

RAPORT 2023

Rohepöörde trendid ja stsenaariumid Eestis



ARENGUSEIRE
KESKUS

Riigikogu juures tegutsev sõltumatu mõttekoda

Rohepöörde trendid ja stsenaariumid Eestis

Raport

Arenguseire Keskus

Autor: Arenguseire Keskus

Raporti koostajad: Uku Varblane, Märt Masso, Tea Danilov, Magnus Piirits

Keeletoimetaja: Siiri Omblar

Kujundus: Groovy Solutions OÜ

Raport on kokkuvõte Arenguseire Keskuse rohepöörde tuleviku seiretöö tulemustest.

Raportis sisalduva teabe kasutamisel palume viidata allikale: Arenguseire Keskus (2023). Rohepöörde trendid ja stsenaariumid Eestis. Raport. Tallinn: Arenguseire Keskus.

ISBN 978-9916-631-18-8 (trükis)

ISBN 978-9916-631-19-5 (pdf)

Loe ka teisi rohepöörde tuleviku uurimissuunas valminud töid www.arenguseire.ee.

[> Koppel, K., Kuusik, A., Arrak, K., Raik, J., Niidu, A., Köks, K., Lahtvee, P. \(2023\). Süvatehnoloogiate alternatiivsed arengutrajektoolid ja nende tähendus Eestile. Civitta Eesti AS.](#)

[> Piirits, M. \(2023\). Eesti inimeste keskkonnajälg. Arenguseire Keskus.](#)

Arenguseire Keskus on ühiskonna ja majanduse tulevikuarenguid analüüsiv mõttekoda Riigikogu juures. Meie missioon on aidata kaasa varase valmisoleku loomisele poliitikakujunduses.

2023

Täname

Täname uurimissuuna juhtkomisjoni: Andres Sutt (Riigikogu), Annely Akkermann (Riigikogu), Taavi Aas (Riigikogu), Sven Sester (Riigikogu), Ivari Padar (Riigikogu), Pirkko Konsa (Eesti 200), Siim-Valmar Kiisler (Erakond Parempoolsed), Kristi Klaas (Riigikantselei), Marku Lamp (Keskkonnaministeerium), Sandra Särav (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium), Marko Gorban (Maaeluministeerium), Nele Labi (Sotsiaalministeerium), Sven Kirsipuu (Rahandusministeerium), Kadri Tali (Rahandusministeerium), Arko Olesk (Vabariigi Presidendi Kantselei), Veiko Tali (Eesti Pank).

Täname kõiki Riigikogu saadikuid, teadlasi, ministeeriumide, uuringukeskuste ning ettevõtete ja ettevõtluse tugiorganisatsioonide esindajaid, kes raporti valmimisele oma teadmisi jagades kaasa aitasid.

Sisukord

EESSÕNA	6
UURIMISSUUNA KOKKUVÕTE	7
KOLM VAADET KESTLIKULE TULEVIKULE.....	12
KASVUHOONEGAASIDE HEITKOGUSTE TRENDID EESTIS JA EUROOPA LIIDUS	16
Heitkoguste trend sõltub põlevkivielektri konkurentsivõimest	17
Töötleva tööstuse heitmemahukus on langevas trendis	18
Peamiste majandusharude heitmemahukus on vähenenud EL-i keskmisest kiiremini	19
EESTI ELANIKE KESKKONNAJÄLG	20
Keskonnajälg leibkonnaliikme kohta Eestis ületab Maa taluvuspiire keskmiselt 3,8-kordselt, Euroopas 2,9-kordselt	21
Kirde- ja Põhja-Eestis elavatel leibkondadel on teiste piirkondadega võrreldes väiksem keskkonnajälg	25
Erinevate leibkonnatüüpide keskkonnajäljed on sama mõõtu, kuid erinäolise muustriga	25
Jõukuse kasvades väheneb kütte keskkonnajälg ja suureneb liikuvuse keskkonnajälg	26
PALJUD ROHEPÖÖRDEKS VAJALIKUD TEHNOLOOGIAD ON ALLES ARENDUSFAASIS	28
Mitmetes valdkondades on paralleelselt arenduses erinevad tehnoloogilised alternatiivid ..	29
Rohepööre ei saa läbi digitehnoloogiata.....	30
Võtmetehnoloogiate võimalikud arengutrajektorid ja tähendus Eesti jaoks	32
<i>Liha alternatiivne tootmine.....</i>	<i>32</i>
<i>Tehisintellekt ja masinõpe</i>	<i>34</i>
<i>Sardsüsteemid ja kiibitehnoloogiad.....</i>	<i>37</i>
<i>Vesinikutehnoloogia.....</i>	<i>40</i>
<i>Biorafineerimine.....</i>	<i>43</i>
<i>Rakutüvede digitaliseeritud arendamine.....</i>	<i>45</i>
ROHEPÖÖRE NÕUAB UUT INVESTEERINGUTE LAINET NII ERA- KUI KA AVALIKULT SEKTORILT ..	49
Keskonna muutused kahjustavad majanduskasvu	50
Rohepöördaks on tarvilikud rohelised investeeringud	51
Vajalike roheinvesteeringute maht on märkimisväärne	52
Eesti ettevõtted teevad roheinvesteeringuid üsna usinalt, aga vaja oleks kaks korda enam	53
Roheinvesteeringud saavad elavdada Eesti majandust: kolm stsenaariumit	54
Mitmel plaanitaval roheinvesteeringul on suur positiivne majandusmõju.....	57
Roheline teerada tulevikku	60

Eessõna

Rohepöördest rääkides juhtub sageli, et diskussioon ei vii kuhugi, kuna kõnelejatel on asjast täiesti erinev arusaam. Nende kaante vahelt leiame kolm arhetüüpset lugu, eesmärgiga anda aimu, mille poolest inimeste arusaamad laias laastus erinevad. Esimene lugu ütleb, et pöördeliselt uus tehnoloogia on see, mis aitab inimkonnal oma majanduse ja elukorraldusega planeedi taluvuspiiridesse taanduda. Teine lugu räägib sellest, et tuleb noppida kõik madalamal rippuvad viljad, vähendades keskkonnamärgi sedavõrd, kuivõrd seda võimaldab praegune tehnoloogia. Kolmandast loost saame teada, et tuleb otsustavalt piirata tarbimist ja hea elu ümber mõtestada.

