



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
MEHAANIKATEADUSKOND

Soojustehnika instituut  
Soojusjõuseadmete õppetool

MSJ70LT

*Stanislav Štõkov*

# **KESKKONNAMÕJU TRANSPORDI BIOKÜTUSTE TOOTMISEL EESTIS**

Autor taotleb  
tehnikateaduste magistri  
akadeemilist kraadi

Tallinn  
2016

## AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Eduard Latõšovi juhendamisel

“.....” .....2016 a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....” .....2016 a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....” .....2016 a.

..... allkiri

TTÜ soojustehnika instituut  
Soojusjõuseadmete õppetool

## **MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE**

2016. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Stanislav Štökov, 143866MASM  
Õppekava: Soojusenergeetika MASM02/09  
Eriala: Soojusenergeetika  
Juhendaja: Insener Eduard Latõšov

### **MAGISTRITÖÖ TEEMA:**

Keskkonnamõju transpordi biokütuste tootmisel Eestis  
The environmental impact from production of biofuels for transportation in Estonia

### **Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:**

<b>Nr</b>	<b>Ülesande kirjeldus</b>	<b>Täitmise tähtaeg</b>
<b>1.</b>	<b>Transpordi biokütuste olemasoleva olukorra, kirjanduse ja seadusandluse uurimine</b>	<b>31.03.2016</b>
<b>2.</b>	<b>Modelleerimise programmi kasutamise tundma õppimine</b>	<b>08.04.2016</b>
<b>3.</b>	<b>Lõputöö teema teoreetiliste aluste valmis kirjutamine ja esialgsete keskkonnamõju arvutuste tegemine</b>	<b>02.05.2016</b>
<b>4.</b>	<b>Keskkonnamõju hindamise analüüsi koostamine ja lõputöö lõplik vormistamine.</b>	<b>18.05.2016</b>

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:** Biodiisli, bioetanooli ja biometaaniga transpordi biokütuste keskkonnamõju hindamine juhul, kui nende tootmine leiaks aset Eesti territooriumil ning tulemuste võrdlemine Euroopa Liidu direktiiviga 2009/28/EÜ.

**Täiendavad märkused ja nõuded:** Puuduvad

**Töö keel:** eesti keel

Kaitsmistootlus esitada hiljemalt 16.05.2016

**Töö esitamise tähtaeg** 20.05.16

**Üliõpilane** Stanislav Štökov /allkiri/ .....

kuupäev.....

**Juhendaja** Eduard Latõšov /allkiri/ .....

kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

# SISUKORD

Magistritöö ülesanne .....	3
Jooniste loetelu .....	6
Tabelite loetelu .....	7
Eessõna .....	8
<b>1. SISSEJUHATUS</b> .....	<b>9</b>
<b>2. BIODIISLID</b> .....	<b>15</b>
2.1. Biodiisli .....	18
2.1.1. Rapsist biodiisli tootmise põhimõte .....	19
2.1.2. Rapsi biodiisli potentsiaal Eestis .....	20
2.2. Bioetanool .....	21
2.2.1. Bioetanooli tootmise põhimõte .....	23
2.2.2. Teravilja bioetanooli potentsiaal Eestis .....	24
2.2.3. Tselluloosi bioetanooli potentsiaal Eestis .....	25
2.3. Biogaas .....	26
2.3.1. Biogaasi tootmise põhimõte .....	27
2.3.2. Biogaasi potentsiaal Eestis .....	29
<b>3. BIODIISLITE ÕIGUSLIK RAAM</b> .....	<b>30</b>
3.1. Euroopa eesmärgid .....	30
3.2. Euroopa Liidu direktiivid .....	32
3.2.1. Taastuvenergia direktiiv .....	33
3.2.2. Mootorikütuste kvaliteedistandardite direktiiv .....	34
3.3. Mootorikütuste standardid .....	35
<b>4. BIODIISLITE KESKONNAMÕJU HINDAMINE</b> .....	<b>37</b>
4.1. Metoodika .....	37
4.2. Algandmed .....	39
4.2.1. Tooraine kasvatamine .....	39
4.2.2. Tooraine kuivatamine ja hoiustamine .....	43
4.2.3. Tooraine ja biodiisli transport .....	44
4.2.4. Tooraine töötlemine tehases .....	45
4.2.5. Biodiisli hoiustamine laos .....	48
4.2.6. Biodiisli käitlemine tanklas .....	49

4.3. Tulemused.....	49
4.3.1. Tooraine kasvatamine .....	50
4.3.2. Tooraine kuivatamine ja hoiustamine .....	51
4.3.3. Tooraine ja biokütuse transport.....	51
4.3.4. Tooraine töötlemine tehases.....	53
4.3.5. Biokütuse hoiustamine laos.....	54
4.3.6. Biokütuse käitlemine tanklas .....	55
4.3.7. Biokütuse tootmise kogu ahela KHG heitkogused .....	56
<b>KOKKUVÕTE .....</b>	<b>59</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>62</b>
<b>KASUTATUD KIRJANDUS .....</b>	<b>65</b>
<b>LISAD.....</b>	<b>71</b>
Lisa 1. Valemid biokütuste elutsükli jooksul tekkivate KHG arvutamiseks.....	72
Lisa 2. Keskkonnamõju hindamise programmi tingmärkide seletused.....	89

## JOONISTE LOETELU

Joonis 1.1. Toornafta hind aastatel 1996 – 2016, dollarit barreli kohta.....	9
Joonis 1.2. Transpordi biokütuste tootmine Euroopa Liidus aastatel 1990 – 2014, TJ .....	11
Joonis 1.3. Eesti transpordivaldkonna KHG heitkogused aastatel 1990 – 2014, kt CO <sub>2</sub> ekv ..	12
Joonis 2.1. Põhiliste transpordi biokütuste tehnoloogiate kaubandusliku käivitumise staatus	17
Joonis 2.2. Rapsiseemne biodiisli tootmise etapid .....	20
Joonis 2.3. Bioetanooli tootmise etapid .....	24
Joonis 2.4. Biogaasi tootmise etapid .....	28
Joonis 4.1. Kütuse keskkonnamõju hindamise erinevad viisid.....	37
Joonis 4.2. Talirapsi, talinisu, raievõsa ja rohtse biomassi tootmisahelad .....	38
Joonis 4.3. Tooraine kasvatamisest tekkivad KHG heitkogused, kg CO <sub>2</sub> ekv/tonn .....	50
Joonis 4.4. Tooraine kuivatamisest ja hoiustamisest tekkivad KHG heitkogused, kg CO <sub>2</sub> ekv/tonn .....	51
Joonis 4.5. Tooraine transportimisest tekkivad KHG heitkogused, kg CO <sub>2</sub> ekv/tonn .....	52
Joonis 4.6. Biokütuse transportimisest tekkivad KHG heitkogused, kg CO <sub>2</sub> ekv/tonn .....	53
Joonis 4.7. Tooraine töötlemisest tekkivad KHG heitkogused, kg CO <sub>2</sub> ekv/tonn .....	54
Joonis 4.8. Biokütuse hoiustamisest laos tekkivad KHG heitkogused, kg CO <sub>2</sub> ekv/tonn.....	55
Joonis 4.9. Biokütuse käsitlemisest tanklas tekkivad KHG heitkogused, kg CO <sub>2</sub> ekv/tonn ...	56
Joonis 4.10. Biokütuse tootmisel kogu ahelas tekkivad KHG heitkogused, kg CO <sub>2</sub> ekv/tonn	57
Joonis 4.11. Biokütuse tootmise KHG heitkoguste säästupotentsiaal, % .....	57
Joonis 4.12. Biokütuse tootmisel etapi kaupa tekkivad KHG heitkogused, g CO <sub>2</sub> ekv/MJ.....	58

## TABELITE LOETELU

Tabel 2.1. Biodiisli eelised, puudused ja ohud.....	18
Tabel 2.2. Bioetanooli eelised, puudused ja ohud.....	22
Tabel 2.3. Biogaasi eelised, puudused ja ohud .....	27
Tabel 2.4. Eesti biometaani potentsiaal toormeliikide kaupa.....	29
Tabel 3.1. Euroopa Liidu transpordivaldkonna eesmärgid .....	31
Tabel 3.2. Peamiste alternatiivkütuste sobivus transpordiliikide ja sõidudistantsi kaupa .....	32
Tabel 4.1. Talirapsi kasvatamise algandmed .....	39
Tabel 4.2. Talinisu kasvatamise algandmed.....	40
Tabel 4.3. Raievõsa kasvatamise algandmed .....	41
Tabel 4.4. Rohtse biomassi kasvatamise algandmed .....	42
Tabel 4.5. Talirapsi kuivatamise ja hoiustamise algandmed.....	43
Tabel 4.6. Talinisu kuivatamise ja hoiustamise algandmed.....	43
Tabel 4.7. Raievõsa hakke valmistamise algandmed.....	44
Tabel 4.8. Rohtse biomassi kuivatamise ja hoiustamise algandmed.....	44
Tabel 4.9. Talirapsi, talinisu ja raievõsa transportimise algandmed .....	44
Tabel 4.10. Rohtse biomassi ja biometaani transportimise algandmed .....	45
Tabel 4.11. Talirapsi töötlemise algandmed .....	46
Tabel 4.12. Talinisu töötlemise algandmed .....	47
Tabel 4.13. Raievõsa töötlemise algandmed.....	47
Tabel 4.14. Rohtse biomassi töötlemise algandmed .....	48
Tabel 4.15. Biokütuste hoiustamise algandmed.....	48
Tabel 4.16. Biokütuste käitlemise algandmed .....	49

## EESSÕNA

Käesolevas töös vaadeldakse erinevate transpordi biokütuste keskkonnamõju juhul, kui nende tootmine leiaks aset Eesti territooriumil. Keskkonnamõju hinnatakse CO<sub>2</sub> ekvivalentides kasutades *well-to-pump* analüüsi, mis hõlmab endas CO<sub>2</sub> ekvivalent heitkoguseid transpordi biokütuse tooraine kasvatamise, kuivatamise, hoiustamise, transportimise, töötlemise ja käitlemise etapis. Algandmetena kasutatakse Eesti spetsiifilisi, Euroopa keskmisi või transpordi biokütuste valdkonna vaikeväärtusi. Analüüs viiakse läbi kasutades *United Kingdom and Ireland Carbon Calculator* modelleerimise programmi. Saadud tulemuste põhjal on võimalik järeldada, kui suured CO<sub>2</sub> ekvivalent heitkogused eralduvad transpordi biokütuse tootmise igas etapis ja kas nad vastavuses Euroopa Parlamendi ja nõukogu taastuvate energiaallikate direktiivi (2009/28/EÜ) vaikeväärtustega. Töö ei sisalda transpordi biokütuste kasutuselevõtu majanduslikke aspekte.

Nii Eestis kui ka mujal Euroopas on transpordi biokütuste tootmine ja kasutuselevõtmine aktuaalseks teemaks, kuna 2020. aastaks on vaja täita Euroopa Komisjoni poolt püstitatud nõuet võtta transpordis kasutusele 10% ulatuses kütuseid taastuvatest energiaallikatest. Seepärast on Eesti riik hakanud aktiivselt uurima, milliseid transpordi biokütuseid oleks kõige mõistlikum kohapeal tootma hakata ja teinud selles suunas ka esimesi samme – biogaasi tootmine Eesti maapiirkondades. Transpordi biokütuste kasutuselevõtmine vähendaks Eesis tekkivate kasvuhoonegaaside heitkoguseid, suurendaks energiajulgeolekut ja edendaks majandust.

Töö teema pakkus välja Eduard Latõšov, kes on Tallinna Tehnikaülikooli Soojustehnika instituudi insener ja ajendas autorit antud teemaga tegelema isiklik huvi. Töö algandmete kogumine toimus Eesti Keskkonnauuringute Keskuses. Autor soovib siiralt tänada kõiki, kes aitasid töö koostamisel, aga eelkõige oma vanemaid, kelle toetuseta ei oleks jõutud nii kaugele oma õpingutes.



# 1. SISSEJUHATUS

Transpordivaldkond on kasutanud viimased 100 aastat põhilise kütusena bensiini ja diisli. Kuigi 20. sajandi algusaastatel kaaluti ka taimeõlide, etanooli ja metanooli kasutamist, langes toetus siiski fossiilsete transpordikütuste kasuks. Viimastel aastakümnetel on transpordikütuste tootmine taimsetest saadustest taas aktuaalne, kuna ühelt poolt taastuvatest energiaallikatest transpordikütused võimaldavad vähendada transpordivaldkonna keskkonnamõjusid ja teiselt poolt suurendada riikide energiajulgeolekut.

Toornafta varud on Maakeral peal jaotunud ebaühtlaselt. 2014. aasta seisuga 80% maailma tõendatud toornafta varudest asuvad OPECi<sup>1</sup> liikmesriikide territooriumil [1]. Samuti on toornaftat maapõuest aasta-aastalt raskemini kätte saada, kuna konventsionaalsed naftavarud on ammendumas ja uued varud asuvad raskemini kättesaadavates kohtades. Selline turu olukord muudab toornafta hinna volatiilseks ja äärmiselt tundlikuks muutustele poliitilisel maastikul, mis suurendab kokkuvõttes riikide kulutusi transpordikütustele ning mõjutab ka nende energiajulgeolekut.



Joonis 1.1. Toornafta hind aastatel 1996 – 2016, dollarit barreli kohta [2]

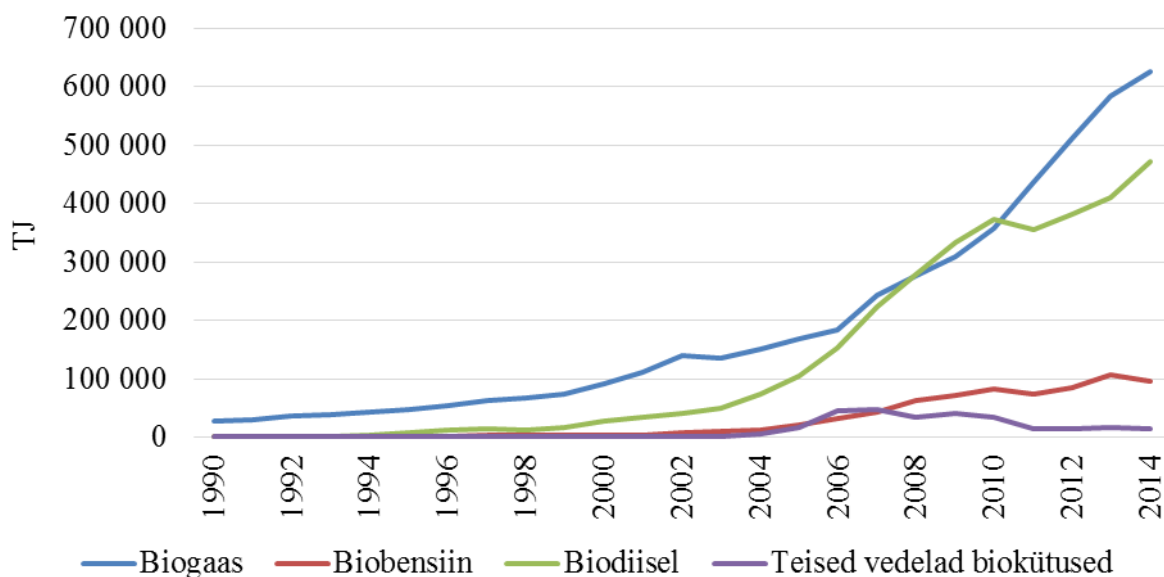
<sup>1</sup>Märkus. OPEC (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*) on naftat eksportivate riikide organisatsioon, mis koosneb 13 riigist: Alžeeria, Angola, Ecuador, Indoneesia, Iraan, Iraak, Kuveit, Liibüa, Nigeeria, Katar, Saudi Araabia, Araabia Ühendemiraadid ja Venezuela.

Joonisel (Joonis 1.1.) on välja toodud, millistes hinnavaheemikes on toornafta hind kõikunud viimased 20 aastat. Selles ajaperioodis saavutas toornafta hind miinimumi 1998. aastal (11,4\$ barreli kohta) ja maksimumi 2008. aastal (140,0\$ barreli kohta). [2] 2016. aastal saavutas toornafta hind taas madalseisu. 1996 – 2016 perioodil oli üldine hinnatrend kasvav, sest joonisel olevad miinimumid on ajapikku suurenenud. Tulevikus võib toornafta hind taas tõusta. 2020. aastaks prognoosib Maailmapank toornafta hinnaks 58,8\$ barreli kohta [3]. Seega energiajulgeoleku seisukohast oleks tarvis võtta kasutusele transpordikütuste jaoks toormeallikaid, millest tootmine oleks võrreldes toornaftaga kergemini kättesaadavam kui ka hinnalt stabiilsem.

Euroopa Liit edendab keskkonnasõbralikke tehnoloogiaid ja tooteid igas valdkonnas (s.h transport) ning on seadnud rida eesmärgi, millega kaudu suunata nende arengut. 2020. aastaks on soov saavutada 10%-list taastuvenergia osakaalu transpordikütuste lõpptarbimises. Suurem eesmärk on vähendada kasvuhoonegaaside<sup>2</sup> (edaspidi: KHG) heitkoguseid 80% 2050. aastaks võrreldes 1990. aastaga. Nii ambitsioonikat eesmärki ei ole võimalik saavutada ilma suuremate muutusteta kasutatavates tehnoloogiates või toodetes. Transport on samuti üks valdkondadest, kus järgmise 30 aasta jooksul toimuvad kardinaalsed muudatused. Euroopa Liidu üks tegevustest on järk-järgult minna transpordis üle biokütustele, mille jalajälg on võrreldes fossiilkütustega väiksem. Asendades transpordis fossiilkütuseid 100%-liselt transpordi biokütustega (edaspidi: biokütused) on võimalik saavutada kuni 95%-list KHG vähenemist. [4]

---

<sup>2</sup>**Märkus.** Kasvuhoonegaas ehk KHG, mille hulka kuuluvad CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC ja SF<sub>6</sub>. Nende gaaside molekulid seovad Maalt atmosfääri tagasipeegelduvat infrapunast kiirgust, tõstes sellega atmosfääri temperatuuri.



Joonis 1.2. Transpordi biokütuste tootmine Euroopa Liidus aastatel 1990 – 2014, TJ [5]

Joonisel (Joonis 1.2.) on välja toodud, et aasta-aastalt on Euroopa Liidu liikmesriigid aina enam panustanud biokütuste tootmisse. 2004. aastal toodeti biokütuseid kokku 240 496 TJ ja 2014. aastal 1 206 614 TJ. 2004 – 2014 perioodi kasv on viiekordistunud. [5] Seega 2020. aasta ja 2050. aasta eesmärki võetakse täie tõsidusega ning tehakse suuri pingutusi, et see ka saavutada.

Eesti majanduses mängib transpordivaldkond olulist rolli, kuna moodustab umbes 9% kogu tööhõivest. 2014. aastal oli transpordivaldkonna KHG heitkogus 2 266 kt CO<sub>2</sub> ekvivalenti<sup>3</sup> (edaspidi: CO<sub>2</sub> ekv), mis moodustas Eesti summaarsest KHG heitkogusest 10,8%. Transpordi heitkogused hõlmavad endas ainult siseriikliku transporti [6]:

- Riigisisene lennundus
- Maanteetransport
- Raudteetransport
- Riigisisene laevandus

Keskkonnamõju vähendamiseks transpordil on oluline kasutada transpordivahendeid ja tarbitavaid kütuseid efektiivselt.

<sup>3</sup> **Märkus.** Süsinikdioksiidi ekvivalent ehk CO<sub>2</sub> ekv on üks tonn CO<sub>2</sub> või sellega samaväärse globaalse soojenemise teguriga kogus mistahes muud Kyoto protokollis lisas A loetletud kasvuhoonegaasi.



Joonis 1.3. Eesti transpordivaldkonna KHG heitkogused aastatel 1990 – 2014, kt CO<sub>2</sub> ekv [6]

Jooniselt (Joonis 1.3.) on välja toodud, et KHG heitkogused vähenesid drastiliselt 1991. aastal. Põhjuseks oli järsk kütusehinna tõus pärast taasiseseisvumist ja kütuste tarnemaskused. 1992. aastal oli KHG heitkoguste madalseis, pärast mida hakkasid heitkogused stabiilselt tõusma ja 2007. aastal saavutasid 1990. aasta taseme. Tõus oli tingitud põhiliselt maanteetranspordist, mis on transpordivaldkonna kõige suurem KHG allikas ja moodustab üle 90% valdkonna heitkogustest. 2014. aastal oli biokütuste osakaal koos elektriga 1,25% ja ilma elektrita 0,67% kogu tarbitavast kütusest transpordivaldkonnas. [6] Seega, Eestil on veel pikk maa läbida 2020. aasta ja 2050. aasta eesmärgi saavutamiseks, kuid tegevusetu pole istunud ja on proovitud viia ellu projekte, et suurendada biokütuste osakaalu transpordikütuste tarbimises.

2004. aastal loodi AS Biodiesel Paldiski, mille eesmärk oli rajada Eestisse moderne biodiislikütuse (edaspidi: biodiisel) tootmise ja taimeõlide terminal. 2008. aastal avatigi Paldiskis ametlikult Baltimaade üks suuremaid esimese põlvkonna biodiislitehaseid. Taimeõlide terminal võimaldas aastas ümber laadida kuni 300 000 tonni taimseid õlisid. Taimeõlide rafineerimise ja biodiisli tootmisvõimsus oli kuni 100 000 tonni aastas. [7] AS Biodiesel Paldiski kasutas biodiisli tootmiseks rapsiõli, mille ostuhinnast sõltus valmistoodangu hind 75% ulatuses. Biodiisli tootmiseks oli võimalik veel kasutada, soja-, palmi-, toidu- ja jatropha õli. 95% valmistoodangust läks ekspordiks Leetu, Lääne-Euroopasse ja Skandinaaviamaadesse, kuna kodumaine tarbimine oli olematu. [8] Paldiski

biodiisli projekt ebaõnnestus, kuna ei suudetud täita saneerimiskava. 2010. aastal kuulutati välja pankrot. [9]

2009. aasta suveks oli Kundas planeeritud bioetanooli tehase Viru Distilleri valmimine. Tehase aastane planeeritud tootmisvõimsus oli 120 000 tonni 99,8%-list bioetanooli, millele oleks kulunud 350 000 tonni teravilja. Tegemist oleks olnud keskkonnasõbraliku ja energiasäästliku tootmisega, kuna jääkprodukti (praaki) oleks pärast kuivatamist ja granuleerimist kasutatud loomasööda lisandina. Enamus toormest pidi tulema Eestist, kuid riskide maandamiseks sõlmiti lepinguid Kasahstani ja Ukrainaga. Kunda projekt katkestati, kuna selgus, et Eesti biokütuste turgu reguleeriv õiguslik raam ei olnud soodne. [10]

2009. aastal viidi läbi ka Narva elektriijaamade juurde ehitatava bioetanooli tehase tasuvusuuring. Tehas pidi käivituma 2011. aastal ja aastane planeeritud tootmisvõimsus oli 100 000 tonni bioetanooli, millele oleks kulunud 250 000 tonni teravilja (segu rukkis, nisust ja tritikalest). Tegemist oli samuti keskkonnasõbraliku ja energiasäästliku tootmisega, kuna tekkinud praaki<sup>4</sup> (150 000 tonni/aastas) oleks põletatud keevkihtkatlas tahke biokütusena elektritootmiseks. Tooraine saamiseks sooviti kasutusele võtta kuni 75 000 ha kasutuseeta olevat põllumaad. Narva bioetanooli projekti ei viidud lõpule, kuna Eesti majanduslik olukord ja biokütuste turgu reguleeriv õiguslik raam ei olnud soodne. [10, 11, 12]

Viimase kolme näite põhjal võib öelda, et plaanid biokütuste tootmiseks Eestis olid suured. Tootmisvõimsus jäi kõigi kolme tehase puhul samasse suurusjärku umbes 100 000 tonni aastas. Projektide katkemine või ebaõnnestumine oli põhjustanud Eesti biokütuste ebasobiv õiguslik raam<sup>5</sup> ja 2008. aastal alanud majanduskriis, mis tingis majanduse ebasoodsa olukorra. Seitse aastat hiljem on biokütuste tootmine Eestis taas aktuaalne teema, aga seekord juba Vabariigi Valitsuse tasandil, kuna aasta 2020 on lähenemas ja 10% tarbitud transpordikütusest peab tulema taastuvatest energiaallikatest.

21. septembril 2015 majandus- ja taristuminister Kristen Michal allkirjastas eelnõu, et riik saaks toetada biometaani tootmise alustamist, tanklaketi rajamist ning ühistranspordis kasutuselevõttu. Projekti jaoks on ette nähtud üheksa miljonit eurot, millest kolm miljonit läheb tanklataristu (umbes 20 tanklat) ja kuus miljonit avalike liinivedude toetuseks. Lisaks

---

<sup>4</sup>**Märkus.** Praagi kütteväärtus ca 9 MJ/kg ja niiskus 50%.

<sup>5</sup>**Märkus.** Biokütused ei saanud kütuseaktsiisi vabastust ja polnud kohustust segada biokütust fossiilkütusega.

2020. aasta eesmärgi täitmisele, kohalikust toormest toodetud kütus aitab suurendada Eesti energiasõltumatust. Pilootfaasis toetatakse avalike bussiliinide viimist biometaanile, mille tulemusena saavad linnad puhtama linnaõhu, madalama mürataseme ja stabiilsema hinna ühistranspordi kütusele. Näiteks Tartus on planeeritud umbes 65 gaasil töötavat bussi 2017. aastal. [13, 14]

Lähtuvalt eelmainitud näidetest on käesoleva magistriõppe lõputöö eesmärk hinnata ja võrrelda biodiisli, bioetanooli ning biometaani keskkonnamõju, kui kogu nende tootmisahel paikneks Eesti territooriumil. Keskkonnamõju hinnatakse CO<sub>2</sub> ekv kasutades *well-to-pump* analüüsi, mis hõlmab endas CO<sub>2</sub> ekv heitkoguseid biokütuse tooraine kasvatamise, kuivatamise, hoiustamise, transportimise, töötlemise ja käitlemise etapis. Algandmetena kasutatakse Eesti spetsiifilisi, Euroopa keskmisi või biokütuste valdkonna vaikeväärtusi. Keskkonnamõju hinnang viiakse läbi modelleerimise teel kasutades *United Kingdom and Ireland Carbon Calculator* programmi. Programmi tööpõhimõtet on täpsemalt lahti seletatud 4. ptk-is. Saadud tulemuste põhjal on võimalik järeldada, kui suured KHG heitkogused (CO<sub>2</sub> ekv) eralduvad biokütuse tootmise igas etapis; kas nad vastavuses Euroopa Parlamendi ja nõukogu taastuvate energiaallikate direktiivi (2009/28/EÜ) vaikeväärtustega ning millise biokütuse tootmine on kõige väiksema CO<sub>2</sub> intensiivsusega. Töö ei sisalda endas biokütuste kasutuselevõtu majanduslikke aspekte.

