.

Kõrvalmõju 4.

Eesti energiasõltumatuse kasv. Biokütuste kasutamine on Euroopas Liidus muutunud prioriteetseks nii keskkonnast lähtuvatel põhjustel kui ka neist tuleneva energeetilise sõltumatuse tõttu. Kohalikku päritolu kütuse kasutamine vähendab nõudlust teistest, kohati vähestabiilsetest ja Euroopale poliitiliselt vastanduvatest riikidest pärit fossiilkütuste järele. Eestis kasutatav osa bioetanooli tehase toodangust (vähemalt 25 000 tonni aastas) suurendab seega Eesti energiajulgeolekut, mis on kooskõlas riigi ja Euroopa Liidu üldiste arengustrateegiatega.

Kõrvalmõju 5.

Positiivne mõju Eesti jooksevkontole 70-96 mln EUR ulatuses. Arvestades, et Eesti suudab hetkel ära tarbida ca 25 000 t bioetanooli aastas, siis läheb kuni 25% toodangust siseturule ja vähemalt 75% ekspordiks. Rahalises mõistes tähendab see Eesti majandusele umbes 48-64 mln eurost eksporditulu aastas. Jooksevkontole mõjub positiivselt ka see, et Eestis tarbitav 25% toodangust vähendab vajadust imporditava kütuse järele ehk 16-25 mln EUR ulatuses. Samas kui Eestis kasvab nõudlus bioetanooli järele uute tehnoloogiate kasutuselevõtu tõttu, siis on võimalik vältida fossiilkütuste importi kuni 48-64 mln euro ulatuses.

Peamised takistused

Puudub ligipääs eri osapoolte kompetentsidele ja ressurssidele.
Sedavõrd kompleksne ettevõtmine nagu bioetanooli tootmine toimub vältimatult klastrimeetodil. Igal eraldiseisval osapoolel (bioetanooli tehase oskusteabe valdajad, elektritootja, raudtee, põllumehed, finantseerijad jne) puuduvad ressursid (oskusteave, infrastruktuur, raha, tooraine) protsessi terviklikuks haldamiseks. Koostöö on tulemuseni jõudmiseks seega hädavajalik.
Puudub sujuv infovahetus.
Bioetanooli tehase töö eeldab logistilise keerukuse tõttu sujuvat osapooltevahelist infovahetust. Koordineerida tuleb tooraine tootmismahtusid eri tootjate vahel sõltuvalt tehase vajadustest, tooraine ja toodangu transporti vajalikesse sihtkohtadesse, toodangu ja tooraine maksustamist sõltuvalt sihtturust jne. Selle jaoks on vaja välja arendada toimiv tarkvaraplatvorm, mis saab juhtuda koostöös kõigi osapooltega.
Puudub võimalus kujundada seadusandlust nii Eestis kui ka Euroopas.
Hetkel on oluline osa biokütustega seonduvast seadusandlusest nii Eestis kui Euroopas väljatöötamisel. Tulevikus peab see protsess ka jätkuma, sest valdkonda puudutav tehnoloogia areneb pidevalt ja täienevad ka arusaamad keskkonnamõjudest. Klastri kaudu on võimalik tagada eri osapoolte seisukohtade edastamine otsuse-tegijatele nii Eestis kui ka Euroopas, viimast eeskätt Euroopa Bioetanooli Kütuse Assotsiatsiooni (eBIO) liikmena. eBIO liikmelisus tagab ka selle, et kõik olulisemad bioetanooli puudutavad seadusandlikud arengud jõuavad ka Eesti osapoolteni kiirelt ja arusaadavalt.

10. Bioetanooli tootmise tehnoloogiline areng

Bioetanoolitehase kui tehnoloogiliselt keeruka projektiga kaasneb tehnoloogiline areng peamiselt seetõttu, et olemasolevad lahendused tuleb kohandada Eesti tingimustele sobivaks. Esiteks kui kasutada toormena segu rukkist (60%), nisust (20%) ja trikikust (20%), siis seda mujal maailmas ei tehta. Teiseks ja olulisemaks uuenduseks on see, et Eestis saaks siduda omavahel bioetanooli tootmise ja põlevkivienergeetika, mis teeb tootmisprotsessi efektiivsemaks kahes aspektis:

- bioetanoolitootmise kõrvalprodukti praak on kasutatav elektritootmisel biokütusena;
- põlevkivist elektritootmisel tekib jääksoojus erinevates kandjates (kuum põlevkivituhk, suitsugaasid), mida on võimalik kasutada praaga kuivatamisel. Innovatsioon seisneb selles, et maailma teistes koostootmisjaamades kasutatakse praaga kuivatamiseks peamiselt veeauru.

Teise põlvkonna tselluloosipõhise tootmise analüüsis oli viidatud uuringutele toorme geneetiliseks modifitseerimiseks nii, et taim sisaldab kasvades ise vajalikke ensüüme, mis tema töötlemisel annavad võimaluse kasutada efektiivselt tavalist alkoholikääritust. Teema on mõeldud süüa või sõita probleemi lahendamiseks, töötades välja spetsiaalsed kultuurid, mille tärklist, suhkrut ja tselluloosi sisaldavad komponendid oleksid hõlpsalt etanooliks töödeldavad, kuid tegu pole toidukultuuriga vaid GMO-ga. Saadav bioetanool oleks nn kolmanda põlvkonna bioetanool. Biofuelsmarketsi uuringu raames esitles taolisi ettepanekuid Agrivirda.

Taolise stsenaariumi rakendumisel on aga oodata, et teravilja puhul on taas koguefekt nii vilja kui põhu töötlemisel koos ja kõige odavama, ehk seni esimese põlvkonna tehnoloogiaga. Kuna igasugu geneetilised GMO uuringud on eriti USA-s juba kaua käinud, on arvata, et vajalike ensüümide omadused teise põlvkonna tarbeks olidki põhiprobleem ja taime enda geneetiline muundamine, et nad neid ensüüme enda kõigis osades kannaksid, ei võtagi väga kaua aega. Problemaatilise happelise hüdrolüüsi vajadus langeb lihtsalt ära.

Arvestada tuleb, et taolises arengus, vähemalt Eesti puhul, eraldub tõesti „*set aside*“ maa energiakultuuride kasvatamiseks põllumajanduskõlvikutest lahutatuks, sest inimtoiduks ja loomasöödaks on GMO kasutamine meil keelatud. Kütusetööstuse toormeks neid kasutada või kasvatada pole keegi seni proovinud keelata.

11. Etanooli tootmise majanduslikkus

Esimese põlvkonna bioetanool

Kõige odavam on Brasiilia suhkruroost toodetud bioetanool. Bioetanooli tootmine Euroopas on kallim, kui Ameerika Ühendriikides. Ameerika Ühendriikides on tooraineks mais, mille bioetanooli saagikus on teraviljadest suurim. Bioetanooli valmistamiseks sobiv tooraine sõltub sellest, missugust suurema suhkru või tärklisesisaldusega kultuuri antud klimaatilistest tingimuste, mullastikus ja maastiku reljeefi on võimalik kasvatada (Tabel 16).

Tabel 16. Bioetanooli saagis nisust ja suhkrupeedist EL maades

Riik	Nisu		Suhkrupeet	
	m^3/ha	toe/ha	m^3/ha	toe/ha
Austria	1,792	0,92	6,677	3,42
Belgia	2,847	1,46	6,970	3,57
Saksamaa	2,620	1,34	6,384	3,27
Taani	2,561	1,31	6,399	3,28
Kreeka	916	0,47	4,926	2,52
Hispaania	1,052	0,54	6,181	3,16
Soome	1,057	0,54	3,440	1,76
Prantsusmaa	2,554	1,31	7,980	4,09
Iirimaa	2,996	1,53	4,710	2,41
Itaalia	1,637	0,84	4,346	2,23
Holland	2,839	1,45	6,472	3,31
Portugal	499	0,26	5,234	2,68
Rootsi	2,069	1,06	5,266	2,70
Suurbritannia	2,686	1,38	6,355	3,25
Tšehhi	1,568	0,80	4,982	2,55
Eesti	659	0,34	-	-
Ungari	1,365	0,70	pole andmeid	pole andmeid
Leedu	1,050	0,54	2,964	1,52
Läti	908	0,46	3,036	1,55
Poola	1,215	0,62	3,555	1,82
Sloveenia	1,330	0,68	4,040	2,07
Slovakkia	1,360	0,70	3,486	1,78

1 toe=42 GJ.

Märkus: Tegelikult on Eesti nisust toodetava bioetanooli hektarisaagis minimaalselt 1 200-1 400 l/ha suvinisu puhul ja kuni 3 000-3 500 l/ha talinisu puhul (vt ptk 3 ja Jõgeva Sordiaretuse Instituudi uuring).

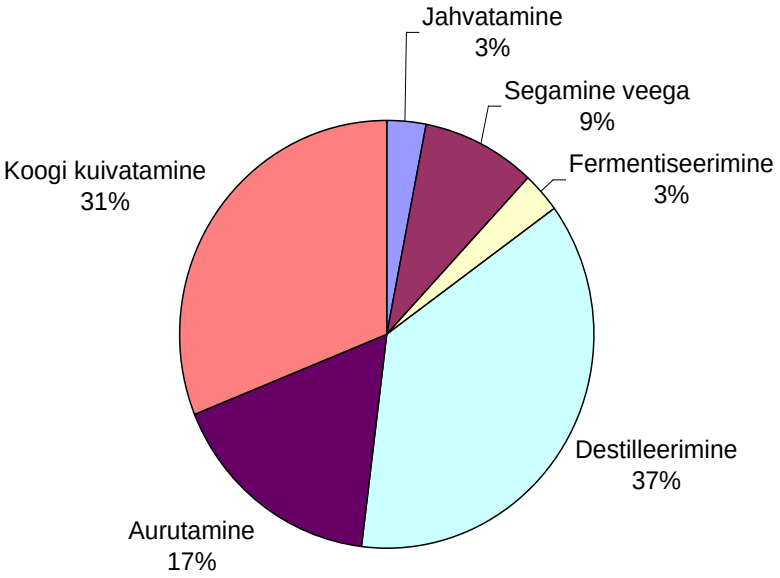
Euroopas on bioetanooli tootmiseks sobivamad teravili (põhiliselt nisu) ja suhkrupeet. Suhkrupeet kasvab kõigis 25 Euroopa Liidu maas ja sisaldab põllumaa hektari kohta rohkem suhkrut kui nisu.

Enamikes bioetanooli hindu käsitlevates töödes ei ole arvestatud subsiidiumitega, mida põllumehed saavad kütusetööstusele põllumajanduskultuuride kasvatamisel. Hinnanguliselt arvatakse, et tegelik bioetanooli liitri hind on Euroopa Liidus umbes 18 USA senti kõrgem, kui ta on vastavates ülevaadetes.

Suurema saagikuse tagab parem kliima , aga ka majanduslikud võimalused kasutada optimaalsel hulgal väetisi ja taimekaitse vahendeid. Tabelis 16 on Eesti nisu saagikus paraku üks

madalamaid (ilmselt aegunud teravilja saagikuse andmed), kuid Jõgeva Sordiaretuse Instituudi uurimused näitavad muud (vt Märkus tabeli 16 all).

Suhkrutööstust Eestis ei ole ja suhkrupeeti ei kasvatata. Bioetanooli tooraineks võib olla ka kartul, etanooli saagis on 8 – 10%.



Joonis 10. Energiakulu suhteline jaotus bioetanooli tootmisel teraviljast

Bioetanooli hind on suures osas määratud tooraine (biomassi) hinnaga, mis moodustab 55-80% etanooli lõpphinnast. Mõnevõrra võib hinda mõjutada erinevused tootmistehnoloogiates. Kindlasti mõjutab hinda tehase suurus. Suurema tehase korral on suuremad transpordikulud, rohkem aga vähenevad tootmiskulud. (vt Joonis 10)**Tõrge! Ei leia viiteallikat.**

Ülevaates (IEA Biofuels for Transport, 2004**)** on näidatud, et Saksamaa bioetanooli tehasel võimsusega 200 miljonit liitrit aastas on tootmiskulud ühe liitri bioetanooli kohta väiksemad vastavalt 9 % nisu tooraine ja 13 % suhkrupeeditooraine kohta kui tehases võimsusega 50 miljonit liitrit aastas. Samas näidatakse, et bioetanooli tootmine nisust on odavam, kui suhkrupeedist. Teraviljast bioetanooli tootmisprotsess on tegelikult komplitseeritum ja kallim kui suhkrupeedi oma. Suurem on elektri ja soojuse kulu. Suhkrupeedist bioetanooli tootmise teeb kalliks suur tooraine kadu hoidmisel. Suhkrupeet on vaja töödelda vähemalt 90 päeva jooksul. On märgitud, et Ameerika Ühendriikides, kus bioetanooli toodetakse maisist on nii tooraine, kui ka tootmiskulud märgatavalt väiksemad, kui Saksamaal.

