



TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL

Ülo Kask

Soojustehnika instituut

Sokos Viru, 27.09.2013

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



Uuringus käsitletud üldteemad

- Sissejuhatus
- Valdkonna õigusruum
- Bioetanooli toorme ressursid ja kasutamise tehnoloogiad
- Bioetanooli tootmise eelised ja kõrvalmõjud Eestis ning tootmise majanduslik põhjendatus
- Kokkuvõte
- Faktileht
- Avalikud hüved



Milleks üldse kasutada etanooli mootorikütusena?

- **Poliitika liikumapanevad jõud**
 - Kliima- ja keskkonnapoliitika (KHG heite ja muude heitmete vähendamine, heitmekaubandus)
 - Taastumatute energiaallikate lõplikkus (sh nafta ja maagaas)
 - Uue majandusvaldkonna teke (innovatsioon, töökohad, käive)
 - Energia varustuskindlus (fossiilsete kütuste kättesaadavus ja hinnad)



Tehniline valmisolek

- Citroën mudel C4 BioFlex ehitati ümber 1,6-liitrise töömahuga bensiinimootoriga viieukselisest C4. Auto on võimeline liikumiseks kasutama taimedest tehtud ning loodusesõbralikku bioetanooli E85, tavalist bensiini või nende mõlema segu.



Biokütuste kasutus, prognoosid

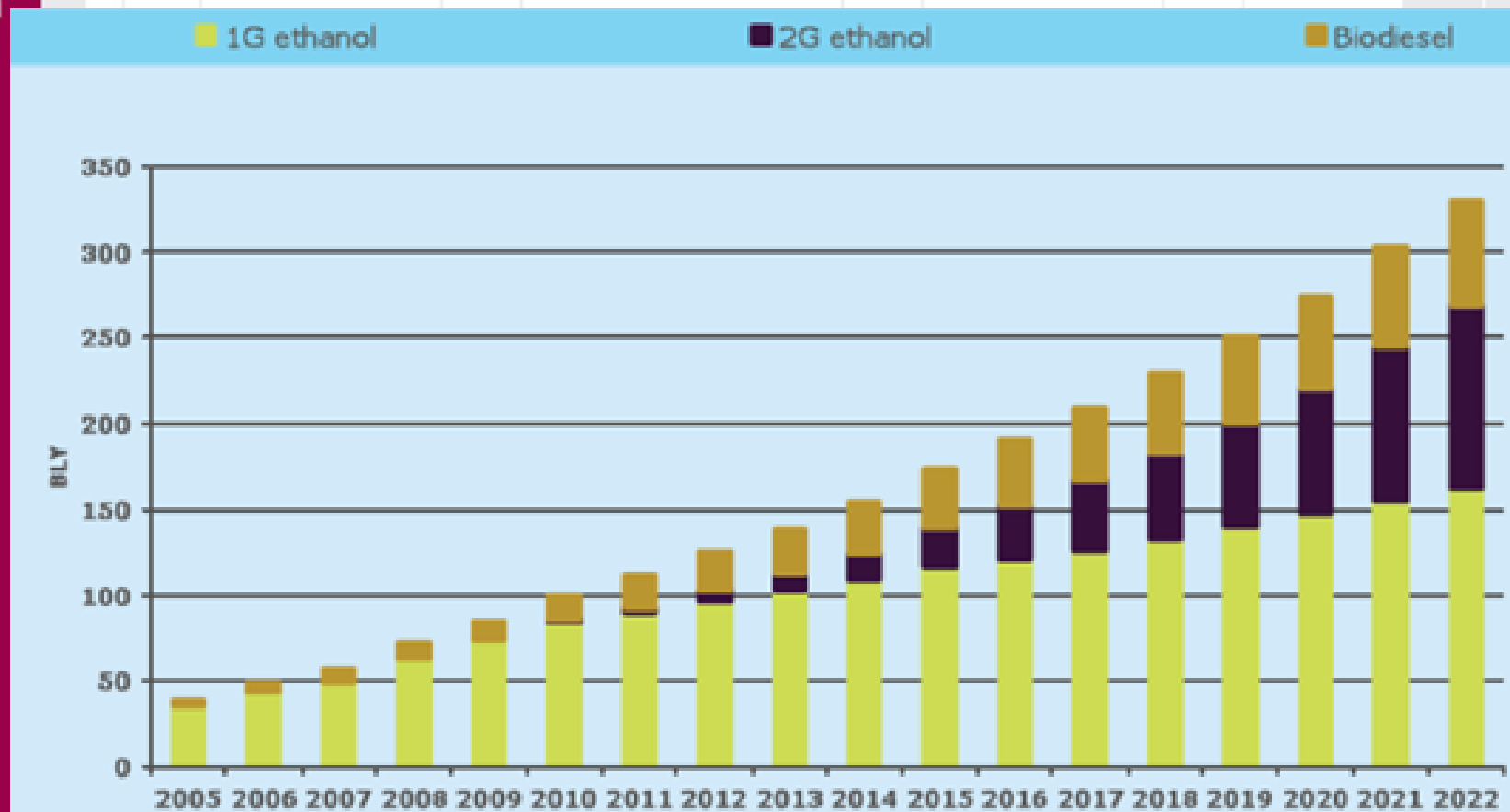
Biokütuste kasutus Euroopa Liidu transpordisektoris aastal 2012*, (toe)