Käesolev magistriõppe lõputöö on jaotatud neljaks peatükiks. Teine peatükk kirjeldab biodiisli, -etanooli ja -metaani olemuse ning kasutamise potentsiaalset Eestis. Kolmas peatükk annab ülevaate biokütuste õigusliku raamistiku kohta, mis kätkeb endas Euroopa Liidu eesmärgid, direktiive ja vedelkütuste standardeid. Neljandas peatükis on välja toodud keskkonnamõju hinnangu jaoks kasutatud algandmed ja meetodika, mis on kirjeldatud lahti etapi kaupa. Viimane peatükk hõlmab keskkonnamõju hindamise tulemusi koos võrdlusanalüüsiga. Pärast kõikide sisuosade lahti kirjeldamist ja analüüsi, antakse koondhinnang erinevate biokütuste keskkonnamõjude kohta ning tuuakse välja kõige väiksema CO<sub>2</sub> intensiivsusega biokütus.

## 2. BIOKÜTUSED

Biomass on Euroopa Liidu taastuvenergia direktiivi 2009/28/EÜ mõistes põllumajandusest (k.a taimsed ja loomsed ained), metsatööstusest ja sellega seotud tootmisest, sh kalandusest ja vesiviljelusest pärit bioloogilise päritoluga toodete, jäätmete ja jääkide bioloogilisest lagunev fraktsioon ning tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt lagunev fraktsioon. Biomassist toodetud vedelat või gaasilist transpordikütust nimetatakse biokütuseks, mis on üks jätkusuutlikumaid lahendusi, et vähendada KHG ja välisõhu saasteainete heitkoguseid transpordivaldkonnas, kui biokütus on toodetud säästvalt ning ei põhjusta kaudset maakasutuse muutust. Rahvusvahelisel tasandil on kokkulepitud, et biokütused on CO<sub>2</sub> neutraalsed kütused. See põhineb eeldusel, kus kütuse põlemisprotsessil ei vabane atmosfääri CO<sub>2</sub>-te rohkem kui biomassi kasvatamise poolt seotav CO<sub>2</sub> maht. Kui biomass jääks metsa mädanema, siis mädanemise käigus vabaneks ikka analoogne kogus CO<sub>2</sub>-te. [4, 12, 15, 16]

Biokütused avaldavad positiivset regionaalset sotsiaalmajanduslikku mõju. Nende tootmine ja kasutuselevõtmine vähendab vajadust importida fossiilset vedelkütust (bensiini ja/või diislikütust), soodustab kohalikku ettevõtlust ja avab uusi võimalusi põllumajandustootjatele. Põllumajanduses on võimalik toota lisaks toidule ka energiat. Tulemusena tekib juurde töökohti. Rahvusvahelise Energiaagentuuri (*International Energy Agency*) prognooside järgi peaks biokütuste tarbimine kasvama 2050. aastaks kuni 32 TJ, mis peaks moodustama 27% transpordikütuste lõpptarbimisest. 2011. aastal oli sama näitaja 2%. [12, 17] Seega biokütuste kasvupotentsiaal on suur ja iga riigi otsustamiseks jääb, kas soovitakse turgu panustada või mitte.

Biokütuseid on võimalik toota erinevatest lähteainetest pidevalt arendatavate tehnoloogiate abil ja kasutada otse või segatuna fossiilkütusega. Nende hulka kuuluvad biometanool, bioetanool, biodiisli (FAME<sup>6</sup>), hüdrogeenitud taimeõli, puhas taimeõli, dimetüüleeter (DME) ja muud orgaanilised ühendid. Kui vaadata biokütuste elutsüklit tervikuna (taimekasvatusest kuni käitlemiseni), siis mõningate biokütuste tootmine on osutunud üsna CO<sub>2</sub> mahukaks ja arvutuste järgi on biokütused CO<sub>2</sub> heitkoguste seisukohast keskkonnale isegi kahjulikumad

---

<sup>6</sup> **Märkus.** FAME ehk taimsetest või loomsetest õlidest toodetud, diislikütuse omadustega metüülester, mis on mõeldud kasutamiseks biokütusena.

kui bensiin või diislikütus. Biokütuse positiivne või negatiivne keskkonnamõju võrreldes fossiilsete kütustega sõltub kasutatava biokütuse põlvkonnast. [15]

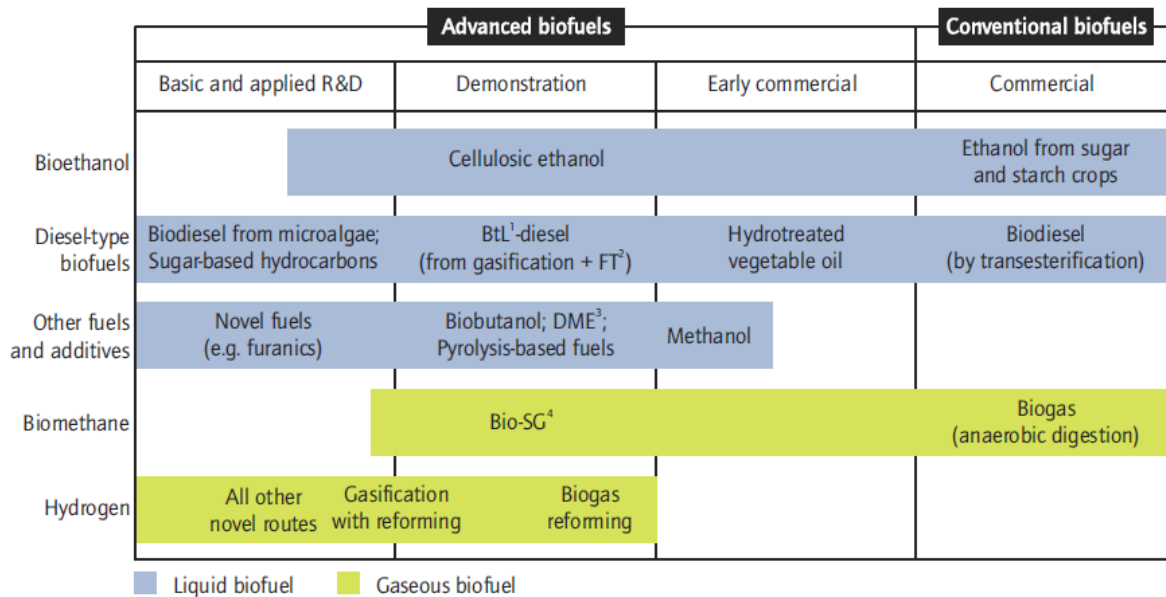
Esimese põlvkonna biokütuseid toodetakse suhkruid ja tärklis sisaldavatest põllu-, õlikultuuridest ja loomsetest rasvadest. Põllu- ja õlikultuuridest kasutatakse näiteks nisu, suhkrupeedi, rapsi ning sinepit toorainena biodiisli või -etanooli toomiseks. Esimese põlvkonna biokütuste hinnas on põhikomponendiks just tooraine hind, mis võib moodustada kuni 75% biokütuse hinnast. Hinda mõjutab ka olulisel määral tootva tehase võimsus, mis on olulisem bioetanooli ja vähem olulisem biodiisli tootmisel. Just esimese põlvkonna biokütuste puhul on seatud kahtluse alla nende positiivne keskkonnamõju. Selle leevendamiseks on Euroopa Komisjon teinud ettepaneku piirata esimese põlvkonna biokütuste kasutamist ja soodustada teise põlvkonna biokütuste tootmist, mis on valmistatud lignotselluloosest biomassist, jäätmetest või muust toiduks mittekasutatavast biomassist, sh vetikad ning mikroorganismid. Lisaks keskkonnamõjudele süüdistatakse esimese põlvkonna biokütuste tootjaid ka toiduhindade tõusus, kuna suurem osa biokütuste toorainest on kasvatatud toidupõldudel. Müügil on peamiselt esimese põlvkonna vedelad biokütused. Olemasoleva mootorikütuste infrastruktuuriga ja enamike sõidukitega ühilduvad fossiilkütuste ja biokütuste segud, milles on kuni 10% bioetanooli või kuni 7% biodiislit. [12, 15, 18]

Teise põlvkonna biokütuseid on hakatud välja arendama, et üle saada esimese põlvkonna biokütuste murekohtadest. Teise põlvkonna biokütuseid on plaan toota mittetoiduks mõeldud toorainest, näiteks puit, biojäätmel vms. Teise põlvkonna biokütuseid hetkel ei toodeta kaubanduslikes mõõtmetes, kuna kõrge tootmishinna tõttu pole nad veel konkurentsivõimelised (vt Joonis 2.1.). Tehnoloogia arenedes võib saada neist vedelkütusemajanduse tähtis osa. Nende suurim eelis on tohutu toorainebaas ja tooraine odavus. [12, 18]

Kolmanda põlvkonna biokütuste tehnoloogiad on suunatud biomassi toodangu suurendamisele. Eesmärk on toota biokütuseid spetsiaalselt välja töötatud taimedest (näiteks vetikas), mille kasvatamine on odav ja on kõrge energiasisaldusega taastuvenergiaallikas. Vetikaid on võimalik kasvatada, kus maa ja vesi ei ole kõlbulik toidu kasvatamiseks. Seega saab vähendada puhtavee kasutamist. Vetikatest on võimalik toota biodiislit, biobensiini ja lennukütust. [18]



Neljanda põlvkonna biokütuste eesmärk ei ole ainult toota energiat jätkusuutlikult, vaid ka püüda ja ladustada CO<sub>2</sub>-te (*Carbon Capture and Storage*). Neljanda põlvkonna biokütused kasutavad protsessis *oxy-fuel* põletustehnoloogiat<sup>7</sup>, mis on peamine erinevus võrreldes teise ja kolmanda põlvkonnas biokütustega. CO<sub>2</sub> püüdmine teeb neljanda põlvkonna biokütuste CO<sub>2</sub> bilansi negatiivseks, kuna kogu biokütuse tootmisel tekkinud CO<sub>2</sub> püütakse kinni ja toodetud biokütusega asendatakse CO<sub>2</sub>-te tekitavaid fossiilkütuseid. [18]



Joonis 2.1. Põhiliste transpordi biokütuste tehnoloogiate kaubandusliku käivitumise staatus<sup>8</sup> [17]

Järgnevatel peatükkides käsitletakse ainult esimese põlvkonna biodiisli (rapsist), bioetanooli (teraviljast) ja biogaasi, kuna tegemist on asjakohaste biokütustega Eesti kontekstis (vt. sissejuhatuse peatükki) ning nende tootmiseks on välja töötatud konkurentsivõimelised kommerts tootmistehnoloogiad. Lisaks võetakse vaatluse alla lignotselluloosest biomassist toodetud etanooli, sest Eestis on suur metsaressurss, mis loob soodsad tingimused selle tehnoloogia juurutamiseks.

<sup>7</sup> **Märkus.** *Oxy-fuel* põletustehnoloogia kujutab endast rikastatud hapniku keskkonnas põletamist. Kui tavaline põlemisprotsess toimub õhu keskkonnas, mis peamiselt koosneb lämmastikust ning hapnikust, siis *oxy*-tehnoloogia põlemiskeskkond koosneb peamiselt CO<sub>2</sub>-st ning O<sub>2</sub>-st.

<sup>8</sup> **Märkus.** 1. Biomass vedelikeks; 2. Fischer-Tropsch; 3. Dimetüüleeter; 4. Biosünteesgaas.

## 2.1. Biodiiseli

Biodiisel on taimsetest või loomsetest õlidest toodetud biokütus, mis on mõeldud kasutamiseks seguna diislikütusega tavalises diislimootoris, kuna keemilistelt omadustelt on tavadiisliga sarnane. Euroopas toodetakse biodiisli põhiliselt rapsiõlist, aga väljaspool Euroopat kasutatakse ka soja, jathropa, kookospähkelid vms. Külmpressitud taimeõli on samuti biokütus, kuid ilma sõiduki mootorit ümber seadistamata ei sobi see mootorikütuseks. Biodiisli energiasaldus on väiksem võrreldes diislikütusega<sup>9</sup>. Puhtal kujul biodiisli kasutatakse pigem vanemate diislimootorites, kuid tuleb lähtuda autotootja kasutusjuhendist ja üldjuhul ei sobi puhtal kujul biodiisel kasutamiseks EURO 4 ning EURO 5 nõuetele vastavates mootorites. [15] Tabel 2.1 on välja toodud biodiisli eelised, puudused ja ohud.

Tabel 2.1. Biodiisli eelised, puudused ja ohud [19, 20]

Eelised	Puudused	Ohud
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioloogiliselt kergesti lagunev, mille tõttu ei ohusta pinnast ega põhjavett</li> <li>• Toodetakse taastuvast energiaallikast</li> <li>• CO<sub>2</sub> neutraalne kütus</li> <li>• Väävlivaba</li> <li>• Tahma heitkoguste vähenemine kuni 50%</li> <li>• Ei sisalda aromaatsid ühendeid</li> <li>• Vähenevad süsivesinike heitkogused</li> <li>• Väikses kontsentratsioonis hea määrimisvõime, mis säästab mootorit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapsi saab kasvatada üks kord viie aasta jooksul</li> <li>• 100%-line kontsentratsioon kahjustab tavapäraseid kummist detaile</li> <li>• Sõiduki filtrit ja õli tuleb kaks korda sagedamalt vahetada</li> <li>• Viskoossus on peaaegu kaks korda kõrgem võrreldes diislikütusega, mis raskendab mootori käivitamist alla 0°C<sup>10</sup></li> <li>• Kergesti vahutav</li> <li>• Väiksem energiasaldus võrreldes diislikütusega</li> <li>• Hoiustamisel vajab eritingimusi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapsi kasvatamisel kasutatakse lämmastiku ja fosfori väetisi ning pestitsiide, mis maapinda imbumise korral võivad kahjustada põhjavett</li> <li>• Kasutamine võib põhjustada ammoniaagi suurenenud heitkoguseid atmosfääri</li> <li>• Sõidukite garantiitingimused ei pruugi laieneda biokütuse kasutamise probleemidele</li> <li>• Võib tekkida konkureerimine rapsi pärast toiduainetööstusega</li> </ul>

<sup>9</sup> Märkus. Biodiisli kütteväärtus on ~37 MJ/kg ja diislikütuse kütteväärtus on ~42,5 MJ/kg.

<sup>10</sup> Märkus. Biodiisli viskoossus on 7,4 mm<sup>2</sup>/s ja diislikütuse viskoossus on 4 mm<sup>2</sup>/s.

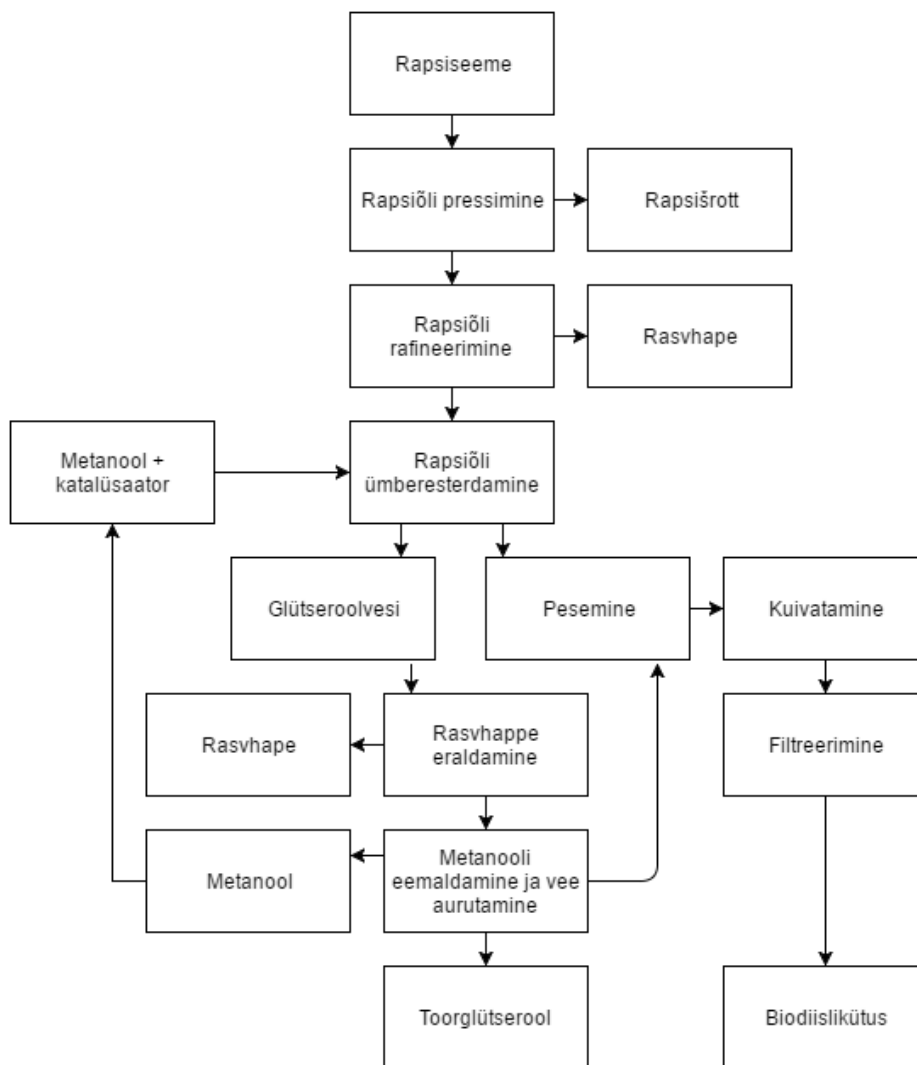
Eelised	Puudused	Ohud
<ul style="list-style-type: none"> <li>Energiasõltumatuse kasv ja elavdab maapiirkondade majandust</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>7%-lise segu infrastruktuuri investeeringuid</li> </ul>	

### 2.1.1. Rapsist biodiisli tootmise põhimõte

Raps koristatakse põllult, kui põld on hallika jumega. Seemnete niiskus jääb 15 – 20% piiresse. Pärast saagi korjamist saadetakse raps kuivatisse, kus teda kuivatatakse kuni 7 – 9% niiskuseni. Kuivatatud raps saadetakse külmpressimisse, kus eraldatakse õli. Näiteks 100 kg-st rapsiseemnest saadakse umbes 28 kuni 35 kg õli. Tekkinud jäätmeid võib kasutada söödaks. Järgmises etapis rapsiõli rafineeritakse, kuna toorõli sisaldab fosfaate, rääsunud vabasid rasvhappeid, fenooli ja raskemetalle. Ümberesterdamisel<sup>11</sup> reageerib õli metanooliga ja katalüsaatoriga (Na-metülaat) ning moodustab biodiisli, mis sisaldab glütseriini jääke, seepe ja katalüsaatorit. Biodiisli puhastamiseks kasutatakse vett ja sidrunihapet, mida hiljem ka tsentrifuugimisel eemaldatakse. Puhastamise viimases etapis eemaldatakse vee ja metanooli jäägid, mis lähevad uuesti kasutusse. [15, 16, 21] Joonis 2.2. on skeemina välja toodud biodiisli tootmise etapid.

---

<sup>11</sup> **Märkus.** Ümberesterdamine (ingl k. *transesterification*) on katalüsaatori juuresolekul kulgev keemiline reaktsioon, mille käigus taimeõlis sisalduvate rasvhapete glütserooliestri (triestri) molekulis asendatakse kolmeühdroksüülse alkoholi glütserooli jääk üheühdroksüülse alkoholi (nt metanooli) jäägiga ning saadakse vastavad (mono)estrid (nt metüülestrid).



Joonis 2.2. Rapsiseemne biodiisli tootmise etapid [15]

## 2.1.2. Rapsi biodiisli potentsiaal Eestis

Eesti rapsi ja rüpsi<sup>12</sup> kasvupindala suurenes kümne aastaga (2003 – 2013) peaaegu kaks korda 46 326 hektarilt 86 124 hektarile. 2010. aastal oli sama näitaja 98 188 ha. Energiarapsi külvipind on jäänud umbes 30 000 ha tasemele ja ülejäänud on mõeldud toidupõlluks. Talirapsi saagikus oli aastail 2012 – 2014 keskmiselt 2 508 kg hektari kohta. 2003. aastal oli sama näitaja 1 494 kg/ha. Lääne-Euroopa rapsi saagikus jääb vahemikku 4,5 – 5,5 t/ha. Seemnete saagikuse juures 2,51 t/ha saaks Eestis koguda umbes 75 300 tonni rapsi biodiisliks.

<sup>12</sup> **Märkus.** Raps ja rüps kuuluvad samasse taimeperekonda, kuid rüpsi ja rapsi bioloogiline erinevus seisneb rüpsi lühemas kasvuaajas ja peenemas seemnes.

Ühelt hektarilt saaks umbes 0,796 tonni ehk 905 liitrit biodiislit, mis tähendab, et 30 000 hektarilt saaks umbes 23 880 tonni biodiislit. [15, 22, 23, 24]

AS Biodiesel Paldiski planeeritud tootmisvõimsus oli 100 000 tonni biodiislit aastas. Selle tehase vajaduse katmiseks oleks tarvis kasutusele võtta ~125 600 ha põllumaad, mis ületab tunduvalt 2013. aastal kogu rapsi ja rüpsi kasvupindala. Energiarapsi kasvatamiseks oleks tarvis kasutusele võtta täiendavat 95 600 ha külvipinda, et mitte konkureerida rapsipõldudega, mis suunatakse toiduõliks. Eesti põllumehed tõenäoliselt ei suuda kunagi varustada vajaliku toorainega, et katta AS Biodiesel Paldiski tootmisvõimsusega tehase toorme vajadusi. [7, 15]

Eesti põllumajandusmaa ressursiks on hinnatud ligikaudu 1 207 000 ha. Sel juhul kasutamata põllumajandusmaa ressursiks on 299 000 ha, kuid tõenäoliselt oleks võimalik kasutusele võtta umbes 105 000 ha ja siis tuleb ikka arvestada logistiliste piirangutega. [25] Seega järeldub, et rapsi saagikuse juures 2,51 t/ha piisaks kogu põllumajandusmaa kasutamata potentsiaalset AS Biodiesel Paldiski toorme vajaduste katmiseks. Kui Eesti rapsi saagikus saavutaks Lääne-Euroopa keskmise saagikuse taseme 5 t/ha, oleks võimalik vähendada vajalikku põllumaa pinda umbes kaks korda. Siinjuures tuleb meeles pidada, et biodiisli põllumaa pinna vajaduse katmine toimuks potentsiaalsete toidupõldude arvelt.

2014. aastal kasutati Eestis umbes 450 000 tonni diislikütust, mis teeb ~19 162 TJ. Kütuse põlemise tulemusena paiskus õhku KHG heitkoguseid ~1 402 kt CO<sub>2</sub> ekv. Kui see diislikütus oleks sisaldanud 7 mahuprotsenti ehk 31 500 tonni<sup>13</sup> biodiislit, siis oleks saanud vähendada keskkonnamõju ~98 kt CO<sub>2</sub> ekv võrra. Keskkonnamõju vähenemine võrdsustuks ~701 miljon kilomeetri läbimisega sõiduautoga<sup>14</sup>. [6, 26]

## 2.2. Bioetanool

Bioetanool on biomassist ja/või jäätmete lagunevast bioloogilisest fraktsioonist toodetud etanool, mida on võimalik kasutada seguna bensiiniga tavalises bensiinimootoris (kuni 10%). Kõrgemad segud nõuavad kasutamiseks modifitseeritud mootori ja kütusesüsteemiga

---

<sup>13</sup> **Märkus.** Biodiislikütuse (FAME) tihedus peab jääma vahemikku 0,86 – 0,90 kg/l standardi EN 14214 järgi (15°C juures).

<sup>14</sup> **Märkus.** 2013. aastal keskmine sõiduauto Eestis paiskas õhku kütuse põletamisel 140 g CO<sub>2</sub>/km heitkoguseid.

sõidukeid, kuid asendavad jällegi efektiivsemalt fossiilkütuseid ning vähendavad oluliselt nii KHG kui ka välisõhus saasteainete heitkoguseid. Bioetanooli energiasisaldus on väiksem võrreldes bensiiniga<sup>15</sup>. Peamiselt eristatakse kaht bioetanooli tootmise allikat – suhkruid/tärklis sisaldavad taimed ja lignotselluloosid taimed. Vastavalt kasutatud toormele nimetatakse saadud bioetanooli esimese või teise põlvkonna bioetanooliks. Eestis võib bioetanooli tootmise toorainena käsitleda: teraviljasid (nisu, rukis, oder, tritikale), juurviljasid (kartul, suhkrupeet), rohumaadel kasvavat rohtu, viljapõhku, metsakasvatuse jääke, puittaimi (raievõsa), raiejääke, biojätmeid ja puitpõhise biomassi töötlemise kõrvalsaadusi (saepuru). Tärklis/suhkrut sisaldavatest põllukultuuridest on etanooli tootmisel kaks olulist puudust. Enamik põllukultuure on tähtsad toiduainena ja neis sisalduvad kiudained (tselluloos, hemitselluloos ja pektiin) ei ole traditsiooniliste kääritamismeetoditega konverteeritavad. Puissest (lignotselluloos) biomassist on võimalik toota odavat bioetanooli, mis ei konkureeriks toidupõldudega, kuid struktuursete erinevuste tõttu on hüdroolüüs raskem võrreldes tärklis või suhkrut sisaldava materjaliga. [12, 20] Tabel 2.2. on välja toodud bioetanooli eelised, puudused ja ohud.