Kõige enam toetajaid on tavaliselt teisel lool, aga nagu selgub, selles esitatust üksi kliimaneutraalsuse saavutamiseks ei piisa. Seda tuleb täiendada – kas siis elementidega esimesest või kolmandast loost. Esimese loo varjuküljeks on uute tehnoloogiatega seonduv kõrge riskitase ja määramatus. Kolmas lugu tähendab väiksemat majanduskasvu või üldse elu ilma majanduskasvuta, seega ka vähem võimalusi ühiskondlikuks ümberjagamiseks.

Euroopa Liit püüab tabada korraga kõiki kärbsed. Rohelepe sedastab, et Euroopa peab muutuma kliimaneutraalseks aastaks 2050; seejuures peavad paranema inimeste elutingimused ja sotsiaalne sidusus ning kasvama majanduse konkurentsivõime. Seetõttu lähtub ka käesolev raport sellest, et rohepööre tuleb ellu viia viisil, mis oleks tulus riigi majandusele.

Mõtestades rohepööret kui jätkuvat majanduskasvu, mille saavutamiseks kulub aina vähem ressursse, on selge, et peame eriti lootma tehnoloogilisele arengule. Rohepöörde keskmesse tõusevad mitmed juba olemasolevad madala süsinikuheitega tehnoloogiad ning võimalikud läbimurded uute rohetehnoloogiate väljatöötamisel ja rakendamisel. Erinevad rohepöördega seotud tehnoloogiad konkureerivad omavahel ning paljudes valdkondades ei ole selge, milline saab olema läbimurdeline lahendus.

Vastust ootab küsimus, kui julgeid panuseid alles arendusfaasis tehnoloogiatele teha? Aga teha on neid vaja, kui me ei soovi tulevikus leida end olukorrast, kus peame kogu vajaliku rohetehnoloogia ja selle saadused importima, sest me pole ise midagi arendanud ega uutele lahendustele turgu loonud. Antud raport heidab valgust sellele, missugused on rohepöörde seisukohast võtmetähtsusega tehnoloogiad, milliseks võib kujuneda nende edasine areng ja kus võiks Eestil olla võimalik läbi lüüa.

Üheks rohepöörde sõlmküsimuseks on ka see, milliseid täiendavaid investeeringuid see majanduselt nõuab ja kuidas need valla päästa. Nende kaante vahelt leiame tõendusmaterjali selle kohta, et roheinvesteeringud on Eesti majandusele vägagi tulusad, kuid nende senine kasvutempo on siiani olnud aeglasem kui majanduskasv. Loodan, et meie raport on abiks uute roheinvesteeringute valla-päästmisel ja targal suunamisel. Head tutvumist!

Tea Danilov

Arenguseire Keskuse juhataja





Uurimissuuna
kokkuvõte

Keskkonnaseisundi halvenemine ja kliima soojenemine ohustavad Eesti elanike heaolu. Eesti on ühinenud Euroopa Liidu (EL) roheleppega, sealhulgas võtnud kohustuse saada kliimaneutraalseks aastaks 2050. Olemasolevate süsteemide tõhustamine jääb rohepöörde eesmärkide saavutamiseks tõenäoliselt ebapiisavaks, vaja on põhimõttelisi muutusi selles, kuidas tagame elanikele energiavarustuse, kuidas liigume, toitume ja elame. Lahendusteks saavad olla nii läbimurded tehnoloogiates ja kogu ühiskonnakorralduse kestlikuks kujundamine kui ka piisavuse reegli järgimine ressursside kasutamisel. Elemente ühest või teisest lahendusest näeme juba täna, kuid suuremad valikud on meil veel ees.

Keskkonnajälg ühe elaniku kohta Eestis ületab Maa taluvuspiire keskmiselt 3,8-kordselt ning on kolmandiku võrra suurem kui Euroopas keskmiselt, kus see ületab taluvuspiire 2,9-kordselt. Suurim osa Eesti elanike keskkonnajäljest (43%) tuleb elukoha elektrist ja küttest, seejärel tarbitud toidu tootmisest (30%) ja liikuvusest (17%). Keskmise Eesti elaniku erineb keskmisest Euroopa elanikust peamiselt elukoha elektri ja kütte suurema keskkonnajälje poolest – see on seega esmane koht, kuhu suunata jõupingutused keskkonnajälje vähendamiseks.

Keskkonnajälge saab vähendada, arendades ja rakendades tehnoloogiaid, mis säästlikuma tarbimise elanikele kättesaadavamaks muudavad. Kuid oma keskkonnajälge saavad vähendada ka inimesed ise, näiteks muutes oma harjumusi. Linnalises piirkonnas vähendaks poolte ahikütte kasutajate kaugküttele üleminek keskkonnajälge 15% ning Eestis tervikuna 10% võrra. Maapiirkonnas küttepuid tarbimise vähendamine 50%, näiteks tänu hoone paremale soojustusele või efektiivsematele kütteseadmetele, kahandaks maapiirkondade

keskkonnajälge 17% võrra. Keskkonnajälge vähendaks ka toitumisharjumuste muutmine, näiteks lihatoodete vähendamine inimeste menüüs. Tervise Arengu Instituudi soovitatud tasemele alandaks keskkonnajälge 5% võrra. Keskkonnajälje vähendamise võimalusi peitub ka inimeste liikumisharjumustes – keskkonnajälg kahaneks 3% võrra, kui sõidud sõiduautoga asendataks 20% ulatuses ühistranspordiga.

