Töö nr ENV1405

Eesti energiamajanduse pikaajalise arengukava aastani 2030 valdkondade stsenaariumitega kaasneva keskkonnamõju olulisuse modelleerimine

Tallinn 2014

Meie oskused on Teie edu !™

Eesti Arengufond
Rotermanni 8
10111 Tallinn
Tel. 616 1100
www.arengufond.ee

ÅF-Consulting AS
Väike-Paala 1
11415 Tallinn
Tel. 605 3150
www.estivo.ee

1. SISUKORD

1. SISUKORD 2

2. LÜHENDID 3

3. KOKKUVÕTE 5

4. METOODIKA 13
4.1 Tarkvara ja andmebaasid 14
4.2 Eesmärk ja käsitlusala 14
4.3 Hindamismeetod Impact 2002+ 18
4.4 Kütused 23
4.5 Taastuvad energiaressursid 32

5. TRANSPORDIKÜTUSTE TOOTMINE 35
5.1 Lähteolukord ja eeldused 35
5.2 Biokütuste tootmise stsenaariumite keskkonnamõju 36

6. ELEKTRIMAJANDUS 39
6.1 Lähteolukord ja eeldused 39
6.2 Euroopa elektrimajanduse keskkonnamõju 42
6.3 Elektrimajanduse stsenaariumite keskkonnamõju 44

7. SOOJUSMAJANDUS 51
7.1 Lähteolukord ja eeldused 51
7.2 Euroopa soojusmajanduse keskkonnamõju 51
7.3 Soojusmajanduse stsenaariumite keskkonnamõju 52

8. TRANSPORDISEKTOR 61
8.1 Lähteolukord ja eeldused 61
8.2 Euroopa transpordisektori keskkonnamõju 62
8.3 Transpordisektori stsenaariumite keskkonnamõju 63

9. LISAD 69
9.1 Lisa 1. Stsenaariumite voodiagrammid 69
9.2 Lisa 2. Curriculum Vitae 76

2. LÜHENDID

AT – Austria, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
BE – Belgia, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
BG – Bulgaaria, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
Bq C-14 – süsinik-14 või radiosüsinik on süsiniku radioaktiivne isotoop, mille poolestusaeg on 5715 +/-30 aastat. Süsinik-14 tekib atmosfääris õhulämmastikust kosmilise kiirguse toimel. Süsinik-14 lagunemisel eralduvad elektron ja antineutriino.
CFC – fluoroklorosüsinikud. Määruses (EÜ) nr 2037/2000 I lisa I ja II rühmas loetletud ained ja nende isomeerid. Tööstusproduktid, mida varasemalt kasutati külmutussüsteemides, õhukonditsioneerides, aerosoolides, lahustites ja mõningates pakkematerjalides.
CH – Šveits, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
CZ – Tšehhi, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
DALY – tervisekadu ehk haiguskoormus (inglise k. *disability-adjusted life years*). Terminiga "haiguskoormus" tähistatakse kaotust rahva tervises, mida väljendab surmade tõttu kaotatud eluaastate ning haigestumise ja välispõhjuste tõttu vähenenud täie tervise juures elatud eluaastate koguarv. DALY meetodil arvutatakse eraldi ja seejärel summeeritakse enneaegse surma tõttu kaotatud eluaastad ning aastad, mida inimene pole elanud täie tervise juures haiguste tõttu: DALY = kaotus suremusest + kaotus haigestumisest
DE – Saksamaa, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
DK – Taani, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
EE – Eesti, kasutatud ENMAK 2030+ käigus modelleeritud protsessides, mis on kohandatud Ecoinvent andmebaasi protsessidest rakendades Eesti tingimusi
EL – Euroopa Liit
eq – ekvivalent, kasutatakse meetodis Impact 2002+ mõjukategooriate ühikuna
ES – Hispaania, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
EU – Euroopa, kasutatakse Euroopa riikide keskmise tunnusena
FI – Soome, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
FR – Prantsusmaa, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
GB – Suurbritannia, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
GLO – globaalne, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
GR – Kreeka, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
GWh – gigavatt–tund (10^9 Wh)
HR – Horvaatia, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
HU – Ungari, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
IE – Iirimaa, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
in – inimene, kasutatakse ühikuna inimese kohta
IPCC – Valitsustevaheline Kliimamuutuste Nõukogu (inglise k. *Interngovernmental Panel on Climate Change*) on valitsustevaheline teadlaste nõukogu, kus uuritakse ja analüüsitakse inimese poolt kiirendatud kliimamuutuste võimalikke tagajärgi nii ökosüsteemidele kui inimkonnale. Samuti uurivad IPCC töögrupid kliimamuutuste aeglustamiseks rakendatavaid meetmeid. IPCC asutati 1988. aastal kahe ÜRO organisatsiooni, ÜRO keskkonnaprogrammi ja Maailma Meteoroloogiaorganisatsiooni baasil
IT – Itaalia, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides

kWh – kilovatt-tund (10^3 Wh), energiaühik, 1 kWh = $3,6*10^6$ J
LCA – olelusringi hindamise analüüs (inglise k. *life cycle analysis*)
LU – Luksemburg, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
MJ – megadžaul (10^6 J), töö, energia ja soojushulga mõõtühik, 1 kWh = $3,6*10^6$ J
mld – miljard
mln – miljon
MS – transpordisektoris modelleeritud Mittesekkuv stsenaarium
NL – Holland, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
PDF – potentsiaalselt hävimisohus olevad liigid (inglise k. *potentially disappeared fraction of species*). Näiteks PDF*m^2*y = 0,2 tähendab, et ühe aasta jooksul kaob keskmiselt 20% liikidest 1 m^2 Maa pinna kohta või et ühe aasta jooksul kaob 1% 20 m^2 kohta või ka et 20 aasta jooksul kaob 1% Maa 1 m^2 kohta. Impact 2002+ meetodi loojate sõnul tuleb tulemuste tõlgendamisel arvesse võtta, et liikide kadu arvutamisel on arvestatud pikaajaliste mõjudega (mõju võib avalduda 100 või 500 aasta jooksul). Erinevates olelusringi hindamise ja meetodite käsiraamatutes on esitatud näiteks, et 1 kWh elektrienergia tootmise mõju on 0,2, auto tootmise mõju ca 4 000 ning 1 m^3 betooni tootmise mõju ca 19 PDF*m^2*y/pers-y.
pkm – sõitja-kilomeeter (inglise k. *personkilometer*), kasutatakse reisijateveo ühikuna
PL – Poola, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
PM – atmosfääri tahked osakesed (inglise k. *particulate matter*)
PT – Portugal, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
Pt – üksikpunktid (inglise k. *points*), kasutatakse stsenaariumi keskkonna kogumõju ühikuna pärast kahjukategooria tulemuste normaliseerimist, kaalumist ja kokku liitmist
PV – päikesepaneel elektri tootmiseks (inglise k. *photovoltaics)*
RO – Rumeenia, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
SE – Rootsi, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
SI – Sloveenia, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
SK – Slovakkia, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
TE – elektrimajanduses modelleeritud Taastuvenergia stsenaarium
TE++ - elektrimajanduses modelleeritud Taastuvenergia++ stsenaarium
RER – Euroopa, kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsessides
RoW – muu maailm v.a Euroopa, kasutatud Ecoinvent andmebaasi protsessides
TEG – trietüleen glükool (inglise k. *triethylene glycol*), kasutatakse ökotoksilisuse ühikuna
TJ – teradžaul (10^{12} J), töö, energia ja soojushulga mõõtühik, 1 kWh = $3,6*10^6$ J
tkm – tonn-kilomeeter (inglise k. *ton-kilometer*), kasutatakse kaubaveo ühikuna
TP – transpordisektoris modelleeritud Teadmistepõhine stsenaarium
TWh – teravatt-tund (10^{12} Wh), energiaühik
VS – transpordisektoris modelleeritud Vähesekkuv stsenaarium
ÜRO – Ühinenud Rahvaste Organisatsioon (inglise k. *UN – United Nations*) on 1945. aastal 51 riigi poolt moodustatud rahvusvaheline organisatsioon, mille eesmärk on rahvusvahelise rahu ja julgeoleku, inimõiguste ning rahvusvahelise koostöö tagamine ja majandusliku, sotsiaalse, kultuurilise ja humaanse iseloomuga rahvusvaheliste probleemide lahendamine. Eesti ühines ÜRO-ga 17. septembril 1991. a.
y – aasta (inglise k. *year*)

3. KOKKUVÕTE

Käesoleva uuringu eesmärgiks on välja selgitada Eesti elektri-, soojusmajanduse ja transpordisektori keskkonnamõjud aastal 2030 erinevate arengustsenaariumite korral ning võrrelda neid tulemusi Eesti energiamajanduse tänase olukorraga ja Euroopa riikide keskmise väärtusega. Uuringu kaugemaks eesmärgiks on arengustsenaariumite keskkonnamõjude omavahelisel võrdlemisel ja nende kombineerimisel teiste ENMAK 2030+ mõjuhindamiste tulemustega leida Eestile sobivaim ja püstitatud eesmärkidele vastav energiamajanduse arengustsenaarium. Selleks kasutatakse olelusringi hindamise põhimõtteid, tarkvaraprogrammi SimaPro 8.0.3.14. Analyst ning Impact 2002+ hindamismetoodikat. Olelusringi hindamine on tegevusraamistik, mis analüüsib ja hindab toote või teenuse keskkonnamõju kogu olelusringi kestel, s.o alates toorme hankimisest kuni jäätmete kõrvaldamiseni.

Lähtuvalt töö lähteülesandest modelleeriti tarkvaraprogrammiga SimaPro järgmiste valdkondade stsenaariumite keskkonnamõjud: kohalike transpordikütuste (biometaan ja bioetanool) tootmine ja eksport (3 stsenaariumi), elektrimajandus (5 stsenaariumi), soojusmajandus (3 stsenaariumi) ja transpordisektor (3 stsenaariumi). Lisaks sellele modelleeriti elektri-, soojusmajandusele ja transpordisektorile baas stsenaariumid, mis peegeldavad tänast olukorda (2012. aasta statistilised andmed, transpordisektoris 2010. aasta andmed) ning Euroopa Liidu liikmesriikide 2012. aasta stsenaarium elektrimajanduse, soojusmajanduse ja transpordisektoris. Kuigi mõjude hindamise käigus leiti kõikide modelleeritavate ENMAK 20303+ arengustsenaariumite panus 15 erinevas mõjukategoorias, siis on tulemuste paremaks mõistmiseks siinkohal ära toodud vaid kokkuvõtlikud tulemused nelja kahjukategooria (inimtervis, ökosüsteemi kvaliteet, kliimamuutused, ressursid) kohta (tabel 3.1). Detailsed tulemused erinevate stsenaariumite mõjukategooriate, kahjukategooriate, normaliseeritud ja kaalutud väärtuste kohta leiab käesoleva aruande peatükkidest 6.–8.

Tulemuste analüüsimisel ja stsenaariumite omavahelisel võrdlemisel tuleb arvesse võtta, et kõikide võrreldavate stsenaariumite juures on arvestatud konkreetse stsenaariumi prognoositava kogumahuga ja rahvastiku arvuga. See tähendab, et baas stsenaariumite juures on aluseks võetud Statistikaameti andmed kütuste ja energia tootmise ja tarbimise ning rahvaarvu kohta (vastavalt kas 2010. või 2012. a andmed) ning 2030. aasta stsenaariumite korral on stsenaariumi kogumahuks võetud erinevate ENMAK töögruppide poolt arvutatud hinnangulised prognoosmahud. Euroopa keskmise arvutamisel on lähtutud Eurostat 2012. aasta andmetest energia tootmise, tarbimise ja elanike arvu kohta.

Uuringu käigus modelleeriti Eestis elektri ja soojuse tootmiseks või transpordisektoris mootorikütusena kasutatavate kütuste tootmise keskkonnamõju energiasisalduse (1 kWh) kohta ning taastuvate energiaressursside keskkonnamõju toodanguühiku (1 kWh elektrienergia) kohta. **Kütustest on kõige suurema mõjuga 1 kWh põlevkiviõli ja puugaasi tootmine, vastavalt $8{,}3*10^{-5}$ ja $8{,}4*10^{-5}$ Pt/kWh.** Veidi väiksema mõjuga on bioetanooli tootmine $2{,}9*10^{-5}$ Pt/kWh (Joonis 4.2). Taastuvatest energiaressurssidest on suurima keskkonnamõjuga PV paneelidega elektrienergia tootmine (keskmiselt $2{,}0*10^{-5}$ Pt/kWh). Peamine mõju tuleneb paneelide komponentide tootmisest. Seevastu elektrituulikute poolt toodetud

1 kWh elektrienergia keskkonnamõju on kõikides kahjukategooriates 3 kuni 5 korda väiksem kui PV paneelidega toodetud 1 kWh elektri keskkonnamõju. Kõige väiksem on mõju hüdroenergia kasutamisel elektri tootmiseks – $0{,}9*10^{-6}$ Pt/kWh. Detailsemalt on kõikide kütuste ja taastuvate energiaressursside mõjusid kajastatud peatükkides 4.4 ja 4.5.

Alljärgnevalt on esitatud kokkuvõtlik tabel kõikide modelleeritud stsenaariumite keskkonnamõju hindamise tulemuste kohta. Tulemused on esitatud eraldi nii nelja hinnatava kahjukategooria kohta kahjukategooria ühikutes (v.a ökosüsteemi kvaliteet, mis on ühikust PDF*m^2*y ümber arvutatud potentsiaalselt hävimisohus olevate liikide arvuks aastal 2030, võttes arvesse asjaolu, et hinnanguliselt on liikide arv Maal 12 250 000, elupaigana on neil kasutada 108,4 mln km^2 maapinda ning 1,4 mld km^3 veekeskkonda[1]) kui ka olelusringi kogumõjuna üksikpunktides (Pt), kus kahjukategooriate tulemused on normaliseeritud, kaalutud ja ühtseks tulemuseks kokku liidetud vastavalt Impact 2002+ meetodile (vt peatükk 4.3). Lisaks sellele on tabelisse lisatud stsenaariumite paremusjärjestus, eraldi nii valdkonna siseselt kui ka valdkondade üleselt.

Tulemustest selgub, et **aastal 2030 on kõige suurem keskkonnamõju elektrimajanduse Põlevkivi stsenaariumil (3,9 mln Pt stsenaariumi kogumahu 10,38 TWh kohta).** Põlevkivi suur mõju avaldub peamiselt ressursside kategoorias (vt joonised 3.1 ja 6.5), eelkõige taastumatute energiaallikate kasutamises (tabel 6.5). Oluliselt mõjutab tulemust ka põlevkivi ja põlevkiviõli tootmise suur keskkonnamõju (vt peatükk 4.4). Kõige väiksema keskkonnamõjuga on kohalike transpordikütuste tootmise ja ekspordistsenaariumid. Oluline on märkida, et kohalike transpordikütuste korral on arvesse võetud vaid see mõju, mis avaldub Eestis kütuste tootmisel. See mõju, mis on seotud biometaani ja -etanooli transpordiga tarbimiskohani ja kasutamisega mootorikütusena, ei ole olelusringi analüüsil sisse arvestatud. Need mõjud avalduvad väljaspool Eesti piire ning sõltuvad oluliselt riigist, kuhu kütus tarbimiseks müüakse (riigi kaugus, kütuse kasutusviis, kasutatavate sõidukite tehnoloogia jm). Ka elektri-, soojusmajanduse ja transpordisektori tulemused ei peegelda vaid Eestis avalduvaid mõjusid, kuid on siiski täies ulatuses arvesse võetud. Seega kajastuvad tulemustes ka näiteks fossiilsete kütuste ja metallimaakide kaevandamise, materjalide transportimise ning mõnel juhul ka tootmise mõjud, mis tegelikult Eesti territooriumil aset ei leia, vaid avalduvad mujal maailmas mõjutades meid kaudselt (piiriülene õhusaaste, globaalne soojenemine, maavarade ammendumine, liikide ohustamine, veekvaliteet).

Uuringu tulemusena selgus, et **elektrimajanduse valdkonnas on keskkonnale kõige vähem koormav Taastuvenergia++ stsenaarium.** Selle kogumõju on ligi 2,5 korda väiksem kui Liberaalne, Liberaalne+ ja Taastuvenergia stsenaariumis (kõigil kogumõju ca 1,5 mln Pt stsenaariumi kogumahu kohta). Kuna Taastuvenergia stsenaarium on viimati nimetatud kolmest stsenaariumist kõige suurema tootmismahuga, samas kahjukategooriate näitajad on üsna sarnased, siis võib TE stsenaariumi pidada TE++ järel paremuselt teiseks elektrimajanduse valdkonnas. Kõige kahjulikum keskkonnale on Põlevkivi stsenaarium.

[1] ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation. http://www.pre-sustainability.com/download/misc/ReCiPe_main_report_final_27-02-2009_web.pdf

Elektrimajanduse stsenaariumite kogumõju tulemustega üsna samal tasemel on ka soojusmajanduse ja transpordisektori stsenaariumid – nende stsenaariumite kogumõju jääb vahemikku 1,3 mln Pt – 2,3 mln Pt. **Soojusmajanduses on kõige väiksema mõjuga Energiaühistute stsenaarium (1,3 mln Pt 17,7 TWh kohta)**, kõige suurema mõjuga aga Kaugkütte stsenaarium (erinevus 1,27 kordne võrreldes Energiaühistute stsenaariumiga). **Transpordisektoris on kõige väiksema kogumõjuga Teadmistepõhine stsenaarium (1,8 mln Pt 8,13 TWh kohta)** ning kõige suurema mõjuga Mittesekkuv stsenaarium (2,3 mln Pt 13,3 TWh kohta aastal 2030).

Analüüsides eraldi nelja kahjukategooria tulemusi selgub, et inimtervist mõjutab kõige enam energia- ja kütuste tarbimine. Kõige suurem mõju tuleneb hingamisteid kahjustavate anorgaanilistest ühenditest fossiilsete kütuste tootmisel ja põletamisel. Transpordisektoris on märgata inimtervise kahjukategoorias olulist halvenemist võrreldes Baas 2010 stsenaariumiga. Kui Teadmistepõhises stsenaariumis suureneb mõju inimtervisele ca 1,2 korda võrreldes Baas stsenaariumiga, siis Vähesekkuva ja Mittesekkuva stsenaariumi korral on suurenemine vastavalt 1,4 ja 1,5 korda. Soojusmajanduse mõju inimtervisele on kõikides stsenaariumites üsna sarnane ning see ei suurene oluliselt võrreldes tänasega. Tulemuste poolest märgatavalt erinevad on elektrimajanduse stsenaariumid, kus kõige väiksema mõjuga (1 400 DALY-t) on Taastuvenergia++ stsenaarium. TE++ stsenaariumi mõju inimtervisele on pea kaks korda väiksem kui Põlevkivi stsenaariumis (2 898 DALY-t). Põlevkivi stsenaariumi suur mõju inimtervisele on põhjustatud fossiilsete kütuste jätkuvalt suurest tarbimisest ning põlevkivi ja kivisöe kaevandamisest. Liberaalne, Liberaalne+ ja Taastuvenergia stsenaariumites on mõju inimtervisele vaid 19% ja Taastuvenergia++ stsenaariumis vaid 15% võrreldes tänase olukorraga (9 623 DALY-t). Detailsemad tulemused inimtervise kahjukategooria kohta on esitatud erinevate valdkondade mõjukategooria hindamistulemuste tabelitest 6.5, 7.4 ja 8.2.

Ökosüsteemide kahjukategoorias on valdkondade stsenaariumite tulemused esitatud konkreetses stsenaariumis rakendatava tegevuse tulemusena potentsiaalselt hävimisohus olevate liikide koguarvuna aastal 2030 (tulemused on ühikust PDF*m^2*yr teisendatud ühikusse potentsiaalselt hävimisohus olevate liikide arv). Kõige väiksem mõju ökosüsteemide kahjukategooriale on transpordisektoril. Mõju peamiseks põhjustajaks transpordisektoris on reisijatevedu (moodustab 63% ökosüsteemi kvaliteedi kogumõjust). Just sõiduautode rohkus, nende kasutusrohkus ja selleks vajaliku infrastruktuuri rajamine mõjutavad transpordisektoris enim ökosüsteeme ja liikide kadumist. Kõige suurem mõju avaldub pinnase ökotoksilisuse mõjukategoorias, mõnevõrra väiksem mõju on maa hõivamise mõjukategoorial ja pinnase hapestumisele (vt tabel 8.2). Seega on mõju tingitud nii õhuheitmetest kui ka saasteainetest, mis põhjustavad pinnase saastumist, oma osa on ka maakasutuse muutusel teede ehitamisel ning sellest põhjustatud elupaikade fragmenteerumisest. Ohustatud liikide arv jääb 2030. a olenevalt transpordistsenaariumist 14 – 22 liigi vahele. Soojus- ja elektrimajanduses on mõju ökosüsteemidele veidi suurem ning seda mõjutab oluliselt taastuvate energiaallikate kasutamine: mida enam kasutatakse energia tootmiseks metsa ja rohtse biomassi energeetilist ressurssi, seda suurem on ka mõju ökosüsteemidele. Kuna tulemused on esitatud

stsenaariumite kogumahu kohta, siis on elektrimajanduses Taastuvenergia stsenaariumi kogumõju ökosüsteemi kvaliteedile (21 ohustatud liiki) võrreldav Liberaalne või Liberaalne+ stsenaariumi kogumõjuga ökosüsteemidele (20 ohustatud liiki), kuigi elektritootmine erineb neis stsenaariumites ca 2 TWh võrra. Soojusmajanduse stsenaariumitest on kõige väiksema mõjuga Reaalne ja Energiaühistute stsenaariumid, 32 ja 33 liiki vastavalt.

Globaalne soojenemine ja sellest tingitud kliimamuutused on põhjustatud eelkõige kasvuhoonegaaside emissioonist fossiilsete kütuste tootmisel, töötlemisel, põletamisel ning energia tootmisel. Seetõttu on ka kahe viimase kahjukategooria, kliimamuutuste ja ressursside ammendumise tulemused üsnagi sarnased. Kõige väiksemat mõju neis kahjukategooriates avaldab elektrimajanduse Taastuvenergia++ stsenaarium (vastavalt 0,66 miljardit kg CO_2 ekv ja 8,36 miljardit MJ). Kõige suuremad mõjud avalduvad elektrimajanduse Põlevkivi stsenaariumis, soojusmajanduse ja transpordisektori stsenaariumites suuri erinevusi ei ole. Detailsema ülevaate erinevate stsenaariumite mõjudest annavad aruande peatükid 6.–8 ning neis sisalduvad üksikasjalikud tabelid mõjukategooriate tulemuste kohta.

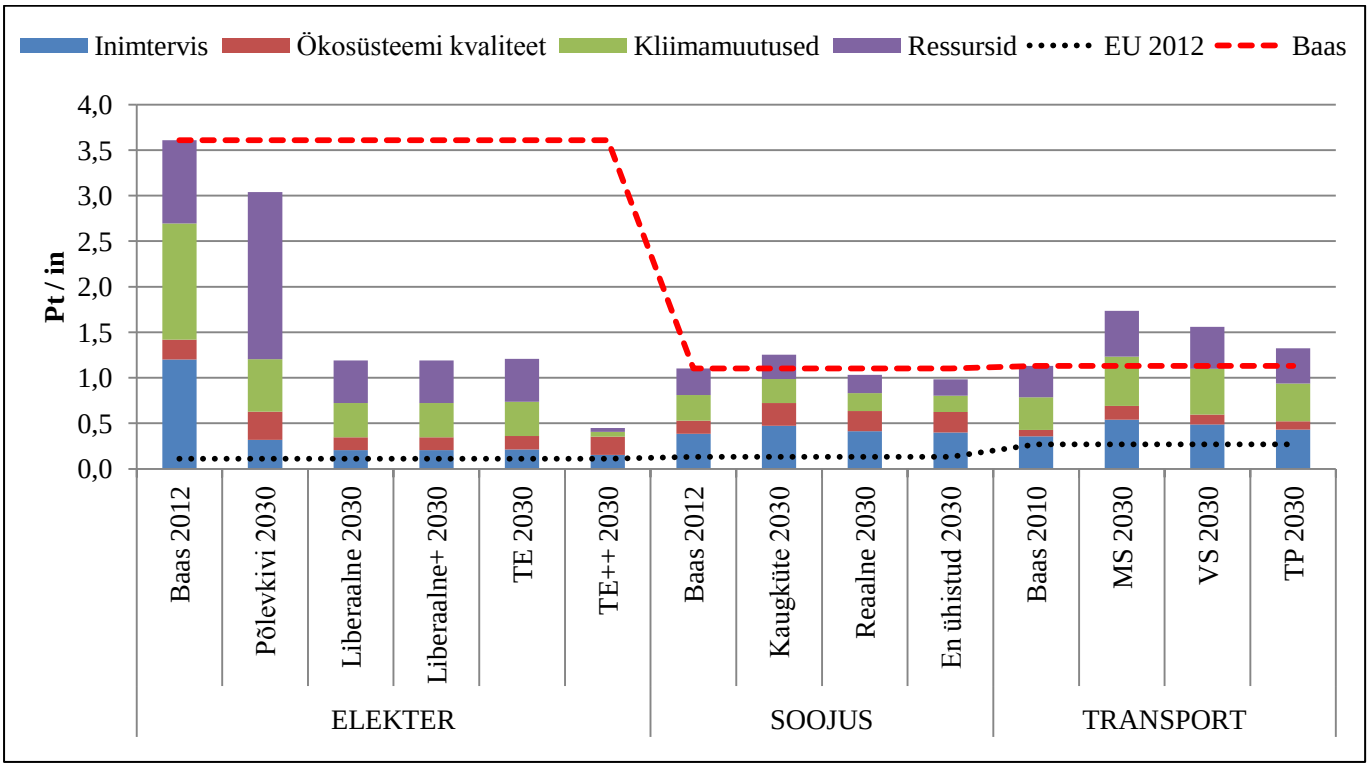
Tabel 3.1. Elektrimajanduse, soojusmajanduse, transpordisektori ja kohalike transpordikütuste ENMAK stsenaariumite keskkonnamõju hindamise tulemused neljas kahjukategoorias ja vastavates ühikutes (inimtervis – DALY; ökosüsteemi kvaliteet – species/y; globaalne soojenemine – mln kg CO_2 eq ning ressursid – mln MJ). Tulemused on esitatud stsenaariumite kogumahu kohta. Tabelis on esitatud ka mõju hindamise tulemused üksikpunktides (Pt), mis on saadud pärast kahjukategooria tulemuste normaliseerimist, kaalumist (normaliseeritud tulemused on korrutatud kaalumisteguriga, mis on Impact 2002+ korral kõikides kahjukategooriates 1) ja kokku liitmist. Samuti on esitatud stsenaariumite paremusjärjestus valdkonnasiseselt ja valdkondade üleselt. Tabel jätkub järgmisel leheküljel. Ökosüsteemi kvaliteedi kahju-kategoorias teisendati saadud tulemus ühikutes PDF*m^2*yr potentsiaalselt ohus olevateks liikide arvuks, võttes arvesse, et hinnanguliselt on liikide arv Maal 12 250 000 ja elupaigana on neil kasutada 108,4 mln km^2 maapinda ning 1,4 mld km^3 veekeskkonda[2].

STSENAARIUM		**Inimtervis**	**Ökosüsteemi kvaliteet**	**Globaalne soojenemine**	**Ressursid**	**Kõik kokku**	**Stsenaariumite järjestus**	
Nimetus	Maht, TWh	DALY	species	mln kg CO_2 eq	mln MJ	Pt	Valdkonna sisene	Valdkondade ülene
Elektrimajandus								
Baas 2012	**11,97**	9 623	22	14 602	161 326	**4 088 098**	-	-
Põlevkivi 2030	**10,38**	2 898	44	7 321	356 691	**3 888 934**	V	XVII
Liberaalne 2030	**7,19**	1 863	20	4 763	91 247	**1 524 540**	II	X
Liberaalne+ 2030	**7,19**	1 863	20	4 765	91 274	**1 525 109**	III	XI
Taastuvenergia 2030	**9,31**	1 946	21	4 780	91 295	**1 546 128**	IV	XII
Taastuvenergia++ 2030	**6,32**	1 400	28	660	8 356	**576 102**	I	VII
Soojusmajandus								
Baas 2012	**20,4**	3 618	21	3 682	58 881	**1 461 967**	-	-
Kaugküte 2030	**22,1**	4 438	37	3 461	53 634	**1 659 756**	III	XIII
Reaalne 2030	**19,5**	3 878	32	2 610	40 533	**1 369 932**	II	IX
Energiaühistud 2030	**17,7**	3 749	33	2 370	36 148	**1 304 034**	I	VIII

[2] ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation. http://www.pre-sustainability.com/download/misc/ReCiPe_main_report_final_27-02-2009_web.pdf

STSENAARIUM		Inimtervis	Ökosüsteemi kvaliteet	Globaalne soojenemine	Ressursid	Kõik kokku	Stsenaariumite järjestus	
Nimetus	Maht, TWh/y	DALY	species	mln kg CO_2 eq	mln MJ	Pt	Valdkonna sisene	Valdkondade ülene
Transpordisektor								
Baas 2010	**8,3**	3 387	10	4 756	69 820	**1 507 957**	-	-
Mittesekkuv 2030	**13,3**	5 110	22	7 149	102 389	**2 315 521**	III	XVI
Vähesekkuv 2030	**11,14**	4 601	16	6 647	93 101	**2 077 688**	II	XV
Teadmistepõhine 2030	**8,13**	4 068	14	5 500	77 802	**1 763 470**	I	XIV
Biometaani tootmine ja eksport								
Mittesekkuv 2030	**0**	-	-	-	-	**0**	I – II	I – III
Vähesekkuv 2030	**0**	-	-	-	-	**0**	I – II	I – III
Teadmistepõhine 2030	**0,46**	74	1	104	1 246	**38 340**	III	V
Bioetanooli tootmine ja eksport								
Mittesekkuv 2030	**0**	-	-	-	-	**0**	I	I – III
Vähesekkuv 2030	**1,01**	91	0,4	89	1 225	**33 292**	II	IV
Teadmistepõhine 2030	**1,22**	241	1	237	3 248	**88 297**	III	VI

Uuringu läbiviimisel kasutati ka Statistikaameti ja Eurostati andmeid eelpool nimetatud valdkondade kohta, et võrrelda arengustsenaariume Eesti ja Euroopa tänase olukorraga. Selleks modelleeriti Eesti elektri- ja soojusmajanduse jaoks stsenaarium Baas 2012, transpordisektoris Baas 2010, ning Euroopa jaoks 28 liikmesriiki hõlmavad stsenaariumid EU 2012 eraldi igas valdkonnas. Stsenaariumite keskkonnamõjud hinnati meetodiga Impact 2002+ ning vastavad kahjukategooria tulemused jagati läbi elanike arvuga vastaval aastal. Tulemused – valdkonna kogumõju ühe elaniku kohta – on esitatud alljärgneval joonisel.



Joonis 3.1. ENMAK 2030+ elektri-, soojusmajanduse ja transpordisektori stsenaariumite keskkonnamõjud normaliseeritult ja kaalutult ühe elaniku kohta võttes arvesse stsenaariumi kogumahtu. Võrdlusena on esitatud ka baas stsenaariumite mõjud ühe Eesti elaniku kohta ning Euroopa 2012. a andmetel põhinevate valdkondlike stsenaariumite (EU 2012) keskkonnamõjud ühe eurooplase kohta. Soojusmajanduses on EL keskmisena esitatud kaugkütte soojuse tootmise ja tarbimise keskkonnamõjud ühe elaniku kohta. TE – Taastuvenergia stsenaarium, TE++ - Taastuvenergia++ stsenaarium, MS – Mittesekkuv stsenaarium, VS – Vähesekkuv stsenaarium, TP – Teadmistepõhine stsenaarium.

Kõikide arengustsenaariumite korral on Eestis avalduvad mõjud oluliselt suuremad kui Euroopa Liidu liikmesriikides keskmiselt. Seda kinnitavad ka Eurostati andmebaasis sisalduvad andmed EL-i riikide jätkusuutlikkuse, energiamahukuse ja –efektiivsuse kohta. Kui EL-is oli 2012. aastal ressursikasutus ühe elaniku kohta keskmiselt 13,49 tonni, siis Eestis oli see samal ajal kaks korda suurem – 28,71 t/el. Samasugused erinevused on ka teistes näitajates. Kui kõik need kehvemad efektiivsuse näitajad ja kõrgemad saastenumbrid kokku võtta ning ka tootmise ja tarbimismahud ning elanike arv arvesse võtta, siis saamegi olelusringi analüüsi tulemusena jalajälje, mille keskkonnamõju on oluliselt suurem kui EL-i liikmesriikides keskmiselt. Seega arenguruumi parendamiseks on veel palju ning kõige

suuremad võimalused keskkonnamõju vähendamiseks peituvad elektrimajanduse arengustsenaariumites, kuna just elektrimajanduses on Eesti keskkonnamõjud kordades suuremad kui EL-is keskmiselt. Soojusmajanduses ja transpordisektoris nii suuri erinevusi ei ole.