Tabel 2.2. Bioetanooli eelised, puudused ja ohud [12, 19, 20]

Eelised	Puudused	Ohud
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub> neutraalne kütus</li> <li>• Toodetakse taastuenergiaallikatest</li> <li>• Saab kasutada tärklise kultuure, kuid ka puitset biomassi</li> <li>• Kõrge oktaanarv</li> <li>• Käivitumine on talvel hea</li> <li>• Vähenevad NO<sub>x</sub> heitkogused</li> <li>• Väävlivaba</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Euroopas toodetakse põhiliselt suhkrupeedist, kuna tärklisest või tselluloosist tootmine on kallim ja energiamahukam</li> <li>• Kaubanduslikes mõõtmetes ei toodeta veel bioetanooli tselluloosist</li> <li>• 100%-lisel kontsentratsioonil on korrodeeriv omadus</li> <li>• Bensiiniga segamine suurendab NMVOCi<sup>17</sup> heitkoguseid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maressurss on piiratud teravilja suuremahuliseks kasvatamiseks</li> <li>• Võib tekkida konkureerimine toidupõldude pärast</li> <li>• Hinnad on kõrge volatiilsusega suhkru/tärklise tooraine puhul</li> <li>• Teravilja kasvatamisel kasutatavad väetised ja pestitsiidid võivad kahjustada põhjavett</li> </ul>

<sup>15</sup> Märkus. Bioetanooli kütteväärtus on ~27 MJ/kg ja bensiini kütteväärtus on ~43,5 MJ/kg.

<sup>17</sup> Märkus. NMVOC (*non-methane volatile organic compound*) on lenduvad orgaanilised ühendid.

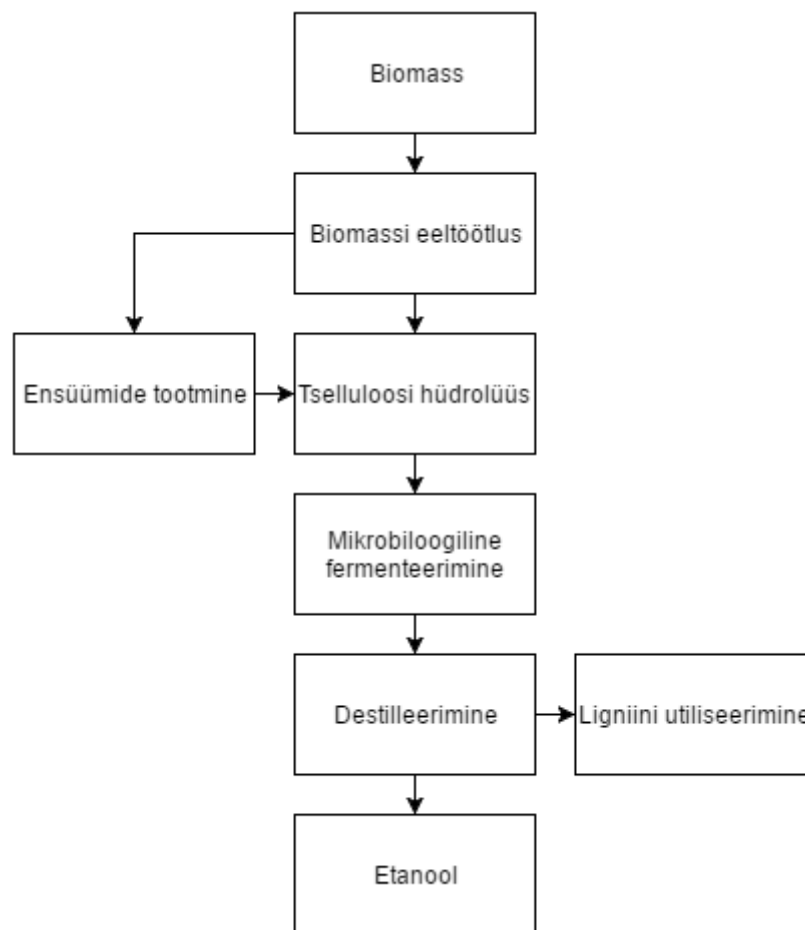
Eelised	Puudused	Ohud
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10%-list segu lubavad palju autotootjad kasutada</li> <li>• Biolagunev ja ei reosta loodust</li> <li>• Tootmise kõrvalproduktina tekib praak<sup>16</sup></li> <li>• Energiasõltumatuse kasv</li> <li>• Elavdab maapiirkondade majandust</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifitseeritud mootoritega autod on kallimad võrreldes tavamootoritega.</li> <li>• Hügrokoopne</li> <li>• Sõiduki filtreid tuleb vahetada tihedamalt</li> <li>• 10%-lise segu infrastruktuuri investeeringud</li> </ul>	

### 2.2.1. Bioetanooli tootmise põhimõte

Bioetanooli tootmise põhimõte suhkrust, tärklisest ja tselluloosist sisaldab sarnaseid tootmise etappe. Erinevus tuleneb kemikaalide kasutamisest, mis on tingitud tselluloosi lagundamise raskusastmest. Kui biomass on kokku korjatud (põllult või metsast), saadetakse see eeltöötlusesse, kus toimub tselluloosi vabastamine, et muuta teda hüdrolüüsile vastuvõtlikumaks. Eeltöötlus kasutatakse erinevaid tehnikaid: töötlemine tugeva või nõrga happega, auruga, osooniga jne. Järgmisena toimub hüdrolüüs, kus purustatakse tselluloosi pika ahelaga molekulid vaba suhkru molekulideks. Kaasajal kasutatakse ensüüme hüdrolüüsiks. Protsess toimub umbes  $\text{pH} = 5$  ja  $50^{\circ}\text{C}$  juures ja selle eeliseks on kahjulikke laguproduktide puudumine. Edasi toimub mikrobioloogiline fermenteerimine, kus kasutatakse spetsiaalselt selleks väljatöötatud pärme, et muuta tselluloos etanooliks. Protsessi käigus tekkivad soovimatud produktid eemaldatakse, näiteks atsetaat ja laktaadid. Viimases etapis toimub etanooli destilleerimine molekulaarsõelte abil, et eemaldada vett. Tavalise destillatsiooni järel saadakse 96%-line bioetanool, milles on 4% vett. Mootorikütuseks sobivas etanoolis peab veesisaldust täiendavalt alandama, mida saavutatakse vett siduvate mineraalsoolade abil, mis on pärast kristallvee eraldamist korduvkasutuses kuumutamise teel. Biokütusena kasutamiseks tohib bioetanool sisaldada maksimaalselt 0,5% vett. Sel juhul

<sup>16</sup> **Märkus.** Praak on bioetanooli tootmisel tekkiv kõrvalprodukt, mida eraldub 1,34 tonni iga tonni bioetanooli tootmisel. 50%-lise niiskuse juures on praaga kütteväärtus  $\sim 8$  MJ/kg ja seda loetakse  $\text{CO}_2$  neutraalseks kütuseks.

vastaks toodetud bioetanool standardile EN 15376. [12, 20, 27, 28] Joonis 2.3. on skeemina välja toodud bioetanooli tootmise etapid.



Joonis 2.3. Bioetanooli tootmise etapid [20]

### 2.2.2. Teravilja bioetanooli potentsiaal Eestis

Eesti teravilja kasvupindala on suurenenud kümne aastaga (2003 – 2013) umbes 20% 258 207 hektarilt 311 032 hektarile. 2010. aastal oli sama näitaja 275 136 ha. Teravilja sortidest on saagikus kõrgem talvistel kultuuridel. Aastatel 2012 – 2014 suviteravilja saagikus oli 2 998 – 3 469 kg/ha ja taliteravilja saagikus 2 829 – 4 392 kg/ha. 2014. aastal oli taliteravilja saagikus ~16% kõrgem võrreldes suviteraviljaga. Lääne-Euroopa nisu saagikus on näiteks keskmiselt 6 t/ha. Eesti tingimustes oleks mõistlikum toota bioetanooli taliteraviljast. Taliteraviljadest kasvatatakse rukist, nisu, otra ja tritikut<sup>18</sup>. Nendest taliteraviljadest oli aastatel 2012 – 2014

<sup>18</sup> Märkus. Tritik on nisu ja rukki hübriid.



kõige kõrgem saagikus talinisul (3 073 – 4 662 kg/ha). Kui aluseks võtta 4,7 t/ha talinisu saagikus, ühelt hektarilt saaks umbes 1,8 tonni ehk 2 250 liitrit<sup>19</sup> bioetanooli. [15, 23, 29, 30]

Narva elektriijaamade juurde ehitatava bioetanooli tehase planeeritud tootmisvõimsus oli 100 000 tonni bioetanooli aastas. Kui selle tehase jaoks kasvatada ainult talinisu bioetanooli saagikusega 1,8 t/ha, tarvis oleks kasutusele võtta 55 555 ha põllumaad. Tehase projekti meeskond soovis kasutusele võtta 75 000 ha kasutuseta olevat põllumaad ja kasvatada seal teravilja segu (rukis, nisu ja tritik). Sel juhul arvestati 1,33 t/ha saagikusega aastas. Pidades meeles, et Eestis on võimalik kasutusele võtta 105 000 ha kasutamata põllumajandusmaad, siis mõlema arvestuse kohaselt peaks põllu pinda jaguma ja jääks üle, et tekitada uusi toidupõldusid. [10, 11, 12, 25]

2014. aastal kasutati Eestis umbes 244 000 tonni bensiini, mis teeb ~10 151 TJ. Kütuse põlemise tulemusena paiskus õhku KHG heitkoguseid ~740 kt CO<sub>2</sub> ekv. Kui see bensiin oleks sisaldanud 10 mahuprotsenti ehk 24 400 tonni bioetanooli, siis oleks saanud vähendada keskkonnamõju 74 kt CO<sub>2</sub> ekv võrra. Keskkonnamõju vähenemine võrdsustuks ~529 miljon kilomeetri läbimisega sõiduautoga<sup>20</sup>. [6, 26]

### **2.2.3. Tselluloosi bioetanooli potentsiaal Eestis**

Mets moodustab ligikaudu pool (2,2 miljonit ha) Eesti maismaast. Seega metsa biomass moodustaks küllaldaselt saadava ja suhtelist odava tooraine bioetanooli tootmiseks, mis ei konkureeriks toidupõldudega. Tooraineks sobivad puidujätmed (oksad, kännud, koor, saepuru jne.), mida võib tekkida kuni 50% puidu töötlemise käigus. Perspektiivseks tooraineks bioetanooli tootmisel on ka raievõsa, mis on lühikese raieringiga (3 – 7 aastat), kuna istandustes kasutatakse kiiresti kasvavaid puuliike (pappel, hall lepp, paju). Raievõsa kasvatamine on põllumajanduse alternatiiviks. Kui puitne biomass sisaldab keskmiselt 42% tselluloosi ja 21% hemitselluloosi, teoreetiliselt on võimalik saada 0,32 grammi etanooli ühest grammist puidust. [12, 31]

---

<sup>19</sup> **Märkus.** Bioetanooli tihedus peab olema 0,79 kg/l standardi EN 15736 järgi (20°C juures).

<sup>20</sup> **Märkus.** 2013. aastal keskmine sõiduauto Eestis paiskas õhku kütuse põletamisel 140 g CO<sub>2</sub>/km heitkoguseid.

Eesti pikaajalise energiamajanduse arengukava 2030 koostamise raames hinnatud metsast ja mittemetsamaa aladelt saadava puitse biomassi ning metsatööstuse jäätmete iga aastane potentsiaal ulatub kuni 44 280 TJ. Näiteks 2011. aastal jäi kasutamata 12 708 TJ ehk peaaegu kolmandik potentsiaalist. Kui suunata kogu kasutamata puitse biomassi potentsiaal<sup>21</sup> bioetanooli tootmiseks, võimalik oleks toota 668 842 tonni bioetanooli ja seejuures jääksid põllu pinnad puutumata. [12, 32, 33]

### 2.3. Biogaas

Biogaas on biomassist ja/või jäätmete anaeroobse kääritamise teel toodetud küttegaas, mis koosneb 45 – 70% metaanist (CH<sub>4</sub>), 30 – 40% süsinikdioksiidist (CO<sub>2</sub>) ning teistest komponentidest nagu H<sub>2</sub>S, NH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>. Biogaasi tootmiseks on võimalik kasutada põllul kasvavat biomassi (teravilja, õlikultuurid, hein), tootmises tekkivat biomassi (sõnnik, reoveemuda) ja biolagunevat prügi. Biogaas tehniliselt puhastatakse biometaaniks, et tõsta gaasi metaani sisaldust ja vähendada süsinikdioksiidi ning teiste ainete osakaalu. Puhastatud biogaas on kõrgema kütteväärtusega, vähendab korrosiooni teket süsteemides ja omadustelt peaks vastama loodusliku maagaasi kvaliteedile. Eesti tingimustes peaks biometaan, mis edastatakse maagaasivõrku, sisaldama vähemalt 98% (±1%) metaani. Biometaan on võimalik kasutada transpordikütusena gaasiautodes (CNG<sup>22</sup>) või tavaautodes, millele on täiendavalt lisatud gaasimahuti ja kütusemahuti. Selliste sõidukite mootorid on tehniliselt täpselt samad, mis CNG-l töötavad automootorid. Biometaan on kasutatav gaasiautodes ilma piiranguteta nii puhtal kujul kui ka segus maagaasiga. Võrreldes bensiiniautoga eraldub kuni 75% vähem vingugaasi (CO) ja võrreldes diiselautodega kuni 50% vähem ning tahked osised praktiliselt puuduvad (alla 0,4%). Biogaasi väärindamine biometaaniks ja selle sisestamine maagaasivõrku suurendaks oluliselt tema turupotentsiaali. [12, 34, 35, 36] Tabel 2.3. on välja toodud bioetanooli eelised, puudused ja ohud.

---

<sup>21</sup> **Märkus.** Puuliikide keskmiseks kütteväärtuseks on võetud 19 MJ/kg.

<sup>22</sup> **Märkus.** CNG (*compressed natural gas*) ehk surugaas on transpordivahendite gaasimahutitesse tangitav maagaas, mis on täiendavalt puhastatud, kuivatatud ja komprimeeritud ning mille kütteväärtus on 34 MJ/m<sup>3</sup> või 47 MJ/kg (tiheduse 0,72 kg/m<sup>3</sup> juures).

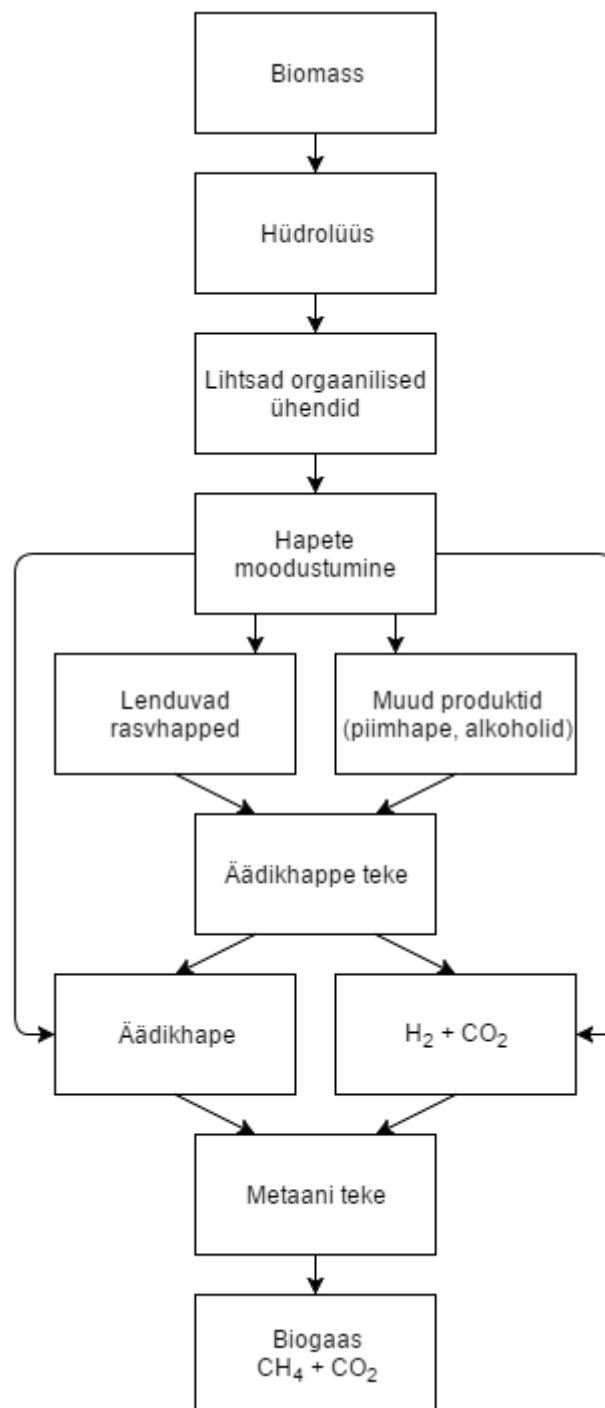
Tabel 2.3. Biogaasi eelised, puudused ja ohud [35, 36, 27]

Eelised	Puudused	Ohud
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub> neutraalne kütus</li> <li>• Toodetakse taastuenergiaallikatest</li> <li>• Toorme mitmekesisus</li> <li>• Vähenevad välisõhu saasteainete heitkogused</li> <li>• Väävlivaba</li> <li>• Energiasõltumatuse kasv</li> <li>• Elavdab maapiirkondade majandust</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifitseeritud mootoritega autod on kallimad võrreldes tavamootoritega</li> <li>• Suurendab NMVOCi heitkoguseid</li> <li>• Põhjustab kütuseturu ja kallinemise</li> <li>• Puhastamata kujul kütteväärtus umbes poole võrra väiksem</li> <li>• Transpordikütusena kogemused puuduvad</li> <li>• Suured alginvesteeringud</li> <li>• Tankimiskohtade vähesus</li> <li>• Sõidukite kõrgemad hooldus- ja remondikulud</li> <li>• Puhastamata kujul ei sobi kasutada sõidukites</li> <li>• Infrastruktuuri investeeringud</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaasiautod ei ole levinud Eestis</li> <li>• Maagaasivõrku ühendamise võib osutada keeruliseks</li> <li>• Tarnete piisavus</li> <li>• Tooraine olemasolu ei pruugi olla pidevalt ja pikaajaliselt tagatud</li> </ul>

### 2.3.1. Biogaasi tootmise põhimõte

Kui biomass (prügi, hein, tervili vms) on kokku korjatud, saadetakse see anaeroobsesse kääritamisse ehk biogaasistamisse. Anaeroobne kääritamine võimaldab vähendada keskkonnamõju (vee- ja õhureostus). Protsess toimub hapnikuvabas keskkonnas ja lagundamine toimub looduses esinevate mikroorganismide poolt, kus lõpp-produktideks on süsinikdioksiid (CO<sub>2</sub>) ning metaan (CH<sub>4</sub>). Selles eristub põhiliselt neli etappi: hüdrolüüs, atsidogenees, atsetogenees ja metanogenees. Esimeses faasis lagunevad lihtsamad orgaanilise ühendid hüdrolüüsi kaudu ja tekivad orgaanilised happed (atsidogenees). Teises faasis muudavad metaanibakterid äädikhappe kääritamise (atsetogenees) teel rasvhapped metaaniks

ning süsihappegaasiks (metanogenees). [38] Joonis 2.4. on skeemina välja toodud biogaasi tootmise etapid.



Joonis 2.4. Biogaasi tootmise etapid [38]

### 2.3.2. Biogaasi potentsiaal Eestis

Biogaasi on põhiliselt kasutatud elektrienergia ja soojuse tootmiseks. Aastatel 2011 – 2014 toodeti biogaasi selleks otstarbeks 143 – 290 TJ. Eesti Arengufondi poolt on hinnatud Eesti biogaasi potentsiaaliks 750 miljonit Nm<sup>3</sup>, millest biometaani oleks võimalik toota 450 miljonit Nm<sup>3</sup> ehk 15 300 TJ<sup>23</sup>. Rohtne biomass moodustaks umbes 83% (Tabel 2.4) kogu toorme potentsiaalist. Siinjuures on oluline välja tuua, et Eesti rohtse biomassi ressursiks on hinnatud 2,2 miljonit tonni kuivainet aastas, millest kasutamata jääb umbes 1,4 miljonit tonni kuivainet ja väärtusloomest jääb kõrvale 300 000 – 350 000 ha rohumaid. [36, 39]

2014. aastal tarbiti Eesti maanteetranspordi poolt umbes 450 000 tonni diislikütust ja 244 000 tonni bensiini, mis teeb kokku ~29 313 TJ energiat. Arvestades biometaani potentsiaali, võimalik oleks asendada üle 50% fossiilkütuseid, kuid sõidukeid oleks tarvis modifitseerida. Eesti Arengufond on hinnanud, et biometaaniga võiks asendada ~9,5% Eestis levinud transpordikütuseid, mis eeldaks 109 – 139 miljoni Nm<sup>3</sup> biometaani tarbimist aastas. See annaks piisava kindluse ressursside varustuse vaatest ja elektriga katmisel 0,5% transpordi kütusetarbimisest oleks hõlpsalt võimalik täita 2020. aasta 10% taastuvenergia nõuet transpordi lõpptarbimises. Kui asendada Eesti diislikütuse ja bensiini tarbimist 9,5% biometaaniga, siis saaks vähendada keskkonnamõju ~204 kt CO<sub>2</sub> ekv võrra. Keskkonnamõju vähenemine võrdsustuks ~1 457 miljon kilomeetri läbimisega sõiduautoga<sup>24</sup>. [6, 26, 36]

Tabel 2.4. Eesti biometaani potentsiaal toormeliikide kaupa [36]

Toormeliik	Biometaani potentsiaal (mln Nm <sup>3</sup> /a)	Osakaal
Rohtne biomass põllumajandusmaadelt	375	83,3%
Põllumajandustootmise jäägid	44	9,8%
Tööstusprotsesside jäätmed	17	3,8%
Prügilagaas	9	2,0%
Muud jäätmed (reoveesete, biojätmed)	5	1,1%
<b>Kokku</b>	<b>450</b>	<b>100%</b>

<sup>23</sup> Märkus. Biometaani kütteväärtus on võrdsustatud maagaasi kütteväärtusega 34 MJ/m<sup>3</sup>.

<sup>24</sup> Märkus. 2013. aastal keskmine sõiduauto Eestis paiskas õhku kütuse põletamisel 140 g CO<sub>2</sub>/km heitkoguseid.

### **3. BIOKÜTUSTE ÕIGUSLIK RAAM**

Õiguslik raam on arengule suunatud ühiskonna iga valdkonna alus. Selle ülesanne on suunata valdkonda riigile meelepärases suunas. Kui õiguslik raam on stabiilne, siis arendajatel ja investoritel on kindlust algatada uusi projekte ning teha investeeringuid, läbi mille panus majandusse suureneb. Euroopa Liidu tasandil on biokütuste valdkonna ümber samuti ehitatud õiguslik raam, mis määrab ära kvaliteedinõuded, loob seadusandliku keskkonna ja paneb paika tuleviku väljavaate. Euroopa Liidu kehtestatud õiguslik raam on sätestatud kuni 2050. aastani, et tagada biokütuste valdkonna arengu meelepärases suunas.

#### **3.1. Euroopa eesmärgid**

Transport on Euroopa majanduse ja ühiskonna jaoks äärmiselt tähtis. Kaubavedu on elutähtis siseturu jaoks ja inimeste vedu on elanike seisukohalt, kuna nii tagatakse reisimisvabadus. Tänu transpordile on võimalik majanduskasv ja luua töökohti, kuid ta peab olema jätkusuutlik. Euroopa transpordipoliitika kõige olulisem eesmärk on ehitada üles süsteem, mille läbi edeneks ja suureneks Euroopa konkurentsivõime, oleks tagatud kvaliteetne liikuvusteenus ning ressursid tõhusalt kasutatud. Selle eesmärgi saavutamiseks on vaja transpordis kasutada vähem ja keskkonnasäästlikumat energiat, transpordi taristu uuendada ning transpordi negatiivset keskkonnamõju vähendada. Nafta sõltuvuse vähendamine on transpordi keskkonnamõju kontekstis kesksel kohal. Euroopa Liidu liikmesriikide maanteetranspordi KHG heitkogused moodustavad umbes 12% summaarsetest KHG heitkogustest. Juhul kui naftast sõltuvust ei vähendata, võib ohu alla sattuda inimese majanduslik julgeolek, mis mõjutab inflatsiooni, kaubanduse tasakaalu ja majanduse üldine konkurentsivõimet. Selleks on vaja uusi tehnoloogialahendusi, alternatiivseid kütuseid (sh biokütused), uut liikuvuskontseptsiooni ja säästvat käitumist. Suurimad kulud on seotud taastuvatest energiaallikatest pärit kütuste kasutuselevõetuga, kuid pikas perspektiivis aitavad kulusid vähendada ja nafta impordi asendamine aitaks edendada kohalikku ettevõtlust. Alternatiivsete kütuste kasutuselevõtt sobib eriti hästi linnatranspordis. [40, 41, 42]

Lõppeesmärgi saavutamiseks transpordis on seatud hulganisti vahe-eesmärke, et olla kindel, et valdkond areneb meelepärases suunas. Tabel 3.1 on kokkuvõtlikult välja toodud Euroopa Liidu transpordivaldkonna vahe-eesmärgid ja nende saavutamise aastad.

Tabel 3.1. Euroopa Liidu transpordivaldkonna eesmärgid<sup>25</sup> [40, 42, 43]

Jrk.	Eesmärk	Aasta
1	Uute sõiduautode heitkogused ei tohi ületada 130 g CO <sub>2</sub> /km	Alates 2015
2	Taastuenergiaallikate osakaal peab olema vähemalt 10%	2020
3	Autotootjad, kes müüvad aastas 10 000 kuni 300 000 autot aastas, peavad vähendama oma heitkoguseid 45%	2020 (võrreldes 2007)
4	Uute sõiduautode heitkogused ei tohi ületada 95 g CO <sub>2</sub> /km	Alates 2021
5	Vähendada transpordivaldkonna heitkoguseid 20%	2030 (võrreldes 2008)
6	Vähendada transpordivaldkonna heitkoguseid 60%	2050 (võrreldes 1990)

Euroopa Liit on seadnud nii endale kui ka autotootjatele ambitsioonikaid eesmärke. Alternatiivkütustel on oma roll eesmärkide saavutamisel, eriti mis puudutab 2020. aastat. Neid nähakse transpordivaldkonna tuleviku ühe osana, mille kaudu suureneb majanduslik julgeolek ja väheneb keskkonnamõju. Euroopa Komisjoni teatises „Puhas energia ja transport: alternatiivkütuste Euroopa strateegia“ on välja toodud alternatiivkütuste sobivus transpordiliikide ja sõidudistantside kaupa.