Hollandi firma BTG bioetanooli hinna analüüsil võeti nisu hinnaks 14 EUR/tonn ja suhkrupeedi hinnaks 26,2 EUR/tonn. Bioetanooli tootmise kaasprodukt loomasööda näol vähendab tooraine hinda. Nisust etanooli tootmisel on kaasproduktiks kuivatatud destilleerimisjääk, suhkrupeedist bioetanooli valmistamisel peedimassipulp. Analüüsi tulemused on tabelis (Tabel 17)

Tabel 17. Bioetanooli tootmiskulud EL

Parameeter	Bioetanool nisust		Suhkrupeedist	
	EUR/l	EUR/GJ	EUR/l	EUR/GJ
Biomass	0.40	18.9	0.26	12.3
Kaasprodukti (koogi) hind	0.15	7.1	0.03	1.4
Kokku tooraine	0.25	11.8	0.23	10.9
Bioetanooli tootmine	0.28	13.3	0.22	10.4

Parameeter	Bioetanool nisust		Suhkrupeedist	
	EUR/l	EUR/GJ	EUR/l	EUR/GJ
Segamine bensiiniga	0.05	2.4	0.05	2.4
Veokulud	0.01	0.5	0.1	4.7
Hind tanklas	0,59	27,9	0,6	28,4

Allikas: BTG Biomass Technology Group 2004

Ühes teises bioetanooli tootmise uurimuses analüüsitakse võrdlemisi suurt - 132 000 m^3/aastas - bioetanooli tootmist Saksamaa tingimustes (vt Tabel 18). Kuigi hinnad on vanad, on olulisem saadava etanooli sõltuvus toorme (lähtekultuuri) hinnast.

Tabel 18. Bioetanooli tootmine taliviljadest, hinnad 2000. aasta Saksa markades

Kultuur	Tritik	Talinisu	Talirukis
Hektarisaak, t/ha	4.3-9.1	2.9-7.6	5.4-7.6
Tootmiskulud, DEM/ha	851-1403	887-1514	1069-1312
Bioetanooli saagis, l/ha	1968-4203	1279-3453	2275-3435
Bioetanooli hinna tooraine osa, DEM/l	0.31-0.54	0.38-0.85	0.35-0.60
Bioetanooli tootmishind, DEM/l	0.40	0.40-0.42	0.43
Bioetanooli hind, DEM/l	0,71-0,94	0,78-1,27	0,78-1,03

Vaatamata sisendite erinevusele, on saadava etanooli hinnad küllaltki sarnased.

Ülalkirjeldatud analüüsis polnud arvestatud proteiinirikka bioetanooli tootmisjäägi realiseerimist loomasöödaks või utiliseerimist muul viisil. Jäägi realiseerimisel loomasöödana tuleb ta kuivatada, mis on üsna energiamahukas.

Bioetanooli toodetakse tehases kogumaksumusega 1,75 10^8 (DEM 2000).Tehase tootlikkus on 400 m^3 päevas, tehas töötab aastas 330 päeva. Teraviljavajadus on 1 141 tonni päevas.

Bioetanooli tootmishind on püsiv. Sellest moodustab 27,4 % kapitali hind; 20,3 % tööjõud, juhtimine ja hooldus; 21,6 % ensüümid ja kemikaalid; 5,5 % elekter; 25,2 % kasutatav veeaur.

Lurgi AG on väljatöötanud bioetanooli tootmise, kus tootmisjääkidest toodetakse biogaasi, mida kasutatakse energia- auru ja elektri tootmiseks.

Bioetanooli tehas 160 000 t/aastas (200 miljonit liitrit aastas).

Tootmisel saadakse	Tooraine/jäägid
Etanool, 20 t/h	Teravili, 70-75 t/h
Süsihappegaas, 20.5 t/h	Vesi, 45 t/h
Puskariõli, 0.3 t/h	Gaas, 0.1-0.3 t/h
Tehniline alkohol, 1.1 t/h	Jääkvesi, 10.3 t/h
Aur, maks 100 t/h (3 baari)	Aur, 77 t/h
Elekter, 20 MW	Kemikaalid 0.5 t/h
Väetis, 10.5 t/h	

Saksa firma Vogelbusch GmbH, mis valmistab bioetanooli tehaste seadmeid arvab, et majanduslikult minimaalne tehase võimsus on vahemikus 100 000 – 300 000 liitrit päevas. Vogelbusch tehnoloogia võimaldab tooraine keskmise tärklise või suhkrusisalduse puhul toota

1000 liitrit etanooli 2300 kg maisist; 2800 kg nisust; 10 000 kg suhkrupeedist. Investeering 300 000 liitrit/päevas tehasele sõltuvalt infrastruktuurist on 40 – 50 miljonit eurot.

Soome firma Bioetanooli OY I põlvkonna bioetanooli tehase (Punkaharjul) tehnilised andmed:

Tooraine – Ida-Soome oder – 250 000 t/a;

Etanooli toodang – 82,5 mln l/a ehk 82 500 m^3/a;

Valgurikas loomasööt DDGS (RES direktiivi kohaselt praagast valmistatud loomasööt) – 102 300 t/a;

Süsinikdioksiidi – 39 600 t/a;

Elektri toodang – 6,3 GWh/a;

Töölisi

tehases – 40;

ümberkaudsetes valdades – 5000 (põllumehed ja teenindav personal);

Kogumõju – 500 aastaringset töökohta.

Arvutusi Eesti kohta (ESTONIAN BIOETHANOL. Feasibility Study. 4 March 2011. SWECO).

Planeeritav I põlvkonna bioetanooli tehas toodanguga 100 000 tonni (123 460 m^3) aastas. Toormena kasutatakse rukist (60 %), nisu ja tritikalet kumbagi (20 %). Eeldatakse, et 60 % toormest hangitakse Eestist ja 40 % imporditakse.
Toodang: 99,70 % alkohol, < 0,3 % vesi;
Tootmisvõimsus: 100 000 t/a, 12,5 t/h;
Käitamise aeg: 8 000 h/a;
Asukoht Eesti Elektrijaam, Auveres;
Arvutuslik KHG heite vältimine on 52,2 % kuni 65,8 %, sõltuvalt, milliseid andmeid kasutatakse. KHG vältimises on arvestatud Eesti eesmärkidega, heite vähenemine vähemalt 35% (2017 50%, 2018 60%).

- Tehase investeeringu kulu kokku 83 000 000 € (hälve +/- 15%);
- Muutuvkulud aastas kokku - 67 717 150 €/a 677,2 €/t EtOH;
- Püsikulud kokku - 111 000 €/a 1,1 €/t EtOH;
- Müügitulu - 85 500 400 €/a;
- Tasuvus – 6,83 aastat;
- NPV – 8 794 188;
- Kasumi indeks 1,116;
- IRR – 12,7%.

Tasuvus on väga tundlik bioetanooli ja toorme hinna suhtes, kuid mitte nii tundlik investeeringu maksumuse suhtes. Tehase võimsus 100 000 t/a on Baltimaade turule isegi suur, osa toodangust tuleks eksportida Euroopa turule, peamiselt Skandinaavia maadesse. Eesti bensiini tarbimine on olnud umbes 400 000 t/a, kuid Soomes näiteks 2 500 000 t/a. EL riikide bioetanooli tarbimine kasvab eeldatavalt tugevalt ja oleks umbes 20 mln m^3 aastaks 2020.

Teise põlvkonna ehk lignotselluloose etanooli tootmise majanduslikud aspektid

Eespool toodust järeldub, et okaspuude puidust võib hüdrolüüsi meetodiga saada 150 – 180 kg 100 %-list etüülpiiritust 1 tonni absoluutselt kuiva puidu kohta. Süngaasi katalüütilise

töötlemisega on etanooli saagiseks saavutatud 258 kg/t kohta, maksimaalne võimalik saagis on katalüüsi kasutamisel 328,5 kg/t. Mikroorganismide vahendusel on saagiseks saadud 224 kg/t. Puidu hüdrolüüsil saadava etanooli kogus võrreldes süngaasist toodetuga on väikesem eelkõige seetõttu, et ligniini osa jääb kasutamata. Hüdrolüüsitud puidust saadava etanooli kogus on väikesem ka seetõttu, et osa saadud suhkrutest kasutatakse mikroorganismide (pärmi) paljundamiseks ja nende ainevahetuse vajaduste katteks. Samal põhjusel on ka süngaasist etanooli bioloogilise tootmise korral saagis madalam, kuid seda kompenseerib osaliselt lisandite lubatavus puhastatud gaasis.

Etanooli tootmine puidu hüdrolüüsil on suured energeetilised kulutused, mida saab osaliselt kompenseerida ligniini põletamisega. Puidu gaasistamisel ja etanooli tootmisel tekib aga soojusenergia ülejääk, mida on võimalik muuks otstarbeks kasutada (näiteks elektrienergia tootmiseks). Süngaasist vedelkütuse tootmise seadmete kompleksi maksumus on suur, kuid tehnoloogia on kiirelt edasi arenev. Eestis puuduvad sel alal tehtud uuringud ja kogemused. Lähipiirkondadest on biomassi gaasistamise tehnoloogiaga tegeletud Soomes Lahti elektrijaamas.

Hollandi ECN uuringutes selgitati teise põlvkonna bioetanooli tootmise sisendite, väljundite ja efektiivsuse analüüs ning saadi tabelis 19 esitatud tulemused, võrreldakse erinevaid tooraineid (rohi, paju, nisuõled).

Tabel 19. Tooraine ja energiavajadus aastas 156 000 tonni teise põlvkonna bioetanooli tootva tehase tarbeks.

Table 1.
Summary of mass- and energy balance for a 156 kton/year bio-ethanol plant. [1]

	Verge grass	Willow tops	Wheat milling residue
Feedstock composition:			
- (Hemi)cellulose (wt.%) 61		75	82 [1]
- Lignin (wt.%)	21,5	23	0
- Other organics (wt.%)	10,5	0,5	18 [2]
- Ash (wt.%)	7	1,5	0
Feedstock (kton/year)	1295	1110	939
Gross water consumption (l/l ethanol) 54		46	28
Energy efficiency [3]			
- Ethanol (% LHV)	40	47	55
- Electricity [4] (% LHV)	15	15	12
- Total (% LHV)	56	62	68

1) Including 20% starch. 2) Protein. 3) Net energy output. Internal steam and electricity consumption are fully covered by CHP of non-fermentable biomass fractions. 4) Surplus electricity supplied to the grid.

Põhilised omahinda mõjutavad probleemid:

- veevajadus suureneb, võrreldes tavatootmisega neli korda,

- kapitalikulu osa tõuseb tootmiskuludes 31-36% tasemeni,
- konkureerimaks tärklisepõhise tootmisega on vajalik investeeringukulude 30% ja tsellulaasi protsessis kasutatavate ensüümide hinna edasine langus.

Tabel 20. Teise põlvkonna bioetanooli omahinna arvestus Hollandi näitel

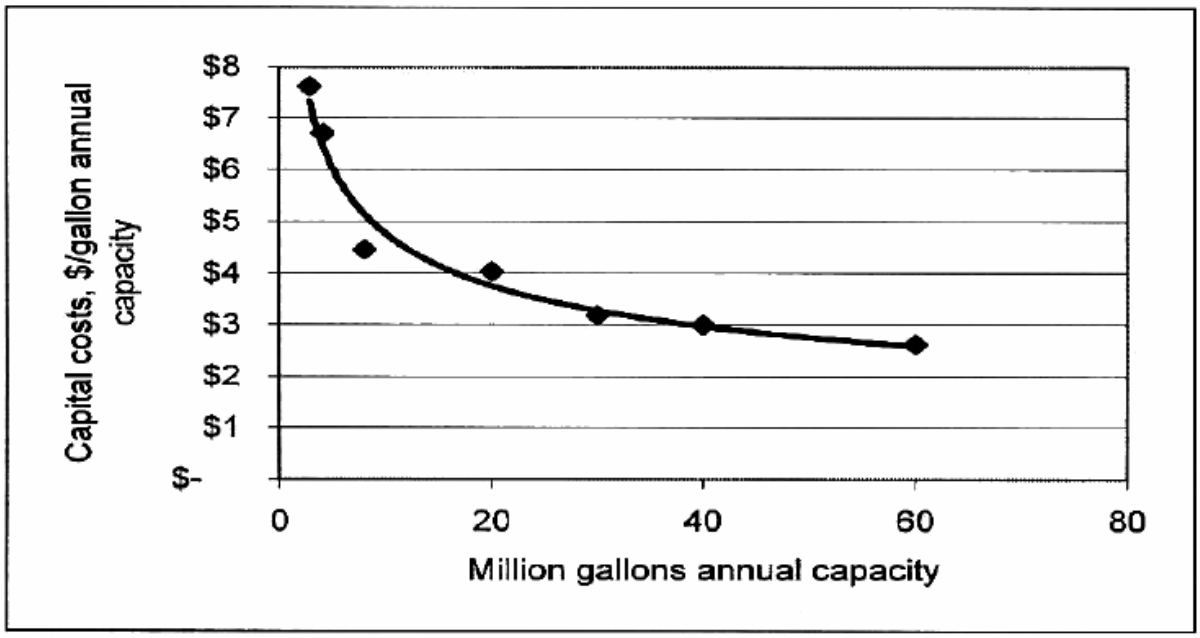
Table 2. Summary of economic evaluation for a 156 kton/ year bio-ethanol plant (IRR 15% over a period of 15 years).

