



**TAL
TECH**

TEHNOLOOGIA TEEKAART: CO₂ VABADE VÕI VÄHESE HEITEGA KÜTUSTE TOOTMINE JA TARBIMINE

Uuringu aruanne



Tallinn 2025

Uuringu tellija: Kliimaministeerium

Tellija kontaktisik:

Maria Värton, rohereformi teekaartide valdkonnajuht

Kliimaministeerium

maria.vartton@kliimaministeerium.ee

Uuringu ja aruande autorid:

Professor Allan Niidu, PhD

Professor Jaan Kers, PhD

Olga Pihl, PhD

Elena Prigorchenko, PhD

Helery Tasane, PhD

Tarmo Tuisk, MA

Info uuringule viitamise kohta:

TalTech (2025) „Tehnoloogia teekaart, CO₂ vabade või vähese heitega kütuste tootmine ja tarbimine”, uuringu aruanne, Tallinn

TalTech / Tallinna Tehnikaülikool

allan.niidu@taltech.ee

Virumaa kolledž, Ringmajanduse Tuumiklabor

Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn

www.taltech.ee/virumaa-kolledz

© Kliimaministeerium, TalTech

SISUKORD

Lühendid ja definitsioonid	6
Lühikokkuvõte	9
SISSEJUHATUS	13
1. METOODIKA	14
1.1. DOKUMENDIANALÜÜS	14
1.2. INTERVJUUD ETTEVÕTJATE JA SIDUSRÜHMADEGA	14
1.3. SOTSIAALMAJANDUSLIKE MÕJUDE ANALÜÜS NING STSENAARIUMITE KOOSTAMINE	15
2. KÜTUSETOODETE PAKKUMISE JA KASUTAMISE STRUKTUUR	18
3. SEADUSANDLUSE ÕIGUSLIK JA STRATEEGILINE RAAMISTIK JA SEKTORI ARENG	27
3.1. EESTI SEADUSANDLUS	27
3.2. EUROOPA LIIDU SEADUSANDLUS	28
3.3. SEKTORI ARENG JA LÄHITULEVIK	32
4. EESTI TOORMETE ÜLEVAADE	34
4.1. BIOMASS	34
4.2. CO ₂ JA ROHEVESINIK	38
4.3. MUUD JÄÄTMED	39
4.4. KOKKUVÕTE	40
5. KÜTUSTE JA VASTAVATE TOOTMISTEHNOLLOOGIATE ÜLEVAADE	42
5.1. OLEMASOLEVAD JA ARENDUSES OLEVAD TEHNOLOOGIAD	44
5.2. PARIMATE TEHNOLOOGIATE CO ₂ JALAJÄLJE VÕRDLEMINE	67
6. SOTSIAALMAJANDUSLIKUD MÕJUD	70
7. STSENAARIUMID	82
8. KOKKUVÕTE	89
LISA 1. INTERVJUUDE TULEMUSED	94
1. BIOMASS	94
2. VESINIK	99
3. PLASTIJÄÄTMED	102
4. CO ₂ SIDUMINE	102
5. INTERVJUUDE KOKKUVÕTE	104

LÜHENDID JA DEFINITSIOONID

AE	Aluseline elektrolüüs
ASTM	Ameerika Katse- ja Materjalide Ühing (<i>American Society for Testing and Materials</i>)
AtJ	Alkoholist reaktiivkütuste tootmine (<i>Alcohol-to-Jet</i>)
BFG	Kõrgahjugaas (<i>Blast Furnace Gas</i>)
BOF	Hapnikukonverterigaas (<i>Basic Oxygen Furnace Gas</i>)
BTL	Biomassist vedelkütused (<i>Biomass-to-Liquid-Fuel</i>)
CCS	Süsiniku kogumine ja ladustamine (<i>carbon capture and storage</i>)
CCUS	Süsiniku kogumine, kasutamine ja ladustamine (<i>carbon capture utilization and storage</i>)
CHJ	<i>Catalytic Hydrothermolysis Jet</i>
CNG	Surugaas (<i>Compressed natural gas</i>)
CO	Süsinikmonoksiid
COG	Koksiahjugaas (<i>Coke Oven Gas</i>)
CO ₂	Süsihappegaas
CRI	<i>Carbon Recycling International</i>
DME	Dimetüüleeter
EASA	Euroopa lennundusohutusamet

E-kütused	Kunstlikult toodetud vedelad või gaasilised kütused, mis sünteesitakse taastuvenergiast toodetud vesinikust ja süsinikdioksiidist
EMTAK	Eesti Majanduse Tegevusalade Klassifikaator
ETG	Etanoolist toodetud bensiin (<i>Ethanol to gasoline</i>)
EU ETS	EL kasvuhoonegaaside lubatud heitkoguse ühikutega kauplemise süsteem (ka ELi HKS) (<i>EU greenhouse gas emission trading system</i>)
FAME	Rasvhappe metüülester (<i>Fatty Acid Methyl Ester</i>)
FFA	Vabad rasvhapped (<i>Free Fatty Acids</i>)
FT	<i>Fischer-Tropschi</i> protsess
HDCJ	Hüdrotöödeldud depolümeeriseeritud tselluloosest reaktiivkütus (<i>Hydroprocessed Depolymerized Cellulosic Jet</i>)
HDV	Veoauto (<i>Heavy Duty Vehicle</i>)
HEFA	Vesinikuga töödeldud estrid ja rasvhapped (<i>Hydro-processed Esters and Fatty Acids</i>)
HVO	Vesinikuga töödeldud taimeõli (<i>Hydrotreated Vegetable Oil</i>)
HTL	Hüdrotermiline vedeldamine (<i>Hydrothermal liquefaction</i>)
KIK	Keskkonnainvesteeringute Keskus
LDV	Sõiduauto (<i>Light Duty Vehicle</i>)
LNG	Veeldatud maagaas (<i>Liquefied natural gas</i>)
LPG	Vedelgaas (<i>Liquid propane gas</i>)
MTG	Metanoolist toodetud bensiin (<i>Methanol to gasoline</i>)

MtD	Metanoolist toodetud diisel (<i>Methanol-to-Diesel</i>)
NACE	Euroopa Ühenduse majandustegevusalade klassifikaator (<i>Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne</i>)
ReFuelEU Aviation	ELi võtmetähtsusega meede säästva lennukikütuse edendamiseks, mille eesmärk on vähendada lennunduse heitkoguseid ja saavutada kliimaneutraalsus aastaks 2050
PEM	Polümeerelektrolüütmembraan
RED	Taastuenergia direktiiv (<i>Renewable Energy Directive</i>)
RFNBO	Mittebioloogilist päritolu taastuvkütused (<i>Renewable Fuels of Non-Biological Origin</i>)
SAF	Jätkusuutlik lennukikütus (<i>Sustainable Aviation Fuel</i>)
SAK	Sünteesitud aromaadne petrooleum (<i>synthesised aromatic kerosene</i>)
SKP	Sisemajanduse koguprodukt
SPK	Süntetiline parafiinne petrooleum (<i>Synthetic Paraffinic Kerosene</i>)
TVT	Tehnoloogia valmiduse tase
TWh	Teravatttund
UCO	Kasutatud toiduõli (<i>Used Cooking Oil</i>)
WTT	Allikast paaki analüüs (<i>Well-to-Tank</i>)

LÜHIKOKKUVÕTE

Teekaardi loomise raames analüüsiti erinevaid kirjanduseallikaid ja ettevõtete ja nende sidusorganisatsioonidega läbi viidud intervjuude käigus saadud materjale.

Uuringu eesmärk oli ülevaate koostamine CO₂ vabade või vähese CO₂ heitega kütuste tootmise ja tarbimisepotentsiaali väljaselgitamiseks Eestis, arvestades kliimakindla majanduse seaduse eelnõus toodud valdkondlikke eesmärke perioodil 2025 – 2050. Töö käigus vaadeldakse kütuste tootmis- ja tarbimisvõimekust erinevate sektorite lõikes eraldi ja kokkuvõtvalt Eesti kohta tervikuna. Sektorid hõlmavad energeetikat, transporti sh lennundust ja muud ühistransporti, põllumajandust ning merendust.

Empiirilise uuringu läbiviimiseks kasutati kombineeritud lähenemist. Uuringu eesmärgi saavutamiseks viidi intervjuud väärtusahela osapooltega. Samuti analüüsiti antud valdkonda puudutavaid varasemaid teadusuuringuid. Intervjuudest kõlama jäänud olulised teemad puudutasid peamiselt biometaan ja vesiniku tootmist ning kasutamist.

Tänane kütusetarbimise ja -tootmise struktuur

Tarbimine: Eesti energiatarbimine sõltub valdavalt imporditud fossiilkütustest – mootorkütused transpordis, maagaas tööstuses ja kütmine elamutes. Elektri osakaal transpordis ja kütumises on väike, kuid kasvutrendis.

Eesti energiatarbimine 2023 a. oli kokku **63,3 TWh** (sh välisturgudel lõppkasutusele võetava energia tootmiseks tarbitud energia selle muundamissektoriks), millest **73,6% fossiilkütused, 23,5% biokütused/biomass, 2,9% muud** (nt tuul, päike, hüdro).

Lõpptarbimisest (18,2 TWh) moodustasid diisel ja gaasiõli **43,5%**, bensiin **13,5%**, maagaas **10,3%**, küttepuit **27%**.

Netopakkumine (tootmine + import – eksport) oli **52 TWh**, millest **67,8% fossiilkütused** ja **28,6% biokütused**.

Kohalik tootmine kokku **51,7 TWh**, sh põlevkivi ja õliliiivad **30,7 TWh** ning puitkütused **20,3 TWh**. Biogaasi toodeti vaid **0,21 TWh**.

Tootmine: Kohalikud taastuvenergia allikad on valdavalt biomass (puit), biogaas (peamiselt sõnnikust ja reoveest) ja piiratud määral tuul ja päike. Biometaan tootmisvõimekus on **~300 GWh/a**, puitu kasutatakse koostootmisjaamades (elekter + soojus). Eesti energiasüsteem on sõltuv energiaimpordist, nt elektrienergia puhul on kõik Balti riigid kokku u **10 TWh** miinuses. Elektritootmine sõltub endiselt suures osas impordist ja fossiilsetest allikatest. Kütusetoodete tootmise struktuur koosneb u 85% ulatuses fossiilsetest kütustest ja ei kata Eesti sisevajadust.

CO₂-vabadele kütustele ülemineku võimalused

Transpordisektor

- Tulevikus on transpordisektoris potentsiaalselt kasutuses biometaan (CNG), elekter (eriti kergliikluses ja linnaruumis), vesinik (rasketransport), e-kütused (rahvusvaheline merendus ja lennundus). Vesinik ja e-kütused on imporditavad, kuid logistikataristu on vaja rajada. Biometaan saab põhimõtteliselt transportida maagaasivõrku kasutades.
- biometaan tootmismahd on täna **~300 GWh/a**, sihiks **500 GWh lähiajal** ja **1 TWh 2030ndatel**. Elektri osakaal transpordis on kasvutrendis, vesinik võiks sobida rasketranspordile. E-diisel, e-bensiin, e-metaan ja e-LPG on veel arenduses (TVT 6–7)

Kaugküte

- Puit moodustab täna ligi **22% netopakumisest**. Biometaan võiks kaugkütet toetada, kuid biomass (puit) jääb lähikümnenditel peamiseks kütuseks. Vesiniku kasutus nõuab taastuvelektri hinna langust alla **15–20 €/MWh** (täna keskmiselt **~85 €/MWh**).
- Tööstus võib osaliselt üle minna biokütustele ja e-kütustele, kui need on konkurentsivõimelise hinnaga saada arvestades konkurentsi lähiregioonis ja ekspordi sihtturgudel. Vesiniku kasutus on võimalik kõrge temperatuuriga protsessides (vajab investeringuid).

Merendus ja lennundus

- Üleminek e-kütustele ja SAFidele on tehnoloogiliselt võimalik, kuid sõltub globaalsest turust ja impordist. SAF tootmisvõimsused puuduvad ja hetkel pole ka plaani vastavate kütuste tootmiseks Eestis. Samuti puuduvad süsihappegaasi püüdmiseks vajalikud arendused ja vastavad plaanid, seega väljavaade toota e-kütuseid on madal. Teisalt kasvab maailmas seniste keskkonnapoliitikate jätkudes nõudlus bio- ja e-kütuste järgi, seega tulevikus võiks nimetatud kütuste tootmine leida aset ka Eesti pinnal.

Eestis toodetavad ja potentsiaalselt eksporditavad CO₂-vabad kütused

- Biometaan tootmiseks on Eestis olemas piisav biomassi ressurss ning tehnoloogiad. Hetkel toodetakse **~300 GWh/a**, lähiajal saavutatakse **500 GWh** ja sihiks on **1 TWh**. Peamised sisendid on hakkepuit, põllumajandusjäätmed ja reovesi. Suurimaks takistuseks on nõudluse vähesus väljaspool transpordisektorit ning puudulik poliitika ja regulatiivne toetus, mis ei stimuleeri investeringuid. Biometaan väärimiseks (nt metanooliks või vesinikuks) vajalike tehnoloogiate küpsus on veel piiratud (TVT 6–8). Ettevõtted vajavad väärtusahela kaardistusi (nt negatiivse CO₂ heite sertifitseerimiseks), uusi koostööpartnereid ja stabiilset tooraine hankimist. Oodatakse selgemaid regulatsioone ja mehhanisme, mis looks turule nõudluse (nt tolli- ja maksusoodustused, lisaks maksusoodustus süsinikupüüdmisel). Samuti vajab kaasajastamist jäätmeregulatsioon. Investeeringute tasuvusaeg on pikk (u 20 a), kuid investeerimiskindlus on madal — riiklik hinnapõrand võiks aidata. Võib asendada osaliselt imporditavat maagaasi. Võimalik eksport regionaalsetesse CNG/LNG võrkudesse (nt Soome, Läti).
- Puit ja muu biomass saavad jätkuvalt olema olulised kaugküttes ja koostootmises. CO₂-vaba, kui säästlikult majandatud. Eksport jätkub.
- Elektrifitseerimise (nt elektritransport, soojuspumbad) laienemisega väheneb vedelkütuste vajadus. Osaline tootmine taastuvallikatest (tuul, päike). Tulevikus on võimalik vesiniku tootmine elektrist, kui taastuvelektri osakaal kasvab olulisel määral, nt meretuulepargid rajatakse. Vesinikutootmine Eestis on piiratud, kuna suur osa elektrist imporditakse ja kõrged hinnad (viimaste aastate keskmine hind on u **85 EUR/MWh**) teevad vesiniku tootmise kulukaks (konkurentsivõimeline elektri hind oleks **15–20 EUR/MWh**). Rohevesiniku tootmine nõuab palju taastuvenergiat (nt meretuulepargid), kuid konkreetsed projektid puuduvad. Lennunduses ja laevanduses osaletakse rahvusvahelistes arendusprojektides, samas spetsiifilised lahendused puuduvad. Pilootskaalas projekti raames on siiski vesinikutanklad rajatud või rajamisel. Vesiniku ja metanooli „värvide“ (roheline, roosa jne) klassifikatsioon pole üheselt selge. Tehnoloogiad on põhimõtteliselt olemas (TVT 9), kuid vajaka jääb mastaabist ja turuarengust (nt vesinikurasketranspordi kasutuselevõtt).
- Plastijäätmete väärimine võimaldab sünteetilise kütuse tootmist, kuid on veel varajases arendusetapis ja vajab lisaks piisava mastaabi saavutamiseks mahukat plastjäätmete importi.
- Gaasistamisest ja pürolüüsist saadud biokütused, biometanool ja biometaan on tänu füüsikalistele ja keemilistele omadustele eelistatud ammoniaagile ja vesinikule samas

kui e-kütuste korral kerkivad esile metanool ja ammoniaak parimate valikutena.

Eestil on potentsiaal CO₂-vabade kütuste tootmisel biomassi ja biojäätmete baasil. Transpordis ja kaugküttes saab lähiaastatel minna üle biometaanile ja elektrile, samas kui tööstuses ja merenduses vajatakse enam e-kütuseid või vesinikku. Õigete investeeringute korral on Eestil võimalik teatud kütuseid ka eksportida – eriti biometaani ja elektripõhist vesinikku pikemas perspektiivis. Kiireim viis biomassist toodetud kütuste osakaalu tõsta on biogaasijaamade (TVT 9) rajamine. Eestis on vedelkütuste tootmise praktiline potentsiaal piiratud nii sisendite kättesaadavuse kui ka vajaliku taristu puudumise tõttu. Kuigi teoreetiliselt võimalusi on, sõltub enamik tehnoloogiaid imporditavatest ressurssidest ning eeldab ulatuslikke investeeringuid, mistõttu on rakendatavus kohalikes tingimustes hetkel tagasihoidlik.

Täiendav CO₂-vabade kütuste tootmis- ja ekspordipotentsiaal

Eesti suurim tehniline potentsiaal fossiilivabade kütuste tootmiseks tuleneb biomassist ja biojäätmest, mille vaba ressursibaas on suurim. Plastijäätmest kütuste tootmine on tehniliselt teostatav, kuid piiratud sisemaiselt kättesaadava toorme koguse tõttu. Lähtudes teadaolevatest sisenditest, biomass **~1,523 mln tonni**, biojätmed ja sõnnik **~2,460 mln tonni**, plastijätmed **~0,100 mln tonni**, siis on teoreetiliselt võimalik toota kuni **~7 TWh** kütuseid (ülemise piiri hinnang, eeldades vabade ressursside suunamist üksnes kütuste tootmiseks ja investeerides kõrgeima saagisega tehnoloogiatesse). Tingimusel, et lõpptarbimine väheneb elektrifitseerimise ja energiatõhususe kaudu, võiks selline tootmiskaht katta **2050. aastaks** täielikult hinnangulise **~3,14–6,30 TWh** suuruse siseriikliku taastuvkütuste vajaduse ning luua piiratud ekspordivõimekuse (**ligikaudu ≥1 TWh**).

Peamine CO₂-vabade kütuste tootmise piirang ei ole tehniline, vaid majanduslik. Kütusetootmine on globaalselt mahuäri, madala marginaali ja tugeva globaalse hinnakonkurentsiga. Eesti kulubaasi tõstavad naaberriikidega võrreldes kõrgemad kapitalikulud (sh võimaliku järelrafineerimise vajadus vedelkütuste korral), tegevuskulud (elekter, tööjõud, hooldus), toorme pärast toimuv konkurents ning sisendhindade volatiilsus (sh hajusate voogude logistika), mis kanduvad edasi kas lõpptootte hinda või kasumisse. Jäätmepõhiste sisendite korral toetuvad rahvusvahelised ärimudelid sageli positiivsele väravatasule (*gate fee*), mille puudumisel aga majanduslik eelis kaob.

Seetõttu on märkimisväärsete tootmiskahtude realiseerimine realistlik üksnes stabiilse poliitikaraamistiku ja sihipäraste toetuskeemide (nt segamiskohustused, selge süsinikuhinna signaal, investeerimis- ja/või tegevustoetused) ning pikaajaliste ostumüügi lepingute korral. Ilma nendeta ei ole madala CO₂-heitmega kütuste tootmine turutingimustel Eestis üldjuhul tasuv või on investoritele naaberriikidega võrreldes madalamate kasumimarginaalide tõttu väheatraktiivne.

Töö käigus töötati välja neli võimalikku tulevikustsenaariumi, mida võiks lühidalt kutsuda protektsionismi, globaliseerumise, innovatsiooni ja poliitilise killustatuse stsenaariumiteks.

Protektsionistlik stsenaarium seisneks selles, et Eesti keskendub oma ressurssidele ja siseturule. Kütust toodetakse põhiliselt biomassist ja põlevkivist, kuid tehnoloogia ei arene. Turumoonutused, defitsiidimajandus ja hinnatõus suurendavad varustusriskide ja korrupsiooni ohtu. Mudel on lühiajaliselt stabiilne, kuid pikemas plaanis jätkusuutmatu.

Üleilmastunud ja traditsioonilise biomajanduse stsenaariumi puhul on rõhk elektrifitseerimisel ja taastuenergia kasvul. Biokütuste roll väheneb, biomass suunatakse kõrgema lisandväärtusega toodetele. Tulemuseks on avatud ja ekspordiv majandus, mis sõltub rahvusvahelisest koostööst ja subsiidiumidest. Suureneb haavatavus impordi ja globaalse turu kõikumiste suhtes.

Biorevolutsioon ja teadmispõhine biomajanduse stsenaariumi rakendamisel biomassi energiakasutus väheneb, fookus liigub rakuvabrikutele, biomaterjalidele ja hajutatud tootmisvõrkudele. Eesti rolliks saab innovatsiooni testkeskkond, mitte suurtootmine. See suurendab majanduse paindlikkust ja vähendab fossiilkütuste sõltuvust, kasvatades eksporti ja rahvusvahelist koostööd.

Biorevolutsioon ilma järjepideva poliitikata viib selleni, et energiapoliitika on killustunud, investeeringud meretuulde ja taastuvatesse takerduvad võrguühenduste ja juhtimise tõttu. Biomass ja põlevkivi jäävad domineerima. Subsiidiumid toidavad kunstlikult tööstust, samas kasvavad elanike kulud ja sotsiaalne ebavõrdsus. Tulemuseks on stagnatsioon ja energiavaesus.

Kõikide stsenaariumite korral on Eesti peamiseks süsinikneutraalsete kütuste allikaks biomass, mis tekib põllu- ja metsamajanduse jäätmena. Tekkiv olukord viib tõenäoliselt põllu- ja metsamaa väärtuse kasvuni ja seeläbi ka toormehindade tõusuni. Kuna kütused peaksid olema majandusele ja elanikkonnale taskukohased, siis ilmselt tuleks kasutada toorme impordivõimalusi naaberriikidest ja samuti bioressursi kasutusele võtmist soosivaid poliitikaid.

SISSEJUHATUS

Käesolev teekaart on koostatud eesmärgiga anda ülevaade ja analüüsida CO₂ vabade või vähese CO₂ heitega kütuste tootmis- ja tarbimisepotentsiaali Eestis kliimakindla majanduse seaduse eelnõus toodud valdkondlikke eesmärke arvestades. Töö käigus vaadeldakse kütuste tootmis- ja tarbimisvõimekust erinevate sektorite lõikes eraldi ja Eesti kohta tervikuna. Analüüsitavad sektorid hõlmavad energeetikat, transporti (sh lennundust, merendust) ning ühistransporti ja põllumajandust. Uuringu viitenumber on seotud riigihanke väikehankega number 4-18/24/5276-5.

Teekaart vastab järgmistele küsimustele:

1. Arvestades kliimakindla majanduse seaduses toodud valdkonnapõhiseid eesmärke, milliseid CO₂ heite vabasid kütuseid on potentsiaalne kasutada põllumajandussektoris, merendussektoris, transpordisektoris, sh ühistranspordi teenuse pakkumisel (eristades asulate sisest ja asulate/maakondade vahelisi bussiliine, v.a. elektritransport), energeetikas ja tööstuses kliimaeesmärkide täitmiseks perioodil 2025-2050?
2. Milline on vastavate CO₂ vabade või vähese heitega kütused tootmispotentsiaal Eestis ning millised on eeldused (regulatiivsed jm) potentsiaali realiseerumiseks?
3. Milline on käsitletavate kütuste tarbimispotentsiaal sektorite lõikes (sh näidatakse erinevate kütuse/energiaallikate kasutust)?
4. Stsenaariumid kütuste jaotuseks eri sektorite vahel võttes arvesse tootmispotentsiaali.
5. Millised on vajalikud regulatiivsed jm eeldused CO₂ vabade kütuste tootmispotentsiaali toetamiseks?
6. Milline on Eestis toodetavate CO₂ vabade või vähese CO₂ heitega kütuste ekspordipotentsiaal?

Teekaardi koostamiseks läbi viidud uuringu aruanne selgitab uurimistöö läbiviimise meetodikaid, esitleb kogutud kvalitatiivset ja kvantitatiivset informatsiooni ning toob aruande autorite eksperthinnanguid kogutud informatsioonist ja rakendatud meetodikatest lähtuvalt. Lisaks kasutatakse kütuste tootmise ja tarbimise kvantitatiivseks analüüsiks sisend-väljundmetoodikat ja viiakse läbi sotsiaalmajanduslike mõjude analüüs. Läbi viidud analüüsi põhjal esitatakse töö tulemusena neli stsenaariumit.

Uuringu tulemusel tekkinud informatsiooni alusel on lisaks kliimakindla majanduse seaduse eesmärkide toetamisele võimalik anda sisendit ka kestliku arenguga seotud tegevuskavadele ja meetmetele.

Töö viidi läbi perioodil jaanuar-juuli 2025.

1. METOODIKA

Käesolevas peatükis kirjeldatakse teekaardi loomiseks läbi viidud uuringu disaini, andmekogumis- ja analüüsimeetodeid, valimi moodustamise põhimõtteid ning antakse hinnang metoodika rakendamisele.

Uuringu disainis kasutati kombineeritud ehk segameetodite (*mixed-methods*) lähenemist. Uuringu eesmärgi saavutamiseks sõnastatud uurimisülesannete elluviimiseks viidi läbi kvalitatiivne uuring, st nii dokumendianalüüs kui ka ettevõtete jt sidusrühmade intervjuud.

1.1. DOKUMENDIANALÜÜS

Dokumendianalüüsi käigus koostati **seadusandluse ülevaade**, mille käigus kaardistati CO₂ neutraalsete kütuste tootmist mõjutavad seadused ja määrused Eesti ja Euroopa Liidu tasandil. Välja toodi olulised erinevused, kui neid esines. Eesti ja EL seadusandlust käsitletakse eraldi alampeatükkides.

Toormete ülevaates kaardistati võimalike CO₂ neutraalsete kütuste toormed, nt biomass, plastjätmed, vanarehvid, CO₂, olmejätmed, põllumajandusjätmed, vesi elektrolüüsi tarbeks jne. Esitati ülevaade sellest, kui palju tooret on aasta lõikes kättesaadav ja millises mahus oleks sellest võimalik praegusi teadmisi ja muid ressursse arvestades CO₂ neutraalseid kütuseid toota. Alampeatükkides käsitletakse eraldi Eesti vaadet, mis keskendub kohalikele ressurssidele ja Euroopa vaadet, mis loob laiemat regionaalset konteksti.

Tehnoloogiate ülevaade toob esile parimad võimalikud tehnoloogiad erinevate tehnoloogia valmidusastmete vaates põhinedes toormete ülevaates toodud andmetele. Tehnoloogiate ülevaates täpsustatakse erinevate kütuste tootmispotentsiaali. Samuti võrreldakse erinevate tehnoloogiate CO₂ jalajälge. Tehnoloogiaid käsitletakse nende tehnoloogilise valmiduse taseme (TVT) lõikes:

- 1) Olemasolevad tehnoloogiad TVT 9 ja arenduses olevad tehnoloogiad – TVT 7-8
- 2) Parimate tehnoloogiate CO₂ jalajälje võrdlemine

Ekspordipotentsiaali hindamisel valitakse välja parimad võimalikud eksporditurud vastavalt võimalikule mahule ja kaugusele Eestist. Tulemused esitatakse järgnevate alapeatükkidena:

- 1) Lähiturude hinnang (Balti riigid ja Skandinaavia)
- 2) EL turgude hinnang (Kesk-Euroopa, nt Poola, Saksamaa, Austria jne)

1.2. INTERVJUUD ETTEVÕTJATE JA SIDUSRÜHMADEGA

See etapp võimaldas saada sügavuti mineva ülevaate ettevõtjate ja ettevõtjate ühenduste esindajate arvamustest sobivate CO₂ vabade või vähese heitega kütuste tootmise ja tarbimisega seotud ärimudelite, praktikate ja riigipoolse tulevase toe osas. Samuti selgitati välja üldine informeerituse tase, probleemid ja väljakutsed.

Intervjueeritavate nimekiri täpsustati eelnevalt tellijaga. Kaasati ettevõtteid, mis on suuremad turuosalised biokütuste jm energia tootmise, meretranspordi valdkonnast. Intervjueeritavatega seotud ettevõtted ja isikuid ei avalikustata antud töö raames.

Intervjuude jaoks koostati poolstruktureeritud küsitluskavad, mis hõlmasid toormete saadavust ja väljakutseid, samuti tehnoloogiate võimalusi ja rakendatavust Eestis, seadusandlusega seotut ning uuritud kütuste ekspordipotentsiaali suhtes väljendatud seisukohti.

Intervjuude orienteeruv pikkus oli 45 minutit kuni 1 tund.

Intervjuud salvestati, eelnevalt küsiti selleks intervjueeritavate nõusolekut. Intervjuude andmete analüüsimiseks kasutati kvalitatiivseid andmeanalüüsimeetodeid, eeskätt teemaanalüüsi (*template analysis*) meetodit. Intervjuud kodeeriti lähtuvalt teemadele vastavalt ning kodeeringute põhjal moodustati andmestik, mis oli analüüsi aluseks.

Intervjuude kokkuvõtted on esitatud kõikide väärtusahela osapoolte ja tegurite lõikes konsolideeritult (vt Lisa 1).

Intervjuude kokkuvõtetes on kajastatud järgmised teemad:

- 1) teemad seoses erinevatest toormegruppidega (toormete saadavus ja väljakutsed);
- 2) kütusetootmistehnoloogiate olemasolu, valmidustase ja rakendamisega seotud probleemid;
- 3) seadusandlusele ja valdkonda puudutavatele regulatsioonidele antud hinnangud;
- 4) ekspordipotentsiaal ja sellega seotud väljakutsed;

1.3. SOTSIAALMAJANDUSLIKE MÕJUDE ANALÜÜS NING STENAARIUMITE KOOSTAMINE

Sisend-väljundanalüüs (inglise keeles *input-output analysis*) on majandusteadustes levinud kvantitatiivne uurimismeetod, mida kasutatakse majandusstruktuuri ja sektorite vaheliste seoste analüüsimiseks.¹ Sisend-väljundanalüüs põhineb sisend-väljund raamistikul, mis kirjeldab sektoritevahelisi tarneaahelaid, tootmissisendite kasutust ning lõpptarbimist.² Analüüsitavad tegevusalad määratletakse peamiselt majanduse tegevusalade klassifikaatori (nt EMTAK, NACE) 2-kohalise koodi tasemel.

Sisend-väljund raamistikus kvantifitseeritakse ühe majandusharu väljundid teise majandusharu sisenditena.³ Seega on sisend-väljundanalüüsiga võimalik kirjeldada:

1. Kuidas tootmismahdade muutus ühes sektoris mõjutab teisi sektoreid⁴;
2. Majandusšokkide mõju kogu majandusele⁵;

¹ Leontief, W., ed. (1986). *Input-output economics*. Oxford University Press.

² Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge university press.

³ Ten Raa, T. (2006). *The economics of input-output analysis*. Cambridge University Press.

⁴ Dietzenbacher, E., & Los, B. (1998). Structural decomposition techniques: sense and sensitivity. *Economic Systems Research*, 10(4), 307-324.

⁵ Acemoglu, D., Carvalho, V. M., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi, A. (2012). The network origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, 80(5), 1977-2016.

3. Sektori panust SKP-sse ning tööhõivesse⁶.

Sisend-väljundanalüüsi käigus on võimalik analüüsida kolme tüüpi mõjusid⁷ :

1. Otsesed mõjud – šokist tingitud mõjud SKP-le, riigieelarve laekumistele ja tööhõivele, mis avalduvad analüüsitavas sektoris.
2. Kaudsed mõjud – on mõjud SKP-le, riigieelarve laekumistele, mis avalduvad šoki tulemusena tarneahelate tõttu teistes sektorites.
3. Indutseeritud mõjud- šokist tingitud tarbijakäitumise muutumise tõttu avalduvad mõjud.

Analüüsi läbiviimiseks kasutatakse 2020. aasta andmetega sisend-väljund raamistikku RAT00005, mis on avalikult kättesaadav Statistikaameti andmebaasist. RAT00005 võimaldab erinevalt andmetabelist RAT00001 eristada ka imporditavate kaupade osa vahetarbimises. 2020. a andmed on viimased kättesaadavad sisend-väljund raamistiku andmed. Sisend-väljund tabelit uuendatakse viie aastase välbaga umbes paar aastat analüüsitavast aastast hiljem. Tulenevalt 2020. aastal alanud ülemaailmsest COVID-kriisist võib selle aasta sisend-väljundraamistikus esineda teatud COVID-šokist tingitud mõjusid. Siiski on struktuursed erinevused võrreldes pigem marginaalsed. Nagu nähtub 2. peatükis (nt joonised 2.1 ja 2.2) toodud pakkumise ja lõppkasutuse struktuurist, olid muutused kütuste pakkumises ja kasutamises nähtavad juba enne COVID-šokki. Lisaks võib varasema sisend-väljundtabeli kasutamine analüüsiks tulemusi moonutada enam, kuna peegeldab majanduse struktuuri oluliselt varasemat olukorda võrreldes tänasega.

Sisend-väljundanalüüsis tööhõive mõjude hindamiseks inimtööaastates kasutatakse Rahandusministeeriumi pikaajalist prognoosi, mis sisaldab andmeid keskmise brutopalgaga kohta ning selle tuleviku arengut. Riigieelarve maksulaekumiste (käibemaks, tööjõumaksud) analüüsimisel kasutatakse riigieelarve prognoosi, mis võtab arvesse maksumuudatustest tingitud maksulaekumiste erinevust võrreldes varasemate aastatega. Modelleeritavate sektorite tuvastamiseks analüüsitakse varasemat teaduskirjandust ja tehakse päring erialaliitudele teadaolevate tootjate kaardistamiseks ning analüüsitakse nende tegevusala vastavust kättesaadavate äriregistri andmete vastu.

Sisend-väljundanalüüsil on mitmeid kitsendusi, mis võivad mõjutada selle täpsust ja rakendatavust majandusanalüüsis.⁸ Üheks oluliseks piiranguks on eeldus, et sektorite vahelised seosed on lineaarsed, mis tähendab, et mudel ei arvesta potentsiaalseid tehnoloogilisi ega struktuurseid muutusi majanduses.⁹ Lisaks ei võta see arvesse otseseid sisendite ja väljunditega seotud ressursipiiranguid.^{10 11}

⁶ Ghosh, A. (1958). Input-output approach in an allocation system. *Economica*, 25(97), 58-64.

⁷ Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge University Press.

⁸ *Ibid.*

⁹ Leontief, W., ed. (1986). *Input-output economics*. Oxford University Press.

¹⁰ Ghosh, A. (1958). Input-output approach in an allocation system. *Economica*, 25(97), 58-64.

¹¹ Dietzenbacher, E., & Los, B. (1998). Structural decomposition techniques: sense and sensitivity. *Economic Systems Research*, 10(4), 307-324.

Lisaks ei arvesta sisend-väljundanalüüs:

1. Mastaabiefekte, mis võivad teatud tootmistasemetel muuta tootlikkust¹²;
2. Asümmeetrilisi šokke, mis mõjutavad sektoreid erinevalt ja võivad põhjustada majanduslikke tasakaalutusi¹³;
3. Regionaalseid eripärasid, mis võivad mõjutada majanduslikke mõjusid riikide või piirkondade tasandil¹⁴.

Seetõttu on sisend-väljundanalüüs kasulik statistiline tööriist, kuid selle tulemusi tuleks käsitleda hinnanguliste ja lihtsustatud efektide modelleerimisena, mitte absoluutsete prognoosidena.¹⁵ Analüüsi tulemusena koostatakse vähemalt kolm stsenaariumi CO₂ neutraalsete või vähese heitega kütuste tootmise ja tarbimise edendamiseks Eestis. Stsenaariumite metodika on väljatöötamisel.

¹² Ten Raa, T. (2006). *The economics of input-output analysis*. Cambridge University Press. [Link](#).

¹³ Miranda-Pinto, J., Silva, A., & Young, E. R. (2023). Business cycle asymmetry and input-output structure: The role of firm-to-firm networks. *Journal of Monetary Economics*, 137, 1-20. [Link](#).

¹⁴ Czamanski, S., & Malizia, E. E. (1969). Applicability and limitations in the use of national input-output tables for regional studies. *Papers in Regional Science Association*, 23(1), 65-77. [Link](#).

¹⁵ Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge University Press. [Link](#).

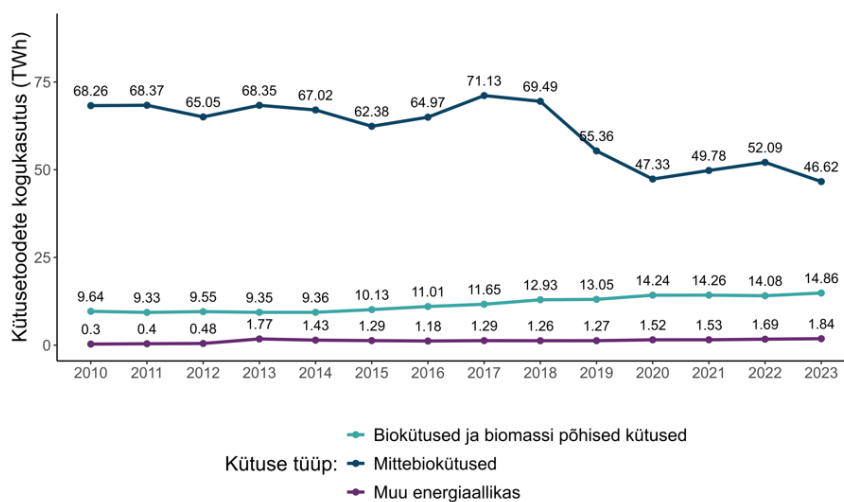
2. KÜTUSETOODEDE PAKKUMISE JA KASUTAMISE STRUKTUUR

Statistikaameti andmetel kasutati 2023. aastal Eestis erinevaid kütusetooteid kogumahuks 63,32 teravatt-tundi.¹⁶ Sellest 73,6% moodustasid mittebiokütused, 23,5% olid biokütused või biomassil põhinevad kütused ning 2,9% kuulusid muudesse energiakandjate kategooriatesse¹⁷. Kogutarbimise struktuur ja muutused kütuseliikide lõikes on esitatud joonisel 2.1, mis kajastab arengutrende ajavahemikus 2010–2023.

Graafikust nähtub, et üldine kütusetoote tarbimine on alates 2017. aastast olnud langustrendis (aastakeskmiselt 6,80%). Languse peamiseks põhjuseks on mittebiokütuste vähenenud kasutamine, mida mõnevõrra tasakaalustab biokütuste ja biomassipõhiste kütuste järkjärguline kasv. Samal perioodil on biokütuste ja biomassipõhiste kütuste keskmine aastane tarbimiskasv olnud ligikaudu 4,14%, viidates taastuvenergiaallikate rolli järkjärgulisele tugevnemisele Eesti energiabilansis ning sellele kaasnevale kütuste tarbimisest tingitud süsinikjalajälje vähenemisele.

Muud energiakandjad moodustavad kogu tarbimisest väikese osa ning nende osakaal ei ole käsitletud perioodil oluliselt muutunud.

Joonis 2.1. Kütusetoodete kogukasutamine kütuse tüübi järgi



Märkus: autorite koostatud tuginedes Statistikaameti andmestikule KE0240. Biokütusteks ja biomassil põhinevateks kütusteks on loetud primaarsed tahked biokütused (sh küttepuit), biogaas, taastuvast

¹⁶ Kogumaht on leitud võttes arvesse energiasektori omatarbimist, muundamis sektori tarbimist ja tegelikku lõpptarbimist kütustele (ehk välja jääb soojus- ja elektrienergia). Antud tulemus erineb Eurostati andmetabelist sdg_07_10, mille järgi on primaarenergia tarbimine 2023. aastal 47,7 GWh. Erinevus Statistikaameti andmetest ja Eurostati meetodikast tuleneb asjaolust, et kasutatakse erinevaid energiaväärtusi (konverteerimise efekt) ning Eurostat arvab oma meetodikas maha põlevkivi muundamise põlevkiviõliks ja põlevkivigaasiks, mis võetakse lõppkasutusele eksportturgudel.

¹⁷ Muude energiakandjate kategooriasse kuuluvad hüdroenergia, tuuleenergia, päikeseenergia, mittetaastuvast toorainest tööstusjäätmed ja mittetaastuvast toorainest olmejäätmed.

toorainest olmejäätmed, puhas biobensiin, biobensiin segus ja puhas biodiisel biodiisel segus. Mittebiokütuste all on arvesse võetud muu bituumenkivisüsi, koksiahju koks, gaasitehasegaas (põlevkivigaas), koksiahjugaas, turvas, turbatooted, põlevkivi / õliliiivad, muud süsivesinikud (põlevkiviõli), vedelgaas (propaan, butaan), mootoribensiin (autobensiin), v.a biokütuse osa, lennukipetrool (reaktiivkütus), v.a biokütuse osa, gaasiõli ja diisliõli, v.a biokütuse osa, raske kütteõli, määrdeained, bituumen ja maagaas. Muude energiaallikate all on kütusteks kasutatud hüdroenergia, tuuleenergia, päikeseelektrienergia, mittetaastuvast toorainest tööstusjäätmed ja mittetaastuvast toorainest olmejäätmed.

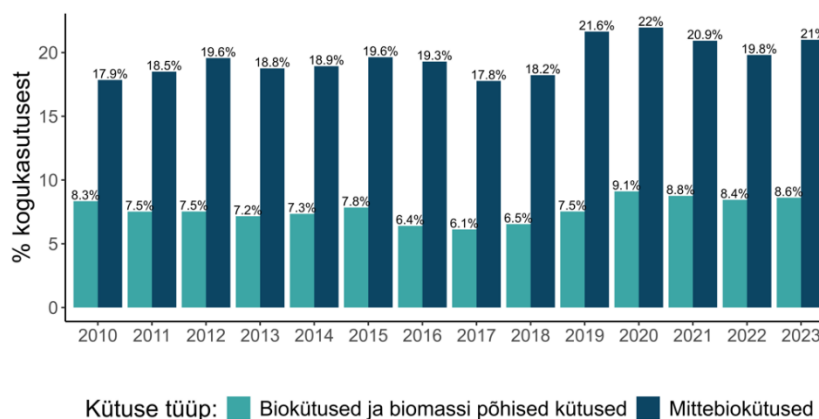
2023. aastal kasutatud 63,32 teravatt-tunnist kütusetoodetest suunati 45 TWh (71,1%) muundamiseks, 0,119 TWh (0,12%) energiasektori omatarbeks ning 18,2 TWh (28,8%) lõpptarbimisse. Kütusetoodete lõpptarbimise osakaal kogutarbimisest ning selle jaotus kütuseliikide kaupa on esitatud joonisel 2.2.

Jooniselt ilmneb, et biokütuste ja biomassil põhinevate kütuste puhul on lõpptarbimise osakaal kogutarbimisest ligikaudu poole väiksem kui fossiilkütustel. Nende osakaal lõpptarbimises on püsinud vahemikus 6,1–9,1%, viimastel aastatel on täheldatav mõõdukas kasv.

Seevastu mittebiokütuste osakaal on jäänud 17,8–22,0% vahemikku, saavutades haripunkti 2019. aastal, pärast mida on see järk-järgult vähenenud.

Need muutused viitavad taastuvatel allikatel põhinevate kütuste osakaalu tasakaalukale kasvule ning samal ajal traditsiooniliste, fossiilkütustel põhinevate kütuste tarbimise aeglasele vähenemisele. Kütusetarbimise struktuuri muutused peegeldavad üleminekut madalama süsinikusisaldusega energialahendustele ning energiaefektiivsuse kasvu toetavate arengusuundade tugevnemist.

Joonis 2.2. Kütusetoodete lõppkasutamine kütuse tüübi järgi



Märkus: autorite koostatud tuginedes Statistikaameti andmestikule KE0240. Biokütusteks ja biomassil põhinevateks kütusteks on loetud primaarsed tahked kütused (sh küttepuu), biogaas, taastuvast toorainest olmejäätmed, puhas biobensiin, biobensiin segus ja puhas biodiisel biodiisel segus. Mittebiokütuste all on arvesse võetud muu bituumenkivisüsi, koksiahju koks, gaasitehasegaas (põlevkivigaas), koksiahjugaas, turvas, turbatooted, põlevkivi / õliliiivad, muud süsivesinikud (põlevkiviõli), vedelgaas (propaan, butaan), mootoribensiin (autobensiin), v.a biokütuse osa, lennukipetrool (reaktiivkütus), v.a biokütuse osa, gaasiõli ja diisliõli, v.a biokütuse osa, raske kütteõli, määrdeained, bituumen ja maagaas. Muude energiaallikate all on kütusteks kasutatud hüdroenergia, tuuleenergia, päikeseelektrienergia, mittetaastuvast toorainest tööstusjäätmed ja mittetaastuvast toorainest olmejäätmed.