Tabel 3.2 on välja toodud, et vedelatel biokütustel on kõige suurem kasutamise spekter ehk biokütused on olulisim alternatiivkütuste liik. Kui neid toodetakse keskkonnasäästlikult ja ilma maakasutuse kaudset muutumist põhjustamata, võib nende kasutamine aidata oluliselt vähendada heitkoguseid. [44] Seega võib eeldada, et tekivad ka vastavad tootmisvõimsused, kuid selgelt pole öeldud, mis liiki biokütustel nad hakkavad baseeruma.

<sup>25</sup> **Märkus.** Välja toodud eesmärgid on 2016. aasta seisuga. Tulevikus suure tõenäosusega nimekiri täieneb, eriti mis puudutab sõiduautode heitkoguseid.

Tabel 3.2. Peamiste alternatiivkütuste sobivus transpordiliikide ja sõidudistantsi kaupa<sup>26</sup> [44]

Kütus	Reisijate maanteevedu			Kauba maanteevedu			Õhk	Raudtee	Veetransport		
	lüh	kesk.	pikk	lüh	kesk.	pikk			sisevee- kogud	lähimere- vedu	mere- veod
LPG											
LNG											
CNG											
Elektri- energia											
Vedelad biokütused											
Vesinik											

### 3.2. Euroopa Liidu direktiivid

Euroopa Liidu direktiiv on õigusakt, milles sätestatakse eesmärk ja mille kaudu suunatakse liikmesriikide seadusandlust välja töötavate organite tööd, kuid liikmesriigi otsustada jääb direktiivi rakendamiseks kasutatav vorm ja meetodid. Biokütustega on põhiliselt seotud kolm Euroopa Liidu direktiivi:

1. Taastuvenergia direktiiv 2009/28/EÜ<sup>27</sup>
2. Kütusekvaliteedi direktiiv 2009/30/EÜ<sup>28</sup>
3. Biokütuste ja –vedelike kaudse maakasutuse muutumise mõju vähendamise direktiiv 2015/1513<sup>29</sup>

Järgnevatel punktides tuuakse välja autori arvates eelmainitud kahe direktiivi kõige olulisemaid mõtteid, mis puudutavad transporti ja biokütuseid.

<sup>26</sup> **Märkus.** LPG – *liquefied petroleum gas* (autogaas); LNG – *liquefied natural gas* (vedelgaas); CNG – *compressed natural gas* (surugaas)

<sup>27</sup> **Märkus.** Taastuvenergia direktiiv kättesaadav: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>

<sup>28</sup> **Märkus.** Kütusekvaliteedi direktiiv kättesaadav: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0030&from=EN>

<sup>29</sup> **Märkus.** Biokütuste ja –vedelike direktiiv kättesaadav: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L1513&from=EN>



### 3.2.1. Taastuenergia direktiiv

Taastuenergia direktiiviga kehtestati üldine seadusandlus, et edendada taastuvatest energiaallikatest toodetava energia kasutamist. Sellega seatakse kohustuslikud riiklikud eesmärgid transpordisektoris. 2020. aastaks peavad liikmesriigid saavutama biokütuste osakaalu transpordis minimaalselt 10%, mis peaks tulema bensiini ja diislikütuse tarbimise arvelt. Biokütuseid on direktiivis defineeritud, kui transpordis kasutatav vedel- ja gaaskütus, mis on toodetud biomassist. 2020. aasta eesmärgi eelduseks on keskkonnasäästlik tootmine, et müügile jõuaks teise põlvkonna biokütused. Kohustusliku eesmärgi ülesanne on tagada investoritele kindlustunne, et julgustada neid arendama tehnoloogiaid, mis toodavat energiat taastuvatest energiaallikatest. [4]

Taastuenergia direktiivis sätestatud soodustused edendavad vedelate biokütuste suurenenud tootmist. Biomassi potentsiaali ärakasutamiseks ka transpordivaldkonna jaoks peaksid liikmesriigid edendama uue metasandussüsteemi väljatöötamist ja olemasoleva puiduvaru suuremalt kasutusele võtma. Biokütuste leviku suurendamiseks tehti muudatused Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiivis 98/70/EÜ, et lubada kütusesegude sobivaid tasemeid. Näiteks võimaldada turule viia kõrgema biokütusesisaldusega diislikütuseid B7 ja anda juhised, et välja töötada B10 standard. [4, 45]

Biokütuste ja vedelate biokütuste tootmine peab vastama säästlikkuse kriteeriumitele [4]:

- tänu biokütuste ja vedelate biokütuste kasutamisele on KHG heitkogused vähenenud vähemalt 35%, 2017. aastast vähemalt 50% ja 2018. aastast vähemalt 60%;
- biokütuseid ja vedelaid biokütuseid ei valmistata toorainest, mis on saadud suure bioloogilise mitmekesisusega maa-alalt;
- biokütuseid ja vedelaid biokütuseid ei valmistata toorainest, mis on saadud suure süsinikuvaruga maa-alalt;
- biokütuseid ja vedelaid biokütuseid ei valmistata toorainest, mis on saadud maa-alalt, mis oli 2008. aasta jaanuarist turbaraba;
- biokütuste ja vedelaid biokütuste tootmine peab vastama heade põllumajandus- ja keskkonnatingimuste miinimumnõuetele.

Direktiivis on eraldi välja toodud biogaasi tootmine, kuna tänu suurele KHG heitkoguste säästvuspotentsiaalile omab märkimisväärseid keskkonnaeeliseid. Biogaas võib anda märkimisväärse panuse maapiirkondade arengusse, pakkudes põllumajandusettevõtetele uusi sissetulekuallikaid. Samas peab vältima konkureerimist toidupõldudega. [4]

Direktiivi üks olulisemaid aspekte on biokütuste ja vedelate biokütuste kasutamisest tulenevat KHG heitkoguste vähenemise arvutamine (Lisa 1). Direktiivi kohaselt arvutatakse biokütuste ja vedelate biokütuste kasutamisest tulenevat KHG heitkoguste vähenemist järgmiselt [4]:

- kui tootmisviisidest tuleneva KHG heitkoguse vähenemise vaikeväärtus on sätestatud Lisa 1 A või B osas ja kui kõnealuste biokütuste või vedelate biokütuste Lisa 1 C osa punkti 7 kohaselt arvutatav  $e_i$  väärtus on võrdne nulliga või nullist väiksem, kasutades seda vaikeväärtust;
- kasutades Lisa 1 C osas sätestatud meetodika kohaselt arvutatud tegelikku väärtust;
- kasutades väärtust, mis on arvutatud Lisa 1 C osa punktis 1 esitatud valemi tegurite summana, milles mõne teguri puhul võib kasutada Lisa 1 D või E osa summeerimata vaikeväärtusi, ning kõigi teiste tegurite jaoks Lisa 1 C osas sätestatud meetodika kohaselt arvutatud tegelikke väärtusi.

### **3.2.2. Mootorikütuste kvaliteedistandardite direktiiv**

Mootorikütuste kvaliteedistandardite direktiivil on tugev seos taastuvaenergia direktiiviga. Seal samuti kirjeldatakse biokütuste säästlikkuse kriteeriume, KHG heitkoguste vähendamist, 2020. aasta 10% eesmärki taastuenergiaallikatest transpordis ja kõrgema biokütusesisaldusega kütuste kasutuselevõtmist. Lisaks kehtestatakse maantesõidukitele tervise ja keskkonnaga seotud põhjustel otto- ja diiselmootorites kasutatavate kütuste tehnilised spetsifikatsioonid, kus võetakse arvesse nimetatud mootorite tehnilised nõuded ning kütuste elutsükli jooksul tekkivate KHG heitkoguste eesmärged. [45]

Biokütuste laiemat kasutusele võtmist kirjeldatakse direktiivis sõidukite ja konventsionaalsete kütuste aspektist. Suuremat rõhku on pandud sõiduautode CO<sub>2</sub>-le, kuna märkimisväärne osa Euroopa Liidu KHG heitkogustest tuleneb just sealt. Direktiivi järgi ühe lähenemisviisina KHG heitkoguste vähendamiseks nähakse ette vähendada kütuste elutsükli jooksul tekkivate

KHG heitkoguseid, mida on võimalik teha mitmel viisil – biokütuste või kõrgema biokütusesisaldusega kütuste kasutuselevõtmine. [45]

Direktiivis on eraldi välja toodud ja kirjeldatud bioetanooli ning selle kasutuselevõtmist. Näiteks E5 või E10 bensiinimärgistus peab olema kooskõlas Euroopa Standardikomitee poolt kehtestatud vastava standardiga. Bensiinitöötledjad peaksid tegema kättesaadavaks madala aururõhuga bensiini, et soodustada madala süsiniksisaldusega kütuste kasutamist, kuna etanooli lisamine suurendab saadava kütuse aururõhku. Kuna see praegu ei toimi, biokütuste turu arenemiseks on tarvis suurendada teatavatel tingimustel etanoolisegude aururõhu piirväärtust. Bioetanooli levimise segavaks faktoriks on ka vanemad sõidukid, mis ei saa kasutada kõrge biokütusesisaldusega bensiini kasutada. Seetõttu on vaja tagada nendele vanematele sõidukitele bensiini jätkuv tarnimine üleminekuperioodil. [45]

### **3.3. Mootorikütuste standardid**

Standard on oma olemuselt vabatahtlik dokument, mille järgmine ei ole kohustuslik ehk standardit ei pea järgima ainult seetõttu, et see on olemas. Standardi saab kohustuslikuks teha läbi õigusaktides standarditele viitamise. Euroopa Liidu kontekstis on olulised niinimetatud Euroopa standardid (tähis „EN“), mille roll on poliitikate toetamisel ja õigusaktide nõuete täitmisel märkimisväärselt kasvanud alates 1980. aastatest. Standardimine toetab näiteks ka poliitikaid transpordivaldkonnas, kuna rahvuslikud liikmed peavad kõik Euroopa standardid identsel kujul oma rahvuslikeks standarditeks üle võtma. See ühtlustab Euroopa standardite tehnilisi nõudeid Euroopa Liidu liikmesriikides ja väldib nõuete erisusi tulenevate tehniliste kaubandustõkete tekkimist, aidates seeläbi kaasa näiteks biokütuste kasutusele võtmise. [46]

Mootorikütuste standardid on vajalikud, kuna kütuste kvaliteet mõjutab saasteainete heitkoguseid ja see kaudu omab olulist mõju keskkonnale ning õhukvaliteedile. Standarditele mitte vastav kütus suurendab mootoritest saasteainete heitkoguseid ja rikub mootoreid, mis omakorda suurendab saasteainete heitkoguseid. Kvaliteetne kütus tagab väiksemaid kulutusi keskkonna saastatusele ja KHG heitkoguste limiteerimiseks. [47]

Bensiin peab vastama Euroopa standardile EN 228, mis sätestab turustatavale ja tarnitavale pliivaba bensiinile esitatavad nõuded. Standard määratleb ka bensiini etanoolisisaldusega kuni

10 mahuprotsenti, mis omakorda peab vastama standardile EN 15376. Etanooli kasutamisel segukomponendina võib see sisaldada denaturaate, mis ei kahjusta sõidukeid ega mootori toitesüsteeme. [48]

Diislikütus peab vastama Euroopa standardile EN 590, mis sätestab turustatavale ja tarnitavale diislikütusele esitatavad nõuded. Standard määratleb ka diislikütust rasvhappemetüülestri sisaldusega kuni 7 mahuprotsenti, mis omakorda peab vastama standardile EN 14214. Samuti võib sisaldada täiendavaid lisandeid, kui need ei kahjusta sõidukeid ega mootori toitesüsteeme. [49]

Biometaan on tehniliselt puhastatud biogaas, millel ei kehti ühtegi kvaliteedistandardit, kuna tegu on anaeroobse kääritamise teel saadud gaasilise kütusega. Biometaani kvaliteet aga peab vastama loodusliku maagaasi kvaliteedile. Kui biometaani tarbimine peaks toimuma läbi maagaasitorustiku, siis näiteks Eesti tingimustes peaks see sisaldama vähemalt 98% ( $\pm 1\%$ ) metaani või peab olema tagatud maagaasiga kütteväärtus või Wobbe'i<sup>30</sup> indeks. [50, 51]

---

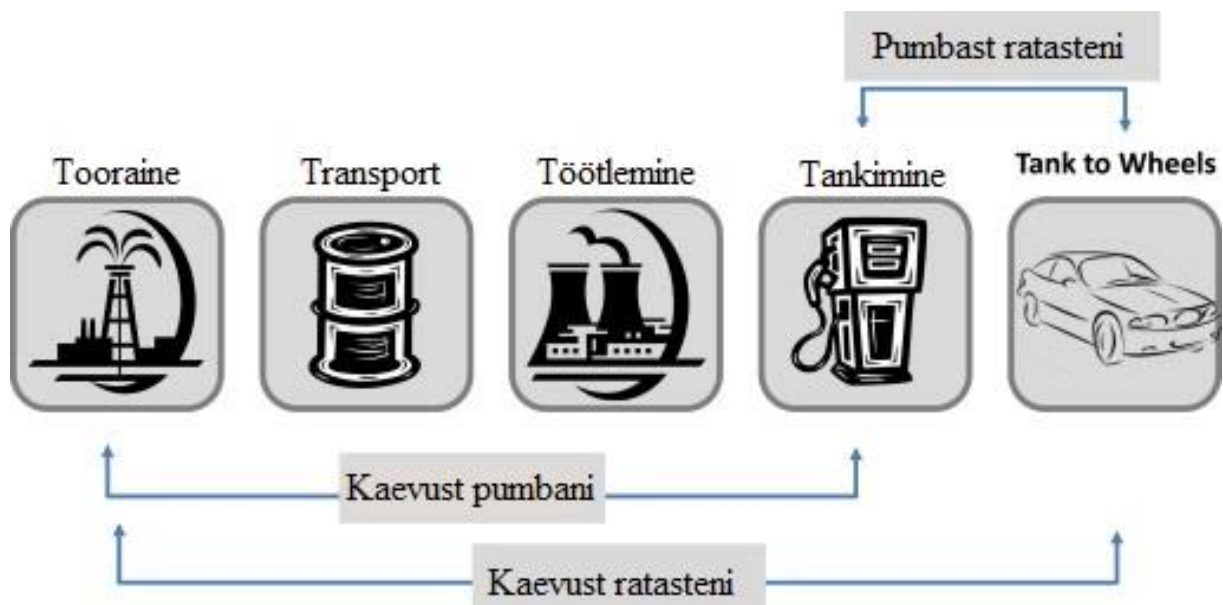
<sup>30</sup> **Märkus.** Gaasi mahuühiku kütteväärtuse ja gaasisuhtelise tiheduse ruutjuure suhe samades standardtingimustes.

## 4. BOKÜTUSTE KESKONNAMÕJU HINDAMINE

### 4.1. Metoodika

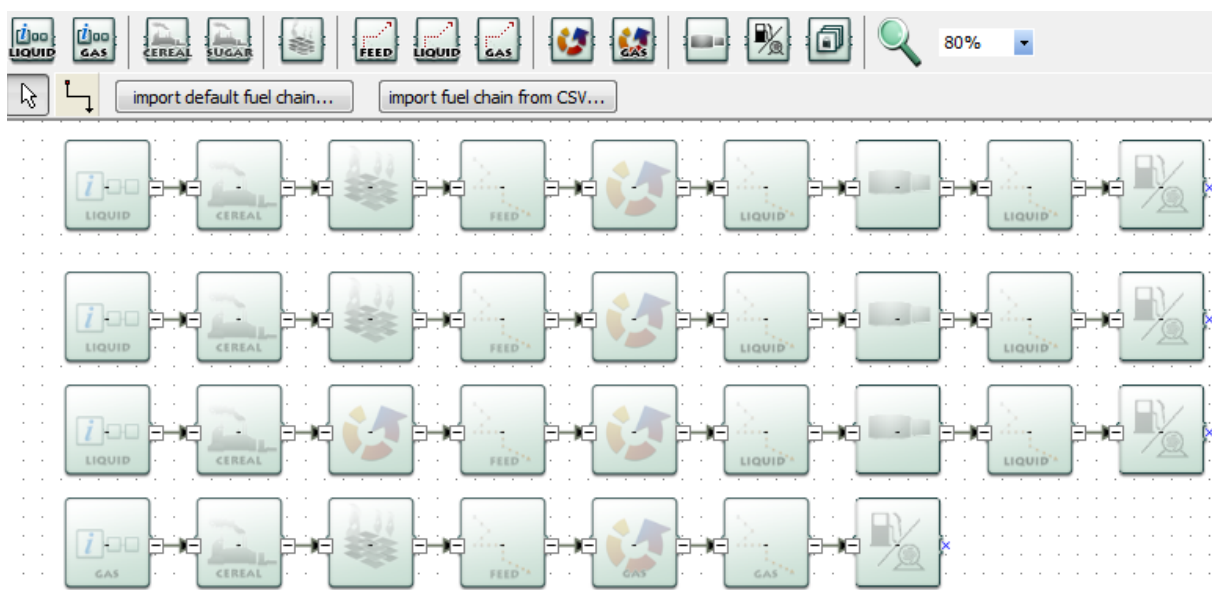
Käesolevas töös hinnatakse ja võrrelda erinevate biokütuste keskkonnamõju kui kogu nende tootmisahel (tooraine kasvatamine, kuivatamine, hoiustamine, transportimine, töötlemine ja käitlemine) paikneks Eesti territooriumil. Vaadeldavateks biokütusteks on talirapsist biodiisel (I põlvkonna biokütus), talinisust bioetanol (I põlvkonna biokütus), raievõsast bioetanol (II põlvkonna biokütus) ja rohtsest biomassist biogaas (I põlvkonna biokütus). Nende biokütuste olemus käsitletakse teoreetilisel tasandil 2. peatükis.

Keskkonnamõju hinnatakse CO<sub>2</sub> ekv kasutades kaevust pumbani (*well-to-pump*) analüüsi (Joonis 4.1.), mis hõlmab endas CO<sub>2</sub> ekv heitkoguseid biokütuse tootmise igas etapis. Kuna transpordi biokütust peetakse CO<sub>2</sub> neutraalseks kütuseks ja keskkonnamõju hinnatakse CO<sub>2</sub> ekv baasil, ei vaadatud biokütuse kogu elutsüklit. See oleks sisaldanud kütuse põletamist sõidukis, mille mõju on ligilähedane nullile biokütuse neutraalsuse tõttu.



Joonis 4.1. Kütuse keskkonnamõju hindamise erinevad viisid [52]

Keskonnamõju hinnang viiakse läbi modelleerimise teel kasutades *United Kingdom and Ireland Carbon Calculator* programmi. Programm on eeskätt mõeldud Suurbritannia biokütuste varustajatele, kes peavad välja arvutama biokütuste KHG heitkogused ja edastama tulemused Suurbritannia Transpordiministriumile. Programm on kooskõlas Taastuvenergia direktiivi (2009/28/EÜ) arvutusmeetoditega ja välja toodud väärtustega (Lisa 1). Direktiivis sätestatud arvutusmetoodika kehtib ka Eesti jaoks. Programm võimaldab välja arvutada biokütuste CO<sub>2</sub> intensiivsust ja sisaldab kõiki vajalikke biokütuseid, tooraineid ning tootmise protsesse edukaks arvutamiseks. Tegemist on spetsiifilise programmiga ja adekvaatsete tulemuste saamiseks on oluline sisestada konkreetse riigi ja tehase alandmeid, mis on käsitletud alampeatükis 4.2. Programmi tulemuste põhjal on võimalik hinnata, kui suured heitkogused (CO<sub>2</sub> ekv) eralduvad biokütuse tootmise igas etapis, kas nad vastavuses Euroopa Parlamendi ja nõukogu taastuvate energiaallikate direktiivi (2009/28/EÜ) vaikeväärtustega ning millise biokütuse tootmine on kõige väiksema CO<sub>2</sub> intensiivsusega. [53]



Joonis 4.2. Talirapsi, talinisu, raievõsa ja rohtse biomassi tootmisahelad [53]

Joonisel (Joonis 4.2.) on välja toodud programmis ülesehitatud biokütuste tootmisahelad. Ülevalt esimene on talirapsi biodiisli ahel, teine on talinisu bioetanooli ahel, kolmas on raievõsa bioetanooli ahel ja viimane on rohtse biomassi biogaasi ahel. Tootmise ahela tingmärkide seletus on Lisas 2. Modelleerimise eesmärgiks oli ülesehitada biokütuste ahelad, mis vastaksid reaalelulisele olukorrale. Arvutused ei sisalda endas transpordi biokütuste kasutuselevõtu majanduslikke aspekte.

## 4.2. Algandmed

Modelleerimiseks kasutatakse algandmetena maksimaalselt Eesti spetsiifilisi väärtusi. Kui vastavat väärtust ei olnud või ei leitud, kasutati Euroopa keskmisi väärtusi, muu riigi võrreldavaid väärtusi või programmi enda vaikeväärtusi, mis on kooskõlas Taastuvenergia direktiiviga 2009/28/EÜ. Algandmete kogumine jagunes vastavalt biokütuste tootmise ahelate arvule. Järgmisena tuuakse välja iga biokütuse CO<sub>2</sub> intensiivsuse arvutamiseks kasutatud väärtused etapi kaupa ja nende allikad.

### 4.2.1. Tooraine kasvatamine

Tooraine kasvatamise CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks on tarvis teada taime saagikust, maakasutuse muutusest tulenevat heitkogust, maa N<sub>2</sub>O heitkoguseid hektari kohta ja külvisenormi. Lisaks on tarvis teada kasutatavaid väetiseid, pestitsiide, nende koguseid ja eriheitetegureid<sup>31</sup>. Eesti puhul peab meeles pidama, et ~22% kasutatavast põllumaast on hapestunud, mille tõttu on tarvis kasutada ka lubiväetist. Viimasena on tarvis teada kasutatava põllumasina kütuse tarbimist ja kütuse eriheitetegurit. Järgnevatel tabelitel (Tabel 4.1., Tabel 4.2., Tabel 4.3., Tabel 4.4.) tuuakse välja taimede kasvatamise CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks kasutatud algandmed.

Tabel 4.1. Talirapsi kasvatamise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Taime saagikus <sup>32</sup>	2 508	kg/ha	[23]	Eesti spetsiifiline
Maakasutuse muutuse heitkogus	2,63	kg CO <sub>2</sub> ekv/ha	[54]	Euroopa keskmine
N <sub>2</sub> O heitkogus	146,34	kg CO <sub>2</sub> ekv/ha	[6]	Eesti spetsiifiline
Külvisenorm	7,50	kg <sub>seeme</sub> /ha	[55]	Eesti spetsiifiline
Seemne eriheitetegur	0,73	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Lämmastikväetis <sup>32</sup>	85,06	kg/ha	[56]	Eesti spetsiifiline

<sup>31</sup> **Märkus.** Eriheitetegur on aine/toote kasutamisest tekkiv CO<sub>2</sub> ekv heitkogus massi või energia ühiku kohta.

<sup>32</sup> **Märkus.** 2012 – 2014 aastate keskmine väärtus

	<b>Väärtus</b>	<b>Ühik</b>	<b>Andmete allikas</b>	<b>Kasutatud väärtus</b>
Fosforväetis <sup>33</sup>	18,65	kg/ha	[56]	Eesti spetsiifiline
Kaaliumväetis <sup>33</sup>	27,85	kg/ha	[56]	Eesti spetsiifiline
Lubiväetis <sup>33</sup>	517,37	kg/ha	[57]	Eesti spetsiifiline
Pestitsiidid <sup>33</sup>	1,34	kg/ha	[58]	Eesti spetsiifiline
Lämmastikväetise eriheitetegur	5,92	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Fosforväetise eriheitetegur	1,01	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Kaaliumväetise eriheitetegur	0,58	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Lubiväetise eriheitetegur	0,13	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Pestitsiidide eriheitetegur	11,00	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Põllumasina kütuse tarbimine	79	l/ha	[59]	Euroopa keskmine
Diisli eriheitetegur	0,073	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline

Tabel 4.2. Talinisu kasvatamise algandmed

	<b>Väärtus</b>	<b>Ühik</b>	<b>Andmete allikas</b>	<b>Kasutatud väärtus</b>
Taime saagikus <sup>33</sup>	4 010	kg/ha	[23]	Eesti spetsiifiline
Maakasutuse muutuse heitkogus	2,63	kg CO <sub>2</sub> ekv/ha	[54]	Euroopa keskmine
N <sub>2</sub> O heitkogus	146,34	kg CO <sub>2</sub> ekv/ha	[6]	Eesti spetsiifiline
Külvisenorm	200	kg <sub>seeme</sub> /ha	[60]	Eesti spetsiifiline
Seemne eriheitetegur	0,28	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Lämmastikväetis <sup>33</sup>	64,81	kg/ha	[56]	Eesti spetsiifiline
Fosforväetis <sup>33</sup>	14,75	kg/ha	[56]	Eesti spetsiifiline
Kaaliumväetis <sup>33</sup>	21,06	kg/ha	[56]	Eesti spetsiifiline

<sup>33</sup> Märkus. 2012 – 2014 aastate keskmine väärtus



	<b>Väärtus</b>	<b>Ühik</b>	<b>Andmete allikas</b>	<b>Kasutatud väärtus</b>
Lubiväetis <sup>34</sup>	517,37	kg/ha	[57]	Eesti spetsiifiline
Pestitsiidid <sup>34</sup>	1,34	kg/ha	[58]	Eesti spetsiifiline
Lämmastikväetise eriheitetegur	5,92	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Fosforväetise eriheitetegur	1,01	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Kaaliumväetise eriheitetegur	0,58	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Lubiväetise eriheitetegur	0,13	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Pestitsiidide eriheitetegur	11,00	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Põllumasina kütuse tarbimine	79	l/ha	[59]	Euroopa keskmine
Diisli eriheitetegur	0,073	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline

Tabel 4.3. Raievõsa kasvatamise algandmed

	<b>Väärtus</b>	<b>Ühik</b>	<b>Andmete allikas</b>	<b>Kasutatud väärtus</b>
Taime saagikus <sup>34</sup>	12 000	kg/ha	[61]	Eesti spetsiifiline
Maakasutuse muutuse heitkogus	2,63	kg CO <sub>2</sub> ekv/ha	[54]	Euroopa keskmine
N <sub>2</sub> O heitkogus	146,34	kg CO <sub>2</sub> ekv/ha	[6]	Eesti spetsiifiline
Lämmastikväetis	30,00	kg/ha	[53]	Vaikeväärtus
Lämmastikväetise eriheitetegur	5,92	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Põllumasina kütuse tarbimine	79	l/ha	[59]	Euroopa keskmine
Diisli eriheitetegur	0,073	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline

<sup>34</sup> Märkus. 2012 – 2014 aastate keskmine väärtus

Tabel 4.4. Rohtse biomassi kasvatamise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Taime saagikus	6 000	kg/ha	[36]	Eesti spetsiifiline
Maakasutuse muutuse heitkogus	2,63	kg CO <sub>2</sub> ekv/ha	[54]	Euroopa keskmine
N <sub>2</sub> O heitkogus	146,34	kg CO <sub>2</sub> ekv/ha	[6]	Eesti spetsiifiline
Külvinorm	15	kg <sub>seeme</sub> /ha	[21]	Eesti spetsiifiline
Seemne eriheitetegur	0,28	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Lämmastikväetis	252,00	kg/ha	[36]	Eesti spetsiifiline
Fosforväetis	15,46	kg/ha	[36]	Eesti spetsiifiline
Kaaliumväetis	75,26	kg/ha	[36]	Eesti spetsiifiline
Lubiväetis	3000,00	kg/ha	[36]	Eesti spetsiifiline
Pestitsiidid <sup>35</sup>	1,34	kg/ha	[58]	Eesti spetsiifiline
Lämmastikväetise eriheitetegur	5,92	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Fosforväetise eriheitetegur	1,01	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Kaaliumväetise eriheitetegur	0,58	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Lubiväetise eriheitetegur	0,13	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Pestitsiidide eriheitetegur	11,00	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Põllumasina kütuse tarbimine	79	l/ha	[59]	Euroopa keskmine
Diisli eriheitetegur	0,073	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline

<sup>35</sup> Märkus. 2012 – 2014 aastate keskmine väärtus

## 4.2.2. Tooraine kuivatamine ja hoiustamine

Tooraine kuivatamise ja hoiustamise CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks on tarvis teada taime niiskust enne ja pärast kuivatamist, mis määrab ära kuivati efektiivsuse. Lisaks on tarvis teada kuivatamiseks kasutatud elektri ja/või kütuse kogus ning selle eriheitetegur. Raievõsa puhul kuivatamisprotsessi ei toimu. Selle asemel on hakke valmistamise etapp. Järgnevates tabelites (Tabel 4.5., Tabel 4.6., Tabel 4.7., Tabel 4.8.) tuuakse välja taimede kuivatamise ja hoiustamise CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks kasutatud algandmed.