	Verge grass	Willow tops	Wheat residue
Feedstock (€/ton d.w.)	20	70	80
Total investment (M€)	313	285	235
O&M costs			
- Feedstock (M€/year)	13	39	38
- Cellulase (M€/year)	102	97	59
- Others [1] (M€/year)	19	14	11
- Total (M€/year)	134	149	108
Ethanol production cost			
- Feedstock (€/l)	0.06	0.19	0.19
- Cellulase (€/l)	0.51	0.48	0.30
- Other O&M (€/l)	0.09	0.07	0.06
- Capital (€/l)	0.37	0.34	0.28
- Gross ethanol price (€/l)	1.04	1.08	0.82
- Electricity [3] (€/l)	-0.11	-0.10	-0.07
- Net ethanol cost (€/l)	0.92	0.99	0.75

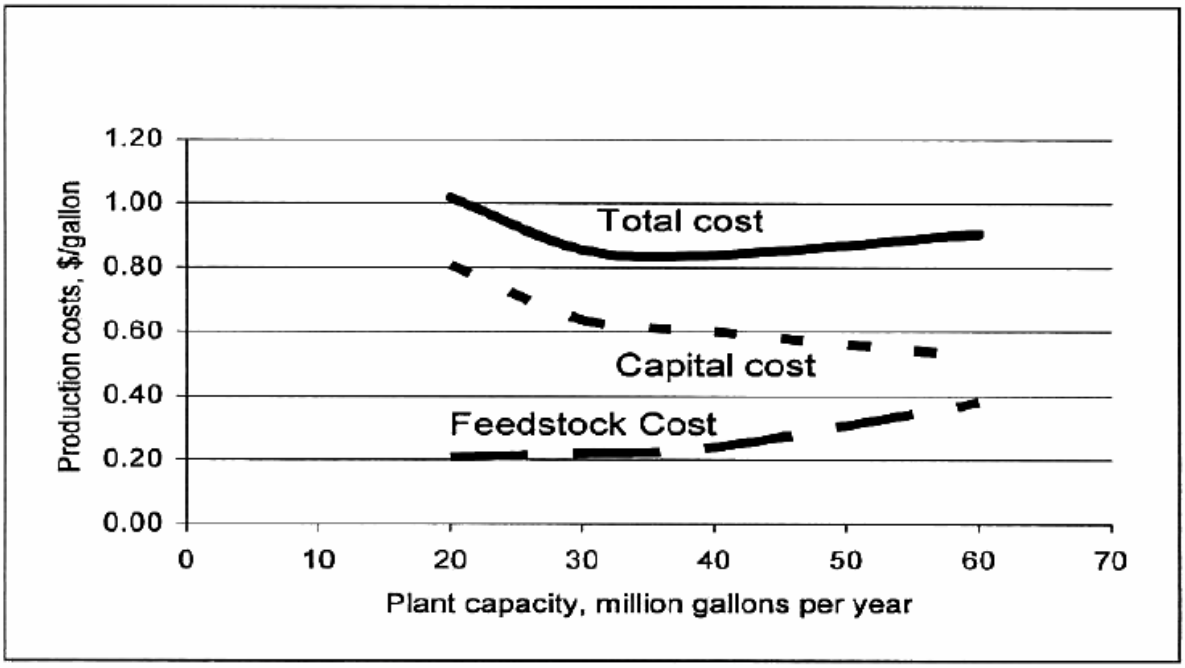
Analüüs näitas jällegi parima omahinna nisukõrrel, 0,75 EUR/l, puidujäätmetel 0,99 EUR.

Prantsuse E-85 bensiini hinnatasemete arvestuses ei ole teise põlvkonna tootmise hinnatase esimesega siiski konkurentsivõimeline, sest seal on müügihind tavaliselt kütusetehasele 0,5 EUR liitri kohta fikseeritud hinnaga lepingutes. Teise põlvkonna odavaim müügihind kujunes 0,82 EUR liitrist, arvestades elektri ja sooja koostootmisest saadud efekti.

Allpool on esitatud mõningate USA-s teostatud majanduslike analüüside andmeid (Joonis 11 ja 12).



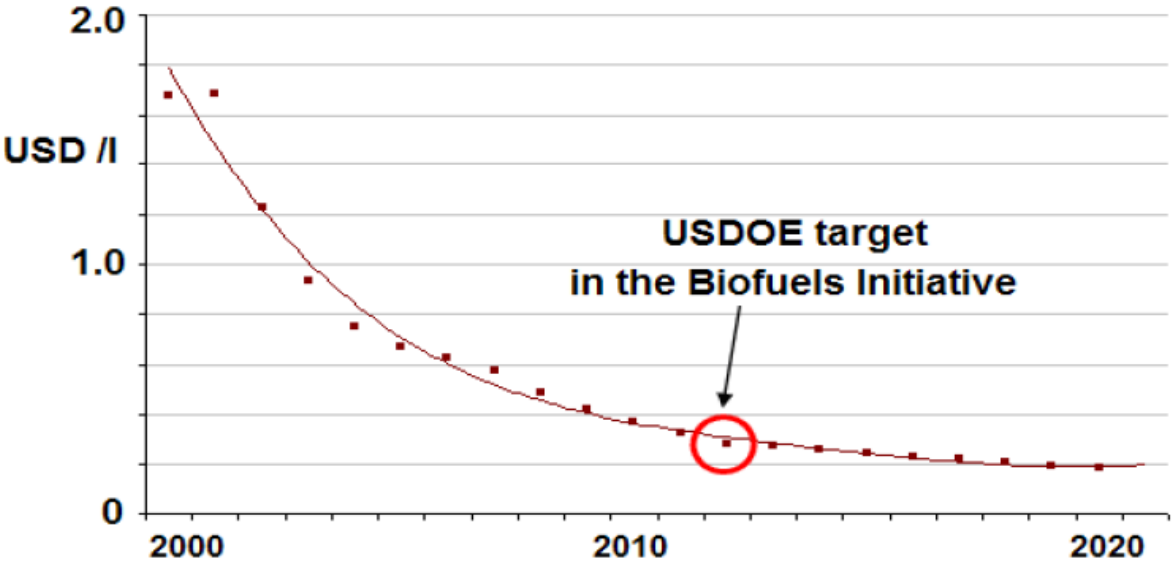
Joonis 11. Kapitalimahutused dollarites sõltuvalt aastatoodangust. Märkus: 1 US gallon = 3,785412 liitrit (nt: 3 USD/gal ≈ 0,61 €/l)



Joonis 12. Galloni toodangu omahinna sõltuvus dollarites sõltuvalt aastatoodangust

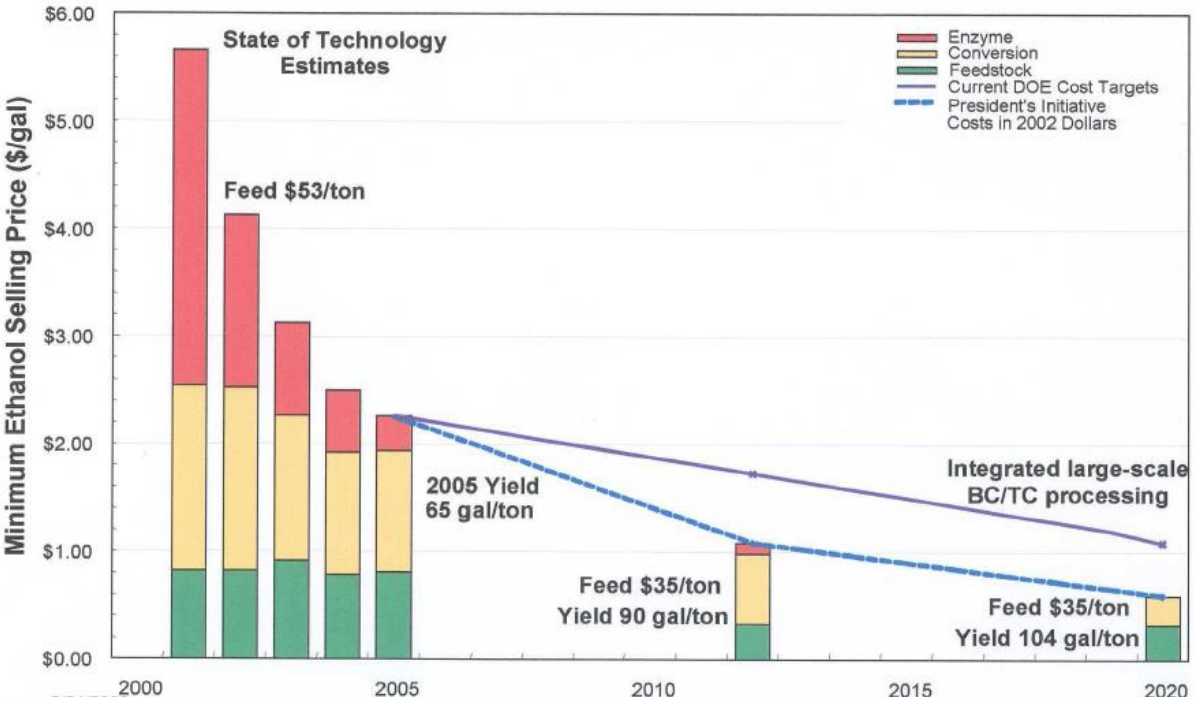
Esitatud andmete kohaselt on lignotselluloossest toorainest etanooli tootmise optimaalne maht ca 35 mln gallonit aastas (106 000 t/a).

USA energeetika ministeeriumi (US DOE – *Department of Energy*) prognooside põhjal langeb aastaks 2020 II põlvkonna bioetanooli hind märgatavalt (Joonis 13).

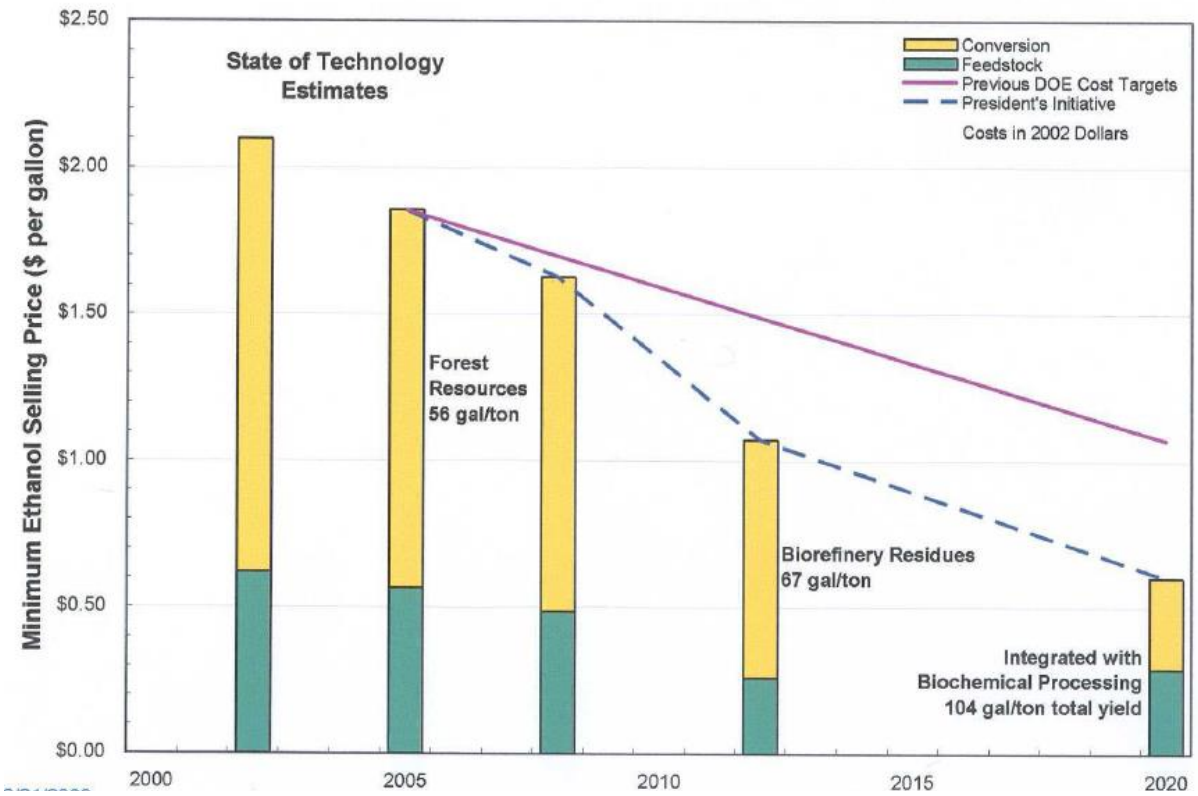


Joonis 13. II põlvkonna bioetanooli tootmishind USAs (USDOE eesmärk aastaks 2012 ja prognoos aastaks 2020), (koostatud aastal 2007).

Allpool on toodud prognoosid ensümaatilise hüdrolüüsi ja biomassi gaasistamise tehnoloogiate arenduste mõju bioetanooli hinnale (Joonis 14 ja 15).



Joonis 14. Hinnaprognoos ensümaatilise hüdrolüüsi tehnoloogiale (müügi hind 1 USD/gal ≈ 0,21 €/l).