Vaadates üksnes lõppkasutust, tarbiti 2023. aastal mittebiokütusetooteid kokku 12,90 teravatt-tundi ning biokütuseid ja biomassipõhiseid kütusetooteid 5,30 teravatt-tundi, mis moodustas vaid 29,10% kogu lõppkasutusest. Muid energiaallikaid kasutati kütustena 0,003 teravatt-tunni jagu. Fossiilsetest kütustest kasutati enim gaasiõli ja diisliõli (7,92 teravatt-tundi) ja mootoribensiini (2,46 teravatt-tundi). Biokütustest ja biomasskütustest on enamlevinud primaarsed tahked biokütused, sh küttepuu, mille lõpptarbimine ulatus 4,91 teravatt-tunnini ning moodustas 26,99% lõpptarbimise osakaalust.

Tabel 2.1. Kütusetoodete lõppkasutamine kütuse järgi

Kategooria	Kütus	Osakaal lõppkasutamises
Biokütused ja biomassipõhised kütused	Primaarsed tahked biokütused (sh küttepuu)	26,99%
	Biodiisel segus	1,29%
	Biogaas	0,66%
	Biobensiin segus	0,15%
Mittebiokütused	Gaasiõli ja diisliõli, v.a biokütuse osa	43,49%
	Mootoribensiin (autobensiin), v.a biokütuse osa	13,50%
	Maagaas	10,30%
	Vedelgaas (propaan, butaan)	1,89%
	Raske kütteõli	1,24%
	Muu bituumenkivisüsi	0,21%
	Turvas	0,15%
	Lennukipetrool (reaktiivkütus), v.a biokütuse osa	0,12%
	Mittetaastuvast toorainest tööstusjäätmed	0,02%

Märkus: autorite koostatud tuginedes Statistikaameti andmestikule KE0240.

Vaadates kütuste kogukasutamist teravatt-tundides sektori lõikes, suhestatuna sektori kogupakkumisse (joonis 2.3), on võimalik tuvastada need majandusharud, mille põhitegevus on kõige enam sõltuv kütuste tarbimisest. Kõige energiamahukam kütuste kogukasutamise poolest on koksitootmise ja puhastatud naftatoodete sektor (C19), kus tarbitakse peaaegu eranditult mittebiokütuseid.

Väga energiamahukas on ka on ka energiasektor (D – elektrienergia, gaas, aur jne), mis sõltub oma põhitegevuses suurel määral just kütustetoodetel tuginevatest energiasisenditest. Lisaks on see ainus sektor, kus biokütuste ja biomassipõhiste kütuste osakaal kogutoodangust on märkimisväärselt kõrge võrreldes mittebiokütustega.

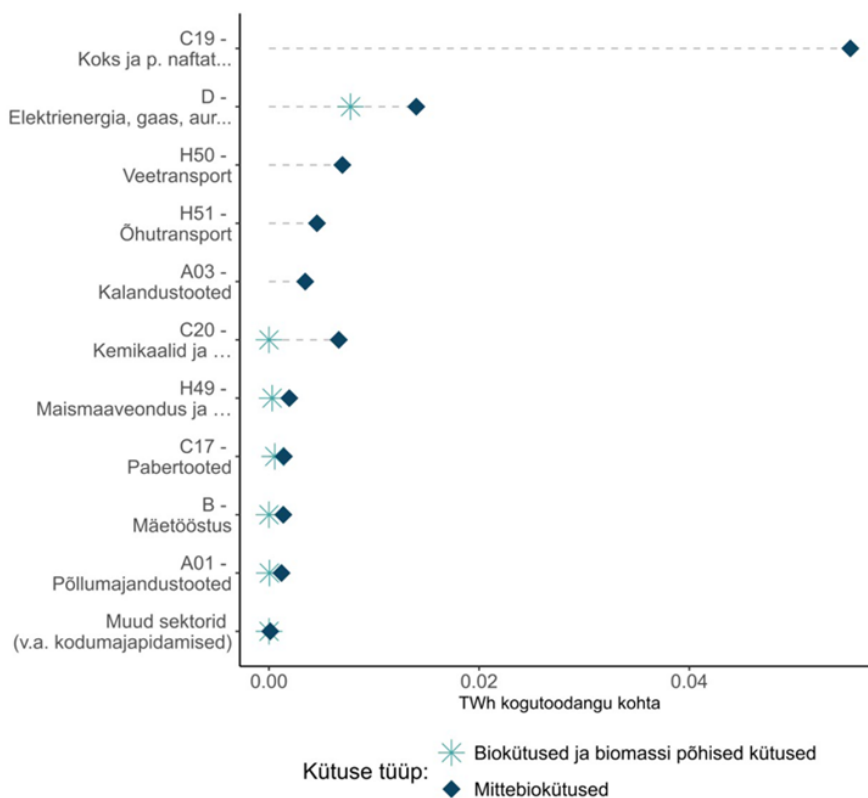
Transpordisektorid (H49 – maismaaveondus ja torutransport, H50 – veetransport, H51 – õhutransport) on samuti energiamahukad ja fossiilkütustel põhinevad. Biokütuste ja biomasskütuste kasutus ilmneb siinkohal peamiselt maismaaveonduse

ja torustranspordi puhul, kus nende osakaal on võrreldes teiste transpordiliikidega olulisem.

Energiamahukate sektorite hulka kuuluvad ka kemikaalide ja keemiatoodete tootmine (C20), paberitööstus (C17), mäetööstus (B) ja põllumajandus (A01). Nendes sektorites on biokütuste ja biomasskütuste kasutus nähtav, kuid mittebiokütuste kasutamine siiski domineeriv.

Kokkuvõttes johtub, et sõltuvus kütustest on kõrgeim energia- ja transpordisektoris. Biokütuste ja biomassil põhinevate kütuste kasutus on endiselt piiratud ning koondunud peamiselt elektri- ja soojusenergia tootmisesse ning osaliselt maismaatransporti.

Joonis 2.3. Kütusetoodete kasutamine kogutoodangust TOP sektorites



Märkus: Andmed on autorite poolt koostatud, tuginedes Eurostati energiatarbimise andmestikule env_ac_pefasu (energiatarbimine tegevusalade lõikes) ning Statistikaameti andmetabelile RAT00005 (toodang alushindades tegevusalade lõikes). Mõlemad andmestikud kajastavad aasta 2020 andmeid. Kütusetoodete alla on arvestatud mittebiokütustena kivisüsi, pruunsüsi ja turvas, tönduslikud gaasid (v.a. biogaas), sekundaarsed söetooted (koks, söetõrv, brikett, BKB ja turbatooted), nafta, maagaasil kondenseeruvad vedelikud ja muud süsivesinikud (v.a. bio), maagaas (ilma biogaasita), mootoribensiin (ilma bioaineteta), petrooleum ja reaktiivkütused (ilma bioaineteta), nafta (nafta keemiline tooraine), diislikütus (ilma bioaineteta), kütteõli ja muu gaasiõli (ilma bioaineteta), raskekütteõli, rafineerimisseadmete gaas, etaan ja LPG ning muud naftatooted, sealhulgas lisandid/ oksügenaadid ja rafineerimistooraine. Biokütuste ja biomassi põhiste kütuste alla on loetud puit, puidujäätmed ja muu tahke biomass ning süsi, vedelad biokütused ja biogaas.

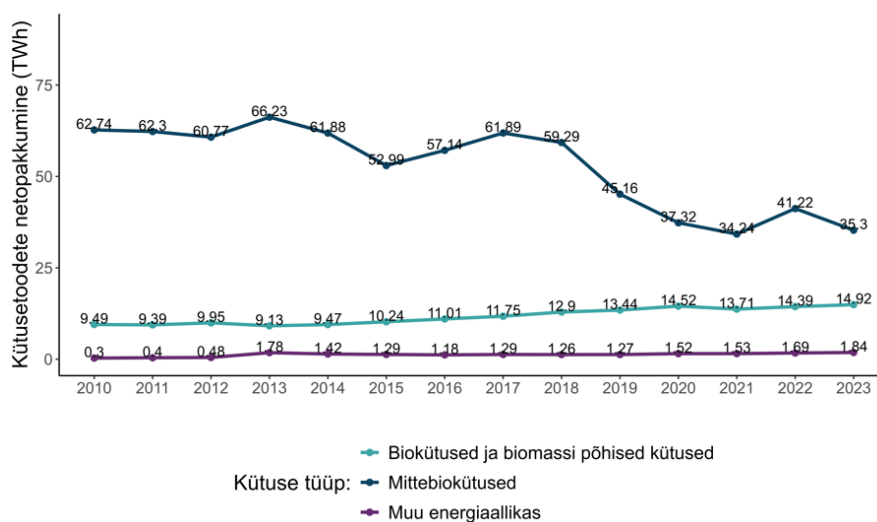
Vaadates kütusetoodete netopakkumist, ulatus see 2023. aastal 52,04 teravatt-tunnini, mis moodustas ligikaudu 82% kogu kütuste kogutarbimisest, illustreerides

kütuste negatiivset energiabilanssi. Netopakkumisest moodustasid 67,8% fossiilsed kütused, 28,6% biokütused ja biomassil põhinevad kütused ning alla 4% muud energia kandjad kütustena.

Joonisel 2.4 on kujutatud kütusetoodete netopakkumise muutused aastatel 2010–2023 kütuseliikide lõikes. Sarnaselt tarbimistrendidega on alates 2018. aastast ilmnenud selge langustrend, mille põhjuseks on eeskätt fossiilkütuste pakkumise vähenemine. Aastatel 2017–2023 on fossiilsete kütuste netopakkumine vähenenud keskmiselt 9,1% aastas, kahanedes 61,89 teravatt-tunnilt 35,3 teravatt-tunnini. Samal perioodil on biokütuste ja biomassipõhiste kütuste netopakkumine kasvanud keskmiselt 4,0% aastas, suurenedes 11,75 teravatt-tunnilt 14,92 teravatt-tunnini.

Võrreldes netopakkumise ja kogutarbimise trende ilmneb, et fossiilkütuste puhul on kogutarbimise aastane langus olnud mõõdukam kui nende netopakkumise kahanemine. Biokütuste ja biomassi põhiste kütuste puhul on olukord vastupidinende tarbimine on kasvanud isegi veidi kiiremini kui netopakkumine. Ühelt poolt viitab see asjaolule, et valmisolek fossiilkütuste tarbimise vähendamiseks ei ole veel pakkumise vähenemisega sammu pidanud. Teiselt poolt põlevkivi pakkumist kõrgena ka jätkuv põlevkivi ja selle saaduste eksport. Teisalt näitab see, et biokütuste ja biomassipõhiste kütuste laialdasem kasutuselevõtt eeldab pakkumispoolse vastavuse tagamist ning piisava tarneahela olemasolu.

Joonis 2.4. Kütusetoodete netopakkumine kütuste liigi järgi



Märkus: autorite koostatud tuginedes Statistikaameti andmestikule KE0240. Biokütusteks ja biomassil põhinevateks kütusteks on loetud primaarsed tahked biokütused (sh küttepuit), biogaas, taastuvast toorainest olmejäätmed, puhas biobensiin, biobensiin segus ja puhas biodiisel biodiisel segus. Mittebiokütuste all on arvesse võetud muu bituumenkivisüsi, koksiahju koks, gaasitehasegaas (põlevkivigaas), koksiahjugaas, turvas, turbatooted, põlevkivi / õliliiivad, muud süsivesinikud (põlevkiviõli), vedelgaas (propaan, butaan), mootoribensiin (autobensiin), v.a biokütuse osa, lennukipetrool (reaktiivkütus), v.a biokütuse osa, gaasiõli ja diisliõli, v.a biokütuse osa, raske kütteõli, määrdeained, bituumen ja maagaas. Muude energiaallikate all on kütusteks kasutatud hüdroenergia, tuuleenergia, päikeseelektrienergia, mittetaastuvast toorainest tööstusjäätmed ja mittetaastuvast toorainest olmejäätmed.

Tabel 2.2. näitab kütusetoodete netopakkumise struktuuri (tootmine ja import, millest on maha lahutatud eksport) 2023. aastal, tuues välja kütuseliikide sisemised proportsioonid vastavalt päritolule ja koostisele. Ülevaatest ilmneb, et netopakkumise kogumahust moodustavad valdava osa endiselt fossiilsed energiaallikad – sh põlevkivi ja õliliivad, mille osakaal ulatus 47,23 protsendini ja mida pakuti 30,7 teravatt-tunni ulatuses.

Maagaasi osakaal moodustas 4,28%, samas kui taastuvatest allikatest pärit kütuste, eelkõige küttepuidu ja teiste primaarsete tahkete biokütuste osakaal oli koguni 21,75%. See tähendab, et taastuvad kütused hõlmavad küll olulist osa biokütuste sisemisest pakkumisest, kuid nende üldosakaal kogu netopakkumises on siiski selgelt väiksem võrreldes fossiilsete kütustega.

Selline struktuur näitab, et kuigi taastuvate kütuste kasutus on olnud kasvutrendis, on kütuste tootmine endiselt tugevalt põlevkivipõhine. See toob esile jätkuva väljakutse vähendada sõltuvust suure süsinikujalajäljega energiaallikatest ning suurendada taastuvate ja jätkusuutlike kütuste osakaalu. Eriti aktuaalne on see kontekstis, kus arvestatakse Euroopa Liidu kliimaeesmärkide ja süsinikuheitmete vähendamise kohustustega.

Tabel 2.2. Kütusetoodete netopakkumise struktuur

Kategooria	Kütus	Osakaal netopakkumises
Biokütused ja biomassi põhised kütused	Primaarsed tahked biokütused (sh küttepuit)	21,75%
	Taastuvast toorainest olmejätmed	0,40%
	Biogaas	0,38%
	Biodiisel segus	0,36%
	Biobensiin segus	0,04%
Mittebiokütused	Põlevkivi / õliliivad	47,23%
	Gaasiõli ja diisliõli, v.a biokütuse osa	12,63%
	Maagaas	4,82%
	Mootoribensiin (autobensiin), v.a biokütuse osa	3,71%
	Raske kütteõli	2,80%
	Bituumen	1,12%
	Lennukipetrool (reaktiivkütus), v.a biokütuse osa	1,03%
	Vedelgaas (propaan, butaan)	0,53%
	Turvas	0,21%
	Määrdeained	0,13%
	Muu bituumenkivisüsi	0,05%
	Muud energiallikad	Päikeseelektrienergia
Tuuleenergia	1,05%	
Mittetaastuvast toorainest olmejätmed	0,62%	
Hüdroenergia	0,04%	

Kategooria	Kütus	Osakaal netopakkumises
	Mittetaastuvast toorainest tööstusjätmed	0,01%

Märkus: autorite koostatud tuginedes Statistikaameti andmestikule KE0240. Netopakkumise struktuurist on eemaldatud muud süsivesinikud (põlevkiviõli) ja koksijahu koks, mille puhul ei ole kajastatud energiabilansis impordi või tootmist, aga on kajastatud eksport.

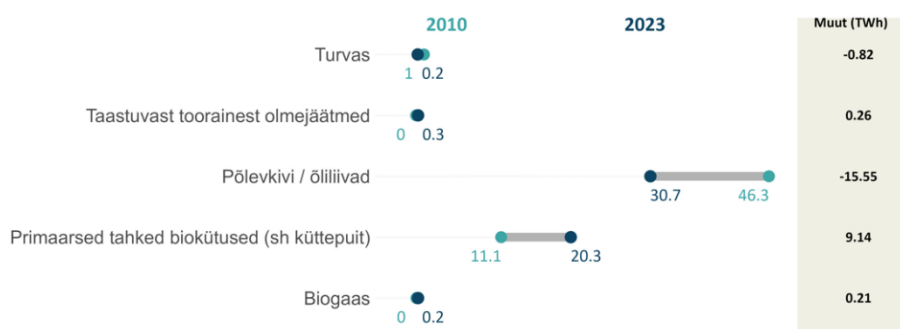
Kütusetoodete kasutamisel on Eesti energiasüsteemil jätkuvalt oluline sõltuvus imporditud allikatest. Käsitledes samal ajal ka kohalikku tootmisvõimekust, ilmneb, et kütusetoodete tootmine on ajavahemikus 2010–2023 olnud pigem mõõdukas langustrendis. Kui 2010. aastal ulatus kütusetoodete kogutoodang Eestis 58,5 teravatt-tunnini, siis 2023. aastaks oli see näitaja langenud 51,7 teravatt-tunnini.

Joonisel 2.5 on esitatud kütusetoodete tootmismahdade muutus kütuseliikide lõikes. Kõige märgatavam langus on toimunud põlevkivi ja õliliiivade tootmises, mille maht on vähenenud 46,3 teravatt-tunnilt 30,7 teravatt-tunnini (-15,55 teravatt-tundi). See langustrend peegeldab Ida-Virumaa põlevkivitööstuse järkjärgulist ümberstruktureerimist, mis on ka osa õiglasest üleminekust.

Samal perioodil on kasvanud taastuvatel allikatel põhinevate kütuste tootmine, kuigi selle absoluutne maht jääb jätkuvalt fossiilkütuste langusest väiksemaks. Primaarsete tahkete biokütuste (sh küttepuidu) tootmine on suurenenud 11,1 teravatt-tunnilt 20,3 teravatt-tunnini, samas kui biogaasi tootmine on tõusnud nulltasemelt 0,21 TWh-ni. Tootmine taastuvast toorainest olmejätmetest on püsinud stabiilselt madalal tasemel.

Üldine tootmisstruktuuri areng viitab kütusetootmise teatud määral toimunud mitmekesistumisele, mille raames on kasvanud taastuvatel ressurssidel põhinevate energiaallikate roll. See arengutendents toetab energiajulgeoleku tugevdamise, regionaalse arengu ning kestlikuma energiasüsteemi kujunemise eesmärke kooskõlas Euroopa Liidu kliima- ja keskkonnasuundadega. Samas on oluline märkida, et taastuvate kütuste tootmise kasv on praegusel hetkel mahtude lõikes veel suhteliselt piiratud.

Joonis 2.5. Kütusetoodete tootmine Eestis



Märkus: autorite koostatud tuginedes Statistikaameti andmestikule KE0240. Biokütusteks ja biomassil põhinevateks kütusteks on loetud primaarsed tahked biokütused (sh küttepuit), biogaas, taastuvast

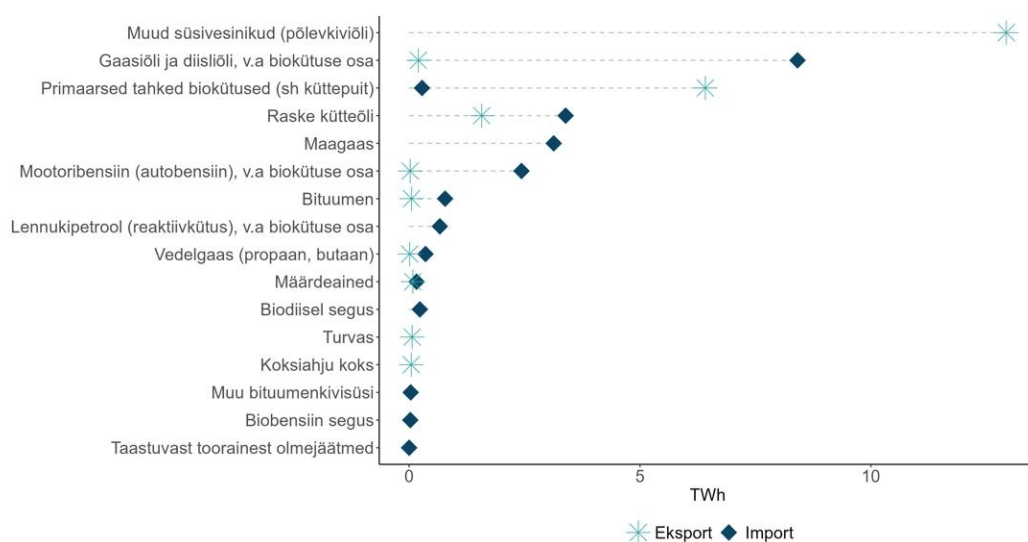
toorainest olmejäätmed, puhas biobensiin, biobensiin segus ja puhas biodiisel biodiisel segus. Mittebiokütuste all on arvesse võetud muu bituumenkivisüsi, koksiahju koks, gaasitehasegaas (põlevkivigaas), koksiahjugaas, turvas, turbatooted, põlevkivi / õliliiivad, muud süsivesinikud (põlevkiviõli), vedelgaas (propaan, butaan), mootoribensiin (autobensiin), v.a biokütuse osa, lennukipetrol (reaktiivkütus), v.a biokütuse osa, gaasiõli ja diisliõli, v.a biokütuse osa, raske kütteõli, määrdeained, bituumen ja maagaas. Muude energiaallikate all on kütusteks kasutatud hüdroenergia, tuuleenergia, päikeseelektrienergia, mittetaastuvast toorainest tööstusjäätmed ja mittetaastuvast toorainest olmejäätmed.

Joonis 2.6 annab ülevaate kütusetoodete impordi ja ekspordi struktuurist 2023. aastal kütuseliikide lõikes. Andmetest ilmneb, et Eesti impordib olulisel määral erinevaid kütuseliike, sealhulgas mootoribensiini, diislikütust ja gaasõli, maagaasi, vedelgaase (nt propaan, butaan), bituumene ning määrdeaineid. Need tooted moodustavad olulisima osa kütuste kogumahulisest impordist ning nende puhul on sisetootmine olematu või marginaalne.

Samal ajal eksporditakse peamiselt põlevkivipõhiseid tooteid, näiteks muid süsivesinikke ja põlevkiviõli ning primaarseid tahkeid biokütuseid ja küttepuitu. Tuleb siiski arvestada, et osa eksporditavatest kütustest ei ole energiabilansi kohaselt Eestis toodetud, vaid on seotud peamiselt re-eksportimisega – st neid kütuseid kohapeal ei toodeta, vaid kütused imporditakse ning väljuvad seejärel Eesti kaudu teistesse sihtriikidesse.

Impordi ja ekspordi vaheline tasakaal viitab sellele, et mitmete kütuste puhul ei kata sisetoodang kodumaist tarbimisvajadust ning rahvusvahelised tarneahelad jäävad varustuskindluse seisukohalt keskseks. Samas osutab kütuseväliskaubanduse struktuur ka Eesti rollile piirkondliku kaubanduse sõlmpunktina ning teatud juhtudel ekspordisuutlikkusele, mis põhineb kohalikel ressurssidel.

Joonis 2.6. Kütusetoodete import ja eksport 2023. aastal

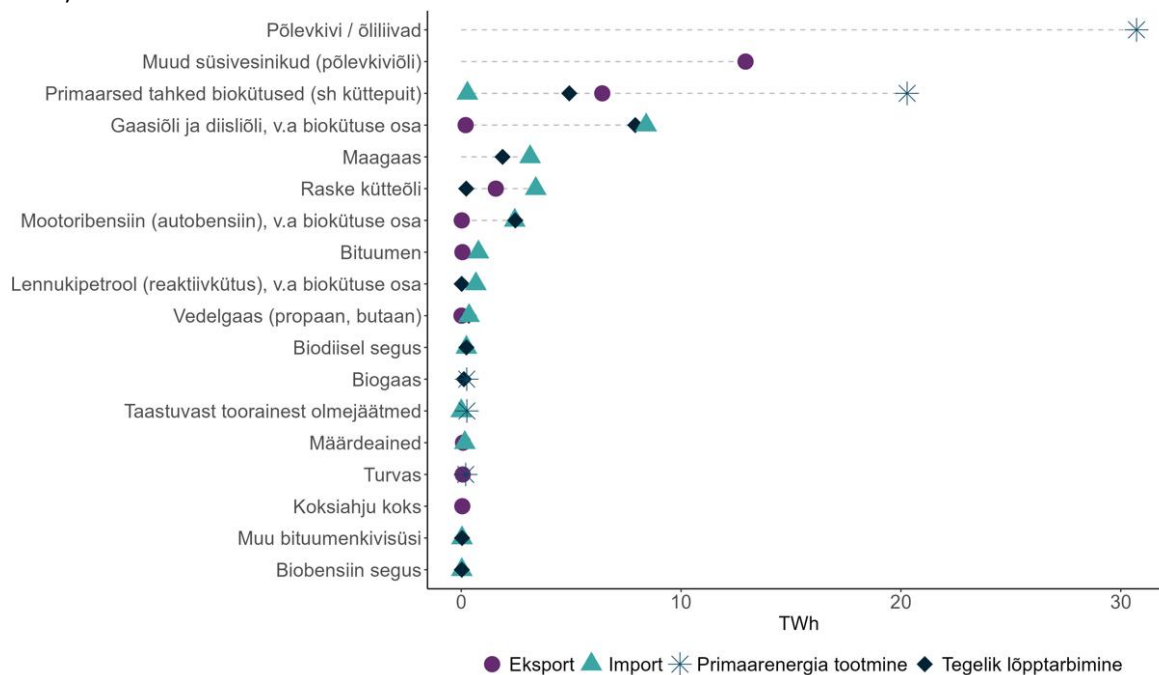


Märkus: autorite koostatud tuginedes Statistikaameti andmestikule KE0240. Biokütusteks ja biomassil põhinevateks kütusteks on loetud primaarsed tahked biokütused (sh küttepuit), biogaas, taastuvast toorainest olmejäätmed, puhas biobensiin, biobensiin segus ja puhas biodiisel biodiisel segus. Mittebiokütuste all on arvesse võetud muu bituumenkivisüsi, koksiahju koks, gaasitehasegaas (põlevkivigaas), koksiahjugaas, turvas, turbatooted, põlevkivi / õliliiivad, muud süsivesinikud (põlevkiviõli), vedelgaas (propaan, butaan), mootoribensiin (autobensiin), v.a biokütuse osa, lennukipetrol

(reaktiivkütus), v.a biokütuse osa, gaasiõli ja diisliõli, v.a biokütuse osa, raske kütteõli, määrdeained, bituumen ja maagaas. Muude energiaallikate all on kütusteks kasutatud hüdroenergia, tuuleenergia, päikeseelektrienergia, mittetaastuvast toorainest tööstusjäätmed ja mittetaastuvast toorainest olmejäätmed.

Joonis 2.7 võtab kokku Eesti energiasüsteemi tänase olukorra, tuues esile vastuolu strateegiliste eesmärkide ja tegeliku toimimise vahel. Kuigi riigi pikaajaline siht on loobuda põlevkivitööstusest ja liikuda taastuvenergiele, näitab joonis, et põlevkivi ja sellega seotud kütuste eksport on jätkuvalt märkimisväärne. Samal ajal katab Eesti suure osa oma tegelikust energiavajadusest impordiga, samas kui taastuvkütuste roll valdavalt erinevates mootorkütustes on jätkuvalt piiratud. See näitab, et Eesti energiasüsteem on üleminekujärgus, kus eeskätt mootorkütuste varustuskindlus sõltub senini impordist ja eksport fossiilsetest kütustest, samal ajal kui taastuvate kütuste pakkumine ei suuda veel katta vajadust.

Joonis 2.7. Kütusetoodete tootmine, tegelik lõppkasutamine, import ja eksport Eestis, 2023



Märkus: autorite koostatud tuginedes Statistikaameti andmestikule KE0240.

3. SEADUSANDLUSE ÕIGUSLIK JA STRATEEGILINE RAAMISTIK JA SEKTORI ARENG

3.1. EESTI SEADUSANDLUS

„Eesti 2035” on riigi pikaajaline arengustrateegia. Selle eesmärk on kasvatada ja toetada meie inimeste heaolu nii, et Eesti oleks ka kahekümne aasta pärast parim paik elamiseks ja töötamiseks. Selle strateegiaga seatakse Eesti riigile ja rahvale strateegilised sihid ning määratakse kindlaks nende saavutamiseks vajalikud muutused. „Eesti 2035” näeb ette kliimanetraalsusele ülemineku, kuid toob ka välja, et kliimanetraalsele ja head õhukvaliteeti tagavale energiatootmisele üleminek eeldab alternatiivide kaalumist ning valikute tegemist. Tuleb tagada energiapuudus ja varustuskindluse toimepidevus nii kliimanetraalsele energiatootmisele üleminekul kui ka enne seda. Seega tuuakse vajalike muudatustena esile üleminek kliimanetraalsele energiatootmisele, tagades energiapuuduse.¹⁸

„Eesti 2035” toetab materjalide ringlussevõttu ja teisese toorme kasutuse suurendamist. Seda saab teha läbi ressursi-, sealhulgas energiatõhususe edendamise, näiteks tööstussümbioosi, digitaliseerimise ja ressursitõhusamate tehnoloogiate toetamise kaudu. Jäätmemajanduses tuleb lähtuda jäätmehierarhiast ja kasutusele võtta uuenduslikud lahendused. Strateegia toob ka välja, et Eestis on jäätmete teke võrreldes 2000. aastaga suurenenud ligi kaks korda. Üldine jäätmete taaskasutusmäär on küll suurenenud kolm korda (41%-ni), kuid sellegipoolest on olmejäätmete ringlusse võtmise osakaal olmejäätmete kogumassis üks väiksemad ELis (28%). Taastuvenergia osatähtsus on energia lõpptarbimises 30% ehk märgatavalt üle Euroopa keskmise (18%).

Biokütuseid reguleerivad nn tavakütustele loodud seadused. Nt „Maagaasiseadus” kehtestab nõuded biogaasile, biomassist saadavale gaasile, kui need vastavad maagaasi kvaliteedinõuetele ning neid saab gaasivõrgu kaudu edastada. „Vedelkütuse seadus” kehtib lisaks konventsionaalsetele vedelkütustele ka biokütustele, kui ei ole märgitud vastupidiselt. „Alkoholi-, tubaka-, kütuse- ja elektriaktsiisi seadus” käsitleb Eestis kasutatavatele kütustele rakendatud aktsiisimäära. Kui biokütus vastab nõuetele, mis on loetletud määruses „Vedelkütuste kohta esitatavad keskkonnanõuded, biokütuste säästlikkuse kriteeriumid, vedelkütuste keskkonnanõuetele vastavuse seire ja aruandmise kord ning biokütuste ja vedelate biokütuste kasutamisest tuleneva kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemise määramise meetoodika” toodud biokütuste säästlikkuse nõuetele, ei rakendata biokütusele „Alkoholi-, tubaka-, kütuse- ja

¹⁸ „Eesti 2035” strateegia. [Link](#).

elektriaktsiisi seaduses¹⁹ sätestatud aktsiisimäärased.¹⁹ Oluline on lisada, et päritolusertifikaadid soodustavad biometaani kasutuselevõttu transpordis, tavaturutingimustel neid muidu ei kasutataks.

Eesti jäätmeseadus²⁰ reguleerib jäätmete käitlemist, sealhulgas nende taaskasutamist ja ringlussevõttu. Seoses jäätmete toormena kasutamisega seab seadus mitmeid piiranguid ja tingimusi, mille eesmärk on kaitsta keskkonda ja inimeste tervist. Peamised põhimõtted sisaldavad **jäätmete toormena kasutamise piirangud st ohtlike jäätmete kasutamine** toormena on lubatud ainult erinõuete täitmisel ning spetsiifilistes käitlusasutustes, millel on selleks vastav keskkonnaluba. Samuti peavad jäätmed vastama kvaliteedi- ja ohutusnõuetele, et neid saaks kasutada toorainena (nt kütuste tootmisel). Lisaks nn *End of Waste* põhimõtte, mis sätestab, et jäätmest saab tooraine (s.t. ei loeta enam jäätmeks), kui see vastab teatud kriteeriumidele (nt EL määruste või Eesti rakenduse alusel), sh: on läbinud taaskasutustoimingu; on sobilik spetsiifiliseks otstarbeks; ei põhjusta olulist kahju keskkonnale või tervisele; on kontrollitava kvaliteediga. Eelnevat arvestades lisandub **keskkonnaloa ja registreerimise nõue**, mis seisneb selles, et ettevõtte, kus soovitakse jäätmeid kasutada toorainena, peavad olema registreeritud jäätmekäitlejatena ja/või omama keskkonnaluba. Lisaks sätestab jäätmeseadus, et **ainult teatud liiki jäätmed sobivad toormeks**, nt biolagunevaid jäätmeid saab kompostida või kasutada biogaasi tootmisel; metallijäätmeid saab ringlusse võtta, kui need on nõuetekohaselt sorteeritud ja töödeldud; ehitus- ja lammutusjäätmeid saab teatud tingimustel taaskasutada teedehituses. Muudatuste sisseviimine nendesse regulatsioonidesse on aja ja ressursimahukas ja ettevõtjate sõnul pärsib olulisel määral uute projektide alustamist ja elluviimist.

Eestis kehtiv jäätmeseadus võimaldab jäätmete kasutamist toorainena, kuid ainult juhul, kui on täidetud kindlad keskkonna- ja ohutusnõuded. Piirangud sõltuvad eelkõige jäätmete liigist, nende töötlemise viisist ja kavandatavast kasutusviisist. Eesmärk on vältida keskkonna saastamist ning edendada ohutut ringmajandust. **Keskkonnalubade taotlemise protseduur, mis võib olla aja ja ressursimahukas**, on eelduseks jäätmede taaskasutusel ka CO₂ vabade või madal CO₂ heitega kütuste tootmisel.

3.2. EUROOPA LIIDU SEADUSANDLUS

Vastavalt taastuvenergia direktiivile (*RED*) pidid kõik *RFNB*od ja biokütused vastama kindlaksmääratud CO₂ vähendamise künnisele ehk KHG vähendamise kriteeriumitele. Kuid 2025. a. juulis kiitis Eesti valitsus heaks olulise paketi seadusmuudatuse taastuvenergia kasutuselevõtu kiirendamiseks. Taastuvenergia direktiivi RED III alusel kokku pandud muudatused lihtsustavad asjaajamist, toetavad looduskeskkonda arvestavad biomassi kasutust ning loovad ühtse kontaktpunkti taastuvenergia projektide tõhusemaks menetlemiseks. Oluline on välja tuua, et luuakse ehitisregistri näol platvorm, mis aitab taastuvenergia projekti rajajal taotleda kõik vajalikud load läbi ühe platvormi. Samuti vabastatakse halduskoormuse vähendamise nimel Eesti kütuseettevõtteid kütuse

¹⁹ Energiatalgud (n.d.). *Kütuste regulatiivne keskkond*. [Link](#). Külastatud 28.02.2025.

²⁰ Jäätmeseadus. [Link](#).

elutsükli jooksu tekkivate KHG heitkoguste vähendamise kohutustusest (seni tuntud kui atmosfääriõhu kaitse seaduse 6% kohustus). Samuti tunnistatakse kehtetuks heitmete vähendamise kvootide süsteem (tuntud kui *UER* süsteem), mida on varjutanud vastuolud ja mille kasutamise mitmed Euroopa Liidu liikmesriigid juba on lõpetanud. Neid muudatusi toetavad ka kütusemüüjad, kes on juhtinud tähelepanu senise süsteemi ebaefektiivsusele. Edaspidi luuakse ka võimalus transpordisektori taastuenergia eesmärkide täitmiseks ka läbi veeldatud biometaan kasutamise. Sedatüüpi paindlikkuse suurendamine võimaldab senisest suuremas mahus kodumaist biometaan kasutusele võtta nii pikamaatranspordis kui ka laevanduses. Luuakse ka võimalus elektriautode akudesse talletatud elektrit uuesti võrku müüa ja sealjuures tulu teenida.²¹

Jäätmedirektiivis²² määratletakse meetmed keskkonna ja inimeste tervise kaitsmiseks, keskendudes jäätmete tekkimise vältimisele või vähendamisele, samuti jäätmete tekkimise ja töötlemise negatiivse mõju vähendamisele. Samuti püütakse vähendada ressursside kasutamise keskkonnamõju ja suurendada nende kasutamise efektiivsust, mis on oluline samm ringmajandusele üleminekuks ja Euroopa Liidu konkurentsivõime tagamiseks pikaajalises perspektiivis. See direktiiv annab definitsioonid, mida peetakse „jäätmeteks“, „biojäätmeteks“ ja „toidujäätmeteks“. Käesolevas aruandes on oluline seda arvestada toormete ülevaate kontekstis.

Oluline on välja tuua, et EL riikides on kasutusel erinevad motivaatorid ettevõtete ja kodanike CO₂ neutraalsete kütuste kasutamisele suunamisel. Näiteks Rootsi rakendab kahe eraldi meetme alusel oma riigis energia- ja CO₂-maksust vabastust: (i) soojuse tootmiseks kasutatava biogaasi (endist meetet pikendati viimati 2018. aastal) ja (ii) mootorikütusena kasutatava biogaasi (endist meetet pikendati viimati 2015. aastal). 2020. aasta otsustega kiitis Euroopa Komisjon heaks mõlema maksuvabastuse 10-aastase pikendamise (2021–2030), kuid siiski kahe muudatusega: i) maksuvabastuse piiramine kehtib ainult mittetoidupõhise biogaasile ja ii) maksuvabastuse laiendamine mittetoidupõhisele biopropanile. Sedatüüpi maksuvabastuste eesmärk on suurendada biogaasi ja biopropani kasutamist ning vähendada fossiilkütuste kasutamist ja tekkivaid kasvuhoonegaaside heitkoguseid, hõlbustades samal ajal täielikku üleminekut biokütustele. Komisjon hindas 2020. a. neid meetmeid vastavalt ELi riigiabi eeskirjade, eelkõige keskkonnakaitse ja energia riigiabi suuniste (2014–2020) alusel ja leidis, et maksuvabastused olid vajalikud ja asjakohased kodumaise ja imporditud biogaasi ja biopropani tootmise ja tarbimise stimuleerimiseks, ilma et see moonutaks põhjendamatult konkurentsi EL ühisturul. Lisaks leiti, antud maksuvabastused aitavad kaasa nii Rootsi kui ka ELi kui terviku pingutustele Pariisi kokkuleppe täitmisel ja 2030. aasta taastuenergia ja CO₂ eesmärkide saavutamisel, mistõttu kinnitas Euroopa Komisjon, et meetmed on kooskõlas ELi riigiabi eeskirjadega.²³

²¹ Kliimaministeerium (2025). Seadusemuudatused aitavad Eestis kaasa taastuenergia kasutuselevõtule. [Link](#).

²² Jäätmedirektiiv – Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2008/98/EÜ, 19. november 2008, mis käsitleb jäätmeid ja millega tunnistatakse kehtetuks teatud direktiivid. [Link](#).

²³ EC (2020). *State Aid: Commission approves prolongation of tax exemption for non food-based biogas and bio propane used for heating or as motor fuel in Sweden*. [Link](#).

Saksamaa valitsus aga toetab oma ettevõtjaid sellega, et pakub ettevõtetele toetusi kallimate alternatiivkütuste kasutuselevõtuks, kusjuures toetused tuleb tagasi maksta alles siis, kui tehnoloogia muutub odavamaks.²⁴

Ühtlasi on Saksamaal alates 2024. aastast HVO100 kütus vabastatud CO₂-maksust, mis omakorda vähendab tarbijate kulusid ja soodustab selle kütuse laiemat kasutuselevõttu.²⁵

Euroopa Liidu taastuvenergia direktiiv, tuntud kui RED II (Renewable Energy Directive II), on ELi peamine dokument, mille eesmärk on edendada taastuvate energiaallikate kasutamist. See võeti vastu Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivina (EL) 2018/2001²⁶ 11. detsembril 2018. aastal ning see kuulub ELi kliimamuutuste vastase poliitika ja "Euroopa roheleppe" (*European Green Deal*) eesmärkide raamesse. Eriti suurt tähelepanu pööratakse RED II direktiivis transpordisektorile, kus taastuvenergia osakaal peab 2030. aastaks olema vähemalt 14%. Selle direktiivi IX lisa mängib võtmerolli RED II rakendamisel transpordisektoris, kuna määratleb eelistatud toorainete loetelu täiustatud biokütuste (*advanced biofuels*) tootmiseks, mis toovad suurimat keskkonnakasutegurit ega konkureeri otseselt toidukultuuridega. IX lisa koosneb kahest osast.

Osa A sisaldab nimekirja jäätmetest ja biomassi jääkidest, mida soovitatakse kasutada täiustatud biokütuste tootmiseks. Nende jäätmete loetelu on esitatud tabelis 3.1.

Tabel. 3.1. Lähteained transpordis kasutatava biogaasi ja täiustatud biokütuste tootmiseks osas A.

Tähis	Lähteaine
a)*	vetikad, kui need on kasvatatud tiikides oleval maal või fotosünteesil põhinevates bioreaktorites
b)*	biomassi osa segaolmejäätmetes, kuid mitte eraldi kogutud kodumajapidamisjäätmetes, millele kehtivad direktiivi 2008/98/EÜ artikli 11 lõike 2 punkti a kohased ringlussevõtu eesmärgid
c)*	eramajapidamistest kogutud, direktiivi 2008/98/EÜ artikli 3 punktis 4 määratletud biojäätmed, mille suhtes kohaldatakse nimetatud direktiivi artikli 3 punktis 11 määratletud liigiti kogumist
d)*	tööstusjäätmete biomassi osa, mis ei sobi kasutamiseks toidu- või söödaahelas, sealhulgas jae- ja hulgikaubandusest ning põllumajanduslikust toidutööstusest, kalandusest ja vesiviljelusest pärit materjal, välja arvatud käesoleva lisa B osas loetletud lähteained
e)*	õled
f)*	loomasõnnik ja reoveesete
g)	palmiõli tootmiskäitise heitvesi ja tühjad palmiviljade kobarad
h)*	tallõli pigi
i)	toorglütserool
j)	suhkruroo pressimisjäätmed
k)	viinamarjade pressimisjäädid ja veinisete
l)	pähklikoored

²⁴ Reuters (2024). How Germany aims to get to net zero without breaking the bank. *Reuters*. [Link](#).

²⁵ Efuels-Forum (2024). Climate-friendly HVO fuel exempt from CO₂ tax. *Efuels Forum*. [Link](#).

²⁶ Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. [Link](#).

Tähis	Lähteaine
m)*	teraviljakestad
n)	maisiteradest puhastatud maisitõlvikud
o)*	metsanduse ja metsatööstuse jäätmete ja jääkainete biomassi osa, nimelt puukoor, oksad, kommertskasutusele eelneva harvendusraie saadused, lehed, okkad, puuladvad, saepuru, puitlaastud, must leelis, pruun leelis, kiusetted, ligniin ja tallõli
p)*	muu toiduks mittekasutatav tselluloosmaterjal
q)*	muu lignotselluloosmaterjal, välja arvatud saepalgid ja vineeripakud

*Saadaval Eestis

Osa B sisaldab piiratud nimekirja lähteainetest, mida võib kasutada biokütuse tootmiseks, kuid mahupiirangutega (näiteks piirang arvessevõtmisel riiklike eesmärkide täitmisel). Lähteainete loetelu on esitatud tabelis 3.2.

Tabel 3.2. Lähteained transpordis kasutatava biogaasi ja täiustatud biokütuste tootmiseks osa B.

Tähis	Lähteaine
a)*	kasutatud toiduõli
b)*	määruse (EÜ) nr 1069/2009 kohaselt 1. või 2. kategooriasse klassifitseeritud loomarasv

*Saadaval Eestis

IX lisa biokütuseid võib arvesse võtta kahekordselt, kui võetakse arvesse teatavat liiki biokütuste panust taastuvenergia riiklike eesmärkide saavutamisse transpordisektoris.

Kokkuvõtteks saab järeldada, et neid seadusandlusega ja regulatsioonidega seotud kitsaskohti on mitmeid, mis takistavad Eestis CO₂ neutraalsete või madala CO₂ heitega kütuste tootmist ning eksportimist. Esmalt tuleks välja tuua pikk ja suhteliselt keeruline lubadega seotud planeerimisprotsess, mis puudutab keskkonnamõju hindamist, detailplaneeriguid ja ehituslube, mis omakorda pidurdab projektide käimalükkamist, mistõttu selline pikk arendusperiood suurendab investorite riske, sest nende kavandatud finantsmudelid satuvad löögi alla.²⁷ Teiseks võib välja tuua võrguühendustega liitumise tingimused ja kulud, millega senduvalt suure võimsusega liitumistaotlused kohtavad tehnilisi administratiivseid ja rahalisi barjääre (kõrged liitumiskulud, pikk ooteaeg), mis kehtib nii P2X, e-kütuste tootjate kui ka biometaanli võrku ühendamise korral.²⁸ Kolmanda kitsaskohana tuleks välja tuua ebapiisav ja ebajärjekindel majandus- ja maksustamispoliitika, mistõttu CO₂ neutraalsete kütuste tootmisega seotud või sellest huvitatud energiaettevõtetele rakenduks vähesed selged stiimulid. Probleem tekib sellest, et aktsiisimäärad, püsivate toetusmehhanismide puudumine või ajutised raamistikud loovad ebakindluse (riigiabi tingimused, toetuste ajakujundus). Kuigi olnud piloottoetusi (nt biometaanle), puudub ühtne pika-ajaline stiimulraamistik.²⁹ Neljandaks on oluline märkida, et toorme ja jäätmepõhiste sisendite ligipääsu regulatiivsed

²⁷ IEA (2023). *Estonia 2023. Energy Policy Review*. [Link](#).