Tabel 4.5. Talirapsi kuivatamise ja hoiustamise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Rapsi niiskus saagi korjamisel	17,50	%	[21]	Valdkonna keskmine
Rapsi niiskus pärast kuivatamist	8	%	[21]	Valdkonna keskmine
Kasutatud elektrienergia	73,20	MJ/tonn <sub>raps</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Elektrienergia eriheitetegur	0,26	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline
Kasutatud maagaas	4,3	MJ/tonn <sub>raps</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Maagaasi eriheitetegur	0,055	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline

Tabel 4.6. Talinisu kuivatamise ja hoiustamise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Nisu niiskus saagi korjamisel	17,50	%	[62]	Valdkonna keskmine
Nisu niiskus pärast kuivatamist	12,50	%	[62]	Valdkonna keskmine
Kasutatud elektrienergia	5,90	MJ/tonn <sub>nisu</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Elektrienergia eriheitetegur	0,26	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline

Tabel 4.7. Raievõsa hakke valmistamise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Kasutatud diislikütus	74,00	MJ/tonn <sub>võsa</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Diisli eriheitetegur	0,07	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline

Tabel 4.8. Rohtse biomassi kuivatamise ja hoiustamise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Biomassi niiskus saagi korjamisel	17,50	%	[62]	Valdkonna keskmine
Biomassi niiskus pärast kuivatamist	12,50	%	[62]	Valdkonna keskmine
Kasutatud elektrienergia	5,90	MJ/tonn <sub>nisu</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Elektrienergia eriheitetegur	0,26	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline

### 4.2.3. Tooraine ja biokütuse transport

Tooraine ja biokütuse transpordi CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks on tarvis teada transportimise vahemaad, sõiduki kütuse tarbimist ja selle eriheidet. Biogaasi puhul on eeldatud, kui rohtne biomass on töödeldud ja puhastatud, siis suunatakse see otse maagaasivõrku. Teiste kütuste puhul on eeldatud, et pärast töötlemist läheb biokütus vahelattu või depoosse. Seega transportitakse biokütus kolm korda kogu tootmisahela jooksul (vt Joonis 4.2.). Järgnevates tabelites (Tabel 4.9., Tabel 4.10.) tuuakse välja tooraine ja biokütuse transportimise CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks kasutatud algandmed.

Tabel 4.9. Talirapsi, talinisu ja raievõsa transportimise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Sõiduki transportimise vahemaa	150	km	-	Autori valitud

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Sõiduki kütuse tarbimine	1,04	MJ/t-km	[63]	Euroopa keskmine
Diisli eriheitetegur	0,07	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline

Tabel 4.10. Rohtse biomassi ja biometaaniga transportimise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Sõiduki transportimise vahemaa	50	km	[36]	Eesti spetsiifiline
Sõiduki kütuse tarbimine	1,04	MJ/t-km	[63]	Euroopa keskmine
Diisli eriheitetegur	0,07	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline
Torutranspordi vahemaa	300	km	-	Autori valitud
Maagaasi kütteväärtus	34	MJ/m <sup>3</sup>	[34]	Eesti spetsiifiline
Hajusheide	13,67	kg CO <sub>2</sub> ekv/t	[6]	Eesti spetsiifiline

#### 4.2.4. Tooraine töötlemine tehases

Tooraine tehases töötlemise CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks on tarvis teada tehase tootlikust, kasutatud kütuseid ja nende eriheitetegureid, töötlemises kasutatud kemikaale ning nende eriheitetegureid. Lisaks on tarvis teada töötlemises tekkinud saadusi ja nende eriheitetegureid. Järgnevates tabelites (Tabel 4.11., Tabel 4.12., Tabel 4.13., Tabel 4.14.) tuuakse välja tooraine tehases töötlemise CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks kasutatud algandmed.

Tabel 4.11. Talirapsi töötlemise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Tehase tootlikus	31,70	%	[15]	Eesti spetsiifiline
Kasutatud elektrienergia	520,0	MJ/tonn <sub>biodiisel</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Elektrienergia eriheitetegur	0,26	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline
Kasutatud maagaas	4890,0	MJ/tonn <sub>biodiisel</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Maagaasi eriheitetegur	0,055	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline
Kasutatud metanool	96	kg/tonn <sub>biodiisel</sub>	[64]	Eesti spetsiifiline
Kasutatud naatriumhüdroksiid	6,72	kg/tonn <sub>biodiisel</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Kasutatud vesinikkloriidhape	20,0	kg/tonn <sub>biodiisel</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Kasutatud fosforhape	1,7	kg/tonn <sub>biodiisel</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Kasutatud naatriumkarbonaat	2,50	kg/tonn <sub>biodiisel</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Kasutatud n-heksaan	2,47	kg/tonn <sub>biodiisel</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Kasutatud savimineraalid	6,0	kg/tonn <sub>biodiisel</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Metanooli eriheitetegur	1,99	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Naatriumhüdroksiidi eriheitetegur	0,47	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Vesinikkloriidhappe eriheitetegur	0,75	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Fosforhappe eriheitetegur	3,03	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Naatriumkarbonaadi eriheitetegur	1,20	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
n-heksaani eriheitetegur	3,63	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Savimineraalide eriheitetegur	0,20	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Saadud väetis	11,0	kg/tonn <sub>biodiisel</sub>	[64]	Eesti spetsiifiline
Saadud rapsikook	2,05	tonn/tonn <sub>biodiisel</sub>	[15]	Eesti spetsiifiline
Saadud glütseriin	89,0	kg/tonn <sub>biodiisel</sub>	[64]	Eesti spetsiifiline
Väetise kütteväärtus	49,0	MJ/kg	[53]	Eesti spetsiifiline
Rapsikoogi kütteväärtus	25,0	MJ/kg	[65]	Eesti spetsiifiline
Glütseriini kütteväärtus	16,0	MJ/kg	[53]	Vaikeväärtus

Tabel 4.12. Talinisu töötlemise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Tehase tootlikus	37,70	%	[12]	Eesti spetsiifiline
Tehase kasutatud kütus	20781,20	MJ <sub>nisuõlg</sub> /tonn <sub>bioetanool</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Nisuõlg eriheitetegur	0,002	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[53]	Vaikeväärtus
Saadud praak	1,50	Tonn <sub>praak</sub> /tonn <sub>bioetanool</sub>	[12]	Eesti spetsiifiline
Praagi kütteväärtus	9,0	MJ/kg	[12]	Eesti spetsiifiline

Tabel 4.13. Raievõsa töötlemise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Tehase tootlikus	32	%	[12]	Vaikeväärtus
Kasutatud elektrienergia	734,33	MJ/tonn <sub>bioetanool</sub>	[66]	Vaikeväärtus
Elektrienergia eriheitetegur	0,26	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline
Kasutatud lubi	38,19	kg/tonn <sub>bioetanool</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Kasutatud väävlihape	94,97	kg/tonn <sub>bioetanool</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Kasutatud ammoniaak	65,88	kg/tonn <sub>bioetanool</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Kasutatud ammoniumsulfaat	18,76	kg/tonn <sub>bioetanool</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Lubja eriheitetegur	1,03	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Väävlihappe eriheitetegur	0,21	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Ammoniaagi eriheitetegur	2,68	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus
Ammoniumsulfaadi eriheitetegur	0,83	kg CO <sub>2</sub> ekv/kg	[53]	Vaikeväärtus

Tabel 4.14. Rohtse biomassi töötlemise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Tehase tootlikus	2428,0	MJ/tonn <sub>biomass</sub>	[36]	Eesti spetsiifiline
Kasutatud elektrienergia	4248	MJ <sub>el</sub> /tonn <sub>biometaan</sub>	[36]	Eesti spetsiifiline
Tehase metaani kadu	0,028	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[36]	Eesti spetsiifiline

#### 4.2.5. Biokütuse hoiustamine laos

Biokütuse hoiustamise CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks on tarvis teada kasutatud elektrienergia kogust ja selle eriheidet. Biometaani hoiustamist ei toimu võrreldes teiste biokütustega, kuna see suunatakse otse maagaasivõrku pärast töötlemist. Teiste biokütuste puhul on eeldatud, et pärast töötlemist läheb vahelattu või depoosse, kus neid hoiustatakse. Järgnevas tabelis (Tabel 4.15.) tuuakse välja biokütuste hoiustamise CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks kasutatud algandmed.

Tabel 4.15. Biokütuste hoiustamise algandmed

	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Kasutatud elektrienergia biodiisli hoiustamisel	31,20	MJ/tonn <sub>biodiisli</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Kasutatud elektrienergia bioetanooli hoiustamisel	22,50	MJ/tonn <sub>bioetanool</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Elektrienergia eriheitetegur	0,26	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline



## 4.2.6. Biokütuse käitlemine tanklas

Biokütuse tanklas käitlemise CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks on tarvis teada kasutatud elektrienergia kogust ja selle eriheidet. Biometaani puhul on arvestatud käitlemises kompressori töö, mille tõttu on väärtus kõige suurem võrreldes teiste biokütustega. Järgnevas tabelis (Tabel 4.16.) tuuakse välja biokütuste tanklas käitlemise CO<sub>2</sub> ekv heitkoguste arvutamiseks kasutatud algandmed.

Tabel 4.16. Biokütuste käitlemise algandmed

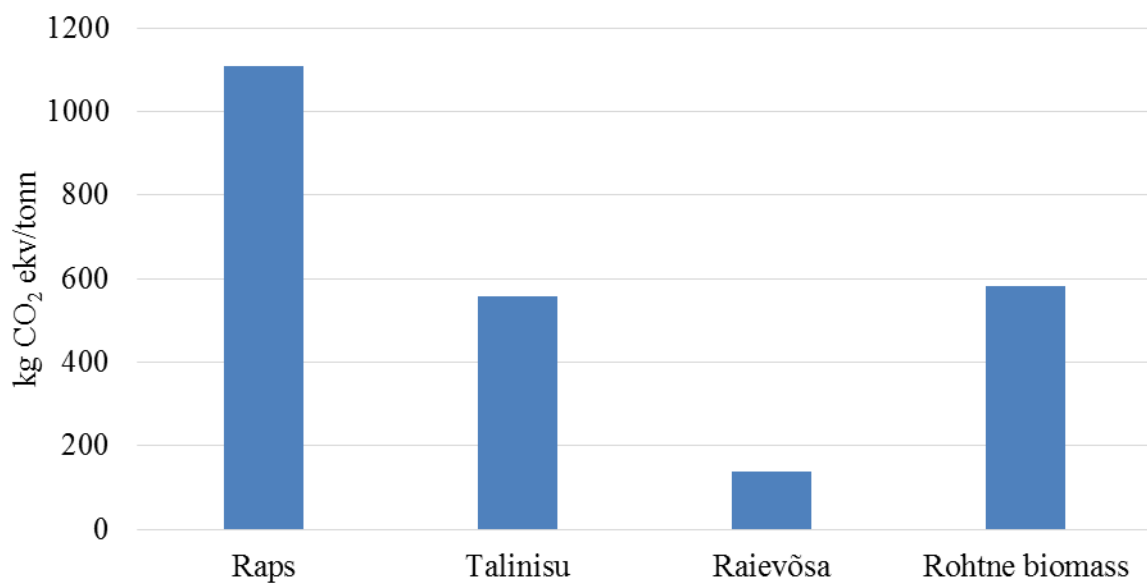
	Väärtus	Ühik	Andmete allikas	Kasutatud väärtus
Kasutatud elektrienergia biodiisli käitlemisel	126,50	MJ/tonn <sub>biodiisli</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Kasutatud elektrienergia bioetanooli käitlemisel	91,10	MJ/tonn <sub>bioetanool</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Kasutatud elektrienergia biogaasi käitlemisel	645,00	MJ/tonn <sub>biogaas</sub>	[53]	Vaikeväärtus
Elektrienergia eriheitetegur	0,26	kg CO <sub>2</sub> ekv/MJ	[6]	Eesti spetsiifiline

## 4.3. Tulemused

Keskkonnamõju hindamise tulemused on jaotatud biokütuse tootmisahela etappide kaupa (tooraine kasvatamine, kuivatamine ja hoiustamine, transportimine, töötlemine ning käitlemine). Iga etapi tulemuste juures seletatakse lahti, millest tulenevad biokütuste tulemuste väärtused. Viimases alampeatükis (ptk 4.3.7) võetakse vaatluse alla biokütuste kogu tootmisahela KHG heitkogused ja tuuakse võrdlusi Taastuvenergia direktiiviga ning vaikeväärtustega. Tuleb meeles pidada, et joonistel kasutatud ühikuks on kg CO<sub>2</sub> ekv biokütuse tonni kohta.

### 4.3.1. Tooraine kasvatamine

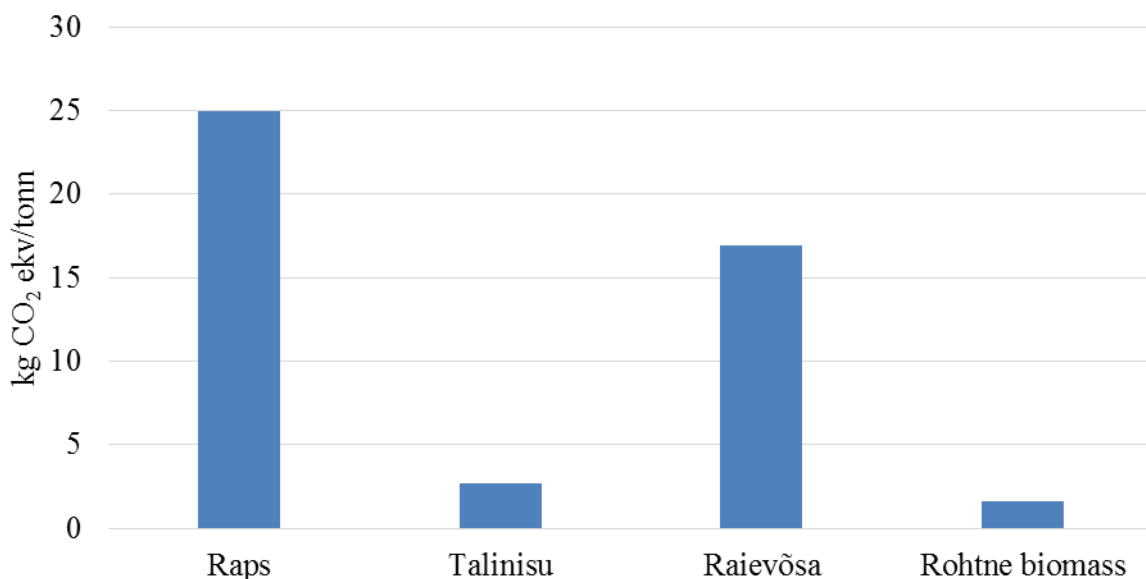
Tooraine kasvatamisel kõige suuremad heitkogused tulenevad rapsi kasvatamisest (1110 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), millele järgneb rohtne biomass (582 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), talinisu (557 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) ja raievõsa (140 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) (vt Joonis 4.3.). Suurem osa (üle 50%) tooraine kasvatus (rapsi, nisu, rohtne biomass) heitkogustest on põhjustatud väetiste ja taimekaitsevahendite kasutamisest. Mida suurem on väetiste ja taimekaitsevahendite kasutatavad kogused, seda kõrgemaks lähevad KHG heitkogused. Tekkivaid KHG heitkoguseid alandab saagikus. Mida kõrgem on saagikus, seda väiksemad on KHG heitkogused. Raievõsa kõrge saagikuse (12 t/ha) ja väetiste vähene kasutamise tulemusena tekivad kõige väiksemad KHG heitkogused võrreldes rapsi, talinisu või rohtse biomassiga. Kui vaadata kogu biokütuste tootmisahelat, suur osa KHG heitkogustest tulenebki tooraine kasvatamisest (v.a raievõsa). Seega vähendades väetiste ja taimekaitsevahendite koguseid või suurendades saagikust või mõlemat korraga on KHG heitkoguste säästmispotentsiaal veelgi suurem.



Joonis 4.3. Tooraine kasvatamisest tekkivad KHG heitkogused, kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn

### 4.3.2. Tooraine kuivatamine ja hoiustamine

Tooraine kuivatamisel ja hoiustamisel kõige suuremad heitkogused tulenevad rapsist (25 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), millele järgneb raievõsa (17 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), talinisu (3 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) ja rohtne biomass (2 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) (vt Joonis 4.4.). Raievõsa puhul kuivatamisprotsessi ei toimu. Selle asemel on hakke valmistamise etapp. Rapsi KHG heitkoguseid on põhjustatud kütuste (elekter ja maagaas) kasutamisest, mida on tarvis kuivati käitamiseks. Raievõsa KHG heitkoguseid on põhjustatud diislikütuse kasutamisest, mida on tarvis hakkemasina käitamiseks. Nisu ja rohtse biomassi kuivatamiseks kasutatakse hoidla loomulikku ventilatsiooni ning selleks masinat pole tarvis. Seetõttu on nisu ja rohtse biomassi puhul madalamad KHG heitkogused võrreldes rapsi ja raievõsaga. Kui vaadata kogu biokütuste tootmisahelat, kuivatamisest ja hoiustamisest tulenevad KHG heitkogused moodustavad väga väikese osa (alla 3%).

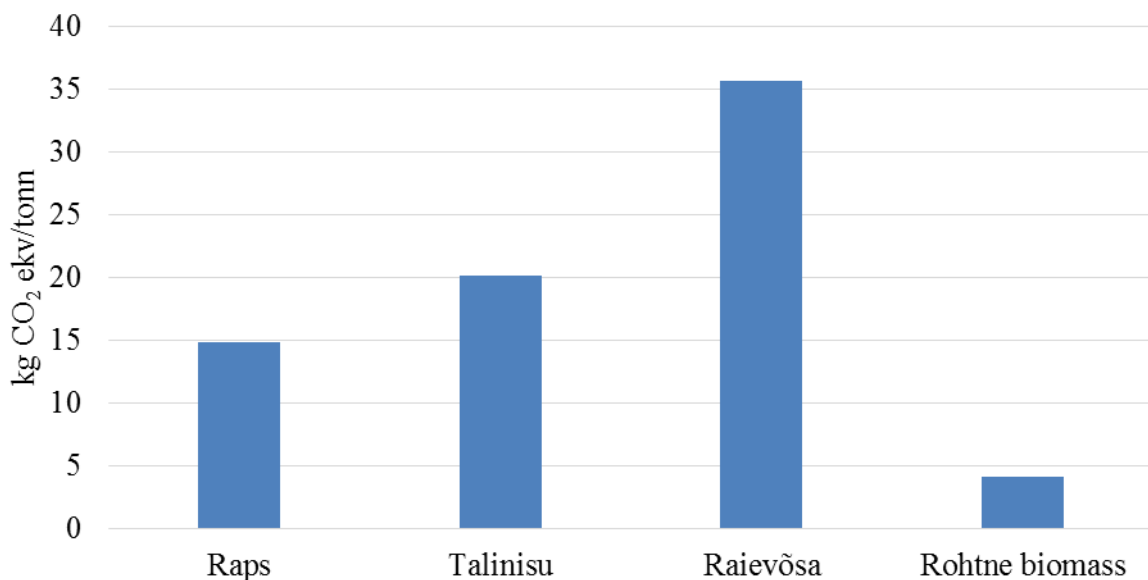


Joonis 4.4. Tooraine kuivatamisest ja hoiustamisest tekkivad KHG heitkogused, kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn

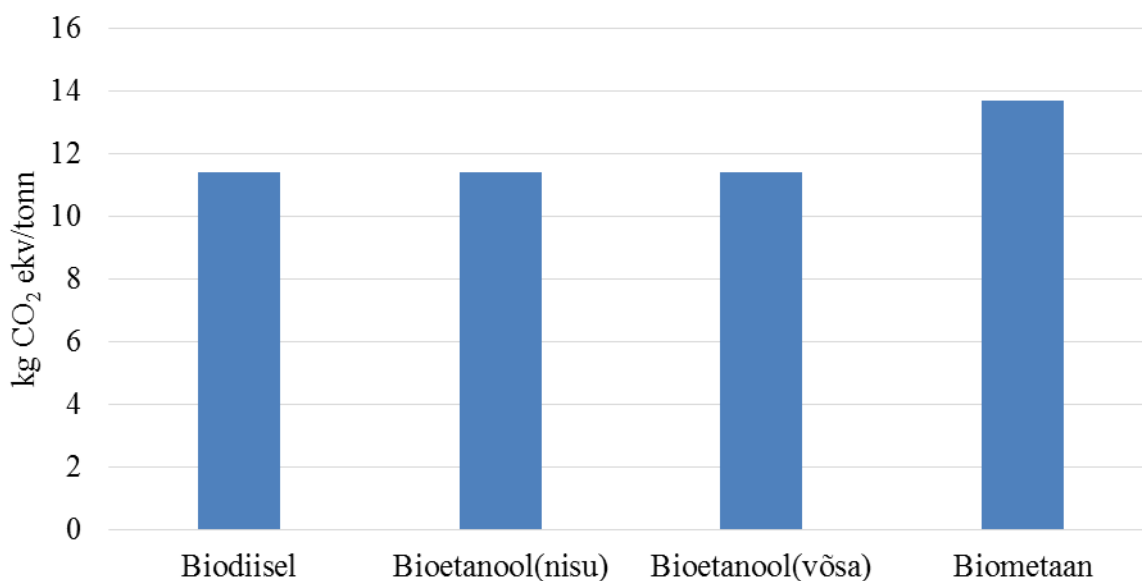
### 4.3.3. Tooraine ja biokütuse transport

Transportimisel tekivad tooraine (raps, nisu, võsa, biomass) ja biokütuse (biodiiseli, bioetanool, biometaan) puhul erinevad KHG heitkogused (Joonis 4.5., Joonis 4.6.). Talirapsi,

talinisu, raievõsa, biodiisli ja bioetanooli transportimise vahemaaks on võetud 150 km, mis katab piisavalt suure maa-ala toodete Eesti sisese transportimiseks. Rohtse biomassi puhul transportimise vahemaaks on võetud 50 km, siis on rohtse biomassi vedamine kõige odavam [36]. Biometaani transportimise vahemaaks on 300 km, kuna pärast biogaasi töötlemist suunatakse see otse maagaasivõrku, mis ei ole terve Eesti peale välja ehitatud. Tooraine transportimisel on kõige suuremad KHG heitkogused raievõsast (36 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), millele järgneb talinisu (20 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), raps (15 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) ja rohtne biomass (4 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) (vt Joonis 4.5.). Biokütuse transportimisel on kõige suuremad KHG heitkogused biometaanist (14 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) ja ülejäänud biokütuste KHG heitkogused on võrdsed (11 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn). Biometaani kõrgemad KHG heitkogused tulenevad pikemast transportimise vahemaast ja hajusheitest. Kui vaadata kogu biokütuste tootmisahelat, transportimisest tulenevad KHG heitkogused moodustavad väikese osa (2 – 6%).