Eesti majanduse heitmemahukus on kiiresti kahanenud, kuid on siiski 42% kõrgem EL-i keskmisest. Eesti kasvuhoonegaaside (KHG) heitkogused on viimase 10 aastaga vähenenud 40%, seejuures on mitmete suurte majandusharude, näiteks tööstuse heitmemahukus (miljoni euro lisandväärtuse loomisel keskmiselt vabanev heitkogus) vähenenud EL-i keskmisest kiiremini. Eesti kasvuhoonegaaside koguheitmetest ligi poole moodustavad heitmed energiatootmisest. Kui Eesti elektritootmise heitmed oleks EL-i keskmisel tasemel, oleks ka Eesti koguheide EL-i keskmisega sarnane ja jääks juba praegu alla 2035. aastaks seatud sihttaseme (8 mln tonni). Samas valmistab peavalu järgmine etapp ehk jõudmine 8 miljonist tonnist KHG heitmest aastas kliimaneutraalsuseni aastaks 2050, milleks tõenäoliselt ei piisa praeguseks end turutingimustes tõestanud tehnoloogiatest, vaid vaja on uusi tehnoloogilisi läbimurdeid.

Paljud rohepöördeks vajalikud tehnoloogiad on alles arendusfaasis. Erinevad rohepöördega seotud tehnoloogilised arendussuunad konkureerivad omavahel ning paljudes valdkondades ei ole selge, mis saab olema läbimurdeline lahendus. Rahvusvahelise Energiaagentuuri andmetel on ligikaudu pool tehnoloogiatest, mida vajame kliimaneutraalsuse saavutamiseks, alles varajases prototüübi- või demonstratsiooni faasis.

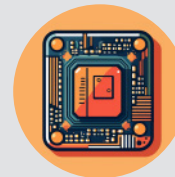
Ekspertide hinnangul on Eesti jaoks suurima oodatava mõjuga järgmised veel arendusjärgus tehnoloogiad:



liha alternatiivne tootmine



tehisintellekt ja masinõpe



sardsüsteemid ja kiibitehnoloogia



vesinikutehnoloogia



biorafineerimine



rakutüvede digitaliseeritud arendamine

Need tehnoloogiad suudavad lahendada nii Eesti enda rohepöörde probleeme kui ka kätkevad suuri võimalusi Eesti tehnoloogiasektorile rakenduste arendamiseks ja müügiks.

Eesti suurimad võimalused peituvad rohetehnoloogiate arendamises ja müügis välis-turgudel. Suure investeerimismahu tõttu ei pea uuringus osalenud eksperdid realistlikuks kiibi- või kultiveeritud liha tehaste Eestisse rajamist. Ärivõimalusi neis valdkondades toob eelkõige teadus- ja arendustegevus (TA), eesmärgiga töötada välja eksporditavaid tehnoloogiaid või tooteid. Sellest reeglist erineb biorafineerimine, kus ärivõimalusi peitub ka tehnoloogia kohalikus rakendamises – eelkõige puidu biorafineerimises, mis on olemasolevat puidutööstust täiendav ja mitmekesistav valdkond. Ka vesinikul on potentsiaal muutuda Eesti jaoks oluliseks kaubaartiklaks ning aidata realiseerida meretuuleenergia potentsiaali (7 GW_{el} ja 24 TW_{el} aastatoodangut), pakkudes tootjatele turuvõimalust Kesk-Euroopasse ja kaugemale, kus energiadefitsiit tulevikus prognoositult kasvab.

Rohetehnoloogiate arendamine vajab konkurentsivõimelist toetuspoliitikat. Eestis on riigi toetus erasektori teadus- ja arendustegevusele olnud ajas üsna ebastabiilne, kõikides vahemikus 6–20 miljonit eurot aastas. Lisaks on riigi tugi rahvusvahelises võrdluses napp. OECD riigid toetavad erasektori TA-d keskmiselt ca

0,2% ulatuses SKP-st, mis jaguneb üsna võrdselt toetuste ja maksusoodustuste vahel. Maksusoodustuste eelis ettevõtete jaoks on nende suurem ettenähtavus, nendega on võimalik arvestada juba äriplaani koostamisel. Eestis ulatus toetus erasektori TA-le 2020. aastal vaid 0,06%-ni SKP-st ning maksusoodustusi praegu ei kasutata.

Rohepööre nõuab ennaktempos investee-ringuid. Majandustegevuses kasutatav tehnoloogia, seadmed, hooned ja energiasüsteem vajavad keskkonnaprobleemide süvenemise ennetamiseks kiiret uuendamist, paiguti enne oma majandusliku eluea lõppu. Eesti roheinvesteeringute vajalikuks aastaseks kogumahuks on hinnatud umbes 4% SKP-st aastani 2030, umbes 2% SKP-st ajavahemikus 2031–2040 ja kuni 1% SKP-st ajavahemikus 2041–2050. Kuigi roheinvesteeringuid tegevate Eesti ettevõtete osakaal on sarnane Euroopa Liidu keskmisega, siis investeeritavad summad on praegu pigem väiksemad kui tarvis. Eesti ettevõtete investeerimismustris domineerib olemasolevate süsteemide tõhustamine, samas kui EL-i ettevõtted teevad enam investeeringuid uute tehnoloogiate kasutuselevõttu.