²⁸ Tegos (2025). *Estonia's Shifting Energy Policies: Challenges and Opportunities in Q1 2025*. [Link](#).

²⁹ European Commission (n.d.). *Clean Energy for EU Islands. Subsidy II (biomethane market development support)*. [Link](#).

takistused tekitavad olukorra, kus jäätmete / kõrvalproduktide „end-of-waste“ staatus takistab nende biojaamadesse sisendina kasutuselevõttu, lisaks koormavad bioenergia tootjaid pikad hangetega seotud lepingud ja käitlemislepingud, mistõttu tekivad piirangud toorme ülevõtmisel tööstuslikule *feedstock*’ile, mis omakorda suurendab tootjate kulukust ja teeb protsessid keerukaks.

Eestis on tehnoloogiaid ja ressursse CO₂-neutraalsete kütuste tootmiseks võimalik arendada, kuid *menetluslikud*, *võrguga liitumise* ja *majanduslikud* kitsaskohad teevad projekti-arenduse keeruliseks ja investoritele riskantseks. Peamised lahendused on kiirendada lubamist, muuta võrkudega iitumise režiime prognoositavamaks, selgitada *feedstock*/ jäätmeõigust, ning pakkuda püsivaid majanduslikke stiimuleid ja selgemaid põhimõtteid EL-reeglitest ületoomisel.

3.3. SEKTORI ARENG JA LÄHITULEVIK

Käesolevas alapeatükis tutvustatakse Eesti põhilisi saavutusi viimastel aastatel seoses erinevate algatustega CO₂-neutraalse ja madala CO₂ heitega kütuste tootmisega.

Laiemas plaanis oli Eesti riik taastuenergiaga seoses seadnud ambitsioonika eesmärgi - saavutada 2030. aastaks 100%-line taastuenergia tarbimine. Juulis 2025 avalikustatud Energiamaajanduse arengukava (ENMAK) järgi vähendati taastuenergia tarbimise eesmärki 80%-ni.³⁰ 2022. aastal moodustas taastuenergia 38,5% kogu Eesti lõpptarbimisest, kusjuures tuule- ja päikeseenergia sektorites on märgatav kasv.³¹ Valitsus investeerib kuni 2027. aastani elektrivõrkudesse 155 miljonit eurot ja on 2025. aasta alguses sünkroniseerinud (koos Läti ja Leeduga) oma elektrivõrgu Euroopa võrguga, mis hõlbustab sujuvat integreerumist Euroopa energiamaastikuga, suurendab Eesti varustuskindlust energiaga, kuid toob kaasa ka vajaduse sagedusreservide järele. Lisaks on teoksil kohaliku CO₂-neutraalsete ja vähese heitega kütuste tootmise algatused, mille juures biometaanitootmise puhul on tegemist olulise kasvuga.

Biometaanitootmise laiendamine on toimunud alates 2018. a, kuid oluline on märkida, et 2024. aasta novembris kinnitas Eesti Keskkonnainvesteeringute Keskus (KIK) 19 miljonit eurose toetuse nelja uue biometaanitehase rajamiseks Viljandimaale, Saaremaale, Pärnumaale ja Lääne-Virumaale. Need rajatised suurendavad Eesti igaaastast biometaanitootmist hinnanguliselt 26 miljoni kuupmeetri võrra, kasutades ära põllumajanduse kõrvalsaadusi ja jääke. Antud sammuga tehtav biometaanitootmise laienemine täiustab Eesti taastuenergia infrastruktuuri ja edendab ringmajandust.³² Järk-järgult minnakse üle kohalikele võrguvabale biogaasi tarbimisele biogaasijaamade läheduses laienevates või kujunevates piirkondlikes tööstussümbioosi mudelit

³⁰ Kliimaministeerium (2025). *Energiamaajanduse Arengukava*. [Link](#).

³¹ Statistikaamet (2024). *KE36: Energia efektiivsuse suhtarvud*. [Link](#).

³² Invest Estonia (2024). *Estonia to expand green infrastructure with four new biomethane plants*. [Link](#).

rakendavates tööstusparkides ja/või energiakogukondades. Kestliku biogaasi tootmise ja kasutuselevõtu suurendamise võimaluste analüüsi andmetel saavutatakse siseriiklikul ressursil põhinev kestliku biogaasi tootmise ja tarbimise optimaalne maht 0,8 TWh/a aastaks 2035.³³ Biometaani tootmine ja tarbimine Eestis on aastatel 2018–2023 näidanud kasvutrendi, mis näitab, et biometaanile kui alternatiivsele energiaallikale pööratakse üha enam tähelepanu. Eestis toodetav biometaan leiab peamiselt kasutust transpordisektoris. See sektor moodustas juba 2022. aastal 87% biometaani lõpptarbimisest.³⁴ KKMS eelnõu seletuskirja alusel kavandatakse elektritootmise juhitavate võimsuste tagamiseks ehitada uued gaasijaamad, mis töötavad algul maagaasil ja alates 2040. aastast alternatiivkütustel (nt biometaanil või taastuvvesinikul) ehk CO₂ heite vabalt. Vastavalt KKMS eelnõus (02.12.2024)³⁵ ette nähtud juhitava võimsusega gaasijaamade vajaduse prognoosile, mille alusel kavatakse rajatakse 2030. aastaks 500 MW võimsusega gaasijaam, mille eeldatav tööaeg aastas oleks keskmiselt 2200 tundi, mille jooksul toodaks aastas energiat 1,1 TWh. Vastavalt ENMAK 2035 eelnõule (13.11.2024) peab taastuvgaasi osakaal tarbimises aastal 2035 olema 1/3 ehk 2035. aastal võiks see gaasijaam (või need gaasijaamad) toota 367 GWh elektrienergiat biometaanist. 2024. aasta juulis kuulutas Elering AS välja sagedusreservide hanke, millega on võimalik hankida sõltuvalt laekunud pakkumistest kuni 500 MW ulatuses uut juhitavat võimsust (nt salvestus ning gaasielektrijaamad). Hanke tulemused selgusid 2025. a juulis.³⁶

RMK korraldas 2025. aasta märtsis puidupakkumise, mille eesmärk on toetada puidu biokeemilise väärimise tehase rajamist Eestisse. Eduka hinnapakkumise VKG Fiber OÜ ja Biojet AS. VKG Fiber tegi parima pakkumise 360 000 kuupmeetrile okaspuupaberipuidu kogusele aastas ning võitis pakkumise ka kasepaberipuidule mahus 340 000 kuupmeetrit aastas. Pakkumisel olnud 140 000 kuupmeetrist hakkpuidust kindlustas 50 000 kuupmeetrit aastas endale aga Biojet, et toota sellest tulevikus biolennukikütust.³⁷

AS Elcogen on saanud EL energiaintensiivsete tööstuste toetuse tahkeoksiidsete elektrolüüseri rakkude ja stäkkide piloottootmistehase rajamiseks. Eestis asuva projekti eesmärk on rajada moodne tahkeoksiidelektrolüüserielementide tootmistehas, mille tootmisvõimsus on 360 MW. Projekti eesmärk on vältida kasvuhoonegaaside suhtelist heidet 100% võrreldes asjakohase stsenaariumiga. Projekti esimese 10 tegevusaasta jooksul on kavas vältida kasvuhoonegaaside heitkoguseid absoluutväärtuses ligikaudu 2 miljonit tonni CO₂ ekv. Tootmisüksuse eesmärk on luua ligikaudu 300 uut töökohta. ELI Innovatsioonifondi toetuse suurus on 24 932 000 eurot.³⁸

³³ Kiimaministerium (2024). *Biogaas*. [Link](#).

³⁴ Sepp, V., Konist, A., Teiter, S., Kask, Ü., Mõtte, M., Saaroja, A., Reinik, J., Kuusk, I., Latššov, E., Ummik, M.-L., Krupenski, I. & Laht, J. (2024). *Kestliku biogaasi tootmise ja kasutuselevõtu suurendamise võimaluste analüüs*. Tartu Ülikool, Tallinna Tehnikaülikool. [Link](#).

³⁵ Kliimaministerium (2024). *Kliimakindla majanduse seaduse eelnõu seletuskiri*. [Link](#).

³⁶ Kliimaministerium (2024). *Kliimakindla majanduse seaduse eelnõu seletuskiri*. [Link](#).

³⁷ RMK (2025). *RMK puidupakkumiselt väljusid edukana VKG Fiber ja Biojet AS*. [Link](#).

³⁸ Innovation Fund (2024). *Deploying innovative net-zero technologies for climate neutrality. ELCOI: Solid Oxide Cell and Stack Manufacturing Facility*. [Link](#).

4. EESTI TOORMETE ÜLEVAADE

Väheste CO₂-heitega kütuste tootmiseks võib kasutada mitmesuguseid toormeid, sealhulgas taimse päritoluga ja põllumajanduslikke aineid ning jääke, samuti erinevaid jäätmeid. Seetõttu on väga oluline tagada, et kasutatavad toormed ei oleks sobilikud toidutööstuses kasutamiseks. Teisalt ei tohi biomassi kasutamine energiaallikana oluliselt vähendada huumusevarusid ega põhjustada mullaväsimust. Biomassi, sealhulgas biolagunevate jäätmete ja teiste bioloogilist päritolu toormete, transport tootmisjaama ning digestaadi tagasivedu põllumajandusmaale on selles kontekstis võtmetähtsusega.³⁹ Oluline on järgida ringmajanduse ja jäätmehierarhia põhimõtteid, et vältida keskkonnale ja bioloogilisele mitmekesisusele kahjulikke mõjusid ning takistada täiendava maakasutusnõudluse tekkimist. Toormemahtude arvestamisel tuleb järgida EL-i ja kohalike regulatsioone (vt ptk 3), näiteks taastuenergia direktiivi REDIII ning jäätmeseadust. Ülevaade väheste CO₂-heitega kütuste tootmisel kasutatavatest toormetest Eesti lõikes koosneb allpool nimetatud alampunktidest.

1. Biomass
 - Taimekasvatuse kaassaadused
 - Loomakasvatuse kaassaadused
 - Biojätmed
 - Looduslikud ja tööstuslikud jäägid
 - Reoveesetted
2. CO₂ ja rohevesinik
 - CO₂ allikad
 - Rohevesiniku tootmine
3. Jätmed
 - Plast
 - Kasutatud rehvid

4.1. BIOMASS

4.1.1 Taimekasvatuse kaassaadused:

- Põhk
- Koored
- Kestad
- Varred

Eestis tekib aastas 1,25 miljonit tonni põhku ja 40,6 tuhat tonni jäätmeid, millest suurem osa kasutatakse huumuse säilitamiseks ja allapanuks. Teoreetiliselt on muuks otstarbeks kasutatav umbes 498,6 tuhat tonni põhku. Lisaks jääb igal aastal kasutamata ligikaudu

³⁹ Sepp, V. et al., (2024). *Kestliku biogaasi tootmise ja kasutuselevõtu suurendamise võimaluste analüüs*. [Link](#).

260 tuhat tonni rohtset biomassi, ning väheväärtuslikel maadel oleks võimalik kasvatada lisaks kõrrelisi heintaimi.⁴⁰

„Kestliku biogaasi tootmise ja kasutuselevõtu suurendamise võimaluste analüüsi“ (Sepp 2024) autorid on hinnanud, et taimse biomassi arvutuslik kogus, mida saab kasutada biometaani tootmiseks, on kogu Eesti peale kokku **1 324 tuhat tonni aastas**. Siinkohal on oluline märkida, et see tooraine on hajutatud üle kogu riigi territooriumi ning selle kasutuse planeerimisel tuleb arvestada transpordikuludega. Täpsemat ülevaadet taimse biomassi jaotusest saab vaadata sama uuringu lõpparuande Tabelist 1.

4.1.2 Loomakasvatuse kaassaadused

- Sõnnik
- Nahk
- NH₃

Põhiline loomakasvatusest tulenev toore vähe CO₂ heitmega kütuste tootmiseks on sõnnik. 2023. aasta Statistikaameti andmetel oli Eestis 251 tuhat veist, 272 tuhat siga ja 1,9 miljonit kodulindu.⁴¹ Kuna Eestis puudub loomakasvatuses tekkinud sõnniku statistikaandmed, said „Kestliku biogaasi tootmise ja kasutuselevõtu suurendamise võimaluste analüüsi“ (2024) autorid arvutuslikud arvud. Kokku tekib aastas ligikaudu 2,3 miljonit tonni sõnnikut, millest biogaasi tootmisesse suunatakse praegu 360,2 tuhat tonni ehk umbes 13%. Teoreetiliselt jääb üle **1,9 miljonit tonni sõnnikut aastas**. Täpsemat ülevaadet sõnniku arvutusliku koguste jaotusest saab vaadata sama uuringu lõpparuande Tabelist 2. Sõnniku kasutamisel ei teki konkurentsi väetisena kasutamise ja biogaasitootmise vahel, kui sõnnikut kasutada esmalt biogaasi toorainena ning seejärel kasutada tekkinud kääritusjääki ehk digestaati põldude väetamiseks. Tuleb märkida, et jäätmesaaduse järgi liigitatakse põllumajanduslikud loomsed kõrvalsaadused, sealhulgas sõnnik, biogaasi tootmisel jäätmeteks. See võib oluliselt piirata ja raskendada nende kasutamist toorainena vähe CO₂-heitmega kütuste tootmisel. Tulevikus tasub kaaluda menetluste ja regulatsioonide lihtsustamist selles valdkonnas.

4.1.3 Biojätmed

- Toidujätmed ehk biojätmed

Kütuste tootmiseks sobilikud biojätmed, mis pärinevad eramajapidamistest, jae- ja hulgikaubandusest, toidutööstusest, toitlustusasutustest, kalandusest ja vesiviljelusest (sh kasutatud toiduõli ja 1. või 2. kategooriasse kuuluvad loomarasvad). Kui räägitakse toidujätmetest, tuleb arvestada, et toidujätmete hulka ei kuulu kaod toiduainete tarneahela erinevates etappides, eriti põllumajandus- ja kalandussaadustes enne saagi koristamist või tapale saatmist.³²³⁹ „Toidujätmete ja toidukao teke Eesti toidutarneahelas Uuringu“ lõpparuandes (2021)⁴² autorid viisid Eestis läbi uuringu toidujätmete ja toidukao tekkimise ning nende põhjuste kohta kõigis toidutarneahela

⁴⁰ ADDVAL-BIOEC (2021). *Lisandväärtuse tõstmine ja toorme tõhusam kasutamine Eesti biomajanduses. Uuringu lõppraport.* [Link.](#)

⁴¹ Eesti Statistikaamet. [Link.](#)

⁴² Piirsalu, E., Moora, H., Väli, K., Aro, K., Värnik, R. & Lillemets, J. (2021). *Toidujätmete ja toidukao teke Eesti toidutarneahelas.* SEI Tallinn [Link.](#)

etappides, sealhulgas kodumajapidamistes, toidlustuses, kaubanduses, toidutööstuses ja esmatootmises (põllumajandus ja kalakasvatus). Uuringu tulemused põhinevad 2020. aastal läbi viidud detailuuringu andmetel ning riikliku jäätmearuandluse 2019. aasta andmete analüüsil. Tulemuseks saadi, et Eestis tekib kokku ligikaudu 167 tuhat tonni toidujäätmeid aastas.

Keskonnaagentuur⁴³ andmetel tekkis Eestis perioodil 2018-2022 keskmiselt 507,3 tuhat tonni olmejäätmeid aastas. 2023. aastal tekkis ca 96,6 tuhat tonni (segaolmejäätmetes) ja 57,6 tuhat tonni (kogutud liigiti) biojäätmeid. Nendest:

- Köögi- ja sööklajajäätmed: ca 80 tuhat tonni ning 34,5 tuhat tonni
- Aia- ja haljastusjäätmed: ca 25,5 tuhat tonni ning 23 tuhat tonni

Andmed ei sisalda tekkekohal ringlusse võetud biojäätmeid, nagu kompostimine ja väetisena kasutamine.

„Kestliku biogaasi tootmise ja kasutuselevõtu suurendamise võimaluste analüüsi“ (2024) autorid uuendasid Keskonnaagentuuri andmeid ja teatavad, et 2022. aastas Eestis tekkis 387 tuhat tonni biojäätmeid. Nende andmetel biometaani tootmiseks kasutati 150 tuhat tonni biojääke ehk suur osa biojääkidest on juba kasutusel.

4.1.4 Looduslikud ja tööstuslikud jäägid

- Puidujäätmed – puukoor, hakkpuit, saepuru, tolmu millel on suur kuivaine sisaldus (põlevaine ja tuhk).
- Metsajäätmed – oksad, lehed, kännud ja muud metsaraie käigus tekkinud jäätmed.
- Vaaludena ladustatud ja katte all kuivanud raiejäätmetest ja/või energiametsast (võsa) raie teel toodetavad peenestatud puitkütused.
- Tööstuslikud orgaanilised jäätmed – näiteks tselluloosi- ja paberi- või tekstiilitööstuse tootmisjäägid.

Muu lignotselluloosne biomass (lisaks puidutoormeale) - põllult, rohumaalt, haljasalalt, pargist või aiast peale saagikoristust, muru niitmist, heki- või viljapuude lõikust kokku kogutav taimne biomass. Ettevõtted koguvad neid jäätmeid lepingulistelt klientidelt ja eraomanikelt kogutakse ja purustatakse neid jäätmeid näiteks jäätmejaamades.

Keskonnaagentuuri andmetel 2022. aastal Eestis toodetavast energiast pärines ligikaudu 38% puidust. Küttepuiduna kasutatakse sellest 37% ehk umbes 4,5 miljonit kuupmeetrit. Puidu kogutarbimine energeetikas ulatus 5,8 miljoni kuupmeetriini. 2022. aastal oli Eesti puidukasutuse kogumaht 17,7 miljonit kuupmeetrit, millest 4,3 miljonit m³ moodustas import ja 0,3 miljonit m³ taaskasutus. Seega jäi sisemaiseks tarbimiseks ligikaudu 13 miljonit kuupmeetrit.

⁴³ Keskonnaagentuur (2022). *Jäätmete ringlussevõtu võimekuse analüüs*. [Link](#).

Toodangu struktuur on keerulisem – lisaks saematerjalile moodustavad olulise osa tööstusharu väljundist ka puiduhake, saepuru ja muud puidujäätmed. Nende edasist liikumist ja kasutust on aga keeruline hinnata, kuna olemasolev statistika on puudulik.

Puidujäätmeid ja puukoort kasutatakse osaliselt tootmise sisesteks energiavajadusteks, samas kui ülejäänud osa suunatakse energeetikasektorisse müügiks.⁴⁴

Alates 2024. aastast müüb RMK puitu kestvuslepingute alusel vaid Eestis kohapeal tegutsevatele puidutöötlejatele. RMK saab Eestis tegutsevatele turuosalistele pakkuda keemiliseks või mikrobioloogiliseks väärimiseks ligikaudu 0,7 miljonit tihumeetrit madalama kvaliteediga puitu, peamiselt paberipuitu, mis seni on valdavalt eksporditud. Lisaks on pakkuda kuni 0,14 miljonit tihumeetrit raidmete ja võsa baasil toodetud hakkpuitu.⁴⁵

Allolevas tabelis on esitatud hinnanguline energiavõsa vajadus Eestis biokütusele ülemineku korral transpordisektoris, eeldades biokütuse tootmist puidu gaasistamise tehnoloogia abil.⁴⁶

Tabel 4.1. Energiavõsa vajadus biokütuste tootmiseks

Vedelkütuste tegelik lõpptarbimine (2023 andmetel), t	Biokütuse kogus, t	Biokütuse saagis tonnist puidust, l	Vajalik kogus kuiva energiavõsa, t	Vajalik kasvupind, ha
Bensiin 203 802	203 802	258	790 000	113 000 paju või 132 000 leppa
Diislikütus 668 521	668 521	258	2 600 000	370 000 paju või 430 000 leppa
			Kokku	483 000 paju või 562 000 leppa

Energiavõsa vajadus biokütuste tootmiseks näitlikustab probleemi energavõsast kütuste tootmisel, mis on seotud suure hektaripindalaga. Eestis oleks ressursina umbes 100 000 hektarit maad, mis ei ole kasutusel ei põllumaa ega metsana. See pind võiks anda piisavalt biomassi ühe 200 MW võimsusega tehase vajaduste katmiseks.⁴⁷ Takistuseks on vaba maa hajutatus üle kogu Eesti ning sellest tulenevad transpordikulud, mis muudavad sellise tootmise käivitamise majanduslikult ebamõistlikuks. Eelnevast järeldub, et energiavõsast tõenäoliselt ei piisa Eesti vedelkütuste hetketarbimise katmiseks.

4.1.5 Reoveesetted

Sepp jt „Kestliku biogaasi tootmise ja kasutuselevõtu suurendamise võimaluste analüüs“ (Sepp 2024) andmetel 2022. aastal tekkis Eestis kokku reoveesetet üle 140 000 tonni. Loogiliselt kõige rohkem tekib reoveesetet maakondades, kus on Eesti suurimad linnad Tallinn, Tartu, Narva. 2023. aastal toodeti Eestis kokku 210 617 MWh biometaan, millest

⁴⁴ Sirkas, F. (2022). *Puidubilanss Ülevaade puidukasutuse mahust 2022. aastal*. Keskkonnaagentuur. [Link](#).

⁴⁵ RMK (2024). *RMK kvalifitseeris kõik viis puidu keemilist väärimist plaanivat ettevõtet*. [Link](#).

⁴⁶ Reiska, R. (2012) *Bioetanool puidust*. [Link](#).

⁴⁷ Maniatis, K., Landälv, I., Waldheim, L., Van den Heuvel, E., Kalligeros, S. (2017) *Building Up the Future Cost of Biofuel*. [Link](#).

33 583 MWh saadi reoveesetestest. See tähendab, et umbes 45% Eestis tekkivast reoveesetestest kasutati biogaasi tootmiseks. Siin peamisteks piiranguteks võib pidada ressursside hajutatusest tulenevad suured transpordikulud, lisaks reoveesette kääritamisel tekkiva digestaadi omadused. Kokkuvõtteks selle täiendavat potentsiaali võib pidada tagasihoidlikuks.

4.2. CO₂ JA ROHEVESINIK

Niinimetatud e-kütuste (nt e-maagaas ehk sünteetiline maagaas – SNG, e-diisel ja e-bensiin) tootmiseks vajalikud toormed on süsinikdioksiid (CO₂) ja rohevesinik (vesinik, mis on toodetud kasutades rohelist elektrit). Olulisteks CO₂ allikateks peavad uurimistöö „Vesiniku ja sünteetilise gaasi kasutamise potentsiaal ning ühenditest tulenev mõju ülekandetorustikele ja lõpptarbija seadmetele“ (2019) autorid järgmisi:

- CO₂, mis on talletatud CCUS-tehnoloogiate abil, näiteks fossiilkütustel töötavate elektrijaamade ja katlamajade heitmete püüdmisel.
- CO₂, mis eraldub biomassist kääritamise või termilise gaasistamise kõrvalsaadusena.
- CO₂, mis on osa biogaasist või muudest jäätmepõhistest gaasidest.
- CO₂, mis tekib tööstusprotsesside jääkproduktina.
- CO₂, mis on kogutud otse atmosfäärist.

Atmosfäärist püütava CO₂ hind on kõige kõrgem, mistõttu seda sageli isegi ei arvestata. Sepp jt (2024) annavad oma aruandes ülevaate CO₂ püüdmis- ja saamisprotsessidest. Tööstusprotsessidest süsinikdioksiidi püüdmine on Euroopa Liidu tööstusstrateegias, kuid Eesti kontekstis on see asjakohane eelkõige põlevkivitööstuse puhul. Siinkohal on oluline märkida, et Eesti plaanib aastaks 2040 põlevkivienergeetikast loobuda. Suuremat huvi pakub biometaan tootmisprotsessi käigus eralduv CO₂, mida võiks teoreetiliselt saada kuni 198,8 tuhat tonni aastas. Keskkonnaportaali andmetel oli 2023. aastal suurim fossiilse pärioluga CO₂ heide Ida-Viru maakonnas – 5 miljonit tonni. Teistes maakondades olid heitkogused oluliselt väiksemad ega ole seetõttu mõistlikud vaadelda CO₂ toorme allikana.⁴⁸ Hetkel puudub Eestis CO₂ tootmine.

Rohevesiniku tootmiseks on olemas mitmeid tehnoloogiaid, kuid kõige perspektiivikamaks peetakse vee elektrolüüsi meetodit, mis kasutab rohelist elektrit. IRENA (2020)⁴⁹ juhendis kirjeldatakse hindasid piiravateks teguriteks elektrolüsaatorite hinda, nende kasutustegurit ning roheline energia hinda. Kuna Eestis toodeti 2024. aastal 63% elektrist taastuvatest allikatest (3306 GWh), on roheline energia kättesaadavus

⁴⁸ Keskkonnaportaali (2025). *Keskkonnavalua omavate ettevõtete saasteainete heitkogused*. [Link](#).

⁴⁹ IRENA (2020). *Green Hydrogen: A guide to policy making*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [Link](#).

hea.⁵⁰ Ainsaks takistuseks on roheline energia kõrge hind. Elektrituru hindade statistika 2025. aasta kohta näitas keskmiselt 85 €/MWh, kuid hinnad varieeruvad oluliselt kuude lõikes.⁵¹ IRENA (2020) autorid väidavad, et halli vesiniku hinnaga konkurentsivõimelise roheline vesiniku tootmiseks ei tohiks elektri hind ületada 15–20 €/MWh.

4.3. MUUD JÄÄTMED

Eritüüpi jäätmed nagu plast, kasutatud rehvid, olmejäätmed jne, millede lõplik taaskäitlus pole mehaaniliselt või bioloogiliselt võimalik. Neid võib kasutada termilise konversiooni meetodite puhul, nagu gaasistamine ja pürolüüs (vt. 5.2.1 B). Statistikaameti andmete põhjal koostatud ülevaade 2020–2023. aastate eri tüüpi jäätmete tekkest ja käitlemismahjustest.⁵²

Tabel 4.2. Jäätmekäitlus aastatel 2020–2023

Jäätmetüüp ja käitlemine	2020	2021	2022	2023
Jäätmete ladestamine prügilasse, tuhat tonni	5 992	6 517	7 399	5 975
Jäätmete põletamine energia tootmiseks, tuhat tonni	339 891	387 041	324 357	313 255
Jäätmete põletamine energia tootmiseta, tonni	1	58	0	0
Jäätmete taaskasutus, tuhat tonni	10 528	13 404	14 925	9 966
Jäätmete taaskasutusmäär, %	63	69	65	58
Jäätmete teke, tuhat tonni	16 697	19 362	22 854	17 328
Olmejäätmete tekkimine, tuhat tonni	509	525	503	512

Kuigi suur osa jäätmetest läheb Eestis juba taaskasutusse, on endiselt potentsiaali kasutada neid vähese CO₂-heitega kütuste tootmiseks. Suur osa taaskasutusest seisneb jäätmete põletamises, mida võib käsitleda kui materjali käitlemise lõppfaasi. Mõistlik oleks kaaluda võimalust investeerida alternatiivsetesse taaskasutustehnoloogiatesse, et tagada jäätmete kasutamine vähese CO₂-heitega kütuste tootmiseks (vt ptk 5), näiteks metanooli või biogaasi tootmiseks kasutades pürolüüsi või FT protsesse.

Jäätmevoogude analüüsimisel tuleb arvesse võtta kõiki neid tegureid ning mõista nende omavahelisi seoseid ja olulisi mõjusid. Täpsete prognooside tegemiseks on eriti tähtis tugineda usaldusväärsetele andmetele, nagu jäätmestatistika, rahvaarv ja majandusnäitajad. Tabelis 4.3 on esitatud prognoos jäätmete tekkeks aastaks 2028.⁵³

⁵⁰ Konkurentsiamet, [Lühikokkuvõte 2024. aasta kohta](#). [Link](#).

⁵¹ Nord Pool. [Link](#).

⁵² Statistikaamet (n.d.). [Tabel KK80. Jäätmed ja ringmajandus](#). [Link](#).

⁵³ Kliimaministerium (2023). [Riigi jäätmekava 2023–2028](#). [Link](#).

Tabel 4.3. Olmejäätmete tekke prognoos

Jäätmeliik	2028. a prognoos tonnides	Tekke kasv 2028 vs 2020
Paber ja kartong	122 762	2,5%
Metallid	20 201	1,5%
Plastid	79 236	5,5%
Klaas	42 768	2,5%
Biojäätmed kokku	134 038	2,5%
Puit	9 056	9,0%
Tekstiil	20 436	2,0%
Kasutuselt kõrvaldatud seadmed (EES)	12 251	9,5%
Toiduõli ja -rasv	891	20,0%
Ohtlikud olmejäätmed (üalaloodud liigid kokku)	2 052	10,0%
Muud olmejäätmed (ülejäanud olmejäätmete liigid, sh sortimisjääd, suurjäätmed, segapakendijääd)	83 992	9,0%
Tänavapühkmed	2 287	30,7%
KOKKU	529 695	4,2%

Keskkonnaagentuuri hinnangu järgi kasvab olmejäätmete hulk 2028. aastaks võrreldes 2020. aastaga umbes 4,2% (prognoosi määramatus $\pm 0,3\%$). See tähendab, et keskmiselt tekib igal aastal ligikaudu 530 000 tonni olmejäätmeid.

4.4. KOKKUVÕTE

Eestis on võimalik vähese CO₂-heitega kütuste tootmiseks kasutada mitmesuguseid taastuvaid tooraineid, sealhulgas taimset ja loomset biomassi, biojäätmeid, tööstusjääke ning reoveesetteid. Oluline on, et toormed ei konkureeriks toidutootmise ega mullaviljakuse säilitamisega. Taimset biomassi, nagu põhk ja rohttaimed, tekib Eestis aastas sadu tuhandeid tonne, millest osa on kasutatav kütuse tootmiseks. Loomsetest allikatest on olulisim sõnnik, millest praegu kasutatakse vaid umbes 13% biogaasi tootmiseks. Samuti tekib Eestis suures koguses toidujäätmeid ja biolagunevaid jäätmeid, millest osa on juba biometani tootmisse suunatud.

Jäätmete koguhulk Eestis 2023. aastal oli üle 17 miljoni tonni, millest olmejäätmed moodustasid umbes pool miljonit tonni. Suur osa jäätmetest on juba taaskasutuses, kuid nende potentsiaal vähese CO₂-heitega kütuste tootmiseks on senini suuresti kasutamata. Kogu protsess peab järgima EL-i ja Eesti seadusandlust ning ringmajanduse põhimõtteid.

Tabel 4.4 Teoreetiline Eesti toormete potentsiaal (andmed on autorite poolt kokku võetud hetkeseisuga kättesaadavatest allikatest ning võivad aastate jooksul varieeruda) (peatükkides 5 ja 6 on kirjeldatud vastavate toormete kasutamine vähese CO₂-heitega kütuste tootmisel)

Toorme tüüp		Kokku	Kasutusel	Potentsiaalne kogus
Taimne biomass (tuhat tonni aastas)		1324 ^a	39 ^a	760 ^b -1285 ^a
Sõnnik	MWh	461465 ^a	56635 ^a	404830 ^a
	tuhat tonni aastas	2800	340	2460
Biojäätmed (tuhat tonni aastas)		163 ^c -387 ^a	150 ^a	237 ^a
Puit ja puidujäägid (miljonit tihumeetrit)		17,7 ^d	17,7 ^d	0,84 ^e
Jäätmed (tuhat tonni aastas)		17328 ^f	10279 ^f	5975 ^f

^aSepp 2024, ^bADDVAL-BIOEC 2021, ^cKeskonnaagentuur 2022, ^dSirkas, F. 2022, ^eRMK 2024, ^fStatistikaamet (n.d.). Tabel KK80

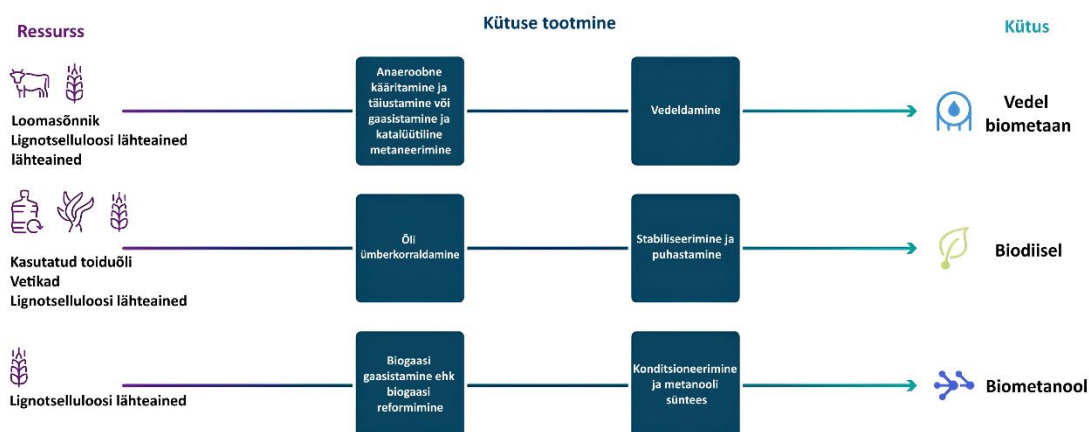
Tabelis 4.4 kirjeldatud toormete kasutuse põhjal pakuvad Sepp ja kaasautorid (Sepp, 2024) potentsiaalseks biometaani tootmise piirväärtuseks 815 GWh aastas. Samal ajal ulatuks biometaani vajadus Eestis, kui maagaasi kasutusest täielikult loobutakse, 2050. aastaks ligikaudu 2400 GWh-ni aastas (suurem osa suunatakse gaasivõrku ning kasutatakse elektri tootmisel). Kokkuvõtlikult võib öelda, et isegi maksimaalse siseriikliku tootmisvõimekuse juures tuleb Eestil biometaani importida, et rahuldada tulevikus prognoositavat nõudlust.

Lisaks biogaasile on Eestis võimalik kohalikke tooraineid kasutada tahkekütuste, näiteks puidugraanulite ja hakkepuidu tootmiseks. Kuigi praegust tootmist võib lugeda edukaks, on edasine kasvupotentsiaal väike ja tootmise kasv piiratud. Samuti saab biomassist valmistada vedelkütuseid, sealhulgas pürolüüsiõli või Fischer–Tropschi (FT) vedelkütuseid puidu ja energivõsa gaasistamise teel. Tööstus- ja plastijäätmed võimaldavad samuti toota vedelkütuseid ja gaase, aidates vähendada fossiilkütuste tarbimist. Siiski on nende jäätmevoogude kogused Eestis praegu liiga väikesed, et tagada majanduslikult tasuv tööstuslik tootmine. Oluline on rõhutada, et olemasolevad ressursid on suuresti hajutatud ning sellega kaasnevad transpordikulud vähendavad oluliselt nende kasutamise atraktiivsust. Lisaks bioloogilisele toormele on kütuste tootmisel olulised ka CO₂ ja rohevesinik. CO₂ allikateks on muu hulgas biogaas, tööstusheide ja atmosfäär, kuid viimane on kulukas. Rohevesinikku toodetakse vee elektrolüüsi teel, kuid selle laiema kasutuselevõtt on piiratud roheline elektri kõrge hinnaga, mida oleks vaja alandada vähemalt neljakordselt.

5. KÜTUSTE JA VASTAVATE TOOTMISTEHNOLOOGIATE ÜLEVAADE

Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise kontekstis võivad fossiilivabad sünteetilised kütused, nagu biokütused ja e-kütused, mängida otsustavat rolli. Fotosüntees on põhiprotsess, mille abil biokütused muundavad päikeseenergia taimseks keemiliseks energiaks (Joonis 5.1), samas kui e-kütused toodetakse vesiniku (H₂) reaktsioonil süsinikuallikaga (CO₂ või CO), et luua gaasilist või vedelat sünteetilist kütust, mille omadused on sarnased fossiilkütuste omadustega. Üks e-kütuse liik, e-ammoniaak, toodetakse H₂ ja N₂-st (Joonis 5.2). Nende kütuste sünteesiprotsessid töötavad elektrienergiaga, ideaalis taastuvatest allikatest.⁵⁴

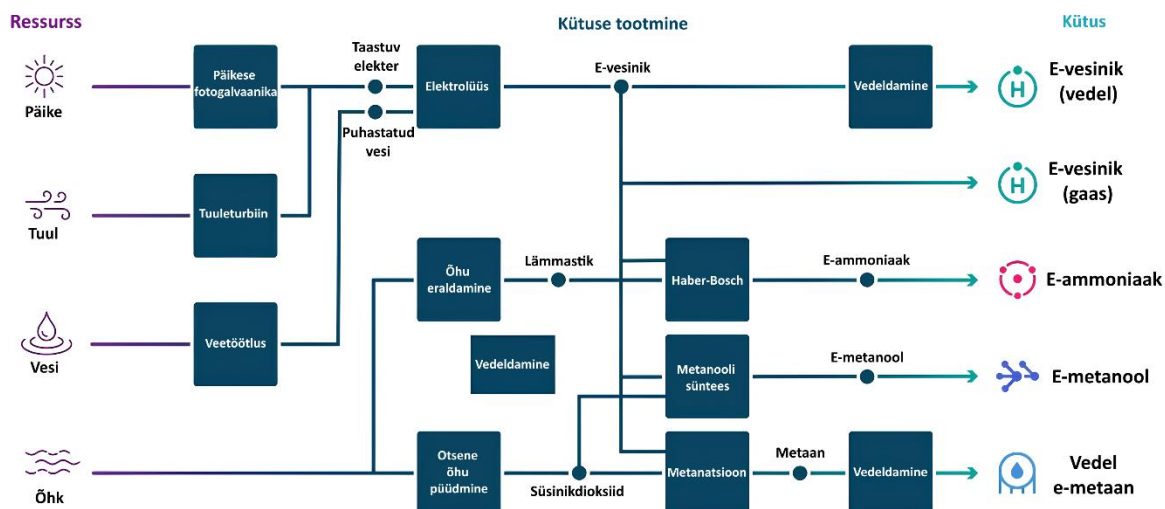
Joonis 5.1. Säätval biomassil põhinevate kütuste tootmine.⁵⁵



E-kütuste jätkusuutlikkus sõltub kriitiliselt sellest, kuidas vesinik toodetakse, kuidas elektrit genereeritakse ja milline on süsinikuallika tarnemarsruut, mida protsessis kasutatakse. Täielikult taastuvenergia ja jätkusuutliku H₂ tootmise korral on e-kütused väga jätkusuutlikud. Veelgi enam, CO₂ kasutamine nende sünteesi toorainena tagab, et nende põletamine ei too kaasa täiendavaid kasvuhoonegaaside heitmeid.

⁵⁴ Dell'Aversano, S., Villante, C., Gallucci, K., Vanga, G. & Di Giuliano, A. (2024). E-Fuels: A Comprehensive Review of the Most Promising Technological Alternatives towards an Energy Transition. *Energies*, 17(16), 3995. [Link](#).

⁵⁵ Zero Carbon Fuel Monitor (n.d.). *Assessment Method*. [Link](#).

Joonis 5.2. Taastuvenergiaga e-kütuste tootmine.⁵⁶

E-kütus võib saada üheks kõige olulisemaks energiavektoriks, eriti transpordisektoris, võimaldades salvestada elektrienergiat, mis on toodetud taastuvatest ja juhitamatutest energiaallikatest, millel eeldatavasti on domineeriv roll ülemaailmses energiasiideprotsessis. Siiski on e-kütuse rakendamine ja skaleeritavus seotud mitmesuguste lahendamata küsimustega, sealhulgas tootmise tehnilised probleemid, majanduslik teostatavus, energiavajadus ja mõju keskkonnale. Need probleemid seavad kahtluse alla e-kütuse integreerimise otstarbekuse ja võimalikkuse olemasolevasse energeetilisse taristusse.⁵⁷ Praeguseks on vaid vähesed e-kütuste tootmisahela tehnoloogilised komponendid jõudnud kõige kõrgema ehk TRL 9 tasemeni. Üheks selliseks küpseks ja tööstuslikult kasutatavaks tehnoloogiaks on näiteks vesiniku tootmine elektrolüüsi teel, mis on juba laialdaselt rakendatav ning kättesaadav. Seevastu enamik teisi e-kütuste tootmise kriitilisi etappe – nagu süsinikdioksiidi püüdmine (eriti otse õhust), sünteesigaasi tootmine ja selle muundamine vedelkütusteks (nt metanooliks või sünteetiliseks diisliks) – paiknevad endiselt arenduse ja katsetamise vaheetappides ehk TRL 5 kuni TRL 7 tasemel.

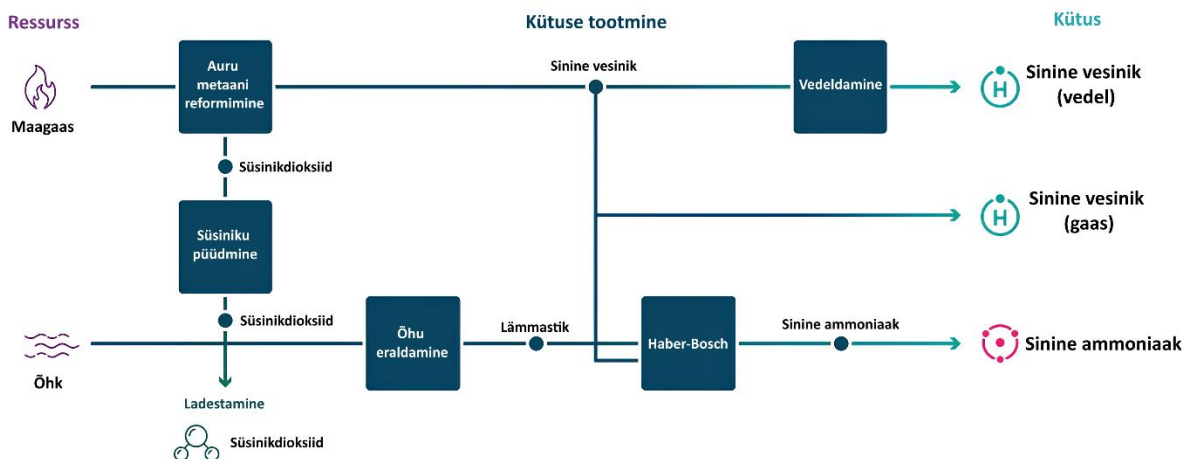
Sinise vedela vesiniku saamiseks maagaasi metaani reformimine võib toimuda kas aur-metaanireformimise või autotermilise reformimise kaudu (Joonis 5.3). Suudetakse autotermiline reformimise käigus saavutada kõrge CO₂ püüdmise määr, arvestades amiinidel põhineva tehnoloogiaga, mille tõhusus on 90%. Sarnaselt toodetakse sinist ammoniaaki (Joonis 5.3) kombineeritud autotermilise reformimise ja Haber-Boschi protsessiga, kusjuures CO₂ eraldatakse enne Haber-Boschi protsessi algust, milles vesinik liidetakse lämmastikule. Samuti eeldatakse, et nende rajatiste püütud CO₂

⁵⁶ Zero Carbon Fuel Monitor (n.d.). *Assessment Method*. [Link](#).

⁵⁷ Dell'Aversano, S., Villante, C., Gallucci, K., Vanga, G., & Di Giuliano, A. (2024). E-Fuels: A Comprehensive Review of the Most Promising Technological Alternatives towards an Energy Transition. *Energies*, 17(16), 3995. [Link](#).

transporditakse laevaga 1000 km kaugusele ja pumbatakse seejärel maismaa geoloogilisse ladustamiskohta.⁵⁸

Joonis 5.3. Sinikütuste tootmine maagast koos süsiniku kogumise ja säilitamisega.⁵⁹



Eesti sõltub täielikult maagaasi impordist, mis tähendab, et sinise vesiniku ja sinise ammoniaagi tootmiseks vajalike toorainete hind on juba alguspunktist kõrge. See seab suuri majanduslikke piiranguid energiamahukate keemiliste protsesside elluviimisele. Lisaks puudub Eestis praegu vajalik infrastruktuur süsinikdioksiidi kogumiseks ja pikaajaliseks ladustamiseks ehk süsinikdioksiidi kogumise ja säilitamise tehnoloogia rakendamiseks. Seni ei ole riigis rakendatud ühtegi tööstuslikku katse- või demonstratsiooniprojekti, mis hõlmaks CO₂ püüki ja säilitamist. Metaanipõhise konverteerimistehase rajamine koos kõigi vajalike lahendustega CO₂ käitlemiseks tähendaks märkimisväärsed, mitme miljoni euro suuruseid investeeringuid, mille tasuvus oleks kaheldav ilma riiklike toetuste või muude rahaliste stiimuliteta.