Joonis 15. Hinnaprognoos termokeemilisele tehnoloogiale

Kokkuvõte

Lignotselluloossest toorainest etanooli tootvad tehased eksisteerivad alates 2007. aastast peamiselt kas piloot- või demonstratsioonseadmete tasemel. 1990. aastatel Venemaal, Valgevenes ja Leedus töötanud lahja väävelhappe tehnoloogiat kasutanud etanooli tootvad hüdrolüüsitehased on pankrotistunud ilma riigipoolse toetuseta ja oma töö lõpetanud. Hüdrolüüsitehastes saadava etanooli omahind ja kvaliteet oli halvem kui põllumajanduslikku tooret kasutavate piiritusvabrikutes.

Põllumajanduslikust toorainest toodetava absoluutse (100 %) etanooli omahinnaks oli Eestis ühe 2009. aasta uuringu kohaselt arvestatud 9,5 EEK/liiter (0,61 €/l) ehk 12,04 EEK/kg (0,8 €/kg). Arvestades sööda kvaliteedis oleva teravilja kokkuostu hinda, mis oli keskmiselt 1,6 EEK/kg (102 €/t), kuluks 1 l etanooli tootmiseks teoreetiliselt 3,6 EEK (0,23 €) eest toorainet. Toorme sisendhindade muutumisel jäävad proportsioonid enam-vähem endiseks. Eestis kasutusel oleva tehnoloogia kohaselt moodustavad suurema osa piirituse tootmise hinnast energeetilised kulutused tootmisprotsessile – virde steriliseerimine ja meskist etanooli destilleerimine. Teravilja omahind ja ka selle töötlemine etanooliks, sõltub naftasaaduste hinnast maailmaturul. Teravilja baasil töötav bioetanooli tehas võib anda püsivat tööd farmeritele ning võtta kasutusele sööti jäänud põllud, kuid see ei taga energeetilist sõltumatust.

I põlvkonna bioetanooli keskmiseks hinnaks võib edaspidistes kalkulatsioonides lihtsuse mõttes võtta 0,5 €/l ilma maksudeta.

Arvestades etanooli saagiseks 180 kg 1 tonni absoluutselt kuiva puidu kohta, tuleks 120 000 tonni etanooli tootmiseks kaasaegset hüdrolüüsiprotsessi kasutades varuda 670 000 absoluutselt

kuiva hakkpuitu. BlueFire Ethanol Inc. 57 000 tonni etanooli tootva kontsentreeritud happe hüdrolüüsi kasutava tehase maksumus on ligikaudu 100 mln USD. Tootmise käigus tekib hulgaliselt kõrvalprodukte, mille utiliseerimine eeldab lisatöötlust sekundaarseteks toodeteks. Ensümaatilise hüdrolüüsi variandis on edukas SunOpta tehnoloogia, kuid ainult lehtpuidust toorme kasutamisel. Energiavõsa kasutamise kohta ensümaatiliseks hüdrolüüsiks andmed on puudulikud, kuid energiavõsa moodustubki lehtpuidust.

Häid tulemusi on saadud ka Jaapanis 2005 aastast Chugocu tsentris tegutsevas Biomassi Tehnoloogia Uurimiskeskuses tselluloosi ensümaatilisel hüdrolüüsil 100 % glükoosi väljatulekuga peale hüdrotermilist töötlust 230-260 °C juures äädikhappe ja etanooli juuresolekul ning sellele järgnevat mehaanilist töötlust kuulveskis. Saada olevail andmeil tundub kõige paljulubavam teise põlvkonna bioetanooli tootmisprotsess gaasistamisega. 120 000 tonni etanooli tootmiseks aastas oleks vaja varuda 466 000 t absoluutselt kuiva puitu. Range Fuels Inc. bioetanooli tehase rajamine Georgiasse võimsusega kuni 120 000 t läks maksma 190 mln USD. Saksa firma CHOREN Industries GmbH poolt valmimisjärgus diiselkütuse tehas puidutoorme baasil. CHOREN kasutab syngaasi tootmiseks täiustatud tehnoloogiat, kus kasutatakse gaasistamisel tekkinud tõrva täiendava koguse süngaasi tootmiseks. Välja töötamisel on mitmeid puidu gaasistamise tehnoloogiaid, mille eeliste väljaselgitamine kuulub tulevikku. Mootorikütuseks kasutatava etanooli või diislikütuse tootmise organiseerimisega puidu toormest võiks Eestis tõsiselt alustada pärast ehitusel olevate kommertsiaalsete bioetanooli ja biodiisli tehaste töötulemuste analüüsi. Puidu gaasistamisel saadava vedelkütuse positiivse momendina tuleb esile tuua soojusenergia ülejääki, mida saab kasutada elektrienergia tootmiseks ja kaugküttes. Märkimist väärib ka paberitööstustega seotud Soome firmade kasvav huvi vedelkütuse tootmiseks puidutöötlemise jääkide paremaks ärakasutamiseks. Puidust vedelkütuse tootmise kaasaegsed tehnoloogilised seadmed on küll kallid, kuid puidu kompleksse kasutamise osas oleks riiklike vahenditega vaja sellele enam tähelepanu pöörata taastuva tooraine kasutusele võtul transpordi ja linnade energiamajanduse arendamiseks ning puidu töötlemisel tekkivate jäätmete utiliseerimisel.

LISA. Täiendav materjal

Biomassi varud Eestis, võrreldes teiste EL liikmesriikidega ja eriti arvestuses elaniku kohta, on erakordselt suured. Eestit on harjutud kirjeldama kui väga väikest riiki, mida ta oma 1,2 milj. elanikuga ka on. Samas on tema territoorium suurem kui Taanil või Hollandil (17 mln elanikku), mis tähendab rikkaliku ja mitmekesise biomassi olemasolu. Seni on enamasti antud otstarbel töödeldud puitu kuid suhteliselt suuremahulisest pelletitööstuse toodangust enamus eksporditakse ja ka hakkepuidust kasutatakse energia tootmiseks kohapeal suhteliselt vähe. Kõrge on kodumajapidamistes küttepuude kasutamise osa. Üldiselt aga „säästlikkuse kriteeriumidele“ vastava puidumassi suurendamiseks ressurssi napib, ehkki eksporditakse ca 70%toodetud puidust.

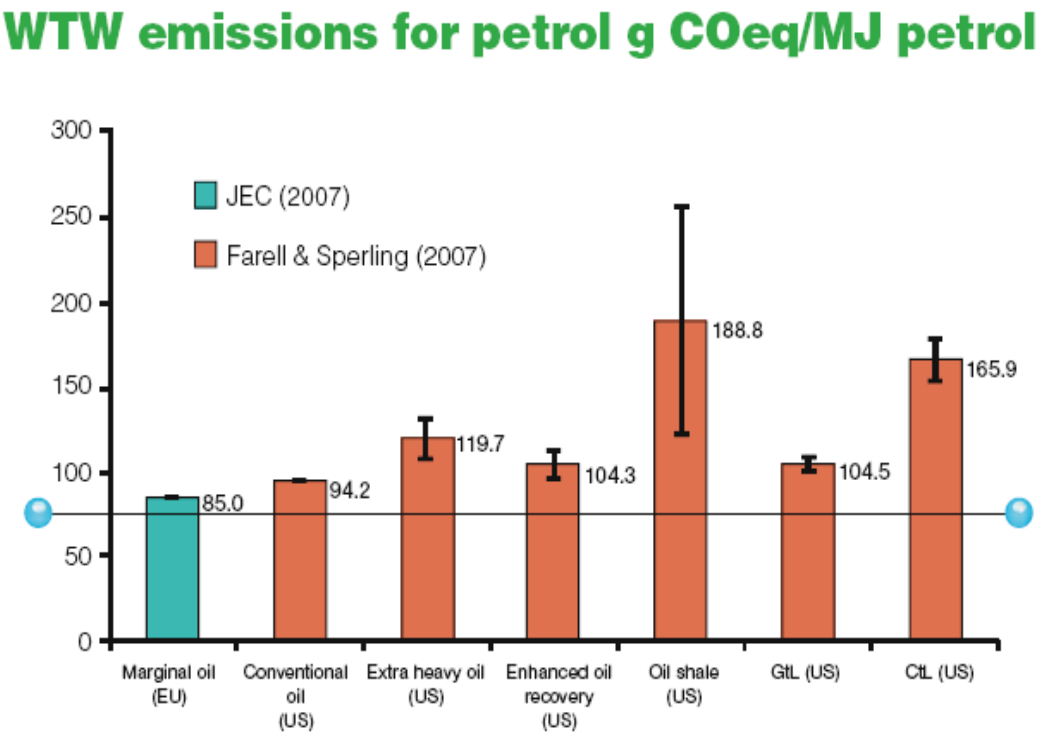
Arvestuslikult palju rohkem on kasutamata põllumajanduslikku päritolu biomassi. Keskkonnatoetustega niidetavate rohumaade ja luhtade biomassi praktiliselt ära ei kasutata. Haritavat maad elaniku kohta on 2,2 korda rohkem kui EL 15 liikmesriikides ja registrites põllumaad 1,7 korda rohkem (BAK). Täna on need kas äärmiselt ekstensiivselt kasutatavad või osaliselt kuni 10 aastat söötis. Vastava ressursi olemasolu on konstateerinud ka NREAP, mis on Eestipoolne rakenduskava RES-D direktiivile.

Olulist segadust biomassi kasutusega vastavuses RES nõuetega on põhjustanud teatav puidu ja põllukultuuride energeetilisel otstarbel kasutamise defineerimatus. Täna on küll aru saadud, et lageraie ümarpuidu osa vastab primaarmetsa definitsioonile ja ei ole kasutatav energeetilisel otstarbel. Seoses IPCC, EL LUC ja ILUC faktorite keerukusega ülevõtmisel ja defineerimisel pole päris selge, mis on kasutatav. Üldpõhimõtete alusel on:

- Raiejäätmete, tööstusjäätmete ja olmejäätmete puit, lammutuspuit ja puidust ehitusjäätmed töötlemata ja töödeldud kujul. Nimetatud artiklite suurim reserv on raiejäätmed kändude ja okste parema ärakasutamise näol. Skandinaavia praktika ühest ületoomist segab kohalike metsade pehmem pinnas.
- Sanitaar- ja harvendusraiete või maastikke avavate võsaraiete puit kas kuivanud, haigete või kuni 10 aastase kasvuringiga taimede näol töödeldud ja töötlemata kujul. Täna on näiteks Soomega võrreldes Eestis taolise puidu kasutamist energeetikas ja üldse ülestöötamist seganud tema kõrgem omahind kui harvesteriga mehhaniseeritud metsalangetamisest tuleneva puidu hind. Soomes nimelt toetatakse taolise puitmassi varumist, meil ainult kWh alusel elektri tootmist taolisest toormest.
- Põllumajanduslikel kõlvikutel viljelemiseks sobivad samuti kuni 10 aastase kasvuringiga taimed. Samuti on maakasutuse muutustest (LUC), arvestatavad pinnase süsinikusidumise vabastamise määrad (*carbon stock*) 0 kui maa on kasutuses olnud põllumajandustootmiseks viimati vähem kui 10 aastat tagasi.

Täpsustus: Viimases punktis mainitud kultuuride kasutamiseks energiatootmiseks (näit. päideroog, energiahein, energiavõsa, põhk jne) puudub täna eksisteeriv turg. Kui vaadelda tasuvust põllumajandustootmise vaatevinklist, siis on taoliste mitmeaastaste kultuuride viljelemine põllumaadel täiesti ebarentaabel. Seevastu on huvi toidu ja söödavilja turgude piiratuse tõttu suurendada etanoolikultuuride (teravili) või õlikultuuride nagu raps tootmist. Taoline mahu suurendamine võimaldab tegelikult mitte piirata toiduvilja kogust, millel on kõrgemad kvaliteedinõuded, vaid selle pakkumist suurendada, kuna kvaliteedile mittevastava toote saab realiseerida uuel turul.

Mootorikütuste Kvaliteedi Direktiivi (FQD) kui RES-D eriosa seaduse ja selle rakendusaktide mõjud transpordikütuste turu kujunemisele omavad taastuvenergeetika arengus olulist koosmõju eelkirjeldatud biomassi säästliku kasutamise nõuetega.



Joonis 16. Erinevate fossiilkütuste CO_2 sisaldus g CO_2/MJ,esimene tulp põhjamere BRENT nafta, teine konventsionaalne nafta (Urals, WTI), uus Euro 5 kvaliteediklassi liinjoon 83,8 g CO_2/MJ. WTW – *well-to-wheel.*

Nõutud liinjoone saavutamiseks on FQD dekarboniseerimise mehhanismi kohaselt kaks võimalust.

1. Vähendada fossiilkütuste endi tootmise KHG heitmeid WTW (*well to wheel*) arvestuses, milleks naftatootjate esitatud arvamuste järgi on olematud või väga marginaalsed võimalused (*upstream*)
2. Segada fossiilkütust biokütusega, kuid mitte mahuliselt, vaid arvestades biokütuse enda WTW analüüsi alusel saavutatud, nõuetekohaselt tõendatud CO_2 sisaldusega kuni taseme saavutamiseni segus (*downstream*) (Joonis 16).

Seejuures on lubatud kütuste otsene segamine aktsiisiladudes (*direct blending*), enne tarbimisse suunamist või ka bensiini müügil.