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%
Bulgaria	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: EurObserver 2013.

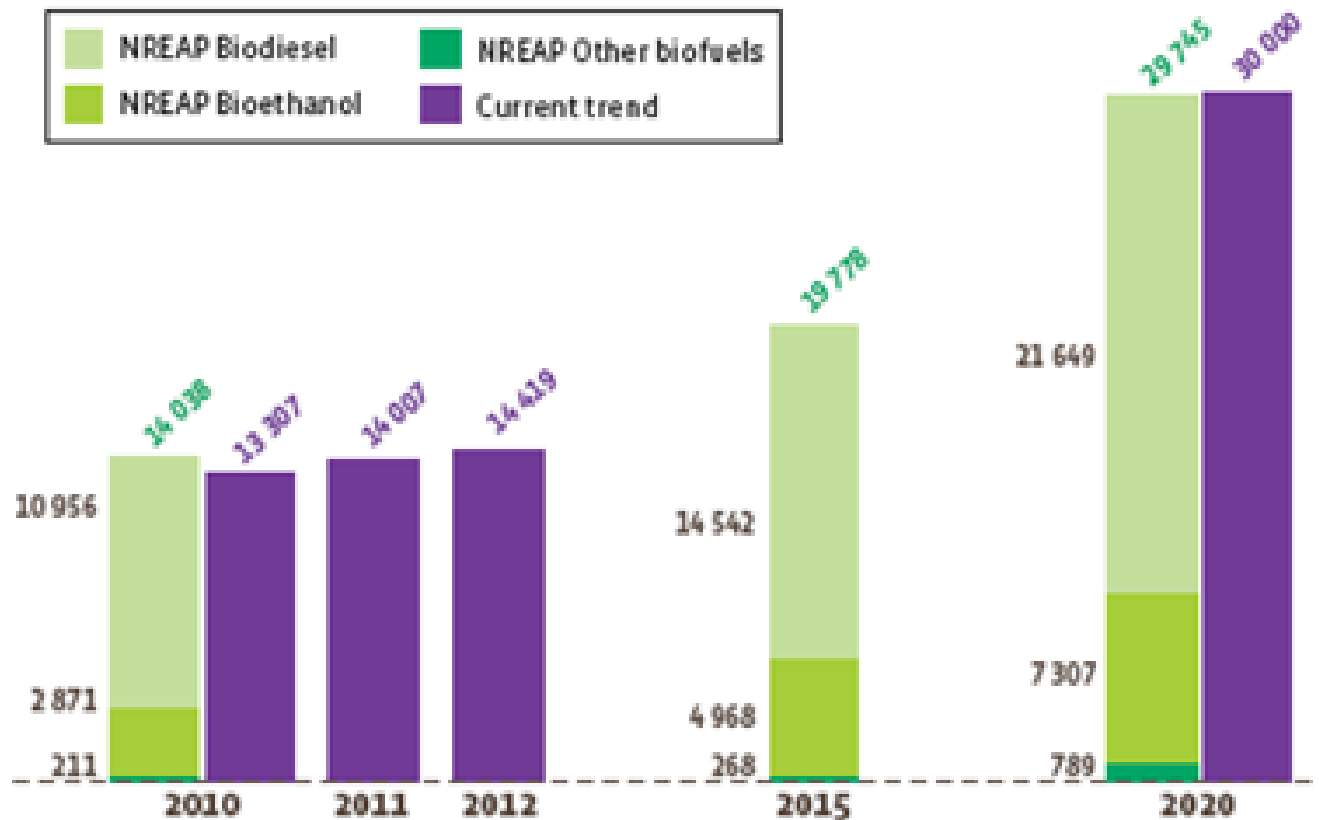
Biokütuste kasutus, prognoosid



Globaalne biokütuste toodang ja selle jätkuv kasv (1G – esimese, G2 – teise põlvkonna bioetanol)



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



*Subject to possible changes in line with the new European regulation. Source: EurObserv'ER 2013.

EL regulatsioonid ja tehnoloogiline areng sisuliselt mitmekordistavad nõudlust praegusel Euroopa bioetanooli turul.

Euroopa Liidu regulatsioonid



- Euroopa Liidu bioetanooliturgu hakkab oluliselt mõjutama alates 01.01.2011 jõustunud Mootorikütuste Kvaliteedi Standardite Direktiiv (FQD), mis tõi 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 KHG heiteid transpordikütuste elutsüklis 10% võrreldes praegusega.