5.1. OLEMASOLEVAD JA ARENDUSES OLEVAD TEHNOLOOGIAD

Käesolevas uuringus käsitletakse olemasolevaid tehnoloogiaid kui lahendusi, mis vastavad tehnoloogilise valmiduse taseme (TVT) 9. astmele – ehk kõrgeimale võimalikule tehnilise valmisoleku tasemele. Arendusetapis olevaid tehnoloogiaid käsitletakse eelkõige kui neid, mis vastavad TVT tasemetele 7–8 või jäävad alla selle (TVT < 7–8). Peatükis antakse ülevaade kütustest, mida kasutatakse maismaatranspordis (sh söidu- ja

⁵⁸ Kanchiralla, F.M., Brynolf, S. & Mjelde, A. (2024). Role of biofuels, electro-fuels, and blue fuels for shipping: environmental and economic life cycle considerations. *Energy Environ. Sci.*, 17, 6393-6418. [Link.](#)

⁵⁹ Zero Carbon Fuel Monitor. (n.d.). *Assessment Method.* [Link.](#)

veoautod ehk LDV ja HDV), meretranspordis ning lennunduses, samuti elektri- ja soojusenergia tootmises.

5.1.1. Kütused maismaatranspordiks

Kütuste tootmistehnoloogiate kirjeldus nende kasutuse järgi erinevate mootoriüüpide lõikes

Sõltuvalt põlemispõhimõttest arendatakse ja optimeeritakse mootoreid erinevate kütuseliikide jaoks. Allolevas tabelis 5.1. on toodud CO₂ neutraalsed biokütuste või e-kütuste koostisosad, mida kasutatakse olemasolevates mootorites *drop-in* kütustena – kas puhtalt või seguna. Bensiinimootorites on vajalik segada taastuva bensiini koostisosade segu, mille erinevad suhted tagavad, et lõppsegud vastavad vastavatele kütusestandarditele.⁶⁰

Tabel 5.1. CO₂ neutraalsed bio- või e-kütused⁶¹

Diiselmootor (Survesüüde)	Bensiinimootor (Sädesüüde)	LPG mootor (Sädesüüde)	NVG mootor (Sädesüüde)
HDV and LDV	LDV	LDV	HDV and LDV
HVO, biodiisel, e-diisel	HVO (bionaptha), bioetanool, e-bensiin, etanoolist toodetud bensiin (ETG), metanoolist toodetud bensiin (MTG), bio-ETBE, e-MeOH	LPG tüüpi HVO (bio-LPG), LPG tüüpi e-kütus (e-LPG), taastuv dimetüüleeter (DME), e-dimetüüleeter (e-DME e-metanoolist)	Biometaan (bio-CNG, bio-LNG), e-metaan

A. Diiselmootoritele sobivad kütused

1. Taastuv biogeenselt päritoluga diislikütus (TVT 8-9)

FAME, *HVO* biodiislikütus (*FAME*: rasvhapete metüülester) ja taastuv diislikütus (*HVO*: vesinikuga töödeldud taimne õli) on taastuvad biogeenselt päritoluga alternatiivid fossiilse päritoluga diislikütusele. Neid biogeenseid kütuseid toodetakse mitmesugustest taastuvatest lähteainetest, sealhulgas taimeõlidest, loomsetest rasvadest ja kasutatud toiduõlidest (UCO). Kuigi need kütused on sageli toodetud sama tooraine põhjal, on *FAME* ja *HVO* valmistamise protsessid erinevad ning neil on erinev lõppkasutus. *FAME*'i toodetakse biomassi ümberestendamise kaudu, kus rasvad lagundatakse ja seejärel reageeritakse metanooliga lõpptootte saamiseks, mis on sarnane fossiilse diisliga, kuid millel on kõrgem hapnikusisaldus ja viletsamad keemilised ning füüsikalised omadused (nt hangumistäpp on kõrgem, kui tavadiisliil). Nagu tavaline diislikütus, peab biodiislikütus vastama *CEN*-i standarditele. Vastavat segu tähistatakse B-algustähga, millele järgneb number, mis näitab biodiisli protsenti; nt B100 oleks puhas biodiislikütus. *HVO*-d toodetakse õlide ja rasvade vesiniktöötamise teel, mis annab lõpptootena kütuse,

⁶⁰ Working group on monitoring methodologies of CO₂ neutral fuels (2024). *Monitoring the use of CO₂ neutral fuels in road transport a cross-sectoral industry assessment*.

⁶¹ A Report from the Advanced Motor Fuels TCP and IEA Bioenergy TCP, AMF Annex 58 /IEA Bioenergy Task 41 Project 10 (2020). *The Role of Renewable Transport Fuels in Decarbonizing Road Transport. Production Technologies and Costs*.

mida saab kasutada diiselmootoris ja millele tuleb vajadusel teha minimaalseid tehnilisi muudatusi.

2. Taastuv mittebiogeenset päritolu diislikütus: e-diisel (TVT 6)⁶²

Diislikütust saab toota ka sünteetiliselt elektri, vee ja CO₂ abil. Elektrit on vaja vee lõhustamiseks vesinikuks ja hapnikuks. Lisaks on tarvis süsinikdioksiidi, mida saab püüda ümbritsevast õhust, tööstusprotsessidest või biogeensetest allikatest. E-diisli tootmiseks on kaks sünteesimisprotsessi: esmalt *Fischer-Tropschi (FT)* protsess ja teiseks metanooli süntees ning metanooli edasine töötlemine keskmiste destillaadideks (*MtD*) – tavaliselt vahemikus C₁₀ kuni C₂₂, nagu diisel või lennukikütus. Mõlemad protsessid on keemiliselt hästi tuntud ja neil on kõrge tehnoloogia valmiduse tase, kuigi praegu ei ole ühtegi suurt MtD tehast käigus. Erinevus seisneb selles, et *FT* protsessis tekivad mitmed kõrvalsaadused, nagu nafta või lennukikütus, ning seetõttu on alati vajalik rafineerimisprotsess. Neid kõrvalsaaduseid võib kasutada CO₂ neutraalse bensiini komponentidena maanteetranspordis (vt e-bensiin allpool), aga ka keemiatööstuses, merenduses või lennunduses. Metanoolist saab toota rohkem e-diisli sisendenergia kohta ning traditsioonilist rafineerimisprotsessi ei ole vaja. Paljud e-kütuste tootmisüksused plaanivad kasutada *FT* protsessi, näiteks Nordic electrofuel või Arcadia "eFuel", aga ka metanoolist vedelikütuste tootmise protsessi, näiteks Hif Global või Liquid Wind. Mitmed sõidukitestid on näidanud, et e-diisli saab kasutada segus fossiilsete või biodiislikütustega või puhaste toodetena olemasolevates sõidukites.⁶³

B. Bensiinimootoritele sobivad kütused

1. Bioetanool (TVT 9)

Bioetanool on maailmas kõige enam toodetud biokütus, mille globaalseks tootmismahuks 2023. aastal oli 125 miljardit liitrit (63 Mtoe) vastavalt S&P Globali andmetele (48% USA, 28% Brasiilia, 8% Hiina, 6% EL, 5% India, 5% ülejäänud maailm). Seda saadakse biomassis sisalduvate suhkrute ja tärklise käärimisprotsessi kaudu. Prantsuse labor IFPEN testis 2024. aastal kolme tüüpi taastuvat bensiini, et asendada fossiilne bensiin E85-s: bionaftat, e-naftat (e-SAFi kõrvaltoode) ja etanoolist toodetud bensiini (ETG). Kõigis kolmes juhtumianalüüsis olid saasteainete heitkogused võrreldes Euro 7 piirangutega väga madalad. 2023. aastal saavutasid Euroopa taastuva etanooli tootjad keskmiselt 79% võrra madalama sertifitseeritud kasvuhoonegaaside heite intensiivsuse, võrreldes ELi fossiilkütuse võrdlusalusega. 2023. aastal püüti Euroopa bioetanoolitehastes kinni 1,5 miljonit tonni CO₂, mida saab kasutada e-kütuste tootmiseks.

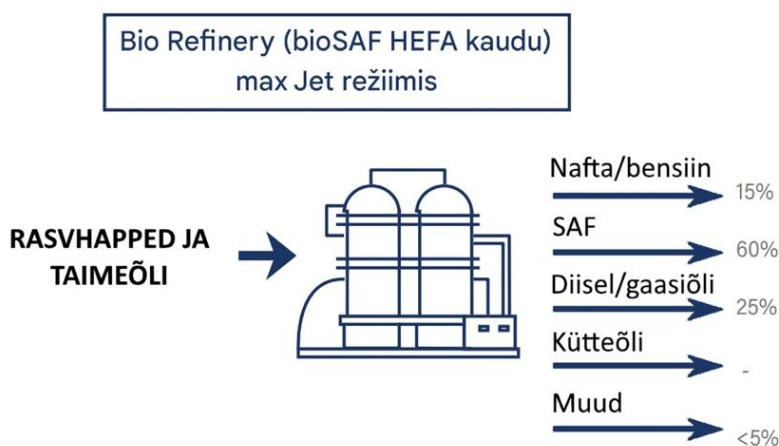
⁶² International Energy Agency (2023). *The Role of E-fuels in Decarbonising Transport*.

⁶³ Working group on monitoring methodologies of CO₂ neutral fuels (2024). *Monitoring the use of CO₂ neutral fuels in road transport a cross-sectoral industry assessment*.

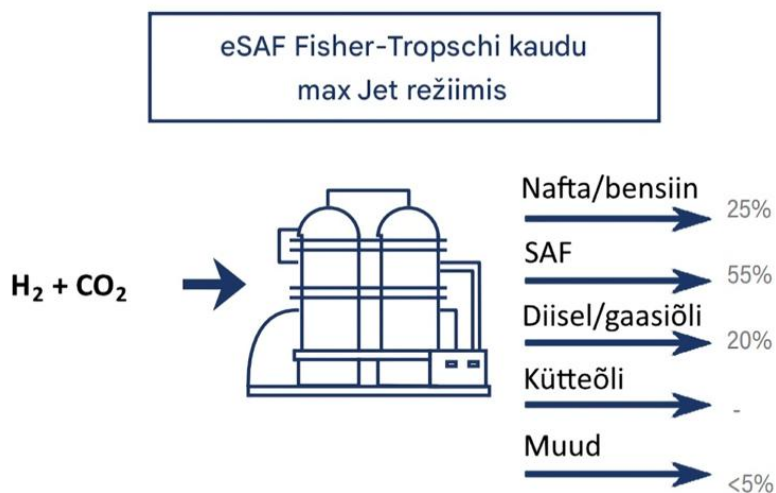
2. Bensiin taastuvast biogeensest allikast: bionafta (TVT 9)⁶⁴

Bionafta ehk HEFA, *Hydro-processed Esters and Fatty Acids* (vesinikuga töödeldud estrid ja rasvhapped), on jätkusuutliku lennukütuse tootmise kõrvaltoode. On teada, et HEFA tehas ei tooda kunagi 100% HEFA-d. FuelsEurope'i andmetel (Joonis 5.4) toodab tehas maksimaalses *Jet Mode* režiimis 15% bionafta kõrvalsaaduseid.

Joonis 5.4. Bio Refinery (bioSAF HEFA kaudu) max Jet režiimis



Joonis 5.5. e-SAF Fischer-Tropschi kaudu max Jet režiimis



⁶⁴ Aburto, J., Martínez-Hernández, E. & Castillo-Landero, A. (2025). Is Sustainable Aviation Fuel Production Through Hydroprocessing of Esters and Fatty Acids (HEFA) and Alcohol-to-Jet (ATJ) Technologies Feasible in Mexico? *Sustainability*, 17(4), 1584. [Link](#).

SAF-tehased ei tooda ainult SAF-i, vaid ka mitmesuguseid kõrvaltooteid (Joonis 5.5). Bionafta on ideaalne component kasutamiseks suure protsendiga etanooli või metanooli kütusesegudes, nagu E85 või M85, või teiste taastuvate bensiinidega. See võimalus võib tõenäoliselt aidata kaasa SAF-i tootmise äriidee arendamisele.⁶⁵

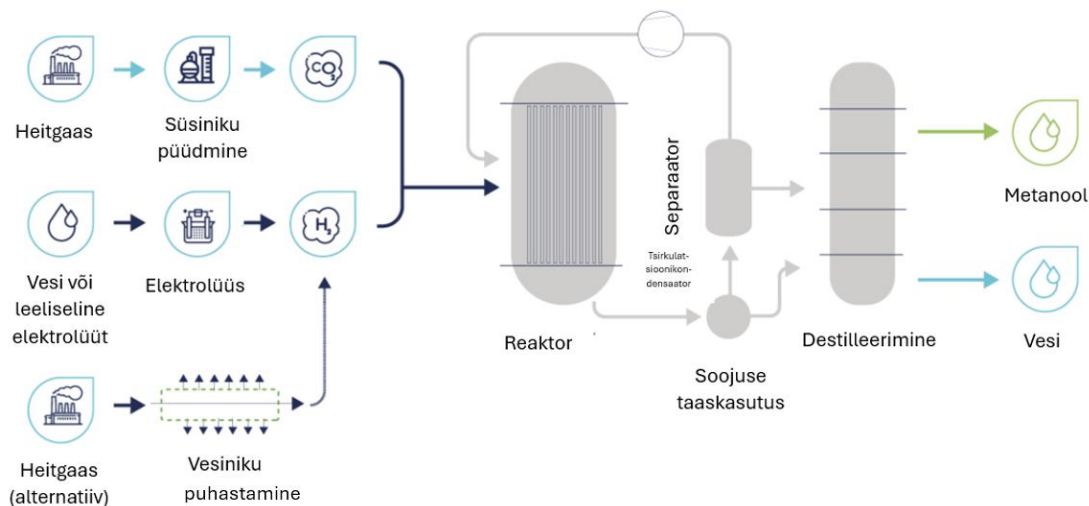
3. E-bensiin (TVT 6)

Nagu e-diisli tootmine, vajab sünteetilise bensiini tootmine samu koostisosade ja järgib identseid tootmisprotsesse. Jällegi on FT ja metanooli süntees võimalikud viisid e-bensiini tootmiseks. Ainus erinevus on, et metanoolist bensiini valmistamine järgib erinevat täiendavat töötlemisprotsessi, mis on tehnoloogia, mis on sama küps kui MtD protsess. MtG tehnoloogia sisaldab mitmeetapilist protsessi metanooli muundamiseks bensiiniks, töötemperatuuridega 300–400°C ja rõhkudega 15–20 bar. Tootmise ja jätkusuutlikkuse kriteeriumid on sarnased e-diisli tootmisele.⁶⁶

4. E-metanool (TVT 7-9)

Kui metanooli tootmisel kasutada süsinikuallikana CO₂ ja vesinikku elektrolüüsist, siis saadaksegi e-metanooli. Euroopas on kasutusel tootmisüksus (Carbon Recycling International Islandil), mis suudab toota aastas 4000 t e-metanooli ja seega on antud tehnoloogia TVT on 7-9.⁶⁷

Joonis 5.6. E-metanooli tootmine CRI protsessi näitel



Sama ettevõtte tehnoloogiat on kasutatud ka 110 000 t/a tootmismahuga tehases Anyangis Henani provintsis Hiina Rahvavabariigis. Sarnast tehnoloogiat pakub ka European Energy olles ehitanud 42 000 t/a tootmisvõimsusega e-metanooli tehas Kassos Taanis, kus CO₂ allikaks on biogaasitehas.⁶⁸ Teisest küljest on Ørsted lõpetanud e-

⁶⁵ Working Group on Monitoring Methodologies of CO₂ Neutral Fuels (2024). *Monitoring the use of CO₂ neutral fuels in road transport a cross-sectoral industry assessment*.

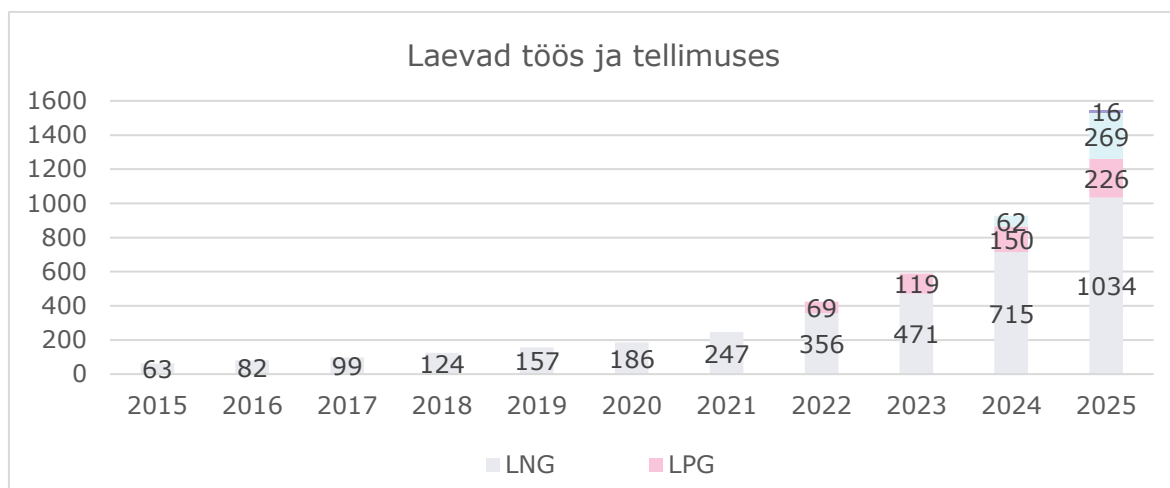
⁶⁶ International Energy Agency (2023). *The Role of E-fuels in Decarbonising Transport*.

⁶⁷ Carbon Cycling International (n.d.). *Carbon Dioxide Emissions to Renewable Methanol Value*. [Link](#). (külastatud 30.04.2025).

⁶⁸ European Energy (n.d.) E-methanol: *A game changer for decarbonising heavy transport and industry*. [Link](#). (külastatud 30.04.2025).

metanooli tehase ehitamise Örnköldsvikis Põhja-Rootsis viidates vähestele metanoolinõudlusele.⁶⁹ Tehase planeeritud tootmismahd oli 55 000 t/a ja tehnoloogia tarnijaks Topsoe.⁷⁰ Ülaltoodud näidete põhjal võib väita, et e-metanool on tootmiseks küps, kuid turunõudlus peab järgi tulema. Optimismis võiks sisaldada uute laevade tellimused, mis juba on planeeritud kasutama alternatiivseid kütuseid (joonis 5.7.).⁷¹

Joonis 5.7. Alternatiivseid kütuseid kasutavate laevade arv



Uued laevad on küll peamiselt planeeritud kasutama veeldatud maagaasi (ka biogaasi), kuid siiski u 17% tellitud laevadest kasutavad laevakütusena metanooli.

C. Vedelgaas

1. LPG kütus taastuvast biogeenselt päritolust (TVT 9)

Vedelgaas, mida tavaliselt nimetatakse autogaasiks või LPG-ks (vedel naftagaas), sisaldab peamiselt propaani (C₃H₈) ja butaani (C₄H₁₀). Suhteliselt madalal rõhul (6-8 baari 20°C juures) jääb see vedelikuks, kuid muutub põlevaks gaasiks, kui vabastatakse atmosfääri rõhul. Dimetüüleeter (DME), LPG taastuv alternatiiv, jagab sarnaseid omadusi LPG-ga ja saab kasutada kas otse või segatuna sellega. Füüsikalistelt omadustelt sarnane propaani ja butaaniga, jääb DME mõõduka rõhu all vedelikuks (u 5,6 bar ja 20°C) ning on ühilduv olemasoleva LPG infrastruktuuriga. Kui segada kuni 12% massist, saab DME-d kasutada LPG mootorites ilma muudatusteta. Taastuvad vedelgaasid (r-LG) hõlmavad taastuvat propaani, butaani, BioLPG-d (bioPropaani) ja e-LPG-d, mida tuntakse koos kui r-LPG, ning taastuvat dimetüületrit, mida nimetatakse taastuvaks DME-ks. Taastuv LPG (tuntud ka kui "bioLPG") pärineb mittefossiilsetest ja/või taastuvatest/taaskasutatud allikatest, koosneb propaanist ja/või butaanist või segudest teiste kergemate süsivesinikega. Taastuv ja taaskasutatud süsinik DME - biogeenselt materjalist,

⁶⁹ Habibic, A. (2024). Slow-developing e-fuel market prompts Ørsted to terminate FlagshipONE project. *Offshore Energy*. [Link](#). (külastatud 30.04.2025).

⁷⁰ Topsoe (2024). *Setting sail for Europe's largest e-methanol facility*. [Link](#). (külastatud 30.04.2025).

⁷¹ DNV (2024). *Maritime Forecast 2050. Energy Transition Outlook*. [Link](#).

mitteorgaanilisest omavalitsuse jäätmetest, püütud CO₂-st. Keemiliselt sarnane propaani ja butaaniga, saab kasutada otse või segatuna. Taastuvat LPG-d saab toota bioloogilistest allikatest ja potentsiaalselt taastuvast elektrist ning CO₂-st. Praegu saadakse seda peamiselt HVO-tehastest, kus see on kõrvaltoode taastuva diislikütuse või SAF tootmisest.⁷²

2. E-LPG – CO₂ ja H₂ kütuseks: LPG kütus taastuvast mittebiogeensest päritolust (TVT 6)⁷³

E-LPG (elektro-LPG) on taastuv, mittebiogeense päritoluga kütus, mis sünteesitakse CO₂-st ja vesinikust, mis on toodetud taastuvast elektrienergiast läbi elektrolüüsi. Seda saab toota süsivesinike sünteesiprotsesside kõrvaltootena, nt Fischer-Tropschi (FT) või metanoolist bensiini (MtG) protsess, või peamise tootena protsessidest, mis otse sünteesivad LPG-d, kombineerides CO₂ ja vesinikku. E-LPG sõltub taastuvast elektrienergiast vesiniku genereerimiseks ja saab kasutada tööstuslike heitkoguste või otsese õhust püüdmisel kinni püütud CO₂-d, tagades suletud süsiniku tsükli.

D. Maagaasi asenduskütused

Biogaasid on biometaani vormid (nt bioCNG, bioLNG) või e-metaan.

1. **BioMetaan** („taastuv maagaas“) on peaaegu puhas metaaniallikas, mida toodetakse kas biogaasi „täiustamise“ kaudu (protsess, mis eemaldab biogeense CO₂ ja muud biogaasis esinevad saasteained) või tahke biomassi gaasifitseerimise ja seejärel metanatsiooniga. Enamik biometaanist pärineb jäätmeallikatest läbi anaeroobse lagundamise. Termiline gaasifitseerimine biometaani sünteesi ja hüdrotermiline gaasifitseerimine on demonstreerimisjärgus.
2. **BioCNG** on kompressitud gaasiline biometaani vorm, mida saab ladustada 200 baari juures.
3. **BioLNG** on biometaan vedelas faasis, mis tagab suurema energiatihenduse.
4. **E-metaan** (TVT 6)⁷⁴ sünteetiline maagaas, mida toodetakse Power-to-Gas (PtG) protsessi abil, kus taastuvenergiast toodetud vesinik (H₂) reageerib süsinikdioksiidiga (CO₂), moodustades metaani (CH₄). Seda peetakse süsinikuneutraalseks alternatiiviks fossiilsele maagaasile.⁷⁵

⁷² Working Group on Monitoring Methodologies of CO₂ Neutral Fuels (2024). *Monitoring the Use of CO₂ Neutral Fuels In Road Transport A Cross-Sectoral Industry Assessment*.

⁷³ International Energy Agency (2023). *The Role of E-fuels in Decarbonising Transport*.

⁷⁴ International Energy Agency (2023). *The Role of E-fuels in Decarbonising Transport*.

⁷⁵ Working Group on Monitoring Methodologies of CO₂ Neutral Fuels (2024). *Monitoring the use of CO₂ neutral fuels in road transport a cross-sectoral industry assessment*.

5.1.2 Meretranspordikütused

Tuleviku kütusesegu laevanduse ja logistika jaoks tõenäoliselt olema erinevate alternatiivide kombinatsioon, nagu metanool, ammoniaak, biokütused, elekter, vesinik, LNG, LPG ja tuumaenergia.

Metanool, mitmekülgne ja kergesti kättesaadav keemiline aine, mida saab toota erinevatest taastuvatest allikatest, on üks potentsiaalseid alternatiivseid kütuseid, mille laiemat kasutuselevõttu kaalutakse laevanduses, kuna valdkond on seadnud eesmärgiks süsinikuneutraalsuse.

Ammoniaaki saab kasutada erinevates laevamootorites, sealhulgas kahekütuselisel töötavates mootorites, mis võimaldavad lülituda ammoniaagi ja tavapäraste kütuste vahel. Ammoniaagi kõrge energiasisaldus ja madal viskoossus teevad sellest sobiva valiku pikamaa meretranspordi jaoks. Siiski seisab ammoniaagi laialdane kasutuselevõtt merenduses silmitsi probleemidega, mis on seotud ladustamise ja punkerdamistaristu puudulikkusega. Ammoniaagi ohutu ja tõhus käitlemine nõuab spetsiaalset varustust ja rajatisi, mida laevandustööstuses on hetkel piiratud määral.

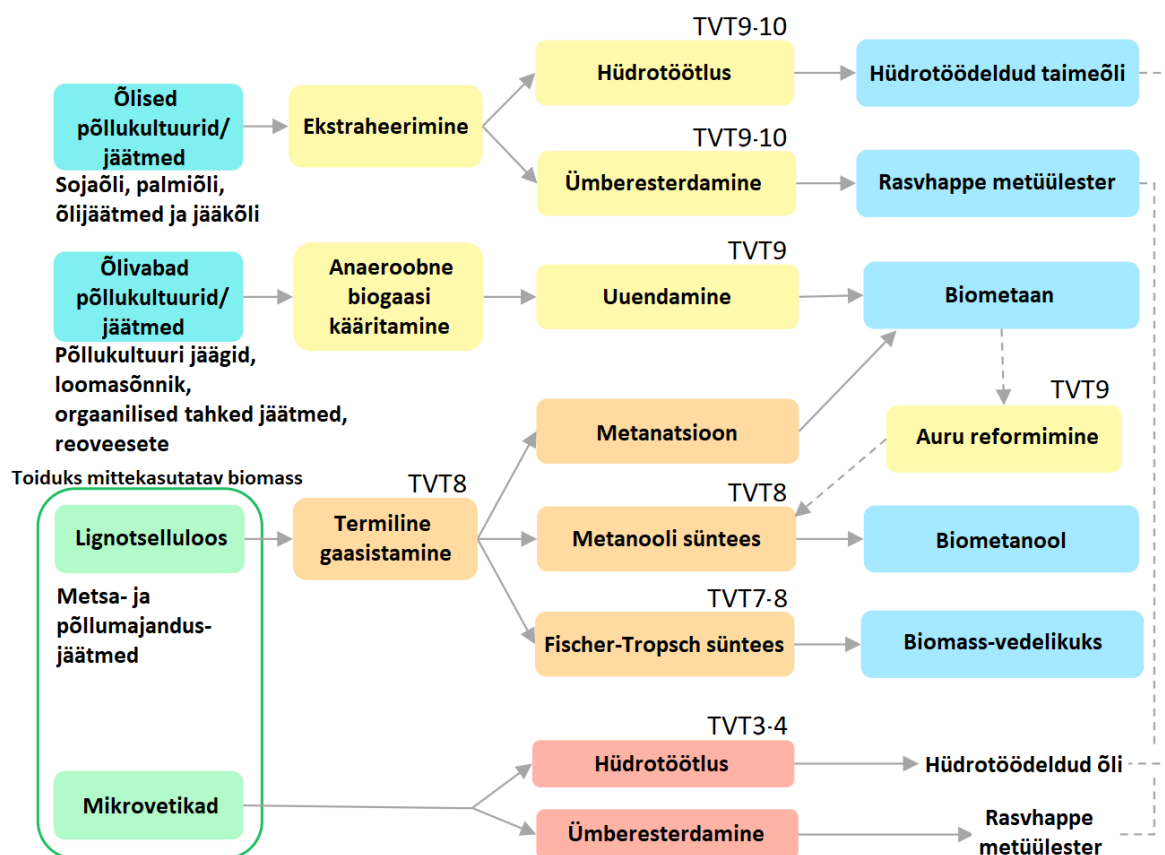
Elektrienergia laevamootorite jaoks on innovatiivne ja keskkonnasõbralik alternatiiv traditsioonilistele meremootorisüsteemidele. Antud tehnoloogia kasutab sõukruvide liikumiseks elektrimootoreid, mis tekitab mitmeid eeliseid võrreldes tavapäraste meetoditega. Elektrilised jõuseadmed töötavad tavaliselt diiselmootorite või turbiinide abil, mis toodavad elektrit mootorite käitamiseks. Sellised süsteemid tekitavad vähem reostust ja on tõhusamad, aidates vähendada nii tegevuskulusid kui ka keskkonnamõju.

Vesiniku madal energiatihedus võrreldes tavapäraste kütustega nõuab suuremaid säilitusmahuteid, mis omakorda mõjutab laeva konstruktsiooni ja kandevõimet. Lisaks on see tehnoloogia alles arengu algfaasis ning tootmise, jaotamise ja punkerdamise infrastruktuur on samuti alles väljakujunemisel. Praegu viiakse ellu mitmeid algatusi pilootprojektidega, mis hõlmavad vesinikukütusel töötavaid laevu ja mille eesmärk on demonstreerida selle tehnoloogia teostatavust. Uuringud keskenduvad peamiselt salvestusmeetodite täiustamisele ja tõhusate mootorite väljatöötamisele.

LNG kasutamine merenduses vähendab märkimisväärselt heitmeid, olles keskkonnasõbralikum valik võrreldes traditsiooniliste laevakütustega. LPG kerkib esile kui paljutootav alternatiivne kütus merendussektoris, pakkudes puhtamat ja jätkusuutlikumat võimalust laevade jõul töötamiseks.

Tuumaenergia kujuneb võimalikuks murranguliseks lahenduseks laevanduse ja avamere-tööstuse jaoks. Tuumaenergia toel töötavad laevad ei ole uus kontseptsioon, kuid need võiksid pakkuda märkimisväärselt kasvuhoonegaaside heitmete vähenemist võrreldes tavapäraste kütustega.⁷⁶

⁷⁶ Lloyd's Register Foundation (2024). *Alternative fuel sources for ships: trends and developments. Marine fuels: options and innovations.* [Link.](#)

Joonis 5.8. Merenduses kasutatavate biokütuste tootmistehnoloogiad ja nende TVT tasemed

Biokütus on kujunemas paljutootavaks alternatiiviks traditsioonilistele fossiilkütustele laevandustööstuses, pakkudes võimalust vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid ja liikuda jätkusuutlikuma tuleviku suunas. Merendussektor uurib erinevaid biokütuste tüüpe, sealhulgas rasvhapete metüülestrid (FAME), hüdrotöödeldud taimeõlid (HVO), biomassist vedelkütused (BTL), glütserool ning puhast taimeõli (SVO). Joonisel 5.8 on esitatud merenduses kasutatavate biokütuste tootmistehnoloogiad ja nende TVT tasemed.⁷⁷

2024. a avaldatud uuringus vaadeldi kolme laevatüübi keskkonnamõju, majandustulemusi ja süsiniku vähendamise kulusid läbi 23 erineva dekarboniseerimise raja. Töö tulemusena leiti, et kütuse tootmisviis on määrava tähtsusega emissioonide vähendamiseks. Gaasistamisest saadud biokütused, biometanool ja biometaan on eelistatud ammoniaagile ja vesinikule samas kui e-kütuste korral kerkivad esile ammoniaak ja metanool parimate valikutena. Akutehnoloogiad ei paku lahendust pikamaatranspordis ei keskkonna ega ka majandusliku tasuvuse seisukohast. Viimane juht kehtib ka vesiniku korral. Sinikütuste keskkonnavalajälje vähendamise tõhusus jääb piiratuks võrreldes e- ja biokütustega, kuid pakuvad majanduslikult soodsamat lahendust. Süsinikupüüdmise tehnoloogiad on odavad – umbes 150–190 € tCO₂ekv

⁷⁷ International Energy Agency. (2024). *Energy Technology Perspectives 2024*. [Link](#).

kohta. Üldiselt on kõige paljulubavam kütus biometanool, mille süsiniku jalajälje vähendamise maksumus on vahemikus 110–120 € tCO₂ekv kohta ja madalaima elutsükli maksumusega.⁷⁸

5.1.3 Lennunduskütused

Jätkusuutliku lennukikütuse (SAF) tootmiseks on palju erinevaid meetodeid. Need muundamistehnoloogiad suudavad muuta reaktiivkütuseks väga erinevatest komponentidest koosnevat biomassi jt jäätmeühendite lähteaineid (sh CO₂). Praeguses etapis on SAF-i tootmiseks kaubanduslikus lennunduse tarbeks sertifitseeritud kaheksa erinevat tehnoloogiaplatvormi.

Fischer-Tropschi protsess (FT)

FT-protsess kasutab süsinikku sisaldavat toorainet ja lagundab selle gaasilistesse ehitusplokkidesse (sünteesgaas). Seejärel ühendab FT-süntees need plokid SAF-i (jätkusuutlik lennukikütus) ja muude kütuste moodustamiseks. ASTM on seni sertifitseerinud kaks erinevat FT-protsessi: üks toodab parafiinse reaktiivkütuse (SPK) ja teine sisaldab lisaks aromaatsid ühendeid (SAK). Mõlemad võivad kasutada ükskõik millist süsinikku sisaldavat toorainet. Maksimaalne segamissuhe on 50%.

Hüdrotöödeldud estrid ja rasvhapped (HEFA)

HEFA tehnoloogia kasutab taimeõlised, jäätmeõlised või rasvu, mida töödeldakse vesiniku abil (hüdrokeenimine), et toota SAF-i. Esmalt eemaldatakse hapnik (hüdrokeoksügenatsioon), seejärel lõhutakse ja isomeriseeritakse parafiinsed molekulid soovitud kütuse ahela pikkuseks. HEFA protsess sarnaneb taastuvdiisli tootmisele, kuid süsinikahelate lõhustamine on intensiivsem. Maksimaalne segamissuhe: 50%.

Sünteesitud *iso*-parafiinid (SIP)

SIP on bioloogiline protsess, kus mikroorganismid muudavad C₆-suhkrud farneseeniks, mida saab pärast töötlemist vesinikuga kasutada SAF-ina. Maksimaalne segamissuhe: 10%.

Alkoholist reaktiivkütuseni (AtJ)

AtJ-tehnoloogia muundab alkoholid SAF-iks, eemaldades hapniku ja ühendades molekulid soovitud süsinikahela pikkuseks (oligomerisatsioon). Praegu on lubatud kasutada kahte toorainet: etanooli ja isobutanooli. Alkoholide päritolu ei ole täpsustatud. Maksimaalne segamissuhe: 50%.

⁷⁸ Kanchiralla, F.M., Brynolf, S. & Mjelde, A. (2024). Role of biofuels, electro-fuels, and blue fuels for shipping: environmental and economic life cycle considerations. *Energy Environ. Sci.*, 17, 6393-6418. [Link](#).

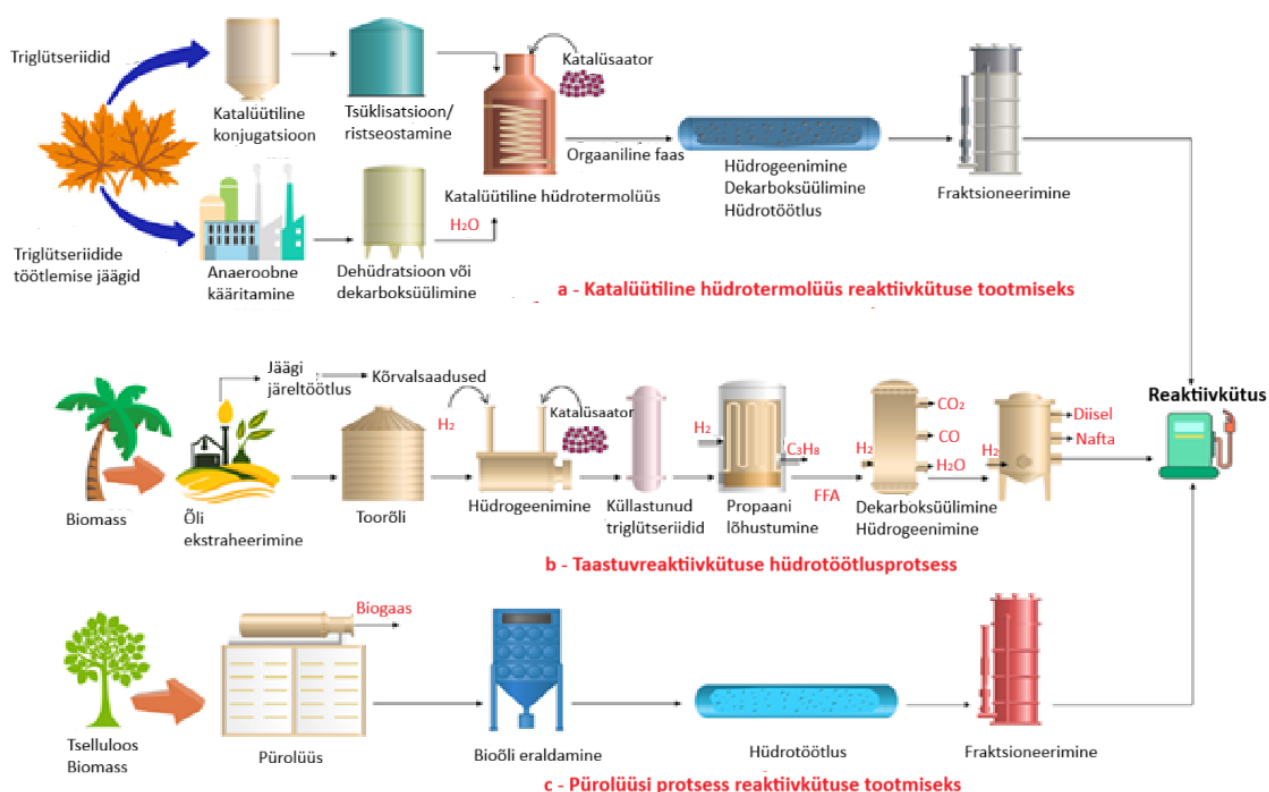
Katalüütiline hüdrotermolüüs (CHJ) ja Hüdrotöödeldud depolümeeriseeritud tselluloos (HDCJ)

CHJ tehnoloogia muudab rasvhappe estrid ja vabad rasvhapped SAF-iks katalüütilise hüdrotermolüüsi abil, millele järgneb hüdrotöötlus, hüdrokrakkimine või hüdroisomerisatsioon ja fraktsioneerimine. Maksimaalne segamissuhe: 50%.

Hüdrotöödeldud depolümeeriseeritud tselluloosist reaktiivkütusest rääkides hõlmab see tehnoloogiline suund muundamisprotsesse, mis põhinevad pürolüüsil, hüdrotermilisel vedeldamisel või hübriidsetel meetoditel. Nende protsesside käigus saadakse bioõlid, mida saab termokeemiliselt vääridada, et toota tavakütustega segatavaid reaktiivkütuseid.

Nende protsesside skeemid on esitatud Joonisel 5.9.

Joonis 5.9. Reaktiivkütuste tootmine CHJ ja HDCJ meetoditega⁷⁹



a) Katalüütiline hüdrotermolüüs – lahustipõhine meetod, mis hõlmab õli triglytseriidide muundamist reaktiivkütuseks, kasutades katalüsaatorit, kuumust ja vett kõrge rõhu all. Kõrgenenud temperatuuride ja rõhkude kombinatsioon soodustab õlimolekulide lagunemist väiksemateks süsivesinike fragmentideks; seejärel katalüsaator hõlbustab nende fragmentide ümberkorraldamist ja muundamist süsivesinikeks, mis puhastatakse edasi, et vastata reaktiivkütuse nõuetele.

b) Hüdrotöödeldusega taastuvreaktiivkütuse protsess – õli muundamine reaktiivkütuseks hõlmab mitmeid olulisi etappe. Esiteks allutatakse tooraineõli hüdrotöötlusele, protsessile, mille käigus seda kombineeritakse vesinikuga ja viiakse katalüsaatori kihile

⁷⁹ Ahmed E. Mansy, Samuel Daniel, Cedric Karel Fonzeu Monguen, Hao Wang, Ahmed I. Osman⁶, Zhen-Yu Tian. (2025). Catalytic production of aviation jet biofuels from biomass: a review. Environmental Chemistry Letters 23:419–461. [Link](#).

hüdrotöötlusreaktoris, mis töötab kõrge temperatuuride ja rõhkude juures. Hüdrotöötluste käigus eemaldatakse õlist väävel-, lämmastik- ja hapnikuühendid, samal ajal kui küllastumata süsivesinikud küllastatakse hüdrogeenimise abil. Seejärel allutatakse hüdrotööteldud õli hüdrokraakimisele katalüsaatori abil, et lagundada suured süsivesinike molekulid väiksemateks, väärtuslikumateks süsivesinikeks, mis sobivad reaktiivkütuseks.

c) Pürolüüsi protsess reaktiivkütuse tootmiseks – õli muundamine reaktiivkütuseks toimub järjestikustes etappides. Alguses allutatakse tselluloosi ja biomassi pürolüüs, hapnikuta termiline lagunemisprotsess, mis viib suuremate süsivesinike molekulide lagunemiseni väiksemateks, kergemini aurustuvateks molekulideks. Pürolüüsi järel eraldatakse saadud tooted – bioõli, gaas ja biosöe. Bioõli osa allutatakse seejärel täiendavatele hüdrotöötlustele ja hüdrokraakimisele, et eemaldada lisandeid, parandada stabiilsust ja muuta keemilist koostist, et see vastaks reaktiivkütuse nõuetele. Väärindatud bioõli töödeldakse ja edasi fraktsioneeritakse.

Hüdrotööteldud süsivesinikud, estrid ja rasvhapped (HC-HEFA)

Biopäritoluga süsivesinikke, vabu rasvhappeid ja rasvhappe estreid töödeldakse sarnaselt HEFA-protsessile: küllastatakse molekulid ja eemaldatakse praktiliselt kogu hapnik. Tuntud biotooraine on vetikaliik *Botryococcus braunii*. Maksimaalne segamissuhe: 10%.

Kaastöötlus (Co-processing)

Kaastöötluste puhul töödeldakse taimeõlised, jäätmeõlised või FT-vaha koos tavapärase toornaftaga olemasolevates rafineerimistehastes. See ei ole otseselt SAF-i tootmistehnoloogia, vaid pigem tulemuseks pärast väikeste koguste biotoorainete kaasamist fossiilkütuste töötlemisse. D7566 spetsifikatsioonil pole selle jaoks lisa, kuid lubatavus põhineb D1655 fossiilkütuse spetsifikatsiooni muudatusel.

Oluline märkus: Fakt, et tehnoloogia on sertifitseeritud, ei tähenda, et seda kasutatakse tööstuslikus ulatuses. Tänapäeval on ainus kaubanduslikult kättesaadav SAF HEFA-põhine kütus, mis on toetanud üle 95% SAF-lendudest. Lisaks neile kaheksale teele on arendamisel veel mitmeid teisi tooraine/tehnoloogia kombinatsioone (Tabel 5.2), mis ootavad ASTM-sertifitseerimist.⁸⁰

Tabel 5.2. SAFi tootmiseks tehnoloogiad ja nende TVT tasemed^{81 82 83}

Tehnoloogia	Tooraine	Protsess	TVT
FT	Biomass, jäätmed	Gaasistamine → FT süntees	6–8
HEFA	Kasutatud õlid, loomsed rasvad, taimeõlid	Hüdrotöötlus	9
ATJ	Bioetanool, isobutanool	Alkohol → dehüdratsioon → GP	7–8
SIP	C6-suhkrud	Mikrobioloogia → hüdrotöötlus	2–5
CHJ	Taimeõlid	Katalüütiline hüdrotöötlus	5–6
HDCJ	Lignotselluloosne biomass	Depolümeerisatsioon + hüdrotöötlus	4–6

⁸⁰ SkyNRG (n.d.). Technology Basics. [Link.](#)

⁸¹ SkyNRG (2024). *Sustainable Aviation Fuel Market Outlook 2024*. [Link.](#)

⁸² Clean Aviation (2024). *Clean Sky 2 Technology Evaluator. Second Global Assessment 2024*. [Link.](#)

⁸³ Destination 2025 (2025). *A Route to Net Zero European Aviation*. [Link.](#)

Tehnoloogia	Tooraine	Protsess	TVT
e-SAF / PtL	Vesi + CO ₂ + roheline elekter	Elektrolüüs → sünteesgaas → FT	4–7
RCF	Tööstuslikud CO/CO ₂ heitmed	Katalüüs või mikrobioloogia	5–7

ReFuelEU lennunduse määrus (määrus (EL) 2023/2405, edaspidi "RFEUA") sätestab artiklis 13, et EASA peab alates 2025. aastast igal aastal koostama ja avaldama tehnilise aruande. See tehniline aruanne peab sisaldama mitmesuguseid elemente, sealhulgas teavet säästvate lennukikütuste (SAF) ja teiste RFEUA nõuetele vastavate lennukikütuste hindade kohta Euroopa Liidus.