Nii on uuringutes Eesti kohalikust teraviljast nõuetekohaselt toodetud bioetanooli CO_2 sisaldus massbilansi WTW arvestuseks saadud energiatarbimise põhjal, kõrvaltooteid arvestades, 28,85 g CO_2/MJ kohta. Võrreldes uue standardi liini tasemega 83,8 g CO_2/MJ on sääst 65,6%(RES-D nõuab 60% uutes tehastes alates 2017.a.). Praeguste,35% säästuga biokütuste CO_2 sisaldus on ca 43 g CO_2/MJ kohta. Nendega kuni 10% mahus segus on võimalik näiteks 94 g CO_2/MJ sisaldusega konventsionaalsest naftast toorbensiini segades saada nõuetekohane kütus.

Esimese näite biokütust (Eesti) tuleb aga mahus vähem segada, mis annab taolisele efektiivsemale dekarboniseerivale tootele hinnaeelise.

Standardseid mootorikütuseid kuni 10% etanooli segus müüakse jaekaubanduses tavalise bensiinina, mida üldjuhul küll nimetatakse E10, vana standard siis E5. Soome ja Saksamaa läksid E10 standardile senise mark 95 asemel üle kohe 01.01.2011. Kuni 01.01.2017 müüakse tanklates ka E5 kvaliteedis bensiini, kuid senise 98 bensiinina.

Eesti Euro 5 kütuse standardile üle ei ole läinud. Viimati nimetatud tähtaeg on 2013. aasta. Varem kui 01.01.2010 Euroopas müüdud sõidukid ei olnud kohaldatud kõrgematele etanoolisegudele kui E5. Sellepärast ka vana standardi kütuse pikk müügiloleku kohustus (2017). Alates 2010 müüdavad sõidukid on kohaldatud E10 segule mahus. Biodiislikütus pole aga erinevalt etanoolist (EtOH), stabiilne keemiline ühend vaid taimeõlidest toode, mille taimerasvade hulk võib oluliselt kõikuda. Seetõttu FAME baasil kõrgemaid küttesegusid kui B7 diisel, kasutada ei saa ja enamiku uute diiselsõidukite garantiitingimused ei võimalda üldse biodiislikütuse kasutamist. Uued, väiksema CO_2 sisaldusega bioetanoolid võimaldavad aga peale 2017. aastat segus Euro 5 ja 6 standardid saavutada fossiilkütuses 4-5% sisaldusega, sobides ka vanematele sõidukitele.

Täiendav võimalus kasutada kõrgema sisaldusega biokütuseid, kui 10% mahus, on tehniliselt võimalik kohaldatud FFV, ehk sõltumatu kütusekasutusega sõidukites. Mõningane mootori regulatsioonide ja küttesüsteemi modifitseerimine võimaldab automaatselt, ilma vahepealse ümberlülituseta sõita kõigi tavabensiinidega ja biobensiiniga, milles dehüdreeritud etanooli maht moodustab kuni 85%. Taolisi segusid saab müüa bensiinina kuid üle 10% mahus eraldi püstoli ja vastava märgistusega. Rootsis näiteks on taolise „sõltumatu“ sõidukipargi arv ületamas 400 000 sõiduki piiri. Eestis peaks neid olema registris sadakond ja „Statoil Eesti“ müüs neljas teenindusjaamas ka E-85 bensiini, kuni 01.07.2011. aastani kehtinud biokütuste aktsiisivabastus lõpetati ja biokütused maksustati liitri baasil sama aktsiisimääraga, mis naftast mootorikütused. Kokkuvõtvalt annab see otsese eelise naftakütustele. Põhjuseks on kütuste erinev kütteväärtus liitri kohta (vt allpool).

Bensiin	32 MJ/liiter
Bensiin segus 5% etanooliga	31,5 MJ/liiter
Etanool	21 MJ/liiter
E-85,85%etanool	22,7 MJ/liiter

Seega on sama vahemaa läbimiseks E-85-ga vaja teoreetiliselt 1,41 korda rohkem etanoolbensiini kui naftabensiini (32:22,7=1,41). Bensiini omahind 45-50 s/l, lisanduvad maksud.

Praktikas testiti toodud kulu FFV autodel nelja aasta jooksul BEST programmis erinevates riikides ja veel varem Concave´i testidel 3 aasta jooksul. Tulemuseks saadi vahe 1,14 kuni 1,4 korda erinevatel sõidukitel juhtidel jne. Täpse põhjuse väljaselgitamiseks viiakse läbi täiendavaid uuringuid. Sellele vaatamata on Rootsis E-85 aktsiisimäär 1,41 korda liitrilt madalam kui fossiilbensiinil. Paremat kokkuhoidu tõlgendatakse säästliku kasutaja kasuna.

EL uus kütuseaktsiisi direktiiv, välja antud peale FQD jõustumist, näeb samuti ette aktsiisimäärade vastavusse viimist nende kütteväärtusega liitri kohta, et mitte võimaldada biokütuste diskrimineerimist mahu alusel. Eesti kütuseaktsiisi seaduse praeguste aktsiisimäärade alusel tuleks välja, et kütusemüüjate kulud säästlike biolisandite kasutamisel kasvavad. Kindlasti ei soosi selline olukord kõrge biokütuse sisaldusega bensiinide nagu E-85 või talvel sageli kasutatav E-45 kasutamist transpordi heitmete vähendamiseks.

Samas on FQD liikmesriikide suviste keskmiste temperatuuride järgi määranud, et tulenevalt mootorite surveastme tõusust kõrgetel temperatuuridel ja sellega kaasneva täiendava aurustumise vältimiseks kasutatakse kogu EL tolliterritooriumil E-10 mahus küttesegusid. Kõrgemad segud, nagu E-85 on lubatud Põhjamaades, Balti riikides, Ühendkuningriigis ja Iirimaal.

Eestile sobiv bioeetanooli tootmise mudel

Eestis ELi nõuetele vastava bioetanooli (või muude vedelate biokütuste) tootmiseks vajalike tingimuste määratlemisel muutub oluliseks leida parim võimalik tehnoloogiline lahend (*state of the art technology*), määrates majanduslikult vastuvõetav mudel, mis massbilansi asendusmeetodil võimaldab toota säästlikkuse kriteeriumile (praeguseks 60% võrreldes naftakütusega) põhitoode, mille nõuetelevastavus oleks 2008 a. Kemikaalide direktiivi (REACH) vabatahtlikus tõendamismenetluses (kehtib alates 01.01.2011) sertifitseeritav. 2008-2011.a. **Erasektori poolt läbiviidud uuringutega leiab tõendamist, et integreeritult põlevkivienergeetikaga toimib mudel, kus elektri ja soojuse koostootmisel asendatakse osa põlevkivist etanooli tootmisjääkide ning põhuga kui põllumajanduslikku päritolu biomassiga ning jääkauru baasil toodetakse etanooli. Massbilansi arvutused näitavad, et taolise toote CO_2 sääst, võrreldes kütusestandardi normiga 83,8 g CO_2/MJ, on 62-65%. See oleks üks paremaid näitajaid praegu EL territooriumil tegutsevate tootjate lõikes**.

Probleem: Siseriiklikus seadusandluses on kirjeldatud nõudeid üle võetud niivõrd fragmentaarselt, et EL eri direktiive läbivad mehhanismid (nt. FQD mootorikütuste dekarboniseerimise mehhanism), ei ole üldse kirjeldatavad õiguslikult töötava mehhanismina.

Kuna toimiv biokütuste tootmine saab aset leida vaid eri majandussektorite sünergia baasil, on Eesti teraviljakasvatus alates 2009.a. Arendanud põhiliselt Jõgeva SAI ja PÜ Kevili baasil sektori siseste toetuste ning hangetega sordiaretust ning saagikust, saavutamaks toormetootmise tasuvust, milleks Eestis on alampiir 3,5 t/ha, müügihinnaga 190,00 EUR/t. Alates 2012. aastast on oluliselt väiksema põllupinnaga 90-date alguse kogusaagid taastatud ja nimetatud eesmärgid täidetud. **Eesti on muutunud EL bioetanooli tootjatele, nagu Rootsi Agroethanol või Saksa Verbio toorme eksportijaks läbi viljamaaklerite tegevuse. Puudub aga kohapeal viljakasvatuse biomassina täielikuma kasutamise ja lõpptoote väärindamise võimalus**. Lisaks on analoogilises situatsioonis Läti põllumajandus, kes oleks huvitatud bioetanooli tootmisest Eestis, kuna Lätis puuduvad eelmises lõigus viidatud Greenfield tüüpi tootmisinvesteeringute võimalused vastava soojusenergeetika puudumise tõttu.

Kriitiline väärtõlgendus

ENMAK 2008.a. tekstis on kõigi ülalviidatud normide ja mehhanismide kirjeldamise asemel viidatud ühe lausega, et: Eesti toetab teise põlvkonna biokütuste kasutuselevõttu. Tegelikult nõuavad EL direktiivid säästlikkuse kriteeriumi täitmist "edasiarendatud biokütustega" ja kasutavad nn teise põlvkonna markeerimiseks terminit "tselluloosipõhine tootmine", andes sellele suuremaid eeliseid kui "edasiarendatutele". Tegelikult on maailmapraktika selline, et tärklisepõhise tootmise (mais ,teravili) olemasolul arendatakse põhu või haljasmassi ärakasutamiseks juurde tselluloosipõhine tootmine. Kääritamise ja destilleerimise protsessid jäävad ikka samaks. Seega tuleb kokkuvõtvalt tõdeda, et ilma nõuetelevastava tootmiseta tärklise baasilt ei ole eeldusi sama biomassi (teravili+põhk) täiendavaks ärakasutamiseks tselluloosipõhise tehnoloogiaga.

Uus ENMAK peaks viidatud probleemis vähemalt selge seisukoha võtma .Küsimus on otseselt seotud laiema probleemiga: kas Eesti hakkab oma ressursside baasil tootma mootorikütuseid või mitte? Kui jah, siis on põlevkivist toodetud diislikütuse ja bensiini nõuetelevastavaks dekarboniseerimiseks kasutatav vedel biokütus bioetanool. Kui ei, siis on bioetanooli tootmine täiendav põllumajanduslikku päritolu biomassi kasutamise võimalus elektri ja soojuse tootmises. Lisaks tekkiva soojuse ärakasutamise võimalus pidevalt töötava tööstustarbijana, kes ekspordib Eestist RBOB ehk destillaatide ja lubrikantide turule biokütuseid aga mitte pelgalt nende

valmistamiseks vajalikku tooret. Põlevkiviõli jääb sel juhul destillaatide turuplatsi sisendisse, nagu nafta, LNG või masuudid.

Probleeme

Kogu probleemistiku hõlmamiseks puudub Eestis tegevus paljudes sektorites, nagu näiteks mootorikütuste tootmine või autotööstus. Vajalik teave tuleb seega vähemalt osaliselt sisse osta. Seni on sellega tegelenud erasektor empiirilisel alusel, sest huvi siseneda uude ja rohelisse sektorisse on suur, kuid kõik, kes on praktiliselt investeerida proovinud, on kõrbenud. Puudu on näiteks viidatud parima võimaliku tehnoloogia määratlemise metoodika ja kohustus, nagu see on Saksamaal või Rootsis. Seega pole aga täidetud ka need võõrfinantseerimise nõuded mida näiteks EIB, NIB ja rahvusvahelised investeerimispangad järgivad. Riiklik programm ja toetused selles valdkonnas puuduvad, kuna keegi pole laiemalt seda küsimust tõstatanudki.

Viimastel aastatel on Eestis hästi arenenud taastuvenergia otsese konverteerimise tehnoloogiad nagu tuuleenergia või biomassi baasil koostootmine (eriti kohalikud soojatootjad). On lisandunud ka jäätmepõletus ning biogaasi kasutamine. Vastavate energiatootmise viiside kohta on igaühel eraldi ka tasemel kasutatavaid uuringuid tehtud. Paraku eksisteerib EL seadustiku suure pildi lünkliku kasutamise tõttu eriti biomassi osas oht tehtavate investeeringute jätkusuutlikkusele. Konkreetselt näiteks 2009/28/ kohtpiirangute (*no go areas*) ja ILUC määratluste alal. Tegemist on löögiga harali sõrmedega. Pealegi osaliselt toetatavate "sõrmedega". Äärmiselt oluline oleks siin siiski saavutada eesmärkide ja tegevuste koondumine mingite poliitikatega. Bioetanool on sektoriteülese nähtusena siin hea indikaator. Investeeringu alustamise peamine risk ongi määramatus juba pidevalt täienevate EL nõuete järgi, mida kahjuks Eesti senised poliitikad on võimendanud, mitte katnud kohaliku sisuga nagu Saksamaal või Rootsis ja Soomes.

Algatuseks võiks kokku leppida põhimõtte; taastuvenergias, eriti transpordikütustes, ei ole ja ei tule "hõbekuuli", võitvat lahendit nagu seni nafta. Tekib suur hulk kohalikes oludes kõige efektiivsemaid ja odavamaid lahendeid, mis arvestavad energiakandjate turgude ja energiatarbijate huvide ja ootustega tasakaalustatult.