Tulevikus on võimalikud erinevad roheinvesteeringute majandusliku mõju stsenaariumid, arvestades investeeringute edasist kasvutempot ja mahtu:

- Stsenaarium 1 „**Senises tempos**“: ettevõtted teevad järgmise 13 aasta jooksul igal aastal roheinvesteeringuid praeguses aastases mahus.
- Stsenaarium 2 „**Samas tempos majanduskasvuga**“: roheinvesteeringute maht aastani 2035 suureneb samas tempos sisemajanduse kogutoodangu kasvuga.
- Stsenaarium 3 „**Murranguline juurdekasv**“: lisaks SKP määras kasvule suurendavad ettevõtted roheinvesteeringuid praeguselt tasemelt umbes 2% SKP-st tasemele umbes 3% SKP-st.

Eesti ettevõtete roheinvesteeringute suurus ja nende mõjud 2023–2035

	STSENAARIUM 1	STSENAARIUM 2	STSENAARIUM 3
	„ Senises tempos “: ettevõtted teevad järgmise 13 aasta jooksul igal aastal roheinvesteeringuid praeguses aastases mahus.	„ Samas tempos majanduskasvuga “: roheinvesteeringute maht aastani 2035 suureneb samas tempos sisemajanduse kogutoodangu kasvuga.	„ Murranguline juurdekasv “: lisaks SKP määras kasvule suurendavad ettevõtted roheinvesteeringuid praeguselt tasemelt umbes 2% SKP-st tasemele umbes 3% SKP-st.
Investeering, mld eurot	5,47	6,53	9,07
Kogutoodang, mld eurot	6,64	7,93	11,02
Maksutulu, mld eurot	1,10	1,32	1,83
Tööjõukulu, mld eurot	1,26	1,50	2,08
Hõive, täistöökohta aastas	5333	6367	8845

Allikas: Autorite arvutused, kasutades sisend-väljundtabelitel põhinevat 'RITA-C19-makromudelit'

Lähtudes mõõdukalt optimistlikust stsenaariumist ehk stsenaariumist 2, saab järeldada, et investeerides ühe euro rohelisemasse majandustegevusse, kasvab kogutoodang 1,2 euro võrra ning maksutulud avalike teenuste pakumiseks suurenevad 20 senti võrra.

Eesti riigi- ja eraettevõtetel on erinevas ettevalmistusjärgus suurprojekte, mis realiseerumise korral ületavad stsenaariumis 3 ehk murrangulise juurdekasvu stsenaariumis toodud investeeringumahtu. Juba üksnes kitsalt elektrienergia tootmise, salvestamise ja töhusa kasutamisega seotud projektide investeerimis-

maht võib küündida 19,4 miljardi euron, mille mõjul majandus elavneks veelgi – kogutoodang suureneks ligi 10 miljardit eurot ja avaliku sektori maksutulud ligi 3,2 miljardit eurot. Hinnatud investeerimisprojektidest on suurima majandusmõjuga elamute energiatõhustamine, tuumaelektrijaama rajamine ja rasketranspordi üleviimine biokütusele.

Roheinvesteeringute Eesti majandust elavdav mõju sõltub olulisel määral kodumaise sisendi osakaalust ehk kui suures osas suudavad Eesti ettevõtted pakkuda rohetehnoloogilisi tooteid ja teenuseid. Kui mõõdukalt optimist-

likus stsenaariumis ehk stsenaariumis 2 suureneks Eestist hangitava sisendi osakaal Eesti ettevõtete roheinvesteeringutes viie protsendipunkti võrra (vastavalt väheneks imporditava sisendi osakaal), suureneks Eesti kogutoodang stsenaariumis 2 esitatuga võrreldes täiendavalt 280 miljoni euro võrra ja maksutulu 20 miljoni euro võrra. Seega, rohetehnoloogia arendamisest võidab Eesti nii oma arendusi teistesse riikidesse eksportides kui ka seetõttu, et Eesti enda roheinvesteeringutes saab kasutada imporditavate tehnoloogiate ja toodete asemel rohkem kodumaiseid.

Eesti rohepöörde investeeringute näiteid

ELAMUTE ENERGIATÕHUSTAMINE

Pindala: 12,7 miljonit m²
Investeering: 3,81 miljardit €
Periood: 2023–2035



MAJANDUSMÕJUD

Kogutoodang: 5,27 miljardit €
Maksutulud: 0,88 miljardit €
Tööjõukulud: 1,21 miljardit €
Töökohad: 4789 kohta aastas

RASKETRANSPOORT BIOKÜTUSELE

Masinad: 40 000
Investeering: 5,34 miljardit €
Periood: 2023–2035



MAJANDUSMÕJUD

Kogutoodang: 0,80 miljardit €
Maksutulud: 0,73 miljardit €
Tööjõukulud: 0,22 miljardit €
Töökohad: 956 kohta aastas

MERETUULEELEKTER

Võimsus: 600 MW
Investeering: 2,10 miljardit €
Periood: 2023–2035



MAJANDUSMÕJUD

Kogutoodang: 0,49 miljardit €
Maksutulud: 0,28 miljardit €
Tööjõukulud: 0,11 miljardit €
Töökohad: 308 kohta aastas

TUUMAELEKTRIAAM

Võimsus: 600 MW
Investeering: 2,3 miljardit €
Periood: 2023–2032



MAJANDUSMÕJUD

Kogutoodang: 1,16 miljardit €
Maksutulud: 0,37 miljardit €
Tööjõukulud: 0,26 miljardit €
Töökohad: 1349 kohta aastas

ELEKTRIAUTOD JA -LAADIJAD

Autod: 85 000 autot
Investeering: 2,79 miljardit €
Periood: 2023–2035



MAJANDUSMÕJUD

Kogutoodang: 0,90 miljardit €
Maksutulud: 0,46 miljardit €
Tööjõukulud: 0,23 miljardit €
Töökohad: 891 kohta aastas

Allikas: Autorite arvutused, kasutades sisend-väljundtabelitel põhinevat 'RITA-C19-makromudelit'