2024. aasta keskmine hind iga RFEUA lennukikütuste kategooria kohta on esitatud allpool Tabelis 5.3. Võimalusel on võrdlushinnad määratud hindade indekseerimise agentuuride hallatavate hinnapäitajate alusel (tuntud ka kui reaalne indekshind või turuhind). Nende RFEUA lennukikütuste puhul, millele 2024. aastal turuhind puudus, on võrdlushinnad arvutatud alt-üles tootmiskulude hindamismetoodika alusel (tuntud ka kui varuhind või tootmiskulude hindamine).⁸⁴

Tabel 5.3. 2024. aasta keskmised hinnad RFEUA lennukikütuste kategooria kohta

RFEUA lennukütuste kategooria	Tootmiskulude hinnang (€/tonn) ¹
Jätkusuutlikud lennukikütused (SAF)	
Süntetilised lennukikütused (kaalutud keskmine)	Keskmine 7,695 [6,820 – 9,405]
Süntetilised lennukikütused tööstuslikust CO ₂ -st	Keskmine 7,695 [6,820 – 8,590]
Süntetilised lennukikütused biogeensest CO ₂ -st	Keskmine 7,695 [6,820 – 8,590]
Süntetilised lennukikütused atmosfäärsest CO ₂ -st	Keskmine 8,470 [7,575 – 9,405]
Täiustatud lennukibiokütused	Keskmine 2,715 [1,915- 3,655]
Lennukibiokütused	1,461
Taastöödeldud süsinikust lennukikütused	Keskmine 2,280 [1,940 – 2,595]
Muud sobilikud taastuvad ja vähese süsinikusisaldusega lennukikütused	
Taastuv vesinik lennunduse jaoks	Keskmine 7,520 [6,550 – 8,515]
Vähese süsinikusisaldusega vesinik lennunduse jaoks	Keskmine 4,655
Süntetilised vähese süsinikusisaldusega lennukikütused	Keskmine 5,525 [5,180 – 5,870]

⁸⁴ EASA (2025). 2024 Aviation Fuels Reference Prices for ReFuelEU Aviation. EASA 2025 Briefing Note. [Link](#).

¹Keskised hinnad on esitatud eurodes tonni toote kohta, ilma energiasaldust arvestamata.

Eestis puuduvad hetkel tööstuslikud võimsused jätkusuutliku lennukütuse (SAF) tootmiseks, näiteks HEFA, FT või muude tänapäevaste tehnoloogiate alusel. Praegu imporditakse SAF, mida Eestis kasutatakse, välismaalt — ettevõttelt Neste, mis on maailma juhtiv SAF-i tootja.

2024. aastal käivitasid Eesti ja Läti ühise projekti (“Developing Technological Solutions and Production Possibilities for Sustainable Aviation Fuel in Estonia and Latvia”), mille eesmärk on uurida võimalusi jätkusuutliku lennukütuse tootmiseks. Projekti raames viiakse läbi turu, tehnoloogiate ja tootmisvõimaluste analüüs ning koostatakse soovitusel riikliku poliitikatele ja potentsiaalsetele investoritele. Projekti lõppkuupäev on 31. november 2025.⁸⁵

5.1.4. Vesinik elektrolüüsi teel. TVT 7-9.

Vesinik - veest elektrolüüsil või vesinikurikkast orgaanilisest toormest gaasistamise teel saadud kütus.

Aluselise või polümeerelektrolüütmembraanelektrolüüsi teel vesiniku tootmine. Leeliselised elektrolüüserid töötavad hüdroksiidioonide (OH⁻) transpordi kaudu läbi elektrolüüdi katoodilt anoodile, kusjuures katoodi poolel tekib vesinik. Elektrolüüserid, mis kasutavad elektrolüüdina vedelat leeliselist naatrium- või kaaliumhüdroksiidi lahust, on olnud kaubanduslikult saadaval juba aastaid. Uuemad lähenemisviisid, mis kasutavad elektrolüüdina tahkeid leelisevahetusmembraane (AEM), on labori skaalal läbi proovitud ja tõhusaks osutunud.

Polümeerelektrolüütmembraani (PEM) elektrolüüseris on elektrolüüt tahke plastmaterjal. Vesi reageerib anoodil, moodustades hapnikku ja positiivselt laetud vesinikioone (prootoneid). Elektronid liiguvad läbi välise ahela ja vesinikioonid liiguvad valikuliselt läbi PEM-i katoodile. Katoodil ühinevad vesinikioonid välise ahela elektronidega, moodustades gaasilise vesiniku. Anoodi reaktsioon: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ katoodireaktsioon: $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$

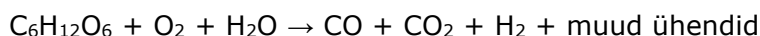
Tahkeoksiidelektrolüüserid kasutavad elektrolüüdina tahket keraamilist materjali, mis juhib kõrgemal temperatuuril selektiivselt negatiivselt laetud hapnikioone (O₂⁻), toodavad vesinikku veidi erineval viisil võrreldes eelmises lõigus kirjeldatud AE või PEM süsteemidega. Katoodil olev aur reageerib välise ahela elektronidega, moodustades vesinikgaasi ja negatiivselt laetud hapnikioone. Hapniku ionid läbivad tahke keraamilise membraani ja reageerivad anoodil, moodustades hapnikugaasi ja genereerides elektrone välise vooluringi jaoks. Tahkeoksiidelektrolüüserid peavad töötama piisavalt kõrgetel temperatuuridel, et tahkeoksiidmembraanid korralikult toimiksid (umbes 700–800 °C, võrreldes PEM-elektrolüüsiritega, mis töötavad temperatuuril 70–90 °C, ja kaubanduslike leeliseliste elektrolüüsiseadmetega, mis

⁸⁵ PricewaterhouseCoopers (2024). *Launch of the Project on Developing Technological Solutions and Production Possibilities for Sustainable Aviation Fuel in Estonia and Latvia*. [Link](#).

töötavad tavaliselt temperatuuril alla 100 °C). Prootonit juhtivatel keraamilistel elektrolüütidel põhinevad täiustatud laboratoorsed tahke oksiidelektrolüüserid lubavad alandada töötemperatuuri 500–600 °C-ni. Tahkeoksiidi elektrolüüserid saavad tõhusalt kasutada kõrgetel temperatuuridel saadaolevat soojust (mitmesugustest allikatest, sealhulgas tuumaenergiast), et vähendada veest vesiniku tootmiseks vajaliku elektrienergia hulka.

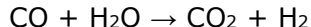
Gaasistamine on protsess, mille käigus muudetakse orgaanilised või fossiilpõhised süsinikmaterjalid kõrgel temperatuuril (>700°C) kontrollitud koguse hapniku ja/või auruga põlemata süsinikmonooksiidiks, vesinikuks ja süsinikdioksiidiks. Süsinikoksiid reageerib seejärel veega, moodustades vee-gaasi nihkereaktsiooni kaudu süsinikdioksiidi ja rohkem vesinikku. Adsorberid või spetsiaalsed membraanid võivad vesiniku sellest gaasivoost eraldada.

Reaktsiooni lihtsustatud näide:



Tähele tuleks panna, et ülaltoodud reaktsioonis kasutatakse tselluloosi asendusainena glükoosi. Tegelikult biomassi koostis ja keerukus on väga varieeruv, kusjuures üheks peamiseks komponendiks on tselluloos.

Vesi-gaas nihkereaktsioon:



Pürolüüs on biomassi gaasistamine hapniku puudumisel. Üldjuhul ei gaasistu biomass nii kergesti kui kivisüsi ja see tekitab gaasistajast väljuvas gaasisegus muid süsivesinike ühendeid; see kehtib eriti siis, kui hapnikku ei kasutata. Selle tulemusena tuleb tavaliselt võtta täiendav samm nende süsivesinike reformimiseks katalüsaatoriga, et saada vesinikust, süsinikmonooksiidist ja süsinikdioksiidist koosnev puhas sünteesigaasi segu. Seejärel, nagu vesiniku tootmise gaasistamisprotsessis, muundab nihkereaktsiooni etapp (auruga) süsinikmonooksiidi süsinikdioksiidiks. Seejärel toodetud vesinik eraldatakse ja puhastatakse.

5.1.5 Tahked biokütused

Puitkütuseid võib liigitada päritolu järgi: metsast saadavad biokütused, energia metsast (võsast) saadavad kütused, korduvkasutusega kütused (ehitus-, lammutus-, pakkepuit). Teiseks liigitatakse puitkütuseid väärindamise astme järgi: väärindamata (küttepuit, hakkpuit, puidutöötlemise jäätmed, pressitud puidujäätmed) ja väärindatud puitkütused (puitbrikett ja puidugraanul). Väärindamata puitkütus on mehaaniliselt peenestatud ja pakitud, kuid kütuse mehaanilised omadused on jäänud muutmata. Puit ja teised biokütused (nt turvas) koosnevad lignotselluloosest orgaanilisest ainest ehk põlevosast ja ballastist (vesi ja tuhk). Põlevosa ja tuhk moodustavad kütuste kuivaine osa.

Puidugraanulid (TVT 9) - biokütus, mida toodetakse kokkupressitud peenestatud puidust. Puidugraanulid on kõige levinum graanulkütus ja on valdavalt tehtud saepurust ja muudest puiduga seotud tööstusjääkidest (sae-, mööbli- ja puidutööstus, puitehitus) ning samuti energia tootmiseks kasvatatavatest taimedest ja toorpuidust. Puidust ehitus-

ja pakkejäätmel sisaldavad võõriseid (metallkinnitusi, betooni, krohvi, plasti, klaasi jt), mistõttu ei sobi pakendi- või lammutusjäätmeldest kütuse tootmiseks tavalised puidupurustid. Vajalik on kasutada spetsiaalset purustit ning eraldada sõelumise teel kütusest võõriseid. Puitkütustele esitatakse kõrgendatud nõudeid kuivaine (põlevosa ja tuhk) ning veesisalduse kohta.

5.1.6. Madala süsiniku jalajäljega kütused fossiilsetest jäätmeallikatest

A. Teras- ja keemiatööstuse heitgaasid

Nende protsesside toorainena kasutatakse erinevaid tööstuslikke jäätme-gaase, mida senini paisatakse õhku (*flaring*) või kasutatakse energia (elektri ja/või soojust) tootmiseks rohkem, kui on vaja nende protsesside sisemiseks tarbeks. Sellisteks gaasideks on näiteks koksiahjugaas (COG), kõrgahjugaas (BFG) ja hapnikukonverterigaas (BOF gaas) terasetööstuses, samuti legermetallide tootmise konverteri gaas ja rafineerimistehase heitgaasid, mis on sarnased BOF gaasile. Koksiahju gaas ja rafineerimistehase kütusegaasid on rikkad metaani ja teiste süsivesinike poolest, samas kui teised gaasid sisaldavad suures koguses CO-d, kuid on madala süsivesinikusisaldusega. Selliseid gaase saab kasutada FT süsivesinike või metanooli tootmiseks juhul, kui neist genereeritakse sünteesigaasiga sarnane gaas. Kõrge süsivesinikusisaldusega gaase töödeldakse aurureformimise või osalise oksüdatsiooni teel, et toota sünteesigaasi. CO-rikaste gaaside katalüütiline muundamine nõuab, et sünteesigaasis oleks H₂ õigetel proportsioonides, mida on võimalik saavutada vee-gaasi nihke reaktsiooniga, kus CO tarbitakse H₂ tootmiseks. Seejärel puhastatakse gaasid sünteesigaasi kvaliteedini ning muundatakse seejärel kütusteks sarnaste katalüütiliste reaktsioonide abil. On teada, et vähemalt ühes Hiina tehases toodetakse metanooli koksiahju gaasist.

Teine võimalus on gaasi fermenteerimine, mis võimaldab kasutada erineva CO ja H₂ sisaldusega gaasivoolusid otse etanooli tootmiseks, kuna kasutatavad atsetogeensed mikroobid suudavad efektiivselt läbi viia ka bioloogilise vesi-gaasi nihkereaktsiooni. Lisaks on gaasi puhtusnõuded vähem ranged kui keemilises katalüüsis. Toode-tud etanool eraldatakse destillatsiooni ja dehüdratsiooni teel. Protsessi lõpus väljub jääkgaas, mis sisaldab süsivesinikke, reageerimata CO-d ja H₂-te ning CO₂. Osa toorgaasi energiast kulub süsteemis mikroobse biomassi moodustamiseks. Liigset biomassi saab kasutada biogaasi tootmiseks anaeroobse kääritamise teel. Toode-tud biogaasi ja jääkgaasi saab kasutada protsessi energiavajaduste katmiseks.

Teras- ja keemiatööstuse heitgaasidest madala süsivesinikusisaldusega kütuste tehnoloogiate TVT tasemed on toodud Tabelis 5.5.

Lanzatech on välja töötanud tehnoloogia tasemel TVT7, mis läheneb TVT8-le, CO või sünteesigaasi fermenteerimiseks. Seda demonstreeritakse tööstuslikul skaalal – 45 000 tonni etanooli aastas (29 000 tonni/aastas) Hiina terasetehases, kus kasutatakse CO-rikast BOF gaasi.

Teine tehas on ehitamisel Belgias, kus BOF ja kõrgahjugaasi segust toodetakse 65 000 tonni etanooli aastas (42 000 toe/aastas). Lisaks on käimas mitmeid teisi projekte,

näiteks Aemetisega Lõuna-Aafrikas *ferroalloy* tootmise heitgaaside ja Indias rafineerimistehase gaaside kasutamiseks.⁸⁶

Eestis on selliseks gaasiks poolkoksigaas, mis tekib põlevkivi töötlemise käigus. Hetkel põletatakse see põlevkivitöötlemise käigus tekkiv kaasnev gaas ära. 2024. aastal põletatud poolkoksigaasi koguste andmed põlevkivitöötlemise ettevõtetes on esitatud tabelis 5.4.⁸⁷

Tabel 5.4 2024. aastal põletatud põlevkivi poolkoksigaasi kogus

Ettevõtte nimetus	Poolkoksigaasi põletamine 2024. aastal, tuh. Nm ³
Enefit Power AS, Eesti elektrijaam	54 720
Enefit Power AS, Auvere elektrijaam	69 846
Osaühing VKG Energia, Kohtla-Järve VKG Põhja soojuselektri jaam	114 684
Kiviõli Keemiatööstus OÜ	254 774*

*Generaatorgaas - põlevkivi töötlemise tehnoloogia eripära tõttu on gaas märkimisväärselt lahjendatud õhust lämmastikuga.

Teoreetiliselt sobib põlevkivi töötlemise käigus tekkiv poolkoksigaas, mida tekib aastas miljoneid kuupmeetreid, metanooli tootmiseks, kuna selle koostises leidub piisavas koguses süsivesinikke ja vesinikku, kuid Eesti põlevkivi keemiline koostis seab sellele reaalsed piirangud. Nimelt sisaldab põlevkivi väävlit ja märkimisväärsel hulgal karbonaate, mis mõjutab oluliselt gaasi koostist.

Selle tulemusel sisaldab põlevkivi töötlemisel tekkiv poolkoksigaas mitmeid soovimatuid ühendeid. Eelkõige leidub selles 2–3% vesiniksulfiidi (H₂S), umbes 10-15% CO₂, samuti lämmastikuühendeid ja muid saasteaineid.

Et kasutada seda poolkoksigaasi sünteesigaasi tootmiseks – mis on metanooli sünteesi eeldus – tuleb see eelnevalt põhjalikult puhastada. See eeldab keerukaid ja kulukaid puhastusprotsesse, sealhulgas vesiniksulfiidi ja CO₂ eemaldamist, mis tõstab tootmise hinda ning seab täiendavaid tehnoloogilisi nõudeid. Seetõttu on metanooli tootmine poolkoksigaasist küll tehniliselt võimalik, kuid majanduslikult ja keskkonnaliselt keeruline ilma täiendava toetuseta või arendustegevuseta.

Terase- ja keemiatööstuse heitgaasidest madala süsinikusisaldusega kütuste tehnoloogiate TVT tasemed on toodud Tabelis 5.5.

B. Plastijäätmed ja jäätmete fossiilsed fraktsioonid

Plastijäätmed, mittebiogeenne RDF-fraktsioon jne. saab töödelda nii eraldi kui ka koos biogeensete fraktsioonidega termilise konversiooni meetodite abil, nagu gaasistamine ja pürolüüs. Pürolüüsi ja gaasistamise meetodil saab töödelda plastijäätmeid, mida ei ole võimalik taaskasutada.

⁸⁶ Bacovsky, D. & Sonleitner, A. (2020). *A Report from the Advanced Motor Fuels TCP and IEA Bioenergy TCP, AMF Annex 58 /IEA Bioenergy Task 41 Project 10. The Role of Renewable Transport Fuels in Decarbonizing Road Transport. Production Technologies and Costs.* IEA Bioenergy. [Link](#).

⁸⁷ Keskkonnaamet. Kotkas. (n.d.). *Aastaruannete register.* [Link](#).

Üks töötlemisviis, millele viimasel ajal pööratakse palju tähelepanu, on eraldatud plastijäätmevoogude töötlemine pürolüüsi teel.

Plastijäätmete pürolüüs, eriti polüetüleeni, polüpropüleeni ja polüstüreeni fraktsioonide või segufraktsioonide töötlemine, toimub enamasti aeglase pürolüüsi meetodil temperatuuril 400 °C ahjudes või muudes kuumutusreaktorites, mille tulemuseks on segatud õlifraktsioon, süsi ja mõned gaasid, mida kasutatakse protsessi sees kütusena.

Pürolüüsist protsessist saadud õlifraktsiooni saab seejärel destillatsiooni teel jagada tavapärasteks süsivesinikkütuste fraktsioonideks, eelkõige diislikütuse fraktsiooniks. See toimub enamasti protsessi osana EL-i õigusnõuete tõttu, kuid seda võiks teha ka rafineerimistehases.

Vedel jääk taaskasutatakse või kasutatakse protsessi käigus energia tootmiseks.

Selliseid arendusi on USA-s ja EL-is mitmes kohas 10 000–40 000 tonni/aastas mahus. Mõned tööstusliku mastaabiga tehased, mis on juba töös või ehitamisel, kuuluvad järgmistele arendajatele: IGE Solutions (NL), JBI (USA), Klean Industries (JP), Nexus Fuels (CN), Plastic Energy (UK), Quantafuel (NO), Recycling Technologies (UK), ReNew ELP (UK), Remondis (DE), Renewology (USA) ja VADXX (USA).⁸⁸

Gaasistamisel toimub plastjäätmete kuumutamine (kuni 500–1300°C), et toota nn süngaasi, mis on süsinikmonooksiidi ja vesiniku segu. Süngaasi saab kasutada sisendmaterjalina mitmesugustes keemilistes protsessides, sealhulgas vaheproduktide polümeerideks muutmiseks, näiteks metanooli või kergete süsivesinike kaudu. Kõrgete töötlemistemperatuuride tõttu on gaasistamistehnoloogiatel suurem sisendi paindlikkus. Teoorias saab iga plastikut kasutada gaasistamise sisendmaterjalina, ja protsess keskendub peamiselt segatud plastikutele. Hetkel on gaasistamistehnoloogiaid peamiselt rakendatud kütusetootmiseks, mitte *plast-to-plast* taaskasutamiseks. Lisaks esinevad protsessis olulised süsinikukaod plastjäätmete osalise oksüdeerimise tõttu.

Mitu gaasistamiseprojekti on praegu planeerimisfaasis ning teadusuuringud keskenduvad sisendi paindlikkuse, efektiivsuse ja mahu suurendamisele. Näiteks on Kanada ettevõtte Enerkem alustanud mitmeid projekte Hispaanias ja Madalmaades, et toota etanooli ja metanooli sorteeritud munitsipaal tahkejäätmetest.⁸⁹ Plastijäätmetest ja jäätmete fossiilsed fraktsioonidest madala süsinikusisaldusega kütuste tehnoloogiate TVT tasemed on toodud tabelis 5.5.

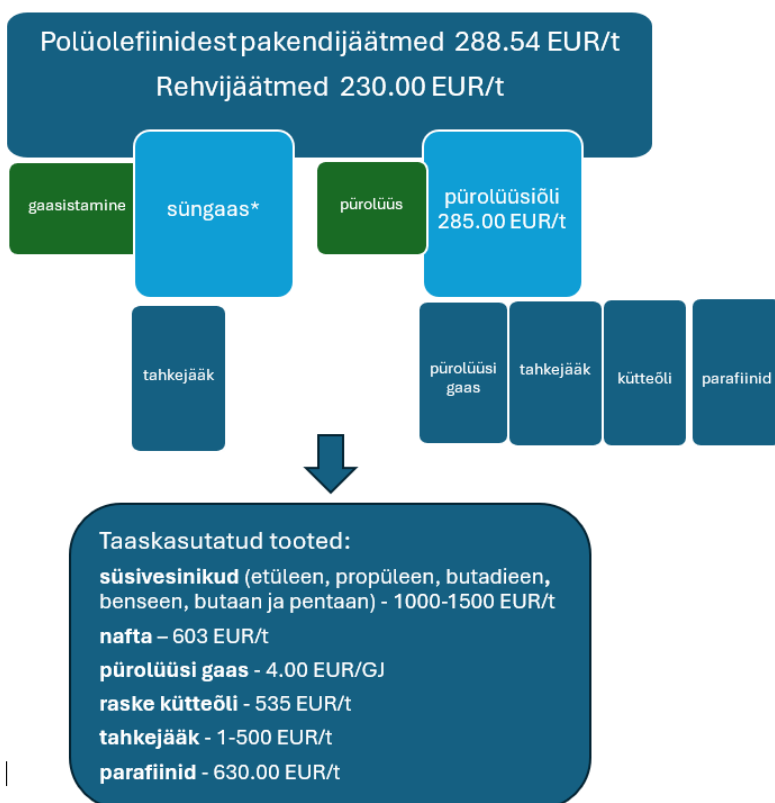
⁸⁸ Bacovsky, D. & Sonnleitner, A. (2020). *A Report from the Advanced Motor Fuels TCP and IEA Bioenergy TCP, AMF Annex 58 /IEA Bioenergy Task 41 Project 10. The Role of Renewable Transport Fuels in Decarbonizing Road Transport. Production Technologies and Costs*. IEA Bioenergy. [Link](#).

⁸⁹ Rizos, V., Urban, P., Righetti, E. & Kassab, A. (2023). *Chemical Recycling of Plastics. Technologies, trends and policy implications*. CEPS. B-1000 Brussels. [Link](#).

Tabel 5.5. Madala süsinikusaldusega kütuste fossiilsetest jäätmeallikatest tehnoloogiate võrdlus nende TVT tasemte lõikes.

	Tehnoloogia	Kütus	TRL										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Terase- ja keemiatööstuse heitgaasid	kääritamine	etanool	■					■					
	katalüütiline süntees	metanool	■				■						
		metaan	■				■						
Jäätmed, plasti jäätmed, mitte bioloogiline RDF fraktsioon	gaasistamine + katalüütiline süntees või kääritamine	drop-in hydrocarbons, etanool, metanool, biometaan	■					■					
Plasti jäätmete fraktsioon	pürolüüs + destilleerimine	drop-in hydrocarbons	■							■			

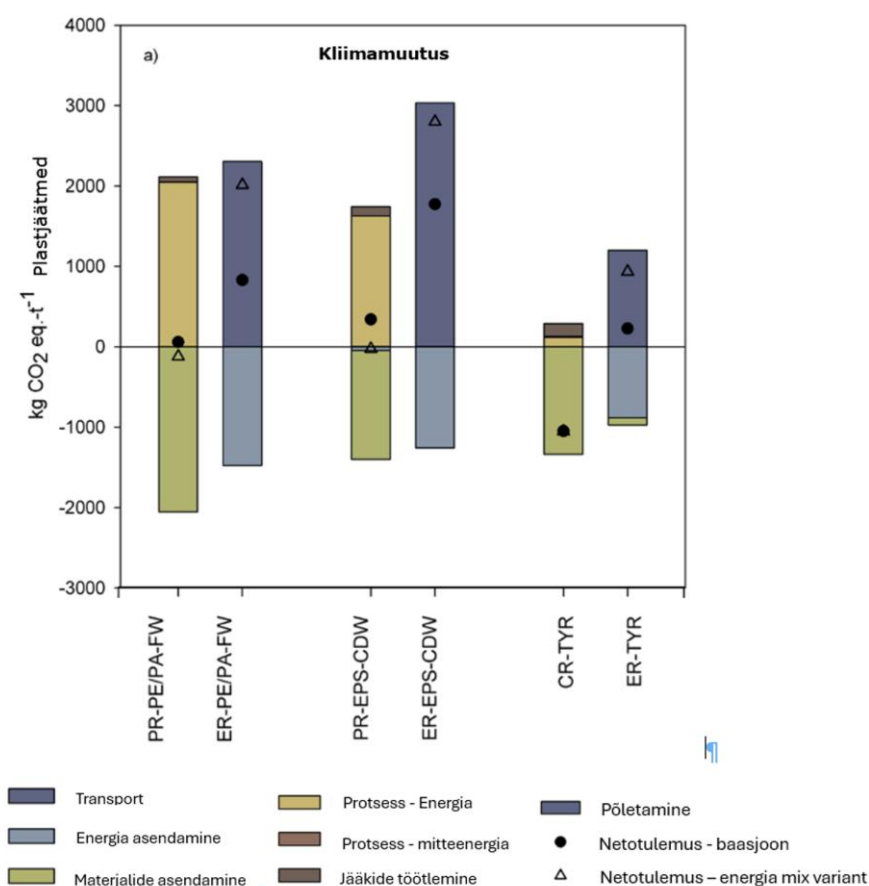
Pürolüüsil ja gaasistamise protsessidel on mitmeid eeliseid ja puudusi. Need on kõrgetemperatuurilised protsessid ja seetõttu energiamahukad. Pürolüüs sobib kasutatud autorehvidele, raskesti depolümeriseeritavatele plastijäätmetele ja segaplastidele, kuid PVC olemasolu segus ei ole soovitatav. Pürolüüsi protsessis saadud õli võib vajada täiendavat puhastamist (sõltuvalt sisendmaterjalist). Samuti on majandusliku tasuvuse tagamiseks vaja sisendmaterjali suurt kogust.

Joonis 5.10. Hinnanguline polümeerijäätmete pürolüüsi ja gaasistamise protsesside maksumused.


* Maksumus sõltub süngaasi koostisest.

Pürolüüsi energiamahukust saab vähendada ja õlisaagist suurendada katalüsaatori lisamisega protsessi (katalüütiline pürolüüs), kuid see muudab protsessi tundlikumaks sisendmaterjalis leiduvate saasteainete suhtes, mis võivad mõjutada katalüsaatorite tööd. Samuti ei ole katalüütiliseks pürolüüsiks praeguse seisuga veel lõplikult välja töötatud tehnoloogiat. Gaasistamine sobib enamiku jäätmeliikide töötlemiseks, kuid protsess võib olla tundlik teatud saasteainete suhtes ning enne edasist kasutamist võib osutuda vajalikuks sünteesgaasi puhastamine. Hinnanguline polümeerijäätmete pürolüüsi ja gaasistamise protsesside maksumused on toodud Joonisel 5.10.⁹⁰

Erinevad ümbertöötlemise viisid, mis sõltuvad kasutatavast tehnoloogiast ja toormest, viivad ka erinevate tulemusteni KHG jalajälje vaates. Uuringust nähtub, et vaadeldud toormerühmadest on vähima keskkonnamõjuga rehvide pürolüüs, mille puhul summaarne mõju on negatiivne ja suurima mõjuga polüstüreeni põletamine soojatootmiseks. Antud töö kontekstis tähendas füüsiline taaskäitlemine lahusti kasutamist polümeeri lahustamiseks ja siis vastavate graanulite tootmist ning keemiline ringlussevõtt pürolüüsi (Joonis 5.11).



Joonis 5.11. Erinevate polümeersete jäätmete kütuseks ümbertöötlemise KHG jalajälje hinnang. PE/PA – polüetüleen/polüamiid, PR – füüsiline taaskäitus, ER – põletamine energia saamiseks, CR – pürolüüs, FW – jäätmekile, CDW – ehitusjääde.

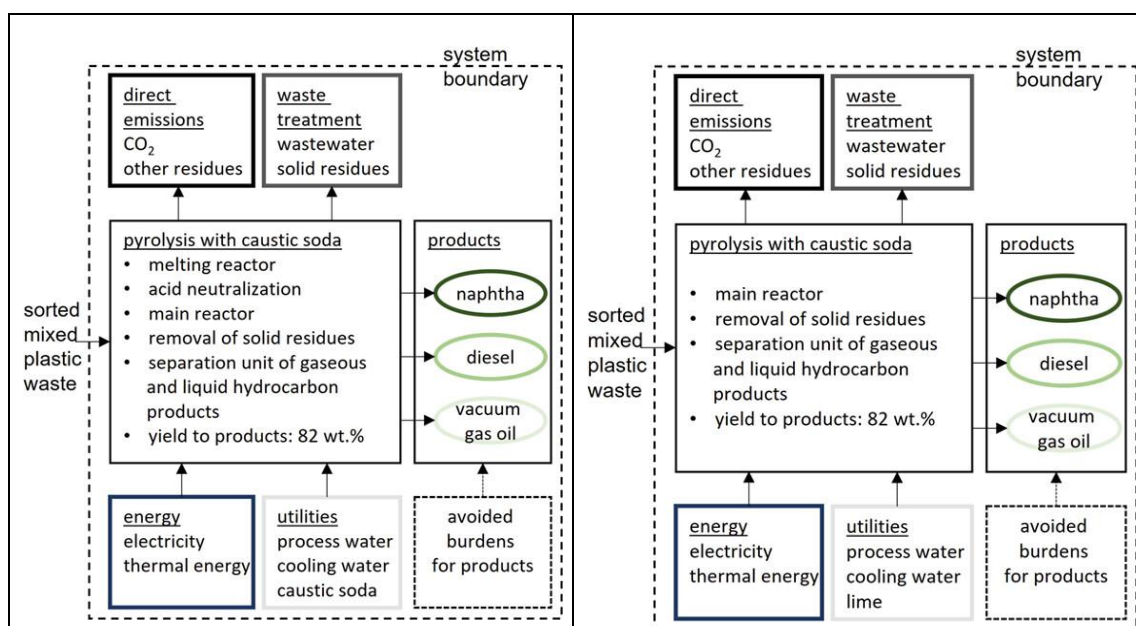
⁹⁰ European Commission (2023). *Environmental and economic assessment of plastic waste recycling*. JRC Technical Report. [Link](#).

Järgnevas teine näide Saksamaalt, kus uuringus vaadeldi võrdlevalt plastide pürolüüsi ja põletamise keskkonnamõju süsiniku vaatest (tabel 5.6.).⁹¹

Tabel 5.6. Iseloomulik plastide segu koostis Saksamaa jäätmevoos (Hermanns et al. 2023).

Plast	Osakaal, %
Polüetüleen	48
Polüpropüleen	19
Polüstüreen	8
Polüetüleentereftalaat	11
Polüvinüülkloriid	4
Muu (nt metallid ja paber)	10

Järgnevatel joonisel 5.11 on toodud pürolüüsi protsesside süsteemipiirid olusringianalüüsi mõttes.



Joonis 5.11. Pürolüüsi protsesside süsteemipiirid (Hermanns et al. 2023)

1. Pürolüüs vs põletamine: globaalse soojenemise mõju

Pürolüüs vähendab oluliselt globaalse soojenemise potentsiaali (GWP) võrreldes põletamisega:

- Pürolüüs seebikiviga: ~0,41 kg CO₂-ekv/kg plastikust
- Pürolüüs lubjaga: ~0,46 kg CO₂-ekv/kg

⁹¹ Hermanns, R., Kraft, A., Hartmann, P. & Meys, R. (2023). Comparative Life Cycle Assessment of Pyrolysis – Recycling Germany's Sorted Mixed Plastic Waste. *Chemie Ingenieur Technik*, 95: 1259-1267. [Link](#).

- Põletamine energia taaskasutamisega: ~1,42 kg CO₂-ekv/kg
- See tähendab GWP vähenemist 60–71%, olenevalt eeldustest.

2. Fossiilsete ressursside ammendumine

Pürolüüsil on fossiilsete ressursside kahanemisele väärtustele soodne mõju, kuna toodetakse süsivesinikprodukte, mis asendavad fossiilseid tooteid:

- Pürolüüs: ~-0,79 kuni -0,8 kg õli-ekv/kg jäätmete kohta
- Põletamine: suurem mõju materjali taaskasutamata tõttu
- Fossiilsete ressursside ammendumise vähenemine 52–53%

3. Protsessi tõhusus ja kõrvalsaadused

Mõlemad pürolüüsitüübid annavad süsivesinikke: diislikütus (0,45 kg), tööstusbensiin (0,22 kg), vaakumgaasiõli (0,15 kg) ühe kg sorteeritud seguplasti jääde (SMPW) kohta.

Peamised mõju erinevused:

- Lubjatootlus tekitab rohkem tahkeid jäätmeid, mis vajavad põletamist (kõrgem GWP);

Seebikivi tekitab reovett, mille puhastamisel on väiksem keskkonnamõju.

Plastijäätmete suunamine ringlussevõttu on eelistatum kui nende põletamine. Selleks, et paremini mõista, kas mehaanilised ja keemilised ringlussevõtutehnoloogiad võivad konkureerida valitud jäätmevoo töötlemisel, on vaja selgust jäätmete lähteaine omaduste (kvaliteedi) osas, mida need tehnoloogiad suudavad töödelda. Keemiline töötlemine nõuab selgeid lähteainete kvaliteedistandardeid, mis rõhutab jäätmete sorteerimise parendamise vajadust.⁹²

Paraku on Eestis sobivate jäätmete kättesaadavus piiratud (vt. tabel 4.3.), mis muudab protsesside elluviimise keeruliseks. Selle probleemi ületamiseks võib kaaluda alternatiivseid lahendusi. Üheks võimalikuks lähenemiseks on jäätmete koostöötlemine põlevkiviga. Uuringud ja praktika on näidanud, et kui jäätmeid lisatakse põlevkivi pürolüüsiprotsessi väikestes kogustes — näiteks kuni 5% ulatuses —, ei avalda see negatiivset mõju saadava õli kvaliteedile. Vastupidi, selline lisand võib hoopis kaasa aidata õlisaagise suurenemisele, mis omakorda parandab kogu protsessi tõhusust ja majanduslikku atraktiivsust. Kuid praegu ei ole koospürolüüs põlevkiviga võimalik kehtivate jäätmete ümbertöötlemise nõuete tõttu.

Kokkuvõte

Peatükk 5.1 käsitleb olemasolevaid (TVT 9) ja arenduses olevaid (TVT<9) CO₂-neutraalsete kütuste tootmise ja kasutamise võimalusi eri sektorites (Tabel 5.7).

Maismaatranspordis on juba laialt kasutusel biogeensest toorainest toodetud biodiisel (FAME, HVO) ja bioetanool. Arenduses on e-kütused (e-diisel, e-bensiin, e-metaan, e-LPG), mille tootmiseks kasutatakse CO₂ ja taastuvenergia abil toodetud vesinikku.

⁹² Garcia-Gutierrez, P., Amadei, A.M., Klenert, D., Nessi, S., Tonini, D., Tosches, D., Ardente, F. & Saveyn, H. (2025). *Environmental and economic assessment of plastic waste recycling and energy recovery pathways in the EU. Resources, Conservation and Recycling. Volume 215, 108099.* [Link.](#)

Biometaan ja biogaasi derivaadid on tehnoloogiliselt küpsed ning sobivad olemasolevasse taristusse.

Meretranspordis hinnatakse alternatiivideks metanooli, ammoniaaki, biokütuseid, LNG-d, LPG-d, vesiniku ja isegi tuumaenergiat. Kõige perspektiivsemad on biometanool ja gaasistamisel põhinevad biokütused, mis pakuvad madalaimat süsiniku vähendamise maksumust.

Lennunduses on sertifitseeritud kaheksa SAF-i tootmistehnoloogiat, millest HEFA on praegu ainus kaubanduslikult levinud. Eestis SAF tootmisvõimekus puudub, kuid käimas on Eesti-Läti ühine arendusprojekt.

Täiendavalt vaadeldakse vesiniku tootmist elektrolüüsi ja gaasistamise teel, puitkütuste ning muude tahkete biokütuste rolli soojus- ja elektritootmises ning võimalusi kasutada tööstuslikke heitgaase ja plastijätmeid süsinikuneutraalsete vedelkütuste tootmiseks.

Kokkuvõttes on kõige küpsemad ja majanduslikult kasutatavamad lahendused biokütused (sh puit, biometaan, biodiisel, bioetanool), samas kui e-kütuste ja vesiniku laialdane kasutus eeldab veel tehnoloogia arendust ning soodsaid investeeringuid.

Tabel 5.7. Olemas olevad (TVT 9) ja arenduses olevad (TVT<9) CO₂-neutraalsete kütuste tootmise ja kasutamise võimalusi eri sektorites

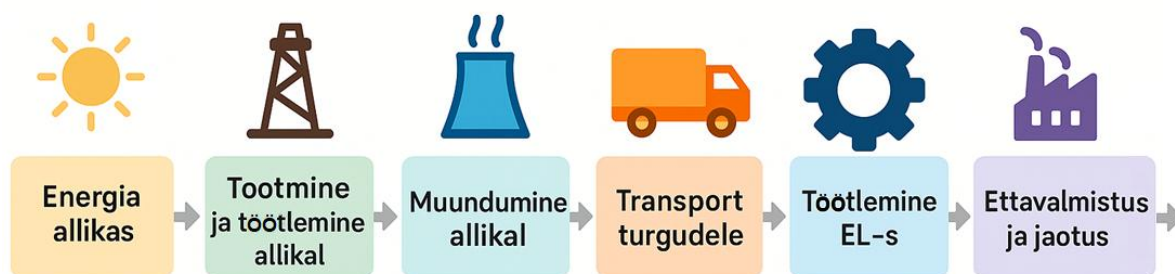
Sektor	Olemasolevad lahendused (TVT 9)	Arenduses olevad / tulevased lahendused (TVT<9)	Eesti perspektiiv
Maismaa-transport	Biodiisel (FAME, HVO - TVT 8-9), bioetanool (TVT 9), biometaan (TVT 8-9), LPG (TVT 9)	E-diisel, e-bensiin (TVT 6), e-metaan (TVT 6), e-LPG (TVT 6), e-metanool (TVT 7-9)	Biogaasi tootmine võimalik; biodiisel/bioetanool peamiselt import
Meretransport	LNG, LPG (TVT 9), biokütused (FAME, HVO, TVT 8-9; BTL, TVT 6-7; biometanool, TVT 7-9)	Ammoniaak (TVT 6-7), vesinik (TVT 6-7), elektrifitseerimine (TVT 6), tuumaenergia (TVT 6)	Biometaan ja biometanool; laevandus vajab juba täna alternatiivseid kütuseid
Lennundus	HEFA-põhine SAF (TVT 9, ainsana kaubanduslikult kasutatav)	FT (TVT 6-8), AtJ (TVT 7-8), CHJ (TVT 5-6), HDCJ (TVT 4-6), SIP (TVT 2-5), e-SAF/PtL (TVT 4-7)	Eestistootmisvõimekus puudub; Eesti-Läti projekt uurib võimalusi
Energia tootmine	Puitkütused: hakkpuit, graanulid, brikett (TVT 9), koostootmine (TVT 9)	Vesinik elektrolüüsil (TVT 7-9), biomassiga gaasistamine (TVT 6-7), CCS heitgaasidest (TVT 6-8)	Puit laialdaselt kasutusel; vesiniku arendused vajalikud
Jäätmed ja heitgaasid	Poolkoksigaaside väärimine toimub põlevkiviõli tehastes st pole CO ₂ neutraalne	Terase/keemiatööstuse gaasidest etanool/metanool (TVT 7-8), plastijätmete pürolüüs (TVT 6-7), gaasistamine (TVT 6-7)	Eestis võimalik poolkoksigaasi väärimine, kuid keeruline ja kallis. Plasti pürolüüs võimalik, kuid tooret on vähe, u 75 tuh t/a

5.2. PARIMATE TEHNOLOOGIATE CO₂ JALAJÄLJE VÕRDLEMINE

Parimate tehnoloogiate CO₂ jalajälje võrdlemisel esitame ülevaate keskkonnamõju uuringutest. Neist ülevaatlikeim on Prussi ja kolleegide poolt 2020. a avaldatud uuring, mis käsitles erinevaid CO₂ neutraalseid kütuseid nn „well-to-tank“ põhimõttel.

5.2.1. Allikast paaki

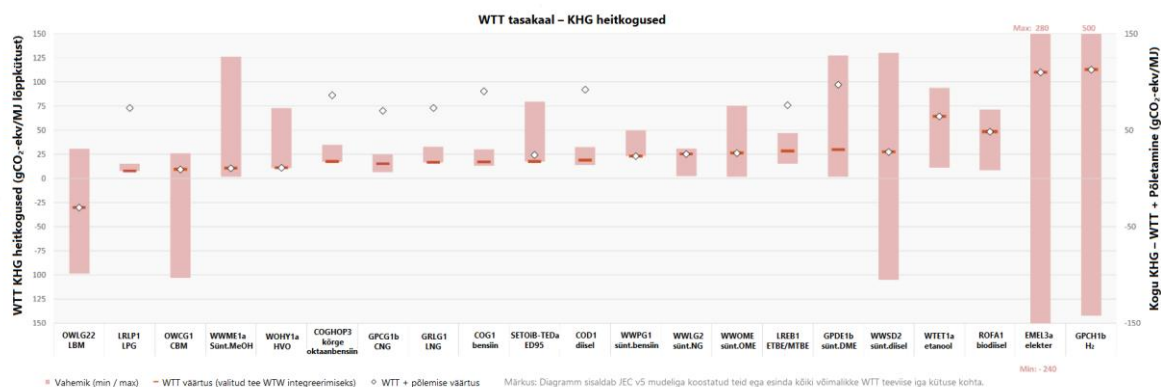
Ressursi kütuseks muutmiseks vajalike sammude kombinatsiooni kuni sõiduki kütusepaagini nimetatakse "allikast paaki" (*Well-to-Tank, WTT*) teekonnaks (Joonis 5.10).



Joonis 5.10. Erinevate WTT teekonnade protsesse kirjeldavad kategooriad.

Iga teekonda kirjeldatakse protsessietappide kaudu, mis on vajalikud lähteaine muundamiseks sõidukitele mõeldud lõplikuks kütuseks (vt joonis 5.10). Täielik teekond koosneb protsesside kombinatsioonist ja järjestusest, millest paljud on ühised mitmele teekonnale (nt ettevalmistus, segamine jne). Protsessi saab iseloomustada peamise sisendi ja väljundi, teiseste sisendite, kaasproduktide ning energia tarbimise ja kasvuhoonegaaside (KHG) heitkoguste tegurite kaudu.⁹³ Iga kütuse puhul tähistab lai riba (Joonis 5.11) selle JEC WTT v5 mudelis modelleeritud teekondade minimaalset ja maksimaalset väärtust. Selle vahemiku sees tähistab paks joon konkreetse kütuse esinduslikuks valitud teekonda, mis on kooskõlas JEC WTW v5 aruandega (ülal viidatud koodina).

⁹³ Prussi, M., Yugo, M., De Prada, L., Padella, M., Edwards, R., Lonza, L. (2020). *JEC Well-to-Tank report v5, EUR 30269 EN*, Publications Office of the EU, Luxembourg, JRC119036 [Link](#).



Joonis 5.11. Kasvuhoonegaaside (KHG) heitkoguste võrdlus vastava kütuse ja tehnoloogia puhul (allikas: Prussi jt 2020)

Elektrienergia puhul võivad tekkida negatiivsed KHG emissioonid, kui elekter toodetakse vedelsõnnikust saadavast biogaasist, kuna välditakse metaani (CH₄) ja dilämmastikoksiidi (N₂O) emissioone, mis tekiks id töötlemata vedelsõnniku ladustamisel. Lisaks on sünteetilise diisli tootmine biomassist koos CCS-protsessiga. CCS (süsiniku kogumine ja ladustamine) on tehnoloogiliste toimingute kogum, mille käigus eraldatakse CO₂ erinevatest energia- ja tööstusprotsessidest mitmesuguste eraldamistehnikate abil, seejärel transporditakse ja lõpuks säilitatakse geoloogilistes formatsioonides või sügaval ookeanis.⁹⁴

Põllukultuuridest saadud kütused: hiljuti lisatud bio-ETBE tee, mis hõlmab etanooli ja isobuteenist, mis on saadud suhkruppeedist, näitab huvitavalt madalaid KHG heitkoguseid võrreldes etanooliga, mis on saadud muudest allikatest kui suhkruppeed (nisu, välja arvatud WTET4a/b, odra ja maisi teekonnad) või HVO/biodiisli teedega, kuid nõuab suuremat energiatarvet. Võrreldes seotud etanooli teekonnaga on ETBE tee KHG heitkogused kõrgemad.