Kõige suuremad erinevused valdkonnasiseselt on elektrimajanduses Põlevkivi ja TE++ stsenaariumite korral. Viimase korral jääb EL-i keskmine kättesaadavasse kaugusesse ning ei ole välistatud, et andmete täiustamisel võib vahe veelgi väheneda. Uuringu käigus selgitati ka välja, et kui jätta erandina välja Põlevkivi stsenaarium, siis on näiteks **1 kWh elektrienergia tootmine Eestis (1,4 – 1,8*10^{-4} Pt/kWh) täiesti võrreldav elektri tootmisega teistes Euroopa riikides:** eraldi näidetena võib välja tuua Horvaatia (2,1*10^{-4} Pt/kWh), Bulgaaria (2,0*10^{-4} Pt/kWh), Tšehhi (1,9*10^{-4} Pt/kWh), Suurbritannia (1,78*10^{-4} Pt/kWh), Itaalia (1,75*10^{-4} Pt/kWh), Holland (1,64*10^{-4} Pt/kWh), Hispaania (1,53*10^{-4} Pt/kWh), Saksamaa (1,55*10^{-4} Pt/kWh) ja Taani (1,4*10^{-4} Pt/kWh). Kõige väiksema mõjuga on elektrienergia tootmine Norras (0,03*10^{-4} Pt/kWh), aga mitte kaugele maha ei jää ka Rootsi (0,54*10^{-4} Pt/kWh) ja Austria (0,71*10^{-4} Pt/kWh).

Soojusmajanduses on stsenaariumite kogumõju hindamise tulemused üsna sarnased. Olulist muutust võrreldes Baas stsenaariumiga ei toimu. Kuna EL keskmise kohta on joonisel esitatud kaugkütte keskkonnamõju tulemused ühe elaniku kohta, siis ei saa päris korrektset võrdlust erinevate stsenaariumite ja EL keskmise vahel läbi viia. Siiski on peatükis 7.2 esitatud võrdlus erinevates ENMAK 2030+ stsenaariumites aastal 2030 rakendatava kaugkütte tarbimismahu kohta ning EL 2012 keskmise kaugkütte tarbimise kohta. Euroopa Liidus keskmiselt on kaugkütte soojuse tootmise ja tarbimise keskkonnamõjud ühe elaniku kohta ligi kaks korda väiksemad kui Eestis erinevate stsenaariumite rakendamisel aastal 2030. Kõige suuremad erinevused esinevad ökosüsteemi kvaliteedi ja inimtervise kahjukategooriates.

Jooniselt 3.1 võib ka välja lugeda, et üks keskmine eurooplane avaldab keskkonnale kõige suuremat mõju läbi transpordi. Kui Euroopas keskmiselt on ühe elaniku mõju kogu transpordisektorit arvesse võttes 0,27 Pt/a, siis Eestis on see isegi aastal 2030 olenevalt rakendatavast stsenaariumist ca 5 – 6 korda suurem.

Läbi viidud olelusringi analüüsi tulemusena selgus, et lähtuvalt stsenaariumite keskkonnamõjude suurusest ja olulisusest on kõige jätkusuutlikum Eestil edasi liikuda transpordisektoris Teadmistepõhise stsenaariumiga, soojusmajanduses Energiaühistute stsenaariumiga ning elektrimajanduses Taastuvenergia++ stsenaariumiga. Lõplik valik sõltub otsustajatest ja teistest hindamiskriteeriumitest, kuid igal võimalusel tuleks vältida elektrimajanduses Põlevkivi arengustsenaariumi teed minekut.

4. METOODIKA

Käesolevas uuringus kasutatakse Eesti energiamajanduse pikaajalise arengukava aastani 2030 (edaspidi ENMAK 2030+) valdkondade stsenaariumite keskkonnamõjude modelleerimiseks olelusringi hindamise meetodit (LCA) ning vastavat tarkvaraprogrammi SimaPro.

Olelusringi hindamine *(Life Cycle Assessment, LCA)* on tegevusraamistik, mis analüüsib ja hindab toote või teenuse keskkonnamõju kogu olelusringi kestel, s.o alates toorme hankimisest kuni jäätmete kõrvaldamiseni. Olelusringi hindamist võib vastavalt kontekstile käsitleda nii kontseptuaalse tegevusraamistikuna kui ka praktiliselt rakendatava meetodina (keskkonnajuhtimisvahendina). LCA-d kui kontseptsiooni nimetatakse sageli "olelusringi-mõtteviisiks" *(life-cycle thinking)*, mis aitab mõista ühiskonna vajaduste rahuldamiseks vajalike toodete keskkonnatagajärgi. Olelusringi-mõtteviisi põhisõnum on, et vastutada ei tule ainuüksi toote, protsessi või tegevuse olelusringi selle etapi eest, millega ise seotud ollakse, vaid toote eest on kaasvastutavad kõik, kes on olelusringis tegevad: toormetöötlejad, tootjad, turustajad, kasutajad ja jäätmekäitlejad. Igaühe vastutus on suurim otseselt tema kontrollile alluvas olelusringietapis. Selline lähenemisviis aitab näha probleeme laiemalt ning teha jätkusuutlikumaid strateegilisi otsuseid.[3]

Olelusringi hindamine kui meetod koosneb neljast etapist. Kõigepealt määratletakse hindamise eesmärk ja käsitlusala. Selles etapis määratakse kindlaks töö detailsus, sügavus ja ulatus ning eesmärk. Käsitlusala määramisel kirjeldatakse hinnatavat süsteemi, süsteemi piire, hindamisel kasutatavat talitlusühikut (sageli kasutatakse ka mõistet funktsionaalne ühik), lähteseisukohti, kitsaskohti ning hindamise metoodikat ja sellele vastavaid mõju-kategooriaid. Eesmärgi ja käsitlusala määratlemisele järgneb üksikasjalik inventuuranalüüs, mille käigus kogutakse andmeid olelusringi kestel kasutatava energia ja ressursside ning tekkivate heitmete kohta. Järgmises etapis hinnatakse ressursikasutuse ja heitmete võimaliku keskkonnamõju. Viimases etapis tõlgendatakse saadud tulemusi, lähtudes seatud eesmärgist. Antud uuringu käigus on läbi viidud kõik neli etappi. Olelusringi hindamist käsitleva ja reguleeriva ISO 14040 standardi kohaselt võib uuring lõppeda ka inventuuranalüüsiga, kuid sellisel juhul nimetatakse seda olelusringi inventuuranalüüsiks mitte olelusringi hindamiseks.

Olelusringi hindamist saab väga edukalt kasutada kui kompleksset keskkonnajuhtimis-vahendit aitamaks kaasa otsuste tegemisele riigiasutustes, eraettevõtetes, keskkonna-ühendustes või tarbijaorganisatsioonides. Peamised olelusringi hindamise rakendusalad on:

- võimaluste selgitamine parandamaks toodetega seotud keskkonnaaspekte mingis olelusringietapis;
- otsuste tegemine tööstuses ning valitsus- ja valitsusvälistes organisatsioonides (nt riikliku poliitika kujundamine, strateegiline planeerimine, toote või tootmise kujundamine või ümberkujundamine);
- turustamine (nt ökomärgistamine).

[3] Talve, S., Põld, E. (2005). Olelusringi hindamine.

Tuleb silmas pidada, et olelusringi hindamine ei vasta neile keskkonnaküsimustele, mis on seotud asukoha valikuga (seda tehakse keskkonnamõju hinnangus), ühe aine või ressursi keskkonnatoimega (ainevooanalüüs), ettevõtte keskkonnamõjuga (keskkonnaaudit) või riskidega (riskianalüüs). Olelusringi hindamine ei tegele ka sotsiaalsete ega majanduslike aspektidega.[4]

4.1 Tarkvara ja andmebaasid

SimaPro[5] on maailmas enimlevinud ja –kasutatav olelusringi hindamise ja analüüsi tarkvara-programm. Programmiga on võimalik modelleerida ja analüüsida erinevate toodete ja teenuste olelusringe kaasates kõiki toote/teenuse olelusringi etappe, mõõta kogu olelusringi või etappide keskkonnamõjusid ning ühtlasi identifitseerida kõige problemaatilisemad kohad. Programmi on integreeritud mitmeid andmebaase ja hindamismeetodeid, mida on võimalik kasutada toote või teenuse kogu olelusringi, süsiniku ja/või vee jalajälje arvutamiseks, toodete ökodisainis, keskkonnadeklaratsiooni koostamisel, keskkonnaaruandluses ja ka kesk-konnategevuse tulemuslikkuse seires jms. Käesolevas uuringus on kasutatud tarkvara-programmi SimaPro 8.0.3.14 Analyst versiooni ja Ecoinvent andmebaasi.

Olelusringi modelleerimiseks ja keskkonnamõjude hindamiseks on SimaPro-s olemas ligi-pääs mitmetele ülemaailmsetele andmebaasidele. Käesolevas uuringus kasutatakse andme-baasi Ecoinvent[6] andmeid. Ecoinvent Centre on 1997. aastal mitme Šveitsi teadus- ja uurimisasutuse instituudi poolt loodud kompetentsikeskus, mis on loonud ja haldab teaduslikult läbipaistvat, rahvusvahelist ja usaldusväärset andmebaasi olelusringi hindamiseks ja analüüsimiseks. Andmebaas on mõeldud kasutamiseks tööstusettevõtetele, konsultatsiooni-ettevõtetele ja ka riigi- ja teadusasutustele, et aidata kaasa toodete ja teenuste keskkonna-hoidlikkuse suurendamisele. Nimetatud kompetentsikeskus on arendanud LCA metoodikaid ja Ecoinvent andmebaasi üle 15 aasta ning see töö jätkub tänaseni. Viimane Ecoinvent andmebaasi uuendus teostati ajavahemikul oktoober 2013 – veebruar 2014 ning nüüdseks on SimaPro-s kasutusel andmebaasi kolmas versioon – Ecoinvent 3.

4.2 Eesmärk ja käsitlusala

Lähtuvalt töö lähteülesandest modelleeriti tarkvaraprogrammiga SimaPro järgmiste vald-kondade stsenaariumite keskkonnamõjud ja nende olulisus võrreldes Euroopa keskmisega:

1. kohalike transpordikütuste (biometaan ja bioetanool) tootmine ja eksport (3 stsenaariumi),
2. elektrimajandus (5 stsenaariumi),
3. soojusmajandus (3 stsenaariumi) ja
4. transpordisektor (3 stsenaariumi).

[4] Talve, S., Põld, E. (2005). Olelusringi hindamine.
[5] SimaPro. World`s Leading LCA Software. http://www.pre-sustainability.com/simapro
[6] Ecoinvent. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. http://www.ecoinvent.org/

Stsenaariumite detailsed kirjeldused ja lähte-eeldused on kätte saadavad Energiatalgud internetileheküljelt[7]. Lisaks eelpool nimetatud tulevikustsenaariumitele modelleeriti võrdlusena Baas stsenaarium. Elektri- ja soojusmajanduses kasutati Baas stsenaariumi modelleerimiseks 2012. aasta andmeid ja transpordisektoris 2010. aasta andmeid.

Töö eesmärk on välja selgitada kõikide eelpool loetletud valdkondade tulevikustsenaariumite keskkonnamõjud aastal 2030 ning võrrelda neid Eesti energiamajanduse tänase olukorraga ning Impact 2002+ meetodis kasutatava Euroopa keskmise väärtusega. Uuringu kaugemaks eesmärgiks on stsenaariumite keskkonnamõjude omavahelisel võrdlemisel ja nende kombineerimisel teiste ENMAK 2030+ mõjuhindamiste tulemustega leida Eestile sobivaim ja püstitatud eesmärkidele vastav energiamajanduse arengustsenaarium. ENMAK 2030+ strateegilised eesmärgid on:

- energiavarustuse tagamine elektrimajanduses, soojusmajanduses, transpordisektoris, elamumajanduses ja kodumaiste kütuste tootmises;
- majanduse energiamahukuse vähendamine (konkurentsivõimet kahjustamata) ja energiasäästu suurendamine;
- energiajulgeoleku suurendamine energia tootmiseks vajaliku ärikeskkonna, energia-infrastruktuuri ja ühenduste arendamise kaudu.[8]

Eesmärgi saavutamiseks toimitakse järgnevalt (vt joonis 4.1):

1. Selgitatakse välja energiaressursid, mida kasutatakse kohalike kütuste tootmisel ja energia tootmisel;
2. Modelleeritakse kütuste tootmisprotsess (toorme hankimine, transport, rikastamine, kasutatav tehnoloogia ja energia). Kohalike kütuste tootmisprotsessi modelleerimiseks otsitakse Ecoinvent andmebaasist kõige sarnasemad ja enam sobivad kütused ning seejärel kohandatakse neid protsesse lähtuvalt kasutatavast toorainest, tehnoloogiast, transpordiviisist jm kuni lõpptarbija poolt kasutatava produktini välja. Imporditavate kütuste korral kasutatakse Ecoinvent andmebaasi protsesse olemasolevate kütuste kohta. Eelistatud on need protsessid, mis kirjeldavad Euroopa keskmist (RER) tootmist ja transporti. Imporditavate kütuste korral andmeid (tootmise, tehnoloogia, transpordi jm) protsessi kohta ei muudeta, vaid lähtutakse Ecoinvent andmebaasis olemasolevatest kontrollitud andmetest. Ülevaade sellest, milliseid kütuseid Ecoinvent andmebaasist on uuringus kasutatud, on esitatud peatükis 5.2. Modelleeritud kütuseid kasutatakse sisendina järgmiste protsesside modelleerimisel;
3. Pärast kütuste tootmise ja transpordi modelleerimist seotakse iga kütusega konkreetsed energiatehnoloogiad, mida kasutatakse kütusest energia (soojus- või elektrienergia) tootmiseks. Transpordisektoris seotakse kasutatavad kütused konkreetsete transpordiviisidega. Tehnoloogiate ja transpordivahendite jaoks otsitakse Ecoinvent andmebaasist olemasolevad ja kõige paremini sobivad tehnoloogiad. Kuna käesoleva uuringu raames ei ole piiratud ressursside (aeg, andmed jne) tõttu võimalik

[7] Energiatalgud. ENMAK stsenaariumid. http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=ENMAK:Stsenaariumid
[8] Energiatalgud. ENMAK: Eesti pikaajaline energiamajanduse arengukava 2030+. http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=ENMAK:Eesti_pikaajaline_energiamajanduse_arengukava_2030%2B

modelleerida kõiki Eestis reaalselt kasutatavaid tehnoloogiad, siis on peamiselt lähtutud andmebaasis olevatest, neid vajadusel veidi kohandatud ning uusi ei ole modelleeritud.

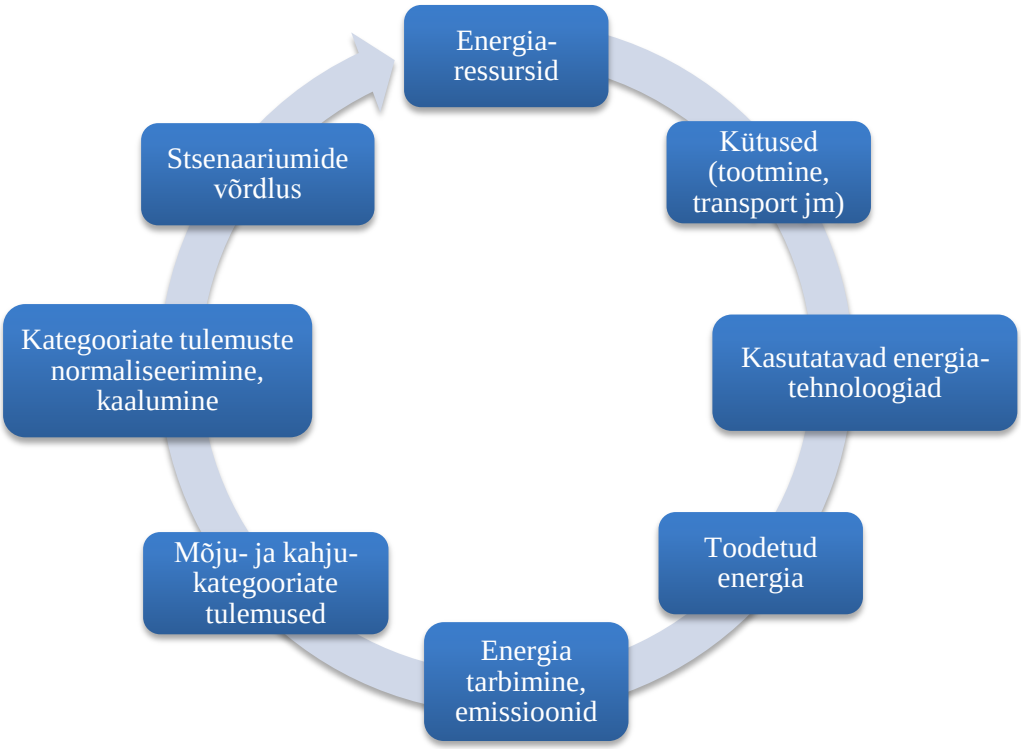
4. Kombineerides kasutatavaid kütuseid ja nende koguseid erinevate energiatehnoloogiatega modelleeritakse soojusenergia ja elektrienergia tootmine erinevates stsenaariumites. Lähtuvalt algandmetest modelleeritakse nö elektri ja soojuse tootmise portfellid, kus arvutatakse erinevate kütuse ja energiatehnoloogiate kombinatsioonide osakaalud ühe ühiku (1 kWh) toodetud energia kohta.
5. Seejärel modelleeritakse energia lõpptarbimine, kus eelnevas etapid modelleeritud energiatoodangut täiendatakse edastamise, muundamise ja jaotamise protsessidega ning nendes protsessides tekkivate kadudega. Elektri korral tähendab see seda, et kõigepealt (eelmises etapis) modelleeritakse kõrgepinge elekter, seejärel selle muundamine keskpinge elektriks ning sellest omakorda madalpinge elektriks. Kaod, mis selles etapis modelleerimisel arvesse võetakse, tekivad elektri muundamisel kõrgepingest madalpingeks, elektri edastamisel ja jaotamisel põhi- ja jaotusvõrgus ning kaugkütte soojuse edastamisel ja jaotamisel kaugküttevõrkudes. Seega tulemused saadakse ühe ühiku tarbijani edastatud energiahulga kohta. Transpordisektoris modelleeritakse erinevate kütuste tarbimine erinevate transpordivahenditega koos kaasnevate emissioonidega. Tulemuseks saadakse portfell iga transpordistsenaariumi jaoks: reisijatevedu sõitjakilomeetrites (pkm) ja kaubavedu tonnkilomeetrites (tkm).
6. Stsenaariumite võrdlus ja keskkonnamõjude arvutus teostatakse Impact 2002+ meetodiga ning eraldi nii ühe tarbitud ühiku (1 kWh soojus- või elektrienergiat, 1 pkm või 1 tkm) kui ka stsenaariumite kogumahu kohta. Samuti esitatakse tulemused ühe Eesti elaniku kohta. Selleks jagatakse stsenaariumite kogumaht prognoositava rahvaarvuga, mis on 2030. aastal 1 279 865. Võrdlusena kasutatakse igas sektoris Euroopa Liidu liikmesriikide keskmist keskkonnamõju ühe elaniku kohta (vt täpsemalt peatükid 6.2, 7.2 ja 8.2) ning stsenaariumi Baas 2012 (transpordi korral Baas 2010) tulemusi esitatuna ühe Eesti elaniku kohta. Statistikaameti[9] andmetel oli Eesti rahvaarv 2010. aastal 1 333 290 ning 2012. aastal 1 325 217 (vt tabel 4.1).
   Selle jaoks leitakse kõigepealt kõikide stsenaariumite tulemused 15 mõjukategoorias. Seejärel teisendatakse mõjukategooriate tulemused nelja kahjukategooriasse (vt tabel 4.2). Kõige viimases etapis viiakse läbi normaliseerimine ja kaalumine vastavalt Impact 2002+ meetodis kasutatavatele andmetele ning esitatakse kokkuvõtlikud tulemused kõigi arengustsenaariumite kohta üksikpunktidena (vt tabel 4.3) ning ka ühe elaniku kohta võrdlusena baas stsenaariumiga ja EU 2012 keskmisega. Kuna stsenaariumite kogumahud on erinevad, siis mõjutab see lõpptulemust oluliselt, isegi kui ühe toodanguühiku kohta esitatud tulemused on üsnagi sarnased.

[9] Statistikaameti andmebaas. Tabel RV021: Rahvastik soo ja vanuserühma järgi, 1. jaanuar. http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=RV021&lang=2

Tabel 4.1. Stsenaariumite keskkonnamõjude võrdlemiseks kasutatavad andmed Eesti ja Euroopa kohta.

Võrdlusalus	Võrdlusaasta	Elanike arv võrdlusaastal
Eesti	2010	1 333 290
	2012	1 325 217
	2030	1 279 865
Euroopa (28 liikmesriiki)	2012	505 128 736
Euroopa Impact 2002+ meetodis	2000	431 000 000

7. Viimases etapis analüüsitakse saadud tulemusi ning kontrollitakse üle modelleeritud energia- ja ainevood ja protsessid ning nende vastavus algandmetele. Vajadusel kontrollitakse lähteandmeid ning täiendatakse modelleeritud protsesse. Täiustamise etapp võib kesta väga kaua ning seda on võimalik ühildada arengukava edaspidise seiramise ja uuendamisega. Detailsemalt käsitletud ja kontrollitud tulemuste saamiseks on vajalik ka täiendavate uuringute (põlevkiviõli tootmise LCA, kohalike transpordikütuste tootmise LCA, elektri- ja koostootmisjaamades kasutatavate tehnoloogiate kaardistamine ja modelleerimine) läbi viimine ning andmebaasi täiendamine vastavate protsessikirjeldustega.



Joonis 4.1. ENMAK 2030+ stsenaariumite modelleerimise, omavahelise võrdlemise ja keskkonnamõjude olulisuse hindamise protsess tarkvaraprogrammiga SimaPro ning hindamismeetodiga Impact 2002+.

4.3 Hindamismeetod Impact 2002+

Olelusringi hindamise protsessi viimasteks etappideks on toote/teenuse/süsteemi olelusringi mõju hindamine ja tulemuste tõlgendamine. Mõju hindamise eesmärgiks on tõlgendada inventuuranalüüsi tulemusi ning mõista nende keskkonnaalast olulisust. Protsessi käigus seotakse inventuuranalüüsi tulemused mõjukategooriatega ja mõjukategooria indikaatoritega ning mõjukategooriad omakorda kahjukategooriate ja vastavate teisendusteguritega. Mõju ja kahjukategooriate valik lähtub otseselt kasutatavast hindamismeetodist.

Antud uuringus kasutati olelusringi hindamisel meetodit Impact 2002+[10] versioon 2.11 (viimati täiendatud oktoobris 2013), mis ühendab endas nii keskpunkti mõjukategooriad (15 kategooriat) kui ka sihtpunkti kahjukategooriad (4 kategooriat). Mõjukategooria on keskkonnamõju liik, millega on võimalik suhestada uuritava süsteemi olelusringi inventuuranalüüsi tulemusi. Mõjukategooria indikaator on mõjukategooria koguseline väärtus. Impact 2002+ mõjukategooriad on kantserogeensed ühendid (*Carcinogens*), mittekantserogeensed ühendid (*Non-carcinogens*), hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid (*Respiratory inorganics*), ioniseeriv kiirgus (*Ionizing radiation*), osoonikihi hõrenemine (*Ozone layer depletion*), hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid (*Respiratory organics*), ökotoksilisus veekeskkonnale (*Aquatic ecotoxicity*), ökotoksilisus pinnasele (*Terrestial ecotoxicity*), pinnase hapestumine ja toitainetega rikastumine (*Terrestial acidification / nutrification*), maa hõivamine (*Land occupation*), veekeskkonna hapestumine (*Aquatic acidification*), veekeskkonna eutrofeerumine (*Aquatic eutrophication*), globaalne soojenemine (*Global warming*), taastumatud energiaallikad (*Non-renewable energy*) ja mineraalide kaevandamine (*Mineral extraction*). Kui keskpunkti mõjukategooriad väljendavad esmast mõju keskkonnale, siis sihtpunkti kahjukategooriad väljendavad lõplikku tulemust, nt Impact 2002+ meetodi korral kahju inimtervisele (*Human health*), ökosüsteemidele (*Ecosystem quality*), ressurssidele (*Resources*) ja kliimamuutusele (*Climate change*). Teisendustegurid mõjukategooriatest kahjukategooriatesse ja vastavad ühikud on esitatud tabelis 4.2. Mõjukategooriate, indikaatorite ja iseloomustusmudelite kasutamine on olelusringi mõju hindamise kohustuslik osa, mida aga ei ole inventuurandmete analüüs, normaliseerimine, rühmitamine ja kaalumine, mida siiski käesolevas uuringus on kasutatud.[11]

Impact 2002+ meetod on esialgselt välja töötatud Šveitsi Riikliku Lausanne-i Tehnilise Instituudi poolt ning meetodi kirjeldus ilmus esmakordselt ajakirjas International Journal of Life Cycle Assessment 2003. a[12]. Ökotoksilisuse ja toksilisuse mõjukategooriate hindamispõhimõtted töötati välja just selle meetodi tarbeks, ülejäänud mõjukategooriad on kohaldatud teistest Euroopa hindamismeetoditest nagu Eco-Indicator 99, CML 2001, IPCC ja CED.

Inimestele avalduva toksikoloogilise mõju hindamisel on Impact 2002+ meetodis arvestatud emissioonidega, mis tekivad Lääne-Euroopas. Arvestatud on toksilist mõju avaldava ühendi

[10] Impact 2002(+). http://www.impactmodeling.net/
[11] Talve, S., Põld, E. (2005) Olelusringi hindamine.
[12] Jolliet, O.; Margni, M.; Charles, R.; Humbert, S.; Payet, J.; Rebitzer, G.; Rosenbaum, R. (2003) IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. International Journal of LCA 8 (6): 324 – 330.

kontsentratsioonidega atmosfääris, mullas, pinnavees, taimkattes ja tarbitavates põllumajandusproduktides ning kokkupuuteviisidega, kas sisse hingates või seedekulgla kaudu. Võrreldes konventsionaalsete lähenemistega ei ole mõju hindamise aluseks tarbimisuuringud, vaid lähtutakse toodetavate produktide kogustest, mis on määratud turustamiseks (nt liha, köögiviljad). Toksilisus inimesele on mõõdetud ED10 ehk mõjudoosiga, mille korral 10% grupist reageerib kokkupuutele ühendiga. Ökotoksilisuse määramiseks on arvestatud mõjuga liikidele H50 juures ehk ohtliku kontsentratsiooniga, mis mõjutab 50% liigi isenditest. Veekeskkonna eutrofeerumise ja hapestumise mõjukategooriad pärinevad CML 2002 meetodist ning ülejäänud mõjukategooriad Eco-Indicator 99 meetodist (valitud egalitaarne versioon, mida iseloomustab ettevaatlikkus ja mõjude pikaajalisusega arvestamine). Kliimamuutuste puhul on võetud aluseks IPCC 2001 raport, pikaajalisi mõjusid hinnatakse 500 aasta lõikes.[13]

Impact 2002+ sisaldab ca 1500 ühendi tunnustegureid[14]. Tunnustegurid on väljendatud ühikus kg-ekvivalent, et muuta võrreldavaks erinevate ühendite avalduv mõju keskkonnale. Tunnustegurite järgi jagatakse olelusringi hindamise inventuuri tulemused 15 mõjukategooriasse. Sihtpunkti kahjukategooriate väärtuste arvutamiseks korrutatakse keskpunkti mõjukategooriate väärtused läbi kahjustust väljendavate tunnusteguritega. Seejuures on oluline ära märkida, et veekeskkonna hapestumise ja eutrofeerumise tulemused on võimalik esitada vaid mõjukategooria väärtustes, kuna nende kahjukategooriatesse teisendamiseks vajalike tegurite välja töötamine veel käib. Impact 2002+ keskpunkti mõjukategooriad, sihtpunkti kahjukategooriad, vastavad ühikud ning teisendustegurid on esitatud tabelis 4.2.

Kahjude hindamisele järgneb normaliseerimine, mille käigus jagatakse saadud tulemused läbi keskmise eurooplase mõjuga samas kategoorias. Impact 2002+ meetodis on arvestatud, et Euroopa rahvaarv on 431 000 000 inimest. Iseloomustatud tulemuste normaliseerimiseks kasutatakse meetodis taustsüsteemina 2000. aasta andmeid keskmise eurooplase tekitatava mõju kohta 15-s mõju ja 4-s kahjukategoorias[15]. Normaliseeritud tulemused on esitatud ühikus person*year/unit$_{emission}$. Inventuurandmete normaliseerimiseks Impact 2002+ meetodis kasutatavad mõju- kui kahjukategooriate teisendustegurid on esitatud tabelites 4.3 ja 4.4.

Impact 2002+ meetodi loojad soovitavad analüüsida kõiki kategooriaid eraldiseisvalt. Siiski on võimalik kõikide kahjukategooriate tulemused ka kokku liita (esitada tulemused üksikpunktides (Pt)), kasutades normaliseerimist ja kaalumist ning kaalumistegurina ühte. Antud uuringus on analüüsitud erinevate valdkondade stsenaariumites mõju- ja kahjukategooriaid eraldiseisvalt, kuid on esitatud ka normaliseeritud ja kaalutud tulemused keskkonna kogumõju kohta. Viimane loob võimaluse stsenaariumite kogumõjude omavaheliseks võrdlemiseks. Samuti on esitatud võrdlus ühe elaniku kohta kasutades rahvastiku andmeid Statistikaameti ja Eurostat andmebaasidest.

---

[13] Jolliet, O.; Margni, M.; Charles, R.; Humbert, S.; Payet, J.; Rebitzer, G.; Rosenbaum, R. (2003) IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. International Journal of LCA 8 (6): 324 – 330

[14] ILCD Handbook, 2010. Analysis of excisting Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment. European Union. http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page_id=86

[15] ILCD Handbook, 2010. Analysis of excisting Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment. European Union. http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page_id=86

Tabel 4.2. Impact 2002+ olelusringi hindamismeetodi mõjukategooriad koos ühikutega, vastavad kahjukategooriad koos ühikutega ning mõjukategooriatest kahjukategooriatesse teisendamiseks vajalikud teisendustegurid.

Mõjukategooria		**Ühik**	**Teisendustegur / Faktor**	**Kahjukategooria**	**Ühik**
1	Kantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	$2{,}80*10^{-6}$ DALY / kg C_2H_3Cl eq	Inimtervis	DALY
2	Mittekantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	$2{,}80*10^{-6}$ DALY / kg C_2H_3Cl eq	Inimtervis	DALY
3	Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	kg PM2.5 eq	$7{,}00*10^{-4}$ DALY / kg PM2.5 eq	Inimtervis	DALY
4	Ioniseeriv kiirgus	Bq C-14 eq	$2{,}10*10^{-10}$ DALY / Bq C-14 eq	Inimtervis	DALY
5	Osoonikihi hõrenemine	kg CFC-11 eq	$1{,}05*10^{-3}$ DALY / kg CFC-11 eq	Inimtervis	DALY
6	Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	kg C_2H_4 eq	$2{,}13*10^{-6}$ DALY / kg C_2H_4 eq	Inimtervis	DALY
7	Ökotoksilisus veekeskkonnale	kg TEG water	$5{,}02*10^{-5}$ PDF*m^2*yr / kg TEG water	Ökosüsteemi kvaliteet	PDF*m^2*y
8	Ökotoksilisus pinnasele	kg TEG soil	$7{,}91*10^{-3}$ PDF*m^2*yr / kg TEG soil	Ökosüsteemi kvaliteet	PDF*m^2*y
9	Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	kg SO_2 eq	1,04 PDF*m^2*yr / kg SO_2 eq	Ökosüsteemi kvaliteet	PDF*m^2*y
10	Maa hõivamine	m^2org.arable	1,09 PDF*m^2*yr / m^2org.arable	Ökosüsteemi kvaliteet	PDF*m^2*y
11	Veekeskkonna hapestumine	kg SO_2 eq	-	-	-
12	Veekeskkonna eutrofeerumine	kg PO_4 P-lim	-	-	-
13	Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	1 kg CO_2 eq / kg CO_2 eq	Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq
14	Taastumatud energiaallikad	MJ primary	1 MJ primary / MJ primary	Ressursid	MJ
15	Mineraalide kaevandamine	MJ surplus	1 MJ primary / MJ surplus	Ressursid	MJ

Tabel 4.3. Impact 2002+ olelusringi hindamismeetodi normaliseerimiseks kasutatavad Euroopa keskmised väärtused. Tabelis on esitatud mõjukategooriate absoluutväärtused (kõik kokku ning eraldi õhu, pinnase ja vee kohta) ja väärtus ühe elaniku kohta. Elanike arv 431 000 000.