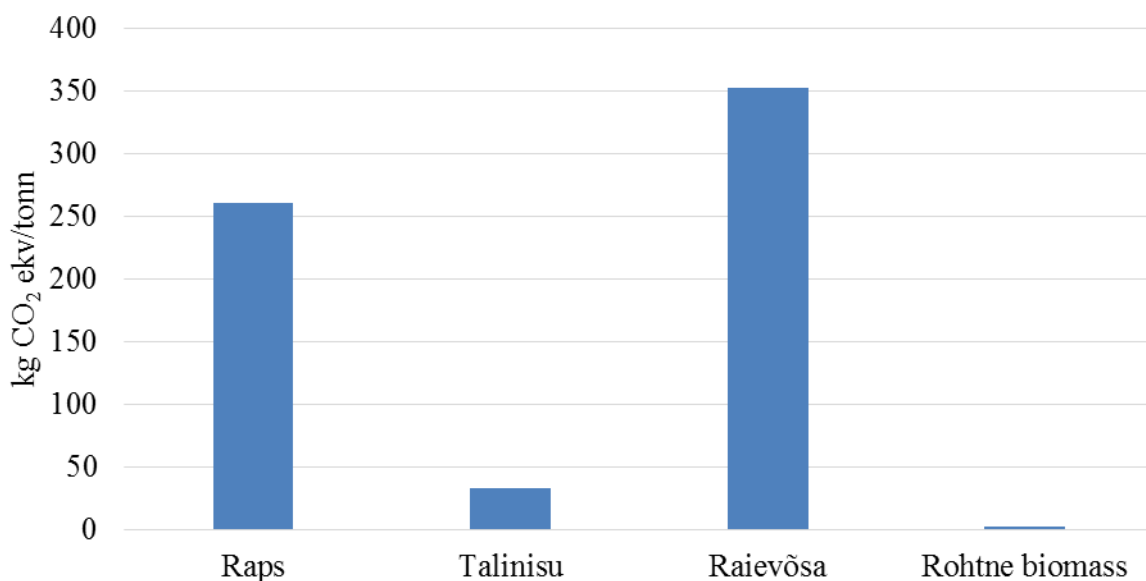
Joonis 4.5. Tooraine transportimisest tekkivad KHG heitkogused, kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn



Joonis 4.6. Biokütuse transportimisest tekkivad KHG heitkogused, kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn

#### 4.3.4. Tooraine töötlemine tehases

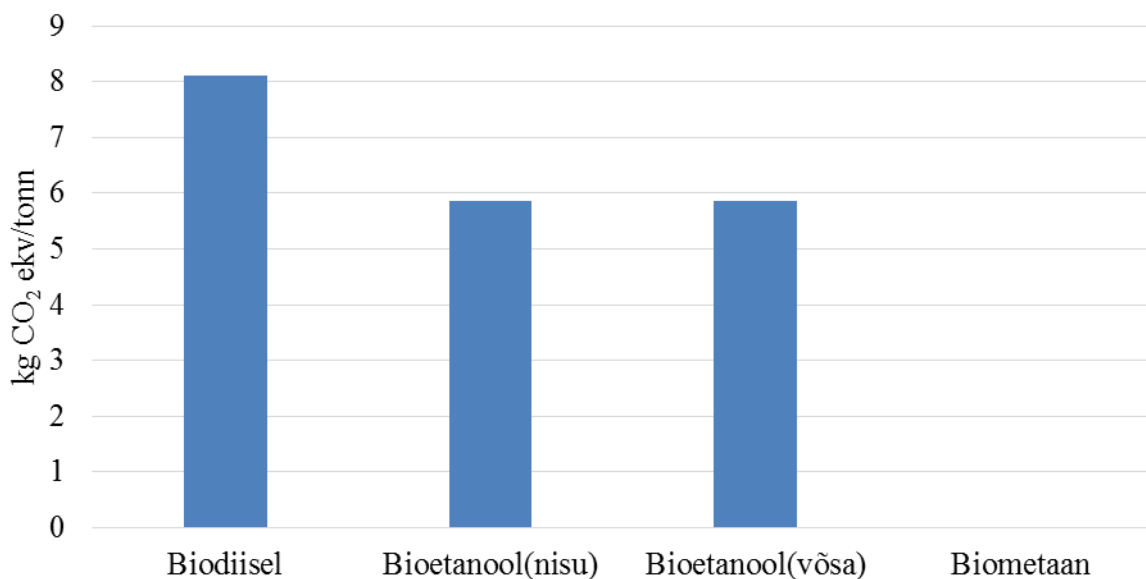
Tooraine töötlemisel tehases tulenevad kõige suuremad KHG heitkogused raievõsast (352 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), millele järgneb raps (260 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), talinisu (33 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) ja rohtne biomass (2 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) (vt Joonis 4.7.). Rapsi ja raievõsa kõrgeid KHG heitkoguseid põhjustavad erinevate kemikaalide kasutamine biokütuste valmistamiseks tehastes. Talinisu ja rohtse biomassi töötlemise puhul selliseid kemikaale ei kasutata (toimub anaeroobse kääritamise protsess), mis oli programmi enda poolt pakutud. Bioetanooli mõlema tootmisviisi puhul oli rakendatud ka konservatiivsus faktor (1,4). Bioetanooli tootmisel on eeldatud, et tehase elektrienergia ja soojuse vajadus kaetakse toorainega, mis on CO<sub>2</sub> neutraalne kütus. Biogaasi tootmise puhul on samuti eeldatud, et elektrienergia ja soojuse vajadus kaetakse biogaasiga, mis on CO<sub>2</sub> neutraalne kütus. Joonisest (Joonis 4.7.) võib järeldada, et kemikaalide kasutamine biokütuse tehases panustab tugevalt KHG heitkoguste tekkele.



Joonis 4.7. Tooraine töötlemisest tekkivad KHG heitkogused, kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn

#### 4.3.5. Biokütuse hoiustamine laos

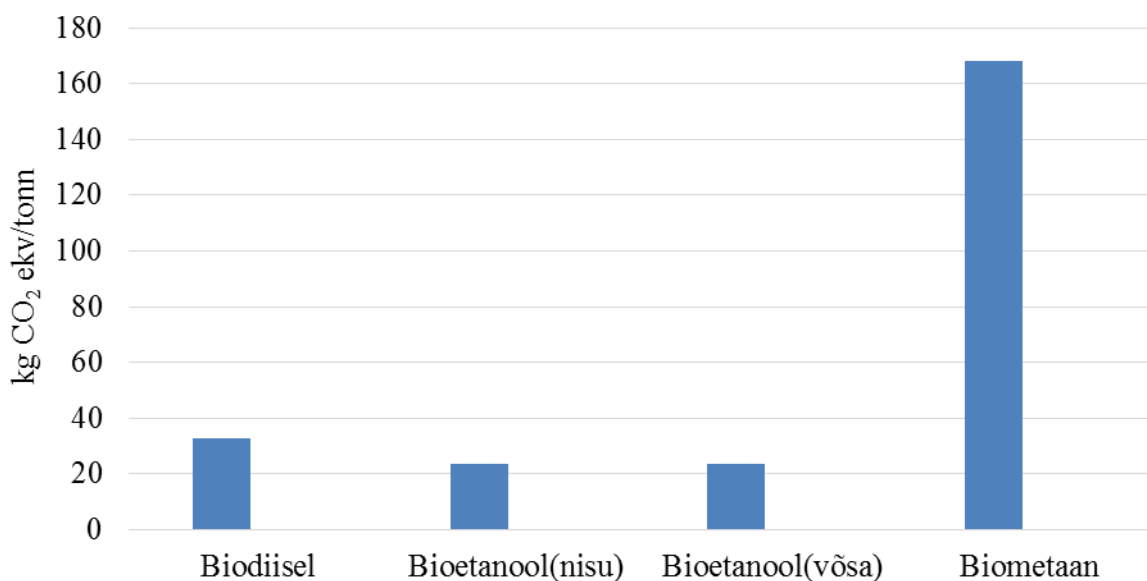
Biokütuse laos hoiustamisel kõige suuremad KHG heitkogused tulenevad biodiislist (8 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), millele järgneb bioetanool (6 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) ja biometaan (0 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) (vt Joonis 4.8.). Biometaanist ei teki KHG heitkoguseid, kuna seda ei ladustata, vaid suunatakse otse maagaasivõrku. Biodiisli kõrgemad KHG heitkogused võrreldes teiste biokütustega tulenevad biokütuse lao suuremast elektrienergia tarbimisest. Kui vaadata kogu biokütuste tootmisahelat, biokütuse laos hoiustamisest tulenevad KHG heitkogused moodustavad väga väikese osa (~1%).



Joonis 4.8. Biokütuse hoiustamisest laos tekkivad KHG heitkogused, kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn

#### 4.3.6. Biokütuse käitlemine tanklas

Biokütuse tanklas käitlemisel kõige suuremad KHG heitkogused tulenevad biometaanist (168 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), millele järgneb biodiisel (33 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) ja bioetanool (24 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) (vt Joonis 4.9.). Biokütuste KHG heitkoguseid põhjustab elektrienergia tarbimine nende käitlemiseks tanklas. Biometaani puhul kasutatakse kõrgsurvekompessorit, mille tõttu on kõrgem elektrienergia tarbimine ja sellest sõltuvalt ka kõrgemad KHG heitkogused. Kui vaadata kogu biokütuste tootmisahelat, siis biodiisli ja bioetanooli tanklas käitlemisest tulenevad KHG heitkogused moodustavad väikese osa (2 – 4%). Biometaani puhul moodustab aga 22%.

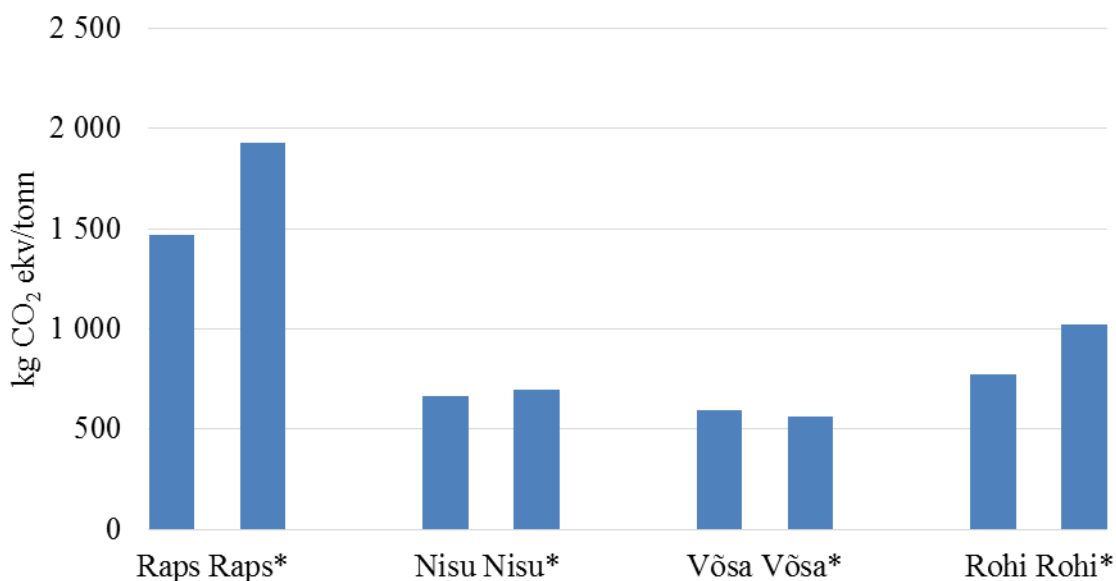


Joonis 4.9. Biokütuse käsitlemisest tanklas tekkivad KHG heitkogused, kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn

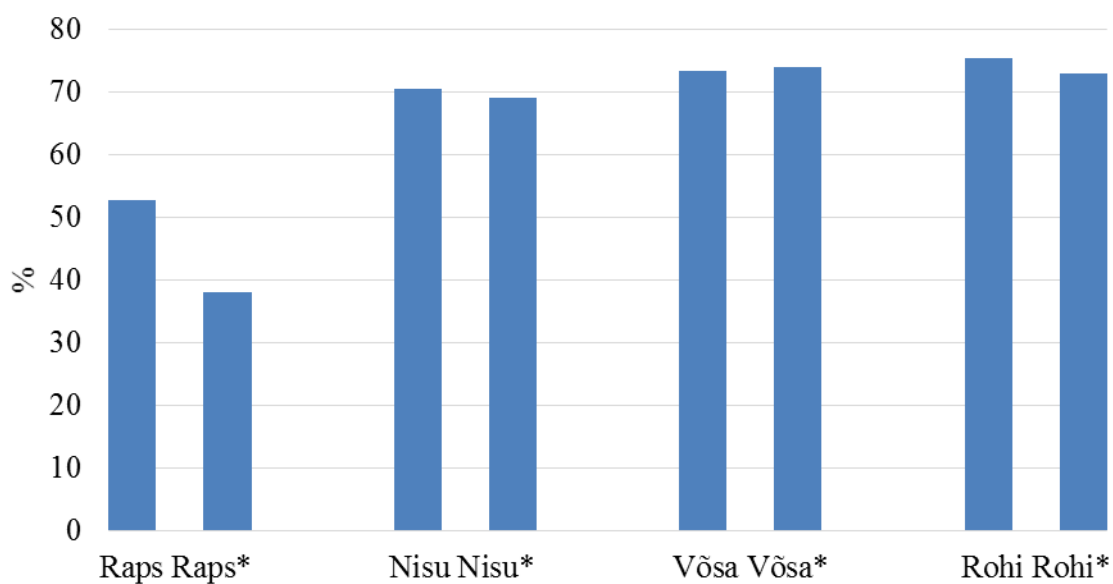
#### 4.3.7. Biokütuse tootmise kogu ahela KHG heitkogused

Kui vaadata biokütuste tootmise kogu ahelat, siis kõige kõrgemad heitkogused tekivad biodiisli tootmisel rapsist (1470 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), millele järgneb biometaan rohtsest biomassist (771 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn), bioetanool talinisust (665 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) ja bioetanool raievõsast (597 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn) (vt Joonis 4.10.). Biodiisli puhul tekivad suurem osa (~93%) KHG heitkoguseid tooraine kasvatamisel ja töötlemisel tehases. Biometaani puhul tekivad suurema osa (~97%) KHG heitkoguseid tooraine kasvatamisel ja tanklas käitamisel. Talinisust bioetanooli puhul tekivad suurem osa (~89%) KHG heitkoguseid tooraine kasvatamisel ja töötlemisel tehases. Raievõsast bioetanooli puhul tekivad suurem osa (~83%) KHG heitkoguseid tooraine kasvatamisel ja töötlemisel tehases. Seega kõige suurem potentsiaal KHG heitkoguste vähendamiseks on just kasvatamise ja töötlemise etapis. Kui võrrelda saadud tulemusi Taastuvenergia direktiivi vaikeväärtustega (Joonis 4.10), siis saadud tulemused on väiksemad (v.a raievõsa). Erinevus seisneb põhiliselt tooraine kasvatamise etapis, kuna Lääne-Euroopas kasutatakse rohkem väetisi ja taimekaitsevahendeid hektari kohta kui Eestis. Samas on Eesti elektrienergia eriheitegur kõrgem tänu põlevkivi kasutamisele. Seetõttu tulemused ei ole kardinaalselt erinevad võrreldes Taastuvenergia direktiivi vaikeväärtustega ja KHG heitkoguste säästupotentsiaaliga (Joonis 4.11.).





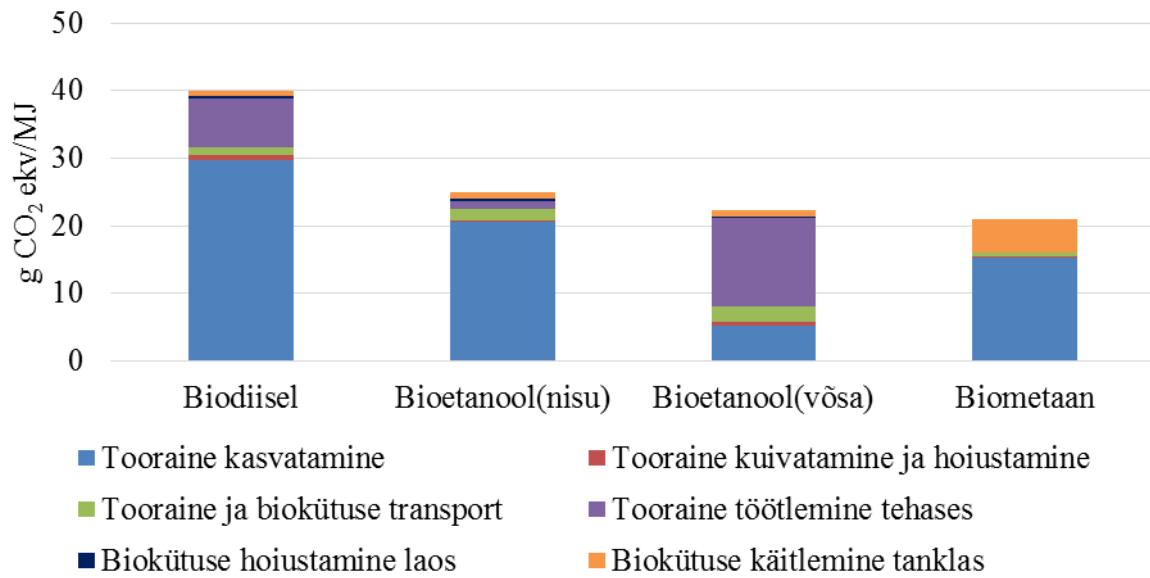
Joonis 4.10. Biokütuse tootmisel kogu ahelas tekkivad KHG heitkogused, kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn<sup>36</sup>



Joonis 4.11. Biokütuse tootmise KHG heitkoguste säästupotentsiaal, %<sup>36</sup>

Kui vaadata KHG heitkoguseid toodetud biokütuse MJ kohta (Joonis 4.12.), siis selgub, et kõige kõrgemad heitkogused tekivad biodiisli tootmisel rapsist (40 g CO<sub>2</sub> ekv/MJ), millele järgneb nisust bioetanool (25 g CO<sub>2</sub> ekv/MJ), raievõsast bioetanool (22 g CO<sub>2</sub> ekv/MJ) ja rohtsest biomassist biometaan (21 g CO<sub>2</sub> ekv/MJ). Sama pilt kajastubki eelmises joonises (Joonis 4.11.). Seega kõige suurema KHG heitkoguste säästupotentsiaaliga on rohtsest biomassist biometaan.

<sup>36</sup> **Märkus.** Tärniga on välja toodud Taastuvenergia direktiivi vaikeväärtus.



Joonis 4.12. Biokütuse tootmisel etapi kaupa tekkivad KHG heitkogused, g CO<sub>2</sub> ekv/MJ

## KOKKUVÕTE

Transpordivaldkond on kasutanud põhiliste kütustena bensiini ja diisli. Viimastel aastakümnetel on transpordikütuste tootmine taimsetest saadustest aktuaalseks teemaks tõusnud. Ühelt poolt taastuvatest energiaallikatest transpordikütused võimaldavad vähendada transpordivaldkonna keskkonnamõjusid ja teiselt poolt suurendada riikide energiapuudust.

Biomassist toodetud vedelat või gaasilist transpordikütust nimetatakse biokütuseks, mis on üks jätkusuutlikumaid lahendusi, et vähendada KHG ja välisõhu saasteainete heitkoguseid transpordivaldkonnas, kui biokütus on toodetud säästvalt ning ei põhjusta kaudset maakasutuse muutust. Rahvusvahelisel tasandil on kokkulepitud, et biokütused on CO<sub>2</sub> neutraalsed kütused. Biokütuseid on võimalik toota erinevatest lähteainetest pidevalt arendatavate tehnoloogiate abil ja kasutada otse või segatuna fossiilkütusega.

Euroopa Liidu eesmärk on järk-järgult minna transpordis üle biokütustele, mille jalajälg on väiksem võrreldes fossiilkütustega. Direktiividega ja Euroopa standarditega edendatakse taastuvatest energiaallikatest toodetava energia kasutamist. 2020. aastaks on soov saavutada 10%-list taastuenergia osakaalu transpordikütuste lõpptarbimises. Suurem eesmärk on vähendada KHG heitkoguseid 80% 2050. aastaks võrreldes 1990. aastaga. Asendades transpordis fossiilkütuseid 100%-liselt biokütustega on võimalik saavutada kuni 95%-list KHG heitkoguste vähenemist.

Eesti majanduses mängib transpordivaldkond olulist rolli, kuna moodustab umbes 9% kogu tööhõivest. Transpordivaldkonnas on maanteetransport kõige suurem KHG allikas, moodustades üle 90% valdkonna KHG heitkogustest 2014. aastal. Eestis on üritatud ellu viia erinevaid projekte, et suurendada biokütuste osakaalu transpordikütuste tarbimises. Näiteks, AS Biodiesel Paldiski, Viru Distiller ja Narva bioetanooli tehas, kuid kõik projektid ebaõnnestusid. Projektide katkemise või ebaõnnestumise põhjustas ebasobiv Eesti õiguslik raamistik ja ebasoodne majanduse olukord. Uueks katseks käivitada Eestis biokütuse tootmist on biometaan, millel on poliitiline ja finantsiline toetus.

Eesti põllumajandusmaa ressursiks on hinnatud ligikaudu 1 207 000 ha, millest kasutamata on 105 000 ha ja biomassi ning metsatööstuse jäätmete iga aastane potentsiaal ulatub kuni

44 280 TJ. Seega Eestil on potentsiaali biodiisli, bioetanooli ja biometaaniga toorainete kasvatamiseks ning biokütuste tootmiseks. Samas tuleb meele pida, et biokütuse tooraine põllumaa pinna vajaduse katmine toimiks potentsiaalsete toidupõldude arvelt. Igal biokütusel on oma eelised ja puudused. Keskkonnamõju hindamisel tuleks vaadata biokütuse kogu tootmisahelat, et hinnata, milline biokütus on kõige keskkonnasõbralikum.

Käesoleva magistritöö raames analüüsiti ja võrreldi biodiisli, bioetanooli ning biometaaniga keskkonnamõju, kui kogu nende tootmisahel paikneks Eesti territooriumil. Keskkonnamõju hinnati CO<sub>2</sub> ekv kasutades *well-to-pump* analüüsi, mis hõlmas endas CO<sub>2</sub> ekv heitkoguseid biokütuse tooraine kasvatamise, kuivatamise, hoiustamise, transportimise, töötlemise ja käitlemise etapis. Alandmetena kasutati Eesti spetsiifilisi, Euroopa keskmisi või biokütuste valdkonna vaikeväärtusi. Keskkonnamõju hinnang viidi läbi modelleerimise teel kasutades *United Kingdom and Ireland Carbon Calculator* programmi, mille tulemuste põhjal saadi teada, kui suured KHG heitkogused eralduvad biokütuse tootmise igas etapis; kas nad vastavuses Euroopa Parlamendi ja nõukogu taastuvate energiaallikate direktiivi (2009/28/EÜ) vaikeväärtustega ning millise biokütuse tootmine on kõige väiksema keskkonnamõjuga. Töös ei vaadatud biokütuste kasutuselevõtu majanduslikke aspekte.

Vaadates biodiisli, bioetanooli ja biometaaniga tootmise kogu ahelat, siis kõige kõrgemad KHG heitkogused tekivad biodiisli tootmisel rapsist 1470 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn, millele järgneb biometaan rohtsest biomassist 771 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn, bioetanool talinisust 665 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn ja bioetanool raievõsast 597 kg CO<sub>2</sub> ekv/tonn. Kui vaadata KHG heitkoguseid toodetud biodiisli, bioetanooli ja biometaaniga MJ kohta, selgub, et kõige kõrgemad heitkogused tekivad samuti biodiisli tootmisel rapsist 40 g CO<sub>2</sub> ekv/MJ, millele järgneb nisust bioetanool 25 g CO<sub>2</sub> ekv/MJ, raievõsast bioetanool 22 g CO<sub>2</sub> ekv/MJ ja rohtsest biomassist biometaan 21 g CO<sub>2</sub> ekv/MJ. Seega kõige suurema KHG heitkoguste säästupotentsiaaliga on rohtsest biomassist biometaan.

Biodiisli puhul tekivad suurem osa (~93%) KHG heitkoguseid tooraine kasvatamisel ja töötlemisel tehases. Biometaaniga puhul tekivad suurem osa (~97%) KHG heitkoguseid tooraine kasvatamisel ja tanklas käitamisel. Talinisust bioetanooli puhul tekivad suurem osa (~89%) KHG heitkoguseid tooraine kasvatamisel ja töötlemisel tehases. Raievõsast bioetanooli puhul tekivad suurem osa (~83%) KHG heitkoguseid tooraine kasvatamisel ja töötlemisel tehases. Seega kõige suurem potentsiaal KHG heitkoguste vähendamiseks on just

kasvatamise ja töötlemise etapis. Kui võrrelda saadud tulemusi Taastuenergia direktiivi vaikeväärtustega, siis saadud tulemused on väiksemad (v.a raievõsa). Erinevus seisneb põhiliselt tooraine kasvatamise etapis, kuna Lääne-Euroopas kasutatakse rohkem väetisi ja taimekaitsevahendeid hektari kohta kui Eestis. Samas on Eesti elektrienergia eriheitegur kõrgem tänu põlevkivi kasutamisele. Seetõttu tulemused ei ole kardinaalselt erinevad võrreldes Taastuenergia direktiivi vaikeväärtustega ja KHG heitkoguste säästupotentsiaaliga.

## SUMMARY

Gasoline and diesel has been used as the main fuel in the transport sector. In recent decades, the production of transportation fuels from plants has become a major topic. On the one hand, the transportation fuels from renewable energy sources help reduce the environmental impact of the transport sector and on the other hand, increase the energy security of countries.

Liquid or gaseous fuel, which is produced from biomass is called biofuel. This is one of the most sustainable solutions to reduce GHG emissions and air pollutants of the transport sector, if the biofuel is produced sustainably and does not lead to indirect land use change. At the international level, it is agreed that biofuels are CO<sub>2</sub> neutral fuels. Biofuels can be produced from various feedstocks thanks to constantly evolving technologies and can be used directly or blended with fossil fuels.

The European Union's aim in the transport sector is to gradually switch over to biofuels, which ecological footprint is smaller compared to fossil fuels. Directives and European standards help to promote the usage of energy from renewable energy sources. The 2020 goal is to achieve a 10% renewable energy share in the transportation energy consumption. The greater goal is to reduce GHG emissions by 80% by 2050 compared to 1990. Biofuels can achieve up to a 95% reduction of GHG emissions by replacing 100% of the fossil fuels in the transport sector.