Puit: sünteetilise diisli, DME ja vesinik, mis on saadud puidust, on need, millel on potentsiaalselt madalaim WTT KHG heitkogus. Negatiivsed heitkogused võivad tekkida teekondadel, mis rakendavad CCS (süsiniku kogumise ja ladustamise) protsesse.

Biogaas: huvitaval kombel, kui sõnnikust toodetud biogaasi, kasutatakse vesiniku tootmiseks, on WTT heitkogused madalamad kui CBM (surutud biometaan) või LBM (veeldatud biometaan) teekondadel, kuid energiatarve on oluliselt suurem. Olulised negatiivsed heitkogused võivad tekkida teekondadel, mis kasutavad sõnnikust saadavat biogaasi, kuna välditakse CH₄ heitkoguseid. Seetõttu ongi biogaasi kasutamine vesiniku tootmiseks sõnnikust madalamate WTT KHG heitkogustega võrreldes CBM-i ja LBM-i teekondadega, kuigi energiatarve on kõrgem. Oluline on märkida eeldust, et metaan vabaneks atmosfääri, kui seda ei kasutataks kütusena. Alternatiivsed tehnoloogiad

⁹⁴ Ganeshan, P., Vigneswaran V. S., Gowd, S. C., Mishra, R., Singh, E., Kumar, A., Kumar, S., Pugazhendhi, A. & Rajendran, K. (2023). Bioenergy with carbon capture, storage and utilization: Potential technologies to mitigate climate change, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 177, Art. no. 106941. [Link](#).

võiksid samuti vähendada vabanenud metaani heitkoguseid, mistõttu sellise juhtumi võrdluste puhul tuleb kohandada praeguseid teekonna arvutusi.

Elektrienergia ja H₂: elektri ja vesiniku puhul on oluline märkida, et neid tuleks peamiselt pidada energiakandjateks, mille keskkonnamõju määrab nende tootmiseks kasutatud algallikas. Täpsemalt öeldes määratakse elektrienergia kasutamine transpordisektoris, mis puudutab KHG heitkoguste säästmist, elektrienergia tootmise tee järgi. Vähemalt ülemineku faasis, kui sõidukite energia võetakse võrgu kaudu, võib see viia heitkoguste suurenemiseni, kui süsteem reageerib sellele suurenenud nõudlusele fossiilkütustest toodetud elektri suurendamisega (nt kivisüsi või põlevkivi); need probleemid on riigi- ja ajaspetsiifilised (kuna tootmine on määratluselt ebastabiilne protsess). Teisest küljest võib elektrienergia suures ulatuses kasutuselevõtmine transpordisektorile olla tõukeks uuenduvate energiaallikate osakaalu suurendamiseks EL-s. Samuti, puhtalt KHG vähendamise vaatenurgast, ei pruugi vesiniku kütuseelemendid anda eeliseid, kui kasutatav elekter ei ole süsinikneutraalsest allikast.

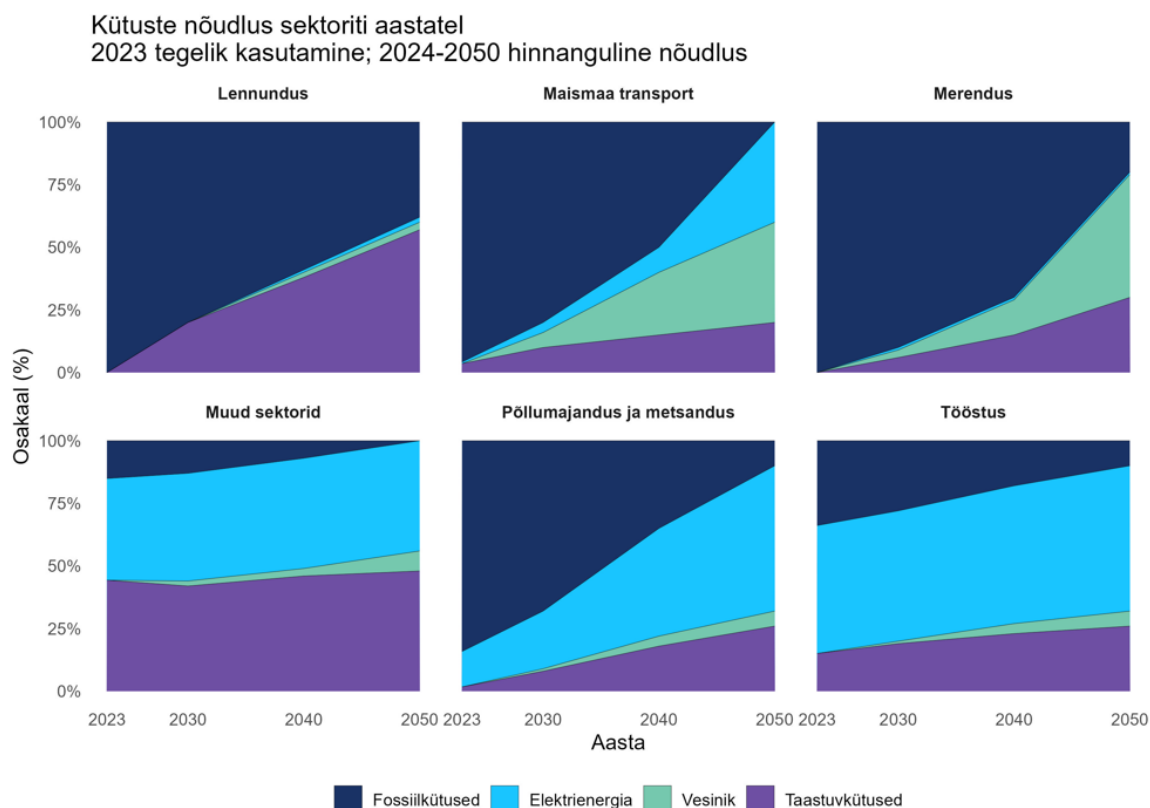
E-kütused: kuna e-kütuste tootmine põhineb elektrienergial, kehtivad ülaltoodud kaalutlused ka nende juhtumite kohta.

Kokkuvõtteks erinevad protsessid ja toormed viivad suure variatiivsuseni kliimamõjudes. Ei ole võimalik ega tohi liialt lihtsustada parimate tehnoloogiate CO₂-jalajälje võrdlemist. Seda analüüsi peavad läbi viima eriala spetsialistid, kes tunnevad põhjalikult protsesside detaile, kasutatavaid tooraineid ja energiaallikaid, mis on täpselt ette antud ja määratud; see võimaldab vähendada variatiivsust ning tagada eri protsesside CO₂-jalajälje võrreldavuse. Antud töö raames ei olnud seda võimalik teha ning sellist eesmärki ei seatud.

6. SOTSIAALMAJANDUSLIKUD MÕJUD

Lähtudes McKinsey (2024)⁹⁵ globaalsest energiaperspektiivist on nõudlus kestlike kütuste, eriti bio- ja e-kütuste, järele lähikümnenditel kiiresti kasvamas, kuna need pakuvad praktilist lahendust sektorites, kus elektrifitseerimine ei ole teostatav infrastruktuuriliste, massi- või tegevusulatusse piirangute tõttu. Lähtudes McKinsey prognoosidest ja võttes aluseks Eesti 2023. aasta energiabilansi⁹⁶ lõpptarbimise struktuuri, on ekstrapoleeritud potentsiaalne nõudluse kasv Eestis erinevate kütuse liikide ja sektorite lõikes (vt joonis 6.1). Graafikult ilmneb, et nõudlus taastuvkütuste järele kasvab märgatavalt eeskätt transpordi- ja merendussektoris, samas kui tööstuse ja muude sektorite dekarboniseerimine põhineb pigem elektri ja potentsiaalselt vesiniku kasutuselevõtul. Taastuvate kütuste nõudlusele vastamise üks põhilisi probleeme on aga tänane tootmismahd ja tehnoloogiline kallidus, mille tõttu UPM hinnangul jääb aastaks 2030. pakkumine nõudlusele märkimisväärselt alla.⁹⁷

Joonis 6.1. Kütuste hinnanguline nõudlus, protsent kogunõudlusest



⁹⁵ McKinsey & Company (2024). *Global Energy Perspective 2023: Sustainable fuels outlook*. [Link](#).

⁹⁶ Statistikaamet: Energiabilanss kütuse või energia liigi järgi, teradžauli (KE0240) [Andmestik].

⁹⁷ UPM (2025). *UPM – we renew the everyday. Investor presentation. May 2025*. [Link](#).

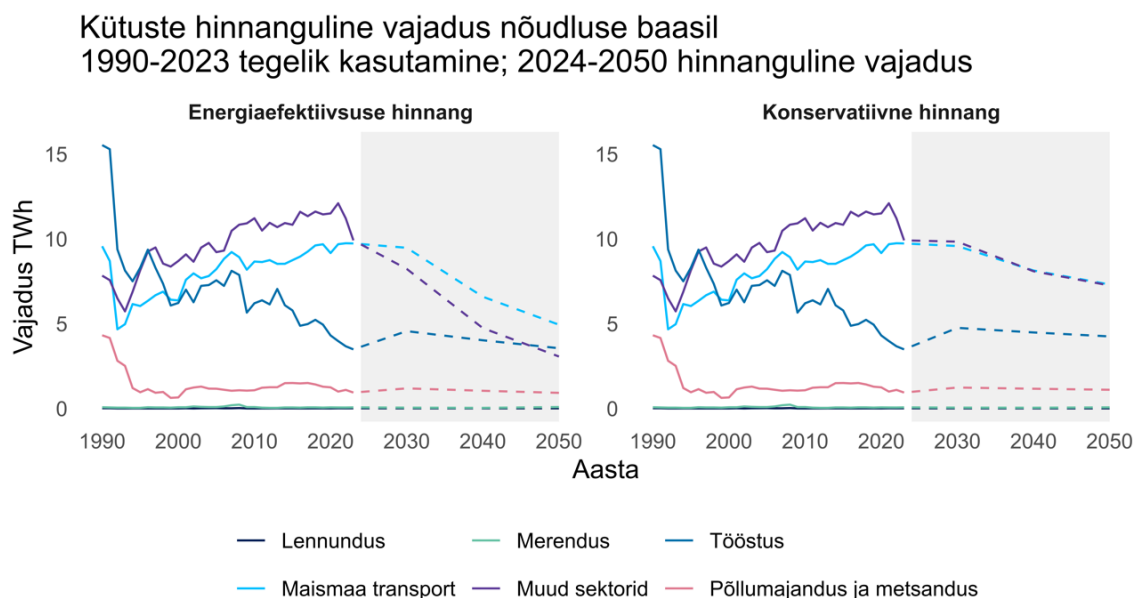
Märkus joonis 6.1. juurde: Autorite arvutused lähtudes McKinsey & Company (2024). Global Energy Perspective 2023: Sustainable fuels outlook alusel. Hinnangud on kohandatud astmeliselt arvestades Statistikaameti energiabilansi 2023 tegelikke väärtusi ja McKinsey lõpphinnanguid. Maismaa transport on modelleeritud lähtudes tööstussõidukitele⁹⁸ antud hinnangutest, põllumajandus ja metsandus kasutades tööstuse näitajaid ja muude sektorite puhul on arvesse võetud valdavalt sõiduautodele kohaldatud eeldusi. Tegemist on suhteliste hinnangutega tulenevalt saadaoleva info vastavusest.

Jooniselt 6.1. on näha, et taastuvkütuste nõudlus hakkab potentsiaalselt kasvama alates 2030. aastast, asendades järk-järgult fossiilkütuseid eelkõige maismaatranspordis, muudes teenindussektorites ning osaliselt tööstuses ja põllumajanduses, kus elektrifitseerimisel on suurem rakendatavus. Lennunduses ja merenduses jäävad taastuvkütused ja vesinik aga sisuliselt peamisteks alternatiivideks, kuivõrd märkimisväärne elektrifitseerimine neis sektorites ei ole tehniliselt või majanduslikult realistlik. Tööstuses kasvab paralleelselt elektri ja vesiniku kasutus, samas kui põllumajanduses jääb kütuste struktuur tõenäoliselt mitmekesiseks. Sellest tulenevalt on bio- ja e-kütustel suurim roll just seal, kus elektri või vesiniku kasutuselevõttu piiravad tehnoloogilised või infrastruktuursed takistused.

Joonis 6.2. annab ülevaate sektoripõhisest hinnangulisest kütuse koguvajadusest aastatel 2023–2050 kahes stsenaariumis. Efektiivsustsenaarium lähtub McKinsey (2024) prognoosist ning eeldab olulist tehnoloogilist arengut ja laialdasemat elektrifitseerimist, millest tõukub eelduslikult oluline energiaefektiivsuse kasv. Kuna elektrienergia kasutamine on paljudes rakendustes (nt transport, küte) oluliselt efektiivsem kui fossiilkütuste põletamine, ei asendu üks ühele teravatt-tunnid erinevate energialiikide vahel - väiksem kogus elektrit võib asendada suurema hulga fossiilkütuseid. Seetõttu väheneb efektiivsustsenaariumi järgi kogunõudlus ajas märgatavalt, eriti sektorites, kus elektrifitseerimise potentsiaal on kõrge. Konservatiivses stsenaariumis seevastu on tehnoloogiline areng ja energiatõhususe kasv aeglasem, mistõttu püsib koguvajadus kütuste järele pikema aja vältel kõrgem.

Mõlema stsenaariumi alusel prognoositakse suurimat kütuste lõpptarbimise vajaduse vähenemist muudes sektorites, maismaatranspordis ja tööstuses. Muude sektorite (äri- ja avalik teenindus, kodumajapidamised, kalandus, mujal liigitamata sektorid) kütusekoguvajadus võib langeda 2023. aasta 9,92 TWh tasemelt 2050. aastaks vastavalt 7,26 TWh-ni konservatiivses ja 3,07 TWh-ni energiaefektiivsuse stsenaariumis. Maismaatranspordis on oodatav langus mõõdukam: 9,74 TWh-lt 7,32 TWh-ni konservatiivses ja 4,45 TWh-ni energiaefektiivsuse stsenaariumis. Tööstussektori kogunõudlus jääb seevastu sisuliselt stabiilseks, püsides vahemikus 3,49–4,26 TWh aastas.

⁹⁸ Tööstussõidukite mõiste katab sõidukeid, nagu veoautod >3,5 t (N2/N3), bussid (M2/M3) ja eriveokid (prügi-, betooni-, hooldeautod jms), st segmendi, kus vedelkütuste tarbimine ja energianõudlus on valdavalt suurem ning elektrifitseerimine on aeglasem. Raskeveokite seos kliimaeesmärkidega on toodud Euroopa Komisjoni (2025) lehel, leitav: [Link](#).

Joonis 6.2. Kütuste hinnanguline koguvajadus sektoriti

Märkus: Autorite arvutused lähtudes McKinsey & Company (2024). Global Energy Perspective 2023: Sustainable fuels outlook ja Statistikaameti andmetabelile KE0240: Energiabilanss kütuse või energia liigi järgi, teradžauli (Eurostati metoodika).

Arvestades kütuste kasutuse struktuuri ja nõudluse võimalikku arengut, eeldatakse, et 2050. aastaks tuleb fossiilkütuseid asendada ligikaudu 6–10 TWh ulatuses muud tüüpi energialiikidega, millest taastuvkütuste osa võiks moodustada ligikaudu 2–3 TWh.

Oluline on märkida, et nende prognooside koostamisel on aluseks võetud Eesti 2023. aasta sisemajanduse struktuur ja kütuste ning elektrienergia lõppkasutus. Arvestamata on jäetud võimalikud pikaajalised struktuursed muutused majanduses või tehnoloogiates ning rahvusvahelise lennunduse või merenduse osa mille kohta detailsem võrreldav info puudub. Täpsem kütusevajaduse prognoos kütuseliikide ja kodumaiste sektorite lõikes aastani 2050 on toodud allolevas tabelis 6.1.

Prognoositud kütuste koguvajaduse ning peatükis 2 kirjeldatud pakkumise ja kasutuse struktuuri põhjal ei seisne peamine väljakutse kütustega seotud energia kogumahu katmises, vaid sobivate alternatiivkütuste kättesaadavusel erinevates sektorites. Kohalik biokütuste tootmine keskendub täna valdavalt küttepuidule ja biogaasile, mille rakendusvõimalused sektorites on aga piiratud ning ei vasta tingimata näiteks lennunduse, merenduse ega energiainteensiivsete tööstusprotsesside nõudmistele. Samal ajal puudub Eestis sisuliselt selliste sihtotstarbeliste kütuste nagu vesiniku, ammoniaagi ning vedelate bio- ja e-kütuste tootmine. Seetõttu ei ole küsimus üksnes vajaminevas energiakoguses, vaid võimes pakkuda sektoripõhiselt fossiilkütustele sobivaid, skaleeritavaid alternatiive.

Tabel 6.1. Kütuste ja elektrienergia potentsiaalne koguvajaduse prognoos energia tüübi ja sektori lõikes teravatt-tundides

Sektor	Konservatiivne hinnang (TWh)				Energiatõhususe hinnang (TWh)			
	2023*	2030	2040	2050	2023*	2030	2040	2050
Lennundus	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
<i>Elektrienergia</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Fossiilkütused</i>	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
<i>Taastuvkütused</i>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
<i>Vesinik</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maismaa transport	9,74	9,59	8,14	7,32	9,74	9,48	6,60	4,45
<i>Elektrienergia</i>	0,06	0,38	0,81	2,93	0,06	0,38	0,66	1,98
<i>Fossiilkütused</i>	9,33	7,67	4,07	0,00	9,33	7,59	3,30	0,00
<i>Taastuvkütused</i>	0,35	0,96	1,22	1,46	0,35	0,95	0,99	0,49
<i>Vesinik</i>	0,00	0,58	2,04	2,93	0,00	0,57	1,65	1,98
Merendus	0,08	0,06	0,05	0,05	0,08	0,06	0,05	0,04
<i>Elektrienergia</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Fossiilkütused</i>	0,08	0,06	0,04	0,01	0,08	0,06	0,03	0,01
<i>Taastuvkütused</i>	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
<i>Vesinik</i>	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02
Muud sektorid	9,92	9,85	8,10	7,26	9,92	8,24	4,75	3,07
<i>Elektrienergia</i>	4,02	4,23	3,56	3,20	4,02	3,54	2,09	1,35
<i>Fossiilkütused</i>	1,50	1,28	0,57	0,00	1,50	1,07	0,33	0,00
<i>Taastuvkütused</i>	4,40	4,14	3,73	3,49	4,40	3,46	2,18	1,47
<i>Vesinik</i>	0,00	0,20	0,24	0,58	0,00	0,16	0,14	0,25
Põllumajandus ja metsandus	0,95	1,11	0,91	0,82	0,95	1,19	1,05	0,93
<i>Elektrienergia</i>	0,13	0,26	0,39	0,48	0,13	0,27	0,45	0,54
<i>Fossiilkütused</i>	0,80	0,76	0,32	0,08	0,80	0,81	0,37	0,09
<i>Taastuvkütused</i>	0,02	0,09	0,16	0,21	0,02	0,10	0,19	0,24
<i>Vesinik</i>	0,00	0,01	0,04	0,05	0,00	0,01	0,04	0,06
Tööstus	3,49	4,76	4,49	4,26	3,49	4,57	4,03	3,56
<i>Elektrienergia</i>	1,78	2,48	2,47	2,47	1,78	2,38	2,22	2,07
<i>Fossiilkütused</i>	1,18	1,33	0,81	0,43	1,18	1,28	0,73	0,36
<i>Taastuvkütused</i>	0,53	0,90	1,03	1,11	0,53	0,87	0,93	0,93
<i>Vesinik</i>	0,00	0,05	0,18	0,26	0,00	0,05	0,16	0,21
Kokku	24,20	25,38	21,72	19,73	24,20	23,56	16,49	12,07
sh elektrienergia	5,99	7,35	7,23	9,08	5,99	6,57	5,42	5,94
sh fossiilkütused	12,91	11,11	5,82	0,53	12,91	10,82	4,77	0,47
sh taastuvkütused	5,3	6,09	6,16	6,30	5,30	5,38	4,31	3,14
sh vesinik	0,00	0,84	2,51	3,85	0,00	0,79	2,00	2,52

Märkus: Autorite arvutused lähtudes McKinsey & Company (2024). Global Energy Perspective 2023: Sustainable fuels outlook ja Statistikaameti andmetabelile KE0240: Energiabilanss kütuse või energia liigi järgi, teradžauli (Eurostati meetodika).

Selleks, et hinnata Eestis alternatiivsete kütuste tootmise potentsiaali, tuleb esmalt mõista erinevaid tootmistehnoloogiaid, nende sisendivajadusi ning tootlikkust. Tabelis 6.2. on esitatud olulisemaid tehnoloogiaid koos vastavate sisendmaterjalide ja saagise

määradega ühe tonni sisendi kohta. Vaadeldud kütused hõlmavad nii bioloogilise- kui ka sünteetilise päritoluga vedelkütuseid ja gaase, mille tootmiseks kasutatakse väga erinevaid sisendeid alates jäätmetest ja biomassist kuni tööstusheitmete ning CO₂-ni. Kuigi tabelis on välja toodud ka ligikaudsed maailmaturu hinnad, tuleb rõhutada, et need on tugevalt volatiilsed ja seega on kehtivad antud analüüsi teostamise ajal. Lisaks varieerub saagis märkimisväärselt kasutatava toorme kvaliteedi lõikes, mis peegeldub ka toorme lõpphinnas.

Tabel 6.2 Alternatiivkütuste tehnoloogiate ligikaudne maailmaturu hind analüüsi hetkel, sisend ja saagis

Tehnoloogia	Kütus	Maailmaturu ligikaudne hind tonni kohta, EUR	Sisend	Saagis tonni sisendi alusel
FT	Vedelkütus (FT-destillaat)	1 125	Puidujäätmed, biomass	0.18 [1]
FT	Sünteetiline kütus	1 125	Plastjäätmed	0.31 [1]
Pürolüüs	Bio-õli	692	Puidujäätmed, biomass	0.23 [1]
Pürolüüs	Sünteetiline õli	692	Plastjäätmed, jäätmed, autorehvid	0.35 [7]
HEFA	Drop-in SPK	2 768	Kasutatud õlid, loomsed rasvad	0.83 [1]
ATJ	SPK	2 715*	Bioetanool, isobutanool	0.60 [1]
CHJ	CHJ-SPK	2 715*	Taimeõlid	0.70 [2]
HDCJ	SPK	1 915*	Lignotselluloosne biomass	0.35 [3]
e-SAF/ PtL	e-kerosiin	7 695*	Vesi + CO ₂ + elekter	0.32 [4]
RCF	SPK	2 280*	Tööstuslikud CO/CO ₂ heitmed	0.16 [5]
Anaeroobne kääritamise	Biogaas	270	Rohtne biomass, põllumajandusjäätmed, biojäätmed	0.05 [6] ⁹⁹
Biogaasi puhastamine	Biometaan	1 117	Biogaas	~0.40 [8] ¹⁰⁰

Märkus: *- avalikult leitav maailmaturu hind puudub, kasutatud eelduslikku tootmishinda tonni kohta.¹⁰¹ Saagise määrad leitud [1]- ICAO¹⁰²; [2]- Pereira et al. (2017)¹⁰³; [3]; IEA Bioenergy (2021)¹⁰⁴; [4]- Dena (2022)¹⁰⁵; [5]- Rajagopalan et al. (2002)¹⁰⁶; [6]- IEA Bioenergy (2022)¹⁰⁷; [7]- Yaqoob et al. (2025)¹⁰⁸; [8]-

⁹⁹ Eeldusel, et tihedus on ~1,2 kg Nm⁻³ 60% metaanisisaldusega biogaasil.

¹⁰⁰ Eeldusel, et 60% biogaasist moodustab metaan, mille tihedus 0,716kg*(m³)⁻¹.

¹⁰¹ Vastavad hinnad leitavad: [Link](#).

¹⁰² ICAO (2025). SAF Rule of Thumbs. Leitav: [Link](#).

¹⁰³ Pereira, L. G., MacLean, H. L., & Saville, B. A. (2017). Financial analyses of potential biojet fuel production technologies. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 11(4), 665-681. [Link](#).

¹⁰⁴ IEA Bioenergy (2021). *Progress in Commercialization of Biojet /Sustainable Aviation Fuels (SAF): Technologies, potential and challenges*. IEA Bioenergy Task 39.

¹⁰⁵ Dena (2022). *E-Kerosene for Commercial Aviation*. [Link](#).

¹⁰⁶ Rajagopalan, S., Datar, R. P., & Lewis, R. S. (2002). Formation of ethanol from carbon monoxide via a new microbial catalyst. *Biomass and Bioenergy*, 23(6), 487-493. [Link](#).

¹⁰⁷ IEA Bioenergy (2022). *Biogas from Crop Digestion. Task 37 - Energy from Biogas*. [Link](#).

¹⁰⁸ Yaqoob, H., Ali, H. M., & Khalid, U. (2025). Pyrolysis of waste plastics for alternative fuel: a review of key factors. *RSC Sustainability*. [Link](#).

Werkneh (2022)¹⁰⁹. Hinnainfo leitud avalikest allikatest: Vespertool, Procurement Resource, Deloitte, EASA, IEA, GasForClimate.

Tabelis 6.2 esitatud andmed toovad välja, et kuigi alternatiivkütuste maailmaturu hinnad on mitmete tehnoloogiate puhul kõrged, on samaaegselt nende tehnoloogiate teisendustõhusus madal. See tähendab, et ühe tonni lõppkütuse tootmiseks on vaja töödelda märkimisväärne kogus sisendmaterjali, mis tõstab ka omatootmise hinda sisendmaterjalide kaudu ja hajusalt jaotunud toorme puhul võib mõjutada transpordikuludid toorme kokkukogumiseks.

Erandiks on HEFA ja CHJ-tehnoloogiad, mis paistavad silma kõrge teisendustõhususega – vastavalt 0,83 ja 0,70 tonni lõppkütust tonni sisendi kohta, ent tegemist on tehnoloogiatega, mis on veel TVT poolest veel arendamisjärgus. Need näitajad võimaldavad paremat ressursikasutust ning võivad muuta tehnoloogia otstarbekaks olukorras, kus sisend (näiteks kasutatud õlid või loomsed rasvad) on kohalikult olemas või kergesti kättesaadavad.

Vastupidiselt eeldavad tehnoloogiad nagu FT, e-SAF ja RCF märkimisväärset sisendimahtu väikese saagisega (vastavalt 0,18; 0,32; 0,16), mistõttu ka nende kõrge potentsiaalne müügihind ei taga iseenesest tootmise majanduslikku põhjendatust eriti juhul, kui puudub hästi toimiv sisendite tarneahel või toorme hind on väga volatiilne.

Tabel 6.3. Potentsiaalne kütuste tootmise koguvõimekus saadaolevate veel kasutamata toormete baasil eeldusel, et vastava toorme kogu saadaolev ressurss läheb ühe kütuse tootmiseks.

Toorme tüüp	Kogus (tuh. tonni aastas)	FT-destillaat (tuh. Tonni)	Pürolüüs bio-õli (tuh. tonni)	Pürolüüs-sünt. õli (tuh. tonni)	HDJC (tuh. tonni)	Biogaas (tuh. tonni)	Bio-metaan (tuh. tonni)
Taimne biomass ning puit ja puidujäägid	1 523	274	350	-	533	-	-
Plast-jäätmed	100 ¹¹⁰	-	-	35	-	-	-
Sõnnik ja biojäätmed	2 460	-	-	-	-	123	49
Saagis		0,18	0,23	0,35	0,35	0,05	0,4
MWh/t		11,94	8,06	11,11	11,94	5,55	13,87
Teravatt-tundi		3,27	2,82	0,39	6,36	0,68	0,68

Märkus: autorite arvutused lähtudes tabelist 4.4 ja Kliimaministeeriumi plastijäätmete hinnangust.

Seega on erinevate kütuste taastuvkütuste potentsiaali hindamise järgmiseks oluliseks komponendiks toorme kohalik saadavus. Tabel 6.3. võimaldab esmast hinnangut sellele, millises mahus oleks Eestis üldse võimalik toota alternatiivkütuseid olemasolevate sisendite baasil eeldusel, et kogu ressurss suunatakse vaid ühte tehnoloogiasse.

¹⁰⁹ Werkneh, A. A. (2022). Biogas impurities: environmental and health implications, removal technologies and future perspectives. *Heliyon*, 8(10). [Link](#).

¹¹⁰ Kliimaministeerium (2025). *Plastid ja plastijäätmed*. [Link](#).

Tabeli alusel on kõige suurem tehniline tootmispotentsiaal seotud taimse biomassi, puidu ja puidujääkide kasutamisega, mille aastane hinnanguline kasutamata kogus ulatub ligikaudu 1,5 miljoni tonnini, mis võimaldaks toota sõltuvalt tehnoloogiast 2,82–6,36 TWh ulatuses taastuvkütuseid. Kõrgeim energiapotentsiaal realiseerub HDJC-tehnoloogia puhul, millel on suhteliselt hea teisendustõhusus (0.35) ja kõrge energiatihedus (11,9 MWh/t). Teine oluline sisendibaas on sõnnik ja biojäätmed (ca 2,5 miljonit tonni aastas), millest on võimalik toota täiendavalt umbes 0,69 TWh ulatuses biogaasi või biometaan. Kuigi teisendustõhusus on tagasihoidlikum, on ressurss ise mahu mõttes märkimisväärne.

Kokkuvõtlikult on saadaolevate toormete (biomass, sõnnik ja biojäätmed, plastijäätmed) maksimaalne tootmispotentsiaal kokku 7,43 teravatt-tundi aastas. Võttes aluseks tabelis 6.1 toodud hinnangulise taastuvkütuse lõpptarbimise nõudluse (konservatiivse stsenaariumi ja energiaefektiivsuse stsenaariumi kohaselt vastavalt ~6,30 ja ~3,14 teravatt-tundi aastas) on tehniliselt võimalik olemasoleva toorme baasilt katta sisemaine lõpptarbimise vajadus arvestamata seejuures majanduslikku tasuvust. Võimaliku vahetarbimise vajaduse katmine seejuures tõenäoliselt enam võimalik ei ole.

Tehnoloogiate potentsiaali laiemaks hindamiseks ning nende tegevus- (OPEX) ja kapitalikulude (CAPEX) asjakohasuse mõistmiseks on esmalt oluline hinnata vaadeldavate tehnoloogiate potentsiaalsete sisendite hindu nii kodumaiste kui ka imporditavate allikate puhul. Sisendihinnad moodustavad olulise osa tootmise kulustruktuurist ja mõjutavad otseselt, millised tehnoloogiad on Eesti oludes majanduslikult rakendatavad. Tabel 6.4 koondab valiku olulisemaid sisendmaterjale koos nende ligikaudsete turuhindadega, pakkudes lähtekohta kulupõhisteks võrdlusteks. Üldistavalt saab aga välja tuua, et jäätmepõhised materjalid jäävad hetkel valdavalt alla 20 euro tonni kohta, samas kui kõrgema väärtusega sisendid, nagu taimeõlid ja etanool, võivad ulatuda mitmesaja euronit tonni eest. Selline hinnavahe mõjutab otseselt tehnoloogiate rakendatavust, kus madala hinnaga sisendid soosivad gaasiliste kütuste tootmist, ent kallimad sisendid piiravad vedelkütuste majanduslikku otstarbekust ilma toetavate mehhanismideta.

Tabel 6.4. Erinevate sisendite kodumaised ligikaudsed hinnad

Sisend	Hind (EUR/t)	Allikas
Puiduhake	45,75	Baltpool
Sõnnik	12	Metsaküla piim
Plast	0-500 ¹¹¹	European Environment Agency, European Investment Bank
Õli ja rasv	750	Paikre hinnakiri
Bioetanool	875	Argusmedia
Rapsiõli	478	TradingEconomics
CO ₂	72	Recessary
Vesi	2,44	Tallinna Vesi
Biojäätmed	0-12	Metsaküla piim
Elekter	11,22 senti KWh	Enefit, jaanuar 2025

¹¹¹ Sõltub plasti eeltötluse astmest.

Erinevat liiki kütuste tootmisega seotud kapitalikulutused ja tegevuskulud on toodud tabelis 6.5. Tooraine kulu on arvatud tabeli 6.4. toodud sisendhindade baasilt lähtudes tehnoloogiate saagikusest. Selline lähenemine on lihtsustatud, sest enamike tehnoloogiate puhul kasutatakse erinevaid sisendeid, ent sellele vaatamata annab see lähenemine eelduse potentsiaalsetest kuludest, mis on seotud põhilise toormega. Baaskulud tuginevad Euroopa Komisjoni (2017)¹¹² ja Project SkyPower (2024)¹¹³ analüüsidele, kusjuures kapitalikulude puhul on eeldatud 15-aastast investeerimisperioodi ja 10% suurust kaalutud keskmist kapitalikulu. Kuna lähtematerjalides on kulud toodud peamiselt megavatt-tundides, on need konverteeritud tonnideks lähtudes nende kütuste energeetilisest väärtusest. Kõigil lennukütustel on eeldatud energeetiliseks väärtuseks 11.94 MWh t⁻¹ (kerosiini ekvivalent)¹¹⁴, pürolüüsitud sünteetilisel õilil 11,11 MWh t⁻¹,¹¹⁵ pürolüüs bio-õilil 8,06 MWh t⁻¹¹¹⁶ ja biometaanil 13,97 MWh t⁻¹ ning biogaasil ~5,55 MWh t⁻¹¹¹⁷ eeldades metaani tiheduseks 0,716kg*(m³)⁻¹¹¹⁸. Selleks, et kulukomponendid oleksid võrreldavad tänaste hindade ja Eesti oludega, on Euroopa Komisjoni 2017. aasta uuringus toodud hinnad indekseeritud vastavalt ehitushinna muutusele. Kasutatud on 2017. aasta esimese kvartali Euroopa Liidu liikmesriikide keskmist tootjate ehitushinnaindeksit (103,5) ning 2023. aasta neljanda kvartali Eesti ehitushinnaindeksit (149,9), mille põhjal saadud hinnakorrektsioonitegur on 1,448. Selline kohandus võimaldab korrigeerida algandmed vastavaks nii Euroopa-sisesele inflatsioonile kui ka Eesti turu eripäradele. Tulemuseks on kapitalikulude realistlikum hinnang, mis kajastab paremini investeringute tegelikku maksumust Eesti tingimustes.

¹¹² Euroopa Komisjon (2017). Sub Group on Advanced Biofuels. Leitav: [Link.](#)

¹¹³ Project SkyPower (2024). Accelerating the take-off for e-SAF in Europe. Leitav: [Link.](#)

¹¹⁴ TNO (n.d.). *Technology Factsheet*. Leitav: [Link.](#)

¹¹⁵ Ndiaye, N. K., Derkyi, N. S. A., & Amankwah, E. (2023). Pyrolysis of plastic waste into diesel engine-grade oil. *Scientific African*, 21, e01836. [Link.](#)

¹¹⁶ Rony, Z. I., Rasul, M. G., Jahirul, M. I., & Hasan, M. M. (2025). Properties of pyrolysis oils derived from different organic wastes for assessing their suitability for engine fuel. *Energy Conversion and Management: X*, 25, 100875. [Link.](#)

¹¹⁷ IEA (2025). *An introduction to biogas and biomethane*. Leitav: [Link.](#)

¹¹⁸ IEA (2021). *Potential and utilization of manure to generate biogas in seven countries*. [Link.](#)

Tabel 6.5. Erinevate tehnoloogiate hinnangulised kapitali- ja tegevuskulud tonni lõpptoodangu kohta.

Tehnoloogia	Kütus	Hinnanguline aastane CAPEX (EUR/t)	Hinnanguline aastane OPEX va. tootmissisend (EUR/t)	Tooraine kulu (EUR/t lõpptoote kohta)
FT	Vedelkütus (FT-destillaat)	639,94-1 055,03	311,32-484,28	256
FT	Sünteeiline kütus	639,94-1 055,03	311,32-484,28	532
Pürolüüs	Bio-õli	328,19-410,27	~82,05	196
Pürolüüs	Sünteeiline õli	452,67-565,9	~113,17	471 ¹¹⁹
HEFA	<i>Drop-in</i> SPK	415,09-466,98	968,55-1 089,62	904
ATJ	SPK	494,65-761,00	247,33-342,45	1458
CHJ	CHJ-SPK	456,60-513,68	1 065,41-1 198,58	1 071
HDCJ	SPK	535,28-669,17	~133,82	131
e-SAF / PtL	e-kerosiin	703,93-1 160,53	342,45-532,70	4 713 ¹²⁰
RCF	SPK	575,94-949,53	280,19-435,85	450
Anaeroobne kääritamise	Biogaas	144,30-222,00	72,15-99,90	0-240
Biogaasi puhastamine	Biometaan	525,81-808,94	262,91-364,02	0-675

Märkus: HEFA hinnatud HVO baasilt +10%, ATJ etanooli baasilt +10%, HDJC pürolüüsi baasilt + 10%, e-saf FT baasilt +10% (tulenevalt kallimast turu hinnast, mis on seotud tehnoloogiaga) ja RCF FT baasilt -10% (elektrolüüseri kulu ja Syngas loop kokkuhoid). Allikas: autorite arvutused tuginedes Project SkyPower (2024) ja Euroopa Komisjon (2017) järeldustele.

Tabelist 6.5. ilmneb, et erinevate tehnoloogiate kuluprofiilid on väga erinevad ning majanduslik tasuvus sõltub otseselt nii kapitali- ja tegevuskulude tasemest (tehase suurus, tehnoloogia ja protsessi keerukus) kui ka sisendite hinnast. Gaasiliste kütuste tootmine (biogaas ja biometaan) paistab silma madala toorainekulu ja mõõduka investeerimisvajadusega. Siiski tuleb arvestada, et hinnanguline sisemaine

¹¹⁹ Toorme kulu toodud hinnangulise keskmisena lähtudes Paikre kokkuostu hinnast. Olenevalt plasti kvaliteedist võib hind varieeruda 0-st eurost kuni 500 euron (vt tabel 7.4).

¹²⁰ Ühe tonni e-kerosiini tootmiseks on eeldatud ~40 MWh elektrienergia sisendit. Vt: Drünert, S., Neuling, U., Zitscher, T., & Kaltschmitt, M. (2020). Power-to-Liquid fuels for aviation-Processes, resources and supply potential under German conditions. *Applied energy*, 277, 115578. ja Concave (2024). *E-Fuels: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050 – Update*.

tootmispotentsiaal ulatub 2030. aastaks ligikaudu ~1 teravatt-tunnini aastas (1090 GWh) ja seda suuresti tänu Keskkonnainvesteeringute Keskuse biometaanitootmise rajamise meetmele¹²¹. Täiendava tootmisvõimsuse rajamine eeldaks täiendavaid riiklikke toetusi, samas kui hajusalt paikneva toorme kokkuvedu suurendaks sisendikulusi märgatavalt ja võib seega mõjutada investeeringute tasuvust, eriti väiksemas skaalas.

Vedelkütuste tootmise puhul näitavad majanduslikku potentsiaali eelkõige HEFA ja HDCJ, mille kogukulud jäävad võrreldes teiste vedelkütuste tootmise tehnoloogiatega mõõdukaks. Samas sõltub HEFA rakendatavus kütuse tootmiseks sobilike kasutatud õlide ja loomsete rasvade kättesaadavusest, mille potentsiaalne saadaolev toormemaht Eestis on teadmata ja eelduslikult madal, ning seetõttu võib see tehnoloogia tuua kaasa sisendipõhise impordisõltuvuse.

Pürolüüsi ja FT on arvestades lõpptootte hinda ja sisendite saadavust majanduslikult tasuvad pürolüüs juhul, kui tehase rajamisel on võimalik jääda kapitali- ja tegevuskuludega vahemiku madalamasse tasemesse, mille eeldamine (sh ka teiste kütuste puhul) on optimistlik. Kasumlikkuse säilitamiseks eeldab pürolüüs tõenäoliselt sarnaselt biometaanile riiklike investeerimistoetusi ja odavat toorme hinda. Ehk kõige optimistlikuma kapitali ja tegevuskulude eeldusel ning eeldusel, et täiendav rafineerimine ei ole vajalik (mootorkütuse tootmiseks), võiks pürolüüs tasuv olla juhul, kui sisendi hind jääb alla 50 EUR/t või on toormele on rakendatud positiivsed väravatasud¹²². Kõrgema kvaliteediga plastjäätmete kasutamisel (eeltöödeldud, granuleeritud) ei ole pürolüüs tõenäoliselt turutingimustel tasuv.

RCF-tehnoloogia, kuigi esmapilgul kulustruktuurilt justkui konkurentsivõimeline, on rakendamise mõttes vähetõenäoline, tulenevalt Eestis vähesest CO₂ mahukast tööstusbaasist, mis tagaks pikaajalise vajamineva tootmissisendi saadavuse. CO₂ väärimine on tehnoloogiliselt perspektiivikas, kuid Eestis realiseeritav vaid piiratud mahus.

ATJ ja CHJ tootmine sõltuks märkimisväärselt impordist ning arvestades sisendite suhtelist kallidust ja lisanduvaid logistikakulusid, ei ole need tehnoloogiad Eesti tingimustes majanduslikult põhjendatavad. E-SAF (*Power-to-Liquid*) tehnoloogia eristub eriti kõrge tooraine- ja energiakuluga, tulenevalt CO₂ ja vee sidumisest ning suurest roheelektrivajadusest. Võrreldes Eesti elektrienergia hinda teiste lähiriikide hindadega, on Eesti potentsiaalsete tootjate jaoks väheatraktiivne. Lisaks tuleb arvestada, et kuigi selliste kütuste (ATJ-RCF) hinnanguline maailmaturu hind võib peegeldada nende kõrget väärimisastet, muudab see samas nende kütuste hinna konkurentsivõime fossiilkütustega võrreldes küsitavaks- eriti olukorras, kus puudub regulatiivne kohustus või turupõhine nõudlus.¹²³ Täiendavalt, kuna tegemist on madalama tehnoloogilise valmiduse tasemega lahendustega, võib tegelik kapitali- või tegevuskulu ületada täna teadaoleva hinnangu.

¹²¹ Rohetiiger (2025). *Rohetiigri energia teekaart 2025*. [Link](#).

¹²² Vt Saksamaa näide väheväärtuslikule plastikule: European Investment Bank (2024). *Managing refuse-derived and solid recovered fuels*. [Link](#).

¹²³ Deloitte (2025). *Sustainability Briefing: Are sustainable aviation fuels ready for take-off in 2025?* [Link](#).

Tabel 6.6 koondab nende alternatiivkütuste sotsiaalmajanduslikud mõjud, millel on eelneva analüüsi põhjal Eesti kontekstis kõige suurem potentsiaal, arvestades sisendite kättesaadavust, investeerimisvajadust (CAPEX) ja tegevuskulusid (OPEX). Valikusse kuuluvad biometaan ning vedelkütuste puhul HEFA, HDCJ ja biomassi pürolüüsist bio-õli tootmine. Tabel esitab hinnangud nende tehnoloogiate otsestele, kaudsetele ja indutseeritud majandusmõjudele, eeldades iga tehnoloogia puhul 10 tuhande tonni lõppkütuse tootmise šokki. Lisaks on toodud andmed antud mahus tootmiseks vajaminevate inimtööaastate ja tootmisest tekkivate potentsiaalsete maksulaekumiste kohta. Kuigi tootmispotentsiaal jääb kitsaks, võimaldavad valitud tehnoloogiad teatud tingimustel luua mõõdetavat mõju kohalikele majandustele ja riigieelarvele.

Tabel 6.6. Majanduslikult potentsiaalselt tasuvate valitud vedelate biokütuste tootmise sotsiaalmajanduslikud mõjud

	Pürolüüsõli*	HEFA	HDJC	Biometaan
Maailmaturu eeldatud hind	692,56	2 768,00	1 915,00	1 116.80
Šokk (mln EUR)	6,93	27,68	19,15	11,17
Otsene mõju (mln EUR)	0,86	4,81	11,14	1,59
Kaudne mõju (mln EUR)	0,65	2,59	1,79	1,92
Indutseeritud mõju (mln EUR)	0,37	1,50	1,03	0,80
Sotsiaal-majanduslik mõju kokku (mln EUR)	1,85	8,89	13,97	3,94
Täiendav tööhõive inimtööaastates	40	160	110	85
<i>-sh otsene</i>	25	100	69	45
<i>-sh kaudne</i>	10	40	27	29
<i>-sh indutseeritud</i>	5	20	14	11
Käibemaksu laekumine riigieelarvesse (mln EUR)	0,28	1,13	0,78	0,82
Tööjõumaksude laekumine riigieelarvesse (mln EUR)	0,53	2,11	1,46	1,52
Maksulaekumine riigieelarvesse kokku (mln EUR)	0,81	3,24	2,24	2,33

Märkus: Autorite arvutused. *- eeldusel, et toorme hind on alla 50 EUR/t.