Kolm vaadet
kestlikule tulevikule

”Pooldades teatud tüüpi samme olevikus, pooldame vähemalt vaikimisi ka teatud tüüpi tulevikumaailma, mida need sammud kujundada aitavad.“

Laur Kanger, Tartu Ülikooli tehnoloogia-uuringute kaasprofessor, Sussexi Ülikooli siirdeuuringute teadur

18. sajandi lõpus alanud esimene tööstusrevolutsioon tõi kaasa märkimisväärselt kiired edusammud tehnoloogia, tööstuse, transpordi ja kommunikatsiooni arengus. Sellel arengul on paraku olnud oma hind, mis väljendub tänaseni keskkonnaseisundi pideva halvenemise, sotsiaalse ebavõrdsuse ja geopoliitiliste pingetena. Kuigi ühiskondlik heaolu on tervikuna jõudsalt suurenenud, ei ole tehnoloogia areng suutnud sotsiaalset ebavõrdsust vähendada. Kiire areng on võimendanud kliimamuutust, ressursinappust ning elurikkuse kadu. Üleilmseks paisunud kriisidele sobiva lahenduse leidmine eeldab põhimõttelisi muutusi ehk siirdeid tööstusühiskonna aluseks olevate sotsio-tehniliste süsteemide – energiavarustus, liikuvus, toit, jäätmekäitlus, side või tervishoid – toimeloogikas.¹

Selles osas, millised tulevikusüsteemid olema saavad või kuidas nendeni jõuda, valitseb praegusajal suur ebakindlus. Tuumaenergia, taastuvenergia või mõlemad? Tsentraliseeritud või hajavõrk? Kuhu mahub siia süsiniku püüdmine? Kas omame tulevikus autot või tarbime liikuvust kui teenust? Kas peame leppima üleilmse liikuvuse suurenemise kui paratamatusega või proovima seda kuidagi vähendada? Iga praegu tehtud valik tähendab vaikimisi teatud tulevikunägemuse eelistamist.

Kuivõrd pikaaegsed tulevikuennustused keerkate süsteemide kohta on paratamatult väga ebatäpsed, on üks võimalus lähtuda stsenaariumiloomes üldistest arhetüüpsetest kujutlustest tuleviku kohta. Sussexi ja Utrechti ülikoolide teadlased, olles viinud aastail 2021–2022 läbi rea töötube üleilmse finantsinvestorite paneelega, löid kolm arhetüüpset tulevikumaailma, millest igaüks püüdis kestlikkusega seonduvaid väljakutseid eri moel lahendada.

Kuivõrd pikaaegsed tulevikuennustused keerkate süsteemide kohta on paratamatult väga ebatäpsed, on üks võimalus lähtuda stsenaariumiloomes üldistest arhetüüpsetest kujutlustest tuleviku kohta. Sussexi ja Utrechti ülikoolide teadlased, olles viinud aastail 2021–2022 läbi rea töötube üleilmse finantsinvestorite paneelega, löid kolm arhetüüpset tulevikumaailma, millest igaüks püüdis kestlikkusega seonduvaid väljakutseid eri moel lahendada.

¹ Peatükk on väljavõte Laur Kangeri artiklist „Mida eksperdid tahavad? Eesti energia- ja liikuvussüsteemide tulevikunägemused“, mis ilmus Arenguseire Keskuse väljaandes [Pikksilm](#).



„**Missioon Maa**“ stsenaariumis lähtuvad toimijad seisukohast, et suured probleemid nõuavad suuri lahendusi. Seda maailma iseloomustavad tehnoloogilised megaprojektid nagu süsiniku püüdmise tehnoloogia- te kiire rakendamine, geoinseneeria ning linnastumise hoogustamine võimaldamaks Maa laiaulatuslikku taasmetsastumist. Energiasüsteemis väljendub seesugune lähenemine näiteks tuumaenergia ja vesinikutehnoloogia jõulises arendamises või siis ülisuure päikesepargi rajamises Sahara kõrbesse. Liikuvussüsteem linnades jääks suuresti autokeskseks, kuid keskenduks peamiselt ACES mudelile, mille järgi on tulevikusõidukid autonoomsed (*autonomous*), ühendatud (*connected*), elektrilised (*electric*) ja jagatud (*shared*).

„**Ära tee kahju**“ stsenaariumi keskmes on püüd tagada nii keskkonnasõbralikkus kui ka ühiskondlik õiglus. See on kollektiivse heaolu, kaasatuse ja tasakaalu poole püüdlev maailm. Loodusel on õigused ning lähenemine kestlikkusele on üleilmne. Samuti keskenduvad riigid siin kodanike võimekuse toetamisele. Energiasüsteemis tähendab see tootetarbija (*prosumer*), hajaenergiasüsteemide ning energiaühistute esiletõusu, millega kaasneb virtuaalsete elektrijaamade laialdane levik ning mikrovõrkude järkjärguline ühendumine. Liikuvussüsteemis tõusevad esikohale õiglase ning taskukohase mobiilsuse küsimused. Et selles maailmas toetatakse teistest enam ühistransporti, pälvivad palju tähelepanu arendused, mis seotud eri liikuvusviiside sujuva ühendamise



„**Piisavuse**“ stsenaarium näeb ette märgatavalt paiksemat eluviisi ning üritab olemasolevaid kohalikke ressursse parimal võimalikul viisil ära kasutada. Seetõttu on olulisel kohal käitumuslikud uuendused energia- ja liikuvusnõudluse juhtimiseks. Energiasüsteem toetub siingi taastuv- energiale, ent seda rakendatakse tihti „energiasaarte“ loomiseks ehk leibkondade täieliku energiasõltumatus tagamiseks. Liikuvussüsteemi üheks eesmärgiks on soodustada väiksemat mobiilsust parema linnaplaneerimise (15-minuti linn), aeglase elustiili propageerimise (nt öörongid), 3D-printerite kasutamise („disaini globaalselt, tooda kohalikult“) ning liitreaalsuse tehnoloogiate kaudu, mis jäljendaksid üha täiuslikumalt füüsilist kogemust.