Mõjukategooriad	**Õhk**	**Pinnas**	**Vesi**	**Kokku**	**Ühik**	**Impact 2002+ meetodi keskmine ühe Euroopa elaniku kohta**	
Inimtervis							
Kantserogeensed ühendid	18 329 mln	1 068 mln	230 967 594	19 628 mln	kgeq/y	46	kgeq/pers.y
Mittekantserogeensed ühendid	57 569 mln	15 810 mln	1 268 mln	74 648 mln	kgeq/y	173	kgeq/pers.y
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	3 791 mln			3 791 mln	kgeq/y	9	kgeq/pers.y
Ioniseeriv kiirgus	229 323 mld		321 774 mln	229 645 mld	Bqeq/y	532 821	Bqeq/pers.y
Osoonikihi hõrenemine	87 765 335			87 765 335	kgeq/y	0	kgeq/pers.y
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	5 344 mln			5 344 mln	kgeq/y	12	kgeq/pers.y
Vee kasutus				157 315 mld	kg/y	365 000	kg/pers.y
Ökosüsteemi kvaliteet							
Ökotoksilisus veekeskkonnale	1 065 mld	530 951 mld	53 022 mld	585 038 mld	kgeq/y	1 357 399	kgeq/pers.y
Ökotoksilisus pinnasele	1 013 mld	517 021 mld	4 029 484	518 034 mld	kgeq/y	1 201 937	kgeq/pers.y
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	135 942 mln			135 942 mln	kgeq/y	315	kgeq/pers.y
Veekeskkonna hapestumine	28 541 mln	0	0	28 541 mln	kgeq/y	66	kgeq/pers.y
Veekeskkonna eutrofeerumine	0	4 406 mln	685 440 000	5 091 mln	kgeq/y	12	kgeq/pers.y
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	5 344 mln			5 344 mln	kgeq/y	12	kgeq/pers.y
Maa hõivamine				1 491 mld	m^2.y	3 461	m^2*y
Vee kasutus turbiinides				7 327 mld	m^3/y	17 000	m^3/pers.y
Vee kasutus				157 315 mld	kg/y	365 000	kg/pers.y
Kliimamuutused							
Globaalne soojenemine	4 994 mld			4 994 mld	kgeq/y	11 588	kgeq/pers.y
Ressursid							
Taastumatud energiaallikad	152 000 MJ/pers.y / 45,8 MJ/kg_crude oil					3 320	kgeq/pers.y
Mineraalide kaevandamine				2 469 mld	kgeq/y	5 730	kgeq/pers.y

Tabel 4.4. Impact 2002+ olelusringi hindamismeetodi normaliseerimiseks kasutatavad Euroopa keskmised väärtused. Tabelis on esitatud mõjukategooriad teisendatuna kahjukategooriate ühikutesse (kõik kokku ja eraldi õhu, pinnase ja vee kohta) ja väärtus ühe elaniku kohta. Kliimamuutuste jaoks on igal ühendil, keemilisel elemendil oma teisendustegur ja seetõttu pole andmeid tabelis esitatud. Elanike arv 431 000 000.

Mõjukategooriad	**Õhk**	**Pinnas**	**Vesi**	**Kokku**	**Ühik**	**Impact 2002+ meetodi keskmine ühe Euroopa elaniku kohta**	
Inimtervis	**3 018 476**	**47 331**	**4 272**	**3 070 079**	**DALY/y**	**0,0071**	**DALY/pers.y**
Kantserogeensed ühendid	51 399	2 995	648	55 042	DALY/y	0,0001	
Mittekantserogeensed ühendid	161 436	44 335	3 557	209 328	DALY/y	0,0005	
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	2 653 947			2 653 947	DALY/y	0,0062	
Ioniseeriv kiirgus	48 158		68	48 226	DALY/y	0,0001	
Osoonikihi hõrenemine	92 154			92 154	DALY/y	0,0002	
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	11 384			11 384	DALY/y	0,0000	
Ökosüsteemi kvaliteet	**149 829 mln**	**4 129 mld**	**5 139 mln**	**5 944 mld**	**PDF.m^2.y/y**	**13 793**	**PDF*m^2*y/pers.y**
Ökotoksilisus veekeskkonnale	53 484 859	26 658 mln	2 662 mln	29 374 mln	PDF.m^2.y/y	68,15	
Ökotoksilisus pinnasele	8 008 mln	4 087 mld	31 855	4 095 mld	PDF.m^2.y/y	9 501,9	
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	141 515 mln			141 515 mln	PDF.m^2.y/y	328,34	
Veekeskkonna hapestumine	251 739 734			251 739 734	PDF.m^2.y/y	0,5841	
Veekeskkonna eutrofeerumine	0	15 923 mln	2 476 mln	18 400 mln	PDF.m^2.y/y	42,69	
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid				0	PDF.m^2.y/y	0,0000	
Maa hõivamine				1 625 mld	PDF.m^2.y/y	3 772,0	
Vee kasutus turbiinides				33 977 mln	PDF.m^2.y/y	78,83	
Ressursid				**57 800 mld**	**MJ/y**	**152 105**	**MJ/pers.y**
Taastumatud energiaallikad					MJ/y		
Mineraalide kaevandamine				125 952 mln	MJ/y	292,23	

4.4 Kütused

Käesolevas peatükis on esitatud nende kütuste tootmise ja lõpptarbijateni transportimise keskkonnamõjud, mida on kasutatud elektrimajanduse, soojusmajanduse ja transpordisektori stsenaariumites, nende modelleerimisel ja keskkonnamõjude analüüsil tarkvaraprogrammis SimaPro. Kõikide kütuste korral on kasutatud Ecoinvent andmebaasis olemasolevate kütuste andmeid. Eestis toodetud kütuste korral on andmebaasis esitatud algandmeid kohandatud Eesti tingimustega.

Alljärgnevalt on esitatud kokkuvõtlik tabel andmaks ülevaadet sellest, milliseid erinevaid kütuseid ENMAK 2030+ stsenaariumite modelleerimisel kasutati ning kuidas nende kütuste tootmine programmis SimaPro modelleeriti.

Tabel 4.5. ENMAK 2030+ stsenaariumite modelleerimiseks kasutatud kütused, nende lühikirjeldused ja keskmised alumised küttevääртused.

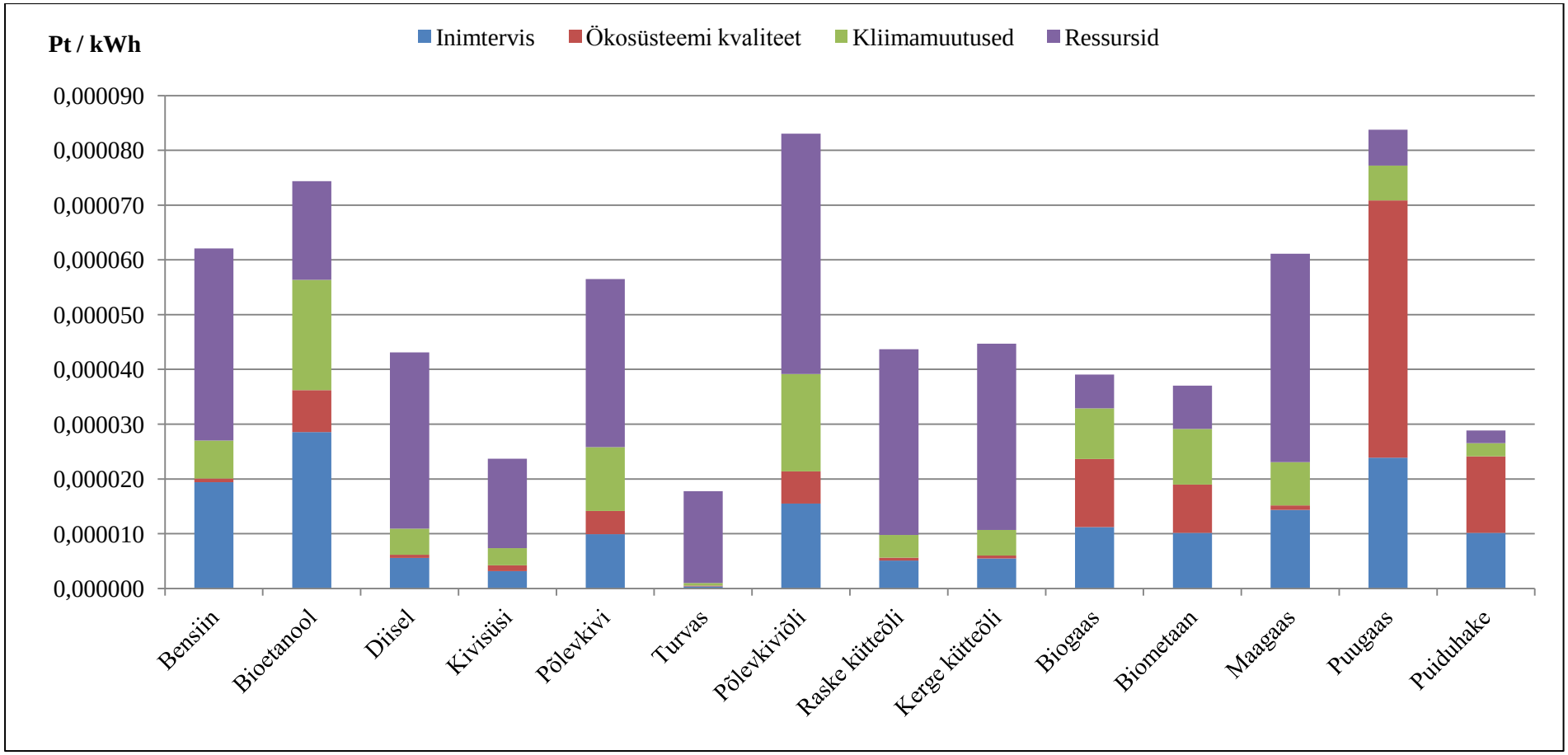
Kütus	Lühikirjeldus	Küttevääртus
Bensiin	Modelleerimisel on kasutatud Ecoinvent andmebaasi protsessi „*Petrol, low-sulfur, market for, Europe without Switzerland*“.	41,3 MJ/kg 11,5 kWh/kg
Bioetanool	Modelleerimise aluseks on kasutatud Ecoinvent andmebaasi protsessi „*Ethanol, without water, in 99,7% solution state, from fermentation, market for, GLO*“. Arvesse on võetud, et Eestis toodetakse bioetanooli I ja II põlvkonna biokütustest – suhkrut ja tärklist sisaldavatest taimedest ja/või lignotselluloossetest taimedest. Vee, elektri ja soojuse tarbimine on asendatud Eestile kohandatud protsessidega. Elektri ja soojuse tootmiseks on kasutatud stsenaariumit Liberaalne.	26,4 MJ/kg 7,3 kWh/kg
Biogaas	Modelleerimise aluseks on kasutatud Ecoinvent andmebaasi protsessi „*Biogas, from grass, market for, GLO*“. Biogaasi tootmisprotsessis on asendatud vee, elektri ja soojuse tarbimine Eestile kohandatud protsessidega. Elektri ja soojuse korral on kasutatud stsenaariumit Liberaalne.	21,6 MJ/m^3 6,0 kWh/m^3
Biometaan	Modelleerimisel on kasutatud Ecoinvent andmebaasi protsessi „*Methane, 96% volume, market for, GLO*“. Vee, elektri ja soojuse tarbimine on kohandatud Eesti tingimustega. Elektri ja soojuse korral on kasutatud stsenaariumit Liberaalne.	37,1 MJ/m^3 10,3 kWh/m^3
Diiselkütus	Modelleerimisel on kasutatud Ecoinvent andmebaasi protsessi „*Diesel, low-sulfur, market for, Europe without Switzerland*“.	42,7 MJ/kg 11,9 kWh/kg
Kivisüsi	Modelleerimisel on kasutatud Ecoinvent andmebaasi protsessi „*Hard coal, market for, RoW*“. Protsessis on arvesse võetud transport ja sellega kaasnevad heitmed, kütuse ümberlaadimine ja selle käigus tekkivad heitmed. Arvestatud on ka tekkivate kadudega.	36,0 MJ/kg 10,0 kWh/kg

Küttepuud	Modelleerimisel on kasutatud Ecoinvent andmebaasi protsesse „*Wood fuel, softwood, wet, RER*“ ja „*Wood fuel, hardwood, wet, RER* “. Kasutatud soojusmajanduse stsenaariumites koht- ja lokaalküttes kütusena.	
Kerge / raske kütteõli	Kasutatud on Ecoinvent andmebaasis olemasolevaid protsesse „*Heavy fuel oil, market for, Europe without Switzerland*“ ja „*Light fuel oil, market for, Europe without Switzerland*“. Põhineb peamiselt Šveitsis ja Saksamaal teostatud uuringute inventuurandmete põhjal.	40,0 MJ/kg 42,0 MJ/kg 11,1 kWh/kg 11,7 kWh/kg
Maagaas	Modelleerimise aluseks on kasutatud Ecoinvent andmebaasi protsessi „*Natural gas, high pressure, market for, FI*“. Arvesse on võetud, et kogu maagaas on imporditud Venemaalt. Arvesse on võetud nii tootmisel tekkivad emissioonid kui ka maagaasi transportimisel tekkivad kaod ja emissioonid. Maagaasi kasutamisel võetakse arvesse ka jaotusvõrk, edastamine ja kaod. Kasutatud on Itaalia, Šveitsi ja Saksamaa inventuuranalüüsi andmeid.	33,5 MJ/m^3 9,3 kWh/m^3
Puiduhake	Modelleerimisel on kasutatud Ecoinvent andmebaasi protsessi „*Wood chips, measured as dry mass, market for, RER*“.	19,0 MJ/kg 5,3 kWh/kg
Puugaas	Modelleerimise aluseks on kasutatud Ecoinvent andmebaasist protsessi „*Synthetic gas, production, from wood, market for, CH*“. Kasutatud on Šveitsi andmeid kahe erineva gaasistamise tehnoloogia kohta (nn „fluidized bed gasifier“ ja „fixed bed gasifier“). Arvesse on võetud, et	4,5 MJ/m^3 1,3 kWh/m^3
Põlevkivi	Modelleerimisel on aluseks võetud Ecoinvent andmebaasi protsess „*Lignite, market for, RER*“, mida on kohandatud ning modelleeritud uus protsess „*Oil shale, market for, EE*“. Lähtutud on eeldustest, et 1 t kaubapõlevkivi saamiseks tuleb kaevandada 1,2 t põlevkivi geoloogilist varu. Põlevkivist elektri tootmise efektiivsus keevkiht-kateldes on 17% ja soojuse tootmise efektiivsus 48%, koos kaevandamise kadudega 34%.[16]	8,4 MJ/kg 2,3 kWh/kg
Põlevkiviõli, poolkoksigaas	Põlevkiviõli tootmine ja sellest kõrvalsaadusena elektri tootmine on modelleeritud kasutades ja modifitseerides Ecoinvent andmebaasi protsessi „*Electricity, high voltage, petroleum refinery operation, Europe without Switzerland*„. Modelleeritud on uus protsess „*Electricity, high voltage, shale oil refinery operation,* EE“. Modelleerimisel on lähtutud eeldustest, et 1 tonnist põlevkivist saab toota 155 kg põlevkiviõli, põlevkiviõli tootmise kõrvalproduktiks on poolkoksigaas, millest omakorda saab toota elektrit.	39,7 MJ/kg 43,3 MJ/m^3 11,0 kWh/kg 12,0 kWh/m^3
Turvas	Modelleerimisel on kasutatud Ecoinvent andmebaasi protsessi „*Peat, market for, GLO*“, kus on sisse arvestatud turba tootmine ning transportimine tarbimiskohani.	14,4 MJ/kg 4,0 kWh/kg

[16] Gavrilova, O., Randla, T., Vallner, L., Strandberg, M., Vilu, R. (2005) Life Cycle Analysis of the Estonian Oil Shale Industry. ELF, TTÜ

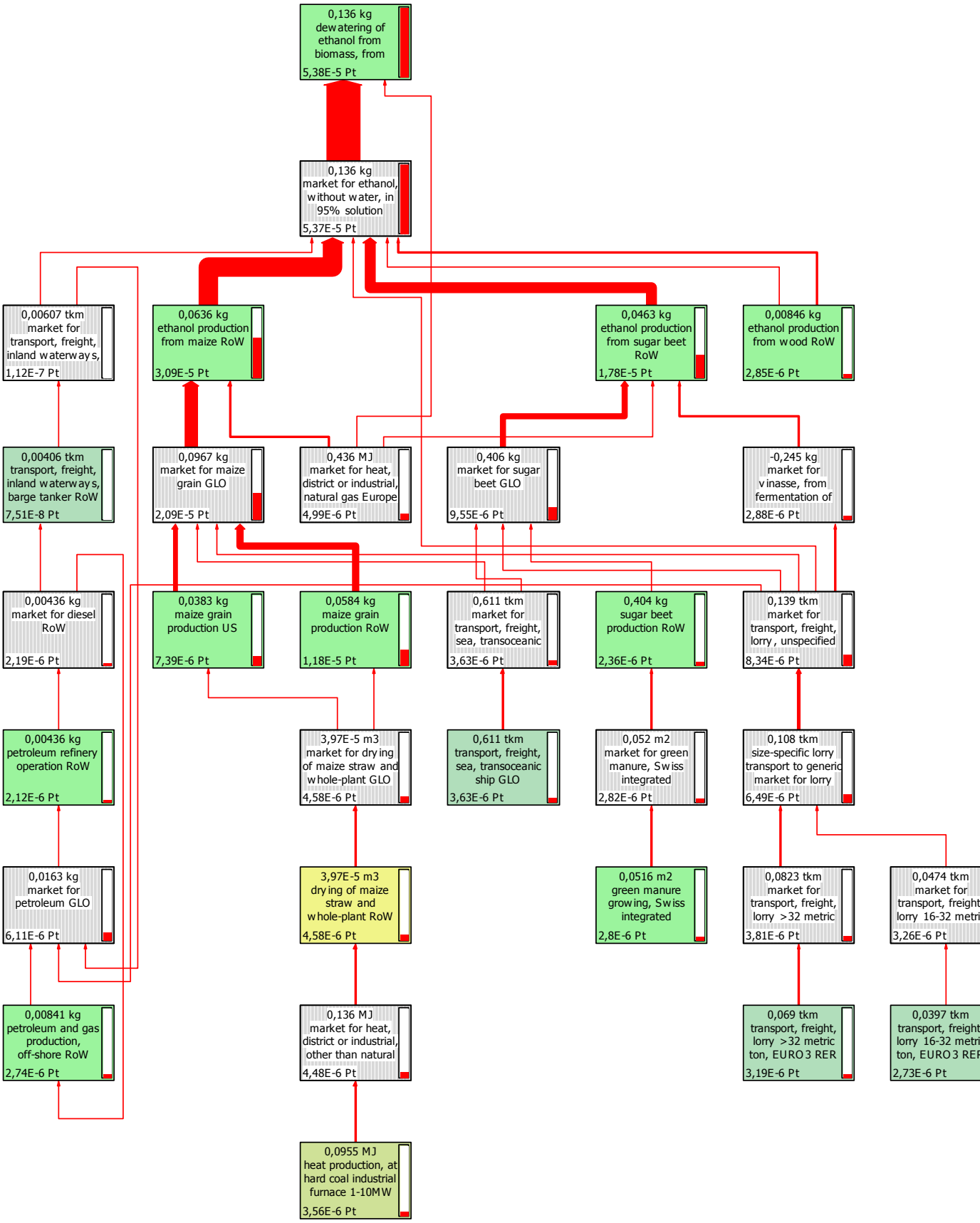
Alljärgneval joonisel on esitatud stsenaariumite modelleerimisel kasutatud kütuste tootmise keskkonnamõjud 1 kWh kohta võttes arvesse erinevate kütuste erinevaid kütteväärtusi. Tulemused on esitatud üksikpunktides (Pt) pärast kahjukategooriates esitatud tulemuste normaliseerimist ja kaalumisteguritega läbi korrutamist. Joonisel 4.2 on kõigi nelja kahju-kategooria tulemused summeeritud ning esitatud üksikpunktides (Pt). Kõikide kütuste mõju-kategooriate tulemused kahjukategooriate ühikutes (DALY, PDF*m^2*yr, kg CO_2 eq ja MJ) on esitatud tabelis 4.6.

Kõige suuremat mõju ümbritsevale keskkonnale põhjustab põlevkiviõli tootmine. Selle nagu ka kõigi teiste fossiilsete kütuste korral avaldub peamine mõju just ressurssidele. Pea sama suure mõjuga on puugaasi tootmine, mis mõjutab kõige enam ökosüsteemide kvaliteeti. Põhjustatud on see märkimisväärsete koguste metsa puidumassi kasutamisest, aga ka tekkiva tuha edasisest käitlemisest kas põllumajanduses või ladustamisest prügilas (vt joonis 4.5). Puutuhk sisaldab taimedele olulisi toiteelemente nagu kaalium ja fosfor, aga sageli ka metalle ja halogeene, mis võivad tekitada kahju inimesele, loomadele, pinnasele, põhjaveele ning võivad põhjustada veekogude eutrofeerumist. Kõikide kütuste tootmisest eristub mõnevõrra ka bioetanooli tootmine põhjustades suurt mõju inimtervisele. Detailsemast analüüsist selgub, et see mõju tuleneb kütuse tootmiseks vajaliku biomassi kasvatamisest (kemikaalide ja masinate kasutus, emissioonid vette, õhku ja pinnasesse) ja mõningal määral ka transpordist (vt joonis 4.3).

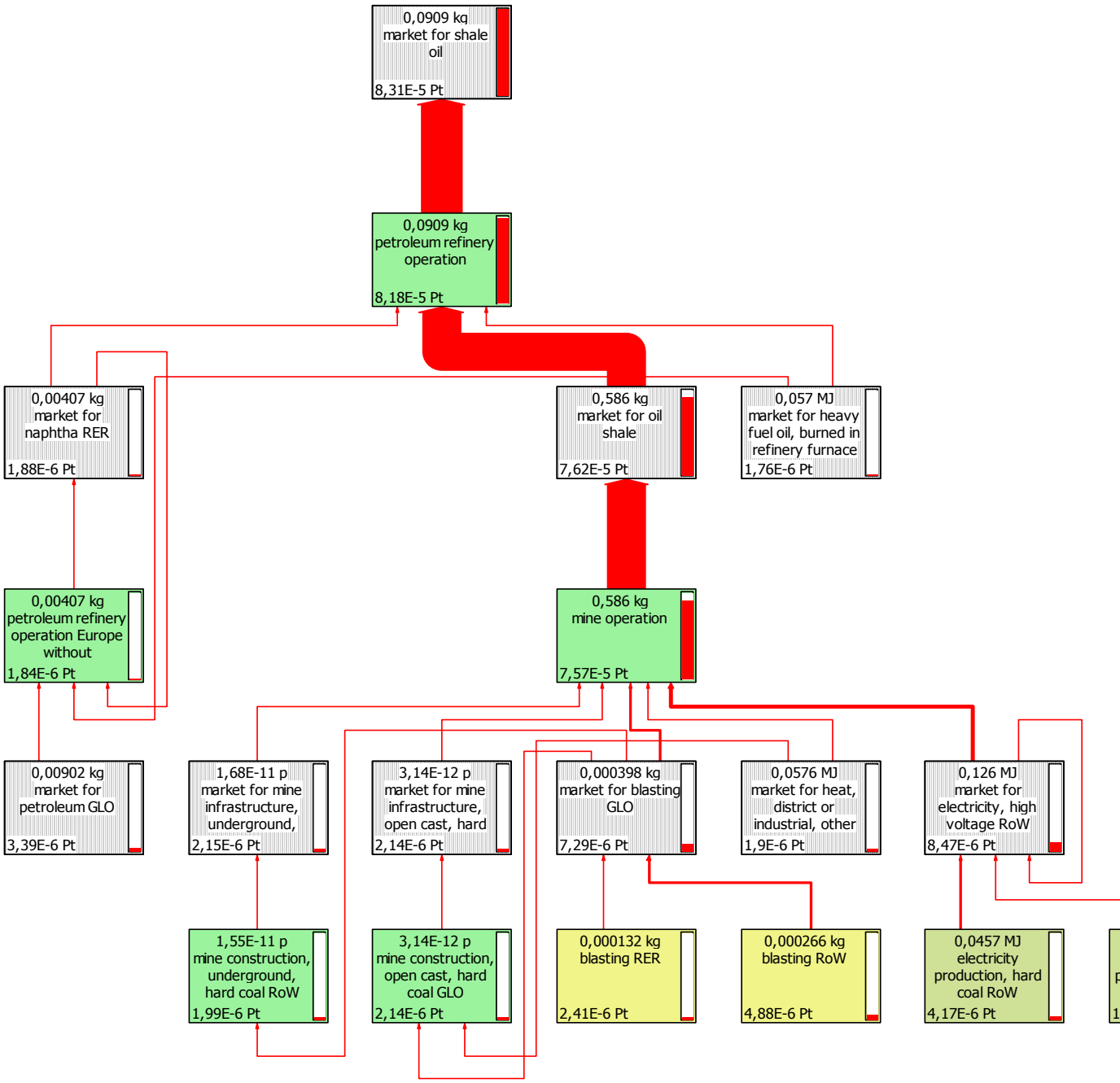


Joonis 4.2. ENMAK valdkondade arengustsenaariumite modelleerimisel kasutatud kütuste normaliseeritud ja kaalutud keskkonnamõjud üksikpunktides (Pt) esitatuna eraldi neljas kahjukategoorias 1 kWh toodetud ja tarbimiskohani edastatud kütuse kohta. Arvesse on võetud kütuste erinevaid küttevääртusi ning kogu tootmisprotsessi alates toorme kaevandamisest kuni valmis kütuseni.

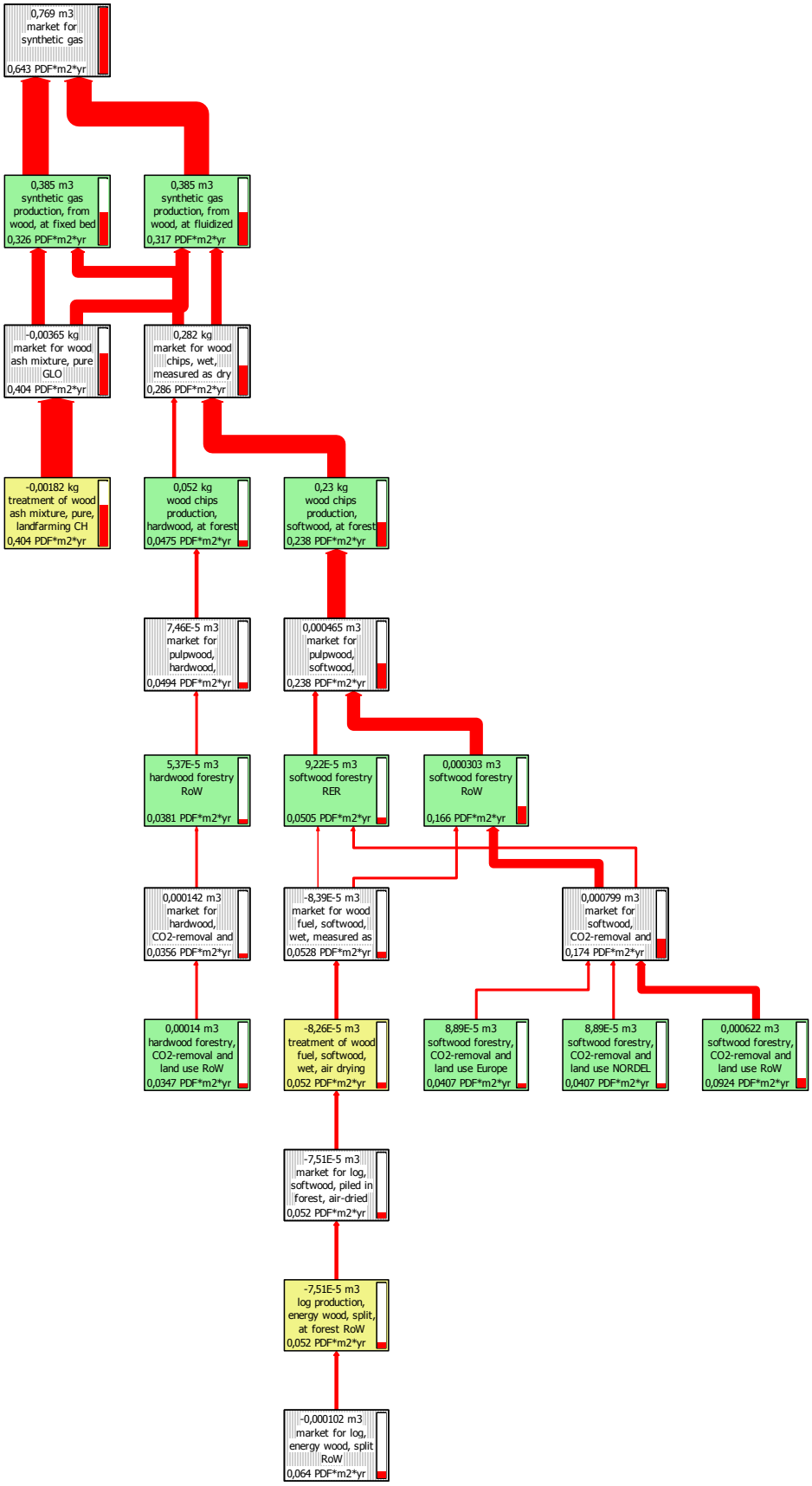
Joonis 4.3. Bioetanooli tootmise voodiagramm inimtervise ja 1 kWh (0,1369 kg) bioetanooli tootmise kohta. Joonisel on kajastatud vaid need mõjud, mille osakaal on enam kui 5%.



Joonis 4.4. Põlevkiviõli tootmise voodiagramm keskkonna kogumõju ja 1 kWh (0,0909 kg) tootmise kohta. Joonisel on kajastatud vaid need mõjud, mille kogumõju on enam kui 2%.



Joonis 4.5. Ühe kWh (0,7692 m^3) puugaasi tootmise voodiagramm ökosüsteemi kvaliteedi kohta. Joonisel on kajastatud vaid need etapid, mille osakaal on enam kui 5%.



Tabel 4.6. ENMAK valdkondade arengustsenaariumite modelleerimiseks kasutatud kütuste keskkonnamõjud 1 kWh kohta. Tulemused on esitatud 13 mõjukategooria kohta teisendatuna kahjukategooriate ühikutesse enne kahjukategooriatesse koondamist, normaliseerimist ja kaalumist. Tabel jätkub järgmisel lehel.