Kuigi tehniliselt on võimalik Eestis katta sisemaine kütuste lõpptarbimise vajadus kohaliku ressursiga, sõltub erinevate alternatiivkütuste tootmise majanduslik otstarbekus suurel määral kallihinnaliste sisendite kättesaadavusest, tarneaehelate efektiivsusest, riiklikest toetuskeemidest või väravatasudest ja turu valmisolekust aktsepteerida kõrgemaid hindu. Kütusetootmine on globaalselt mahuäri, mis eeldab ulatuslikke sisendvooge, madalaid ühikuhindu ja hästi integreeritud tarneaehelaid. Eesti geograafiline paiknemine, piiratud ressursside kättesaadavus ning suhteliselt kõrged kapitali- ja tegevuskulud ei toeta rahvusvaheliselt konkurentsivõimelist kütuste tootmist turutingimustel ilma riiklike investeerimistoetusteta või positiivsete väravatasudeta. Arvestades Eestis saadaolevaid potentsiaalseid kasutamata toormemahute, kütuste

tootmisega seotud kulustruktuuri ning hinnatasemeid, oleks tulemuseks kas kallim lõpptoote hind (mis ei konkureeriks maailmaturul) või sõltuvus imporditavast sisendist, mis ei tagaks tegelikult energiajulgeolekut toormevoogude katkemisel.

Seetõttu on taastuvkütuste tootmise rakendamine Eestis majanduslikult realistlik vaid juhul, kui olemas on tugev ja järjepidev poliitikaraamistik, mis tagab stabiilse regulatiivse surve, pikaajalised toetuskeemid ja riskide maandamise mehhanismid. Alternatiivkütuste ekspordipotentsiaal jääb aga ilma mastaabiefektita madalaks.

7. STSENAARIUMID

Teekaardi koostamise käigus formuleeriti läbi viidud analüüside põhjal neli stsenaariumi, mis tuginevad tabeli 6.1 hinnatud väärtusvahemikele ja lähtuvad tabeli 7.1. esimeses tulbas toodud tegevuste või muutuste rakendamisele.

Kõikidele tulevikustsenaariumitele anti ka nende sisule vastav lühike koondnimetus: proteksionistlik, üleilmastunud ja traditsiooniline, biorevolutsiooniline ning biorevolutsioon ilma poliitilise toeta. Stsenaariumite kirjeldused on toodud tabeli järel.

Tabel 7.1. Tulevikustsenaariumid CO₂-neutraalsete või vähese CO₂ heitega kütuste kasutuselevõtuks

	STS1	STS2	STS3	STS4
Seos ptk 6 lõpptarbimise vajadustega	Energiata lõpptarbimine otseselt ei vähene, säilib tänane maht	Konservatiivne energia lõpptarbimise stsenaarium	Konservatiivne, olenevalt tehnoloogilisest arengust energiaefektiivne stsenaarium	Konservatiivne stsenaarium realiseerub pooleldi
Põlevkivi kasutamine ja väärindamine (elekter + mootorkütused)	Suureneb, kaetakse kogu elektrienergia lõpptarbimise vajadus (~6 TWh aastas), väärindatakse ka mootorkütusteks (~ <10 TWh aastas)	Kaob aja jooksul täielikult, potentsiaalne vajaminev aastane lõpptarbimise vajadus (0,5 TWh) kaetakse impordiga	Kaob aja jooksul täielikult	Sõltub mingil ajahetkel käesolevast dialogist
Küttepuidu kasutamine	Lõpptarbimine jääb samale tasemele (~5 TWh aastas)	Lõpptarbimine väheneb aja jooksul umbes ~2 TWh-ni aastas tänu elektrifitseerimisele	Lõpptarbimine väheneb aja jooksul umbes ~2 TWh-ni aastas tänu elektrifitseerimisele	Lõpptarbimine jääb ligikaudu samale tasemele (~4 TWh aastas)
Biogaasi ja biometaanivõimsuste suurendamine	Suureneb ~ 2-2,2 TWh-ni aastas	Realiseerub planeeritud 1 TWh ulatuses aastas, ülejäänud nõudluse katteks vajaminev ressurss imporditakse	Realiseerub planeeritud 1 TWh ulatuses aastas, ülejäänud nõudluse katteks vajaminev ressurss imporditakse	Realiseerub planeeritud 1 TWh ulatuses aastas, jätkub maagaasi kasutamine umbes samal määral
CO ₂ neutraalsete mootorkütuste kasutuselevõtt	Ei kohaldu, keskendutakse põlevkivi kompetentsile	Riiklike toetuskeemide olemasolul vähesel määral	Kogu vajaminev kütuste ressurss (3-4 TWh aastas) kaetakse impordiga	Sõltub mingil ajahetkel käesolevast dialogist

ja kohapealne tootmine (va biometaan)		kasvab (~0.2-0.4 TWh aastas-pigem testtehas), ülejäänud aastase lõpptarbimise vajadus (kokku ~3-4 TWh aastas) kaetakse impordiga		
Roheelektri võimsuste suurenemine	Väheneb, keskendutakse põlevkivile	Suureneb, märkimisväärne osa aastasest elektri lõpptarbimise vajadusest (9 TWh) toodetakse kohapeal, ülejäänud vajaminev ressurss kaetakse impordiga	Aastane lõpptarbimise vajadus (~ 9 TWh aastas) kaetakse valdavalt impordiga	Suureneb mõnevõrra, ent prognoosimatult
Vesiniku kasutusele võtmine ja võimsuste suurendamine	Ei ole asjakohane	Sõltub tehnoloogia arengust, aastane lõpptarbimise vajadus (ca 3-4 TWh aastas) kaetakse valdavalt impordiga, ent eksisteerib ka vähene kohapealne tootmine	Sõltub tehnoloogia globaalsest arengust, aastane lõpptarbimise vajadus (ca 3-4 TWh aastas) kaetakse impordiga	Sõltub mingil ajahetkel käesolevast dialogist

1. Proteksionistlik stsenaarium, kodumaine tootmine ja tarbimine

Käesolev stsenaarium kirjeldab arengut suunas, kus Eesti liigub proteksionistliku energiapoliitika poole, lähtudes globaalse geopoliitilise ebastabiilsuse ning varustuskindluse riskide süvenemisest. Energia- ja kütusetootmine keskendub üksnes siseriiklikele ressurssidele, sõltumata majanduslikust tasuvusest.

Stsenaariumis eelistatakse olemasolevate tehnoloogiate maksimaalset ärakasutamist uute innovatsioonide asemel. Energiat toodetakse peamiselt biomassi (küttepuit, võsa, heinakulu) põletamise teel ning säilib ka biogaasi tootmine. Samal ajal jätkub põlevkivil põhinev elektri, soojuste ja vedelkütuste tootmine, kasutades senist infrastruktuuri.

2050. aastaks jääb elektrienergia osakaal umbes 25% tasemele (6 TWh aastas), võimalik on mõningane täiendav elektrifitseerimine (+0,5-1 TWh ulatuses). Biokütuste ja biomassil põhinevate kütuste kasutamine võib kasvada 6,1 TWh-lt aastas 7,2 TWh-ni

(ca 5 TWh aastas küttepuit ja ~2,2 TWh aastas biogaas), eeskätt seoses maagaasi asendamisega biogaasiga. Ehkki see ei ole majanduslikult konkurentsivõimeline, on see valik strateegiliselt põhjendatud varustuskindluse ja energiajulgeoleku vaates.

Suurim kitsaskoht on mootoribensiini ja diislikütuse tarbimise (kokku ~10,4 TWh aastas) asendamine. Osa sellest võib katta elektrifitseerimisega, osa põlevkivipõhiste alternatiividega (fraktsioneeritud ja töödeldud põlevkiviõli), kuid viimane jääb fossiilseks ning ei aita kaasa kliimaeesmärkide saavutamisele.

Arvestades, et biogaas ei ole täiemahuliselt tasuv, põlevkivist kütuste rafineerimine on kallis, siis on tõenäoline, et nende kütuste hind tõuseb, mis omakorda vähendab nõudlust isegi juhul kui sisemiselt kogu vajaminev maht oleks asendatav. Tõenäolisem on aga stsenaarium, kus tootmisvõimsused ei võimalda põlevkivi fraktsioneerimist ja töötlemist sellises mahus, mis kataks kogu nõudluse, mistõttu pakkumine turul väheneb.

Sellisel juhul võib riik olla sunnitud kehtestama kvoote ja jaotuskriteeriumeid, et tagada elutähtsate sektorite varustus, mis viib vabaturu nõrgenemiseni ning vajaduspõhise jaotussüsteemi kehtestamiseni. Seega süveneb defitsiidimajandus, suureneb must turg, korruptsioonirisk ja majanduskuritegevus. Tehnoloogilise arengu ja investeringute puudumine viib majandusliku stagnatsiooni ja konkurentsivõime languseni.

2. Üleilmastunud ja traditsiooniline biomajandus (biokütused)

Selles stsenaariumis kujundatakse Eesti energiasüsteem ümber ulatusliku elektrifitseerimise ja taastuvenergia tootmise kasvu kaudu, eesmärgiga saavutada süsinikuneutraalsus ning kiirendada tehnoloogilist moderniseerumist. Majandus areneb suunas, kus biomajanduse roll kütusetootjana väheneb, liikudes suurema lisandväärtusega toodete ja ekspordisuutlike nišivaldkondade suunas.

Stsenaarium eeldab energiataristu sügavat ümberkujundamist, mille keskmes on elektrifitseerimine. Elektrienergia lõpptarbimine kasvab 2050. aastaks hinnanguliselt 6 TWh-lt ~9 TWh-ni aastas. Taastuvenergia tootmisvõimsused suurenevad mõnevõrra läbi päikese- ja tuuleenergia kohaliku tootmise kasvu. Juhitavatest võimsustest on potentsiaal ka kohaliku tuumaenergia lisandumisel.

Primaarsete tahkete biokütuste roll energiasektoris väheneb: varasem ~5 TWh ulatuses kasutatud küttepuit asendub osaliselt elektrifitseeritud küttesüsteemidega, langedes 2050. aastaks umbes 2 TWh-ni aastas. Biogaasi ja biometaani kasutamine võib suurened kuni 2 TWh-ni aastas, asendades varasemalt kasutatud maagaasi. Tõenäoline on, et pool siseriiklikust vajadusest kaetakse kohaliku toodanguga ja pool impordiga.

Biodiisli ja biobensiini kasutamine stabiliseerub vahemikus 3–4 TWh aastas nagu peatükis 6 toodud energiaefektiivsuse prognoosides, katmaks raskesti elektrifitseeritavaid transpordisektoreid. Plastijäätmete impordi suurenemisel ja riiklike investeerimis- ning tegevustoetuste rakendamisel võib eeldada, et ~0.2-0.4 TWh ulatuses sünteetilist mootorkütust toodetakse kohapeal. Majanduslikult on see kogus aga marginaalne koguvajaduse suhtes ja tõenäoliselt ülejäänud biomootorkütuste vajadus kaetakse siiski impordiga. Järelejäänud väike osa fossiilkütuste tarbimisvajadusest (~0,5 TWh aastas), kaetakse samuti tõenäoliselt impordiga.

Lisandub ka vesinik, mis leiab kasutust tööstuses, varundamises ja osaliselt transpordis. Selle lõpptarbimine võib 2050. aastaks ulatuda 3–4 TWh-ni aastas- sõltuvalt tehnoloogilisest arengust ja investeeringute mahust. Võimalik on mõningane kohapealne tootmisvõimekus, enamus vajaminevast vesinikust siiski tõenäoliselt imporditakse.

Taskukohase roheenergia pakkumine eeldab suurte tootmismahude olemasolu turul. Selle saavutamiseks on vajalikud täiendavad mahukad investeeringud tehnoloogia arengusse ja infrastruktuuri. Tootmismahude suurenemisest tulenev ajutine ületootmine surub roheenergia turuhinna alla, muutes selle tarbijale kättesaadavamaks. Samal ajal seab madal hind kütuste tootjad majanduslikult keerulisse olukorda ning suurendab vajadust täiendavate riiklike regulatsioonide ja toetuste (subsiidiumide) järele, et tagada investeeringute tasuvus ja energiaturu pikaajaline jätkusuutlikkus, mis on tänases majanduskeskkonnas vähetõenäoline.

Kuigi tehniliselt on Eestis võimalik tagada kütuste koguvajadus sisemaiste ressursside abil- läbi investeeringute elektritootmisesse, biogaasi- ja biometaanivõimsuste laiendamisse (täiendavate subsiidiumite eeldusel), plastpürolüüsi rakendamisse (eeldusel, et suureneb jäätmeplasti import ja eksisteerivad investeerimis- ja tegevustoetused) või biomassi FT-protsessi (eeldusel, et eksisteerivad märkimisväärsed investeerimis- ja tegevustoetused), suunatakse biomajanduse arengu fookus eemale kütuste kohapealsest tootmisest, keskendudes kõrgema lisandväärtusega toodetele.

Biorafineerimistehaste kaudu toodetakse keerukamaid keemia- ja kosmeetikatööstuse tooteid ning muid spetsialiseeritud väljundeid, mille lisandväärtus on kõrgem ja ekspordipotentsiaal on suurem.

Elektrifitseerimine aitab küll vähendada otsest vajadust vedelate ja gaasiliste biokütuste järele, kuid samas suurendab see Eesti sõltuvust imporditavatest biokütustest. Tulemuseks on kasvav impordisõltuvus, mille tõttu suureneb biokütuste defitsiidirisk, väheneb varustuskindlus, ja suureneb majanduse haavatavus volatiilsete globaalsete turutingimuste suhtes.

3. Biorevolutsioonist raputatud üleilmne biomajandus/biokütused

Kolmas stsenaarium kirjeldab olukorda, kus majandus ja ühiskond liiguvad kiiresti tehnoloogiakesksesse arengufaasi, mida veavad bioteaduste ja -tehnoloogiatega läbimurded. Biorevolutsioon kujundab ümber globaalse turuloogika, luues uusi, seni reguleerimata toormeturge ja teenusmudeleid. Selle stsenaariumi keskmes ei ole biomassi põletamine ega mahupõhine biokütuste tootmine, vaid teadmispõhine tootearendus, kõrge lisandväärtusega biotooted ning spetsialiseeritud kõrgtehnoloogiliste nišivaldkondade hõivamine.

Kuigi lõppkasutuse energianõudluse struktuur on 2050. aastaks sarnane teise stsenaariumiga (nt transpordi ja hoonete elektrifitseerimine), siis täiendavaid investeeringuid tuule-, päikese- ega tuumaenergiasse ei tehta. Elektrienergia lõpptarbimine kasvab hinnanguliselt ~9 TWh-ni aastas, kuid valdavalt kaetakse see vajadus roheelektri impordiga.

Küttepuidu vajadus (ca ~2 TWh aastas) kaetakse kohaliku tootmisega, umbes ~9 TWh ulatuses küttepuidust (mida ei kasutata kodumaises vahe- ega lõpptarbimises) eksporditakse välisriikidele. Biometaani tootmise eesmärk ~1 TWh aastas ulatuses realiseerub, ent täiendavad tootmisvõimekused ei ole majandusliku tasuvuse tõttu eesmärgiks. Biokütuste (biodiisel, biobensiin) ja vesiniku vajadus (kumbki 3–4 TWh aastas) kaetakse täielikult impordiga, sest investeeringud vajalikesse tootmisvõimsustesse on liiga suured, tegevuskulud kõrged ja tasuvus turutingimustel madal. Samuti kaetakse järelejäänud ~0,5 TWh fossiilsete kütuste vajadus aastas impordi teel, sest kohalik põlevkivitööstus on täielikult kadunud.

Tehnoloogiliselt eeldab stsenaarium, et Eestis panustatakse paindlikkusele kiirendatud tehisintellekti kasutuselevõtule rakuvabrikutes ja biotehnoloogias. Näiteks biomaterjalide arendus või rakupõhised tootmissüsteemid on valdkonnad, kus väikeriik saab tegutseda strateegiliselt valitud nišis. Eesti on maailma mastaabis uute tehnoloogiate liivakast (*sandbox*), kus on loodud head tingimused (vähene bürokraatia, lihtne seadusandlus, koostöövõrgustikud) erinevate uute tehnoloogiate katsetamiseks enne turuletoomist.

Majanduslikult nihkub biomajandus ressursside väärimisele väljaspool energiasektorit. Eesti ettevõtteid ei ehita oma ärimudeleid mahutootmisele, vaid spetsialiseeruvad kõrgema lisandväärtusega toodetele ja nende katsetamisele, mille tehnoloogiline pädevus arendatakse välja kohapeal, ent tootmis- või turustusfaasid viiakse vastavalt vajadusele lähemale sihtriikidele või toormebaasile. Tekivad ka erinevad ettevõtete klastrid, mis omavahel toimivad tööstussümbioosis. Selline hajutatud äriõiguse suurendab ekspordivõimekust ja vähendab survet kohalikele bioressurssidele ja nende edasisele väärimisele.

4. Biorevolutsioon ilma pikaajalise toetava poliitikata

Käesoleva stsenaariumi keskmes on killustatud energiapoliitika, mida iseloomustab strateegilise suuna muutlikkus. Tehnoloogiline ja majanduslik ebajärjekindlus toob kaasa olukorra, kus tehakse ulatuslikke avaliku sektori investeeringuid – eelkõige subsideeritud meretuuleparkidesse eesmärgiga toetada taskukohast ja kestlikku energiatootmist.

Tegelikku realiseerumist takistavad aga viivitused, infrastruktuuri kitsaskohad ning prognoosimatu tootmisvõime. Selle tulemusel ei realiseeru loodetud hinnastabiilsus, kuid kulud jäävad suuresti avalikkuse kanda.

2050. aastaks ulatub elektri ja kütuste lõpptarbimine ligikaudu 21 TWh-ni aastas. Elektrienergia osakaal lõpptarbimises kasvab mõõduka elektrifitseerimise tõttu ligikaudu 7 TWh-ni aastas. Tehnoloogiline areng säilib valdavalt olemasoleval tasemel: tahkete biokütuste (peamiselt küttepuidu) põletamine jätkub (~4 TWh aastas), investeeringud salvestustehnoloogiatesse on suured, kuid praktiline rakendamine aeglane. Põlevkivisektor kogeb ajutist reaktivatsiooni, et kompenseerida taastuvenergia tootmise kõikumist ja salvestusvõimekuse nappust.

Biokütuste (biodiisel, biobensiin) nõudlus ulatub ligikaudu 6 TWh-ni aastas ning kaetakse peaaegu täielikult impordi kaudu, kuna puudub selge strateegia kohaliku tootmise arendamiseks või impordisõltuvuse maandamiseks. Biometaani tootmisvõime (~1 TWh aastas) eesmärk realiseerub, ligikaudu pool sellest eksporditakse, sest mujal on selle

turväärtus tänu mõtestatud CO₂ kvootidele kõrgem. Eesti enda maagaasi kasutamise asendamine jääb osaliseks ning vajakajääv kogus imporditakse. Muude kütuste vajadus (nt raskekütteõli jms) alternatiivid imporditakse.

Poliitiline protsess taastuenergia valdkonnas on reaktiivne ja tsükliline: tehnoloogiate (nt tuule-, tuuma- või pürolüüsilahendused) eelistamine sõltub enam hetkelise avaliku diskussiooni dünaamikast kui süsteemsest analüüsist. Uuringutesse suunatakse küll märkimisväärseid ressursse, kuid otsustusprotsess aeglustub selge tegevusraamistiku ja poliitilise järjepidevuse puudumise tõttu.

Elanikkonna jaoks tähendab see stsenaarium kasvavaid energia- ja elamiskulusid, kuna tarbijad katavad nii subsiidiumid, taristuinvesteeringud kui ka mittetäielikult realiseerunud projektide kulud. Sissetulekute ja hindade vaheline süvenev disproportsioon suurendab sotsiaalseid pingeid ning energiavaesus kujuneb laialdasemaks ja strukturesemaks probleemiks.

Lühidalt saab neid stsenaariume võrreldes välja tuua nende põhilised erinevused, mida kirjeldavad neile ühtsed neli parameetrit (fookus, biomassi osakaal, riskid, majandusmudel), mis teatud kombinatsioonides on vastanduvad või üksteist täiendavad.

Stsenaariumite fookus – proteksionism vs globaliseerumine vs innovatsioon vs poliitiline killustatus – toob välja nende erinevused.

Biomassi osakaal/roll: suur (1, 4) → vähenev (2) → suunatud kõrgtehnoloogiasse (3).

Riskid: varustus kriisid ja korrupsioon (1), impordisõltuvus (2), tehnoloogiariskid ja välisurgude sõltuvus (3), energiavaesus ja stagnatsioon (4).

Majandusmudel: suletud (1), avatud ekspordipõhine (2), teadmispõhine (3), killustatud ja ebaefektiivne (4).

Kokkuvõtteks

Sõltumata valitud arengustsenaariumist põhinevad Eesti suurimad võimalused biokütuste tootmisel bioressursside kasutamisel, mis tähendab ennekõike põllu- ja metsamaa rakendamist toorme allikana. Muud alternatiivsed allikad on mahuliselt ulatuslikuks biokütuste tootmiseks üldjoontes piiratud. Seejuures on traditsioonilise majandusmetsa osakaal vähenemas, samal ajal kui üha enam metsamaad suunatakse lühikese raieringiga istandike alla. Tuleks kaaluda võimalust, et rajada istandikke kasutusest väljas olevale põllumaale, mis ei oma looduskaitsest väärtust (ca 76 000 ha). Värskest valminud analüüs näitas, et istandikeks ei saa EL äsja jõustunud regulatsioonide tõttu kasutada halli lepaga kaetud metsamaad.¹²⁴ Paralleelselt on juba käimas protsess, kus põllu- ja metsandussektorist pärit biomassi kasutus biokütuste väärtusahelas järjest kasvab ning suure tootmismahuga ettevõtted püüavad üha enam kindlustada endale kontrolli toormeallikate üle- sageli vertikaalse integratsiooni kaudu.

See suurendab nõudlust põllu- ja metsamaa järele, tõstab maa hinda ning viib aja jooksul toorme kallinemiseni. Pikas perspektiivis võib see luua olukorra, kus bioressurssidele ei

¹²⁴ Kliimaministerium (2024). *Istandike Faktileht*. [Link](#).

ole kõigil turuosalistel enam võrdset juurdepääsu, mis suurendab turukontsentratsiooni ja võib pärssida väiksemate tootjate konkurentsivõimet.

Bioressursside kasutamisel on aga oluline silmas pidada milliseid biokütuseid majanduses vajatakse, millisel määral ja milliste tehnoloogiate ning edasiste rafineerimistasemetega on võimalik vajalikke kütuseid toota. Kuigi esmane kulustruktuur mõningatel tehnoloogiatel võib tunduda majanduslikult mõistlik, võib täiendav rafineerimine tõsta biokütuste tootmise kulusid ja seega lõpphinda tarbija jaoks veelgi, muutes ettevõtmise oluliselt kulukamaks esialgselt plaanitust.

Kütuste tootmine on globaalselt mahuäri, kus kasumimarginaalid on tihti madalad ja kasumlikkust suunavad madalad sisendi- ja tegevuskulud ning märkimisväärne mastaabiefekt. Arvestades Eesti suurust ja saadaolevaid ressursse, on sellise mastaabiefektiga äärmiselt keeruline konkureerida maailmaturul, mis tähendab kohalik biokütuste tootmine saab valdavalt tugineda mahukatel riiklikel toetustel ja subsiidiumitel, mis omakorda võivad moonutada turumehhanisme. See võib viia omakorda olukorrani, mis ei ole lõpuni efektiivne, sest majanduslik stiimul uuendusteks on nõrk või puudub täielikult.

Seega on mõistlik käsitleda biokütuste kohalikku tootmist riikliku strateegilise otsusena - valdavalt varustuskindluse tagamiseks. Küll aga ei ole see otsus odav, turutingimustel efektiivne või rahvusvaheliselt konkurentsivõimeline. Tegelikult varustuskindluse tagamiseks on vajalikud väga suured investeeringud, sõltumatuse tagamiseks olemasolevate kohalike ressursside ümberjaotamine ja pidevad tegevustoetused. Sellised mehhanismid ei mõjutaks aga ainult kütuste tootjaid, vaid omaksid märkimisväärseid ülekandeefekte ka ülejäänud majandusele (läbi toormenappuse muudes sektorites, hinnatõusu jms) ning seda suunas ja mahus, mida on täismahus keeruline ette näha. Variant on toormeid ka importida, aga kehva stsenaariumi (nt sõda) olukorras ei tagaks see vajalikku sõltumatust energiajulgeolekuks.

8. KOKKUVÕTE

Läbi viidud uuringu eesmärk oli ülevaate koostamine CO₂ vabade või vähese CO₂ heitega kütuste tootmise ja tarbimise potentsiaali väljaselgitamiseks Eestis, arvestades kliimakindla majanduse seaduse eelnõus toodud valdkondlikke eesmärke perioodil 2025 – 2050. Analüüsi kütuste tootmis- ja tarbimisvõimekust erinevate sektorite (energeetika, transport (sh lennundust ja muu ühistransport), põllumajandus ning merendus) lõikes ja kokkuvõtvalt riigis tervikuna.

Empiirilise uuringu läbiviimiseks kasutati kombineeritud lähenemist. Uuringu eesmärgi saavutamiseks intervjueriti kõiki väärtusahela osapooli ning analüüsi antud valdkonda puudutavaid varasemaid teadusuuringuid, artikleid ja aruandeid.

Sektoripõhine kokkuvõte

- Transport

Biometaan on transpordisektoris kõige küpsem CO₂-neutraalne alternatiivne kütus, mille 2023. a tootmisvõimekus oli ~300 GWh/a, lühiajaline tootmiseesmärk on 500 GWh ja tootmispotentsiaal kuni 1 TWh/a. Suurim kasutus tänapäeval ühistranspordis ja veokites. Vesinik on sobiv raskeveokitele ja raudteetranspordile, kuid Eestis piiratud elektriressurss takistab roheline vesiniku tootmist. Samuti on tanklate võrk alles esmases arenegufaasis. E-diisel ja e-metanool pakuvad alternatiivi fossiilsetele kütustele merenduses ja lennunduses, kuid tehnoloogiad on kallid ja turustruktuur nõrk. Transpordisektor on kõige küpsem sektor alternatiivsete kütuste kasutuselevõtuks, kuid nõuab regulatiivset tuge ja infrastruktuuri laiendamist (nt tanklad, logistikavõrk).

- Põllumajandus

Biometaani tootmiseks sobivaid allikaid, eriti loomasõnnikut, on palju (potentsiaal 1,9 mln t/a), kuid kasutus piirdub 13%-ga. Biometaani kasutamine põllumajandusmasinates on teoreetiliselt võimalik, kuid vajab tehnilist kohandamist ja toetusmeetmeid. Põllumajandusjäätmeid saab digestaatide väetisena kasutamise kaudu kasutada süsiniku sidumiseks. Põllumajandus on võtmesektor toorme pakkumise vaates, aga vajab tugevat koordineerimist ja investeringuid biometaani tarneahelasse.

- Energeetika

Kütuste tootmiseks vajalik elektrienergia, eriti vesiniku ja e-kütuste puhul, on piiratud, kuna kogu Baltikum on pikaajaliselt elektridefitsiidis. Samuti on nii elektri lõpphind, mis sisaldab nii võrgutasusid kui ka elektri enda hinda konkurentsivõime seisukohalt oluliseks kitsaskohaks. Vesiniku elektrolüüsiseadmete jaoks sobivad tehnoloogiad on olemas, kuid nende majanduslik tasuvus sõltub taastuvelektri hinnast ja kättesaadavusest. Biokütused võivad anda lisapanuse elektritootmise ja soojatootmise sektorisse, kus juba tänasel päeval kasutatakse puiduhaket või pelliteid koostootmisjaamades. Taastuenergia tootmisvõimekuse suurendamine on kriitiline eeldus CO₂-neutraalsete kütuste skaleerimiseks.

- Tööstus

Tööstuslike kõrvalvoogusid (nt CO₂, jääksoojus, orgaanilised jäätmed) saab kasutada e-kütuste ja sünteesigaasi tootmiseks (nt pürolüüs, gaasistamine). Vastavad tootmisüksused hetkel Eestis puuduvad. Kemikaalide ja vedelkütuste tootmine puidust (nt ligniinist) vajab investeringuid biorafineerimistehastesse. Plastijäätmete töötlemise (pürolüüsi) tehnoloogiate areng on Eestis TVT 5–7. Tulevikus on sellistel tehnoloogiatel potentsiaal sulgeda süsinikuring. Üldiselt on

tööstusel suurepärane potentsiaal jääme- ja kõrvalvoogude väärimdamisel, aga investeringud on kõrge riskiga ja vajavad toetavat poliitikat.

- Merendus ja lennundus

Merenduses sobivad biometaan (LBG), e-metanool ja e-diisel väikelaevadele ja suurtankeritele. Lennunduses soosivad rahvusvahelised regulatsioonid SAF-i (*sustainable aviation fuels*) kasutuselevõttu. Eestis vajab SAF tootmine toorme (nt HEFA, e-metanool) ligipääsu ja tehnoloogia arendamist. Samuti puudub hetkel nõudlus, kuigi tulevikus peaks nõudlus rahvusvahelise surve tõttu suurenema. Paraku on Eesti siseturg väike ja vajab ekspordisuunalist tootmismudelit.

- Jäätmemajandus

Toormena kasutatakse biojätmeid (~167–387 kt/a) ja plastijätmeid (vajab sorteerimist ja eeltöötlust). Plastipõhised kütused võimaldavad asendada fossiilkütuseid, kui jäätmevood on piisavalt puhtad või kui kasutada pürolüüsi. Anaeroobse kääritamise ja pürolüüsi infrastruktuur on arendamata ja nõuab küllaltki suuri investeringuid. Probleemiks on ka piiratud kogus jätmeid Eestis. Jäätmemajandusest võib tulla oluline osa CO₂-neutraalsetest toormetest, kuid vajab ringmajanduslike tarneahelate tugevat arendamist.

- Keskkond ja kliima

Parimad tehnoloogiad (CCS-iga biokütused, sünteetilised kütused biomassist) võivad saavutada negatiivse CO₂ jalajälje (–20...–100 g CO₂-ekv/MJ). Fossiilkütustega võrreldes (80–100 g CO₂-ekv/MJ) on kasu märkimisväärne. Seega, õigesti valitud ja toetatud tehnoloogiad võivad märkimisväärselt panustada Eesti kliimaeesmärkide saavutamisse ja süsinikuneutraalsusesse.

Üldised järeldused

- Eestis toodetakse kütustest peamiselt põlevkivi, millest saadud õli eksporditakse endiselt suurtes kogustes. Fossiilse päritolu tõttu on see aga vastuolus riigi rohepoliitika sihtidega.
- Maagaasi, raskekütteõli ja mootorbensiini osas sõltub Eesti täielikult impordist. Taastuvallikatest on silmapaistvaim küttepuidu tootmine ja eksport, aga impordikütuste kestlike alternatiivide kodumaised tootmisvõimsused on praegu kas väga napid või puuduvad sootuks.
- Täielik sõltuvus maagaasi impordist tähendab, et sinise vesiniku ja sinise ammoniaagi tootmiseks vajalike toorainete hind on juba alguspunkti kõrge. See seab suuri majanduslikke piiranguid energiamahukate keemiliste protsesside elluviimisele. Lisaks puudub Eestis praegu vajalik infrastruktuur süsinikdioksiidi kogumiseks ja pikaajaliseks ladustamiseks ehk süsinikdioksiidi kogumise ja säilitamise tehnoloogia rakendamiseks. Seni ei ole riigis rakendatud ühtegi tööstuslikku katse- või demonstatsiooniprojekti, mis hõlmaks CO₂ püüki ja säilitamist. Metaanipõhise konverteerimistehase rajamine koos kõigi vajalike lahendustega CO₂ käitlemiseks tähendaks märkimisväärsed, mitme miljardi euro suuruseid investeringuid, mille tasuvus oleks kaheldav ilma riiklike toetuste või muude rahaliste stiimuliteta.
- Teoreetiliselt sobib põlevkivi töötlemise käigus tekkiv poolkoksigaas, mida tekib aastas miljoneid kuupmeetrid, metanooli tootmiseks, kuna selle koostises leidub piisavas koguses süsivesinikke ja vesinikku. Kuid Eesti põlevkivi keemiline koostis seab sellele reaalsed piirangud. Nimelt sisaldab põlevkivi väärlit

ja märkimisväärsel hulgal karbonaate, mis mõjutab oluliselt gaasi koostist. Selle tulemusel sisaldab põlevkivi töötlemisel tekkiv poolkoksigaas mitmeid soovimatuid ühendeid. Eelkõige leidub selles 2–3% vesiniksulfiidi (H₂S), umbes 10-15% CO₂, samuti lämmastikuühendeid ja muid saasteaineid. Et kasutada seda poolkoksigaasi sünteesigaasi tootmiseks – mis on metanooli sünteesi eeldus – tuleb see eelnevalt põhjalikult puhastada. See eeldab keerukaid ja kulukaid puhastusprotsesse, sealhulgas vesiniksulfiidi ja CO₂ eemaldamist, mis tõstab tootmise hinda ning seab täiendavaid tehnoloogilisi nõudeid. Seetõttu on metanooli tootmine poolkoksigaasist küll tehniliselt võimalik, kuid majanduslikult ja keskkonnaliselt keeruline ilma täiendava toetuseta või arendustegevuseta.

- Eestis puuduvad hetkel tööstuslikud võimsused jätkusuutliku lennukütuse (SAF) tootmiseks, näiteks HEFA, FT või muude tänapäevaste tehnoloogiate alusel. Praegu imporditakse SAF, mida Eestis kasutatakse, välismaalt – ettevõttelt Neste, mis on maailma juhtiv SAF-i tootja.
- Globaalsete trendide valguses on kestlike kütuste – eriti bio- ja e-kütuste – nõudlus kiiresti kasvamas, kuid Eesti tootmisvõimekus ei ole prognoositava vajadusega kooskõlas. Suurim taastuvatele vedelkütustele üleminek võiks avaneda transpordi- ja merendussektoris, samas kui tööstuse dekarboniseerimine tugineb tulevikus tõenäoliselt pigem elektrifitseerimisele.
- Eestis on vedelkütuste tootmise praktiline potentsiaal piiratud nii sisendite kättesaadavuse kui ka vajaliku taristu puudumise tõttu. Kasutamata ressurss võimaldab täiendavalt katta majanduslikult marginaalse osa kütuste vajadusest ja erinevate kütuste kättesaadavuse tagamine eeldaks investeeringuid nii tehastesse kui potentsiaalselt rafineerimisse.
- 2024. aastal käivitasid Eesti ja Läti ühise projekti („*Developing Technological Solutions and Production Possibilities for Sustainable Aviation Fuel in Estonia and Latvia*“), mille eesmärk on uurida võimalusi jätkusuutliku lennukütuse tootmiseks. Projekti raames viiakse läbi turu, tehnoloogiate ja tootmisvõimaluste analüüs ning koostatakse soovitusel riikliku poliitikatele ja potentsiaalsetele investoritele. Projekti lõppkuupäev on 30. november, 2025.
- Gaasistamisest saadud biokütused, biometanool ja biometaan on eelistatud ammoniaagile ja vesinikule samas kui e-kütuste korral kerkivad esile ammoniaak ja metanool parimate valikutena. Akutehnoloogiad ei paku veel lahendust pikamaatranspordis ei keskkonna ega ka majandusliku tasuvuse seisukohast. Sama põhjendus kehtib ka vesiniku korral. Sinikütuste keskkonnajalajälje vähendamise tõhusus jääb piiratuks võrreldes e- ja biokütustega, kuid pakuvad majanduslikult soodsamat lahendust. Süsinikupüüdmise tehnoloogiad on odavad umbes 150–190 € tCO₂ekv kohta. Üldiselt on kõige paljulubavam kütus biometanool, mille süsiniku jalajälje vähendamise maksumus on vahemikus 110–120 € tCO₂ekv kohta ja madalaima elutsükli maksumusega.
- Pürolüüsil ja gaasistamise protsessidel on mitmeid eeliseid ja puudusi. Need on kõrgetemperatuurilised protsessid ja seetõttu energiamahukad. Pürolüüs sobib kasutatud autorehvidele, raskesti depolümeeritavatele plastijäätmetele ja segaplastidele, kuid PVC olemasolu segus ei ole soovitatav. Pürolüüsi protsessis saadud õli võib vajada täiendavat puhastamist (sõltuvalt sisendmaterjalist).

Majandusliku tasuvuse saavutamiseks on oluline, et pürolüüsiprotsessi sisendmaterjalina kasutatavaid jäätmeid oleks piisavas koguses. Paraku on Eestis sobivate jäätmete kättesaadavus piiratud, mis muudab protsesside elluviimise keeruliseks. Selle probleemi ületamiseks võib kaaluda alternatiivseid lahendusi. Üheks võimalikuks lähenemiseks on jäätmete koostöötlemine põlevkiviga. Uuringud ja praktika on näidanud, et kui jäätmeid lisatakse põlevkivi pürolüüsiprotsessi väikestes kogustes – näiteks kuni 5% ulatuses – ei avalda see negatiivset mõju saadava õli kvaliteedile. Vastupidi, selline lisand võib hoopis kaasa aidata õlisaagise suurenemisele, mis omakorda parandab kogu protsessi tõhusust ja majanduslikku atraktiivsust.

Töö tulemusena valmis neli stsenaariumit, mis kirjeldavad Eesti jaoks nelja võimalikku arengusuunda seoses CO₂ vabade või vähese CO₂ heitega kütuste tootmise ja tarbimisepotentsiaaliga Eestis.

1. Proteksionistlik stsenaarium: kodumaine tootmine ja tarbimine

Eesti suundub proteksionistlikule energiapoliitikale, keskendudes kohalike ressursside kasutamisele siseturu tarbeks. Energiat toodetakse peamiselt biomassi põletamise ja põlevkivi baasil, ilma olulise tehnoloogilise uuenduseta. Kütuste kogutarbimine väheneb, kuid piiratud pakkumine viib hinnatõusuni ja varustusriskide kasvuni. Riik sekkub turumehhanismidesse, rakendades kvoote ja piiranguid, mis loovad defitsiidimajanduse. Vabaturu asendamine vajaduspõhise jaotusega suurendab musta turu, korruptsiooni ja majanduskuritegude riski. Kuigi siseturule keskendumine võib pakkuda teatavat stabiilsust, pärsib see innovatsiooni, tekitab varustuskriise ja vähendab majanduse avatust. Pikemas perspektiivis on tegemist jätkusuutmatu mudeliga, mis ohustab nii majanduse konkurentsivõimet kui ka tarbijate heaolu.

2. Üleilmastunud ja traditsiooniline biomajandus (biokütused)

Stsenaarium keskendub Eesti energiasüsteemi elektrifitseerimisele ja taastuvenergia kasvule, eesmärgiga saavutada süsinikuneutraalsus. Roheenergia madalad hinnad tarbijale tulenevad ajutisest ületootmisest, kuid tootjad vajavad subside. Biomajanduse roll nihkub biokütustest kõrgema lisandväärtusega toodetele nagu keemia- ja kosmeetikatooted. Biokütuste tootmine väheneb, kasvab sõltuvus impordist, mis suurendab haavatavust ja defitsiidiriski. Elektrifitseerimine vähendab küll fossiilsetest kütustest sõltuvust, ent toob kaasa uued riskid varustuskindluses. Majandus toetub ekspordile ja tehnoloogilisele innovatsioonile, kuid sõltub globaalse turu dünaamikast ja riiklikust toetusmehhanismist. Tulemuseks on moderniseeruv ja avatud majandus, mille edu sõltub rahvusvahelisest koostööst ja stabiilsest energiapoliitikast.

3. Biorevolutsioonist raputatud üleilmne biomajandus/biokütused

See stsenaarium kirjeldab teadmistepõhist ja tehnoloogiakeskset biomajandust, kus fookus on kõrgtehnoloogilistel nišivaldkondadel, mitte energia- või kütusetootmisel. Eestis arendatakse näiteks rakuvabrikuid ja biomaterjale, kasutades ära soodsaid seadusandlikke ja koostöövõimalusi. Tootearendus toimub kohapeal, kuid tootmine ja turustamine välisriikides. Biomassi roll energias väheneb, ressursside väärimine liigub väljapoole energiasektorit. Tekivad tööstussümboosid ja hajutatud tootmisvõrgustikud, mis suurendavad ekspordipotentsiaali ja vähendavad

survet kohalikele ressurssidele. Eesti muutub innovatsiooni testkeskkonnaks, mitte mahutootjaks. Selline mudel tugevdab majanduse vastupidavust ja välistab sõltuvuse fossiilsetest kütustest, keskendudes teadmistele, oskustele ja paindlikkusele globaalses väärtusahelas.

4. Biorevolutsioon ilma pikaajalise toetava poliitikata

Stsenaarium kirjeldab olukorda, kus puudub selge ja järjekindel energiapoliitika – iga järgnev valitsus toob kaasa suunamuutusi. Investeeritakse suurtesse roheprojektidesse, eriti meretuuleparkidesse, kuid probleemid võrguühendustes ja viivitused tähendavad, et odavat energiat ei ole võimalik toota. Energiatootmine jääb sõltuvaks biomassist ja põlevkivist, kuna taastuenergia ei taga usaldusväärsust. Samaaegselt kasutatakse rohepööret poliitilise populaarsuse tööriistana. Odava energia lubadustega meelitatakse Eestisse tööstusi, mis jäävad ellu vaid subsidiumite toel. Kohalikud inimesed maksavad kinni nii toetused kui taristu, samas kui nende energia- ja elamiskulud kasvavad. Tulemuseks on nii energiavaesuse kui ka sotsiaalse ebavõrdsuse kasv. Soovmõtlemisele rajatud strateegia viib stagnatsiooni, kus puudub visioon ja suutlikkus rohepööret ellu viia.

Eesti biokütuste tootmise suurim potentsiaal põhineb põllu- ja metsamaa kasutamisel toormena, kuna muud allikad on piiratud. Raieküpse metsa vähenemine ja lühikese raieringiga istandike levik kasvatavad survet maakasutusele. Suurema tootmismahuga ettevõtted kindlustavad endale toorme allikaid, tihti vertikaalse integratsiooni kaudu, mis tõstab maa hinda ja toorme maksumust. Selle tulemusel kasvab turukontsentratsioon ja väiksemate tootjate konkurentsivõime väheneb. Kui tootmine sõltub tugevalt subsidiumitest, moonutab see turgu ja pärsib tehnoloogilist arengut, kuna puudub piisav majanduslik stiimul uuendusteks.

LISA 1. INTERVJUUDE TULEMUSED

Sidusrühmadega viidi läbi 15 intervjuud. Intervjueerimine olid üles ehitatud poolstruktureeritud intervjuude formaadis. Intervjuude keskmine pikkus oli 45 minutit.

Intervjuud sidusrühmadega viidi läbi 18. veebruarist kuni 28. märtsini 2025. a ning neis osales kokku 8 ettevõtet, 6 ettevõtete ühendust/esindajat ja üks haridus- ja teadusvaldkonna esindaja.

Intervjuudes osales 5 CO₂ neutraalsete või väikese heitega kütuste tootmisega tegelevat ettevõtet, 6 nende kütuste jaotamisega seotud ettevõtet ja 4 ettevõtet, kus tarbiti neid kütuseid või plaaniti seda teha lähitulevikus.

Järgnevalt esitame intervjuude analüüsi tulemused toormeliikide lõikes tuues välja kesksed teemad (toorme saadavus ja väljakutsed; tehnoloogiate olemasolu ja väljakutsed, seadusandlus ja regulatsioonid; ekspordipotentsiaal).

1. BIOMASS

1.1. Toorme saadavus

Biomass kui toore on kättesaadav, võimalused on olemas biometaani tootmiseks. Ühe eksperdi hinnangul toodetakse Eestis käesoleval hetkel 300GWh/a, peatselt oleme 500GWh juures, reaalne oleks välja jõuda 1 TWh-ni.