- On eesmärgiks võetud, et biokütuse tootmisel peab KHG heidete hulk, võrreldes fossiilkütuste kasutamisega, vähenema esialgu 35% ja alates 2017. aastast juba 50%.
- Dekarboniseerimist kütuste segamise teel soodustab ka mootorite tehnoloogiline areng



Bioetanool, toorme ressursid ja kasutamise tehnoloogiad

- Eristatakse kahte peamist bioetanooli tootmise allikat - suhkruid ja tärklisist sisaldavad taimed ja lignotselluloosed taimed. Vastavalt sellele, milliseid kasutatakse, nimetatakse saadavat bioetanooli kas esimese või teise põlvkonna bioetanooliks.

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, palmiõlist	Biometanool. Biodiislikütus. Biodiislikütus, toodetud HTU (HydroThermal Upgrading) tehnoloogiaga

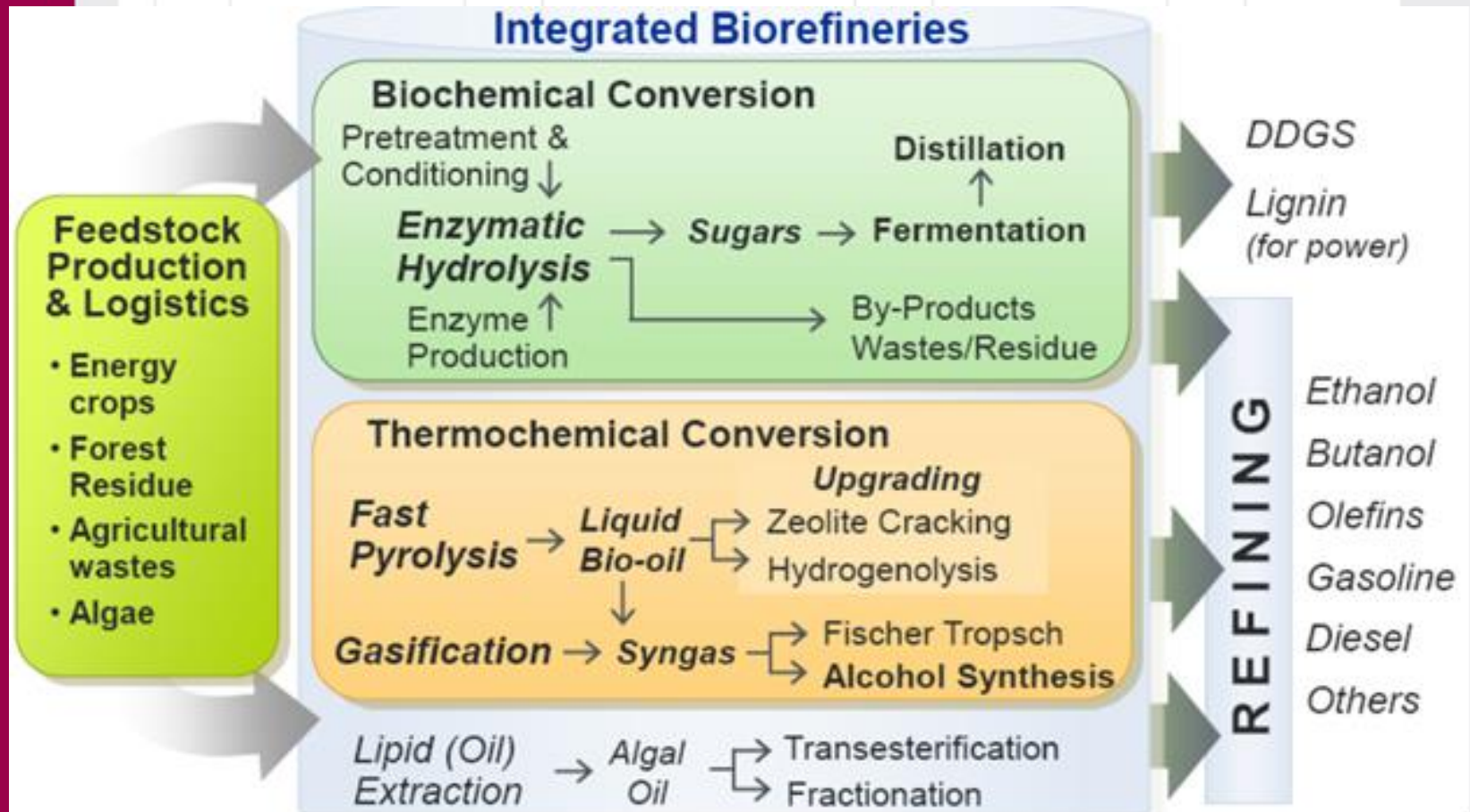
Erinevatest energiakultuuridest valmistatud bioetanooli saagis ja maksumus