Mõjukategooria	**Ühik**	**Bensiin**	**Bioetanool**	**Diisel**	**Kivisüsi**	**Põlevkivi**	**Turvas**	**Põlevkivi-õli**
Kantserogeensed ühendid	DALY	$9{,}04*10^{-8}$	$1{,}48*10^{-8}$	$4{,}54*10^{-9}$	$6{,}66*10^{-10}$	$1{,}41*10^{-9}$	$1{,}19*10^{-10}$	$2{,}45*10^{-9}$
Mittekantserogeensed ühendid	DALY	$1{,}22*10^{-9}$	$-7{,}87*10^{-9}$	$9{,}11*10^{-10}$	$3{,}74*10^{-10}$	$9{,}26*10^{-10}$	$1{,}87*10^{-10}$	$1{,}53*10^{-9}$
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	DALY	$4{,}51*10^{-8}$	$1{,}95*10^{-7}$	$3{,}34*10^{-8}$	$2{,}15*10^{-8}$	$6{,}77*10^{-8}$	$2{,}45*10^{-9}$	1,06E-07
Ioniseeriv kiirgus	DALY	$4{,}36*10^{-10}$	$3{,}65*10^{-10}$	$3{,}91*10^{-10}$	$4{,}89*10^{-11}$	$1{,}39*10^{-10}$	$7{,}52*10^{-12}$	$2{,}47*10^{-10}$
Osoonikihi hõrenemine	DALY	$2{,}37*10^{-11}$	$1{,}10*10^{-11}$	$2{,}21*10^{-11}$	$6{,}68*10^{-13}$	$1{,}80*10^{-12}$	$2{,}37*10^{-13}$	$4{,}18*10^{-12}$
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	DALY	$3{,}82*10^{-10}$	$1{,}85*10^{-10}$	$2{,}74*10^{-10}$	$1{,}38*10^{-11}$	$4{,}06*10^{-11}$	$3{,}35*10^{-12}$	$9{,}73*10^{-11}$
Ökotoksilisus veekesk-konnale	$PDF*m^2*y$	0,000191	0,000118	0,000162	0,000286	0,001199	0,000025	0,001644
Ökotoksilisus pinnasele	$PDF*m^2*y$	0,007222	-0,113383	0,006203	0,011288	0,046876	0,001231	0,064640
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	$PDF*m^2*y$	0,001370	0,009617	0,001068	0,000629	0,001958	0,000083	0,003024
Maa hõivamine	$PDF*m^2*y$	0,000626	0,208430	0,000517	0,002200	0,008456	0,000549	0,011609
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	0,068712	0,199388	0,047135	0,031069	0,115136	0,004705	0,175633
Taastumatud energiaallikad	MJ	5,326513	2,727351	4,892798	2,482599	4,665071	2,549781	6,675493
Mineraalide kaevandamine	MJ	0,001263	0,007544	0,000806	0,000522	0,000968	0,000268	0,001612

Mõjukategooria	Ühik	Raske kütteõli	Kerge kütteõli	Biogaas	Biometaan	Maagaas	Puugaas	Puiduhake
Kantserogeensed ühendid	DALY	$4,64*10^{-9}$	$4,65*10^{-9}$	$4,12*10^{-9}$	$3,65*10^{-9}$	$9,44*10^{-9}$	$5,38*10^{-9}$	$1,82*10^{-9}$
Mittekantserogeensed ühendid	DALY	$7,88*10^{-10}$	$8,05*10^{-10}$	$5,53*10^{-9}$	$6,62*10^{-9}$	$1,67*10^{-9}$	$4,78*10^{-8}$	$5,63*10^{-9}$
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	DALY	$3,00*10^{-8}$	$3,25*10^{-8}$	$6,96*10^{-8}$	$6,15*10^{-8}$	$9,00*10^{-8}$	$1,16*10^{-7}$	$6,45*10^{-8}$
Ioniseeriv kiirgus	DALY	$4,06*10^{-10}$	$4,03*10^{-10}$	$1,03*10^{-10}$	$1,08*10^{-10}$	$3,25*10^{-10}$	$1,23*10^{-10}$	$4,52*10^{-11}$
Osoonikihi hõrenemine	DALY	$2,33*10^{-11}$	$2,34*10^{-11}$	$3,59*10^{-12}$	$4,06*10^{-12}$	$8,66*10^{-11}$	$4,86*10^{-12}$	$1,50*10^{-12}$
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	DALY	$2,87*10^{-10}$	$2,89*10^{-10}$	$4,18*10^{-11}$	$4,43*10^{-11}$	$2,01*10^{-10}$	$2,65*10^{-10}$	$1,62*10^{-10}$
Ökotoksilisus veekeskkonnale	$PDF*m^2*y$	0,000160	0,000160	0,000306	0,000536	0,000295	0,007907	0,000750
Ökotoksilisus pinnasele	$PDF*m^2*y$	0,005806	0,005893	0,026599	0,032482	0,009284	0,407916	0,043123
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	$PDF*m^2*y$	0,000980	0,001039	0,007241	0,004744	0,001190	0,002771	0,001484
Maa hõivamine	$PDF*m^2*y$	0,000297	0,000291	0,136585	0,083278	0,000277	0,224867	0,146043
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	0,040932	0,046248	0,091654	0,100444	0,078384	0,063116	0,023503
Taastumatud energiaallikad	MJ	5,156058	5,171924	0,932122	1,197420	5,784613	0,992948	0,352115
Mineraalide kaevandamine	MJ	0,000624	0,000621	0,001941	0,007383	0,001588	0,005023	0,001715

4.5 Taastuvad energiaressursid

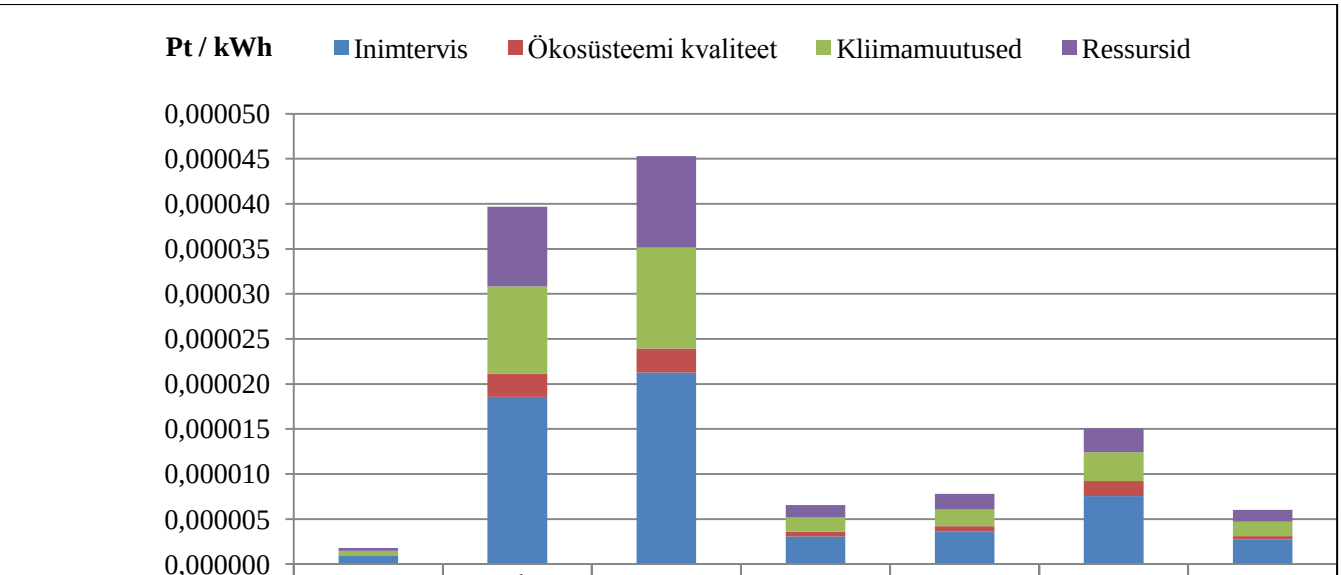
Kuigi Eestis ei oma sellistest taastuvatest energiaallikatest nagu päikeseenergia, tuuleenergia ja hüdroenergia elektri tootmine suurt osatähtsust, siis esitame siiski siinkohal eraldi nendest energiaressurssidest toodetud 1 kWh elektrienergia keskkonnamõjud (joonis 4.6).

Päikeseenergiat saab kasutada nii soojusenergia kui elektrienergia tootmiseks. Lähtuvalt Energiaressursside töögrupi koostatud alusmaterjalidest on Eestis võimalik päikeseenergiast toota 2030. aastal 25 000 GWh elektrienergiat kasutades PV paneele ning 179 GWh soojusenergiat (päikesekollektorid). Kõikides modelleeritavates elektrimajanduse stsenaariumites ulatub see siiski vaid 0,04 TWh (40 GWh) elektritoodanguni, mis sõltuvalt stsenaariumist moodustab kogu elektri tootmisportfellist vaid 0,5–0,7%.

Ka hüdroenergia osakaal elektri tootmisportfellis on marginaalne, moodustades 0,5% elektri kogutoodangust TE++ stsenaariumi korral. Teistes stsenaariumites jääb hüdroenergia osakaal veelgi väiksemaks, 0,3–0,4% juurde. Energiaressursside töögrupi arvutuste kohaselt saaks hüdroenergiast toodetava elektrienergia kogus suureneda 2010. aasta tasemelt 33 GWh-lt kuni 36 GWh-ni aastaks 2030. Statistikaameti andmetest selgub, et Baas 2012 stsenaariumis toodeti hüdroelektrijaamades 42 GWh elektrienergiat (tabel 6.1). Kõikides modelleeritud stsenaariumites on arvesse võetud, et hüdroenergiast toodetakse ca 30 GWh elektrienergiat.

Tuuleenergia on Eestis mõnevõrra laiemat kasutust leidnud ning aastaks 2012 ulatus tuuleenergiast toodetud elektri osakaal 3,6%-ni (434 GWh). Taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrist on tuulikute osakaal 33% (2012. a). Energiaressursside töögrupi arvutuste kohaselt on Eesti tuuleenergia potentsiaal tunduvalt suurem. Näiteks prognoositakse, et aastal 2030 oleks võimalik Eestis toota maismaa tuuleparkides 1 270 GWh ja avamere tuuleparkides 5 839 GWh elektrienergiat. Stsenaariumite koostamisel on siiski aluseks võetud tagasihoidlikum number – 540 GWh/a. Vaid TE stsenaariumis nähakse ette, et aastal 2030 toodetakse elektrituulikutega 2 680 GWh elektrienergiat. See moodustab 29% kogu elektri tootmisportfellist. Teiste stsenaariumite korral jääb tuulikute osa 5–8,5% vahele.

Taastuvate energiaressursside modelleerimisel ja hindamise käigus selgus, et kõige suurema keskkonnamõjuga on PV paneelidega elektrienergia tootmine (vt joonis 4.6). Elektrituulikute poolt toodetud 1 kWh elektrienergia mõjud on kõikides kahjukategooriates 3–5 korda väiksemad kui PV paneelidega toodetud 1 kWh elektri keskkonnamõjud. Kõige suurem erinevus (ca 5,4 korda) on ressursside kahjukategoorias. Kõige parema tulemuse saame aga hüdroenergia kasutamisel elektri tootmiseks. Hüdroenergiast 1 kWh elektrienergia tootmisel on mõju inimtervisele $6{,}5*10^{-9}$ DALY-t, ökosüsteemi kvaliteedile 0,0008 PDF*m^2*y, kliimamuutustele 0,0048 kg CO_2 ekv ning mõju ressurssidele 0,0485 MJ.

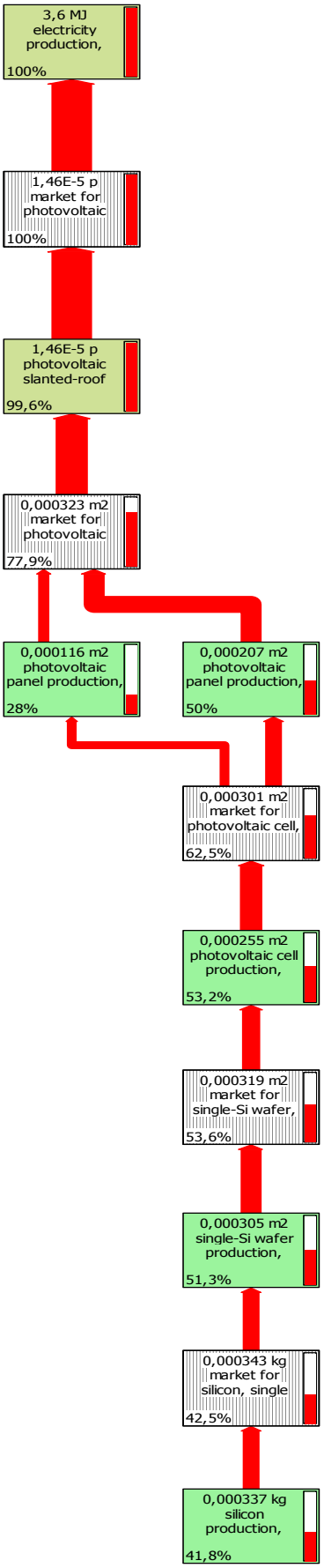


	Hüdro-energia	Polü-kristall PV	Mono-kristall PV	<1MW maismaal	1-3MW maismaal	>3MW maismaal	1-3MW avamerel
		Päikeseenergia		Tuuleenergia			
Ressursid	0,00000032	0,00000886	0,00001016	0,00000139	0,00000172	0,00000264	0,00000132
Kliimamuutused	0,00000049	0,00000970	0,00001121	0,00000158	0,00000187	0,00000319	0,00000160
Ökosüsteemi kvaliteet	0,00000006	0,00000257	0,00000266	0,00000053	0,00000058	0,00000166	0,00000039
Inimtervis	9,17E-07	0,00001856	2,13E-05	0,00000306	0,00000362	0,00000756	0,00000271

Joonis 4.6. ENMAK elektrimajanduse stsenaariumite modelleerimisel kasutatud taastuvate energiaressursside 1 kWh elektrienergia tootmise keskkonnamõjud. Arvesse ei ole võetud elektrienergia edastamisel ja jaotamisel tekkivaid kadusid ja infrastruktuuri. Tulemused on esitatud üksikpunktides pärast kahjukategooriate tulemuste normaliseerimist ja kaalumist.

Kuna PV paneelidest elektri tootmise keskkonnamõju on võrreldes teistest taastuvatest energiaallikatest elektri tootmisega tunduvalt suurem, siis on allpool eraldi esitatud ka PV paneelide voodiagramm 1 kWh elektri tootmise kogumõju kohta. Voodiagramm on esitatud üksikpunktides (Pt) võttes arvesse kõiki nelja kahjukategooria tulemusi. Kahjukategooriate tulemused on normaliseeritud ja kaalutud. Kõige suurema osa mõjudest moodustab ränist toorkristallplaadi tootmine, kuna selle jaoks läheb tarvis räni, argooni, heeliumit jt keemilisi elemente ja ühendeid.

Joonis 4.7. PV paneelide poolt toodetud 1 kWh elektri keskkonnamõjude voodiagramm. Tulemused on normaliseeritud ja kaalutud ning kajastavad kõikide kahjukategooriate mõjusid kokku. Joonisel on kajastatud mõjud, mille osakaal kogumõjust on enam kui 15%.



5. TRANSPORDIKÜTUSTE TOOTMINE

Käesolevas peatükis on esitatud stsenaariumite modelleerimisel kasutatud kütuste tootmise keskkonnamõjud, sh ka kohalike transpordikütuste tootmise ja eksportimise keskkonnamõjud. Kuna kütuste tootmise keskkonnamõjud sisalduvad elektri-, soojusmajanduse ja transpordisektori stsenaariumites, siis käsitletakse eraldiseisvate stsenaariumitena vaid kohalike transpordikütuste tootmise keskkonnamõjusid eksporditava kütuse koguse mahus.

5.1 Lähteolukord ja eeldused

Lähtuvalt uuringust „ENMAK 2030. Kohalike transpordikütuste stsenaariumid“[17] modelleeritakse eksporditavate kohalike transpordikütuste jaoks kolm võimalikku stsenaariumi: MS – Mittesekkuv, VS – Vähesekkuv, TP – Teadmistepõhine (vt tabel 5.1).

Mittesekkuva stsenaariumi korral eeldatakse minimaalset riigipoolset sekkumist – regulatsioon on täielikult turupõhine. Bioetanooli ega biometaani Eestis ei toodeta. Vajalik taastuvkütuste osakaal saavutatakse biokütuste impordiga bioetanooli puhul. Biometaani ei impordita ja taastuvkütuste osakaalu eesmärki 10% aastaks 2020 ei täideta, kuna ainult bioetanooli ja -diisliga ei ole võimalik 10% osakaalu saavutada.

Vähesekkuva stsenaariumi korral eeldatakse, et kohapeal toodetakse ca 40% biometaani potentsiaalist (biometaani potentsiaal on 380 mln Nm^3/a). Biometaani ei ekspordita ega impordita. Bioetanooli toodetakse ühes tehases ning selle kogutoodangust ca 25% on kodumaises tarbimises, ülejäänu läheb ekspordiks. Teadmistepõhises stsenaariumis toodetakse aastal 2030 biometaani 263 mln Nm^3. Bioetanooli toodetakse 220 000 t, millest ca 25% tarbitakse Eestis ning ülejäänud osa eksporditakse.

Kõik kolm stsenaariumi on detailsemalt lahti seletatud ja kirjeldatud Energiatalgute internetileheküljel[18] ning aruandes „ENMAK 2030. Kohalike transpordikütuste stsenaariumid“.

Tabel 5.1. Kohalike transpordikütuste (biometaani ja bioetanooli) tootmise ja eksportimise mahud erinevates stsenaariumites aastal 2030.

2030	STSENAARIUMID					
	Mittesekkuv (MS)		Vähesekkuv (VS)		Teadmistepõhine (TP)	
	Tootmine	Eksport	Tootmine	Eksport	Tootmine	Eksport
Biometaan (TWh)	0	-	1,37	-	2,63	1,01
Bioetanool (TWh)	0	-	0,75	0,46	1,65	1,22

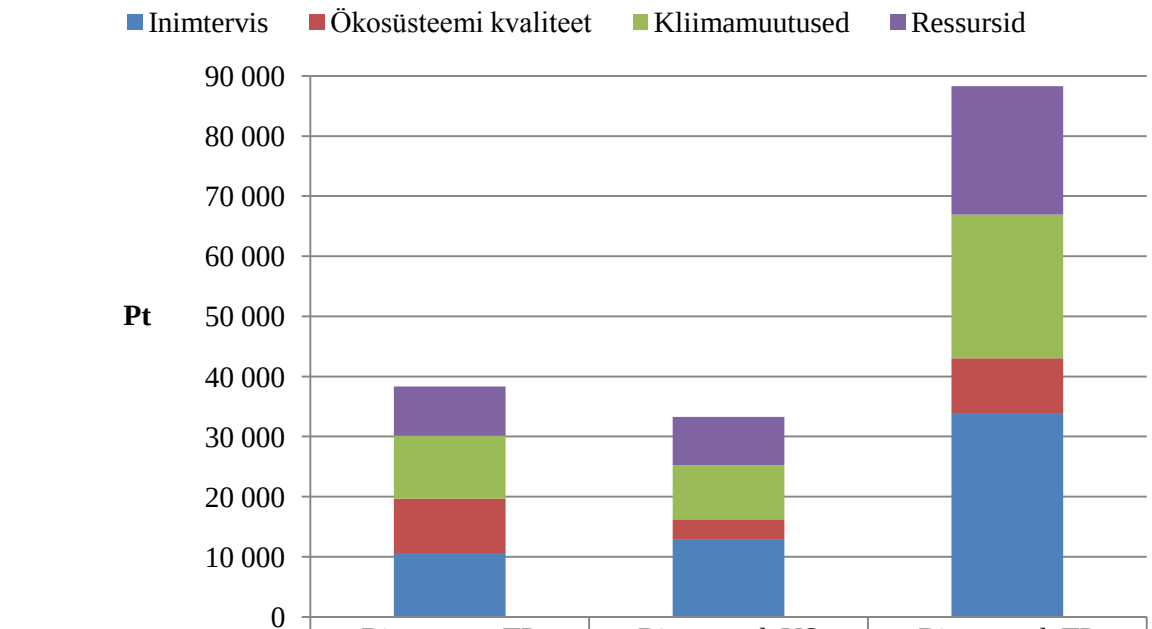
[17] Oja, A. (2014) ENMAK 2030. Kohalike transpordikütuste stsenaariumid. Eesti Arengufond. http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/0/08/ENMAK_2030_kohalike_transpordik%C3%BCtuste_stsenaariumid.pdf

[18] Energiatalgud. Kütuste ENMAK stsenaariumid. http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=K%C3%BCtuste_ENMAK_stsenaariumid

5.2 Biokütuste tootmise stsenaariumite keskkonnamõju

Kohapeal toodetud transpordikütustest modelleeriti biometaani ja bioetanooli tootmise keskkonnamõjud. Kuna osa kohapeal toodetud transpordikütustest leiavad kasutust kohalikus transpordisektoris, siis sisalduvad nende tootmise ja kasutamise keskkonnamõjud transpordisektori stsenaariumites. Käesolevas peatükis on esitatud vaid selle koguse biometaani ja bioetanooli tootmise keskkonnamõjud, mis lähevad eeldatavasti eksporti aastal 2030. Arvesse ei ole võetud kütuse eksportimisest (levitamine, transport) ja kasutusfaasist tulenevaid keskkonnamõjusid.

Tabelis 5.2 ning joonisel 5.1 on esitatud biometaani ja etanooli kohapealsest tootmisest tulenevad keskkonnamõjud eksporditava kütuse koguse kohta (TWh) aastal 2030. Eksporditavad kütuste kogused (TWh-des) on välja toodud tabelis 5.1 kõikide stsenaariumite kohta, kuid tabelis 5.2 ja joonisel 5.1 on esitatud vaid nende stsenaariumite tulemused, kus eksporditav kogus on >0. Kütuste 1 kWh tootmise mõjud on hinnatud peatükis 4.4.



	Biometaan, TP	Bioetanool, VS	Bioetanool, TP
Ressursid	8 201	8 057	21 369
Kliimamuutused	10 457	9 017	23 913
Ökosüsteemi kvaliteet	9 185	3 425	9 083
Inimtervis	10 497	12 794	33 931

Joonis 5.1. Biometaani ja bioetanooli tootmise keskkonnamõjud erinevate ekspordistsenaariumite korral aastal 2030. Mõjukategooriate tulemused on normaliseeritud ja kaalutud, seejärel üksikpunktideks (Pt) kokku liidetud vastavalt Impact 2002+ meetodile ning esitatud neljas kahjukategoorias. TP – Teadmistepõhine stsenaarium, VS – Vähesekkuv stsenaarium.

Tulemustest selgub, et transpordikütuste tootmise suurim mõju avaldub inimtervisele. Inimtervise kahjukategoorias on suurima osakaaluga hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid (PM2,5 eq). Tegemist on eelkõige mõjuga, mis tuleneb väetiste, pestitsiidide ja taimekaitsevahendite kasutamisest kütuse tootmiseks vajaliku tooraine kasvatamisest. Lisaks inimtervisele on transpordikütuste tootmisel üsna suur mõju ökosüsteemidele. Ökosüsteemi kvaliteedi peamine mõju on põhjustatud maa hõivamisest, mis on vajalik kütuse tootmiseks vajalike kultuuride kasvatamisest. Maakasutuse mõjust suurem ja isegi olulisem on mõju globaalsele soojenemisele ja taastumatute energiaressursside kasutamisele. Seejuures ei ole need mõjud otseselt kütustega seotud, vaid on tingitud tootmiseks kasutatavatest seadmetest, masinatest, ehitistest, transpordist, elektri ja soojuse kasutamisest ning erinevatest fossiilsetest kütustest, mis on biometaani või bioetanooli olelusringi erinevatel etappidel vajalikud.

Tabel 5.2. Eestis toodetud ja välisriikidesse eksporditud biometaani ja bioetanooli stsenaariumite tulemused: 15 mõjukategooria absoluut-väärtused mõjukategooria ühikutes ning nende teisendamine kahjukategooriate ühikutesse. Negatiivne väärtus väljendab keskkonnale soodsat mõju kogu olelusringis. TP – Teadmistepõhine stsenaarium, VS – Vähesekkuv stsenaarium.

Mõjukategooria		**Ühik**	**Biometaan TP 2030**	**Bioetanool VS 2030**	**Bioetanool TP 2030**	**Ühik**	**Biometaan TP 2030**	**Bioetanool VS 2030**	**Bioetanool TP 2030**
			1,01 TWh	**0,46 TWh**	**1,22 TWh**		**1,01 TWh**	**0,46 TWh**	**1,22 TWh**
1	Kantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	1 342 417	2 373 906	6 296 013	DALY	3,7588	6,6469	17,6288
2	Mittekantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	2 447 965	-1 257 716	-3 335 682	DALY	6,8543	-3,5216	-9,3399
3	Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	kg PM2.5 eq	90 964	124 798	330 986	DALY	63,6748	87,3586	231,6902
4	Ioniseeriv kiirgus	Bq C-14 eq	534 mln	777 mln	2 062 mln	DALY	0,1122	0,1632	0,4330
5	Osoonikihi hõrenemine	kg CFC-11 eq	4	5	12	DALY	0,0042	0,0049	0,0131
6	Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	kg C_2H_4 eq	21 351	38 983	103 390	DALY	0	0	0
7	Ökotoksilisus veekeskkonnale	kg TEG water	11 075 mln	1 056 mln	2 802 mln	PDF*m^2*y	555 990	53 015	140 606
8	Ökotoksilisus pinnasele	kg TEG soil	4 259 mln	-6 418 mln	-17 021 mln	PDF*m^2*y	34 mln	-51 mln	-135 mln
9	Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	kg SO_2 eq	4 738 210	4 140 308	10 980 816	PDF*m^2*y	4 927 738	4 305 920	11 420 049
10	Maa hõivamine	m^2org.arable	79 mln	86 mln	227 mln	PDF*m^2*y	87 mln	93 mln	248 mln
11	Veekeskkonna hapestumine	kg SO_2 eq	813 439	803 898	2 132 078	-	0	0	0
12	Veekeskkonna eutrofeerumine	kg PO_4 P-lim	109 023	37 237	98 759	-	0	0	0
13	Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	104 mln	89 mln	237 mln	kg CO_2 eq	104 mln	89 mln	237 mln
14	Taastumatud energiaallikad	MJ primary	1 239 mln	1 221 mln	3 239 mln	MJ	1 239 mln	1 221 mln	3 239 mln
15	Mineraalide kaevandamine	MJ surplus	7 592 754	3 377 803	8 958 522	MJ	7 592 754	3 377 803	8 958 522

6. ELEKTRIMAJANDUS

Elektrimajanduses hinnatakse keskkonnamõjusid viies stsenaariumis: 1) Põlevkivi, 2) Liberaalne, 3) Liberaalne+, 4) Taastuvenergia (TE), ning 5) Taastuvenergia++ (TE++). Stsenaariumite kirjelduste aluseks kasutati uuringut „Eesti pikaajalised elektritootmis-stsenaariumid“ ning aruannet „Energiamajanduse arengukava elektrimajanduse (elektrivõrgu) tegevuskava koostamine“. Hindamiseks kasutati kogu olelusringi alates toorme hankimisest kuni elektri tootmise ja tarbijateni edastamiseni. Lisaks nendele viiele tulevikustsenaariumile esitatakse keskkonnamõju hindamise tulemused ka stsenaariumile Baas 2012. Modelleerimisel on arvesse võetud üksnes Eestis toodetud elekter, imporditud elektri kesk-konnamõjud ei kajastu stsenaariumite mõju hindamise tulemustes.

6.1 Lähteolukord ja eeldused

Modelleerimise lähtepunktiks on 2012. aasta ning seda nimetatakse edaspidi tabelites ja joonistel kui stsenaarium Baas 2012. Statistikaameti andmete järgi toodeti 2012. aastal Eestis elektrit peamiselt põlevkivist. Elektri tootmiseks kasutatakse põlevkivi kõrval üha enam ka puitkütuseid ja uttegaasi. Järjest enam on levinud tuuleenergia (vt tabel 6.1).[19]

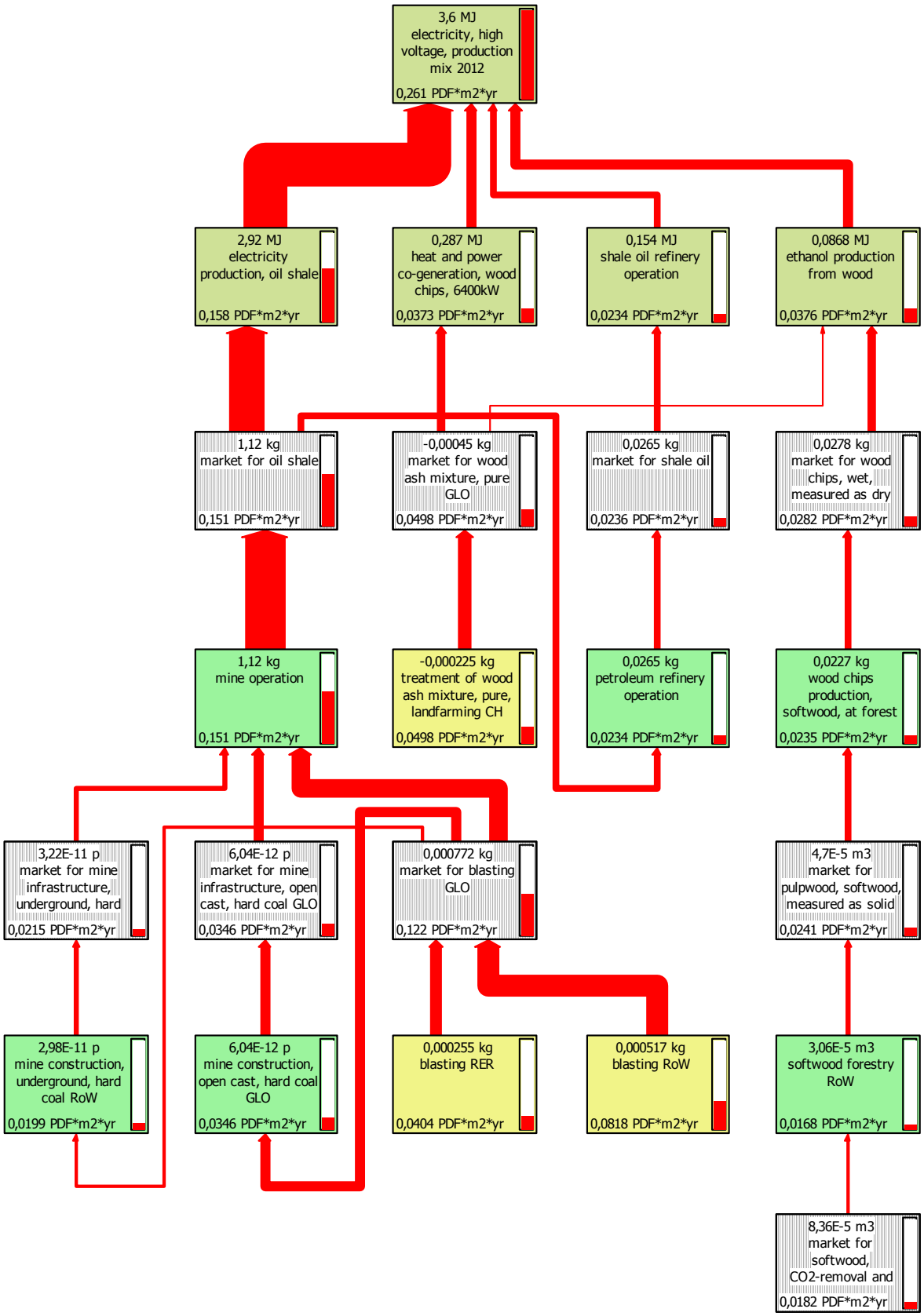
Ligi 90% elektrist toodeti 2012. aastal Narva lähistel kahes põlevkivi kütusena kasutatavas soojuselektrijaamas ning seetõttu on ka suurem osa keskkonnamõjudest põhjustatud põlev-kivielektri tootmisest. Mõningates mõjukategooriates moodustab põlevkivielektri tootmise mõju enam kui 95% antud kategooria kogumõjust Baas 2012 stsenaariumis. Samas maa hõivamise mõjukategoorias on põlevkivi osakaal vaid 40% ning suurema mõjuga (42%) on hoopis muudest taastuvatest allikatest elektri tootmine (vt joonis 6.2).

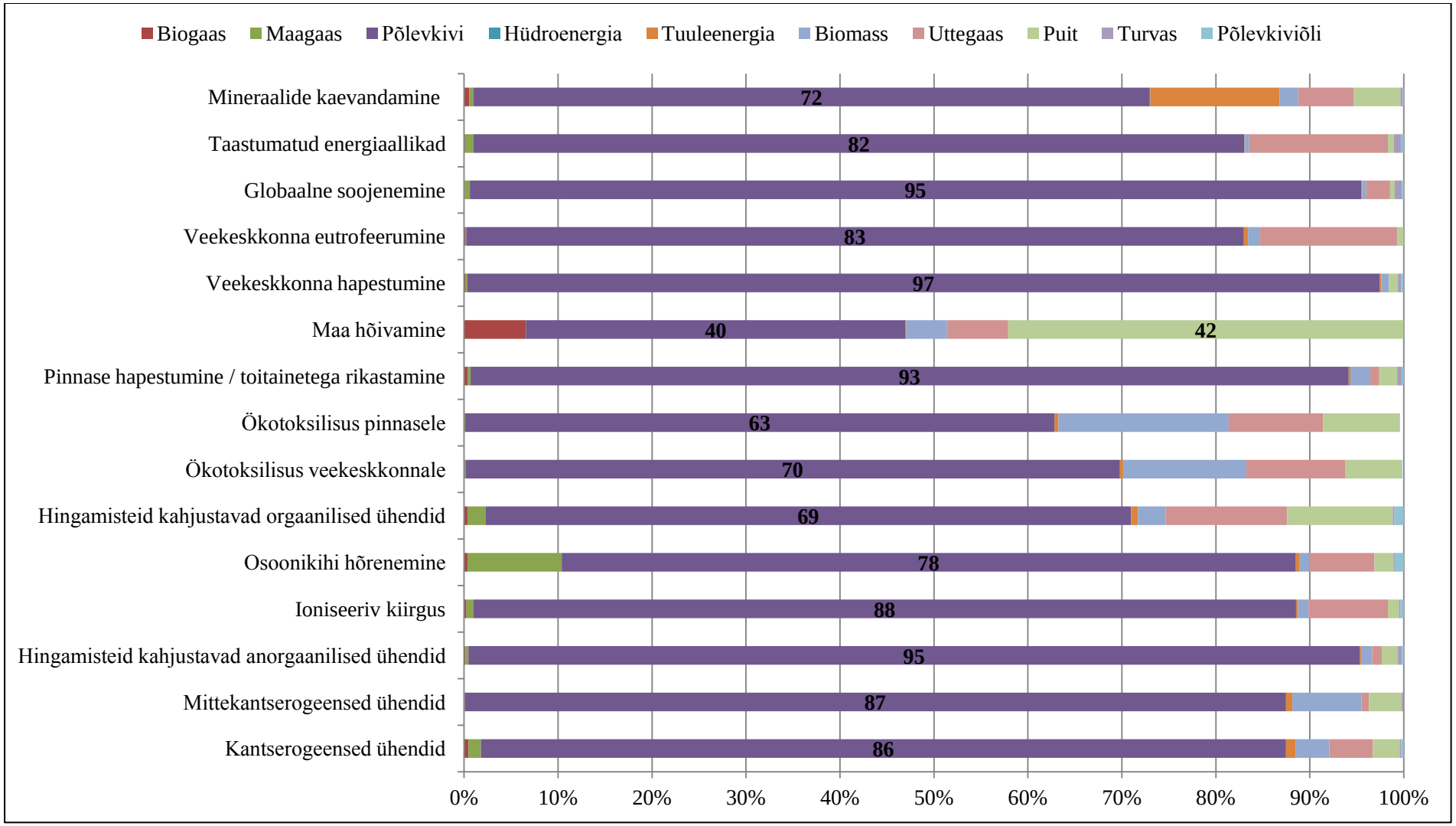
Tabel 6.1. Eesti elektri tootmise portfell 2012. aastal kütuste järgi. Allikas: Statistikaamet[20].