Elemente ühest või teisest võimalikust maailmast märkame juba täna. Milliseks kujuneb rohepöörde järgne maailm, on paljuski meie enda teha ja erinevate valikute tulemus. Teisisõnu,

tehes teatud valikud suurte sotsio-tehniliste süsteemide kujundamisel, pooldame vähemalt vaikumisi ka teatud tüüpi tulevikumaailma, mida need sekkumised aitavad kujundada.

Tabel 1. Kolm arhetüüpset tulevikumaailma

MISSIOON MAA	ÄRA TEE KAHJU	PIISAVUS
See on suurte kasude lootuses suuri riske võttev uljas maailm, mis õpib loodust jäljendama, jättes ta samas puutumatuks. Põhirõhk on tehnoloogilisel innovatsioonil.	See on kollektiivse heaolu, kaasatuse ja tasakaalu poole püüdlev maailm. Loodusel on õigused ning lähenemine kehtlikkusele on üleilmne.	See on kasin, kohalik ja aeglane maailm, kus elu kulgeb vajaduspõhisuse ja keskkonna eluõjulisuse tagamise kaalutlustest lähtudes.
2030		
▷ Dekarboniseerimistehnoloogiad on suures ulatuses kasutusel ▷ Tööstus on loodusest lahti ühendatud ▷ Kasutusel on isesõitvad, ühendatud, elektrilised ja jagatud autod	▷ Dekarboniseerimine loodusega kohandumise kaudu ▷ Suhet loodusega juhib ökosüsteemi seisundi väärtustamine ▷ Ühistransport on mugav ja taskukohane	▷ Väärtustatakse hooajalist kõrge toiteväärtusega toitu ▷ Püstitakse planetaarsetes piirides ▷ Tuntakse ning osatakse kasutusele võtta kohalike taastuenergiaallikaid
2050		
▷ Biotehnoloogia- ja taastuenergiaalase arendustöö üleilmsed liidud ▷ Jagatud ja isesõitvatel sõidukitel põhinev transpordisektor ▷ Toiduvarustus keskendub sellele, et vabastada võimalikult palju maad metsikule loodusele	▷ Fossiilsetest kütustest loobumine ▷ Taastav põllumajandus: anna rohkem, kui võtad! ▷ Juhtpõhimõtteks kehtlikult ja õiglaselt käitumine	▷ Kasvatatakse ühiselt ja/või jagatakse toitu ▷ Liigutakse enam virtuaalruumis ▷ Elustiil kohandub sellele, mis on võimalik ▷ Innovatsioon keskendub piiratud ressursidest maksimumi võtmisele



Allikas: Projekti DT Futures infomaterjalid

An aerial photograph of a vast forest with a dense canopy of green and yellow trees. A tall, dark metal power line tower stands prominently in the middle ground, with power lines stretching across the scene. In the far distance, a small industrial facility with several smokestacks is visible, emitting a thick plume of white smoke that drifts across the sky. The foreground and middle ground are shrouded in a thick, white mist or fog, creating a layered effect. The sky is a clear, deep blue, suggesting a bright day.

Kasvuhoonegaaside heitkoguste trendid Eestis ja Euroopa Liidus

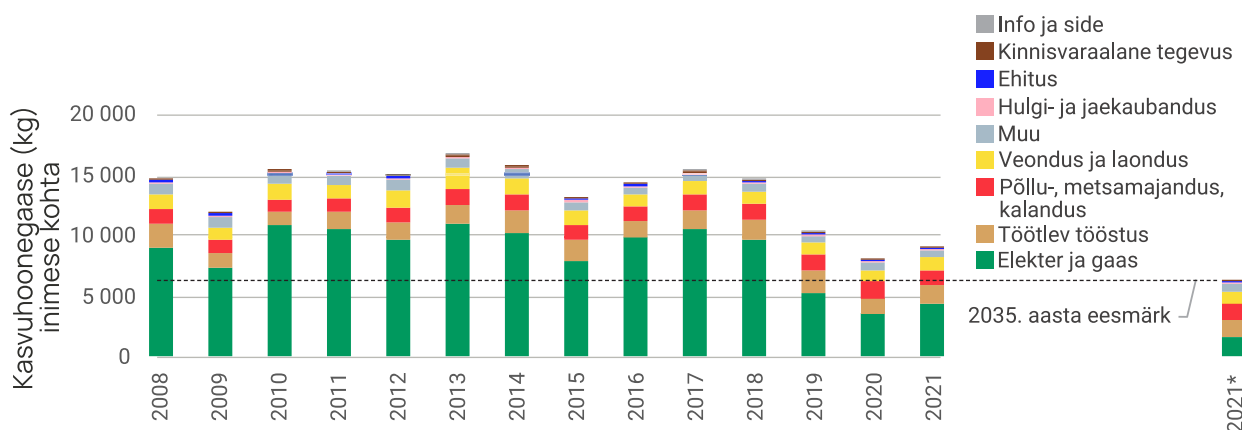
Rohepöörde oluline osa on kliimamuutusi põhjustavate kasvuhoonegaaside heite vähendamine. Eesti on võtnud eesmärgiks saada kliimaneutraalseks aastaks 2050 ehk jõuda olukorda, kus heide ei ületa ökosüsteemi sidumisvõimet. Vahe-eesmärgina tuleb vähendada heidet 15,6 mln tonnilt 2021. aastal 8 mln tonnini aastaks 2035.