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

- 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. (Jõgeva Sordiaretuse Instituut).
- 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.

Biomassi liikide kütusteks muundamise tehnoloogilised võimalused biokeemia kombinaadis



Nisust bioetanooli valmistamisel saadakse ühest tonnist 372 l etanooli 457 kg loomasööta, WDG – *wet distillers grain* - (70% niiskus) või 295 kg DDGS – *dried distillers grain with solubles* - (10% niiskus).



Biokütuste tootmise energiabilanss

- Energiabilansiks nimetatakse biokütuse tooraine ja tootmiseks kulutatud energia suhet biokütuse energiasse.
- **$E = (\text{MJ, biokütuse toorme energia} - \text{MJ, biokütuse tootmiseks kulutatud energia}) / (\text{MJ, biokütuse energia})$**
- Taastuvatest energiaallikatest biokütuse tootmisel on teiseks oluliseks näitajaks tema tootmiseks kulutatud fossiilse energia hulk.
- **$F = (\text{MJ, fossiilset energiat}) / (\text{MJ, biokütuse energia})$**
- Näiteks $F=0,5$ tähendab, et biokütuse tootmiseks kasutati 50% energiast, mis vabaneb biokütuse põlemisel.

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

Biodiislikütuse tootmise energiabilanss, rapsist

	Biodiislikütus, glütserool loomatoiduks	Biodiislikütus, glütserool keemiatööstusesse	Diislikütus
E	1,21	1,20	
F	0,4	0,43	0,18



Näited energiabilansist

- **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).



Bioetanooli tootmise majanduslikkus

I põlvkonna bioetanooli tootmiskulud EL (Hollandi firma BTG, 2004)

Parameeter	Bioetanool nisust		Suhkruppeedist	
	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
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



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

- Tooraine – Ida-Soome oder – 250 000 t/a;
- Etanooli toodang – 82,5 mln l/a ehk 82 500 m³/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.



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 ²⁾ (€/l)	-0.11	-0.10	-0.07
- Net ethanol cost (€/l)	0.92	0.99	0.75

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 soojuse koostootmisest saadud efekti.



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

Planeeritav I põlvkonna bioetanooli tehas toodanguga 100 000 tonni (123 460 m³) 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 Elektri jaam, 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.