Kütus	**Elektrienergia tootmiseks tarbitud kütus**	**Toodetud elekter, GWh Kokku 11 966 GWh**
Põlevkivi	12 057 000 t	9 699
Turvas	66 000 t	98
Puit	694 000 tm	953
Põlevkiviõli (raske fraktsioon)	15 000 t	58
Maagaas	18 000 000 m^3	123
Muud taastuvad allikad[21]	174 TJ	48
Uttegaas	586 000 000 m^3	511
Hüdroenergia	-	42
Tuuleenergia	-	434

[19] Energiatalgud. Elektri tootmine, http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Elektri_tootmine
[20] Eesti Statistikaamet. www.stat.ee
[21] biogaas, põhk, kondijahu, must leelis ja loomsed jäätmed

Joonis 6.1. Elektrimajanduse Baas 2012 stsenaariumi voodiagramm ökosüsteemi kvaliteedi kahjude kujunemise kohta. Tulemused on esitatud 1 kWh elektri tootmise kohta. Joonisel on kajastatud vaid need mõjud, mille mõju ökosüsteemi kvaliteedile on enam kui 5%.

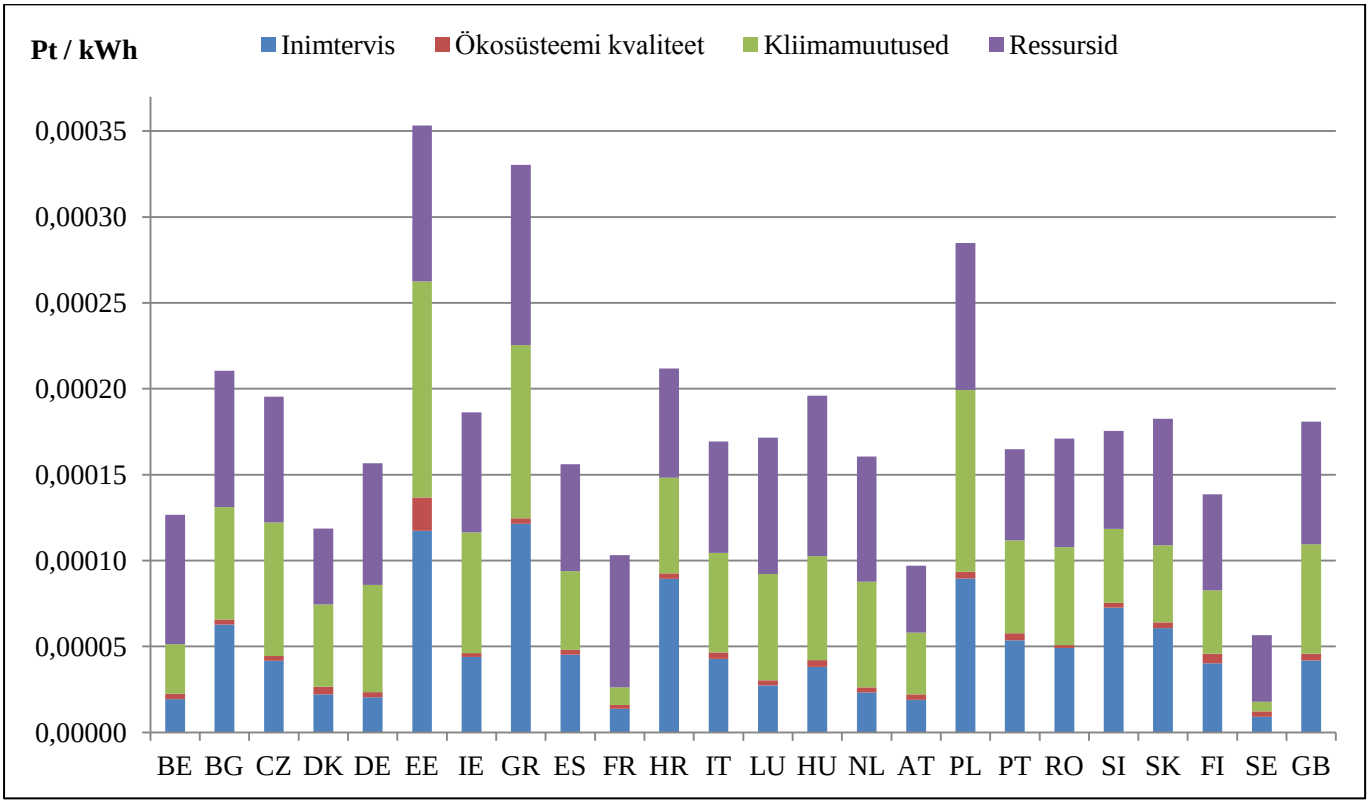




Joonis 6.2. Elektrimajanduse Baas 2012 stsenaariumi 1 kWh elektri tootmise keskkonnamõjud 15 mõjukategoorias väljendatuna iga kasutatava kütuseliigi osakaaluna mõjukategooria kogumõjust.

6.2 Euroopa elektrimajanduse keskkonnamõju

Euroopa elektrimajanduse keskkonnamõjude modelleerimiseks saadi andmed Eurostat andmebaasist[22]. Elektrimajanduse modelleerimiseks kasutati andmeid Euroopa Liidu 28 liikmesriigi rahvastiku arvu ja sisemaise elektri toodangu kohta aastal 2012. Kuna Ecoinvent andmebaasist puudusid Küprose, Läti, Leedu ja Malta elektri tootmisportfellid, siis ei ole neid keskmise arvutamisel arvesse võetud. Eurostat andmetel elas 2012. aastal EL 28 liikmesriikides keskmiselt 505 128 736 inimest ning neis toodeti 3 295 234 GWh elektrit. Ilma Küprose, Läti, Leedu ja Maltata on elanike arv 498 823 244 ning 2012. aasta elektritoodang 3 277 016 GWh. Mõju hindamise tulemused 1 kWh elektri tootmise kohta aastal 2012 EL liikmesriikide kaupa on esitatud alljärgneval joonisel.

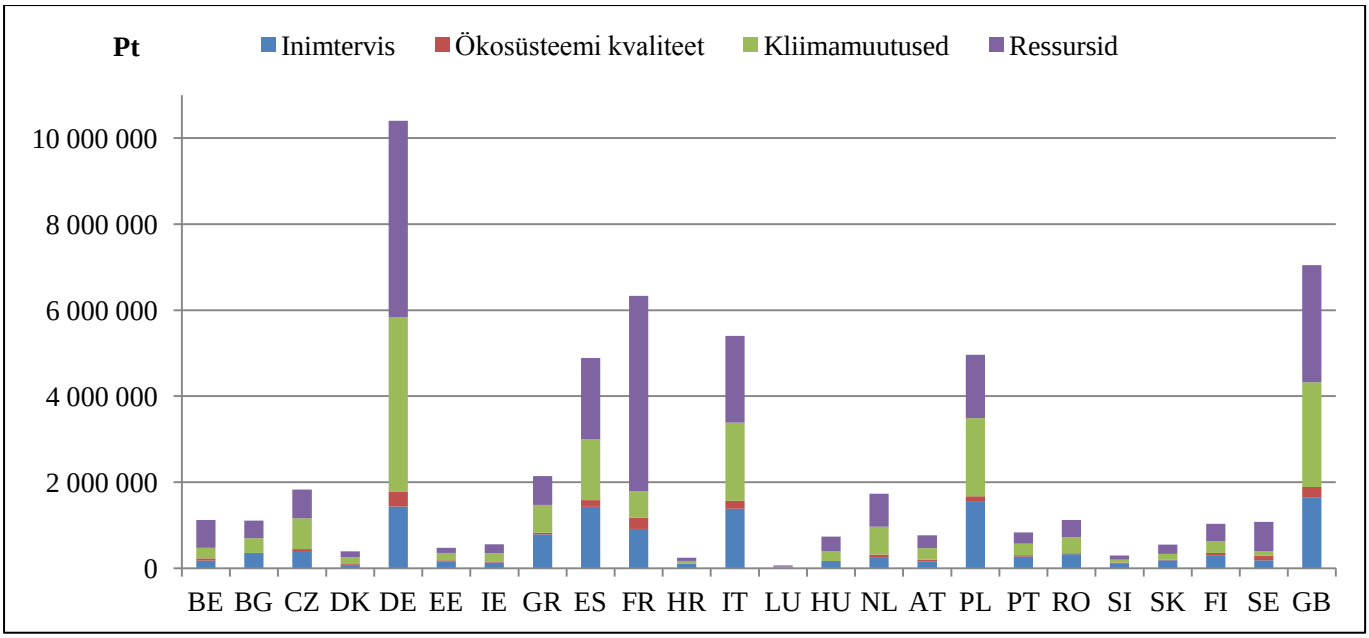


Joonis 6.3. Euroopa Liidu liikmesriikide (v.a Küpros, Läti, Leedu ja Malta) elektri tootmise keskkonnamõjud 1 kWh toodetud kõrgepinge (>24 kV) elektrienergia kohta. Arvesse ei ole võetud elektrienergia edastamisel ja jaotamisel tekkivaid võrgukadusid ja infrastruktuuri. Tulemused on esitatud üksikpunktides peale normaliseerimist ja kaalumist. BE – Belgia, BG – Bulgaaria, CZ – Tšehhi, DK – Taani, DE – Saksamaa, EE – Eesti, IE – Iirimaa, GR – Kreeka, ES – Hispaania, FR – Prantsusmaa, HR – Horvaatia, IT – Itaalia, LU – Luksemburg, HU – Ungari, NL – Holland, AT – Austria, PL – Poola, PT – Portugal, RO – Rumeenia, SI – Sloveenia, SK – Slovakkia, FI – Soome, SE – Rootsi, GB – Suurbritannia.

[22] Eurostat. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database

Selgub, et kõige suurema keskkonnamõjuga elektri tootmine on Eestis. Eestist mitte kaugele maha ei jää Kreeka ja Poola, kõigi ülejäänud liikmesriikide keskkonnamõjud on juba olulisemalt väiksemad, jäädes vahemikku 0,00005 Pt/kWh kuni 0,000212 Pt/kWh. Kõige keskkonnasõbralikum elektrienergia tootmine on Rootsis, millele järgnevad Austria ja Prantsusmaa. Oluline faktor nende riikide puhul on taastuv- ja/või tuumaenergeetika suur osakaal kogu elektriportfellis.

Kui vaatame liikmesriikide keskmiseid keskkonnamõjusid kogu elektritoodangu kohta, siis annavad kõige suurema osakaalu EL-i elektrimajanduse kogumõjusse eelkõige suured liikmesriigid nagu Saksamaa, Prantsusmaa, Itaalia, Suurbritannia, Hispaania ja Poola. Kõigi nende riikide (v.a Poola) 1 kWh elektri tootmise keskkonnamõjud on ligi kaks korda madalamad kui Eestis, kuid panus kogu Euroopa elektri tootmisesse ja tarbimisse suur. All-järgneval joonisel on esitatud liikmesriikide kogupanus elektrimajanduse keskkonna-mõjudesse võttes arvesse elektri tootmis- ja tarbimismahtusid igas liikmesriigis.

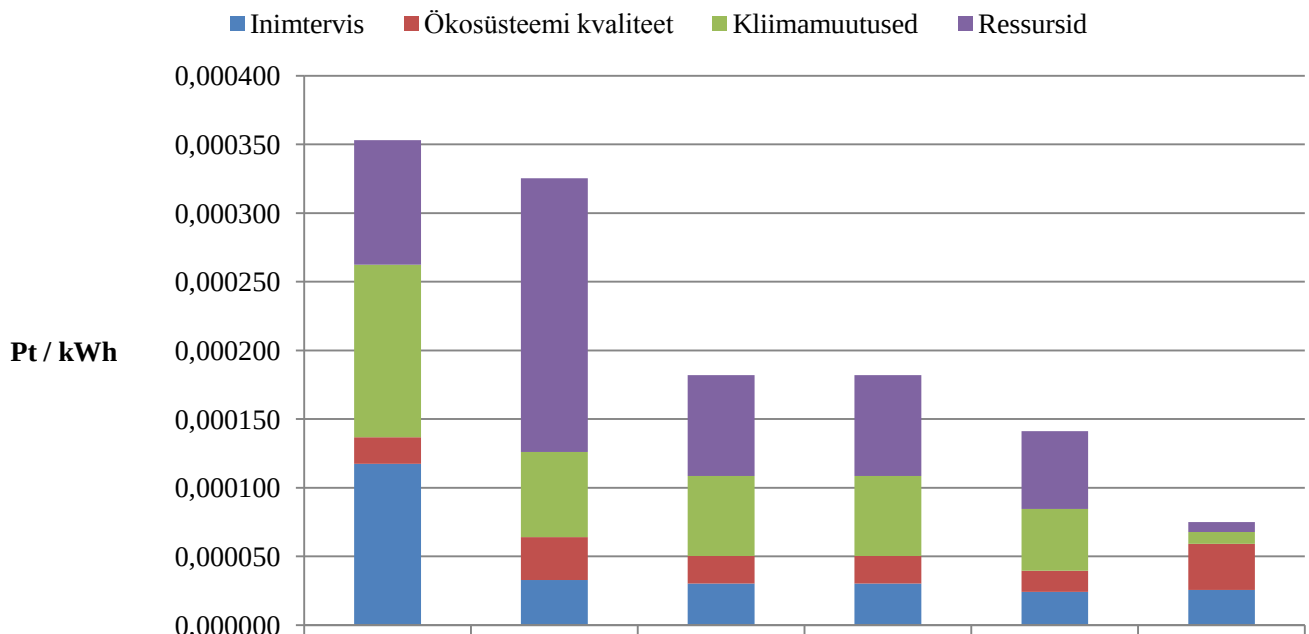


Joonis 6.4. Euroopa Liidu liikmeriikide elektrimajanduse keskkonnamõjud kogu toodetud ja tarbijateni edastatud elektrienergia koguse kohta. Arvesse on võetud kogu olelusring alates toorme kaevandamisest kuni energia edastamise ja vajaliku infrastruktuurini välja ning elektri tootmine ja tarbimine liikmesriikides. Tulemused on esitatud üksikpunktides peale normaliseerimist ja kaalumist. BE – Belgia, BG – Bulgaaria, CZ – Tšehhi, DK – Taani, DE – Saksamaa, EE – Eesti, IE – Iirimaa, GR – Kreeka, ES – Hispaania, FR – Prantsusmaa, HR – Horvaatia, IT – Itaalia, LU – Luksemburg, HU – Ungari, NL – Holland, AT – Austria, PL – Poola, PT – Portugal, RO – Rumeenia, SI – Sloveenia, SK – Slovakkia, FI – Soome, SE – Rootsi, GB – Suurbritannia.

6.3 Elektrimajanduse stsenaariumite keskkonnamõju

Alljärgnevates tabelites 6.2 ja 6.3 ning joonisel 6.5 on esitatud elektri tootmise stsenaariumite keskkonnamõjud 1 kWh toodetud kõrgepinge (*high voltage*, >24 kV) elektrienergia kohta. Tulemustes on kajastatud ainult elektri- ja koostootmisjaamades, hüdroelektrijaamades ja tuuleparkides toodetud kõrgepinge elekter. Arvesse ei ole võetud PV paneelide poolt toodetud elektrit ega elektri ülekandel tekkivaid võrgukadusid.

Kõige suurem keskkonnamõju on Põlevkivi 2030 stsenaariumil, mis ressursside kahjukategoorias ületab oluliselt isegi Baas 2012 tulemust. Põhjustatud on see peamiselt põlevkivi jätkuvast kasutamisest nii elektri kui õli tootmiseks. Võrreldes Baas 2012 stsenaariumiga on sellele lisandunud kivisöe kasutamine elektrienergia tootmiseks ning taastuvate energiaallikate osakaal on vähenenud. Kui kõikides teistes stsenaariumites taastumatute energiaallikate kasutus kogu olelusringi jooksul väheneb võrreldes Baas stsenaariumiga, siis Põlevkivi stsenaariumis on see kasvanud ligi kahekordseks võrreldes 2012. aastaga (vt tabel 6.2). Kõige väiksema keskkonnamõjuga on TE++ stsenaarium ning seal on ka taastumatute ressursside kasutuse vähenemine kõige ulatuslikum. Samas on TE++ korral mõju ökosüsteemi kvaliteedile oluliselt suurem kui TE või Liberaalne stsenaariumis.



	Baas 2012	Põlevkivi 2030	Liberal 2030	Liberal+ 2030	TE 2030	TE++ 2030
Ressursid	0,000091	0,000199	0,000073	0,000073	0,000057	0,000007
Kliimamuutused	0,000126	0,000062	0,000058	0,000058	0,000045	0,000008
Ökosüsteemi kvaliteet	0,000019	0,000031	0,000020	0,000020	0,000016	0,000034
Inimtervis	0,000117	0,000033	0,000030	0,000030	0,000024	0,000026

Joonis 6.5. Elektrimajanduse arengustsenaariumite keskkonnamõjud 1 kWh toodetud kõrgepinge (>24 kV) elektrienergia kohta. Arvesse ei ole võetud elektrienergia edastamisel ja jaotamisel tekkivaid võrgukadusid ja infrastruktuuri. TE – Taastuvenergia stsenaarium, TE++ – Taastuvenergia++ stsenaarium.

Tabel 6.2. Elektrimajanduse arengustsenaariumite keskkonnamõjud 1 kWh toodetud kõrge pinge (>24 kV) elektrienergia kohta. Tulemused on esitatud 15 mõjukategooria kohta mõjukategooria ühikutes. Arvesse ei ole võetud toodetud elektrienergia lõpptarbijateni edastamisel ja jaotamisel tekkivaid võrgukadusid ja vajalikku infrastruktuuri. TE – Taastuvenergia stsenaarium; TE++ – Taastuvenergia++ stsenaarium.

Mõjukategooria	**Ühik**	**STSENAARIUMID**					
		Baas 2012	**Põlevkivi**	**Liberaalne**	**Liberaalne+**	**TE**	**TE++**
Kantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	0,005833	0,005890	0,003229	0,003228	0,002717	0,003154
Mittekantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	0,020746	0,007406	0,008033	0,008031	0,006482	0,018034
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	kg PM2.5 eq	0,001081	0,000277	0,000261	0,000261	0,000207	0,000174
Ioniseeriv kiirgus	Bq C-14 eq	4,452427	6,556697	2,594600	2,593958	2,033362	1,351934
Osoonikihi hõrenemine	kg CFC-11 eq	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	kg C_2H_4 eq	0,000120	0,000313	0,000119	0,000119	0,000094	0,000066
Ökotoksilisus veekeskkonnale	kg TEG water	91,960129	158,853770	84,777085	84,757019	66,227892	135,702420
Ökotoksilisus pinnasele	kg TEG soil	23,969255	43,081565	26,167055	26,160636	20,500380	48,671017
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	kg SO_2 eq	0,017287	0,005258	0,005610	0,005610	0,004400	0,004645
Maa hõivamine	m^2org.arable	0,048289	0,066966	0,050621	0,050604	0,039342	0,058053
Veekeskkonna hapestumine	kg SO_2 eq	0,007296	0,000882	0,001566	0,001567	0,001227	0,000840
Veekeskkonna eutrofeerumine	kg PO_4 P-lim	0,000452	0,000857	0,000270	0,000270	0,000210	0,000073
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	1,245719	0,614562	0,577050	0,577165	0,445073	0,084142
Taastumatud energiaallikad	MJ primary	13,763865	30,256576	11,143493	11,142613	8,587160	1,101160
Mineraalide kaevandamine	MJ surplus	0,008530	0,011915	0,009916	0,009913	0,010539	0,009237

Tabel 6.3. Elektrimajanduse arengustsenaariumite keskkonnamõjud 1 kWh toodetud kõrge pinge (>24 kV) elektrienergia kohta. Tulemused on esitatud 13 mõjukategooria kohta teisendatuna kahjukategooria ühikutesse. Arvesse ei ole võetud toodetud elektrienergia lõpptarbijateni edastamisel ja jaotamisel tekkivaid võrgukadusid ja vajalikku infrastruktuuri. TE – Taastuvenergia stsenaarium; TE++ – Taastuvenergia++ stsenaarium.

Mõjukategooria	**Ühik**	**STSENAARIUMID**					
		Baas 2012	**Põlevkivi**	**Liberaalne**	**Liberaalne+**	**TE**	**TE++**
Kantserogeensed ühendid	DALY	$1,63*10^{-8}$	$1,65*10^{-8}$	$9,04*10^{-9}$	$9,04*10^{-9}$	$7,61*10^{-9}$	$8,83*10^{-9}$
Mittekantserogeensed ühendid	DALY	$5,81*10^{-8}$	$2,07*10^{-8}$	$2,25*10^{-8}$	$2,25*10^{-8}$	$1,81*10^{-8}$	$5,05*10^{-8}$
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	DALY	$7,57*10^{-7}$	$1,94*10^{-7}$	$1,83*10^{-7}$	$1,83*10^{-7}$	$1,45*10^{-7}$	$1,22*10^{-7}$
Ioniseeriv kiirgus	DALY	$9,35*10^{-10}$	$1,38*10^{-9}$	$5,45*10^{-10}$	$5,45*10^{-10}$	$4,27*10^{-10}$	$2,84*10^{-10}$
Osoonikihi hõrenemine	DALY	$2,01*10^{-11}$	$4,82*10^{-11}$	$2,93*10^{-11}$	$2,93*10^{-11}$	$2,22*10^{-11}$	$2,16*10^{-11}$
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	DALY	$2,55*10^{-10}$	$6,66*10^{-10}$	$2,53*10^{-10}$	$2,53*10^{-10}$	$2,01*10^{-10}$	$1,41*10^{-10}$
Ökotoksilisus veekeskkonnale	$PDF*m^2*y$	0,004616	0,007974	0,004256	0,004255	0,003325	0,006812
Ökotoksilisus pinnasele	$PDF*m^2*y$	0,189597	0,340775	0,206981	0,206931	0,162158	0,384988
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	$PDF*m^2*y$	0,017978	0,005468	0,005834	0,005834	0,004576	0,004831
Maa hõivamine	$PDF*m^2*y$	0,052635	0,072992	0,055177	0,055158	0,042883	0,063278
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	1,245719	0,614562	0,577050	0,577165	0,445073	0,084142
Taastumatud energiaallikad	MJ primary	13,763865	30,256576	11,143493	11,142613	8,587160	1,101160
Mineraalide kaevandamine	MJ primary	0,008530	0,011915	0,009916	0,009913	0,010539	0,009237

Järgnevates tabelites 6.4 ja 6.5 on esitatud erinevate elektrimajanduse stsenaariumite kesk-konnamõjud kogu toodetud ja tarbijateni edastatud kesk- ja madalpinge (<24 kV) elektri-energia kohta. Tulemuste analüüsil tuleb arvesse võtta, et lisaks eelpool esitatud elektri tootmise mõjudele on nüüd arvesse võetud ka elektri muundamine ja edastamine (võrgukaod) ning PV paneelide poolt toodetud elektrienergia kogus. Samuti tuleb arvestada asjaoluga, et tulemused on esitatud kogu tarbitud elektrienergia kohta. Erinevates stsenaariumites on tarbitud elektrienergia kogused väga erinevad:

- Baas 2012 – 11,97 TWh;
- Põlevkivi 2030 – 10,38 TWh;
- Liberaalne 2030 – 7,19 TWh;
- Liberaalne+ 2030 – 7,19 TWh;
- Taastuvenergia 2030 (TE 2030) – 9,31 TWh;
- Taastuvenergia++ 2030 (TE++ 2030) – 6,32 TWh.

Selleks, et saadud tulemusi omavahel paremini võrrelda, on joonisel 6.6 esitatud kõikide elektri tootmise stsenaariumite tulemused eraldi neljas kahjukategoorias. Selle jaoks on stsenaariumite kogumahud läbi jagatud Eesti rahvaarvuga aastal 2030 ning võrdlusena on esitatud joonisel Baas 2012 stsenaariumi tulemus ühe elaniku kohta ja keskmise eurooplase kohta. Euroopa keskmise arvutamiseks on kasutatud EL 28 riikide v.a Küpros, Läti, Leedu ja Malta rahvaarvu ja elektri tootmise ja tarbimise andmeid Eurostat andmebaasist (vt täpsemalt peatükk 6.2).

Tulemustest selgub, et inimtervise kahjukategoorias toimub oluline mõjude vähenemine ükskõik millise arengustsenaariumi rakendumisel, erinevus on 4–5 kordne olenevalt realiseeruvast stsenaariumist. Pea sama suur on mõjude vähenemine kliimamuutuste kahju-kategoorias aastaks 2030.

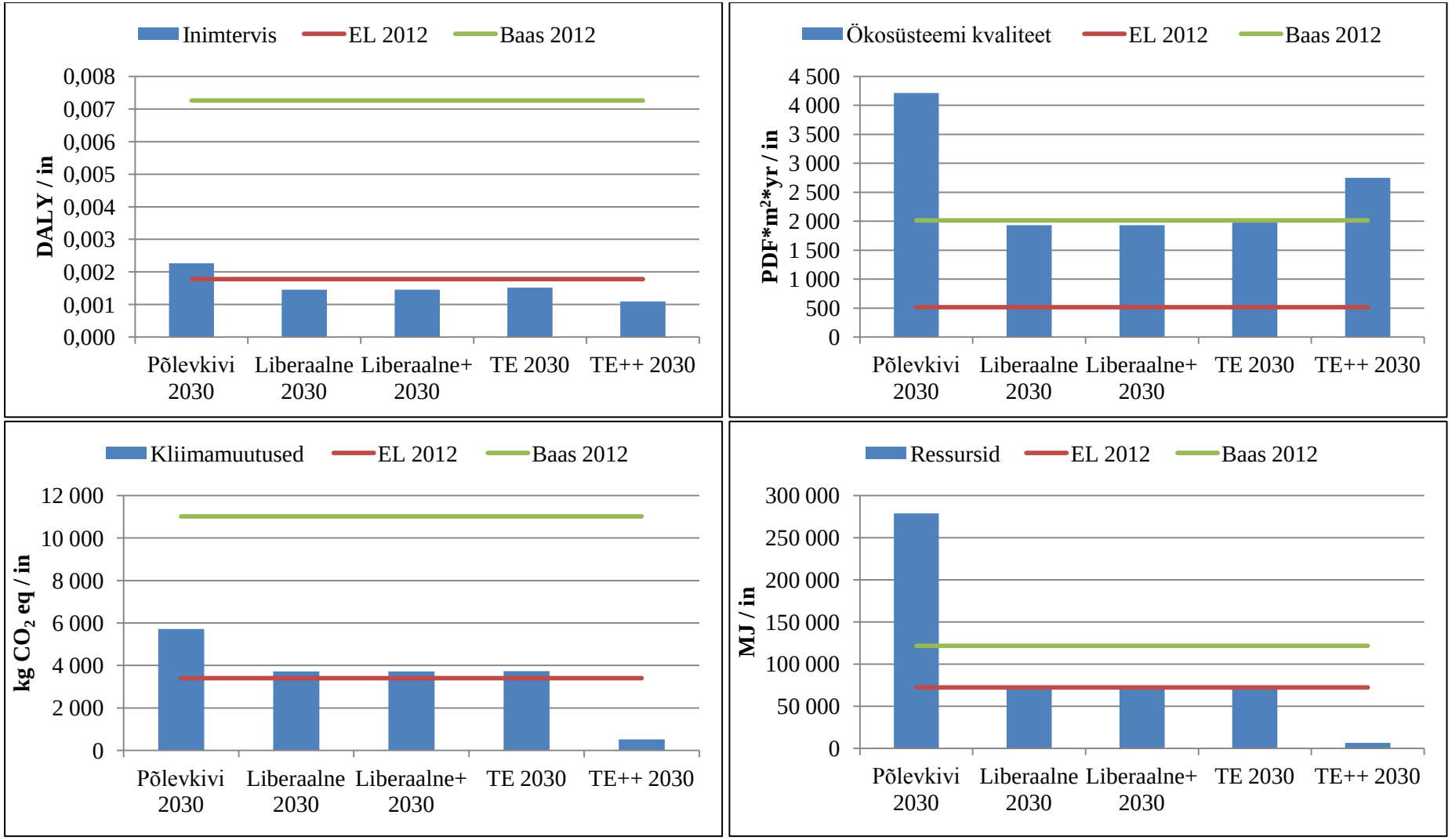
Tabel 6.4. Elektrimajanduse arengustsenaariumite keskkonnamõjud kogu toodetud ja tarbijateni edastatud elektrienergia koguse kohta. Arvesse on võetud kogu olelusring alates toorme kaevandamisest kuni energia edastamise ja vajaliku infrastruktuurini välja. Tulemused on esitatud eraldi 15 mõjukategooria kohta mõjukategooria ühikutes. TE – Taastuvenergia stsenaarium; TE++ – Taastuvenergia++ stsenaarium.

Mõjukategooria	**Ühik**	**STSENAARIUMID**					
		Baas 2012	**Põlevkivi**	**Liberaalne**	**Liberaalne+**	**TE**	**TE++**
		11,97 TWh	**10,38 TWh**	**7,19 TWh**	**7,19 TWh**	**9,31 TWh**	**6,32 TWh**
Kantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	66 614 106	72 107 894	28 286 106	28 290 664	31 218 298	24 380 959
Mittekantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	235 743 290	104 591 020	77 569 704	77 581 671	84 104 284	139 944 890
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	kg PM2.5 eq	12 517 655	3 398 112	2 227 673	2 228 578	2 309 113	1 338 406
Ioniseeriv kiirgus	Bq C-14 eq	51 877 mln	77 424 mln	21 347 mln	21 350 mln	21 728 mln	9 891 mln
Osoonikihi hõrenemine	kg CFC-11 eq	221	547	233	233	230	152
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	kg C_2H_4 eq	1 260 798	3 708 846	989 303	989 421	1 023 182	493 547
Ökotoksilisus veekeskkonnale	kg TEG water	1 019 mld	1 966 mld	757 mld	758 mld	786 mld	1 031 mld
Ökotoksilisus pinnasele	kg TEG soil	259 440 mln	552 433 mln	244 661 mln	244 699 mln	257 300 mln	376 545 mln
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	kg SO_2 eq	199 814 920	63 664 267	46 951 438	46 970 799	48 074 374	34 417 506
Maa hõivamine	m^2org.arable	330 117 140	789 297 610	413 188 070	413 202 290	416 570 170	416 860 800
Veekeskkonna hapestumine	kg SO_2 eq	85 159 873	11 552 712	13 576 849	13 584 050	14 009 707	6 750 354
Veekeskkonna eutrofeerumine	kg PO_4 P-lim	5 296 406	10 352 661	2 390 166	2 390 654	2 464 804	693 019
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	14 602 mln	7 321 mln	4 763 mln	4 765 mln	4 780 mln	660 mln
Taastumatud energiaallikad	MJ primary	161 233 mln	356 412 mln	91 070 mln	91 096 mln	91 058 mln	8 204 mln
Mineraalide kaevandamine	MJ surplus	92 712 232	279 115 810	177 442 490	177 485 880	236 061 750	151 509 390

Tabel 6.5. Elektrimajanduse arengustsenaariumite keskkonnamõjud kogu toodetud ja tarbijateni edastatud elektrienergia koguse kohta. Arvesse on võetud kogu olelusring alates toorme kaevandamisest kuni energia edastamise ja vajaliku infrastruktuurini välja. Tulemused on esitatud eraldi 13 mõjukategooria kohta kahjukategooria absoluutühikutes. TE – Taastuvenergia stsenaarium; TE++ – Taastuvenergia++ stsenaarium.