Teine ekspert toob välja, et biomassi all tuleb Eesti biometaani tootmises mõista eelkõige põllumajanduslike toormeid nagu rohelist biomassi, rohusilo, läga, sõnnikut ning riknenud silo. Nende põllumajanduslike toormevoogude kättesaadavus on piisav. Täna kasutatakse loetletud toormest saadud biometaani eelkõige transpordis. 2024.a. oli sellise biometaani tootmiskaht 0,28 TWh aastas. Potentsiaal kasvada on põllumajandusliku toorme peal on kuni 0,5 TWh-ni. Muud biojätmed, mis tulevad toiduainetetööstusest lisavad veel 0,5 TWh, mis teeks kokku 1 TWh tootmis- ja tarbimisvõimsuse. Sama ekspert toob välja, et kasutamata on senini veel põllumajanduse põhk ja kasutusele tuleks võtta veel hein, mida niidetakse, kuid ei varuta loomasöödaks, sellest saaks veel kuni 1TWh. Seega - kokku Eestis võiks toota vabalt 1,5-2,00 TWh aastas.

Eestis toodetakse samuti veel biometaani reovee kääritamise protsessist, tulevikus on plaanis seda teha biomuda põhjal. Hetkel seda veel ei rakendata, kuna antud protsess eeldaks täiendavaid investeeringuid.

Eestis on suuresti kasutusel puiduhakkel töötavad elektri- ja soojusenergia koostootmine. Tooret on piisavalt saadaval, kuid selle kvaliteedi jaoks viiakse läbi toorme audit vastavalt RED-2 direktiivile, kus kontrollitakse materjali päritolu vastavust, et vältida nn üleraiumist ühelt teatud langilt, millele on antud luba jms. selliseid auditeid teevad

eeskätt suuremad tootjad, teistel ei pruugi olla kasutusel vastavat tehnoloogiat (roboteid), mis hakkekoormatest kvaliteediproove võtavad. Teatud juhtudel on ka toorme saadavusel riskiks soojad talved, mis tekitab olukorra, et pehme pinnase tõttu ei saada tooret metsast kätte. See omakorda mõjutab biomassi hinda.

8.1.2. Toormega seotud väljakutsed

Metsandusest pärineva biomassiga seoses tõid vastajad välja, et olemasolevat tooret tuleks enam vääridada: "Kahjuks meile meeldib hästi odavalt puitu pelletina välja müüa selle asemel, et panna natuke lisandväärtust peale ja müüa kallimalt välja." Üheks alternatiiviks, millega Eestis ka tegeldakse, on biomassi vääridamine nt tselluloosiks, mitte kütusteks.

Biometaani tootmise võimalus on olemas, aga probleem on selles, et pole nõudlust tekitatud kõikides võimalikes kasutusvaldkondades. Riikides peab olema poliitika, mis tekitab selleks vajaduse investeringute järgi. Täna biometaan saab küll transpordis ilma subsideerimiseta hakkama, aga riik pole suutnud seda nõudlust tekitada nt elamumajanduses.

Biometaani tootmisjaamad ehitatakse lautade juurde, kuna pole mõtet kaugelt tuua väheenergiarikast tooret. Tuleb jälgida ja optimeerida, et tuues toore küllaltki lähedalt (max 50 km) biogaasijaama, oleks võimalik pärast biogaasi tootmist silost, mille jääkides toitained jäävad alles, viia uuesti põllule, mis asuks samuti antud tootmisjaama läheduses. Toorme maht, kvaliteet ning kasutegur määravad selle, mida ja kui kaugelt kohale tuua. Näiteks toodi, et piiritust võib tuua kaugemalt, põhku kindlasti lähemalt. Kuigi jaama lähedus toormele on oluline, on hinnatud ka tasuvuseks isegi kuni 100km. Võimalusel kasutatakse ka kohapeal toodetud biometaani, nt on teada, et tootmisjaama võetakse biometaan CNG tanklatesse ja osa suunatakse energiaks kütuseelemendis enda tootmisse kütmiseks.

Põllumajandusliku biometaani toorainega seotud probleemid puudutavad selleks vajamineva tooraine stabiilsust, st gaasitootjatele on oluline tooraine kvaliteet (suur antikbiootikumide sisaldus, samuti suur vee sisaldus jms.)

Reoveel põhineva biometaani tootmisel on samuti oluline arvestada, kui palju on sinna kemikaale lisada. Mõlemal juhul tuleb rakendada vastavaid puhastustehnoloogiaid, mis teevad protsessi keerulisemaks ja ressursimahukamaks.

1.3. Tehnoloogiate olemasolu

Tehnoloogiad olemas nii biometaanile kui ka emetaani jaoks (mida nt Soomes toodetakse juba, kuigi edasiarendusi tehnoloogia vallas võib veel tulla). Tootmispotentsiaali toetab EL turgu reguleeriv seadusandlus + rahvusvaheline kliimakonventsioon, mõlemad soosivad tootmist kuni 1,5 TWh aastas. Tänu kliimakonventsioonile teatud ressursid muutuvad (2025. a biometaani uuring polnud täpne, sest nõuti, et see pidi olema kooskõlas kliimsaadusega, seal oli 0,8-0,9 TWh/a, mis on alahinnatud).

Kõikide praeguste biometaani tootmisjaamade tehnoloogiad on TVT-9 tasemel. Parim kasutuses olev näide on Maardus asuv jaam, kus liigiti kogutud biojäätmest tehakse biogaas, eraldatakse kile jm. võõrised, mis põletatakse, aga tahke jääk ise viiakse põllule. Lisaks on biometaani võimalik kasutada ka Elcogeni kütuseelemendiks.

1.4. Tehnoloogiate väljakutsed

Tootmisetehnoloogia puhul loetakse barjääriks biometaani hinda, kuigi tootmisega saadakse hakkama. Sama nii emetaanil kui ka vesinikul.

Lähiajal on Eestis neli uut biometaani tootmisjaama KIK toetusel arendamisel (nad ei saanud eelmises voorus veel toetusrahastust). Kokku koos nendega oleks järgmisel 2026. a biometaani tootmisjaamu Eestis 13. Euroopas on olnud sarnased tootmisjaamad juba 20-30 a arendamisel ja kasutusel. Eestis on tänaseks olemas kompetents ja ka konkurents, mistõttu väljaspoolt ei tulda siia konkureerima. Kui lähiaastatega kaetakse jaamadega kogu Eesti, saab olema tootmisvõimsus kuni 2 TWh/a. Eestil tasuks teha kiiresti käivitavad juhitavad elektrienergia metaani sisendiga tootmisjaamad. 2050. aastaks oleks hiljemalt need jaamad tervenisti taastuva biometaani peal ja kasutatavad juhitava energia tootmisel.

Tehnoloogiliseks väljakutseks tuleks pigem lugeda neid tehnoloogiaid, mis oleks vajalikud biometaani väärdamiseks, st biometaan võiks lisaks tema kasutusele transpordisektoris olla veel lisaväärtust tootev sisend nt biometanooli, vesiniku jt hinnalisemate CO₂ vaba või madala CO₂ heitega kütuste tootmisel. Praegusel hinnatakse neid lisanduvaid tehnoloogiaid vaid TVT 6-8 tasemetele vastavaks.

Tehnoloogia ja lisaväärtuse loomisega seotud arengud on viinud selleni, et nt Hollandis on olemas juba tehnoloogia, mis püüab biometaani tootmisprotsessis CO₂ ja toodab samas kuivjäädi kui elektroonikatööstuse jaoks väga vajalikku komponenti. CO₂ püüdmist biometaani tootmises peetakse üheks efektiivsemaks võimaluseks süsiniku püüdmisel.

Venemaa agressioonsõja alguses suurenes järsult vajadus biometaani protsessis kasutatavate *upgrader*'ite järele. Nõudlus ületas nende tootmisvõimalused, mistõttu tekkis järjekord kuni 2 aastat. Praeguseks on tootmine ja turg stabiliseerunud ja antud probleem tehnoloogiate saadavusega seoses lahenenud.

Oluline on, et ettevõtted, mis opereerivad neid biometaanijaamu, viiksid läbi väärtusahelate kaardistusi, millega on võimalik näidata negatiivset CO₂ heidet. Vastava sertifikaadi väljastab Büroo Veritas. Vastava kaardistuse käigus hinnatakse nii tooret kui ka selle transporti, samuti digestaadi transporti põllule. Kuna 2026. aastaks suureneb jaamade arv veelgi, on ettevõtetel vajalik leida konkreetset partnerit, samas tekib ka konkurents toorme hindade osas.

1.5. Seadusandlus ja regulatsioonid

Tootmiseks peab olema nõudlus. Hetkel kliimaministeeriumi poolt lähenemine on puudulik, pole süsinikupüüdmise mehhanismi. Peaks olema nn piitsa-prääniku mehhanism, st kui ettevõtte kasutab biometaani nt 20% ulatuses, siis sellisel juhul saab ta mingite tariifide kaudu soodustust, nt võrgutasu läheb nulli vms. Sedakaudu saaks biometaani kasutamist soodustada. Samuti võiks riik/ministeerium jälgida antud ettepaneku valguses naaberriikide st Läti, Leedu ja Soome seadusandluse muudatusi, et Eesti tootjad oleksid samas seisus kui naabrid (oleksime nendega konkurentsivõimelised).

Intervjuudes osalejad rõhutasid, et praegune jäätmeregulatsioon on aegunud, see lähtub „ülemöödunud sajandi maailmavaatest,” et „prügi on halb” ja et seda tuleb reguleerida

ja maksustada ja „viia märke.“ Biogaasi tootmisjaama vaates on see *nonsense*, nendele tootjatele on iga toore „kullaväärtusega,“ sellest toodetakse gaasi ja teenitakse kasumit. Praegu aga nõutakse tuhandetes eurodes tagatist, et äkki jäetakse kasutatav toore seisma, selline oletus on puhas regulatiivne takistus. Keskkonnaamet nõuab jäätmeluba ka selleks, et juba biometaanitootmiseks kasutatud kartuli ja läga kääritusjäätis võiks põllule laotada, mis on samuti regulatiivne takistus. Ettepanek ministriumile oleks hinnata ja kirjutada ümber jäätmeregulatsiooni - kasvõi EL tasandil - selliselt, et biogaasi jaama kõlbavad toormed oleks ilma regulatiivsete takistusteta (keskkonnaloa, kontrollid, tagatised, võimalikud trahvid) vastuvõetavad. Oluline on mõista, et biogaasi jaam ei ole jäätmekäitleja (nagu ta on senini keskkonnameti silmis), vaid ta on bioenergia tootja. Soovitus tootjalt KliMile oleks, et ministrium telliks spetsiaalse analüüsi jäätmeregulatsioonist tulenevate takistuste kõrvaldamiseks biometaanitootmisel.

Seadusandlus ütleb, et teatud protsent peab olema rohelist kütusekomponeti, mis tähendab, et füüsilist biometaanitootmist statistikaga, mida tekitatakse biometaanitootmise kaudu. Kui jätkame 0-heiteni jõudmist, siis see on tore, aga tootjad vajavad kindlasti garantiisid, muidu muutuvad ka riigi poolt biojaamade rajamiseks antud toetused mõttetuks. Arvestada tuleb, et biometaanitootmisjaama loomisega seotud investeeringute tasuvus on 20 a, kuid praegu puudub kindlus. Soovitakse, et nn põranda loomine biometaanitootmisel riigi poolt võiks olla üks mehhanism. (Nagu varem on olnud, et uute tootjate müügihinna vahe, kui see jäi alla miinimumhinna, kattis Elering).

Samas on vastanud ekspertide arvutuste kohaselt rajada Eestisse meie biomassi mahtu arvestades kuni 50 biometaanitootmisjaama. Tooraine hankimisel teevad tootjad murelikuks ka elanikkonna poolt hooletuse või teadmatuse tõttu valesti sorteeritud olmejäätmed, mille hulgas on liialt kõrge biojäätmete osakaal.

Nii biometaanitootmisel kui ka teiste kütuste turuga seotud regulatsioonides on ebaselgusi, mis kahjuks loovad võimalusi turu kuritarvitamiseks. Eesti siin kahjuks ootab seadusandluse muudatustega. Kliimakindla seduse eelnõu sõnastused on ebamäärased. Ettevõtetele oleks vaja riskide jm arvutamiseks 10-15 a perspektiivi teada, kuid ebaselgused on suurenenud. Euroopa rohelepp arendamine on samuti ebaselge, selle taga ootavad kõik riigid ja ettevõtted.

1.6. Ekspordipotentsiaal

CO₂ neutraalsete kütuste turg on alles arengujärgus. Vajalik oleks teha pika vaatega tulevikuotsused. Potentsiaal on selles, et Eesti on teiste riikidega gaasivõrkudega ühendatud, biometaanitootmisel saab minna kuhu iganes, aga kui nõudlust ei teki, siis meil ei teki võimalust ka täita kliimakindla majanduse seaduse eesmärke. Täna saab biometaanitootmisel ekspordida, võimekus on olemas.

Tootjate esindajad seetõttu eriti ei rõhuks ekspordile, kuid vaid siis, kui mujal Euroopas on hind kõrgem. Praegu on lihtsam ja kasulikum Eestis nii toota kui ka tarbida. Tehniliselt on ekspordimine täna teostatav, sest biometaanitootmisel saab juba Eestit, Lätit ja Soomet ühendavasse maagaasitorru sisestada, riikide vahel on D-kategooria tüüpi ühendus. On olemas ka samatüüpi toruühendus Leedu ja Poola vahel. Praegu on probleem see, et torusse sisestamiskulu ja sisestamispunkti ehitus on tootja kulu (nagu ütleb Elering). See lisandub tootmishinda ja kandub edasi ka tarbijale. Sisestamispunkti projekteerimise ja

väljaehitamise maksumus on hinnanguliselt 1-2 milj. €. Seda investeerimiskohustust tootja ei kanda ei soovi, sest nt Prantsusmaal on sama kulu jagatud pooleks tootja ja võrguoperaatori vahel. Eestis on selliste sisestamispunktide puudumine majanduslik, kuid mitte tehnoloogiline turutõrge, mistõttu oleks vajalik, et Elering ehitaks välja ja määraks ettevõtjatele nt 10€/MWh sisestamise eest hinnaks ja teeniks niiviisi nt 10 a sisestamispunkti ehitamisega seotud investeeringu tagasi. See sisestushind oleks biogaasi tootjale kui ettevõtjale praktiline ja stabiilne kulu, mida ta küsiks tagasi tarbijalt, kuid ei peaks ise tegema eelnevaid suuri (CAPEX) investeeringuid. Eesti biometaanitootjad on juba kaardistanud Eesti jaoks vajalike 4-5 sisestuspunkti asukohad.

Kui kõik biogaasijaamad, mida on koos olemasolevatega planeeritud, lähevad käiku, siis nende toodang, ületab tarbimismahu transpordisektoris, seetõttu täna tehes uue jaama, pead juba olema kindel, et seda edaspidi transportida/eksportida. Gaas tuleb selleks sisestada maagaasivõrku ja leida kliente nt Kesk-Euroopas. Takistav asjalou biometaanitootmisel on päritoluregistrite omavaheline tunnustamise probleem. Näiteks Saksamaa ei tunnista riiki gaasitorust saabuvat gaasi biometaanina (täpsemalt: ei tunnusta gaasis olevat biogaasi komponenti). Seetõttu on ainus võimalus eksportida biometaanitootmist Saksamaale veeldatud kujul, kus antud juhul sealne sisestuspunkt võtab ta vastu biometaanina (biogeenne päritolu peab olema tõendatud). Praeguseid arenguid arvestades pole Eestis tarbimise kasvu näha. Transpordisektor on nõus biometaanitootmist lisa maksma vastava kohustuse tõttu. Gaasielektroliitide areng Eestis pole selge, praegused biogaasijaamade arendajad sellega ei arvesta. Kolmandate riikide biometaanitootmist sertifikaadid Eestis ei kehti, Eesti neid ei tunnusta (energiamaajanduse korralduse seadusest tulenevalt). Ühest küljest kaitstakse sellega turgu ja seda et nt Hispaaniast ei saabu 20€/MWh hinnaga biogaasi, kuna sellise hinnaga Eestis toota ei saa. Massibilansi alusel, st torudest kogutud ja veeldatud gaasi turustamist ka nt Saksamaal ei tunnustata. Peab olema teada, et nt Eesti jaamast põllumajanduslikult saadud gaas on koheselt veeldatud ja otse kohale toodud maanteetranspordiga. Antud näidete põhjal sooviksid võimalikud Eesti eksportijad, et loodaks digilahendusena üle-Euroopaline biometaanitootmist sertifitseerimisplatvorm.

Oluline on analüüsida ja otsustada, kas riik lähtub massibilansi või KHG põhisest lähenemisest RED-3 direktiivi eesmärkide rakendamisel.

Siin tuleks intervjuudes osalejate arvates kasuks otsustamisel järgnev arutluskäik. Saksamaal täidetakse transpordieesmäärke KHG põhiselt, (st 2010. a seisuga võrreldes), mis on Saksamaa enda valik, et vähendada KHG-d kogu riigi kütuseportfellis.

Kui Eesti toodab negatiivse CO₂ jalajäljega biometaanitootmist Saksamaale, siis Eesti annab Saksamaale vastava paberi siit ostetud biometaanitootmist ja transpordib läbi gaasijuhtme CH₄ neile, millega Saksamaa saab täita oma taastuvenergiaeesmäärke, kuid selline eksport ei aita kaasa Eesti eesmärkide täitmisesse. Eesti saab antud protsessis vaid KHG jalajälge vähendada põllumajanduses, mis ei aitaks kaasa siinse transpordisektori eesmärkide täitmisele. See on näide selle kohta, kui Eesti valib „valesti.“ Antud aspekte kaaludes tuleks mõelda, et milline õiguslik lahendus võimaldaks suuremat väärtusahelat Eestisse jätta.

Kui Eestis toodetud kütus ei aita riigil taastuvenergia eesmäärke täita, siis peame ostma Eestisse kallimat importkütust, et neid eesmäärke täita, mis võib olla kokkuvõttes Eesti ühiskonnale kulukam.

RED-3 artikkel 25 puhul tuleks riigil teha valik, kus tuleks loobuda senisest massibilansi põhisest arvestusest, kus senini võrreldakse energiakoguseid, vaid pigem tuleks võrrelda KHG-d. Kui meil on või saab olema siinses energiatootmises kütused, mille KHG on negatiivne, siis see oleks väga suur võit antud võrdlussüsteemis.

2. VESINIK

2.1. Toorme saadavus

Vastajad toovad välja, et toormena on vesinik hea kättesaadavusega - vesi. Tuuakse välja, et biogaasi tootmisjaamad raiskavad meie metsa, see tootmine aga võiks olla täisrohelise väärtusahelaga. Lennunduses plaanitakse seda teha, st võtta nendelt tootjatelt nn roheline CO₂ ja "panna sinna vesinik külge" ja saada sellisel viisil teha rohelist biometanooli.

Samuti on merendusega seotud sidusrühmade andmetel olemas teatav huvi vesinikkütuste vastu. Uuritakse võimalusi nii vesiniku tootmiseks Eesti sadamates kui ka selle kasutamise võimalusi laevadel.

2.2. Toorme väljakutsed

Väljakutsena kogu riigi vaates tuuakse välja, et kuna ~35% elektrienergiast Eesti impordib (sh kõik Balti riigid on ca 10 TWh miinuses), siin tekib küsimus, kas meil on (elektrihindu arvestades) võimalik vesinikku toota selleks, et toota e-metaani.

Kuigi lennunduses osaletakse rahvusvahelises arendusprojektis, siis selle raames lähiaastatel alles uuritakse võimalusi ja taristumuudatuste vajadusi nii lennunduses kui ka lennujaama teenindava maismaatranspordi osas. Uuritakse, kus saab vesinikku kasutada, sh lennunduses, kuid pikemas perspektiivis. Samuti hinnatakse võimalusi maapealsetes koristusmasinates, lumekoristus, laadimistaristus jt. Projektis on küsimused, kust saada energiat vesiniku tootmiseks (arvestades, et lennujaamas on juba kasutusel päikesepargid), kuhu saaks salvestada vesinikku ja kuidas opereerida vesinikuga.

Laevanduse valdkonnas osaletakse samuti erinevates projektides, näiteks koostöös *Hamburg Port Consulting*'ga toimub *H2Derviates* projekti raames turu nõudluse kaardistus, mille tulemuste kohta hetkel rohkem teavet pole.

Suuremad kütustetootjad proovivad luua nn energiakubamaja profiil, kus saab olema valikus nii vesinik, metanool kui tulevikuga seotud kodumaine toodang.

2.3. Tehnoloogiate olemasolu

Oleme ainuke Balti riik, kus meil on endal elektrolüüserid ja kütuseelement. Seetõttu ei pea me Hiinast elektrolüüserit sisse ostma. TVT-9 tase on olemas elektrolüüserite puhul,

kütuselementidel TVT 8-9. Aga paraku jääb Eesti puhul puuduseks nende vesinikutehnoloogiate skaleerimine.

Tallinna Lennujaama arendusprojektis kaalutakse võimalusi ka mujalt - Paldiskist, Narvast (tuuleparkide energial toodetud) vesiniku kohaletoomist või hoopis importimist. Leitakse, et Lennujaama opereerimise juures oleks võimalik vesinikku toota päikeseenergia baasil. Praegusel hetkel päikesepargi võimsus 3,1 MW, millel lisandub 2025. a veel 600kW. Selle võimsusega kaetakse 23% lennujaama enda küttevajadusest ja 19% elektrivajadusest, mis aitaks vähendada CO₂ jalajälge 1800t/aastas. Kui rakendada sama võimsus rohevesiniku tootmiseks, tuleks samas mahus elektrienergiat hankida mujalt. Võimalik on vesinikku saada ka metanoolitehasest kui kõrvalprodukt (kuna vesiniku tootmine ise on väga energiamahukas). Vesinikutootmise tehnoloogiad on siiski vähevalmis, ettevalmistamise etapis, lisaks oodakse tehnoloogiat valmistavate partnerite järel. Oodatakse ka piloteerimiseks vesinikul lendavat lennukit, loodetavasti 2025.a jooksul.

Ühtlasi kaalutakse lennunduses vesinikutootmist ka üle Eesti muudes lennujaamades, mis võiks olla perspektiivikam, kuna seal on läheduses suurem tuule- ja päikeseenergia kasutamise potentsiaal. Leiti, et on vaja riigipoolset tuge ja organiseeritust, võimalikku kaardistust.

Suuremad energiatootjad on samuti riigi toel läbi viimas pilootprojekti, mis haarab tervikahelat, kus toodetakse vesinikku, tarnitakse ja tangitakse sõiduautodesse. Projekt on tänaseks jõudnud oma lõppfaasi. Projektis osaleja hindab antud projekti raames vesinikutootmise TVT vastavaks 8. tasemele. Vesinik, mida kasutatakse antud projektis, on siiski mittebiogeenset päritolu.

2.4. Tehnoloogiate väljakutsed seoses seadusandlusega

Tehnoloogiate rakendamise väljakutsena tuuakse välja mure, et EL reguleerib kõige pealt kõik asjad üle. Puudub *stable legal investment environment*, mistõttu ei jõua ettevõtted *final investment decision*’isse. Samuti on palju on Euroopa siseturu vahelist kaklust, nt Saksamaa surub peale e-kütust, sest riik kaitseb oma autotööstust, tegelikult oleks otstarbekam kasutada seda hoopis laevanduses ja lennunduses, kus pikemate distantside tõttu on e-kütuse efekt suurem. Toodi ka välja, et Eesti on üks 4 viimasest "tagurlikust" EL riigist, kus pole isegi rohehankedirektiiv korrektselt vastu võetud, mis vastuvõtmise korral annaks õiguse hankida rohelisemat, mitte odavamamat. Probleem on ka laiemalt hankimisega seotud seadusandluses. Näitena toodi Alexela vesinikutanklate ehitus, mis käis kiiresti, aga käitamislõa andmine käib nagu läbi piloteerimise, kuigi EL-s on sama tehtud juba 20 aastat. Üheks põhjuseks võib tuua ka asjaolu, et ei Eestis ega ka Lätis pole ajalooliselt olnud vesinikul põhinevat tööstust, mistõttu puudub vastav teadmus. Juba 20 a. on suletud olnud Kohtla-Järve ammoniaagitehas. Tanklate rajamine Pärnus *H2Nodes* projekti kaudu ei läinud käima. Praegu pole enam võimalik saada ka T&A toetust bussidele, sest EL-s on juba ~1000 bussi käigus, enam pole vesinikkütuse kasutuselevõtt bussides innovatsioon, vaid on võimalik küsida vastavat toetust üksnes raskeveokitele jms.

Intervjueeritavad on tunnistanud ka Eesti teatavat mahajäämust võrreldes vesinikuga seotud arendustega nt Lätis ja Saksamaal.

Laevanduses jälgitakse samuti huviga võimalikke arenguid, eeskätt mujal Euroopas. Intervjueeritavad tõid välja, et internetis ja meedias levitatakse suhteliselt palju teavet uudsete ja töötavate lahenduste kohta (nt. täiesti vesinikul töötavad laevad), mille puhul hilisem tehnilise info kontrollimine näitab, et vesinikuenergiat kasutati laeval vaid teisaste funktsioonide toimimisel (valgustus ja ventilatsioon), kuid mitte liiklemiseks.

Arusaadavalt toodi välja ka rohevesiniku tootmisega seotud suur (rohe)energia tarve, iseäranis, kui vastav tootmine peaks toimuma sadamate läheduses. Võimaliku energiallikana nähti sarnaselt lennundusele meretuuleparke, kuid puuduvad konkreetsete lahendused või projektid vesiniku tootmiseks laevanduse tarbeks.

Osalejad rõhutasid, et „erinevat värvi“ vesiniku ja metanoolide klassifikatsioon ei ole selge. Mis on roheline, mis on roosa, samuti, kuidas on saadud ja kust on pärit CO₂ jms.

Tehnoloogiate olemasolus ei ole probleemi, sest vaadates kõiki energiakandjaid, kui need peavad olema rohelised - vesinik, metaool, CO₂, siis Eestis realiseeritakse ikkagi juba TVT9 taseme tehnoloogiat, kuid on tegemist eeskätt mastaabiküsimusega. Ettevõtted on juba välja vaadanud, et kuhu ja kuidas planeerida veel neli uut vesinikutanklat. Oodatakse rasketranspordi arengut. Kui tulevad vesinikul töötavad sõiduaudod, siis see on saab olema nn „lost battle“ elektriautodele. Vesiniku tootmine, logistika ja tarnimine on lihtne, aga kõik sõltub kliendi ja vajaduste olemasolust. Samuti on oluline ka stabiilne elektri hind. Hüppeliselt suurenevad võrgutasud ja nende muutumine on väga raskesti prognoositavad, mis omakorda lisab on teadmatust tulevikuplaanide tegemisel.

2.5. Ekspordipotentsiaal

Vaatamata sellele, et Sillamäel on ammoniaagiterminaal ekspordi tarbeks, ei toodeta midagi ekspordiks, st puudub omaniku ootus (intervjueeritav kirjeldab Eleringi seisukohta, mis viitab riigi seisukohale). Eesti riik ei taha garanteerida hinda ja tuulikute ehitajad ei ole seetõttu valmis ehitama tuulikuid. Vaja oleks riigi garantiid, aga riigil puudub huvi.

Takistus on Vene ja Hiina lobi, mis on seisab vastu tuulikutele. Probleemid ärimudelitega. 1) vaja rääkida salvestusest ja 2) seejärel tootmisest ja võrku saatmisest.

Saarte tuulikute energia tootmine nihkub aastast 2028 aastasse 2033, puudub ülekandevõrkude arendamine, mis tuleks kindlasti lahendada.

On vajalik *European Hydrogen Backbone*'i väljaehitamine, mis ei tule varem kui 2040 (oli plaanis 2030).

Positiivse vaatenähtena tulevikku nähakse, et Eestil tekib võimekus toota 20000-30000t vesinikku aastas, see annaks võimaluse vesiniku kaudu vastavaid sertifikaate müüa.

Kui Eesti ei suuda RFNBO-d toota, siis tuleb seda sisse osta. On vaja riigi tuge ja fookust eelpool nimetatud probleemide lahendamiseks. Kuigi täna pole tootmist, kuid kui hakatakse tootma, siis seda ei tule 5-10 aasta jooksul kindlasti mitte. Kui üldse, siis mitte enne 2035. a.

3. PLASTIJÄÄTMED

3.1. Toorme saadavus

Suuremad ettevõtjad on kaalunud plastijäätmetest kütuste tootmist, kuid senini pole antud otstarbel plastijäätmeid kui tooret veel suure ega väiksemas mahus kasutusele võetud, eeskätt toormemahu vähesuse tõttu. Siiski kasutatakse plastijäätmeid, aga nendest ei toodeta kütust, vaid neid väärindatakse (tootes vaheproduktina õli) uuesti plastigraanuliteks. Tekib veel 10-20% tahket jääki ehk koksi, mida antaks tasuta ära, kuna sobib asfaldisse, kuid kogused on väikesed, läheb Iru elektrijaamas põletusse. Plastijäätmete väärindamisel, kui neid jäätmeid pürolüüsitakse, tekib 10% gaasi, mis põletatakse energiaks samas pürolüüsiprotsessis. Suuremaid sama tehnoloogiaga tehaseid on EL umbes 10. Aga need ei tööta veel selliste parameetritega nagu algselt projekteerides oli ette nähtud.

Teine ettevõtja toob välja, et arendamise faasis on idee, kus plastijäätmeid ja rehve kasutatakse koos energia tootmiseks. Paraku pole aga antud idee veel tehnoloogilise lahenduseni jõudnud, kuna kaalutakse erinevaid alternatiive pigem CO₂-neutraalsetele kütustele (nt puidudgraanulitele) üleminekul.

3.2. Toorme väljakutsed

Ettevõtjad leidsid ühiselt, et plastijäätmetega seotud üheks põhiliseks väljakutseks on toorme nappus, mis on tingitud toorme sorteerimise tehnoloogia olukorrast, kuna efektiivsemaks tootmiseks oleks vaja vähemalt kuue erineva plastiliigi eristamist.

3.3. Tehnoloogiate olemasolu ja väljakutsed

Vaatamata sellele, et plastijäätmetest nii õli kui vaheprodukti kui ka uute graanulite tehnoloogiad on olemas, jääb tootmise skaleerimise suurendamisel põhiliseks takistuseks kvaliteetse toorme piisav olemasolu ja selle ettevalmistamise (sorteerimise) protsess.

4. CO₂ SIDUMINE

4.1. Toorme saadavus

Suurettevõtte vaates, kus toodetakse põlevkiviõli pole nii põlevkivi kui ka CO₂ kui toorme kättesaadavusega probleeme.

CO₂ sidumisega seotud tulevikku nähakse läbi võimalike pilootprojektide käivitamises ka merelaevanduses.

4.2. Toorme väljakutsed

Põlevkiviprotsessidega kaasnev CO₂ on fossilset päritolu.

CO₂ sidumise eesmärgiks peaks olema importkütustest sõltuvuse vähendamine. Saadavus pole suur. Milleks väärindame - vesinikuks või metanooliks - või viime toiduainete tööstusele sisendiks.

4.3. Tehnoloogiate olemasolu

CO₂ kinnipüüdmine saab toimuda (eeskätt energia tootmisel) vaid korstna otsast peale protsesse. *Optifuel* tehnoloogia rakendamine pole reaalne, see võtaks 10+ aastast. Tuleb kasutada suitsugaaside amiinidega pesemist korstna otsas ja sealt kontsentreeritud CO₂ voo tekitamist.

Täna on põlevikiviõli tootjal tasuta CO₂ kvoodid, mis katavad ettevõtte CO₂ emissioonid. Selles mõttes pole tal seni veel survet CO₂ püüdmise tehnoloogiat rakendada. Seda eelkõige kütuseõli tootmise poole peal. Energiatootmises see nii ei ole. Olukord muutub lähiaastatel, aga täna ei ole veel sealgi CO₂-ga seotud kulu oluline, mis üldse suunaks investeringuid sinna tegema. Paari aasta pärast tuleb hakata ostma neid kvoote, aga siis ikkagi CO₂ hind peab olema päris kõrge, et investeerigud ennast ära tasuks, siin peetakse silmas 100€/tonn või kõrgemat hinda. Hetkel on CO₂ tonni hinnaks 66€.

Merenduse valdkonnas on üks näiteid, mida välja toodi, Göteborgi sadam, kus senini arvati, et tegeldakse süsiniku kogumisega saabuvatelt laevadelt, kuid selgus, et CO₂ tuuakse sisemaalt tootmisest kogutuna sadamasse, hoiustatakse lühiajaliselt, siis eksporditakse Norra maardlatesse, mis ühtlasi indikeerib, et (laevadelt) CO₂ püüdmise turg ja ka selle "tootmine" on algusjärgus. Valdonna ettevõtete hinnangul peab olema selleks, et laevadelt CO₂ püüda, olema sinna ehitatud „suur tehas.“

4.4. Tehnoloogiate väljakutsed

Väljakutseks on, kuidas muuta põlevikiviõli tootmine väiksema CO₂ jalajäljega kütuseks. Fossiilse CO₂ tootestamine pole mõttekas, sest majanduslikus mõttes ei tasu ära. Mingit roheboonust selle eest hinnale otsa ei saa. Kui tekib fossiilse CO₂ kinnipüüdmise võimekus ja transport, et seda ladustada kuskil Põhjameres naftapuurauku, aga see on riikide vaheliste kokkulepete teema, riigid peaksid selle võimaluse ladustamiseks garanteerima, antud ladustamise võimalust ei saa lahendada ühe ettevõtte tasemel.

Riiklik energiatootja kaalub täna üleminekut puidugraanulitel põhinevale energiatootmisele, mille puhul tootmisjaama korstnast eralduva CO₂ kui biogeense püüdmise vajadus puudub, kuid mida oleks võimalik kasutada sellise lahenduse puhul biometanooli tootmiseks.

Käesoleval ajal katsetatakse sadamas laevadelt CO₂ kogumist, seda tehakse koostöös meretranspordiettevõttega ja ettevõttega, kus süsiniku sidumise abil uusi tehnoloogiaid rakendades toodetakse CO₂-st grafiiti ja nanomaterjale.

Kruisioperaatorid on teada andnud, et alates 2027. a alates soovitakse Tallinnas tankida rohemetanooli, mis eeldaks vastava tootmise olemasolu Tallinna piirkonnas. Samas nad ootavad selle tootmisel sisendiks roheelektrit ja rohelist CO₂.

See tekitab ka teatavat survet uute laevade ehitamisel Eesti merendusele. Metanoolivalmidus peaks olema olemas uutel laevadel, esmalt piisaks ka võimalusest, et laeva on projekteeritud vastavad mahutid ja neile on asukohad määratud, mida saaks vajadusel kasutada. Tavapäraselt ehitatakse need uued laevad *dual fuel* valmidusega.

4.5. Seadusandlus ja regulatsioonid

Plastijäätmetest plastigraanulite tootmise protsessis tekkiv CO₂ on alla 10000 tonni aastas, mis jääb alla EL ETS miinimumnõuetele, mis on 25000 t/a ehk st et antud tootmismahu juures tootja ettevõtte tehasele neid CO₂ heitega seotud kulused ei teki. Kuna see tootmine ja tehas on sedavõrd väikesed, siis ei ole antud juhul mõtet CO₂ kinnipüüdmisega tegelda, st eraldiseisva tegevusena ei tasu see ennast ära. Et rohkem toota, oleks vaja tootmissisendiks paremini sorteeritud plastikut.

On oluline välja tuua, et tulevikus toodetud CO₂ ladustamise edendamiseks (nt Norras Põhjameres) oleks vajalik, et riik toetaks Eestis koha peal kõikide ettevõtete jaoks nn fossiilse CO₂ huubi loomist, et iga ettevõtte eraldi ei peaks oma CO₂ jääkide jaoks otsima välismaale transportimise võimalust, vaid et seda tehtaks pärast Eestis kokku kogumist tsentraalselt, mis omakorda tagaks probleemi lahendusega seotud ressursside kokkuhoiu. Sarnased praktilised riigiüleised lahendused on kasutusel Põhjamaades.

Laevanduse ja merenduse esindajad toovad positiivsena välja, et välja, et ETS tasud on kiirendanud CO₂ vabade või väikese heitega kütuste tehnoloogiate ja tootmise arengut, mis on tervikuna kasulik Eesti majandusele.

Näitena toodi, et Eesti riik rahastab nn retrofiti meetme rakendamist, luues sellega välismaa laevadele soodustuse, mis toob nad just Eestisse kütusepuhastamise tehnoloogiat uuendama ja ümber ehitama.

Eesti peaks seadma riikliku prioriteedi, mis tooks alternatiivkütuste tootmise just siia regioonini. Diferentseerida tuleks suurtööstuste tasusid (nt vabastada võrgutasust jms), mis toetaks selliste kütuste tootmist ja eksporti.

Ekspordipotentsiaali CO₂ puhul ettevõtted eraldi ei näe, sest fossiilse päritoluga CO₂ transporti välismaale (nt naftamaardlatesse ladestamiseks) ei käsitleta ekspordina, vaid vältimatu kuluna tootjale. Biogeenset päritolu CO₂ aga püütakse kasutada kütuste tootmisel (läbi CO₂ sidumise) lokaalselt, mille järel on nende eksport põhimõtteliselt võimalik.

5. INTERVJUUDE KOKKUVÕTE

1. **Biomass kui toore** on kättesaadav, võimalused on olemas biometaani tootmiseks. Ühe eksperdi hinnangul toodetakse Eestis käesoleval hetkel 300GWh/a, peatselt oleme 500GWh juures, reaalne oleks välja jõuda 1 TWh-ni. Biometaani tootmisel on põhilised sisendid hakkepuu, põllumajanduslikud jäätmed ja reovee kääritamise protsess.

2. **Biometaani tootmise võimalus** on olemas, aga probleem on selles, et pole nõudlust tekitatud kõikides võimalikes kasutusvaldkondades. Riikides peab olema poliitika, mis tekitab selleks vajaduse investeringute järgi. Täna biometaan saab küll transpordis ilma

subsiidiumiteta hakkama, aga riik pole suutnud seda nõudlust tekitada nt elamumajanduses.

3. Kõikide praeguste biometaani tootmisjaamade tehnoloogiad on TVT-9 tasemel. **Tehnoloogiliseks väljakutseks** tuleks pigem lugeda neid **tehnoloogiaid, mis oleks vajalikud biometaani väärindamiseks**, st biometaan võiks lisaks tema kasutusele transpordisektoris olla veel lisaväärtust tootev sisend nt biometanooli, vesiniku jt hinnalisemate CO₂ vaba või madala CO₂ heitega kütuste tootmisel. Praegusel ajal hinnatakse neid lisanduvaid tehnoloogiaid vaid TVT 6-8 tasemetele vastavaks.

4. Ettevõtted, mis opereerivad biometaanijaamu, peaksid läbi viima väärtusahelate kaardistusi, millega on võimalik ka kaardistada negatiivset CO₂ heidet. Vastava sertifikaadi väljastab Büroo Veritas. Antud kaardistuse käigus hinnatakse nii tooret kui kui ka selle transporti, samuti digestaadi transporti põllule. Kuna 2026. aastaks suureneb jaamade arv veelgi, on ettevõtetel vajalik leida konkreetset partnerid toorme hankimiseks, samas prognoositakse ka konkurentsi toorme hindade osas.

5. Ettevõtjad ootavad, et teatavate **regulatsioonidega loodaks tootmiseks enam nõudlust**. Hetkel puudub nn süsinikupüüdmise mehhanism. Peaks olema nn piitsa-prääniku mehhanism, st kui ettevõtte kasutab biometaani nt 20% ulatuses, siis sellisel juhul saab ta mingite tariifide kaudu soodustust, nt võrgutasu läheb nulli vms, mis omakorda soodustaks biometaani kasutamist.

6. Eesti võiks **jälgida** antud ettepaneku valguses naaberriikide st **Läti, Leedu ja Soome seadusandluse muudatusi**, et Eesti tootjad oleksid samas seisus kui naabrid (oleksime nendega konkurentsivõimelised).

7. Praegune **jäätmeregulatsioon on aegunud**. Ettepanek ministriumile oleks hinnata ja kirjutada ümber jäätmeregulatsioon. Soovitati, et ministrium telliks spetsiaalse analüüsi jäätmeregulatsioonist tulenevate takistuste kõrvaldamiseks biometaani tootmisel.

8. Biometaani tootmisjaama loomisega seotud investeeringute tasuvus on umbes 20 a, kuid praegu puudub investeermiskindlus. Nn **hinnapõranda loomine biometaani hinnale** riigi poolt võiks olla üks mehhanism.

9. Biometaani jaamadele tooraine hankimisel teeb tootjaid murelikuks ka elanikkonna poolt hooletuse või teadmatuse tõttu **valesti sorteeritud olmejäätmed**, mille hulgas on liialt kõrge biojäätmete osakaal.

10. Nii biometaani kui ka teiste kütuste turuga seotud **regulatsioonides on ebaselgusi**, mis kahjuks jätavad **võimalusi turu kuritarvitamiseks**.

11. **CO₂ neutraalsete kütuste turg** on alles arengujärgus, mistõttu oleks **vajalik teha pika vaatega tulevikuotsused**. Potentsiaal on selles, et Eesti on teiste riikidega gaasivõrkudega ühendatud, biometaani saab torujuhtme kaudu eksportida kuhu iganes, võimekus on olemas, aga kui nõudlust ei teki, siis Eestil ei teki võimalust ka täita kliimakindla seaduse eesmärke.

12. Tehniliselt on **biometaani eksportimine** täna teostatav, sest biometaani saab juba Eestit, Lätit ja Soomet ühendavasse maagaasitorru sisestada, riikide vahel on D-kategooria tüüpi ühendus. On olemas ka samatüüpi toruühendus Leedu ja Poola vahel. Praegu on probleem see, et **torujuhtmesse sisestamiskulu ja sisestamispunkti**

ehitus on tootja kulu. Oleks vajalik, et riik (Elering) ehitaks välja ja määraks ettevõtjatele nt 10€/MWh sisestustasu ja teeniks niiviisi nt 10 aastaga sisestamispunkti ehitamisega seotud investeeringu tagasi. See sisestushind oleks biogaasi tootjale kui ettevõtjale praktiline ja stabiilne kulu, mille kataks lõpptarbija, kuid tootja ei peaks ise tegema eelnevaid suuri (CAPEX) investeeringuid. Eesti biometaani tootjad on juba kaardistanud Eesti jaoks vajalike 4-5 sisestuspunkti asukohad.

13. Oluline on analüüsida ja **otsustada, kas riik lähtub massibilnasi või KHG põhisest lähenemisest RED-3 direktiivi soovitude rakendamisel**. Seda valikut kaaludes tuleks mõelda, et milline õiguslik lahendus võimaldaks suuremat väärtusahelat Eestisse jätta. RED-3 artikkel 25 puhul tuleks riigil teha valik nii, et loobuda senisest massibilansi põhisest arvestusest.

14. **Vesiniku** kui toormega seotud **väljakutsena** kogu riigi vaates rõhutati, et kuna **~35% elektrienergiat Eesti impordib** (sh kõik Balti riigid on ca 10 TW-ga miinuses), siis tekib küsimus, kas meil on (elektrihindu arvestades) võimalik vesinikku toota selleks, et toota e-metaani.

15. **Lennundus** osaleb vesiniku tootmisega seotud **rahvusvahelises arendusprojekti**, mille raames lähiaastatel alles uuritakse võimalusi ja taristumuudatuste vajadusi nii lennunduses kui ka lennujaama teenindava maismaatranspordi osas.

16. **Laevanduse** valdkonnas **osaletakse samuti erinevates projektides**, näiteks koostöös *Hamburg Port Consulting*'ga toimub *H2Derivates* projekti raames turu nõudluse kaardistus, mille tulemuste kohta hetkel rohkem teavet pole.

17. Suurte energiatootjate **vesinikutanklate ehitus**, mis viidi läbi küll kiiresti, aga käitamisloa andmine kestab väga kaua, kuigi EL-s on sama tehtud juba 20 aastat. Institutsioonidel puudub oskuste ja teadmuse ülekande antud valdkonnas.

18. **Rohevesiniku tootmisega** on seotud suur (rohe)energia tarve, iseäranis, kui vastav tootmine peaks toimuma sadamate läheduses. Võimaliku energiallikana nähti sarnaselt lennundusele meretuuleparke, kuid puuduvad konkreetsed lahendused või projektid vesiniku tootmiseks laevanduse tarbeks.

19. Osalejad rõhutasid, et „erinevat värvi“ **vesiniku ja metanoolide klassifikatsioon ei ole selge**. Mis on roheline, mis on roosa ning kuidas on saadud CO₂ ja selle päritolu.

20. **Tehnoloogiate olemasolus ei ole probleemi**, sest vaadates kõiki energiakandjaid, kui need peavad olema rohelised - vesinik, metaool, CO₂, siis Eestis realiseeritakse ikkagi juba TVT9 taseme tehnoloogiaid, kuid **on tegemist eeskätt mastaabiküsimusega**. Ettevõtted on planeerimas nelja uut vesinikutanklat. Oodatakse vesinikkütustel töötava rasketranspordi arengut ja jõudmist Eestisse.