The transport sector plays an important role in the Estonian economy, since it constitutes for about 9% of the total employment. In the transport sector road transport is the largest GHG source, accounting for over 90% of the total GHG emissions in the sector in 2014. Estonia has tried to carry out projects to increase the share of biofuels in the transport sector, for example, AS biodiesel Paldiski, Viru Distiller and Narva bioethanol plant, but the projects had failed. The cancellation or failure of the projects was caused by the inappropriate legal framework of Estonia and unfavourable economic situation. A new attempt to produce biofuel in Estonia is biomethane, which has the political and financial support.

Estonia's agricultural land resource is valued at approximately 1 207 000 ha of which 105 000 ha is unused. Biomass and forest waste potential is extending up to 44 280 TJ each

year. Thus, Estonia has the potential to grow raw materials for the production of biofuels: biodiesel, bioethanol and biomethane. However, it should be kept in mind that the cropland for the biofuel production will be at the expense of potential food agricultural land. Each biofuel has its advantages and disadvantages. When assessing the environmental impact of different biofuels, the entire production chain should be considered in order to determine the most environmentally friendly biofuel.

Within the master's thesis framework the environmental impact of biodiesel, bioethanol and biomethane was compared and evaluated, if the entire biofuel production chain was situated in the territory of Estonia. The environmental impact was assessed with CO<sub>2</sub> equivalents using well-to-pump analysis, which included GHG emissions from biofuel's raw material cultivation, drying, storage, transportation, processing and handling. The used input data for calculations was specific to Estonia, European average or biofuel sector default values. The environmental impact assessment was carried out by using the United Kingdom and Ireland Carbon Calculator. The obtained results showed how big the released GHG emissions from every stage of the biofuel production were, whether the results are in compliance with the Renewable Energy Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council default values and which biofuel production has the lowest impact on the environment. The thesis does not view economical aspects.

Looking at the entire biodiesel, bioethanol and biomethane production chain, then the highest GHG emissions arise from the production of biodiesel from rapeseed 1470 kg CO<sub>2</sub> ekv/ton, followed by biomethane from biomass 771 kg CO<sub>2</sub> ekv/ton, bioethanol from winter wheat 665 kg CO<sub>2</sub> ekv/ton and bioethanol from brushwood 597 kg CO<sub>2</sub> ekv/ton. If we look at the GHG emissions of biodiesel, bioethanol and biomethane per MJ, then the highest emissions also occur from the production of biodiesel from rapeseed 40 kg CO<sub>2</sub> ekv/MJ, followed by bioethanol from winter wheat 25 kg CO<sub>2</sub> ekv/MJ, bioethanol from brushwood 22 kg CO<sub>2</sub> ekv/MJ and biomethane from biomass 21 kg CO<sub>2</sub> ekv/MJ. Thus, the highest GHG savings potential is from biomass biomethane.

The majority of GHG emissions in the biodiesel production chain (~93%) came from cultivation and processing at the plant. The majority of GHG emissions in the biomethane production chain (~97%) came from cultivation and fuelling. The majority of GHG emissions in the winter wheat bioethanol production chain (~89%) came from cultivation and processing

at the plant. The majority of GHG emissions in the brushwood bioethanol production chain (~83%) came from cultivation and processing at the plant. Thus, the highest potential for reducing GHG emissions in the biofuel production chain is through cultivation and processing. When comparing the obtained results with the Renewable Energy Directive default values, the results are smaller (except brushwood). The difference is mainly in the cultivation stage, as Western Europe uses more fertilizers and pesticides per hectare than Estonia. However, Estonia's electricity emission factor is higher due to the use of oil shale. That is why the results are not dramatically different compared to the Renewable Energy Directive and GHG savings potential default values.



## KASUTATUD KIRJANDUS

1. OPECi kodulehekül. [WWW] <http://www.opec.org> (16.04.2016)
2. Ameerika Ühendriikide energeetika informatsiooni haldamise kodulehekül. [WWW] <http://www.eia.gov> (16.04.2016)
3. Maailmapanga kodulehekül. [WWW] <http://www.worldbank.org> (16.04.2016)
4. Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2009/28/EÜ, taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta ning direktiivide 2001/77/EÜ ja 2003/30/EÜ muutmise ja hilisema kehtetuks tunnistamise kohta, 23. aprill 2009.
5. Eurostati andmebaasi kodulehekül. [WWW] <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (16.04.2016)
6. Eesti riiklik kasvuhoonegaaside inventuur 1990 – 2014. Keskkonnaministeerium, 2016.
7. AS Biodiesel Paldiski kodulehekül. [WWW] <http://web.archive.org/web/20070319154823/http://www.biodiesel.ee/tutvustus.html> (26.04.16)
8. Jõgisaar, K. Eesti suurim biodiisli tehas Paldiskis alustas tööd. [WWW] <http://www.bioneer.ee/bioneer/kohalik/aid-605/Eesti-suurim-biodiisli-tehas-Paldiskis-alustas-t%C3%B6%C3%B6d-> (26.04.16)
9. Paldiski biodiislitehas palub pankrotti. – *Ärileht*, 2010. [WWW] <http://arileht.delfi.ee/news/uudised/paldiski-biodiislitehas-palub-pankrotti?id=31108581> (26.04.16)
10. Rislaid, K. Biokütused mootorikütusena. [WWW] [http://www.eava.ee/opiobjektid/mto/biokytus/5\\_bioktuste\\_tootmisest\\_eestis.html](http://www.eava.ee/opiobjektid/mto/biokytus/5_bioktuste_tootmisest_eestis.html) (26.04.16)
11. Ploompuu, P. Vedelkütuste tootmise potentsiaal Eestis. [WWW] <http://www.eees.ee/FAILID/PDFid/Erialapaev031208/Vedelkutuste%20tootmise%20poteentsiaal%20Eestis%20031208.pdf> (27.04.16)
12. Kask, Ü. Bioetanooli kasutamise eeldused ja võimalused Eestis. [WWW] [http://www.energiatalgud.ee/img\\_auth.php/8/81/Kask,\\_%C3%9C.\\_Bioetanooli\\_kasutamise\\_eeldused\\_ja\\_v%C3%B5imalused\\_Eestis.pdf](http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/8/81/Kask,_%C3%9C._Bioetanooli_kasutamise_eeldused_ja_v%C3%B5imalused_Eestis.pdf) (27.04.16)
13. Pau, A. Eesti hakkab massiliselt biometaani tootma. [WWW] <http://tehnika.postimees.ee/3328977/eesti-hakkab-massiliselt-biometaani-tootma> (27.04.16)

14. Pau, A. Läheb tootmiseks: minister andis biometaani kasutamisele ametliku käigu. [WWW] <http://tehnika.postimees.ee/3335053/lahebki-tootmiseks-minister-andis-biometaani-kasutamisele-ametliku-kaigu> (27.04.16)
15. Kask, Ü. Biodiislikütuse tootmise ja kasutamise võimalused Eestis. [WWW] [http://www.energiatalgud.ee/img\\_auth.php/c/c3/Kask,\\_%C3%9C.\\_Biodiislik%C3%BCtuse\\_tootmise\\_ja\\_kasutamise\\_v%C3%B5imalused\\_Eestis.pdf](http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/c/c3/Kask,_%C3%9C._Biodiislik%C3%BCtuse_tootmise_ja_kasutamise_v%C3%B5imalused_Eestis.pdf) (06.05.16)
16. Luque, R., Melero, J. Advances in biodiesel production: Processes and technologies. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012.
17. Technology Roadmap: Biofuels for Transport. International Energy Agency, 2011. [WWW] [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biofuels\\_roadmap\\_web.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biofuels_roadmap_web.pdf) (06.05.16)
18. Jäätmetest ja puidust toodetud energia kodulehekülg. [WWW] <http://energyfromwasteandwood.weebly.com/generations-of-biofuels.html> (06.05.16)
19. Transpordis kasutatavas kütuses biokütuse osatähtsuse suurendamiseks vajalikud meetmed, nende maksumus ja mõju kütuseturule. HeiVäl Cosulting, 2007. [WWW] [http://www.energiatalgud.ee/img\\_auth.php/0/09/Heiv%C3%A4l.\\_Transpordis\\_kasutatavas\\_k%C3%BCtuses\\_biok%C3%BCtuse\\_osat%C3%A4htuse\\_suurendamiseks\\_vajalikud\\_meetmed.pdf](http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/0/09/Heiv%C3%A4l._Transpordis_kasutatavas_k%C3%BCtuses_biok%C3%BCtuse_osat%C3%A4htuse_suurendamiseks_vajalikud_meetmed.pdf) (07.05.16)
20. Babu, M., Subramanian, K. Alternative Transportation Fuels: Utilisation in Combustion Engines. Florida: Taylor & Francis Group, 2013.
21. Eesti põllu- ja maamajanduse nõuandeteenistuse kodulehekülg. [WWW] <http://www.pikk.ee/> (07.05.16)
22. Statistikaameti andmebaas. Tehniliste kultuuride kasvatus liigi ja valdaja õigusliku vormi järgi. [WWW] [http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PMS115&ti=TEHNILISTE+KULTUURIDE+KASVATUS+LIIGI+JA+VALDAJA+%D5IGUSLIKU+VORMI+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/04Pellumajanduslike\\_majapidamiste\\_struktuur/04Taimekasvatus/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PMS115&ti=TEHNILISTE+KULTUURIDE+KASVATUS+LIIGI+JA+VALDAJA+%D5IGUSLIKU+VORMI+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/04Pellumajanduslike_majapidamiste_struktuur/04Taimekasvatus/&lang=2) (07.05.16)
23. Statistikaameti andmebaas. Põllukultuuride saagikus. [WWW] [http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PM041&ti=P%D5LLUKULTUURIDE+SAAGIKUS&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/06Pellumajandussaaduste\\_tootmine/06Taimekasvatussaaduste\\_tootmine/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PM041&ti=P%D5LLUKULTUURIDE+SAAGIKUS&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/06Pellumajandussaaduste_tootmine/06Taimekasvatussaaduste_tootmine/&lang=2) (07.05.16)

24. Rapeseed – Opportunity or risk for the future!? UFOP, 2013. [WWW]  
[http://biofuelstp.eu/downloads/2013/ufop\\_brochure\\_rape\\_seed\\_2013.pdf](http://biofuelstp.eu/downloads/2013/ufop_brochure_rape_seed_2013.pdf) (07.05.16)
25. Vohu, V. Kasutusest väljas oleva põllumajandusmaa ressurss, struktuur ja paiknemine. [WWW]  
[http://www.energiatalgud.ee/img\\_auth.php/8/8b/Vohu,\\_V.\\_Kasutusest\\_v%C3%A4ljas\\_olev\\_p%C3%B5llumajandusmaa\\_Eestis.pdf](http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/8/8b/Vohu,_V._Kasutusest_v%C3%A4ljas_olev_p%C3%B5llumajandusmaa_Eestis.pdf) (07.05.16)
26. Keskkonnaministeeriumi kodulehekül. Eesti autopargi ökonoomsus. [WWW]  
<http://www.envir.ee/et/eesmargid-tegevused/kliima/energiamargis/eesti-autopargi-okonoomsus> (07.05.16)
27. Konist, A. Transport-biokütuste tootmise potentsiaal, tehnoloogilised lahendused, keskkonnamõju. [WWW] [http://staff.ttu.ee/~akonist/sti/MST0120\\_files/Transport-bioku%CC%88tuste%20tootmise%20potentsiaal,%20sobivad%20tehnoloogilised%20lahendused.pdf](http://staff.ttu.ee/~akonist/sti/MST0120_files/Transport-bioku%CC%88tuste%20tootmise%20potentsiaal,%20sobivad%20tehnoloogilised%20lahendused.pdf) (07.05.16)
28. Hoogendoorn, A., Kasteren, H. Transportation Biofuels: Novel Pathways for Production of Ethanol, Biogas and Biodiesel. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2011.
29. Statistikaameti andmebaas. Teraviljakasvatus valdaja õigusliku vormi ja teraviljakultuuri järgi. [WWW] [http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PMS108&ti=TERAVILJAKASVATUS+VALDAJA+%D5IGUSLIKU+VORMI+JA+TERAVILJAKULTUURI+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/04Pellumajanduslike\\_majapidamiste\\_struktuur/04Taimekasvatus/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PMS108&ti=TERAVILJAKASVATUS+VALDAJA+%D5IGUSLIKU+VORMI+JA+TERAVILJAKULTUURI+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/04Pellumajanduslike_majapidamiste_struktuur/04Taimekasvatus/&lang=2) (07.05.16)
30. Gianessi, L., Williams, A. Europe's Wheat Yields are the World's Highest Due to Fungicide Use. [WWW] [https://croplife.org/wp-content/uploads/pdf\\_files/Europes-wheat-yields-are-the-worlds-highest-due-to-fungicide-use.pdf](https://croplife.org/wp-content/uploads/pdf_files/Europes-wheat-yields-are-the-worlds-highest-due-to-fungicide-use.pdf) (07.05.16)
31. Eesti Metsaseltsi kodulehekül. Metsa info. [WWW] <http://www.metsainfo.ee/metsa-info> (07.05.16)
32. Energiatalgute kodulehekül. Metsa energeetiline ressurss. [WWW]  
[http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Metsa\\_energeetiline\\_ressurss&menu-40](http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Metsa_energeetiline_ressurss&menu-40) (07.05.16)
33. Paist, A., Poobus, A. Soojusgeneraatorid: Puit. [WWW] [https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/2.\\_Puit.pdf](https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/2._Puit.pdf) (07.05.16)
34. Eesti Gaasiliidu kodulehekül. Eestis kasutatava maagaasi üldised omadused. [WWW]  
<http://www.egl.ee/?page=46> (08.05.16)

35. Eesti tingimustesse sobivate biogaasi metaaniks puhastamise tehnoloogiate rakendatavus ning keskkonna ja majanduslikud mõjud. Tallinna Tehnikaülikool, 2014. [WWW] [https://www.kik.ee/sites/default/files/Uuringud/kik\\_aruanne\\_2014\\_02\\_07\\_2014\\_korrig.pdf](https://www.kik.ee/sites/default/files/Uuringud/kik_aruanne_2014_02_07_2014_korrig.pdf) (08.05.16)
36. Biometaani tootmine ja kasutamine transpordikütusena – väärtusahel ja rakendusetepanekud. Eesti Arengufond, 2015. [WWW] [http://energiayhistud.ee/wp-content/uploads/2016/01/Vohu\\_V.\\_Eesti\\_Arengufond.\\_Biometaani\\_tootmine\\_ja\\_kasutamine\\_transpordik%C3%BCtusena\\_-\\_v%C3%A4%C3%A4rtusahel\\_ja\\_rakendusetepanekud.\\_20151.pdf](http://energiayhistud.ee/wp-content/uploads/2016/01/Vohu_V._Eesti_Arengufond._Biometaani_tootmine_ja_kasutamine_transpordik%C3%BCtusena_-_v%C3%A4%C3%A4rtusahel_ja_rakendusetepanekud._20151.pdf) (08.05.16)
37. Biogaasibusside tutvustamise- ja kasutuselevõtu teostatavusuuring. Assets RPM OÜ, 2012. [WWW] [https://www.tartu.ee/data/Biogaasibusside\\_kasutuselevotu\\_ja\\_tutvustamise\\_uuring%201\\_oplik.pdf](https://www.tartu.ee/data/Biogaasibusside_kasutuselevotu_ja_tutvustamise_uuring%201_oplik.pdf) (08.05.16)
38. Konist, A. Biogaas. [WWW] [http://staff.ttu.ee/~akonist/sti/MST0120\\_files/Loeng\\_Biogaas.pdf](http://staff.ttu.ee/~akonist/sti/MST0120_files/Loeng_Biogaas.pdf) (08.05.16)
39. Statistikaameti andmebaas. Energiabilanss kütuse või energia liigi järgi, teradžauli. [WWW] [http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KE024&ti=ENERGIABILANSS+K%DCTUSE+V%D5I+ENERGIA+LIIGI+J%C4RGI%2C+TERAD%DEAULI&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia\\_tarbimine\\_ja\\_tootmine/01Aastastatistika/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KE024&ti=ENERGIABILANSS+K%DCTUSE+V%D5I+ENERGIA+LIIGI+J%C4RGI%2C+TERAD%DEAULI&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia_tarbimine_ja_tootmine/01Aastastatistika/&lang=2) (08.05.16)
40. Euroopa Komisjoni kodulehekülj. Kliimapoliitika: Transport. [WWW] [http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm) (30.04.16)
41. Transpordi arengukava 2014-2020. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2013.
42. Euroopa ühtse transpordipiirkonna tegevuskava – Konkurentsivõimelise ja ressursitõhusa transpordisüsteemi suunas, 28. märts 2011.
43. Euroopa Komisjoni pressiteade. Maanteetransport: heitkoguste vähendamine pärast 2020, 2015 [WWW] [http://europa.eu/rapid/press-release\\_SPEECH-15-3780\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_SPEECH-15-3780_en.htm) (01.05.16)
44. Euroopa Komisjoni teatis. Puhas energia ja transport: alternatiivkütuste Euroopa strateegia, 2013 [WWW] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013PC0017&from=ET> (01.05.16)
45. Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2009/30/EÜ, millega muudetakse direktiivi 98/70/EÜ seoses bensiini, diislikütuse ja gaasiõli spetsifikatsioonidega ja kehtestatakse kasvuhoonegaaside heitkoguste järelevalve ja vähendamise mehhanism ning millega muudetakse nõukogu direktiivi 1999/32/EÜ seoses siseveelaevades kasutatava

kütusespetsifikatsioonidega ning tunnistatakse kehtetuks direktiiv 93/12/EMÜ, 23. aprill 2009.

46. Eesti Standardikeskuse kodulehekül. [WWW]  
<https://www.evs.ee/StandardidjaEL/StandardidjaEL/tabid/167/Default.aspx> (02.05.16)
47. Gornischeff, A. Kütusekvaliteedi kontroll ja aruandlus aastatel 2011 – 2014. [WWW]  
[https://www.kik.ee/sites/default/files/Uuringud/2014/kkm\\_aastaaruanne\\_2014.pdf](https://www.kik.ee/sites/default/files/Uuringud/2014/kkm_aastaaruanne_2014.pdf)  
(02.05.16)
48. Mootorikütused. Pliivaba mootoribensiin. Nõuded ja katsemeetodid: Eesti standard EVS-EN 228:2012+NA:2013. Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2013.
49. Mootorikütused. Diislikütus. Nõuded ja katsemeetodid: Eesti standard EVS-EN 590:2013. Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2013.
50. Oja, A. Biometaani kasutamise avalikud hüved. [WWW]  
[http://www.energiatalgud.ee/img\\_auth.php/a/a6/Oja,\\_A.\\_Biometaani\\_kasutamise\\_avalikud\\_h%C3%BCved.pdf](http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/a/a6/Oja,_A._Biometaani_kasutamise_avalikud_h%C3%BCved.pdf) (02.05.16)
51. Eleringi AS kodulehekül. Võrgugaasi kvaliteedinõuded. [WWW]  
<http://gaas.elering.ee/kasulikku/vorgugaasi-kvaliteedinouuded> (02.05.16)
52. Curran, S., Wagner, R., Graves, R., Keller, M., Green, J. Well-to-wheel analysis of direct and indirect use of natural gas in passenger vehicles. – *The International Journal Energy*. 2014, Vol. 75, 194-203. [Online] ScienceDirect (09.05.2016)
53. Suurbritannia valitsuse kodulehekül. [WWW]  
<https://www.gov.uk/government/publications/biofuels-carbon-calculator> (09.05.2016)
54. Future Bioenergy and Sustainable Land Use. German Advisory Council on Global Change. Malta: Gutenberg Press, 2009.
55. Adari, J. Suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjude hindamine läbi olelusringi analüüsi. [WWW] [http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/31554/Adari\\_Jana.pdf](http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/31554/Adari_Jana.pdf) (15.05.16)
56. Statistikaameti andmebaas. Mineraalvæetiste kasutamine aruandeaasta saagile. [WWW]  
[http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PM065&ti=MINERAALV%C4ETISTE+KASUTAMINE+ARUANDEAASTA+SAAGILE&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/06Pellumajandussaaduste\\_tootmine/06Taimikasvatussaaduste\\_tootmine/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PM065&ti=MINERAALV%C4ETISTE+KASUTAMINE+ARUANDEAASTA+SAAGILE&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/06Pellumajandussaaduste_tootmine/06Taimikasvatussaaduste_tootmine/&lang=2) (15.05.16)
57. Statistikaameti andmebaas. Põldude lupjamine põllumajanduslikes majapidamistes. [WWW]  
<http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PM069&ti=P%D5LDE+LUPJAMINE+P%D5LLU+MAJANDUSLIKES+MAJAPIDAMISTES&path=../Database/Majandus/13Pellumajandu>

s/06Pellumajandussaaduste\_tootmine/06Taimekasvatussaaduste\_tootmine/&lang=2  
(15.05.16)

58. Statistikaameti andmebaas. Taimekaitsevahendite kasutamine põllumajanduslikes majapidamistes. [WWW] <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KK208&ti=TAIMEKAITSEVAHENDITE+KASUTAMINE+P%D5LLUMAJANDUSLIKES+MAJAPIDAMISTES&path=../Database/Keskkond/07Pollumajanduskeskkond/&lang=2> (15.05.16)
59. Gasso, V., Oudshoorn, F., Sorensen, C., Pedersen, H. An environmental life cycle assessment of controlled traffic farming. *Journal of Cleaner Production*. 2014, Vol. 73, 175-182. [Online] ScienceDirect (15.05.2016)
60. Dotnuvos projektaï kodulehekülg. [WWW] <http://www.dotnuvosprojektaï.ee/category/seemned/taliteravili/talinisu/kena-ds> (15.05.16)
61. Heinsoo, K., Jürgens, K., Koppel, A. Paju, mitmekülgne ja kasulik puu. [WWW] [http://www.eestiloodus.ee/artikkel1749\\_1747.html](http://www.eestiloodus.ee/artikkel1749_1747.html) (15.05.16)
62. Ontario põllumajandusministeeriumi kodulehekülg. [WWW] <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/pub811/4drying.htm> (15.05.16)
63. Explanatory note: Comparing US and EU truck fuel economy. Transport & environment, 2015. [WWW] [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/2015\\_06\\_Comparing\\_US\\_EU\\_truck\\_fuel\\_economy\\_explanatory\\_note\\_Final.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/2015_06_Comparing_US_EU_truck_fuel_economy_explanatory_note_Final.pdf) (15.05.16)
64. Krupenski, I. Kütusemajandus: Biodiisel, 2015.
65. Ülevaade Eesti bioenergia turust 2007. aastal. Eesti Konjunkturiinstituut, 2008. [WWW] [http://www.energiatalgud.ee/img\\_auth.php/3/3f/EKI.\\_Ylevaade\\_Eesti\\_bioenergia\\_turust\\_2007.pdf](http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/3/3f/EKI._Ylevaade_Eesti_bioenergia_turust_2007.pdf) (15.05.16)
66. Ethanol bencharking and best practices. Minnesota technical assistance programm, 2008. [WWW] <http://www.mntap.umn.edu/ethanol/resources/EthanolReport.pdf> (16.05.16)

**LISAD**

Lisa 1. Valemid biokütuste elutsükli jooksul tekkivate KHG arvutamiseks

A. Biokütuste tüüpilised ja vaikeväärtused, kui nende tootmisel ei teki maakasutuse muutumise tõttu süsiniku netoheiteid

Biokütuse tootmisviis	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemise tüüpiline väärtus	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemise vaikeväärtus
Suhkrupediist toodetud etanool	61 %	52 %
Nisuetanool (tootmisprotsessis kasutatav kütus täpsustamata)	32 %	16 %
Nisust toodetud etanool (tootmisel soojuse ja elektri koostootmise käitises kasutatakse kütusena ligniiti)	32 %	16 %
Nisust toodetud etanool (tootmisel tavalises põletuskatlas kasutatakse kütusena maagaasi)	45 %	34 %
Nisust toodetud etanool (tootmisel soojuse ja elektri koostootmise käitises kasutatakse kütusena maagaasi)	53 %	47 %
Nisust toodetud etanool (põhk soojuse ja elektri koostootmise käitises tootmisprotsessis kasutatava kütusena)	69 %	69 %
Ühenduses maisist toodetud etanool (tootmisel soojuse ja elektri koostootmise käitises kasutatakse kütusena maagaasi)	56 %	49 %
Suhkruroost toodetud etanool	71 %	71 %
ETBE (etüül- <i>tert</i> -butüüleeter) taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne etanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	
TAAE ( <i>tert</i> -amüül-etüüleeter) taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne etanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	
Rapsiseemnetest toodetud biodiisel	45 %	38 %



Päevalilleseemnetest toodetud biodiisel	58 %	51 %
Sojaubadest toodetud biodiisel	40 %	31 %
Palmiõlist toodetud biodiisel (tootmisprotsess täpsustamata)	36 %	19 %
Palmiõlist toodetud biodiisel (tootmisprotsess metaani kogumisega õlipressimisettevõttes)	62 %	56 %
Taimse või loomse <sup>37</sup> õli jääkidest toodetud biodiisel	88 %	83 %
Rapsiseemnetest toodetud hüdrogeenitud taimeõli	51 %	47 %
Päevalilleseemnetest toodetud hüdrogeenitud taimeõli	65 %	62 %
Palmiõlist toodetud hüdrogeenitud taimeõli (tootmisprotsess täpsustamata)	40 %	26 %
Palmiõlist toodetud hüdrogeenitud taimeõli (tootmisprotsess metaani kogumisega õlipressimisettevõttes)	68 %	65 %
Rapsiseemnetest toodetud puhas taimeõli	58 %	57 %
Orgaanilistest olmejäätmest toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	80 %	73 %
Märjast sõnnikust toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	84 %	81 %
Kuivast sõnnikust toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	86 %	82 %

B. 2008. aasta jaanuaris turul mitteleidunud või turul üksnes tühistes kogustes leidunud uute biokütuste prognoositavad tüüpilised ja vaikeväärtused, kui nende tootmisel ei teki maakasutuse muutumise tõttu süsiniku netoheiteid

<sup>37</sup> **Märkus.** Välja arvatud Euroopa Parlamendi ja nõukogu 3. oktoobri 2002. aasta määruses (EÜ) nr 1774/2002, milles sätestatakse muuks otstarbeks kui inimtoiduks ettenähtud loomsete kõrvalsaaduste sanitaareeskirjad, 3. kategooria materjaliks liigitatud loomsetest kõrvalsaadustest toodetav õli.