Mõjukategooria	**Ühik**	**STSENAARIUMID**					
		Baas 2012	**Põlevkivi**	**Liberaalne**	**Liberaalne+**	**TE**	**TE++**
		11,97 TWh	**10,38 TWh**	**7,19 TWh**	**7,19 TWh**	**9,31 TWh**	**6,32 TWh**
Kantserogeensed ühendid	DALY	186,52	201,90	79,20	79,21	87,41	68,27
Mittekantserogeensed ühendid	DALY	660,08	292,85	217,20	217,23	235,49	391,85
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	DALY	8 762,36	2 378,68	1 559,37	1 560,00	1 616,38	936,88
Ioniseeriv kiirgus	DALY	10,8941	16,2590	4,4829	4,4834	4,5629	2,0772
Osoonikihi hõrenemine	DALY	0,2323	0,5743	0,2442	0,2442	0,2416	0,1594
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	DALY	2,6855	7,8998	2,1072	2,1075	2,1794	1,0513
Ökotoksilisus veekeskkonnale	PDF*m^2*y	51 149 889	98 676 422	38 025 221	38 031 093	39 455 081	51 781 239
Ökotoksilisus pinnasele	PDF*m^2*y	2 052 mln	4 370 mln	1 935 mln	1 936 mln	2 035 mln	2 978 mln
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	PDF*m^2*y	207 807 510	66 210 838	48 829 496	48 849 631	49 997 349	35 794 206
Maa hõivamine	PDF*m^2*y	359 827 690	860 334 400	450 375 000	450 390 490	454 061 490	454 378 270
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	14 602 mln	7 321 mln	4 763 mln	4 765 mln	4 780 mln	660 mln
Taastumatud energiaallikad	MJ primary	161 233 mln	356 412 mln	91 070 mln	91 096 mln	91 058 mln	8 204 mln
Mineraalide kaevandamine	MJ primary	92 712 232	279 115 810	177 442 490	177 485 880	236 061 750	151 509 390

Joonis 6.6. Elektrimajanduse arengustsenaariumite keskkonnamõjud ühe elaniku kohta võrdluses stsenaariumiga Baas 2012 ning Euroopa Liidu riikide 2012. aasta keskmise elektritarbimise keskkonnamõjudega. Tulemused on esitatud eraldi joonistel nelja kahjukategooria kohta. TE – Taastuvenergia stsenaarium; TE++ – Taastuvenergia++ stsenaarium.



7. SOOJUSMAJANDUS

Soojusmajanduses analüüsitakse keskkonnamõjusid kolme erineva stsenaariumi kohta: 1) Kaugküte, 2) Reaalne ning 3) Energiaühistud. Stsenaariumite kirjelduste aluseks kasutati Energiatalgute internetilehel[23] olevat informatsiooni ning uuringut „Aruanne energiamajanduse arengukava soojusmajanduse tegevuskava koostamisest"[24]. Lisaks nendele tulevikustsenaariumitele esitatakse keskkonnamõju hindamise tulemused ka stsenaariumile Baas 2012.

7.1 Lähteolukord ja eeldused

Modelleerimise lähtepunktiks on 2012. aasta ning seda nimetatakse edaspidi tabelites ja joonistel kui stsenaarium Baas 2012. Statistikaameti andmete järgi toodeti 2012. aastal Eestis soojusenergiat kokku 7 794 GWh. Kõige enam toodeti soojusenergia talvekuudel (jaanuaris, veebruaris ja detsembris vastavalt 1 067 GWh, 1 153 GWh ja 1 131 GWh). Seejuures kasutati 2012. aastal soojusenergia tootmiseks peamiselt maagaasil töötavaid katlaid (kogutoodang 3 323 GWh) ja puidul töötavaid katlaid (kogutoodang 1 703 GWh). Nii maagaasi kui puitkütuste osakaal kogu soojustoodangus on jätkuvalt ja aasta-aastalt suurenenud.[25] ENMAK soojusmajanduse stsenaariumite koostamisel tehtud eelduste kohaselt kasvab ka edaspidi puitkütuste kasutus soojusenergia tootmiseks, põlevkivist soojusenergia tootmine asendatakse samas mahus kivisöest soojuse tootmisega ja maagaasist soojusenergia tootmine väheneb.[26] Detailsemalt on lähteolukorda kirjeldatud vastaval Energiatalgute internetileheküljel.

7.2 Euroopa soojusmajanduse keskkonnamõju

Kuna Eurostat andmebaasis on esitatud andmed vaid kaugkütte soojusenergia tootmise ja tarbimise kohta, siis on võimalik Euroopa võrdlusalusena kasutada vaid kaugkütte soojusenergia kohta kättesaadavaid näitajaid. Eurostati andmetel tarbiti EU 28 riikides 2012. aastal 2 020 799 TJ ehk 561,3 TWh kaugkütte soojusenergiat. Seejuures kodumajapidamistes tarbiti sellest 251,8 TWh soojusenergiat, s.o ca 45% kogu tarbitud soojusest. Kaod soojusenergia edastamisel olid 60,9 TWh. Kokku toodeti Euroopas 682 TWh kaugkütte soojusenergiat. Kõige enam soojusenergiat toodeti Saksamaal (135 TWh), Poolas (91 TWh), Itaalias (57 TWh) ning Rootsis ja Soomes 55 TWh. Eesti panustas Eurostati andmetel 6,8 TWh-ga. Kõige suurema osakaaluga soojuse tootmisel on jätkuvalt põletatavad fossiilsed kütused, mis moodustavad enam kui 97% kõikidest kütustest.

---

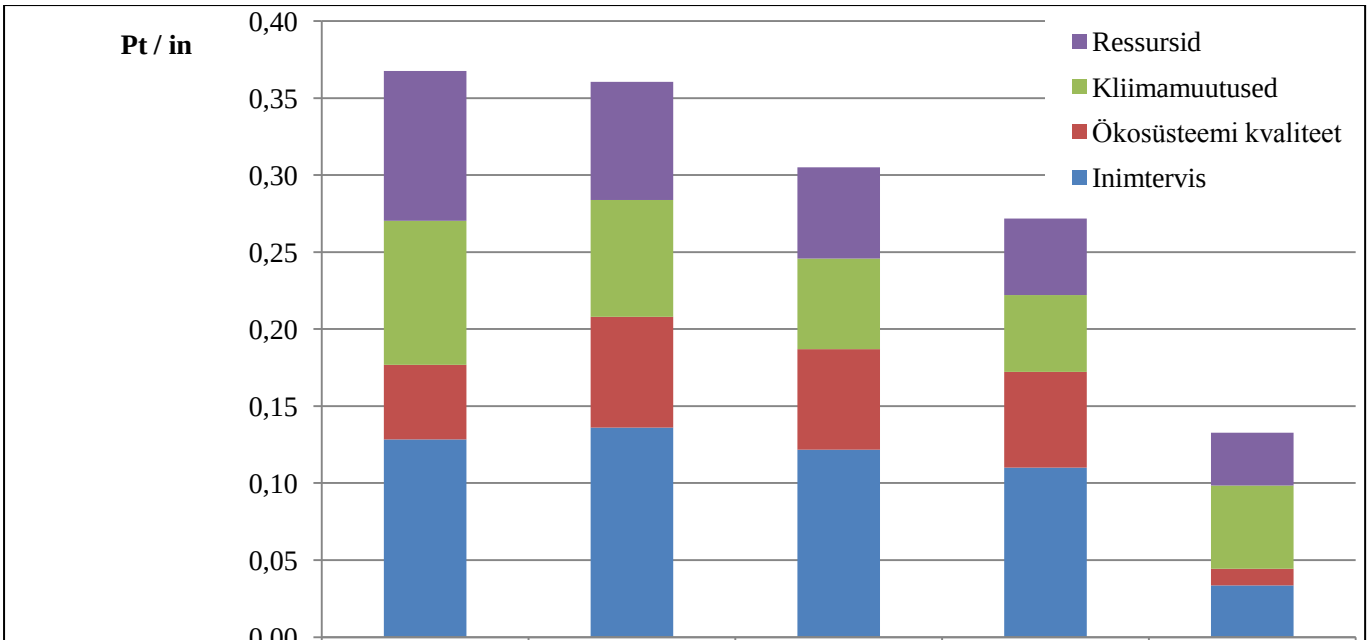
[23] Energiatalgud. Soojusmajanduse ENMAK stsenaariumid. http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Soojusmajanduse_ENMAK_stsenaariumid

[24] Vali, L. (2014) Aruanne energiamajanduse arengukava soojusmajanduse tegevuskava koostamisest. http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Soojusmajanduse_ENMAK_stsenaariumid

[25] Energiatalgud. Soojusvarustus. http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Soojusvarustus

[26] Energiatalgud. Soojusmajanduse ENMAK stsenaariumid. http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Soojusmajanduse_ENMAK_stsenaariumid

Allpool on esitatud võrdlusena esitatud toodetud ja tarbijateni edastatud kaugkütte soojuse keskkonnamõjud ühe elaniku kohta Eestis baas stsenaariumi (2012. aasta) ja erinevate stsenaariumite korral ning Euroopa Liidus keskmiselt aastal 2012. Kõige lähemal EL keskmisele on Energiaühistute stsenaarium (erinevus ca 2 korda). Eestis toodetud kaugkütte soojusel on ligi 3,6 korda suurem mõju inimtervise kahjukategooriale kui EL-is keskmiselt. Veidi suuremgi (ca 6 korda) on erinevus on ökosüsteemi kvaliteedi kahjukategoorias. Põhjustatud on see kaugkütte soojuse tootmiseks kasutatavatest kütustest: Eestis suures osas puitkütused (puiduhake).



	Baas 2012	Kaugküte 2030	Reaalne 2030	Energiaühistud 2030	EU 2012
Ressursid	0,0975	0,0767	0,0594	0,0496	0,0343
Kliimamuutused	0,0935	0,0760	0,0587	0,0499	0,0541
Ökosüsteemi kvaliteet	0,0484	0,0720	0,0652	0,0621	0,0107
Inimtervis	0,1283	0,1360	0,1218	0,1102	0,0335

Joonis 7.1. ENMAK arengustsenaariumite ja EU 2012 tulemused kaugkütte soojuse tootmise ja tarbimise kohta neljas kahjukategoorias väljendatuna üksikpunktides ühe elaniku kohta.

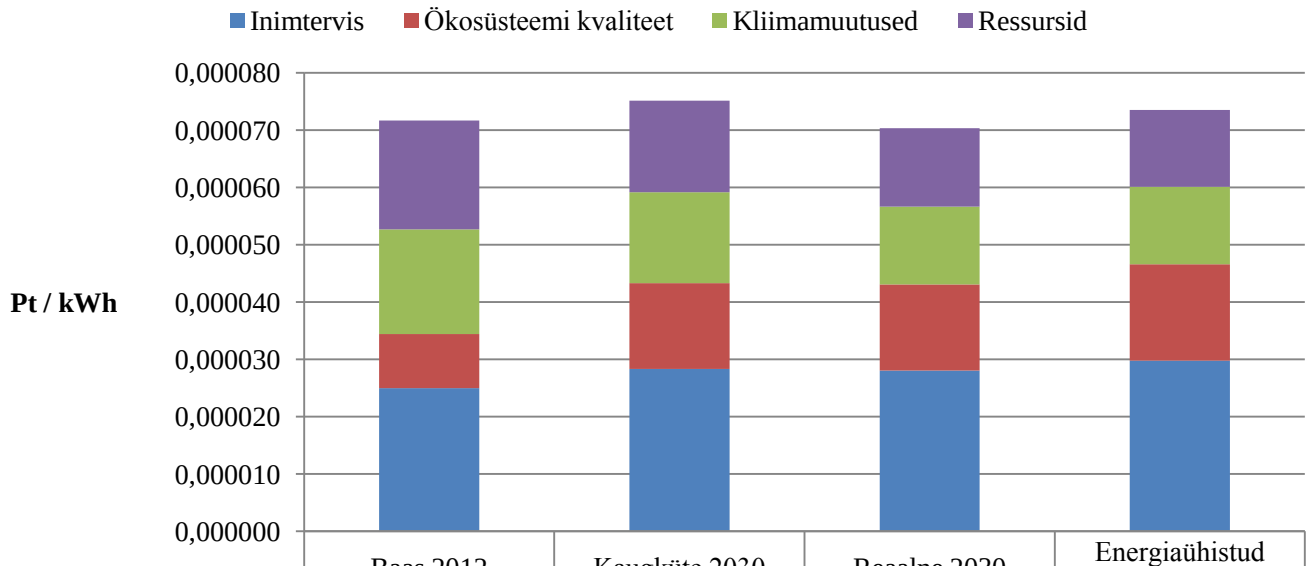
7.3 Soojusmajanduse stsenaariumite keskkonnamõju

Alljärgnevates tabelites ja joonisel 7.2 on esitatud soojusmajanduse stsenaariumite keskkonnamõjud 1 kWh toodetud soojusenergia kohta. Tabelis 7.1 on esitatud 15 mõjukategooria tulemused mõjukategooria absoluutühikutes enne teisendamist, normaliseerimist ja kaalumist. Tabelis 7.2 on tulemused juba teisendatud kahjukategooria ühikutesse.

Selleks, et kergemini mõista ja võrrelda omavahel erinevates stsenaariumites 1 kWh soojusenergia tootmise keskkonnamõjusid, on joonisel 7.2 esitatud kolme tulevikustsenaariumi ja Baas stsenaariumi keskkonnamõjud. Tulemused on esitatud kahjukategooriate kohta pärast

normaliseerimise ja kaalumise läbiviimist. Kõikidele kategooriatele on antud samaväärne olulisus summaarses keskkonnamõjude hindamises, st et kõikide kategooriate kaalumistegur on üks. Seega on stsenaariumite kahjukategooriate tulemused jagatud läbi Impact 2002+ meetodis kasutatava keskmise eurooplase poolt tekitatava kahjuga neljas kategoorias ning tulemused teisendatud üksikpunktideks kasutades kaalumistegurit üks.

Jooniselt selgub, et võrreldavate stsenaariumite summaarne keskkonnamõju ei erine oluliselt. Võrreldes Baas stsenaariumiga toimub aastaks 2030 mõningane kasv kahjukategooriates inimtervis ja ökosüsteemi kvaliteet. Kõige suurem on see stsenaariumi Energiaühistud 2030 korral. Peamiselt on see tingitud taastuvate energiaallikate (puiduhake, raiejäätmed jm) kasutuselevõtu suurenemisest ning sellest tulenevast maa hõivamise (suurenemine ca 3 korda võrreldes stsenaariumiga Baas 2012). Samal põhjusel vähenevad kahjukategooriate ressursid ja kliimamuutused panus summaarsesse keskkonnamõjusse.

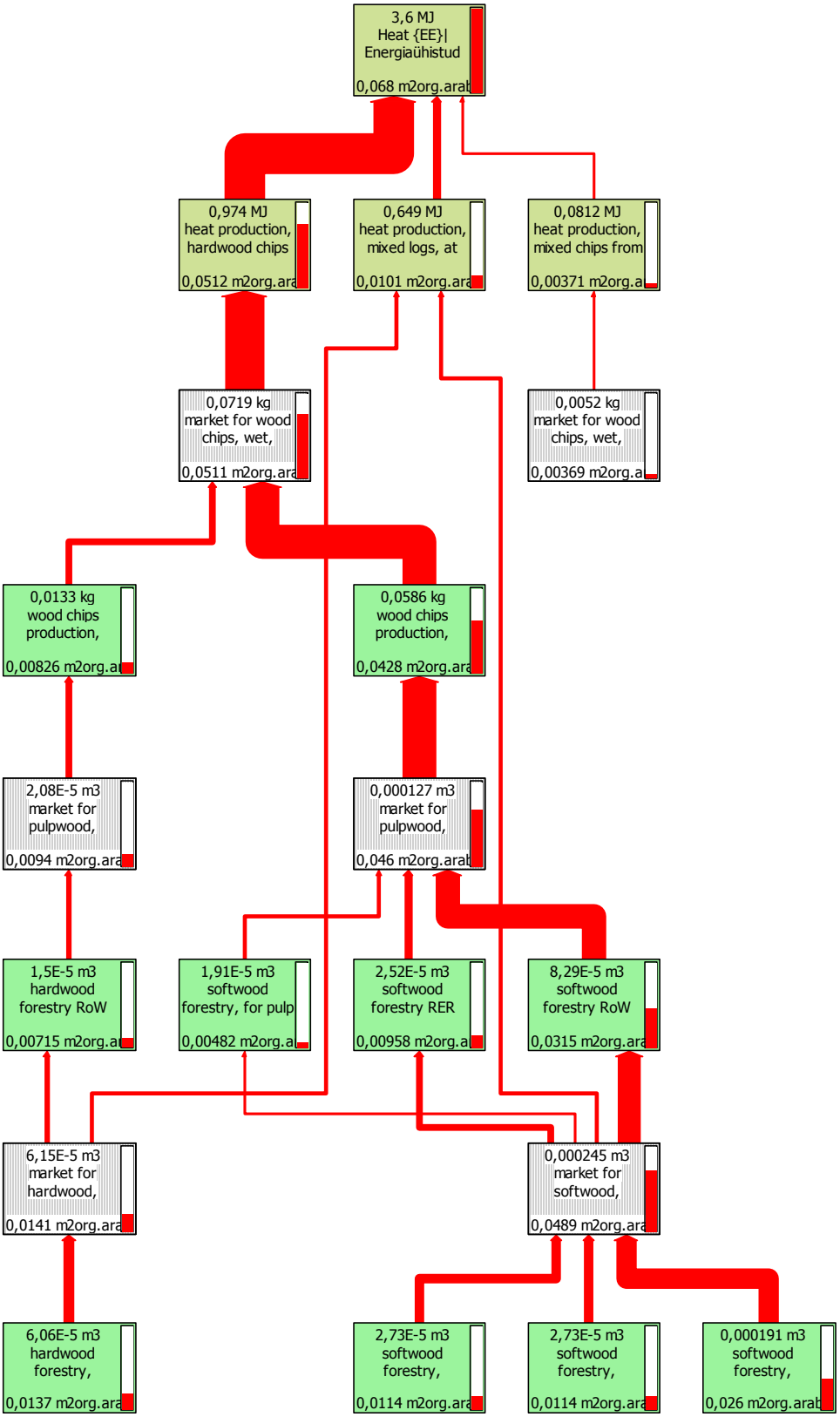


	Baas 2012	Kaugküte 2030	Reaalne 2030	Energiaühistud 2030
Ressursid	0,000019	0,000016	0,000014	0,000013
Kliimamuutused	0,000018	0,000016	0,000014	0,000013
Ökosüsteemi kvaliteet	0,000009	0,000015	0,000015	0,000017
Inimtervis	0,000025	0,000028	0,000028	0,000030

Joonis 7.2. Soojusmajanduse arengustsenaariumite keskkonnamõjud 1 kWh toodetud soojusenergia kohta. Tulemused on esitatud nelja kahjukategooria kohta üksikpunktides (Pt) pärast kahjukategooria tulemuste normaliseerimist ja kaalumist. Normaliseerimiseks on kasutatud Impact 2002+ meetodi 2000. aasta andmeid Euroopa keskmise kohta.

Kuna stsenaariumi Energiaühistud 2030 muutused on võrreldes stsenaariumiga Baas 2012 kõige suuremad, siis on alljärgneval joonisel 7.3 on esitatud stsenaariumi Energiaühistud 2030 voodiagramm maa hõivamise kohta. Joonisel on kajastatud protsessid, mis panustavad antud stsenaariumi korral enam kui 5% maa hõivamisest tulenevasse keskkonnamõjusse. Iga protsessi juures on esitatud kumulatiivne kogumõju ühikutes m^2org.arable.

Joonis 7.3. Voodiagramm stsenaariumis Energiaühistud 2030 toodetud 1 kWh soojusenergia kumulatiivsete mõjude kohta mõjukategoorias maa hõivamine (ühik: m^2org.arable). Joonisel on kajastatud vaid need protsessid, mis panustavad enam kui 5% maa hõivamise mõjukategooriasse.



Tabel 7.1. Soojusmajanduse arengustsenaariumite keskkonnamõjud 1 kWh toodetud soojusenergia kohta. Tulemused on esitatud 15 mõjukategooria kohta mõjukategooria absoluutühikutes enne kahjukategooriatesse teisendamist, normaliseerimist ja kaalumist. Samuti on eraldi välja toodud erinevus (%) võrreldes stsenaariumiga Baas 2012.

Mõjukategooria	**Ühik**	**STSENAARIUMID**							
		Baas 2012		**Kaugküte 2030**		**Reaalne 2030**		**Energiaühistud 2030**	
Kantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	0,003861	100%	0,003643	94%	0,003434	89%	0,003552	92%
Mittekantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	0,004869	100%	0,006122	126%	0,006272	129%	0,006801	140%
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	kg PM2.5 eq	0,000218	100%	0,000247	114%	0,000245	112%	0,000260	119%
Ioniseeriv kiirgus	Bq C-14 eq	0,772494	100%	0,635170	82%	0,576009	75%	0,581196	75%
Osoonikihi hõrenemine	kg CFC-11 eq	0,000000	100%	0,000000	87%	0,000000	83%	0,000000	79%
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	kg C_2H_4 eq	0,000100	100%	0,000102	101%	0,000096	96%	0,000103	103%
Ökotoksilisus veekeskkonnale	kg TEG water	38,389005	100%	49,237163	128%	49,294908	128%	53,507301	139%
Ökotoksilisus pinnasele	kg TEG soil	13,203751	100%	17,226610	130%	17,413831	132%	18,931682	143%
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	kg SO_2 eq	0,002517	100%	0,003305	131%	0,003197	127%	0,003458	137%
Maa hõivamine	m^2org.arable	0,018607	100%	0,058119	312%	0,057234	308%	0,068023	366%
Veekeskkonna hapestumine	kg SO_2 eq	0,000633	100%	0,000815	129%	0,000766	121%	0,000817	129%
Veekeskkonna eutrofeerumine	kg PO_4 P-lim	0,000065	100%	0,000043	66%	0,000031	48%	0,000034	52%
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	0,180493	100%	0,156616	87%	0,133941	74%	0,133571	74%
Taastumatud energiaallikad	MJ primary	2,884024	100%	2,424396	84%	2,078005	72%	2,034593	71%
Mineraalide kaevandamine	MJ surplus	0,002285	100%	0,002659	116%	0,002400	105%	0,002535	111%

Tabel 7.2. Soojusmajanduse võimalike arengustsenaariumite keskkonnamõjud 1 kWh toodetud soojusenergia kohta esitatuna 13 mõjukategooria kohta kahjukategooria ühikutes. Tulemused on esitatud enne normaliseerimist ja kaalumist. Samuti on välja toodud erinevus (%) võrreldes stsenaariumiga Baas 2012.

Mõjukategooria	**Ühik**	**STSENAARIUMID**							
		Baas 2012		**Kaugküte 2030**		**Reaalne 2030**		**Energiaühistud 2030**	
Kantserogeensed ühendid	DALY	$1{,}08*10^{-8}$	100%	$1{,}02*10^{-8}$	94%	$9{,}61*10^{-9}$	89%	$9{,}95*10^{-9}$	92%
Mittekantserogeensed ühendid	DALY	$1{,}36*10^{-8}$	100%	$1{,}71*10^{-8}$	126%	$1{,}76*10^{-8}$	129%	$1{,}90*10^{-8}$	140%
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	DALY	$1{,}53*10^{-7}$	100%	$1{,}73*10^{-7}$	114%	$1{,}72*10^{-7}$	112%	$1{,}82*10^{-7}$	119%
Ioniseeriv kiirgus	DALY	$1{,}62*10^{-10}$	100%	$1{,}33*10^{-10}$	82%	$1{,}21*10^{-10}$	75%	$1{,}22*10^{-10}$	75%
Osoonikihi hõrenemine	DALY	$1{,}35*10^{-11}$	100%	$1{,}17*10^{-11}$	87%	$1{,}12*10^{-11}$	83%	$1{,}07*10^{-11}$	79%
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	DALY	$2{,}14*10^{-10}$	100%	$2{,}17*10^{-10}$	101%	$2{,}05*10^{-10}$	96%	$2{,}19*10^{-10}$	103%
Ökotoksilisus veekeskkonnale	$PDF*m^2*y$	0,001927	100%	0,002472	128%	0,002475	128%	0,002686	139%
Ökotoksilisus pinnasele	$PDF*m^2*y$	0,104442	100%	0,136262	130%	0,137743	132%	0,149750	143%
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	$PDF*m^2*y$	0,002618	100%	0,003437	131%	0,003324	127%	0,003596	137%
Maa hõivamine	$PDF*m^2*y$	0,020282	100%	0,063349	312%	0,062385	308%	0,074145	366%
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	0,180493	100%	0,156616	87%	0,133941	74%	0,133571	74%
Taastumatud energiaallikad	MJ primary	2,884024	100%	2,424396	84%	2,078005	72%	2,034593	71%
Mineraalide kaevandamine	MJ primary	0,002285	100%	0,002659	116%	0,002400	105%	0,002535	111%

Järgnevates tabelites 7.3 ja 7.4 on esitatud erinevate soojusenergia tootmise stsenaariumite keskkonnamõjud kogu toodetud ja tarbijateni edastatud soojusenergia kohta. Tulemuste analüüsil tuleb arvesse võtta, et lisaks eelpool esitatud 1 kWh soojusenergia tootmisele on esitatud ka edastamisel tekkivad võrgukaod. Tabelites on tulemused esitatud kogu toodetud soojusenergia kohta. Erinevates stsenaariumites on soojusenergia kogutoodangud järgmised:

- Baas 2012 – 20,4 TWh;
- Kaugküte 2030 – 22,1 TWh;
- Reaalne 2030 – 19,5 TWh;
- Energiaühistud 2030 – 17,7 TWh.

Lisaks tabelites esitatud stsenaariumite kogumahtude mõjudele on joonisel 7.4 esitatud ka kõigi stsenaariumite tulemused ühe elaniku kohta eraldi neljas kahjukategoorias. Selle jaoks on stsenaariumite kogumahud läbi jagatud Eesti rahvaarvuga aastal 2030 ning võrdluseks lisatud stsenaariumid Baas 2012 tulemus ühe elaniku kohta ja keskmise eurooplase kohta. On oluline meeles pidada, et keskmise eurooplase mõju ei väljenda mitte soojusenergia tootmise mõju vaid ainult kaugkütte soojuse tootmise kogumõju ühe elaniku kohta.

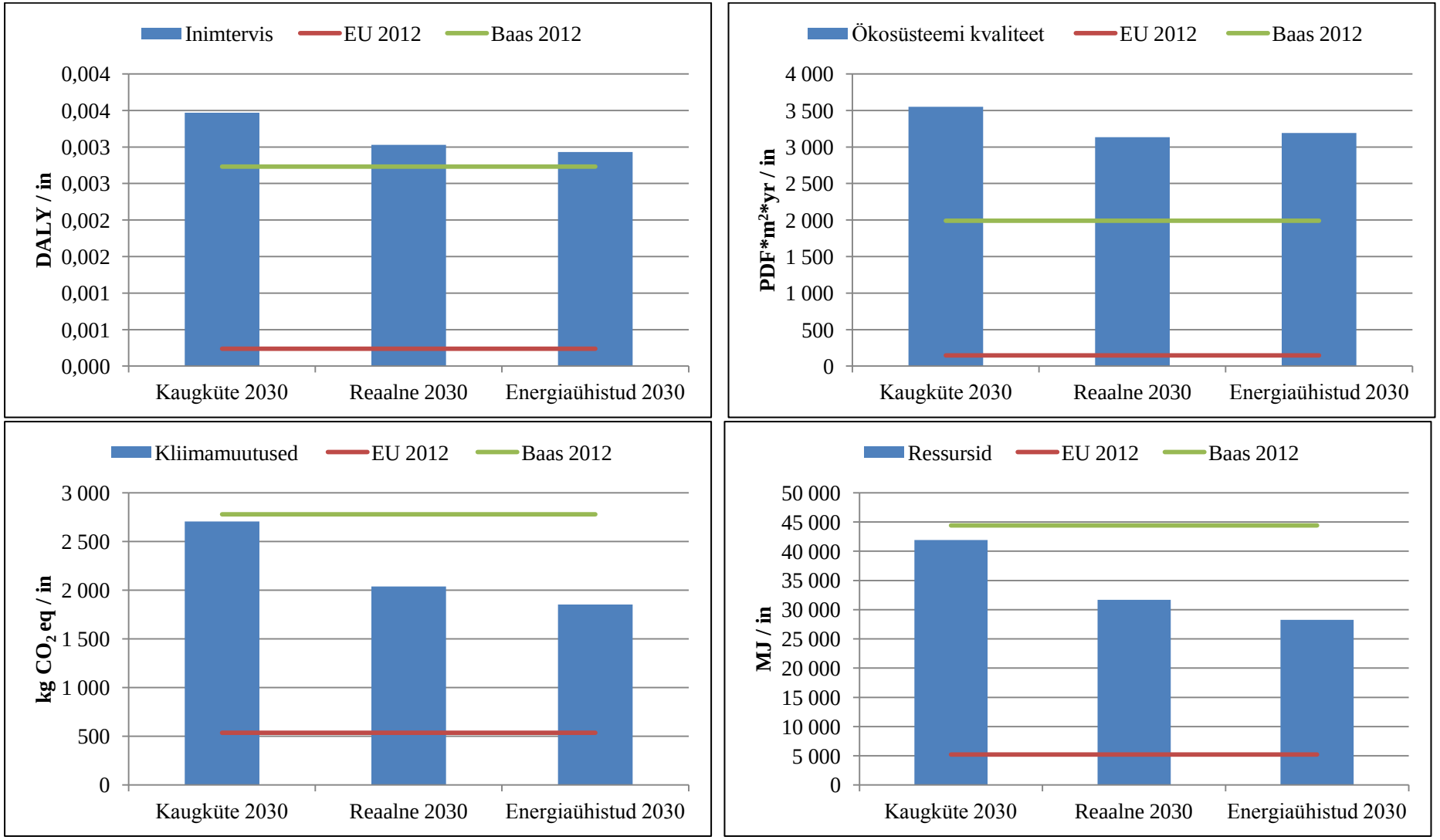
Tabel 7.3. Soojusmajanduse arengustsenaariumite keskkonnamõjud kogu toodetud soojusenergia kohta. Tabelis on esitatud tulemused 15 mõjukategooria kohta mõjukategooriate absoluutühikutes kogu soojusetoodangu kohta (k.a võrgukaod). Arvesse on võetud nii kaugküte kui ka kohtja lokaalküte. Keskkonnamõjud on arvestatud alates toorme kaevandamisest kuni soojusenergia tarbimiseni välja.

Mõjukategooria	**Ühik**	**STSENAARIUMID**			
		Baas 2012	**Kaugküte 2030**	**Reaalne 2030**	**Energiaühistud 2030**
		20,4 TWh	**22,1 TWh**	**19,5 TWh**	**17,7 TWh**
Kantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	78 773 287	80 510 900	66 897 250	63 035 020
Mittekantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	99 335 620	135 290 230	122 204 500	120 678 890
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	kg PM2.5 eq	4 444 772	5 465 284	4 773 822	4 612 267
Ioniseeriv kiirgus	Bq C-14 eq	15 759 mln	14 036 mln	11 223 mln	10 313 mln
Osoonikihi hõrenemine	kg CFC-11 eq	262	246	207	181
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	kg C_2H_4 eq	2 047 323	2 250 943	1 876 391	1 828 183
Ökotoksilisus veekeskkonnale	kg TEG water	783 136 mln	1 088 056 mln	960 435 mln	949 454 mln
Ökotoksilisus pinnasele	kg TEG soil	269 357 mln	380 678 mln	339 281 mln	335 931 mln
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	kg SO_2 eq	51 349 508	73 034 001	62 280 049	61 359 718
Maa hõivamine	m^2org.arable	380 mln	1 284 mln	1 115 mln	1 207 mln
Veekeskkonna hapestumine	kg SO_2 eq	12 910 971	18 013 828	14 930 388	14 496 981
Veekeskkonna eutrofeerumine	kg PO_4 P-lim	1 325 115	948 951	611 771	599 248
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	3 682 mln	3 461 mln	2 610 mln	2 370 mln
Taastumatud energiaallikad	MJ primary	58 834 mln	53 575 mln	40 487 mln	36 103 mln
Mineraalide kaevandamine	MJ surplus	46 611 351	58 763 183	46 756 316	44 987 104

Tabel 7.4. Soojusmajanduse arengustsenaariumite keskkonnamõjud kogu toodetud ja lõpptarbijateni edastatud soojusenergia kohta. Tabelis on esitatud tulemused 13 mõjukategooria kohta teisendatuna kahjukategooria absoluutühikutesse enne tulemuste normaliseerimist ja kaalumist. Arvesse on võetud nii kaugküte kui ka koht- ja lokaalküte. Keskkonnamõjud on arvestatud alates toorme kaevandamisest kuni soojusenergia tarbimiseni välja (k.a võrgukaod kaugküttevõrkudes).

Mõjukategooria	**Ühik**	**STSENAARIUMID**			
		Baas 2012	**Kaugküte 2030**	**Reaalne 2030**	**Energiaühistud 2030**
		20,4 TWh	**22,1 TWh**	**19,5 TWh**	**17,7 TWh**
Kantserogeensed ühendid	DALY	220,57	225,43	187,31	176,50
Mittekantserogeensed ühendid	DALY	278,14	378,81	342,17	337,90
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	DALY	3 111,34	3 825,70	3 341,68	3 228,59
Ioniseeriv kiirgus	DALY	3,31	2,95	2,36	2,17
Osoonikihi hõrenemine	DALY	0,27	0,26	0,22	0,19
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	DALY	4,36	4,79	4,00	3,89
Ökotoksilisus veekeskkonnale	PDF*m^2*y	39 313 412	54 620 417	48 213 824	47 662 598
Ökotoksilisus pinnasele	PDF*m^2*y	2 131 mln	3 011 mln	2 684 mln	2 657 mln
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	PDF*m^2*y	53 403 489	75 955 361	64 771 250	63 814 107
Maa hõivamine	PDF*m^2*y	414 mln	1 400 mln	1 215 mln	1 316 mln
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	3 682 mln	3 461 mln	2 610 mln	2 370 mln
Taastumatud energiaallikad	MJ primary	58 834 mln	53 575 mln	40 487 mln	36 103 mln
Mineraalide kaevandamine	MJ primary	46 611 351	58 763 183	46 756 316	44 987 104

Joonis 7.4. Soojusmajanduse arengustsenaariumite keskkonnamõjud ühe elaniku kohta võrdluses stsenaariumiga Baas 2012 ning EL-i kaugkütte soojuse tootmise mõjuga ühe elaniku kohta. Tulemused on esitatud eraldi 4 kahjukategooria kohta.