Töös kasutatud materjalid

Käesoleva aruande koostamisel kõige enam kasutatud allikad. Lisaks nendele kasutati allikaid, mille viidatakse kasutuskohas tekstis.

1. Eesti Bioetanooli Klaster. Strateegia. Bemixe OÜ / Eesti Energia / Innopolis Konsultatsioonid AS. Tallinn 2009.

2. Rein Reiska. Bioetanool puidust. Õppeaine: KMM0210 « Puiduteadus ». TTÜ. 2010.

3. Biomassi tehnoloogiauuringud ja tehnoloogiate rakendamine Eestis. TTÜ STI, Tallinn 2007.

4. Bioetanooli tootmiseks sobivate teraviljasortide valik ja aretus. Täitjad: M.Koppel, I.Tupits, R.Koppel, A.Ingver, Ü. Tamm, A.Koitjärv . 2008.a. aruanne. TEOSTAJA: Jõgeva Sordiaretuse Instituut

5. U.S. Department of Energy, Biomass ProgramOverview of the RD&D Program. IEA Biofuels Roadmap Workshop. Alicia Lindauer-Thompson (alicia.lindauer-thompson@ee.doe.gov). Paris, France, 15 April 2010.

Kokkuvõte

Puudujäägid, ettepanekud ja soovitused

EL kliimapaketist tulenevad eesmärgid on direktiivide kaudu siduvad ka Eestile. Arvestades, et kliimapaketi osaks on ka bio- ehk taastuvatest allikatest valmistatud kütuste kasvavat kasutamist ja tootmist suunavad regulatsioonid, on Eestil oluline toetada biokütuste kasutuselevõttu suuremal määral. Kuivõrd eeltoodud eesmärgid on siduvad, esitas Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium 1. juuliks 2010 Euroopa Komisjonile Eesti taastuvkütuste tegevuskava. Bioetanooli tehase rajamise soodustamine võiks olla üks jõulisemaid samme, mida Eesti riik EL seatud eesmärkide saavutamiseks teha saab.

Toetusskeemide kaasajastamiseks taastuvenergia tootmiseks on transpordisektorit, kui Eestis perspektiivse biomassi tarbijat, oma ettepanekutes käsitlenud ainult WEC (*World Energy Council*) Eesti. On üldiselt mainitud, et tuleks soodustada kuni 10% küttesegudes biokütuste kasutamist. Kuna see on FQD Euro 5 standardite, autode tüübikinnituste, biomassi käitlemist käsitlevate CEN standardite jne kehtestatud kohustuslik nõue, siis pole taolist kasutamist eraldi mõtet toetada nagu taastuvelektri puhul on. Kui meil endil mootorikütuseid ei toodeta, siis maaletoojad on ju kohustatud importima nõuetekohaseid transportkütuseid ka ilma toetusteta.

WEC Eesti on veel maininud vahetult elektri võrgutoidet kasutavate trollide arendamise otstarbekust. Ilmselt samasse rubriiki kuuluvad BEV uue taristuga Mitsubishi MiEV elektrisõidukid. Siinjuures jääb aga arusaamatuks, miks ignoreeritakse tunduvalt suuremate läbisõitudega HEV ja PHEV ja REV tüüpi elektri jõul liikuvaid sõidukeid. Ilmselt oleks ka Mitsubishi korporatsioonilt läbirääkimistel saanud küsida tunduvalt laiemat mudelivalikut kui üks BEV auto mudel. FFV, CNG või LNG mootorikütuste kasutamisest ei ole aga energiateemade kontekstis üldse räägitud. Samas leidub nende teemade arendajaid.

Küsimuseks on kindlasti ka arenduseks vastava oskusteabe puudumine kohapeal, eriti jälle auto ja kütusetööstuse praktilise puudumise kontekstis. Seetõttu tuleks analüüsida teiste riikide vastavaid kogemusi ja nende ülevõtmise võimalusi ning ohte.

Vajalik teave tuleb seega vähemalt osaliselt sisse osta. Seni on sellega tegelenud erasektor empiirilisel alusel, sest huvi siseneda uude ja rohelisse sektorisse on suur, kuid kõik, kes on praktiliselt investeerida proovinud, on kõrbenud. Puudu on näiteks viidatud parima võimaliku tehnoloogia määratlemise metoodika ja kohustus, nagu see on Saksamaal või Rootsis. Seega pole aga täidetud ka need võõrfinantseerimise nõuded, mida näiteks EIB (*European Investment Bank*), NIB (*Nordic Investment Bank*) ja rahvusvahelised investeerimispangad järgivad. Riiklik programm ja toetused selles valdkonnas puuduvad, kuna keegi pole laiemalt seda küsimust tõstatanudki.

Viimastel aastatel on Eestis hästi arenenud taastuvenergia otsese konverteerimise tehnoloogiad nagu tuuleenergia või biomassi baasil koostootmine (eriti kohalikud soojatootjad). On lisandunud ka jäätmepõletus ning biogaasi kasutamine. Vastavate energiatootmise viiside kohta on igaühel eraldi ka tasemel kasutatavaid uuringuid tehtud. Paraku eksisteerib ELi seadustiku suure pildi lünkliku kasutamise tõttu eriti biomassi osas oht tehtavate investeeringute jätkusuutlikkusele. Konkreetselt näiteks 2009/28/ kohtpiirangute (*no go areas*) ja ILUC (*indirect land use change*) määratluste alal. Tegemist on löögiga harali sõrmedega. Pealegi osaliselt toetatavate "sõrmedega". Äärmiselt oluline oleks siin siiski saavutada eesmärkide ja tegevuste koondumine mingite poliitikatega. Bioetanool on sektoriteülese nähtusena siin hea indikaator. Investeeringu alustamise peamine risk ongi määramatus juba pidevalt täienevate EL nõuete järgi,

mida kahjuks Eesti senised poliitikad on võimendanud, mitte katnud kohaliku sisuga nagu Saksamaal või Rootsis ja Soomes.

Algatuseks võiks kokku leppida põhimõtte; taastuvenergias, eriti transpordikütustes, ei ole ja ei tule "hõbekuuli", võitvat lahendit nagu seni nafta. Tekib suur hulk kohalikes oludes kõige efektiivsemaid ja odavamaid lahendeid, mis arvestavad energiakandjate turgude ja energiatarbijate huvide ja ootustega tasakaalustatult.

Poleks õige panustada vaid mingitele kindlatele projektidele või eesmärkide saavutamiseks, näiteks ainult projektile TE-100, 10% transpordist biometaanil või 20% bioetanoolil. Mingi projektiarendusena on neist igaüks läbi viidav kui piisavalt raha alla panna. Meil on aga juba kogemusi, mis juhtub kui toetusi vähendama või maha võtma hakatakse. ENMAK võiks kõigepealt sõnastada, et mitte kellelgi ei saa olla õigustatud ootust, et tema investeering on riigi poolt eelisarendatav prioriteet, vaid projektid võiksid võistelda ühiskonnale loodavate hüvede alusel.

Eelmises ENMAK 2008.a. tekstis on kõigi ülalviidatud normide ja mehhanismide kirjeldamise asemel viidatud ühe lausega, et: Eesti toetab teise põlvkonna biokütuste kasutuselevõttu. Tegelikult nõuavad EL direktiivid säästlikkuse kriteeriumi täitmist "edasiarendatud biokütustega" ja kasutavad nn teise põlvkonna markeerimiseks terminit "tselluloosipõhine tootmine", andes sellele suuremaid eeliseid kui "edasiarendatutele". Tegelikult on maailmapraktika selline, et tärklisepõhise tootmise (mais ,teravili) olemasolul arendatakse põhu või haljasmassi ärakasutamiseks juurde tselluloosipõhine tootmine. Kääritamise ja destilleerimise protsessid jäävad ikka samaks. **Seega tuleb kokkuvõtvalt tõdeda, et ilma nõuetelevastava tootmiseta tärklise baasilt ei ole eeldusi sama biomassi (teravili + põhk) täiendavaks ärakasutamiseks tselluloosipõhise tehnoloogiaga.**

Uus ENMAK peaks viidatud probleemis vähemalt selge seisukoha võtma .Küsimus on otseselt seotud laiema probleemiga: kas Eesti hakkab oma ressursside baasil tootma mootorikütuseid või mitte? Kui jah, siis on põlevkivist toodetud diislikütuse ja bensiini nõuetelevastavaks dekarboniseerimiseks kasutatav vedel biokütus bioetanool. Kui ei, siis on bioetanooli tootmine täiendav põllumajanduslikku päritolu biomassi kasutamise võimalus elektri ja soojuse tootmises. Lisaks tekkiva soojuse ärakasutamise võimalus pidevalt töötava tööstustarbijana, kes ekspordib Eestist RBOB ehk destillaatide ja lubrikantide turule biokütuseid aga mitte pelgalt nende valmistamiseks vajalikku tooret. Põlevkiviõli jääb sel juhul destillaatide turuplatsi sisendisse, nagu nafta, LNG või masuudid.

Kuna kehtiv Eesti seadusandlus biokütuste kõrgemate segude kasutamist diskrimineerib, kuigi Eesti biomassist olemasolevate parimate tehnoloogiate kontseptsiooni baasil saaks valmistada suhteliselt kõige kõrgemate säästlikkuse määradega biokütuseid ELi territooriumil, siis on praktikas autotööstuse ja mootorikütuste tootmise puudumise tõttu Eestis vaadeldud vaid võimalust eksportida teiste liikmesriikide kütuste dekarboniseerimise kasvavate vajaduste katteks.

Puuduvad ka igasugused taolise tegevuse riiklikud toetusskeemid. On ainult põllumajanduse pindalatoetused viljakasvatajatele kuid need on ha arvestuses tunduvalt madalamad kui vanades liikmesriikides. Eksisteerib MAK toetusena põllukultuuride kasvatamise toetus energiakultuurile. Seal on aga toetuse saamine seotud vähemalt 50% energiakultuurist toodetud biokütuse kasutamise nõudega põllumajandustootja enda poolt, mis pole mõistlik.

Põllumajandustootmise vaatevinklist on mitmeaastaste energiakultuuride viljelemine põllumaadel täiesti ebarentaabel. Seevastu on huvi toidu ja söödavilja turgude piiratuse tõttu suurendada etanoolikultuuride (teravili) või õlikultuuride nagu raps tootmist. Taoline mahu suurendamine võimaldab tegelikult mitte piirata toiduvilja kogust, millel on kõrgemad

kvaliteedinõuded, vaid selle pakkumist suurendada, kuna kvaliteedile mittevastava toote saab realiseerida uuel turul.

Mootorikütuste Kvaliteedi Direktiivi (FQD) kui RES-D eriosa seaduse ja selle rakendusaktide mõjud transpordikütuste turu kujunemisele omavad taastuvenergeetika arengus olulist koosmõju biomassi säästliku kasutamise nõuetega.

Eestisse tehase rajamisel võiks alustada I põlvkonna bioetanooli tootmisega, sest vajalik maa, seadmed ja kogemused on põllumeestel olemas, vilja eksporditakse, millest osa maaklerite vahendusel läheb teadaolevalt välismaistesse bioetanooli tehastesse. Kui seda teha koos põlevkivielektri või põlevkiviõli tootmisega saavutatakse oluline KGH emissiooni vähenemine, kohalikud põllumehed saaksid stabiilselt head hinda vilja eest ja toodetavast bioetanoolist jääks osa Eestis kasutatava bensiiniga segamiseks ka 5 või 10% ulatuses mahust. I põlvkonna etanooli tootmise tehast on hiljem märksa odavam II põlvkonna bioetanooli tootmiseks ümber seadmestada/täiendada kui rajada uus II põlvkonna tehas. Arendatud tehases saaks kääritada nii vilja kui õlgi ja muud lignotsellulooset materjali.

Faktileht

Etanool

Etanool (samuti bioetanool – EtOH) ehk etüülalkohol ehk viinapiiritus (ka piiritus) ehk metüülkarbinool (valemiga CH_3CH_2OH) on üks tuntumaid alkohole.

Etanool põleb, moodustades CO_2 ja vee: $CH_3CH_2OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$ on iseloomuliku lõhnaga kergesti lenduv tuleohtlik vedelik, seguneb veega igas vahekorras. Etanooli on võimalik kasutada mootorikütusena nii puhtal kujul kui ka segus bensiiniga. Tänapäeval lisatakse etanooli bensiinile enamasti muude lisandite (plii, aromaatsed ühendid jt) asemel. Etanooli oktaanarv on väga kõrge, seetõttu suurendatakse sellega bensiini oktaanarvu. Kuni 10% etanooli sisaldav bensiin sobib tavalistele bensiinimootoritele, suurema etanoolisisaldusega bensiini korral on tarvis mootoreid ümber seadistada. Euroopas muundatakse etanool enne bensiiniga segamist ETBE-ks (etüül-tert-butüüleeter), mille oktaanarv on kõrge ning mis on vähem lenduv kui etanool.

Etanooli (bioetanooli) energiasisaldus

Etanooli kütteväärtus on keskmiselt 27 MJ/kg (7,5 MWh/t ehk ~ 6,0 MWh/m^3), ETBE kütteväärtus on 36 MJ/kg (10,0 MWh/t ehk ~ 7,5 MWh/m^3). Bensiini kütteväärtus on kuni 43 MJ/kg (~ 12 MWh/t).