Biokütuse tootmisviis	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemise tüüpiline väärtus	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemise vaikeväärtus
Nisuõlgedest toodetud etanool	87 %	85 %
Puidujäätmetest toodetud etanool	80 %	74 %
Energiametsast saadud puidust toodetud etanool	76 %	70 %
Puidujäätmetest toodetud Fischer-Tropschi diisel	95 %	95 %
Energiametsast saadud puidust toodetud Fischer-Tropschi diisel	93 %	93 %
Puidujäätmetest toodetud DME (dimetüüleeter)	95 %	95 %
Energiametsast saadud puidust toodetud DME (dimetüüleeter)	92 %	92 %
Puidujäätmetest toodetud metanool	94 %	94 %
Energiametsast saadud puidust toodetud metanool	91 %	91 %
MTBE (metüül- <i>tert</i> -butüüleeter) taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne metanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	

### C. Metoodika

1. Transpordikütuste, biokütuste ja vedelate biokütuste tootmisest ja kasutamisest tulenev kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemine arvutatakse järgmiselt:

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee} ,$$

kus:

$E$  =kütuse kasutamisest tulenev koguheide;

$e_{ec}$  = tooraine kaevandamisel või viljelusel tekkinud heitkogus;

$e_i$  = maakasutuse muutadusest tingitud süsinikuvaru muudatustest tulenev aastapõhine heitkogus;

$e_p$  = töötlemisel tekkinud heitkogus;

$e_{td}$  = jaotamise ja transpordi käigus tekkinud heitkogus;

$e_u$  = kasutatavast kütusest tulenev heitkogus;

$e_{sca}$  = põllumajanduse parema juhtimise abil süsiniku mulda kogunemisest tulenev heitkoguste vähenemine;

$e_{ccs}$  = süsiniku kogumisest ja geoloogilisest säilitamisest tulenev heitkoguste vähenemine;

$e_{cer}$  = süsiniku kogumisest ja asendamisest tulenev heitkoguste vähenemine ning

$e_{ee}$  = koostootmisel tekkinud elektri ülejäägi kasutamisest tulenev heitkoguste vähenemine.

Masinate ja seadmete tootmisel tekkinud heitkoguseid arvesse ei võeta.

2. Kütuse kasutamisest tulenevate kasvuhoonegaaside heitkogust (E) väljendatakse CO<sub>2</sub>-ekvivalendi grammides kütuse megadžauli kohta (gCO<sub>2eq</sub>/MJ).

3. Erandina punktist 2 võib transpordikütuste puhul gCO<sub>2eq</sub>/MJ arvutamisel väärtusi korrigeerida, et võtta arvesse kütuste erinevusi tehtud kasuliku töö ajal, väljendatuna km/MJ. Sellist korrigeerimist saab teha üksnes siis, kui tehtud kasuliku töö erinevused on tõestatud.

4. Biokütuste ja vedelate biokütuste kasutamisest tulenev kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemine arvutatakse järgmiselt:

$$VÄHENEMINE = (E_F - E_B) / E_F,$$

kus:

$E_B$  = biokütuse või vedela biokütuse koguheide ning

$E_F$  = võrreldavatest fossiilkütustest tulenev heitkogus

5. Punkti 1 kohaldamisel arvesse võetavad kasvuhoonegaasid on CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>. CO<sub>2</sub>-ga ekvivalentsuse arvutamiseks määratakse kõnealustele gaasidele järgmised väärtused:

CO<sub>2</sub>: 1

N<sub>2</sub>O: 296

CH<sub>4</sub>: 23

6. Tooraine kaevandamisel või viljelusel tekkinud heide ( $e_{ec}$ ) sisaldab heidet, mis on tekkinud kaevandamise või viljelemise protsessi käigus, tooraine kogumisest, jäätmetest ja leketest ning

kaevandamisel või viljelemisel kasutatud toodete või kemikaalide tootmisel. CO<sub>2</sub> kogumist toormaterjali kasvatamise ajal ei võeta arvesse. Kõikjal maailmas õlitootmispaikades õli põletamisest tekkinud kasvuhoonegaaside heitkoguste sertifitseeritud vähenemine arvatakse maha. Viljelusest tuleneva heite prognoositava koguse võib tegelike andmete kasutamise alternatiivina tuletada sellistest keskmistest näitajatest, mida kasutati vaikeväärtuste arvutamiseks kasutatud geograafilistest aladest väiksemate alade puhul.

7. Maakasutuse muudatusest tingitud süsinikuvaru muudatustest tuleneva aastapõhise heitkoguse ( $e_i$ ) arvutamiseks jagatakse koguheide võrdselt 20 aasta peale. Kõnealuse heitkoguse arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$e_i = (CS_R - CS_A) \times 3,664 \times 1/20 \times 1/P - e_B^{38},$$

kus:

$e_i$  = maakasutuse muudatusest tingitud süsinikuvaru muudatustest tulenevate kasvuhoonegaaside aastapõhised heitkogused (mõõdetakse CO<sub>2</sub>-ekvivalendi massina biokütuse energia ühiku kohta);

$CS_R$  = süsinikuvaru ühiku pindala kohta seoses maa võrdluskasutusega (mõõdetakse süsiniku massina ühiku pindala kohta, sealhulgas pinnas ja taimestik). Maa võrdluskasutus on maakasutus, mis kehtis 2008. aasta jaanuaris või 20 aastat enne tooraine saamist, olenevalt sellest, kumb on hilisem;

$CS_A$  = süsinikuvaru ühiku pindala kohta seoses tegeliku maakasutusega (mõõdetakse süsiniku massina ühiku pindala kohta, sealhulgas pinnas ja taimestik). Juhul kui süsinikuvaru koguneb rohkem kui ühe aasta jooksul, võrdub  $CS_A$  -le antav väärtus hinnatava varuga pindalaühiku kohta kahekümne aasta pärast või kultuuri koristusküpseks saamisel olenevalt sellest, kumb on varem;

$P$  = põllukultuuri produktiivsus (mõõdetakse biokütuse või vedela biokütuse energiana maaühiku pindala kohta aastas); ja

$e_B$  = toetus 29 gCO<sub>2eq</sub>/MJ biokütuse või vedela biokütuse korral, kui biomass saadakse rikitud maalt, mis on taastatud, punktis 8 sätestatud tingimustel.

8. Toetust 29 gCO<sub>2eq</sub>/MJ kohaldatakse, kui on esitatud tõendid, et asjaomane maa:

a) ei olnud 2008. aasta jaanuaris kasutuses põllumajanduslikul ega mingil muul eesmärgil

---

<sup>38</sup> **Märkus.** Jagatis, mis on saadud CO<sub>2</sub> molekulmassi (44,010 g/mol) jagamisel süsiniku molekulmassiga (12,011 g/mol), on võrdne väärtusega 3,664.

ning

b) kuulub ühte järgmistest kategooriatest:

- i) oluliselt rikitud maa, sealhulgas varem põllumajanduslikul eesmärgil kasutatud maa;
- ii) tugevalt saastatud maa.

Toetust  $29 \text{ gCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$  rakendatakse kuni kümme aastat alates maa kasutuselevõtust põllumajanduslikul otstarbel, tingimusel et kategooriasse i kuuluval maal tagatakse süsinikuvarude pidev kasv ja erosiooni märkimisväärne vähenemine ning et kategooriasse ii kuuluva maa saastust vähendatakse.

9. Punkti 8 alapunktis b osutatud kategooriad määratletakse järgmiselt:

- a) „oluliselt rikitud maa” – maa, mis on pikemat aega olnud kas märkimisväärselt sooldunud või sisaldanud märkimisväärselt vähe orgaanilist ainet ja olnud tugevalt erodeerunud;
- b) „tugevalt saastatud maa” – maa, mis ei ole pinnase saastuse tõttu sobiv toiduainete ega sööda kasvatamiseks.

Sellise maa hulka kuulub maa, mille puhul teeb komisjon artikli 18 lõike 4 neljanda lõigu kohase otsuse.

10. Komisjon võtab 31. detsembriks 2009 vastu maa süsinikuvaru arvutamise juhendi, mis tugineb riiklike kasvuhoonegaaside andmekogude koostamise IPCC juhise 4. osal. Komisjoni juhendit kasutatakse käesoleva direktiivi kohaldamisel maa süsinikuvarude arvutamiseks.

11. Töötlemisel tekkinud heide ( $e_p$ ) sisaldab heidet, mis on tekkinud töötlemisprotsessi käigus, jäätmetest ja leketest ning töötlemisel kasutatud toodete või kemikaalide tootmise käigus.

Kui võetakse arvesse sellise elektri tarbimist, mis ei ole toodetud kütuse tootmise ettevõttes, eeldatakse, et kõnealuse elektri tootmisest ja jaotamisest tulenevate kasvuhoonegaaside heitkoguste intensiivsus on võrdne määratud piirkonnas elektri tootmisest ja jaotamisest tuleneva heite keskmise intensiivsusega. Erandina kõnealusest eeskirjast võivad tootjad kasutada ühe elektri jaama keskmist väärtust kõnealuses elektri jaamas toodetud elektri puhul, kui see jaam ei ole elektrivõrguga ühendatud.

12. Transpordist ja jaotusest tulenev heide ( $e_{td}$ ) sisaldab heidet, mis tuleneb tooraine ja pooltoodete transpordist ja ladustamisest ning valmistoodete ladustamisest ja jaotamisest. Käesolevat punkti ei kohaldata jaotamise ja transpordi käigus tekkinud heite suhtes, mida võetakse arvesse vastavalt punktile 6.

13. Kasutatavast kütusest tulenevat heidet ( $e_u$ ) loetakse nulliks biokütuste ja vedelate biokütuste puhul.

14. Süsiniku kogumisest ja geoloogilisest säilitamisest tulenev heitkoguste vähenemine ( $e_{ccs}$ ), mida ei ole juba arvesse võetud  $e_p$  väärtuses, piirdub heitkogusega, mida välditakse kütuse kaevandamise, transpordi, töötlemise ja jaotusega otseselt seotud eraldunud CO<sub>2</sub> kogumise ja säilitamisega.

15. Süsiniku kogumisest ja asendamisest tulenev heitkoguste vähenemine ( $e_{ccr}$ ) piirdub CO<sub>2</sub> kogumise kaudu välditud heitkogusega, mille puhul süsinik pärineb biomassist ning seda kasutatakse kaubatoodes ja -teenustes kasutatava fossiilse päritoluga CO<sub>2</sub> asendamiseks.

16. Koostootmisel tekkinud elektri ülejäägi kasutamisest tulenevat heitkoguste vähenemist ( $e_{ee}$ ) võetakse arvesse seoses elektri ülejäägiga, mille puhul elekter on toodetud koostootmist kasutatavate kütuse tootmise süsteemidega, välja arvatud juhul, kui koostootmiseks kasutatav kütus on muu kaassaadus kui põllumajanduskultuuri jääk. Kõnealuse elektri ülejäägi arvessevõtmisel eeldatakse, et koostootmisüksuse suurus on väiksem, mis on koostootmisüksuse jaoks vajalik, et tekitada kütuse tootmiseks vajalik kogus soojust. Kõnealuse elektri ülejäägiga seotud kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemist käsitatakse võrdsena kasvuhoonegaaside kogusega, mis oleks eraldunud, kui sama kogus elektrit oleks toodetud elektrijaamas, milles kasutatakse sama kütust kui koostootmisüksuses.

17. Kui kütuse tootmise protsessi käigus toodetakse kombineerituna kütust, mille heitkogused arvutatakse välja, ning veel üht või mitut toodet lisaks („kaassaadused”), jagatakse kasvuhoonegaaside heitkogused kütuse või selle vahetoote ja kaassaaduste vahel proportsionaalselt nende energiasisaldusega (mis määratakse kindlaks väiksema kütteväärtusega muude kaassaaduste puhul kui elekter).

18. Punktis 17 osutatud arvutuse tegemiseks on jagatavad heitkogused  $e_{ec} + e_l$ , + need fraktsioonid  $e_p$ ,  $e_{td}$  ja  $e_{ee}$ -st, mis eralduvad kuni protsessi selle etapini (kaasa arvatud), mil kaassaadus toodetakse. Kui kaassaadustele jaotumine on leidnud aset olelustusükli varasemas protsessietapis, kasutatakse viimases sellises protsessietapis kütuse vahesaadusele omistatud heitkoguste fraktsiooni sel eesmärgil kõnealuste heitkoguste kogusumma asemel.

Biokütuste ja vedelate biokütuste puhul võetakse selle arvutuse eesmärgil arvesse kõik kaassaadused, sealhulgas elekter, mis ei kuulu punkti 16 reguleerimisalasse, välja arvatud põllumajanduskultuuride jäägid, sealhulgas õled, suhkruroo pressimisjäätmel, terakestad, maisitõlvikud ja pähklikoored. Negatiivse energiasisaldusega kaassaaduste energiasisalduse väärtus on arvutuse tegemise eesmärgil null.

Jäätmel, põllumajanduskultuuride jääkidel, sealhulgas õlgedel, suhkruroo pressimisjäätmel, terakestadel, maisitõlvikute ja pähklikoorte ning töötlemisjääkidel, sealhulgas toorglütseriini (rafineerimata glütseriin) olelustusükli kasvuhoonegaaside heitkogused võrduvad nulliga kuni kõnealuste materjalide kogumise protsessini.

Rafineerimistehastes toodetud kütuste puhul on rafineerimistehas punktis 17 osutatud arvutuse tegemise eesmärgil kasutatav analüüsiüksus.

19. Biokütuste puhul on punktis 4 osutatud arvutuse tegemisel võrreldav fossiilkütus  $E_F$  kõige hilisem teadaolev tegelik keskmine heitkogus, mis tuleneb ühenduses tarbitud fossiilsest bensiinist ja diislist, ning millest on teada antud vastavalt direktiivile 98/70/EÜ. Kui sellised andmed ei ole kättesaadavad, kasutatakse väärtust 83,8 gCO<sub>2eq</sub>/MJ.

Elektri tootmiseks kasutatavate vedelate biokütuste puhul on punktis 4 osutatud arvutuse tegemisel võrreldav fossiilkütus  $E_F$  91 gCO<sub>2eq</sub>/MJ.

Soojuse tootmiseks kasutatavate vedelate biokütuste puhul on punktis 4 osutatud arvutuse tegemisel võrreldav fossiilkütus  $E_F$  77 gCO<sub>2eq</sub>/MJ.

Koostootmiseks kasutatavate vedelate biokütuste puhul on punktis 4 osutatud arvutuse tegemisel võrreldav fossiilkütus  $E_F$  85 gCO<sub>2eq</sub>/MJ.

#### D. Biokütuste ja vedelate biokütuste summeerimata vaikeväärtused

Viljeluse summeerimata vaikeväärtused: „*e<sub>ec</sub>*” vastavalt käesoleva lisa C osas esitatud määratlusele

Biokütuse ja vedela biokütuse tootmisviis	Kasvuhoonegaaside heitkoguste tüüpilised väärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vaikeväärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)
Suhkrupreedist toodetud etanool	12	12
Nisust toodetud etanool	23	23
Ühenduses maisist toodetud etanool	20	20
Suhkruroost toodetud etanool	14	14
ETBE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne etanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	
TAAE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne etanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	
Rapsiseemnetest toodetud biodiisel	29	29
Päevalilleseemnetest toodetud biodiisel	18	18
Sojaubadest toodetud biodiisel	19	19
Palmiõlist toodetud biodiisel	14	14
Taimse või loomse <sup>39</sup> õli jääkidest toodetud biodiisel	0	0
Rapsiseemnetest toodetud hüdrogeenitud taimeõli	30	30
Päevalilleseemnetest toodetud hüdrogeenitud taimeõli	18	18
Palmiõlist toodetud hüdrogeenitud taimeõli	15	15
Rapsiseemnetest toodetud puhas	30	30

<sup>39</sup> **Märkus.** Ei sisalda loomset õli, mis on toodetud loomadest toodetes, mis on klassifitseeritud kategooria 3 materjaliks vastavalt määrusele (EÜ) nr 1774/2002.



taimeõli		
Orgaanilistest olmejäätmetest toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	0	0
Märjast sõnnikust toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	0	0
Kuivast sõnnikust toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	0	0

Töötlemise (sealhulgas elektri ülejääk) summeerimata vaikeväärtused: „ $e_p - e_{ee}$ ” vastavalt käesoleva lisa C osas esitatud määratlusele

Biokütuse ja vedela biokütuse tootmisviis	Kasvuhoonegaaside heitkoguste tüüpilised väärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vaikeväärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)
Suhkrupedist toodetud etanool	19	26
Nisust toodetud etanool (tootmisprotsessis kasutatav kütus täpsustamata)	32	45
Nisust toodetud etanool (tootmisel soojuse ja elektri koostootmise käitises kasutatakse kütusena ligniiti)	32	45
Nisust toodetud etanool (tootmisel tavalises põletuskatlas kasutatakse kütusena maagaasi)	21	30
Nisust toodetud etanool (tootmisel soojuse ja elektri koostootmise käitises kasutatakse kütusena maagaasi)	14	19
Nisust toodetud etanool (tootmisel soojuse ja elektri koostootmise käitises kasutatakse kütusena põhku)	1	1
Ühenduses maisist toodetud etanool	15	21

(tootmisel soojuste ja elektri koostootmise käitises kasutatakse kütusena maagaasi)		
Suhkruroost toodetud etanool	1	1
ETBE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne etanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	
TAAE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne etanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	
Rapsiseemnetest toodetud biodiisel	16	22
Päevalilleseemnetest toodetud biodiisel	16	22
Sojabadest toodetud biodiisel	18	26
Palmiõlist toodetud biodiisel (tootmisprotsess täpsustamata)	35	49
Palmiõlist toodetud biodiisel (tootmisprotsess metaani kogumisega õlipressimisettevõttes)	13	18
Taimse või loomse õli jääkidest toodetud biodiisel	9	13
Rapsiseemnetest toodetud hüdrogeenitud taimeõli	10	13
Päevalilleseemnetest toodetud hüdrogeenitud taimeõli	10	13
Palmiõlist toodetud hüdrogeenitud taimeõli (tootmisprotsess täpsustamata)	30	42
Palmiõlist toodetud hüdrogeenitud taimeõli (tootmisprotsess metaani kogumisega õlipressimisettevõttes)	7	9
Rapsiseemnetest toodetud puhas taimeõli	4	5
Orgaanilistest olmejäätmetest toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	14	20
Märjast sõnnikust toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	8	11

Kuivast sõnnikust toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	8	11
---	---	----

Transpordi ja jaotamise summeerimata vaikeväärtused: „*e<sub>td</sub>*” vastavalt käesoleva lisa C osas esitatud määratlusele

Biokütuse ja vedela biokütuse tootmisviis	Kasvuhoonegaaside heitkoguste tüüpilised väärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vaikeväärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)
Suhkrupreedist toodetud etanool	2	2
Nisust toodetud etanool	2	2
Ühenduses maisist toodetud etanool	2	2
Suhkruroost toodetud etanool	9	9
ETBE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne etanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	
TAAE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne etanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	
Rapsiseemnetest toodetud biodiisel	1	1
Päevalilleseemnetest toodetud biodiisel	1	1
Sojaubadest toodetud biodiisel	13	13
Palmiõlist toodetud biodiisel	5	5
Taimse või loomse õli jääkidest toodetud biodiisel	1	1
Rapsiseemnetest toodetud hüdrogeenitud taimeõli	1	1
Päevalilleseemnetest toodetud hüdrogeenitud taimeõli	1	1
Palmiõlist toodetud hüdrogeenitud taimeõli	5	5
Rapsiseemnetest toodetud puhas taimeõli	1	1

Orgaanilistest olmejäätmetest toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	3	3
Märjast sõnnikust toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	5	5
Kuivast sõnnikust toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	4	4

Viljelus, töötlemine, transport ja jaotamine kokku

Biokütuse ja vedela biokütuse tootmisviis	Kasvuhoonegaaside heitkoguste tüüpilised väärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vaikeväärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)
Suhkrupreedist toodetud etanool	33	40
Nisust toodetud etanool (tootmisprotsessis kasutatav kütus täpsustamata)	57	70
Nisust toodetud etanool (tootmisel soojuse ja elektri koostootmise käitises kasutatakse kütusena ligniiti)	57	70
Nisust toodetud etanool (tootmisel tavalises põletuskatlas kasutatakse kütusena maagaasi)	46	55
Nisust toodetud etanool (tootmisel soojuse ja elektri koostootmise käitises kasutatakse kütusena maagaasi)	39	44
Nisust toodetud etanool (tootmisel soojuse ja elektri koostootmise käitises kasutatakse kütusena põhku)	26	26
Ühenduses maisist toodetud etanool (tootmisel soojuse ja elektri koostootmise käitises kasutatakse kütusena maagaasi)	37	43

Suhkruroost toodetud etanool	24	24
ETBE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne etanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	
TAAE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne etanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	
Rapsiseemnetest toodetud biodiisel	46	52
Päevalilleseemnetest toodetud biodiisel	35	41
Sojaubadest toodetud biodiisel	50	58
Palmiõlist toodetud biodiisel (tootmisprotsess täpsustamata)	54	68
Palmiõlist toodetud biodiisel (tootmisprotsess metaani kogumisega õlipressimisettevõttes)	32	37
Taimse või loomse õli jääkidest toodetud biodiisel	10	14
Rapsiseemnetest toodetud hüdrogeenitud taimeõli	41	44
Päevalilleseemnetest toodetud hüdrogeenitud taimeõli	29	32
Palmiõlist toodetud hüdrogeenitud taimeõli (tootmisprotsess täpsustamata)	50	62
Palmiõlist toodetud hüdrogeenitud taimeõli (tootmisprotsess metaani kogumisega õlipressimisettevõttes)	27	29
Rapsiseemnetest toodetud puhas taimeõli	35	36
Orgaanilistest olmejäätmetest toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	17	23
Märjast sõnnikust toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	13	16
Kuivast sõnnikust toodetud biogaas, mida kasutatakse kui surumaagaasi	12	15

E. 2008. aasta jaanuaris turul mitteleiduvate või turul üksnes tühistes kogustes leiduvate uute biokütuste ja vedelate biokütuste prognoositavad summeerimata vaikeväärtused

Viljelusega seotud summeerimata vaikeväärtused: „ $e_{ec}$ ” vastavalt käesoleva lisa C osas esitatud määratlusele

Biokütuse ja vedela biokütuse tootmisviis	Kasvuhoonegaaside heitkoguste tüüpilised väärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vaikeväärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)
Nisuõlgedest toodetud etanool	3	3
Puidujäätmetest toodetud etanool	1	1
Energiametsast saadud puidust toodetud etanool	6	6
Puidujäätmetest toodetud Fischer-Tropschi diisel	1	1
Energiametsast saadud puidust toodetud Fischer-Tropschi diisel	4	4
Puidujäätmetest toodetud DME	1	1
Energiametsast saadud puidust toodetud DME	5	5
Puidujäätmetest toodetud metanool	1	1
Energiametsast saadud puidust toodetud metanool	5	5
MTBE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne metanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	

Töötlemise (sealhulgas elektri ülejääk) summeerimata vaikeväärtused: „ $e_p - e_{ee}$ ” vastavalt käesoleva lisa C osas esitatud määratlusele

Biokütuse ja vedela biokütuse	Kasvuhoonegaaside heite	Kasvuhoonegaaside heite
-------------------------------	-------------------------	-------------------------

tootmisviis	tüüpiline väärtus (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)	vaikeväärtus (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)
Nisuõlgedest toodetud etanool	5	7
Puidust toodetud etanool	12	17
Puidust toodetud Fischer-Tropschi diisel	0	0
Puidust toodetud DME	0	0
Puidust toodetud metanool	0	0
MTBE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne metanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	

Transportimise ja jaotamise summeerimata vaikeväärtused: „*e<sub>id</sub>*” vastavalt käesoleva lisa C osas esitatud määratlusele

Biokütuse ja vedela biokütuse tootmisviis	Kasvuhoonegaaside heitkoguste tüüpilised väärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vaikeväärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)
Nisuõlgedest toodetud etanool	2	2
Puidujäätmetest toodetud etanool	4	4
Energiametsast saadud puidust toodetud etanool	2	2
Puidujäätmetest toodetud Fischer-Tropschi diisel	3	3
Energiametsast saadud puidust toodetud Fischer-Tropschi diisel	2	2
Puidujäätmetest toodetud DME	4	4
Energiametsast saadud puidust toodetud DME	2	2
Puidujäätmetest toodetud metanool	4	4
Energiametsast saadud puidust	2	2

toodetud metanool		
MTBE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne metanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	

Viljelus, töötlemine, transport ja jaotamine kokku

Biokütuse ja vedela biokütuse tootmisviis	Kasvuhoonegaaside heitkoguste tüüpilised väärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vaikeväärtused (gCO <sub>2eq</sub> /MJ)
Nisuõlgedest toodetud etanool	11	13
Puidujäätmetest toodetud etanool	17	22
Energiametsast saadud puidust toodetud etanool	20	25
Puidujäätmetest toodetud Fischer-Tropschi diisel	4	4
Energiametsast saadud puidust toodetud Fischer-Tropschi diisel	6	6
Puidujäätmetest toodetud DME	5	5
Energiametsast saadud puidust toodetud DME	7	7
Puidujäätmetest toodetud metanool	5	5
Energiametsast saadud puidust toodetud metanool	7	7
MTBE taastuvatest energiaallikatest pärit osa	On võrdne metanooli puhul kasutatud tootmisviisi omaga	



## Lisa 2. Keskkonnamõju hindamise programmi tingmärkide seletused

- |  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Toob välja kogu biokütuse tootmisahela CO<sub>2</sub> intensiivsuse ja selle KHG heitkoguste säästupotentsiaali võrreldes bensiini/diislikütusega.</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sisaldab tooraine (raps, nisu, võsa jne.) kasvatamisega seotud KHG heitkoguseid.</li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sisaldab tooraine kuivatamise ja hoiustamisega seotud KHG heitkoguseid.</li> </ul>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sisaldab tooraine transportimisega, mis tahes kujul, (tahke, vedel, gaas) seotud KHG heitkoguseid.</li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sisaldab tooraine töötlemisega seotud KHG heitkoguseid ehk biokütuse tehase andmeid.</li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sisaldab biokütuse hoiustamisega seotud KHG heitkogused.</li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sisaldab kütuse käitlemisega (tankla) seotud KHG heitkogused.</li> </ul>  |