Eestile sobiv etanooli tootmise skeem

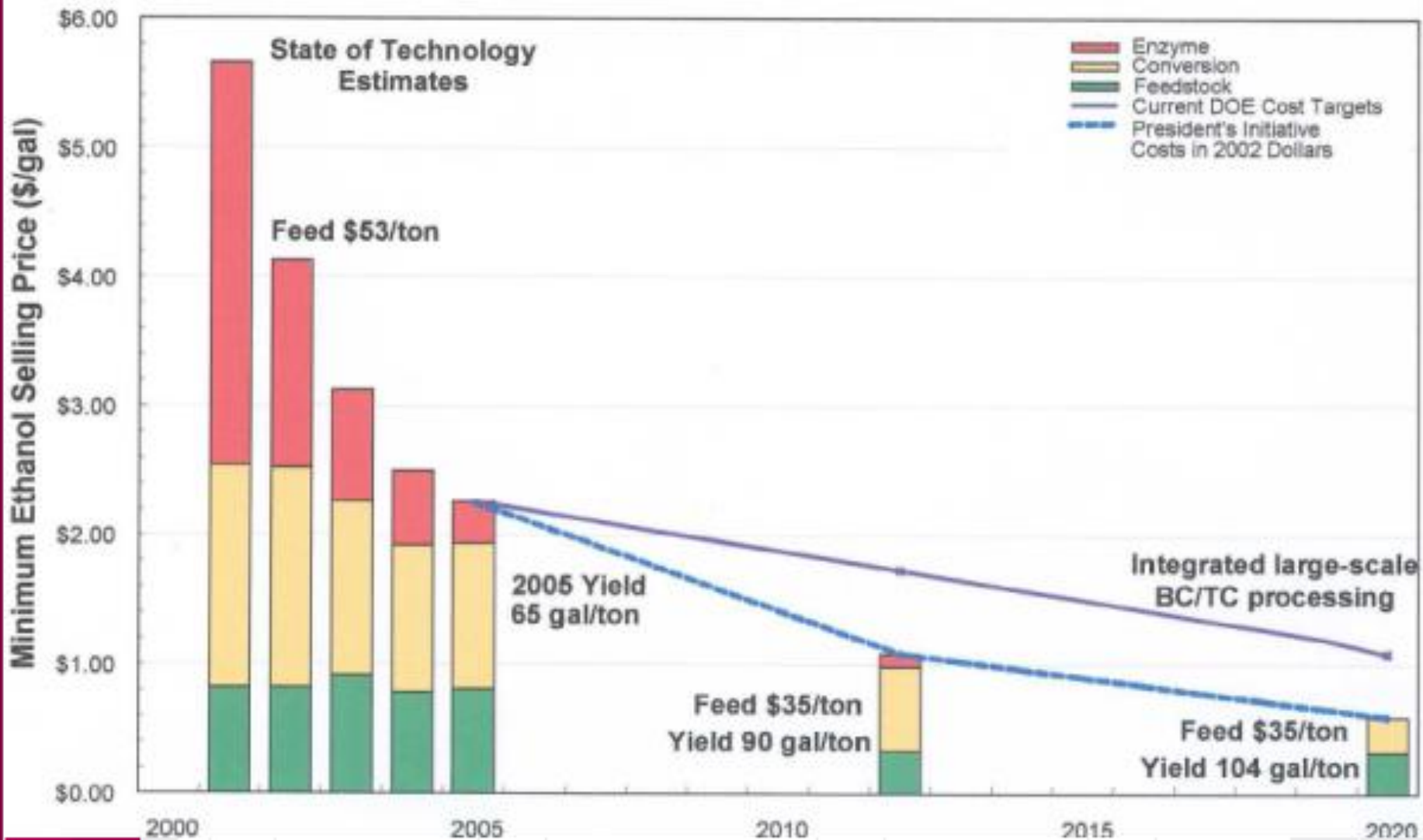


- Erasektori poolt läbiviidud uuringutega leiab tõendamist, et integreeritult põlevkivienergeetikaga toimib mudel, kus elektri ja soojuse koostootmisel asendatakse osa põlevkivist etanooli tootmisjääkide ning põhuga kui põllumajanduslikku päritolu biomassiga ning jääksoojuse baasil toodetakse etanooli.
- Massbilansi arvutused näitavad, et taolise toote CO₂ sääst, võrreldes kütusestandardi normiga 83,8 g CO₂/MJ, on 62-65%. See oleks üks paremaid näitajaid praegu EL territooriumil tegutsevate tootjate lõikes.
- 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 vääristamise võimalus.