Etanooli kütteväärtus (energeetiline väärtus) on bensiini omast 33 % madalam ja paagitäie bensiiniga saab rohkem kilomeetreid läbida, võrreldes etanooliga. Tänu etanooli kõrgemale oktaanarvule aga suureneb mootori võimsus, võrreldes bensiini kasutamisega.

Etanooli kütteväärtus on ruumalapõhiselt 68% ja massipõhiselt 63% bensiini kütteväärtusest (kui bensiinis sisaldub vähe etanooli, siis on täheldatud, et sõidukite kütusetarbimine ei kasva).

Sama vahemaa läbimiseks E85-ga on vaja teoreetiliselt 1,41 korda rohkem etanoolbensiini kui naftabensiini (32:22,7 =1,41). Bensiini omahind 40-45 senti liiter, lisanduvad maksud.

Bioetanooli lähteained

Saadavat bioetanooli lähtuvalt toorme allikatest nimetatakse kas I põlvkonna bioetanooliks (suhkruid ja tärklist sisaldavad taimed, millest etanool saadakse fermentatsiooni (kääritamise) käigus) või II põlvkonna bioetanooliks (lignotselluloosed taimed või nende osad, millest etanool saadakse tselloloosi ja hemitselluloosi eelneva lõhustamise teel suhkruteks ning seejärel suhkrute kääritamisel). Kasutusele on tulnud ka kolmanda põlvkonna bioetanooli mõiste. Sel puhul kasutatakse etanooli saamiseks geneetiliselt muundatud taimi (nt nisu), millesse on tselluloosi ja hemitselluloosi lagundavad ensüümid nn sisse istutatud. Taimed, nende osad või jäägid, millest saadakse II põlvkonna etanooli ei konkureeri üldjuhul maapinnale, kus kasvatatakse toidu- või söödataimi. II põlvkonna bioetanooli tootmine vähendab CO_2 arvestuslikku heidet märksa rohkem kui I põlvkonna oma.

Bioetanooli tootmise lähtematerjalina (toormena) võib Eestis käsitleda – juurviljasid (kartul, suhkrupeet), teraviljasid (rukis, nisu, tritikale, oder), viljapõhku kui viljakasvatuse kõrvalprodukti (jäädet), looduslikel ja poollooduslikel rohumaadel kasvavat rohtu, puittaimi

(peamiselt metsakasvatuse ja metsamajanduses tekkivaid jääke (metsakasvatuse jäägid, raiejäägid), puitpõhise biomassi töötlemise kõrvalsaadusi (saepuru ja kõik muud töötlemisjäägid)) ja biojäätmeid. Tulevikus võiks etanooli tootmise lähtematerjalina proovida kasvatada ka (mikro-) vetikaid.

Kõrgeimad etanooli saagid on Eestis saadud talitritikale (Lamberto) – 3 283-4 756 l/ha ja talinisu (Bjorke) – 3 059-4 143 l/ha sortidelt. Talirukki sortide etanoolisaagid jäid vahemikku 1 840-3 216 l/ha. Kõigi suviviljade etanoolisaagid olid peaaegu poole madalamad taliviljade etanoolisaagist jäädes vahemikku 1 444-2 252 l/ha. Uutest analüüsitud sortidest olid kõrgeima etanoolisaagiga tritikaled Kansas – 4 462 l/ha, Fidelio – 4 249 l/ha ja 9 403-97 – 4 188 l/ha; talinisud Residence – 4 035 l/ha (Jõgeva Sordiaretuse Instituut).

I põlvkonna bioetanool

Võtame bioetanooli tarbimisaine alumiseks küttevääртuseks keskmiselt 27 MJ/kg ehk 7,5 kWh/kg (21,6 MJ/l ehk 6,0 kWh/l). Kui võtta suvinisu baasil toodetud bioetanooli hektari saagiseks ümmarguselt 1 500 l/ha, saaks bioetanooli primaarenergiana ühelt hektarilt 9,0 MWh. Parimate talivilja sortidega (~4 000 l/ha) saaks ühe hektari energiasaagise tõsta kuni 24 MW/ha.

Nisust bioetanooli valmistamisel saadakse ühest tonnist 372 l etanooli, 457 kg WDG – wet destillers grain - (70% niiskus) või 295 kg DDGS dry destillers grain soluble - (10% niiskus). Nii WDG kui ka DDGS on kasutatavad loomasöödana ja lähteainena edasiseks muundamiseks biogaasiks (DDGS nt ka tahke fossiilkütusega koospõletamiseks) ja viimase kõrvalsaaduse – digestaadi – kasutamiseks väetisena.

Teravilja baasil tehase, toodanguga 100 000 tonni etanooli aastas, maksumus on keskmiselt 80 mln eurot, toormena tarbitakse ca 300 000 tonni vilja aastas ja see hulk vajaks minimaalselt 100 000 ha maad teravilja kasvatamiseks.

Kui bioetanooli müügi hinnaks oleks 0,5 €/l, siis annaks üks hektar tulu 750 eurot kuni 2 000 eurot.

II põlvkonna bioetanool

Sisaldades keskmiselt 42% tselluloosi ja 21% hemitselluloosi on ühest grammist puidust teoreetiliselt võimalik saada 0,32 grammi etanooli.

Okaspuude puidust võib hüdrolüüsi meetodiga saada 150 – 180 kg 100 %-list etüülpiiritust 1 tonni absoluutselt kuiva puidu kohta. Süngaasi katalüütilise töötlemisega on etanooli saagiseks saavutatud 258 kg/t kohta, maksimaalne võimalik saagis on katalüüsi kasutamisel 328,5 kg/t. Mikroorganismide vahendusel on saagiseks saadud 224 kg/t.

Arvestades etanooli saagiseks 180 kg 1 tonni absoluutselt kuiva puidu kohta, tuleks 120 000 tonni etanooli tootmiseks kaasaegset hüdrolüüsiprotsessi (hapetega) kasutades varuda 670 000 tonni absoluutselt kuiva hakkpuitu.

120 000 tonni etanooli tootmise puhul aastas on ööpäevane absoluutselt kuiva tooraine vajadus 1 297 tonni; väävelhappe osas 51,4 t; lubja osas 10,3 t. Ligniini (50% kuivainet) tuleb ööpäevas utiliseerida 1 037 tonni; kipsi (60 % kuivainet) 85,7 t; presspärmi saab (20% kuivainet) 157 tonni või kuivpärmina 30 tonni. Süsihappegaasi moodustub 346 tonni ööpäevas, mille utiliseerimine täies ulatuses on problemaatiline.

Saada olevail andmeil tundub kõige paljulubavam teise põlvkonna bioetanooli tootmisprotsess gaasistamisega. 120 000 tonni etanooli tootmiseks aastas oleks vaja varuda 466 000 t absoluutselt kuiva puitu. Range Fuels Inc. bioetanooli tehase rajamine Georgiasse võimsusega kuni 120 000 t läks maksma 190 mln USD (146 mln EUR).

Lignotselluloose etanooli tootmine vajab 4-6 korda rohkem vett, kui tärklise põhine tootmine, mis seab piirangud tehase asukohale. Eestisse sobivad kohad oleksid Narva elektrijaamade vahetu lähedus, Kehra (tselluloosi ja paberi kombinaat) ja Kunda (tsemenditehas, Estonian Cell).

Bioetanooli kütusena kasutamise olulisemad riskid ja keskkonnamõjud

Etanooli kasutamisel mootorikütusena esinevad järgmised riskifaktorid: energiavarustuse risk, hind kilomeetri kohta, infrastruktuuri maksumus, tehnoloogiline risk, keskkonna riskid, teostuse risk, huvigruppide vastuseis, poliitilised raskused ja rõhu all hoidmise vajadus. Võrreldes naftaproduktide ja vesiniku kasutamisega mootorikütusena on need riskid tervikuna kõige madalamal tasemel. Tehnoloogiline ja teostuslik risk on naftasaaduste puhul madalamad kui etanooli puhul, mis on mõistetav selle produkti kasutuse sajandipikkuse kogemuse tulemusena.

Mootorikütuse E10 (10% etanooli ja 90% bensiini) kasutamisel väheneb heitgaasides vingugaasi sisaldus, võrreldes puhta bensiiniga 20% ja E85 (85% etanooli ja 15% bensiini) kasutamisel 40% võrra. Kasvuhoone efekti põhjustavate gaaside sisaldus langeb E10 kasutamise l ligi 30 %, ning E85 puhul 40%. Veel on leitud, et E85 alandab heitgaaside NOx sisaldust 10 % ja sulfaatide emissiooni 80 %. Etanooli lisamine bensiinile vähendab ka tahmaosakeste arvu heitgaasides. E10 puhul väheneb uutes autodes tahmaosakeste (PM 10 ja PM 25) emissioon 36% võrra ja vanematel autodel kuni 22%.

USA valitsus soovis 2008.a. piirata bioetanoolitööstuse (I põlvkonna) senist ekstensiivset arengut ja määras toormebaasi laiendamiseks ning keskkonnamõjude vähendamiseks tselluloosipõhise tootmise toetuseks liitri kohta 1,10 USD. Dotatsioon ületab omahinna vahe, mis tärklisest tootes on tasemel 0,5 EUR/l ja tselluloosist 0,95 EUR/l.

Tootmise maksumus ja hinnad

Vogelbusch tehnoloogia võimaldab tooraine keskmise tärklise või suhkrusisalduse puhul toota 1 000 liitrit etanooli 2 300 kg maisist; 2 800 kg nisust; 10 000 kg suhkrupeedist. Investeering 300 000 liitrit/päevas tehasele sõltuvalt infrastruktuurist on 40 – 50 miljonit eurot.

Hollandlaste analüüs näitas jällegi parima omahinna olevat nisuõlgedel, 0,75 EUR/l, puidujäätmetel 0,99 EUR/l.

Prantsuse E85 bensiini hinnatasemete arvestuses ei ole teise põlvkonna tootmise hinnatase esimesega siiski konkurentsivõimeline, sest seal on müügihind tavaliselt kütusetehasele 0,5 EUR/l kohta fikseeritud hinnaga lepingutes. Teise põlvkonna odavaim müügihind kujunes 0,82 EUR/l, arvestades elektri ja soojuse koostootmisest saadud efekti.

USA andmete kohaselt on lignotselluloossest toorainest etanooli tootmise optimaalne maht ca 35 mln gallonit aastas (106 000 t/a). Siis oleks bioetanooli maksudeta hind umbes 0,61 €/l.

Avalikud hüved

Eelduseks on võetud, et kirjandusallikate põhjal muudes riikides rajatuna on majanduslikult tasuvaks osutunud bioetanooli tehased aasta toodanguga vähemalt 100 000 tonni I põlvkonna bioetanooli aastas. II põlvkonna bioetanooli tehase tootmisvõimsus peaks olema vähemalt sama suur, kuid tõenäoliselt suuremgi, majandusliku tasuvuse saavutamiseks.

- Eestis toodetud bioetanooli olulisim eelis tuleneb elutsükli põhisest arvutamisest. Kui kasutada lähenemist, kus teraviljast toodetakse nii elektrit kui ka bioetanooli, on leitud elutsükli analüüsi tulemusena, et WTT (*well to tank*) etapis saavutatakse Eesti kontekstis seeläbi suurim võimalik KHG heite kärbe, millele lisanduvad mitmed teised eelised ja positiivsed kõrvalmõjud.

- Bioetanooli tootmise kõrvalprodukt praak (praaga) loetakse elektritootmisel taastuvkütuseks, millel puudub EL regulatsioonide arvestuses, võrreldes fossiilkütustega, CO_2 emissioon.

- Iga tonni bioetanooli tootmisel eraldub kõrvalproduktina 1,34 tonni praaka, mis on Eestis kasutatav taastuvkütusena. 1 tonn praaka on 50% niiskuse juures sama küttevääртusega mis 1 tonn põlevkivi, ent kui 1 tonni põlevkivi põletamisel paiskub atmosfääri 1,18 t CO_2, siis praaga kui põllumajandusliku jääte põletamisel on KHG heidete maht arvestuslikult 0 tonni.

- 100 000 tonni bioetanooli = 134 000 praaka ehk küttevääртuse järgi 134 000 põlevkivi. Viimase mittepõletamise korral väldime 158 120 tonni CO_2 heite. CO_2 hinna 3 €/t juures oleks vältimise rahaline väärtus 474 360 eurot.

- Eestis bioetanooli tootmisest tuleneva KHG kärpe ligikaudne väärtus (bioetanooli tootmine Narva elektrijaamades koos põlevkivist elektri tootmisega). Ühe megadžauli põlevkivist toodetud elektri kohta emiteeritakse 150 g CO_2 (vt Joonis 9). Arvestades, et praaga põletamisel on CO_2 emissiooni ekvivalent 0 g megadžauli kohta, on võimalik KHG heitmeid vähendada ca 150%. Ühtlasi lisandub KHG kärpele ka fossiilsete mootorikütuste bioetanooliga asendamisest tulenev heite vähenemine ca 20-30 g CO_2 megadžauli kohta, mille tulemusena on kogukärbe ca 180%. Indikatiivselt võib väita, et võrreldes Euroopa Liidu kasutatava fossiilkütuste põletamise arvestusliku keskmisega 83,8 grammi CO_2 ekvivalenti megadžauli kohta, on vahe enam kui kahekordne.