Eesti kasvuhoonegaaside heitkogused on viimase 10 aastaga langenud 40%, kuid 2035. aastaks seatud sihttaseme (8 mln tonni) saavutamiseks peaks heide vähenema 2021. aastaga võrreldes veel 32%. Ühe elaniku kohta arvestatult oli Eesti suurima süsinikuheitega Euroopa Liidu riik aastatel 2013–2014 ja 2017–2018, sealhulgas 2013. aastal ületas Eesti heide EL-i keskmist taset üle kahe korra (+125%). Põlevkivist elektri tootmise oluline vähenemine 2020. aastal tõi Eesti heitkogused alla – 2020. aastal ületas Eesti EL-i keskmist taset vaid 31%. 2021.

aastal suurenesid heitkogused 13% võrra tasemele 9000 kg ühe inimese kohta ning sama trend jätkus ka 2022. aastal.

Heitekoguste trend sõltub põlevkivielektri konkurentsivõimest

Kui Eesti elektritootmise heide oleks EL-i keskmisel tasemel, oleks ka Eesti koguheide EL-i keskmisega sarnane ja jääks juba praegu alla 2035. aastaks seatud sihttaseme (vt joonis 1 tulpa 2021*, kus Eesti elektritootmise heide on asendatud 2021. aasta EL-i elektritootmise keskmisega). Üksnes energiatootmise üleviimisega vähesse heitega energiakandjatele Eesti üleeuroopalisi eesmärgi siiski ei täidaks, sest eraldi on seatud ka valdkondlikud eesmärgid. Energiatootmise kõrval, mis moodustab ligi pool Eesti koguheitest, on heitmete mahult suurimad valdkonnad töötlev tööstus (2021. aastal 1500 kg inimese kohta), põllumajandus (1250 kg) ning veondus ja laondus (1060 kg) – viimased kolm moodustavad kokku 42% koguheitest.

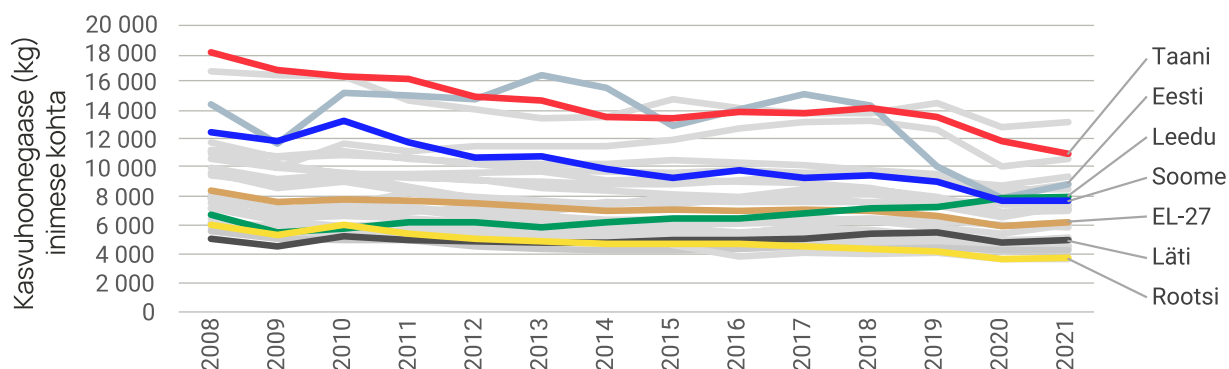


Joonis 1. Kasvuhoonegaaside heitkogused Eestis inimese kohta tegevusalade kaupa 2008–2021, kg CO₂ ekvivalenti

Allikas: Eurostat, autorite arvutused

Eestile sarnase kliimaga lähinaabritel – Lätis, Soomes ja Rootsis (vt joonis 2) – on heitmete tase enamasti jäänud alla EL-i keskmise. Põhjala riikidest paistab Eesti kõrval suure heitkogusega silma ka Taani, kus veonduse ja laonduse vald-

kond annab suure osa riigi kasvuhoonegaaside heitest. Lähiriikidel on elektritootmise heide madalam kui Eestil (4370 kg inimese kohta 2021. aastal) – Poolal (3740 kg inimese kohta), Soomel (2000 kg), Lätil (830 kg) ja Rootsil (540 kg).



Joonis 2. Eesti, Euroopa Liidu ja valitud riikide kasvuhoonegaaside heitkogused inimese kohta ajavahemikus 2008–2021, kg CO₂ ekvivalenti

Allikas: Eurostat

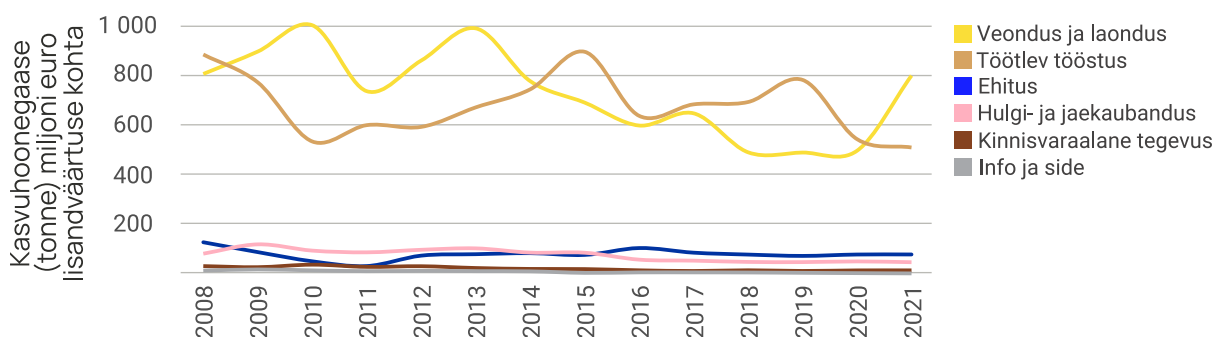
Töötleva tööstuse heitmemahukus on langevas trendis

Teine vaade kasvuhoonegaaside tekkele on läbi lisandväärtuse prisma – kui suur heitekogus tekib teatud hulga lisandväärtuse loomiseks erinevates majandusharudes?