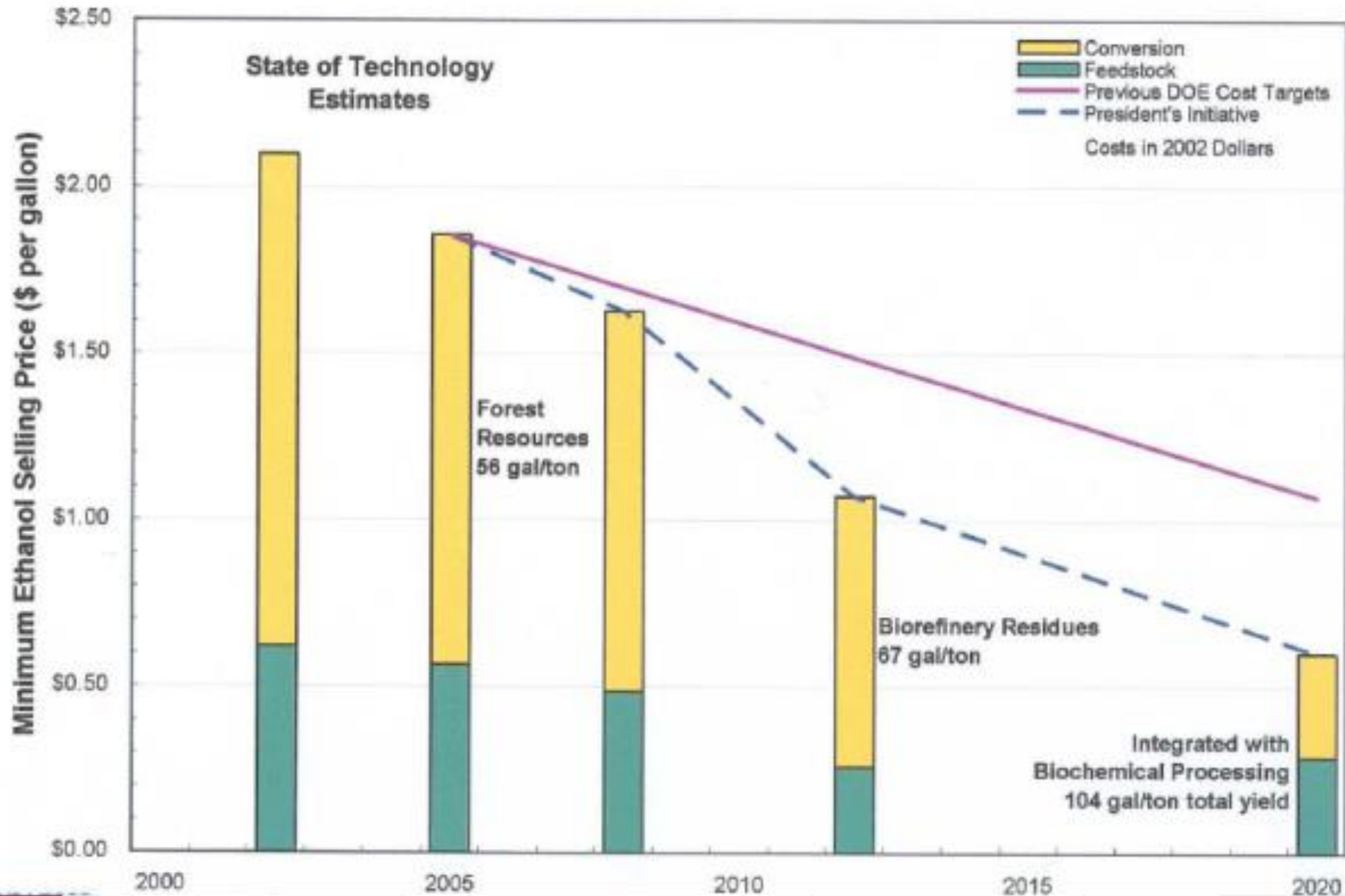


Hinnaproгноосид

Hinnaproгноос ensümaatilisе hüdrolüüsi tehnoloogiale (müügi hind 1 USD/gal \approx 0,21 €/l).