- Suurest kärpevõimest tulenevalt võib Eestis toodetud bioetanooli lisada fossiilkütustele seega poole vähem kui nt Brasiilia suhkruroost toodetud bioetanooli (nt 10 l mootorikütust võib sisaldada 0,5 l Eesti bioetanooli või 1 l Brasiilia oma sama kärpeefekti saavutamiseks), mis annabki Eesti bioetanoolile selge konkurentsieelise, tagades kõrgema müügihinna liitri kohta.

- Eestis on võimalik bioetanooli toota minimaalse mõjuga maakasutusele, mis tuleneb nõukogude perioodil kasutusel olnud ja hetkel kasutamata põllumajandusmaast. Nõukogude perioodil oli kasutusel ca 1,2 mln hektarit põllumajandusmaad, millest on hetkel kasutusel 1,07 mln hektarit, sh aktiivselt haritav 0,916 mln hektarit. Eestis on võrreldes EL vanade liikmesriikidega (EL15) aktiivselt haritavat ja põllumajandusmaad elaniku kohta vastavalt 2,2 ja 1,7 korda rohkem. Seega pole Eestil vaja kasutusele võtta uusi maid, mis on regulatsioonide järgi sisuliselt ka keelatud, sest see muudaks otseselt maakasutust keelatud

aladel. Teisisõnu on meil võimalik võrdlemisi lihtsalt tagada tehase jaoks vajaliku toorme olemasolu. PRIA andmetel on Eestis 167 000 hektarit mitte kasutuses olevat põllumajandusmaad. Tuleb märkida, et valdavalt on see põllumajandusmaa söötis, osalt kattunud võsaga ja suhteliselt väikeste lahustükkidena, kus vilja tootmise omahind on kõrgem kui mitmesaja hektarilistel põldudel. Eriti kulukaks võib kujuneda selle maa taaskasutusse võtmine.

- Kaudsed mõjud maakasutuse muutusele pole samuti märkimisväärsed, sest võttes kasutusele söötis maa Eestis, ei tekitata vajadust võtta kasutusele uut maad mujal. Seega – kui Euroopa Komisjon kujundab välja piirangud, mis tulenevad kaudsest mõjust maakasutuse muutusele, siis Eestis toodetud bioetanoolile need piirangud ei rakendu. Mõjude puudumine maakasutuse muutusele hoiab kõrgel Eestis toodetud bioetanooli säästlikkuse taset ehk tagab taaskord kõrgema müügihinna liitri kohta.

- 100 000-120 000 hektaril kasvatatava teraviljaga saaks varustada Eesti mastaabis sobiva võimsusega tehase – 100 000 tonni (123 460 m^3) I põlvkonna bioetanooli aastas. Selle koguse maksumus oleks bioetanooli hinna, 500 €/m^3 (0,5 €/l) juures, ligikaudu 61,73 mln EUR.

- Eestis on soodne kliima bioetanooli tootmiseks sobiliku teravilja kasvatamiseks. Eesti asukohast tulenev võrdlemisi kõrge sademete hulk tingib siinset päritolu teraviljas kõrge tärklisesisalduse, mis tagab kõrgema bioetanooli toodangu, võrreldes mujal Euroopas kasvatatud teraviljaga.

- Eestil on bioetanooli ekspordiks logistiline konkurentsieelis. Euroopa suurimad biokütuste tarbijad on Saksamaa ning Põhjamaad eesotsas Rootsiga. Eesti toodangu kerge ligipääs kaubasadamatele ja sihtturu lähedus võimaldavad kütust tarnida kiiresti ja madalate transpordikuludega.

Eestis bioetanooli tootmise positiivsed kõrvalmõjud

- Bioetanooli tootmisel teraviljast tekib põllumajandusliku kõrvalproduktina põhk, millest hetkel on võimalik toota elektrit ja soojust. Alates 2011. aastast muutus reaalseks põhupõhine etanooli tootmine, mida on võimalik Eestis teha mahus ca 30 000 tonni aastas.

- Bioetanooli tootmine kindlustaks Eesti põllumajanduse elujõulisuse, tootlikkuse, jätkusuutlikkuse ja rahvusvahelise konkurentsivõime arengu.

- Bioetanooli tehase rajamisel tekib nõudlus ca 300 000 – 400 000 tonni logistilistel põhjustel eelistatavalt Eesti päritolu teravilja jaoks, mis looks siinsetele põllumeestele arvestatava sissetulekuallika. Ka on võimalik bioetanooli tootmise korral pakkuda viljakasvatajatele saagi eest põllumeeste endi hinnangul õiglast hinda, mida praegune turuolukord ei luba. Vilja hind oleks 190-230 €/t.

- Eestis toodeti 2011. aastal 771 900 tonni vilja aidakaalus ja seda 297 299 heaktaril. Eesti vilja eksport oli 2011. aastal 333 900 tonni (109,5 mln EUR), põhiliselt küll oder, ligi kolmandik. 2011. aastal oli keskmine ekspordi hind nisul 224 €/t ja rukkil 200 €/t.

- Bioetanooli tootmine võimaldab hoida vilja hinna stabiilsemana, mis tagab põllumeestele jätkusuutlikku ja prognoositava sissetuleku.

- Bioetanooli toormena võiks kasutada viljasegu kombinatsioonis rukkist (60%), nisust (20%) ja tritikust (20%). Märkimisväärne lisanõudlus kolme eri kultuuri järgi on kasulik Eesti põllumajandusele maaharimise seisukohast, sest soodustab viljavaheldust. Eeskätt kasulik mõju on suuremal nõudlusel rukki järele, sest rukkis kasvab madala viljakusega maal, vajab 50% vähem lämmastikväetiseid kui nt nisu ning on seeläbi väiksema keskkonnamõjuga. Neil põhjustel on rukist hea kasutada vaheldumisi intensiivsemate viljadega. Seeläbi on võimalik muuta Eesti maaharimine jätkusuutlikumaks ja tootlikumaks.

- Kohalikku päritolu kütuse kasutamine vähendab nõudlust teistest, kohati vähestabiilsetest ja Euroopale poliitiliselt vastanduvatest riikidest pärit fossiilkütuste järele. Eestis kasutatav osa bioetanooli tehase toodangust (vähemalt 25 000 tonni aastas) suurendab seega Eesti energiajulgeolekut, mis on kooskõlas riigi ja Euroopa Liidu üldiste arengustrateegiatega.

- Positiivne mõju Eesti jooksevkontole 70-96 mln EUR ulatuses. Arvestades, et Eesti suudab hetkel ära tarbida ca 25 000 t bioetanooli aastas, siis läheb kuni 25% toodangust siseturule ja vähemalt 75% ekspordiks. Rahalises mõistes tähendab see Eesti majandusele umbes 48-64 mln eurost eksporditulu aastas. Jooksevkontole mõjub positiivselt ka see, et Eestis tarbitav 25% toodangust vähendab vajadust imporditava kütuse järele ehk 16-25 mln EUR ulatuses. Samas kui Eestis kasvab nõudlus bioetanooli järele uute tehnoloogiate kasutuselevõtu tõttu, siis on võimalik vältida fossiilkütuste importi kuni 48-64 mln euro ulatuses.

- Nii on uuringutes Eesti kohalikust teraviljast nõuetekohaselt toodetud bioetanooli CO_2 sisaldus massbilansi WTW arvestuseks saadud energiatarbimise põhjal, kõrvaltooteid arvestades 28,85 g CO_2/MJ kohta. Võrreldes uue standardi liini tasemega 83,8 g CO_2/MJ on sääst 65,6% (RES-D nõuab 60% uutes tehastes alates 2017.a.). Praeguste, 35% säästuga biokütuste CO_2 sisaldus on ca 43 g CO_2/MJ kohta. Nendega kuni 10% mahus segus on võimalik näiteks 94 g CO_2/MJ sisaldusega konventsionaalsest naftast toorbensiini segades saada nõuetekohane kütus.

- EL uus kütuseaktsiisi direktiiv, välja antud peale FQD jõustumist, näeb samuti ette aktsiisimäärade vastavusse viimist nende kütteväärtusega liitri kohta, et mitte võimaldada biokütuste diskrimineerimist mahu alusel.

Eesti konteksti sobiva näitena olgu toodud Soome kohta tehtud kulude/tulude arvutused 75 000 m^3 I põlvkonna bioetanooli tootmiseks (aasta 2004). Lisaks saadakse kõrvalproduktina ja müüakse 61 000 tonni loomasööta aastas (Tabel 21).

Denatureeritud bioetanooli hinnaks saadi 51,8 s/l ja koos kõigi maksudega (s.h aktsiisimaks) saadi 1,15 €/l (arvestatakse loomasööda müügiga).

Tabelis 22 esitatakse tabelis 21 kirjeldatud tehases I põlvkonna bioetanooli tootmisega kaasnevad avalikud hüved.

Tabel 21. I põlvkonna bioetanooli tootmise kulude/tulude arvutused 75 000 m^3 toodanguga tehases Soomes (aasta 2004).

Tiainen, Pekka 11.10.2004
Bioetanolitehtaan tulot ja kulut/bioetanolilitra 75 000 m3/vuosi laitoksessa

Myyntitulot				Täysi tuotanto/v	Milj. eur/v	Senttiä/litra	Plus valmistevero, euroa/l
Polttoaine-etanoli			49 senttiä/l	75000 1000 l/v	36,8	49,0	
Rehu			10 senttiä/l	61000 tn/v	61,0	81,3	
Kokonaismyynti					97,8	130,3	
Muuttuvat kulut					**100 %:n tuotanto**	**EUR/litra**	
Ohra			10,5 senttiä/l		23,9	31,9	
Entsyymit ja kemikalit					1,2	1,6	
Energia ja vesi					5,0	6,7	
Muu					1,3	1,7	
Muuttuvat kulut					31,4	41,9	
Henkilökunta, ka	40 Eur/h->	45825	1833000 eur/v		1,8	2,4	
Huolto ja varaosat (ens. 5 v)					0,9	1,3	
Kulut yhteensä ilman (ilman rahoituskuluja, etc.)					34,2	45,6	
Pääomakustannukset vuodessa, inv. 48,98 milj. eur ja tointit ja liittymä 1,51 milj. eur					4,6	6,2	
Yhteensä					38,8	51,8	1,15
Tuonti Brasiliasta	Tulliton hinta 22 senttiä + rahti 4,4 senttiä/l, yhteensä					26,4	
	Tulli, denaturoimaton					19,2	
	Yhteensä denatutoroimaton					45,6	1,08
	Tulli, denaturoitu					10,2	
	Yhteensä denaturoitu					36,6	0,99

Lähde: Juhani Ahpola, Jaakko Pöyry Group 9.8.2004 sekä oma laskelma

Soome bioetanoolitehase, aasta toodanguga 75 000 m^3, investeeringu maksumus oli umbes 57 mln EUR, mis teeb 762 €/m^3 toodangu ühiku kohta. Kui sellise mastaabiga tehase mõju ühiskonnale mõõdeti 28,69 mln eurot, siis 100 000 tonnise ehk 123 460 m^3 aasta toodanguga bioetanooli tehase kasu ühiskonnale võiks olla proportsionaalsuse põhimõttel 47,23 mln EUR (382,53 €/m^3).

Tabel 22. I põlvkonna bioetanooli tootmisega kaasnevad avalikud hüved (Soome näide)**.**

Laskelma 75 milj. litraa biotanolia (laskelmassa korvaa 50,5 litraa bensiiniä lämpöarvon perusteella		
Investointituki		17,50 %
		10,00 milj. euroa
Bioetanoli		Hinta mineraalibensiiniekvivalenttina
-Hinta	57,50 senttiä	84,88 senttiä
-Mukaan lukien inv.tuen vaikutus mukaan lukien korkosäästö (5%)		
17,50 %	55,94 senttiä	82,58 senttiä
Valmistevero dieselin perusveron mukaan		26,83 senttiä
Hinta ml. valmistevero		109,41 senttiä
Hinta ml. ALV		133,49 senttiä
Valmistevero- ja ALV-tuotot		25,86 milj. euroa
Investointituki vuodessa		-0,67 milj. euroa
Investointituen korko vuodessa		-0,50 milj. euroa
Hyödyt paremmasta työllisyydestä ja energiakasvituet		4,00 milj. euroa
Välitön hyödyt yhteiskunnalle		28,69 milj. euroa

Märkus:

Investointituki – investeerimistoetus,
Korkosäästö – sääst intressidelt,
Valmistevero – aktsiisimaks,
ALV – käibemaks.
Välitön hyödy yhteiskunnalle – otsene kasu ühiskonnale.

Allikas: Uusiutuvien liikennepolttoaineiden vaikutukset talouden ja työllisyyden kannalta. Effects on regional economy by utilizing renewable transportation fuels. Presentation is about the possible effects on the employment and economy by producing and using renewable transportation fuels. **Pekka Tiainen,** Valtiotiet tohtori (taloustiede), neuvotteleva virkamies, Työ- ja elinkeinoministeriö Uusiutuvia liikenteeseen – seminaari ”Renewables in transport – opportunities for entrepreneurs”, Joensuu 31.01 - 1.02.2012.