8. TRANSPORDISEKTOR

Transpordisektoris analüüsiti keskkonnamõjusid kolmes erinevas stsenaariumis: 1) Mittesekkuv (MS), 2) Vähesekkuv (VS) ning 3) Teadmistepõhine (TP). Stsenaariumite eesmärgid, algeeldused, meetmete ja tegevuste detailne kirjeldus ning arvutustulemused on esitatud vastaval Energiatalgud internetileheküljel[27] ning töödokumendis „ENMAK 2030 transpordivaldkonna stsenaariumite aruanne"[28]. Lisaks nendele modelleeritavatele tuleviku-stsenaariumitele esitatakse keskkonnamõju hindamise olulisemad tulemused ka stsenaariumile Baas 2010 ning EU 2012.

8.1 Lähteolukord ja eeldused

Stsenaariumite modelleerimisel võeti arvesse nii reisija-kilomeetrite kui ka tonn-kilomeetrite jagunemine erinevate transpordivahendite lõikes, kütuste kasutamise osakaalud nii kaubaveo kui ka reisijateveo korral ning ka sõidukite energiatõhususe näitajad. Selle tulemusena modelleeriti esialgu stsenaariumid kaubaveole ja reisijateveole eraldi ning seejärel ühendati need kogumahtusid kasutades üheks stsenaariumiks, mis sisaldab nii reisijate- kui kaubavedu prognoositud mahus.

Stsenaariumite modelleerimise lähtepunktiks on 2010. aasta ning seda nimetatakse edaspidi tabelites ja joonistel kui stsenaarium Baas 2010. Aastal 2010 kasutati Eesti transpordisektoris peamiselt fossiilseid kütuseid – 5,32 TWh (s.o 64,1% kogu transpordisektori energiatarbest) diislikütust ja 2,92 TWh (35,1%) bensiini. Lisaks sellele kasutati transpordisektoris 0,06 TWh elektrit, see moodustab vaid 0,8% kogu transpordisektori energiatarbest. Biokütuseid transpordisektoris ei kasutatud.

Aastaks 2030 prognoositakse, et biokütuste tarbimine kasvab Mittesekkuva stsenaariumi korral vähemalt 1,18 TWh-ni. Vähesekkuvas ja teadmistepõhises stsenaariumis on vastavad näitajad 1,73 TWh ja 2,12 TWh. Samuti suureneb elektri kasutus transpordis: Mittesekkuva stsenaariumi korral nähakse ette selle suurenemist 0,11 TWh-ni, Teadmistepõhises stsenaariumis juba kuni 0,30 TWh-ni. Kõige suurem on energiatarbimise kasv (ca 60%) Mittesekkuva stsenaariumi realiseerumise korral. Peamiselt on see tingitud autostumisest, transpordinõudluse üldise kasvust ja ka maanteevedude suurenemisest. Vähesekkuva stsenaariumi korral on transpordi energiatarbimise kasv ligi poole väiksem, kuid kasvu ei suudeta siiski veel pidurdada. Teadmistepõhise stsenaariumi rakendumisel suudetakse meetmete ulatuslikuma rakendamise abil kasv peatada ning juba alates 2016–2017. aastast võib täheldada energiatarbimise vähenemist. Kõige ulatuslikum vähenemine tuleneb fossiil-

[27] Energiatalgud. Transpordi ENMAK stsenaariumid. http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Transpordi_ENMAK_stsenaariumid

[28] Jüssi, M., Rannala, M. (2014) ENMAK 2030+. Transpordi ja liikuvuse stsenaariumid. http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/4/4d/ENMAK_2030%2B_Transpordi_ja_liikuvuse_stsenaariumid.pdf

kütuste tarbimise vähenemisest ja biometaani laialdasemast kasutuselevõtust.[29] Ülevaate annab allpool esitatud kokkuvõtlik tabel.

Tabel 8.1. Transpordisektori energia tarbimine modelleeritavates ENMAK stsenaariumites aastal 2030 ja stsenaariumis Baas 2010. Ühik TWh. MS – Mittesekkuv stsenaarium; VS – Vähesekkuv stsenaarium; TP – Teadmistepõhine stsenaarium.

Kütus	Baas 2010	MS 2030	VS 2030	TP 2030
Elekter, TWh	0,06	0,11	0,13	0,30
Bensiin, TWh	2,92	4,05	3,01	1,37
Diisel, TWh	5,32	7,53	5,48	3,56
Maagaas, TWh	0	0,42	0,79	0,78
Etanool, TWh	0	0,34	0,30	0,46
Biodiisel, TWh	0	0,85	0,03	0
Biometaan, TWh	0	0	1,39	1,67
KOKKU, TWh	**8,30**	**13,30**	**11,14**	**8,13**

8.2 Euroopa transpordisektori keskkonnamõju

Euroopa transpordisektori keskkonnamõjude modelleerimiseks kasutati Eurostat andmebaasist reisijate- ja kaubaveo ning rahvastikuarvu andmeid 2012. aasta kohta. Arvesse võeti kõigi 28 liikmesriigi (EU 28) transpordisektori energia lõpptarbimise andmeid kui ka erinevate transpordiviiside osakaalusid kogu transpordisektori energiatarbimisest.

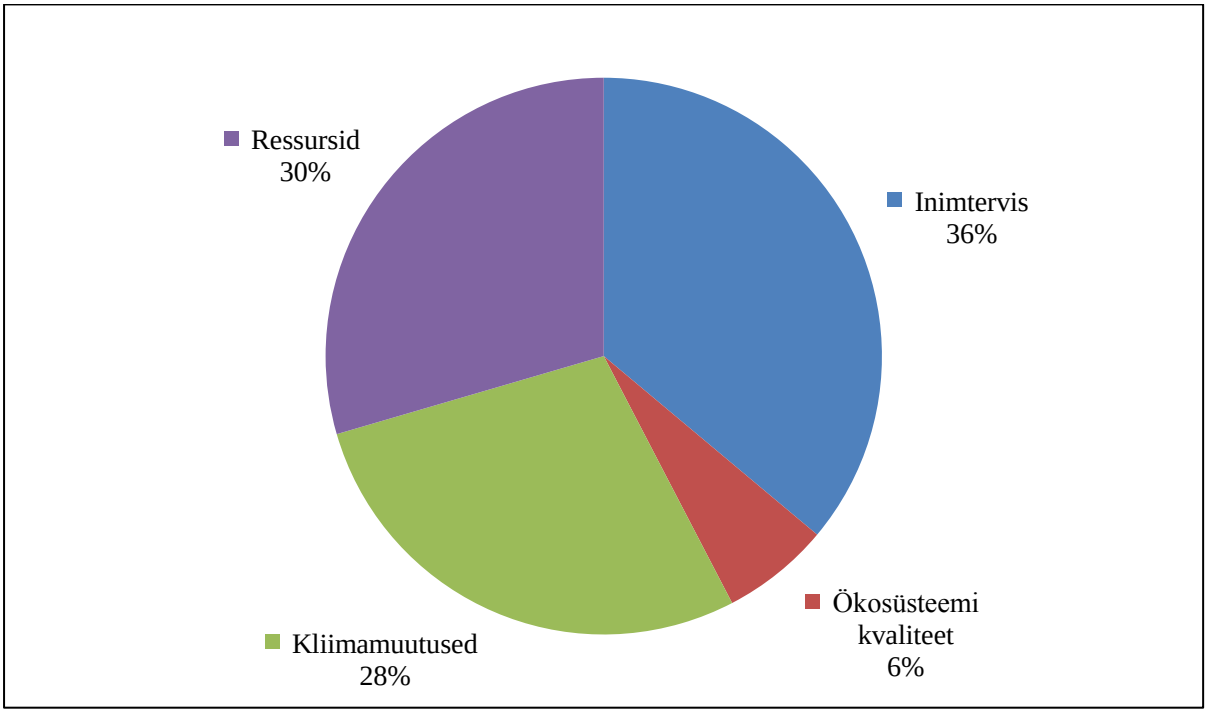
EU 28 transpordisektori kogu energiatarbimine oli 2012. aastal 14 725 716 TJ ehk 4090 TWh. Sellest suurema osa moodustasid erinevad naftasaadused nagu diislikütus ja bensiin (kokku 3 824 TWh ja 93,5%). Taastuvate energiaallikate osakaal oli 4,2% (170 TWh) ja elektri osakaal 1,6% (64 TWh). Sellest lähtuvalt on EU 28 transpordisektori kogumõju peamiselt sõltuv fossiilsete transpordikütuste tarbimismahust, mida omakorda mõjutavad inimeste harjumused ja peamised liikumisviisid ning sõidukite tehnoloogia. Aastal 2012 on EU 28 transpordisektori kogumõju 136 mln Pt. Ühe elaniku kohta teeb see 0,2695 Pt/in.

Alljärgneval joonisel on esitatud nelja kahjukategooria osakaalud transpordisektori kogumõjust võttes arvesse Impact 2002+ meetodis kasutatavaid normaliseerimise faktoreid ja kaalumistegureid. Selgub, et transpordisektori kõige suurem mõju avaldub inimtervisele (384 450 DALY-t ja 36% kogumõjust). Märkimisväärsed on ka mõju ressursside kasutamisele (6 109 mld MJ primary) ja kliimamuutustele (379 mld kg CO_2 eq), moodustades vastavalt 30% ja 28% transpordisektori kogumõjust.

Euroopa transpordisektori 2012. a keskmised näitajad on esitatud võrdluseks ka joonisel 8.3 (joonisel tähistatud EU 2012), kus tulemused on esitatud eraldi joonistel neljas kahju-

[29] Jüssi, M., Rannala, M. (2014) ENMAK 2030+. Transpordi ja liikuvuse stsenaariumid. http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/4/4d/ENMAK_2030%2B_Transpordi_ja_liikuvuse_stsenaariumid.pdf

kategoorias ning ühe elaniku kohta. Seejuures on EU 28 korral kasutatud 2012. aasta elanike arvuna 505 128 736 ning Eesti elanike arvuna 1 333 290 aastal 2010 ja 1 279 865 aastal 2030.

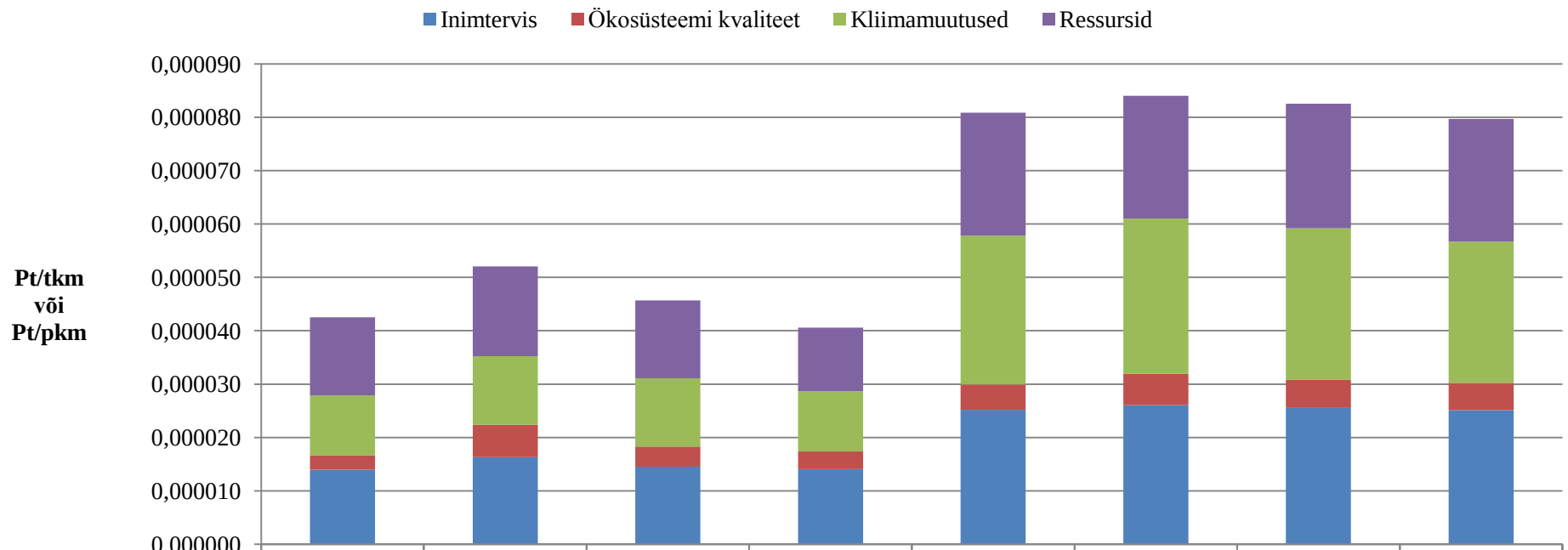


Joonis 8.1. Euroopa transpordisektori keskkonnamõjud aastal 2012. Tulemused on esitatud osakaaludena neljas kahjukategoorias. Selle leidmiseks modelleeriti Euroopa liikmesriikide kauba- ja reisijatevedu 2012. aastal, viidi läbi mõjude hindamine ning nelja kahjukategooria tulemuste normaliseerimine ja kaalumine meetodiga Impact 2002+.

8.3 Transpordisektori stsenaariumite keskkonnamõju

Alljärgneval joonisel 8.2 on esitatud ühe tonn-kilomeetri ja ühe reisija-kilomeetri keskkonnamõjud. Tulemused on esitatud kahjukategooriate kohta pärast normaliseerimise ja kaalumise läbiviimist. Kõikidele kategooriatele on antud samaväärne olulisus summaarses keskkonnamõjude hindamises, st et kõikide kategooriate kaalumistegur on üks. Seega on kaubaveo ja reisijateveo kahjukategooriate tulemused jagatud läbi Impact 2002+ meetodis kasutatava keskmise eurooplase poolt tekitatava kahjuga neljas kategoorias ning tulemused teisendatud üksikpunktideks kasutades kaalumistegurit üks.

Kuigi ühte ühikut kaubavedu ja reisijatevedu ei saa omavahel võrrelda, on siiski märkimisväärne, et ühe reisija transport on oluliselt suurema keskkonnamõjuga tegevus kui ühe tonni kauba vedamine sama vahemaa kaugusele. Kõige suuremad erinevused tulevad esile kliimamuutuste mõjukategoorias, kuid oluline on ka mõju inimtervisele. Peamiseks põhjuseks on sõiduautode suur kasutus ja vähene täituvus võrreldes muude transpordiviisidega ning mõju avaldumise kontsentreerumine linnadesse.



	Kaubavedu				Reisijatevedu			
	Baas 2010	MS 2030	VS 2030	TP 2030	Baas 2010	MS 2030	VS 2030	TP 2030
Ressursid	0,000014636	0,000016838	0,000014599	0,000011922	0,000023076	0,000022961	0,000023354	0,000023004
Kliimamuutused	0,000011264	0,000012853	0,000012763	0,000011278	0,000027885	0,000029160	0,000028439	0,000026498
Ökosüsteemi kvaliteet	0,000002653	0,000006070	0,000003793	0,000003291	0,000004766	0,000005832	0,000005226	0,000005093
Inimtervis	0,000013950	0,000016291	0,000014527	0,000014073	0,000025163	0,000026063	0,000025553	0,000025112

Joonis 8.2. Transpordisektori arengustsenaariumite keskkonnamõju hindamise tulemused ühe ühiku kohta. Tulemused on esitatud nelja kahjukategooria kohta üksikpunktides (Pt) ning on normaliseeritud ja kaalutud. Reisijateveo korral on tulemused esitatud ühiku 1 reisija–kilomeeter (pkm) ning kaubaveo korral 1 tonn–kilomeeter (tkm) kohta. MS – Mittesekkuv stsenaarium; VS – Vähesekkuv stsenaarium; TP – Teadmistepõhine stsenaarium.

Järgnevates tabelites 8.1 ja 8.2 on esitatud transpordisektori stsenaariumite keskkonnamõjud sektori kogumahu kohta. Tabelis 8.1 on keskkonnamõjud esitatud 15 mõjukategooria kohta ning tabelis 8.2 teisendatuna kahjukategooria ühikutesse. Selle jaoks on ühte stsenaariumisse lisatud prognoositud mahus kaubavedu ja reisijatevedu. Erinevates stsenaariumites on veomahud erinevad ning seetõttu on allpool esitatud ülevaatlikud andmed stsenaariumite veomahtude kohta:

- Baas 2010 – 29 886 TJ (reisijatevedu 12 527 mln pkm + kaubavedu 11 638 mln tkm);
- Mittesekkuv 2030 – 47 865 TJ (17 859 mln pkm + 15 659 mln tkm);
- Teadmistepõhine 2030 – 29 253 TJ (15 043 mln pkm + 13 914 mln tkm);
- Vähesekkuv 2030 – 40 097 TJ (16 932 mln pkm + 14 876 mln tkm).

Lisaks tabelites esitatud stsenaariumite kogumahtude mõjudele on joonisel 8.3 esitatud ka kõigi stsenaariumite mõju hindamise tulemused ühe elaniku kohta neljas kahjukategoorias. Selle jaoks on stsenaariumite kogumahud läbi jagatud Eesti rahvaarvuga aastal 2030 ning võrdluseks lisatud Baas 2010 tulemus ühe elaniku kohta ja Euroopa transpordisektori kogumõju ühe elaniku kohta aastal 2012 (EU 2012).

Kõigis neljas kahjukategoorias ületab Eesti oma näitajatega Euroopa 2012. aasta keskmiseid näitajaid. Selline erinevus võib olla tingitud andmete mittetäielikkusest Eurostat andmebaasis. Näiteks ei ole seal esitatud kõikide liikmesriikide kohta sõitjakäibe andmeid erinevate transpordiliikide kaupa ega ka detailset kütuste kasutamise jagunemist transpordiliikide vahel. Üldise võrdluse loomiseks on aga andmed piisavad ning seega võib öelda, et Eestil on veel pikk tee transpordisektori efektiivsemaks muutmisel.

Kui joonisel 8.2 esitatud tulemustest selgus, et kõige väiksem mõju avaldub Teadmistepõhise stsenaariumi rakendumisel, siis pärast stsenaariumite kogumahtudega arvestamist erinevus stsenaariumite vahel veelgi suureneb. TP 2030 realiseerumisel on märkimisväärselt väiksem mõju kõikides kahjukategooriates kui näiteks MS 2030 stsenaariumis. Kokkuvõtlikult esitatuna on TP 2030 stsenaariumi kogumõjud 4 068 DALY-t, 1 677 mln PDF*m^2*yr, 5 500 mln kg CO_2 eq ning 78 mld MJ vastavalt inimtervise, ökosüsteemi kvaliteedi, kliimamuutuste ja ressursside kahjukategoorias. MS 2030 stsenaariumi korral on vastavad näitajad 5 110 DALY-t, 2 729 mln PDF*m^2*yr, 7 149 mln kg CO_2 eq ning 102 mld MJ, Vähesekkuvas stsenaariumis aga 4 601 DALY-t, 1 985 mln PDF*m^2*yr, 6 647 mln kg CO_2 eq ja 93 mld MJ.

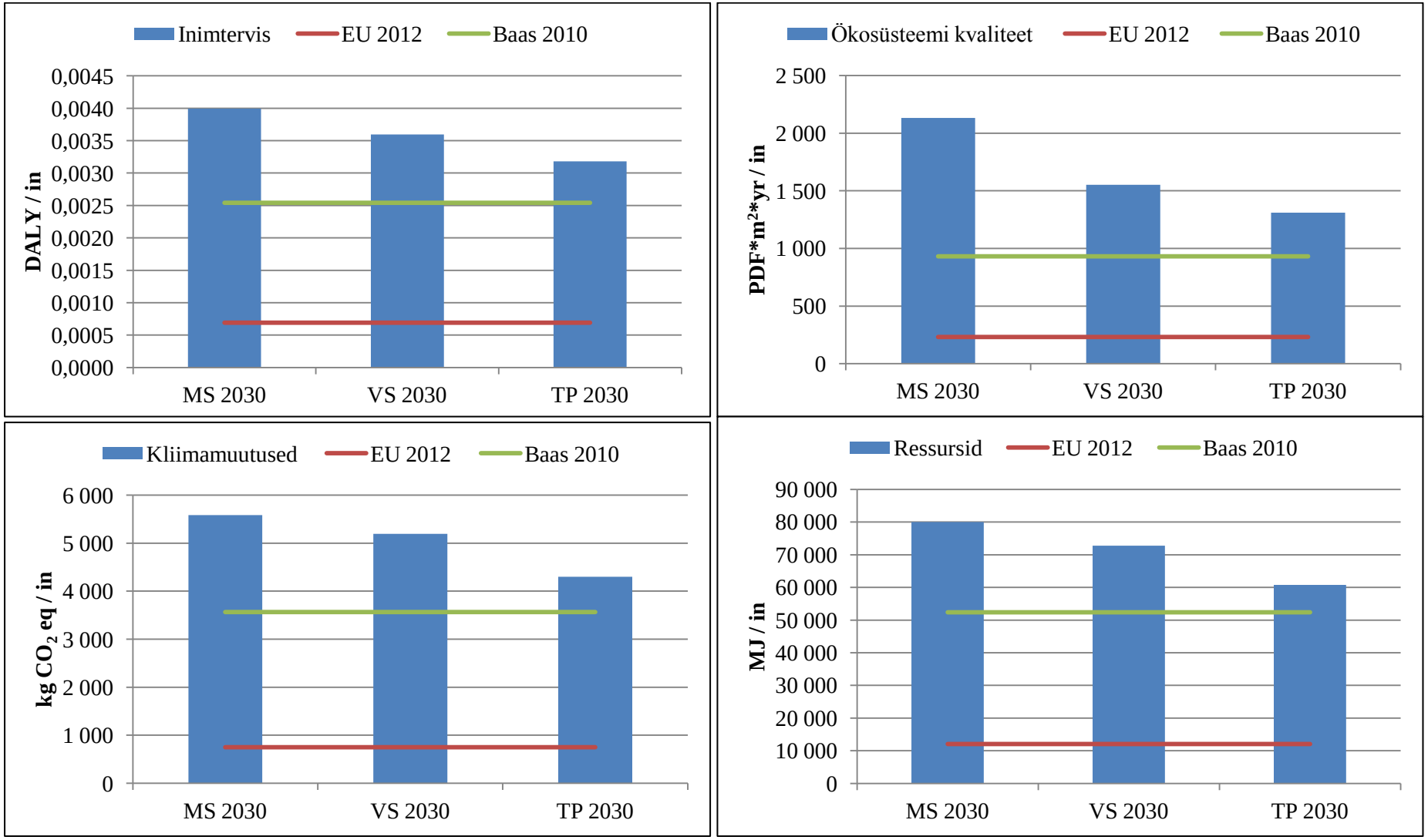
Tabel 8.1. Transpordisektori arengustsenaariumite keskkonnamõjud esitatuna kogu reisijate- ja kaubaveo mahu kohta. Tulemused on esitatud 15 mõjukategooria kohta mõjukategooria absoluutühikutes enne tulemuste normaliseerimist ja kaalumist.

Mõjukategooria	**Ühik**	**STSENAARIUMID**			
		Baas 2010	**Mittesekkuv 2030**	**Vähesekkuv 2030**	**Teadmistepõhine 2030**
		8,30 TWh	**13,30 TWh**	**11,14 TWh**	**8,13 TWh**
Kantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	188 222 560	271 867 330	229 762 140	160 119 190
Mittekantserogeensed ühendid	kg C_2H_3Cl eq	87 864 871	150 809 830	126 620 110	110 071 470
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	kg PM2.5 eq	3 711 171	5 575 581	5 117 177	4 705 089
Ioniseeriv kiirgus	Bq C-14 eq	37 043 mln	55 715 mln	49 845 mln	42 665 mln
Osoonikihi hõrenemine	kg CFC-11 eq	325	502	534	501
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	kg C_2H_4 eq	3 748 945	5 500 961	4 830 873	3 946 613
Ökotoksilisus veekeskkonnale	kg TEG water	349 709 mln	567 316 mln	505 101 mln	433 176 mln
Ökotoksilisus pinnasele	kg TEG soil	123 795 mln	230 094 mln	175 912 mln	141 357 mln
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	kg SO_2 eq	85 148 786	130 566 380	115 974 390	107 095 820
Maa hõivamine	m^2org.arable	142 606 390	682 959 570	410 713 860	390 439 900
Veekeskkonna hapestumine	kg SO_2 eq	17 745 806	27 342 561	24 781 937	22 773 260
Veekeskkonna eutrofeerumine	kg PO_4 P-lim	674 038	1 148 392	1 137 695	1 072 139
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	4 756 mln	7 149 mln	6 647 mln	5 500 mln
Taastumatud energiaallikad	MJ primary	69 456 mln	101 841 mln	92 588 mln	77 355 mln
Mineraalide kaevandamine	MJ surplus	363 737 640	548 191 630	513 068 470	446 868 740

Tabel 8.2. Transpordisektori arengustsenaariumite keskkonnamõjud esitatuna kogu reisijate- ja kaubaveo mahu kohta. Tulemused on esitatud 13 mõjukategooria kohta kahjukategooriate absoluutühikutes enne tulemuste normaliseerimist ja kaalumist.

Mõjukategooria	**Ühik**	**STSENAARIUMID**			
		Baas 2010	**Mittesekkuv 2030**	**Vähesekkuv 2030**	**Teadmistepõhine 2030**
		8,30 TWh	**13,30 TWh**	**11,14 TWh**	**8,13 TWh**
Kantserogeensed ühendid	DALY	527,02	761,23	643,33	448,33
Mittekantserogeensed ühendid	DALY	246,02	422,27	354,54	308,20
Hingamisteid kahjustavad anorgaanilised ühendid	DALY	2 597,82	3 902,91	3 582,02	3 293,56
Ioniseeriv kiirgus	DALY	7,7790	11,7002	10,4675	8,9597
Osoonikihi hõrenemine	DALY	0,3409	0,5268	0,5610	0,5264
Hingamisteid kahjustavad orgaanilised ühendid	DALY	7,9853	11,7170	10,2898	8,4063
Ökotoksilisus veekeskkonnale	PDF*m^2*y	17 555 383	28 479 243	25 356 067	21 745 459
Ökotoksilisus pinnasele	PDF*m^2*y	979 mln	1 820 mln	1 391 mln	1 118 mln
Pinnase hapestumine / toitainetega rikastamine	PDF*m^2*y	88 554 738	135 789 030	120 613 370	111 379 660
Maa hõivamine	PDF*m^2*y	155 440 960	744 425 930	447 678 100	425 579 490
Globaalne soojenemine	kg CO_2 eq	4 756 mln	7 149 mln	6 647 mln	5 500 mln
Taastumatud energiaallikad	MJ primary	69 456 mln	101 841 mln	92 588 mln	77 355 mln
Mineraalide kaevandamine	MJ primary	363 737 640	548 191 630	513 068 470	446 868 740

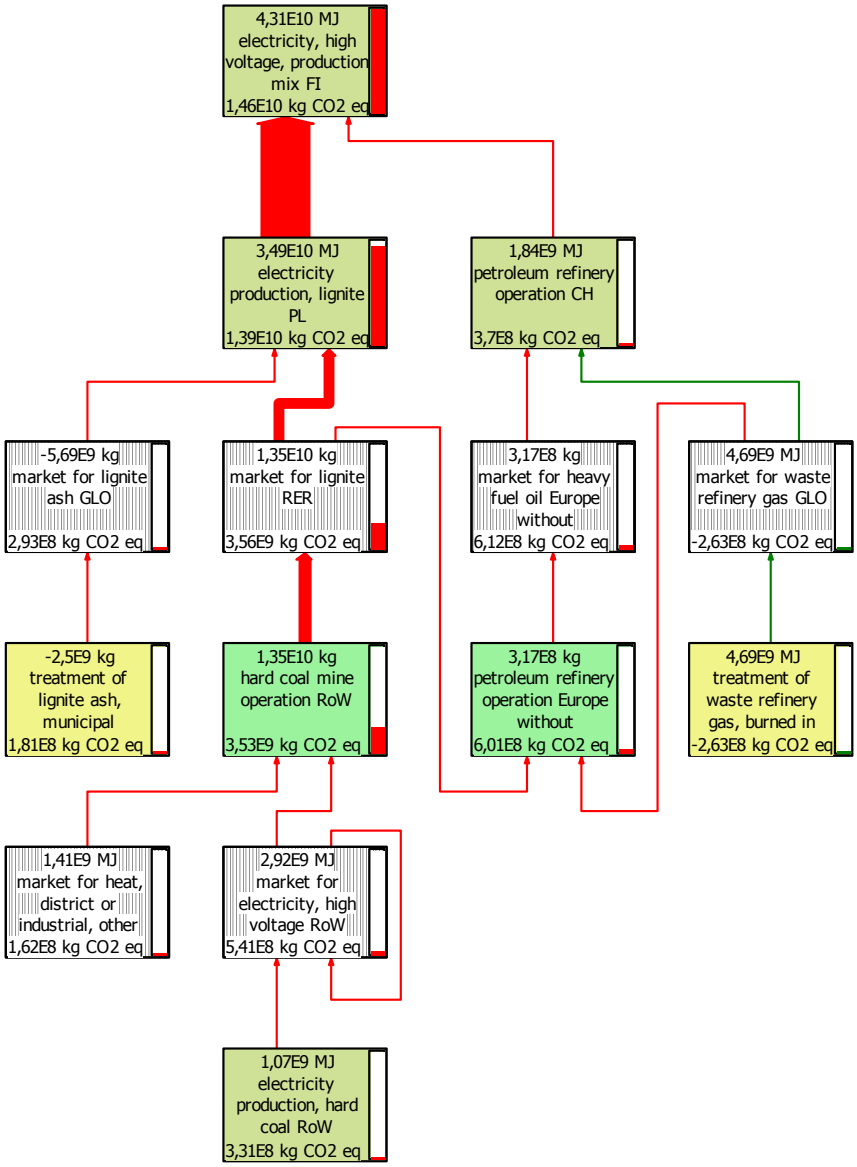
Joonis 8.3. Transpordisektori arengustsenaariumite keskkonnamõjud ühe elaniku kohta võrdluses stsenaariumiga Baas 2010 ning EU 2012. Tulemused on esitatud eraldi joonistel 4 kahjukategooria kohta. MS – Mittesekkuv, VA – Vähesekkuv, TP – Teadmistepõhine.