Hinnaprognosis termokeemilisele tehnoloogiale





Avalikud hüved

- Eestis toodetud bioetanooli olulisim eelis tuleneb elutsükli põhiseest 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, CO₂ emissioon.
- Iga tonni bioetanooli tootmisel eraldub kõrvalproduktina 1,34 tonni praaka, mis on Eestis kasutatav taastuvkütusena. 1 tonn praaka on 50% niiskuse juures sama kütteväärtusega mis 1 tonn põlevkivi, ent kui 1 tonni põlevkivi põletamisel paiskub atmosfääri 1,18 t CO₂, siis praaga kui põllumajandusliku jääte põletamisel on KHG heidete maht arvestuslikult 0 tonni.
- 100 000 tonni bioetanooli = 134 000 praaka ehk kütteväärtuse järgi 134 000 põlevkivi. Viimase mittepõletamise korral väldime 158 120 tonni CO₂ heite. CO₂ hinna 3 €/t juures oleks vältimise rahaline väärtus 474 360 eurot.

Avalikud hüved



- Põlevkivist toodetud elektri kohta emiteeritakse 150 g CO₂/MJ. Arvestades, et praaga põletamisel on CO₂ emissiooni ekvivalent 0 g/MJ, on võimalik KHG heitmeid vähendada ca 150% võrra.
- Lisandub KHG kärpele ka fossiilsete mootorikütuste bioetanooliga asendamisest tulenev heite vähenemine ca 20-30 g CO₂ /MJ, mille tulemusena on kogukärbe ca 180%.
- Indikatiivselt võib väita, et võrreldes Euroopa Liidu kasutatava fossiilkütuste põletamise arvestusliku keskmisega 83,8 grammi CO₂ ekv/MJ, 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.

Avalikud hüved



- Kaudsed mõjud maakasutuse muutusele pole märkimisväärsed, sest võttes kasutusele söötis maa Eestis, ei tekitata vajadust võtta kasutusele uut maad mujal. Seega – kui EK 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 ($123\,460\text{ m}^3$) I põlvkonna bioetanooli aastas. Selle koguse maksumus oleks bioetanooli hinna, 500 €/m^3 ($0,5\text{ €/l}$) 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 praegu Saksamaa ning Põhjamaad eesotsas Rootsi.

Avalikud hüved



- Kohalikku päritolu kütuse kasutamine vähendab nõudlust vähestabiilsetest ja Euroopale poliitiliselt vastanduvatest riikidest pärit fossiilkütuste järele. Eestis kasutatav osa bioetanooli tehase toodangust suurendab seega Eesti energiajulgeolekut, mis on kooskõlas riigi ja Euroopa Liidu üldiste arengustrateegiatega.
- Positiivne mõju Eesti jooksevkontole oleks 70-96 mln EUR ulatuses. Arvestades, et Eestis 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.
- Eesti kohalikust teraviljast nõuetekohaselt toodetud bioetanooli CO₂ sisaldus massbilansi WTW arvestuseks on saadud, kõrvaltooteid arvestades 28,85 g CO₂/MJ kohta.
- Võrreldes uue standardi liini tasemega 83,8 g CO₂/MJ on sääst 65,6% (RES-D nõuab 60% uutes tehastes alates 2017.a.).

Avalikud hüved



- Soome bioetanoolitehase, aasta toodanguga 75 000 m³, investeeringu maksumus oli umbes 57 mln EUR, mis teeb 762 €/m³ toodangu ühiku kohta.
- Kui sellise mastaabiga tehase mõju ühiskonnale mõõdeti 28,69 mln eurot, siis 100 000 tonnise ehk 123 460 m³ aasta toodanguga bioetanooli tehase kasu ühiskonnale võiks olla proportsionaalsuse põhimõttel 47,23 mln EUR (382,53 €/m³). (avalik hüve toodanguühiku kohta 382,53 €/m³).
- Kui viimati nimetatud bioetanoolitehase maksumuseks võtta 80 mln EURi, siis tuleks investeeringu maksumuseks toodanguühiku kohta 647 €/m³.



Täna Teid kuulamast!