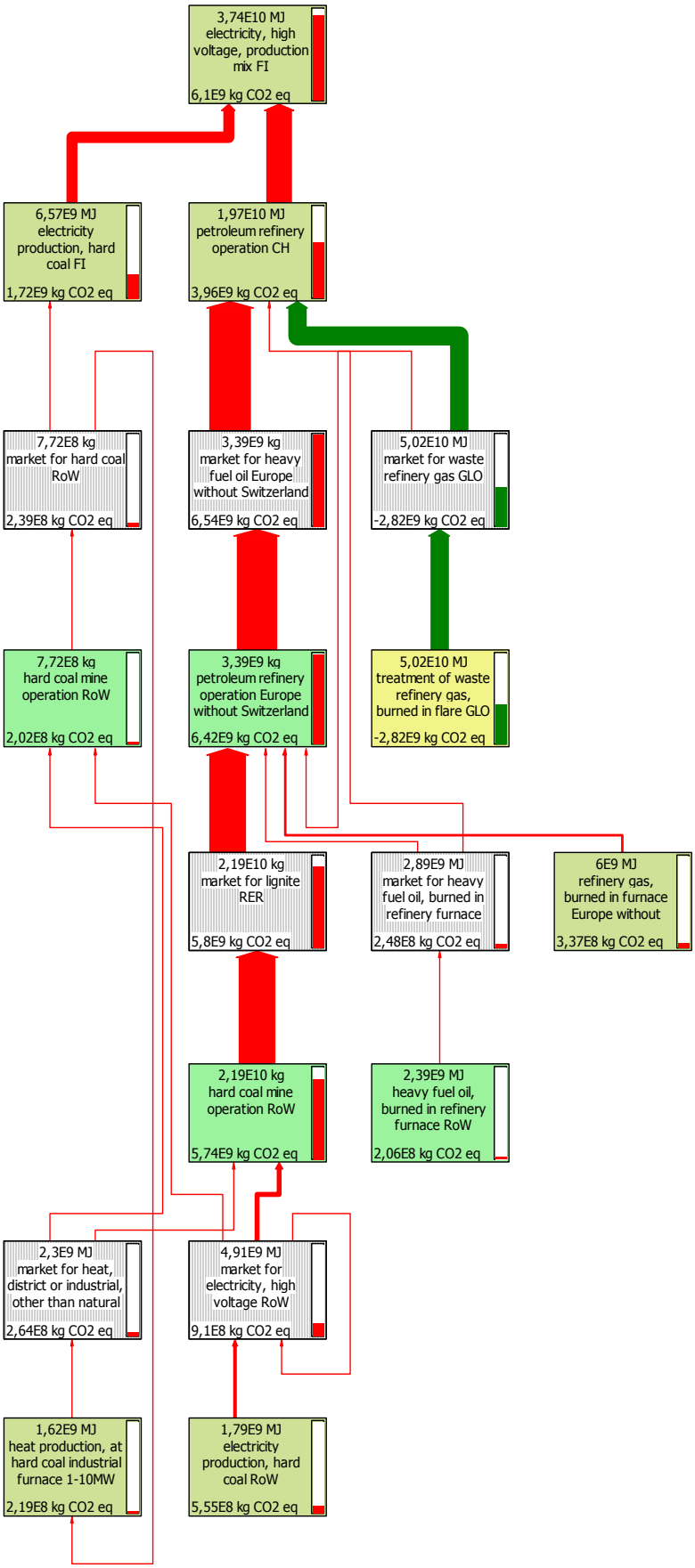
9. LISAD

9.1 Lisa 1. Stsenaariumite voodiagrammid

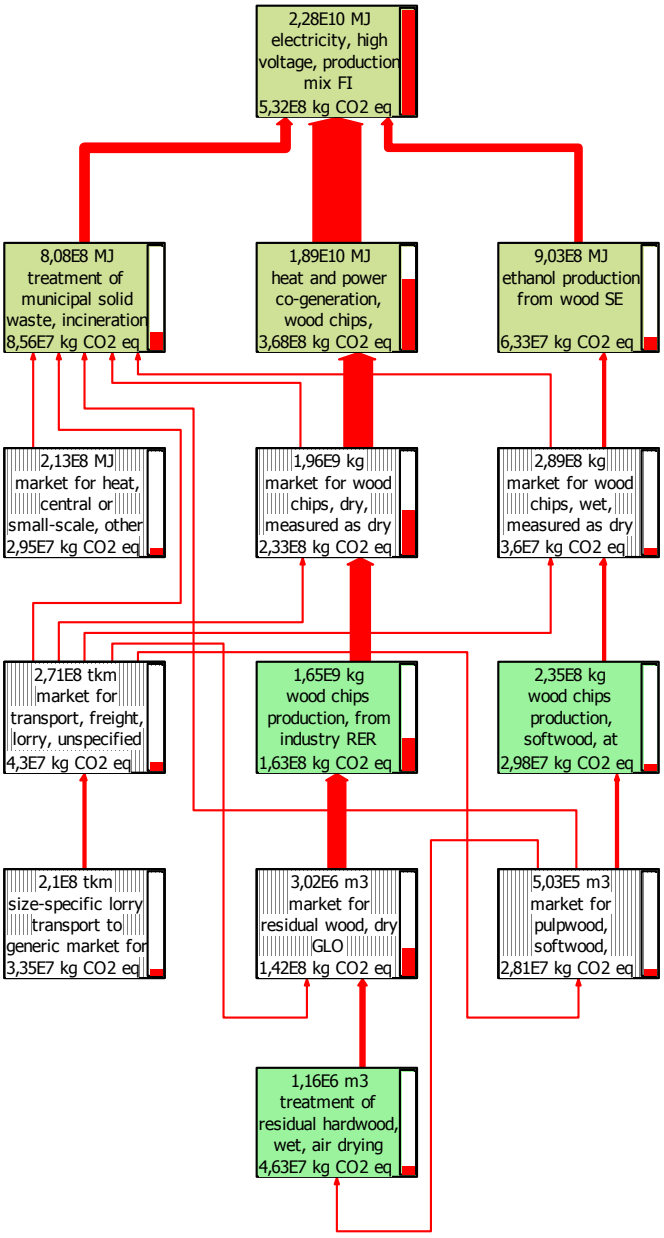
Joonis 9.1. Elektrimajanduse Baas 2012 stsenaariumi 11,97 TWh elektri tootmise keskkonnamõjude voodiagramm kliimamuutuste kahjukategooria kohta (ilma võrgukadudeta). Joonisel on esitatud vaid need protsessid, mille osakaal kogu elektri tootmise mõjust kliimamuutustele on >1%.



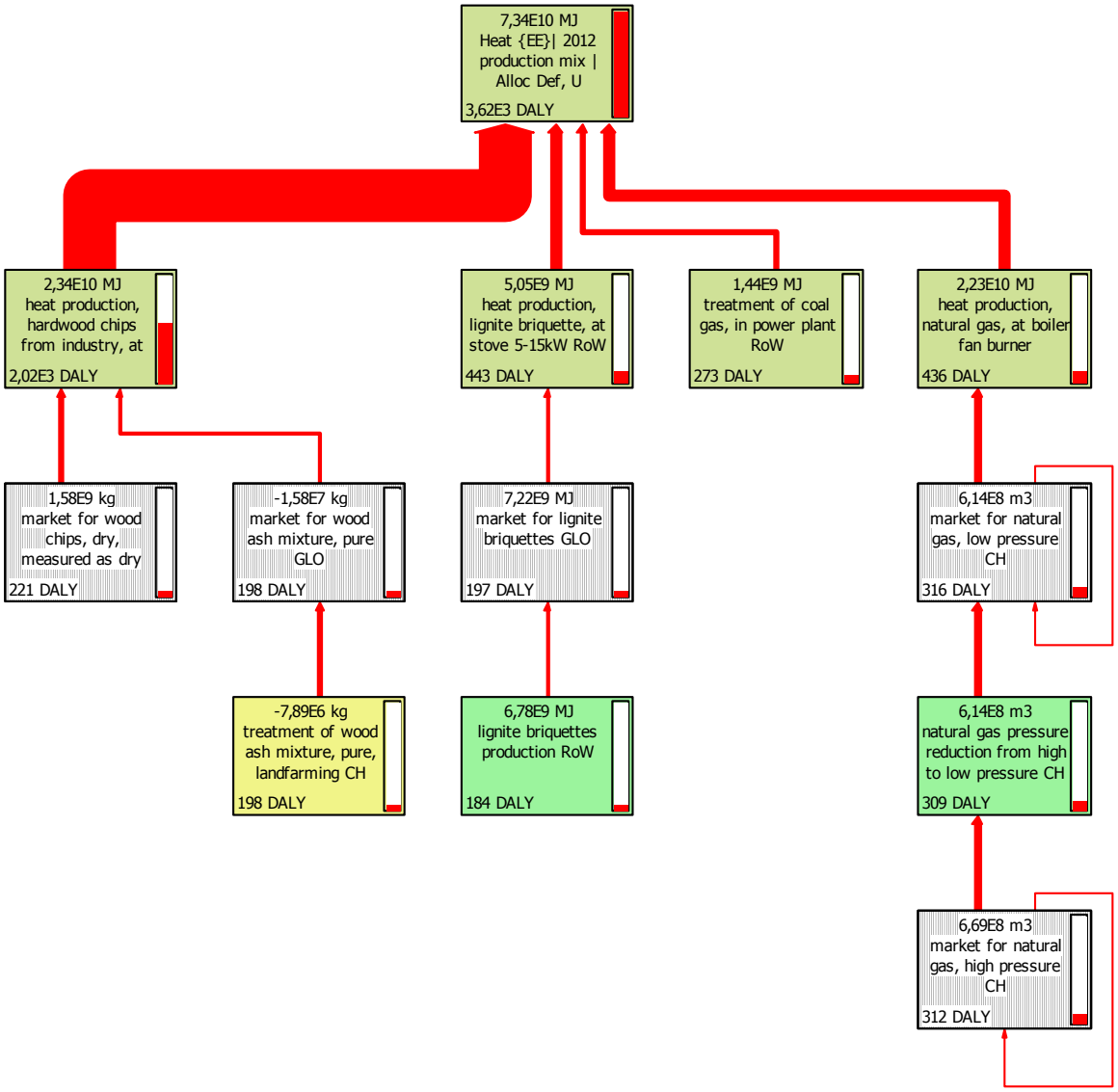
Joonis 9.2. Elektrimajanduse Põlevkivi stsenaariumi 10,38 TWh elektri tootmise keskkonnamõjude voodiagramm kliima-muutuste mõjukategooria kohta. Joonisel on esitatud vaid need protsessid, mille osakaal kogu elektri tootmise mõjust kliimamuutustele on >10%. Kõige suurema mõjuga on elektri tootmine põlevkiviõli tootmise kõrvalproduktidest.



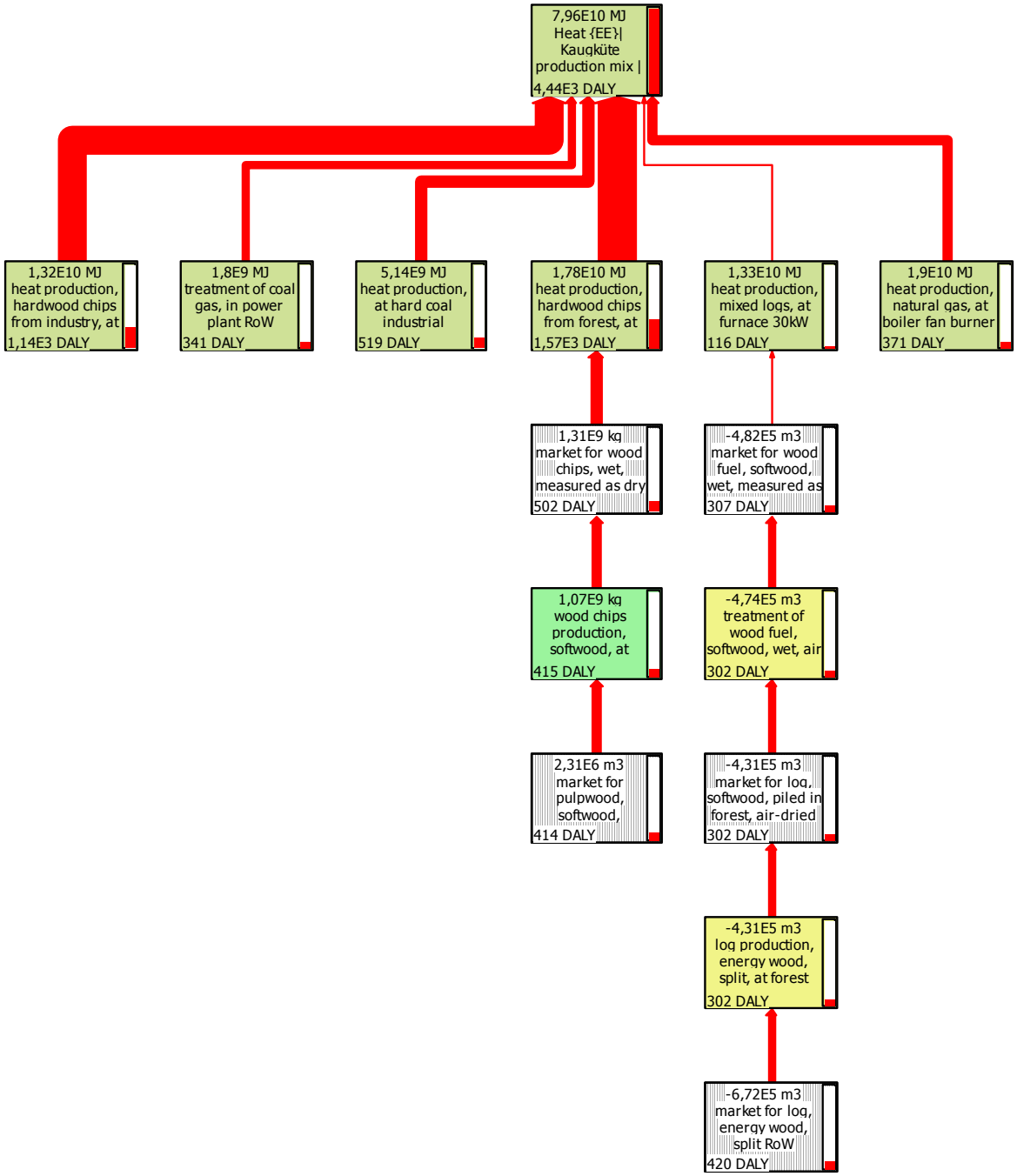
Joonis 9.3. Elektrimajanduse Taastuvenergia++ stsenaariumi 6,32 TWh elektri tootmise keskkonnamõjude voodiagramm kliimamuutuste kohta. Joonisel on esitatud vaid need protsessid, mille osakaal kogu elektri tootmise mõjust kliimamuutustele on >5%.



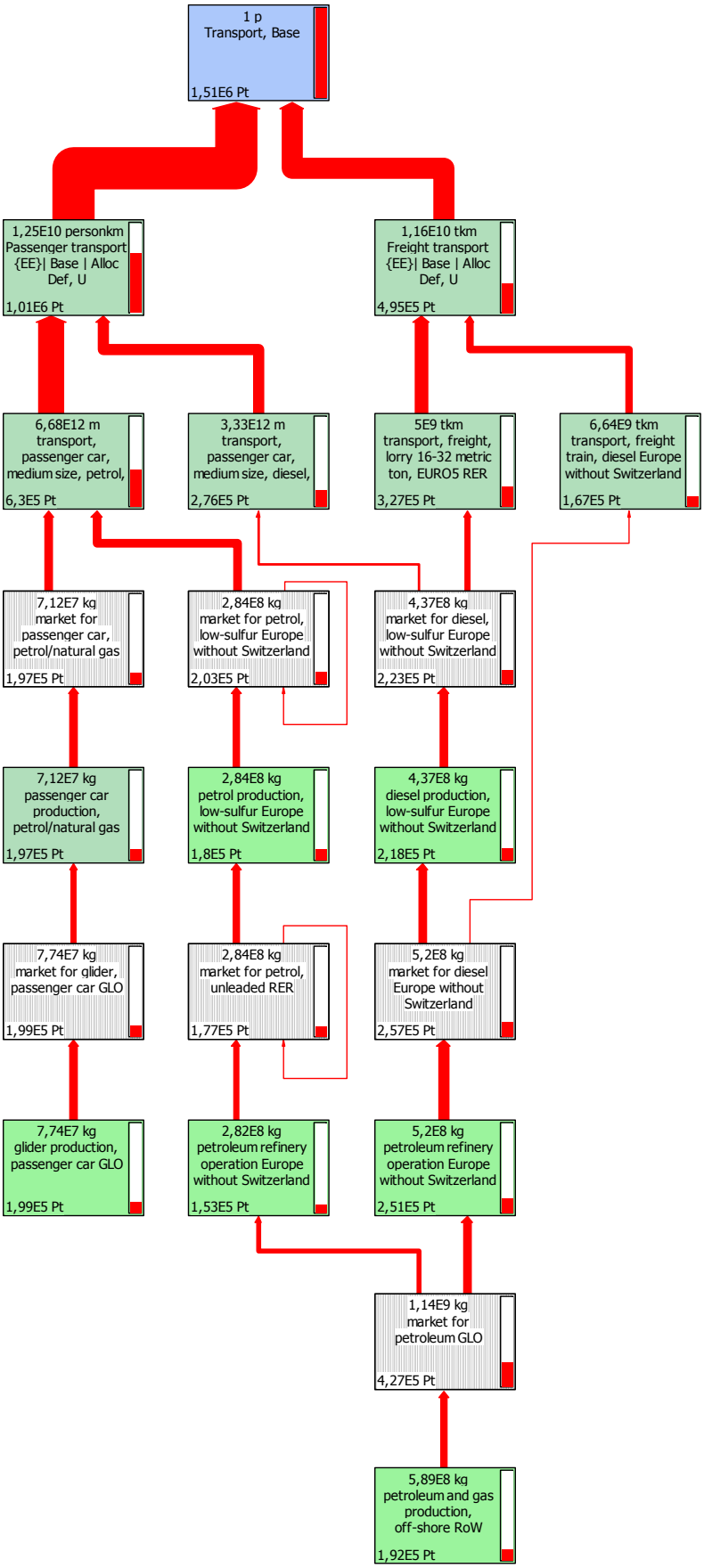
Joonis 9.4. Soojusmajanduse Baas 2012 stsenaariumi 20,4 TWh soojuse tootmise keskkonnamõjude voodiagramm inimtervise mõjude kohta. Joonisel on esitatud vaid need protsessid, mille osakaal kogu soojuse tootmise mõjust inimtervisele on >5%.



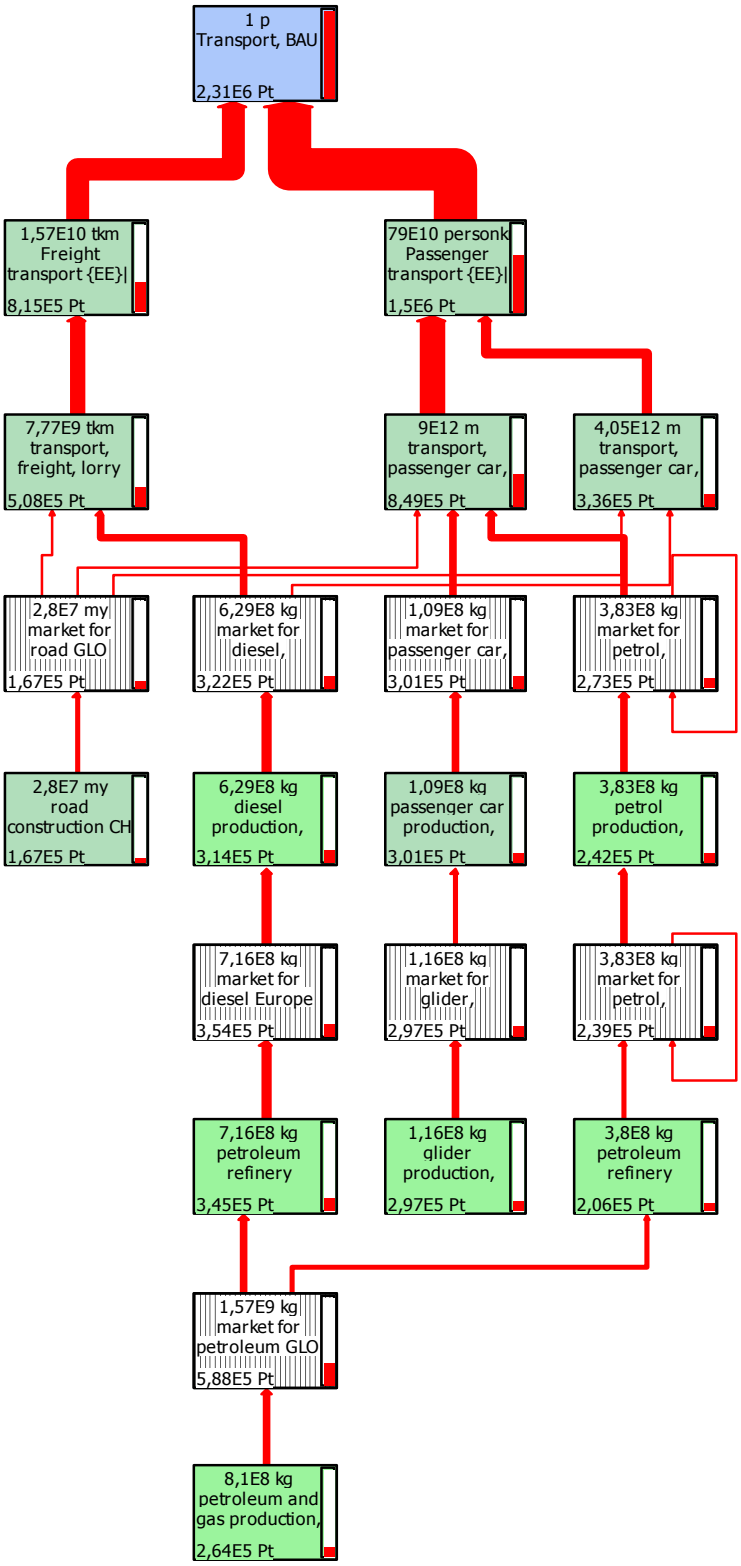
Joonis 9.5. Soojusmajanduse Kaugkütte stsenaariumi 22,1 TWh soojuse tootmise keskkonnamõjude voodiagramm inimtervise mõjude kohta. Joonisel on esitatud vaid need protsessid, mille osakaal kogu soojuse tootmise mõjust inimtervisele on >7%.



Joonis 9.6. Transpordisektori Baas 2010 stsenaariumi keskkonnamõjude voo-diagramm normaliseeritud ja kaalutud tulemuste kohta. Joonisel on esitatud vaid need protsessid, mille osakaal kogu-mõjudest moodustab >7%.



Joonis 9.7. Transpordisektori Mittesekkuva stsenaariumi keskkonnamõjude voodiagramm normaliseeritud ja kaalutud tulemuste kohta. Joonisel on esitatud vaid need protsessid, mille osakaal kogumõjudest moodustab >7%.



9.2 Lisa 2. Curriculum Vitae

Nimi	**Janika Laht**
Sündinud	18. november 1983
Rahvus	Eesti
Ametinimetus	Konsultant
Haridus	2010 - ……, Ph.D. keskkonnatehnoloogia, Tartu Ülikool 2007 - 2010, M.Sc. keskkonnatehnoloogia, Tartu Ülikool 2003 - 2007, B.Sc. keskkonnatehnoloogia, Tartu Ülikool kõrvaleriala diplom majandusteaduses
Keelteoskus	eesti, inglise, saksa
Tegevusvaldkond	Energiasäästu ja energiatõhususe alased uuringud. Hoonete sisekliima, termopildistamine. Energeetikasektori keskkonnauuringud. Jäätme-uuringud. Taastuvad energiaallikad. Biokütused. Keskkonnaprojektide tasuvusuuringud. Parim võimalik tehnika (PVT). Keskkonnamõjude hindamine (KMH) ja keskkonnamõjude strateegiline hindamine (KSH). Olelusringi analüüs (LCA). Kasvuhoonegaaside tõendamine.
Töökogemus	01.01.2010 - …, ÅF-Consulting AS, Eesti Keskkonnakonsultant. KHG juhtivtõendaja 30.08.2010 - …, Tartu Ülikool, Loodus- ja tehnoloogiateaduskond, Ökoloogia- ja maateaduste instituut, Geograafia osakond Keskkonnatehnoloogia doktorant. Lektor. Juhendaja 10.06.2013 - 30.08.2013, ELSA (Environmental Lifecycle & Sustainability Assessment), Montpellier, France Doktorant. 21.11.2005 - 15.04.2006, Keskkonnaministeerium, Metsakaitse- ja metsauuenduskeskus, Metsaregistri osakond, Tartu, Eesti Andmesisestaja
Tehtud tööd	**2014 - 2014, ÅF-Consult Oy, Espoo, Soome** EL kasvuhoonegaaside tõendamise süsteemi siseaudit **2014 - ……, Eesti Arengufond, Eesti** Eesti energiamajanduse pikaajalise arengukava aastani 2030 valdkondade stsenaariumitega kaasneva keskkonnamõju modelleerimine **2014 - ……, Eesti Energia AS, Eesti** Balti EJ, Eesti EJ, Iru EJ, Peetri katlamaja ja Õlitööstuse KHG heit-koguste tõendamine perioodil 2013 – 2015 **2014 - ……, VKG AS, Eesti** VKG Energia OÜ, VKG Soojus AS ja VKG Oil AS käitiste KHG heit-koguste tõendamine perioodil 2013 – 2015 **2014 - ……, Kiviõli Keemiatööstuse OÜ, Eesti** Kiviõli Keemiatööstuse käitiste KHG heitkoguste tõendamine perioodil 2013 – 2020 **2013 - ……, Fortum Eesti AS, Pärnu, Eesti** Pärnu katlamaja, Tervise katlamaja ja Pärnu koostootmisjaama KHG heitkoguste tõendamine perioodil 2013 – 2015

2013 - ……, Ignalina UAB, Visaginas, Leedu
Ignalina EJ KHG heitkoguste tõendamine perioodil 2013 – 2015
2013 - 2013, TAIEX, Zagreb, Horvaatia
Lektor Euroopa Liidu KHG heitkogustega kauplemise süsteemi teemalisel koolitusel Horvaatia KHG tõendajatele
2013 - ……, Eesti Arengufond, Eesti
Eesti energiamajanduse pikaajalise arengukava aastani 2030 keskkonnamõju strateegiline hindamine (KSH)
2013 - 2013, ÅF-Consult Oy, Espoo, Soome
Kasvuhoonegaaside tõendamise süsteemi siseaudit
2013 - 2013, Elering AS, Tallinn, Eesti
Õhu saasteainete heitkoguste ja saastetasu arvutustabel Kiisa AREJ-le
2013 - 2013, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Eesti
Energiasäästu direktiivi 2012/27/EL rakendamise võimaluste analüüs
2013 - 2013, AGN OÜ, Tallinn, Eesti
Keskkonna- ja jäätmekäitluse audit
2013 - 2014, Nordkalk AS, Rakke, Eesti
Käitise seirekava koostamine perioodiks 2013-2020
2012 - 2013, Eesti Keemiatööstuse Liit MTÜ, Eesti
Eesti põlevkiviõli tootmise parima võimaliku tehnika kirjeldus
2012 - 2013, Elering AS, Eesti
Konspekt Euroopa Liidu kasvuhoonegaaside heitkogustega kauplemise süsteemiga liitumise nõuete kohta
2013 - 2013, Tootsi Turvas AS, Tootsi, Eesti
Tootsi Turvas katlamaja 2012. a KHG heitkoguste tõendamine
2013 - 2013, Eesti Energia AS, Eesti
Iru Elektrijaama, Eesti Elektrijaama, Balti Elektrijaama ja Peetri katlamaja 2012. a KHG heitkoguste tõendamine
2013 - 2013, Sangla Turvas AS, Puhja, Eesti
Sangla Turvas katlamaja 2012. a KHG heitkoguste tõendamine
2012 - 2012, Tootsi Turvas AS, Tootsi, Eesti
Tootsi Turvas katlamaja 2011. a KHG heitkoguste tõendamine
2012 - 2012, Sangla Turvas AS, Puhja, Eesti
Sangla Turvas katlamaja 2011. a KHG heitkoguste tõendamine
2012 - 2012, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Eesti
Eesti Energiatehnoloogia programmi (ETP) vahehindamine. Projektijuht, juhtivanalüütik.
2012 - 2012, Kuressaare Soojus AS, Kuressaare, Eesti
Kuressaare Soojus katlamaja 2011. a KHG heitkoguste tõendamine.
2011 - 2011, Alexela Sillamäe AS, Sillamäe, Eesti
Euroopa Liidu kasvuhoonegaaside saastekvootidega kauplemisperioodi 2013-2020 taotletavate tasuta lubatud KHG heitkoguste tõendamine
2011 - 2011, Fortum Eesti AS, Pärnu, Eesti
Euroopa Liidu kasvuhoonegaaside saastekvootidega kauplemisperioodi 2013-2020 taotletavate tasuta lubatud KHG heitkoguste tõendamine
2011 - 2011, Anne Soojus AS, Tartu, Eesti
Euroopa Liidu kasvuhoonegaaside saastekvootidega kauplemisperioodi 2013-2020 taotletavate tasuta lubatud KHG heitkoguste tõendamine

2011 - 2011, Keskkonnaministeerium, Tallinn, Eesti
Meetme "Jäätmete kogumise, sortimise ja taaskasutusse suunamise arendamine" nõudluse hindamine. Juhtivanalüütik.
2011 - 2011, Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, Tallinn, Eesti
Väikeste elektrituulikute pakettlahendused
2010 - 2011, Eesti Energia Kaevandused AS, Eesti
Ida-Virumaal Vaivara vallas Auvere külas asuva Energiakompleksi põlevkivi ühendlao maa-ala detailplaneeringu keskkonnamõju strateegiline hindamine (KSH)
2010 - 2011, Eesti Energa AS Iru Elektrijaam, Tallinn, Eesti
Iru jäätmeenergiajaama keskkonna alane konsultatsioon
2010 - 2010, Eesti Energia AS, Eesti
Eksperthinnang Enefit-280 ja TSK-280 mõjude kohta
2010 - 2010, Viljandi Linnavalitsus, Viljandi, Eesti
Ekspertarvamus taastuvate energiaallikate kasutamise võimaluste kohta Viljandi Männimäe lasteaias
2010 - 2010, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Eesti
Uuring energiasäästupoliitika seiremehhanismide arendamiseks
2010 - 2010, Viisnurk AS, Pärnu, Eesti
Eeluuring AS Viisnurk koostootmisjaama ehitamiseks
2010 - 2010, Tootsi Turvas AS/Vapo OY, Eesti
Biokütuste kasutamise turuanalüüs Eestis, Lätis ja Leedus

Publikatsioonid

Keis, K., Laht, J., Nei, R. ja Jõgisu, E. (2013) Energiasäästu direktiivi 2012/27/EL rakendamise võimaluste analüüs. Lõppraport. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

Järveoja, J., Laht, J., Maddison, M., Soosaar, K., Ostonen, I., Mander, Ü. (2013) Mitigation of greenhouse gas emissions from an abandoned Baltic peat extraction area by growing reed canary grass: Life-cycle assessment. Regional Environmental Change, 13(4), 781-795.

Laht, J., Latõšov, E., Keis, K., Kleesmaa, J., Johannes, E., Nei, R. ja Kukk, M. (2012) Energiatehnoloogia programmi vahehindamine. Aruanne. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

Espenberg, S., Kuhi-Thalfeldt, R., Lahtvee, V., Jüssi, M., Moora, H., Laht, J., Mander, Ü., Salm, J.-O. ja Parts, K. (2012) Eesti võimalused liikumaks konkurentsivõimelise madala süsinikuga majanduse suunas aastaks 2050. Lõppraport. Keskkonnaministeerium.

Laht, J. (2010) Hoone sisekliima ja energiatõhusus Tartu koolides ja Valga lasteaia „Kaseke“ näitel. Magistritöö keskkonnatehnoloogia erialal. Tartu Ülikool, loodus- ja tehnoloogiateaduskond, ökoloogia ja maateaduste instituut, geograafia osakond.

Vares, A., Laht, J., Keis, K., Kukk, M., Laht, M., Potter, E., Ääremets, T. ja Kleesmaa, J. (2010) Uuring energiasäästupoliitika seiremehhanismi arendamiseks. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

Laht, J. (2007) Mugavusindeksid ja nende seos hoone energiatarbega. Bakalaureusetöö keskkonnatehnoloogia erialal. Tartu Ülikool, loodus- ja tehnoloogiateaduskond, ökoloogia ja maateaduste instituut, geograafia osakond.

Konverentsidel ja seminaridel osalemine	01.10.2010 Swegon Air Academy. Õhukvaliteedi mõju kooliõpilaste õppetöö tulemuslikkusele. 16.11.2011 Eesti Akrediteerimiskeskus. Seminar – loeng kasvuhoonegaaside tõendamisprotsessi kohta. 30.08.2010 - ..... Tartu Ülikool. Ökotehnoloogia II: hoonete energiatõhusus, sisekliima, kasvuhoonegaasid, olelusringi hindamine ja analüüs. 25.11.2013 – 26.11.2013 TAIEX. Kasvuhoonegaaside tõendamine ja tõendajate akrediteerimine perioodil 2013–2020. Zagreb, Horvaatia.
Juhendamised	2013 Jana Adari, M. Sc. Suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjude hindamine läbi olelusringi analüüsi. Tartu Ülikool, loodus- ja tehnoloogiateaduskond, ökoloogia- ja maateaduste instituut, geograafia osakond. 2013 Heli Oksvort, M. Sc. Keskkonnahoidliku tegevuse võimalused ettevõttes Tallinna Pesumaja OÜ näitel. Tartu Ülikool, loodus- ja tehnoloogiateaduskond, ökoloogia- ja maateaduste instituut, geograafia osakond. 2014 Cris-Tiina Türkson, M.Sc. Tallinna ühistranspordiliikide olelusringi võrdlusanalüüs. Tartu Ülikool, loodus- ja tehnoloogiateaduskond, ökoloogia- ja maateaduste instituut, geograafia osakond. 2015 Piret Väinsalu, M. Sc. Mahajäetud turbatootmisaladel kasvatatud päideroo (*Phalaris arundinacea*) olelusringi analüüs. Tartu Ülikool, loodus- ja tehnoloogiateaduskond, ökoloogia- ja maateaduste instituut, geograafia osakond.
Lisakoolitused	2009, REHVA ja EU suunal toimuv: Olli Seppänen, Bjarne W. Olesen, Jorma Railio, EKVÜ 2010, Energiatõhus ehitamine, Puumarket 2010, Hoonete energiatarve ja sisekliima, EKVÜ 2010, Vanade ehitiste sisekliima tagamine ja energiasäästu võimalused, EKVÜ 2012, Advanced LCA with SimaPro, PRe Consultants 2012, Jätkusuutliku ettevõtluse strateegiline juhtimine, SEI Tallinn, TTÜ, Lundi Ülikool 2012, Life Cycle Assessment and Water Issues, Girona Ülikool