2021. aastal tekkis miljoni euro lisandväärtuse loomiseks Eestis keskmiselt 359 tonni kasvuhoonegaase, seda on 1,6 korda enam kui EL-is keskmiselt. Keskmisest oluliselt kõrgem oli heide veonduses ja laonduses (794 tonni) ja töötlevas tööstuses (508 tonni). Ehituses ja kaubanduses olid heitkogused keskmisest oluliselt madalamad (vastavalt 82 ja 51 tonni). Suurematest majandusharudest oli kõige väiksem heide kinnisvaraalasel tegevusel ning info ja

side valdkonnas (vastavalt 19 ja 7 tonni). Arvestama peab, et majandusharud on omavahel tugevalt seotud ning ühe haru toodang on teisele sisendiks. Näiteks elektritootmisel tekib Eestis miljoni euro lisandväärtuse loomiseks 6802 tonni kasvuhoonegaase, kuid elekter on kõigi teiste harude jaoks oluliseks sisendiks. Samuti on suhteliselt madal ehitussektori heide, kuid märksa kõrgem on see ehitusmaterjalide tootmises.

Miljoni euro lisandväärtuse loomisega tekkiv heide on pea kõikides tegevusalades aja jooksul vähenenud, erandiks on ehitus, mille suhtarv on püsinud üle aja sarnane. Suhtarvu on parandanud eelkõige lisandväärtuse kasv (viidud 2021. aasta hindadesse) ehk sarnase heitmete tasemega suudavad ettevõtted luua rohkem lisandväärtust.



Joonis 3. Kasvuhoonegaaside heitkogused Eestis miljoni euro lisandväärtuse kohta erinevatel tegevusaladel 2008–2021, t CO₂ ekvivalenti*

Allikas: Eurostat, autorite arvutused

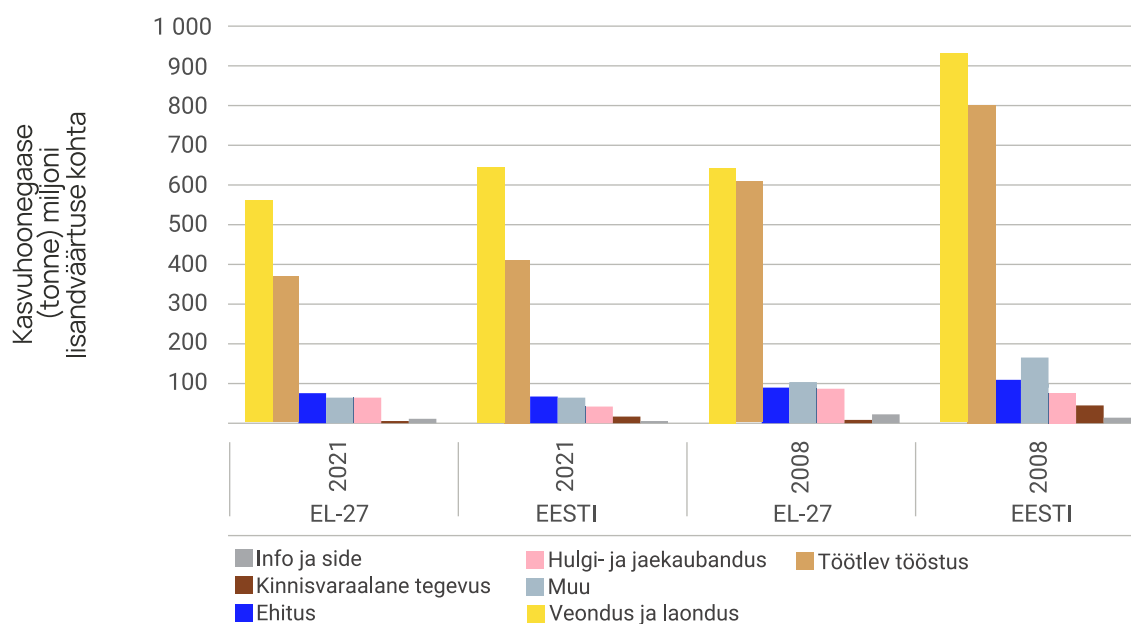
*Lisandväärtus on kogu vaadeldava ajavahemiku jaoks arvestatud 2021. aasta hindades.

Peamiste majandusharude heitmemahukus on vähenenud EL-i keskmisest kiiremini

Kuuest suurima lisandväärtusega majandusvaldkonnas on viie heitmemahukus vähenenud EL-i keskmisest kiiremini. Suurimatest majandusharudest probleemseim on veondus ja laondus, kus heitmemahukus on võrreldes 2008. aastaga kasvanud. Veondus ja laondus on küll heitmemahukas sektor ka teistes EL-i riikides,

kuid keskmine lisandväärtuse ja heitmete suhtarv on EL-is vähenenud märksa kiiremini kui Eestis (joonis 4).

Sama negatiivne trend valitseb ka põllumajanduses. Kui 2008. aastal oli Eesti põllumajanduse heitmemahukus EL-i keskmisest madalam (1987 vs. 2601 tonni), siis 2021. aastal tekib miljoni euro suuruse lisandväärtuse loomiseks Eesti põllumajanduses EL-i keskmisest enam kasvuhoo- negaase (2135 vs. 2032 t).



Joonis 4. Kasvuhooonegaaside kogus miljoni euro lisandväärtuse kohta Euroopa Liidu riikides 2021. aastal, t CO₂ ekvivalenti

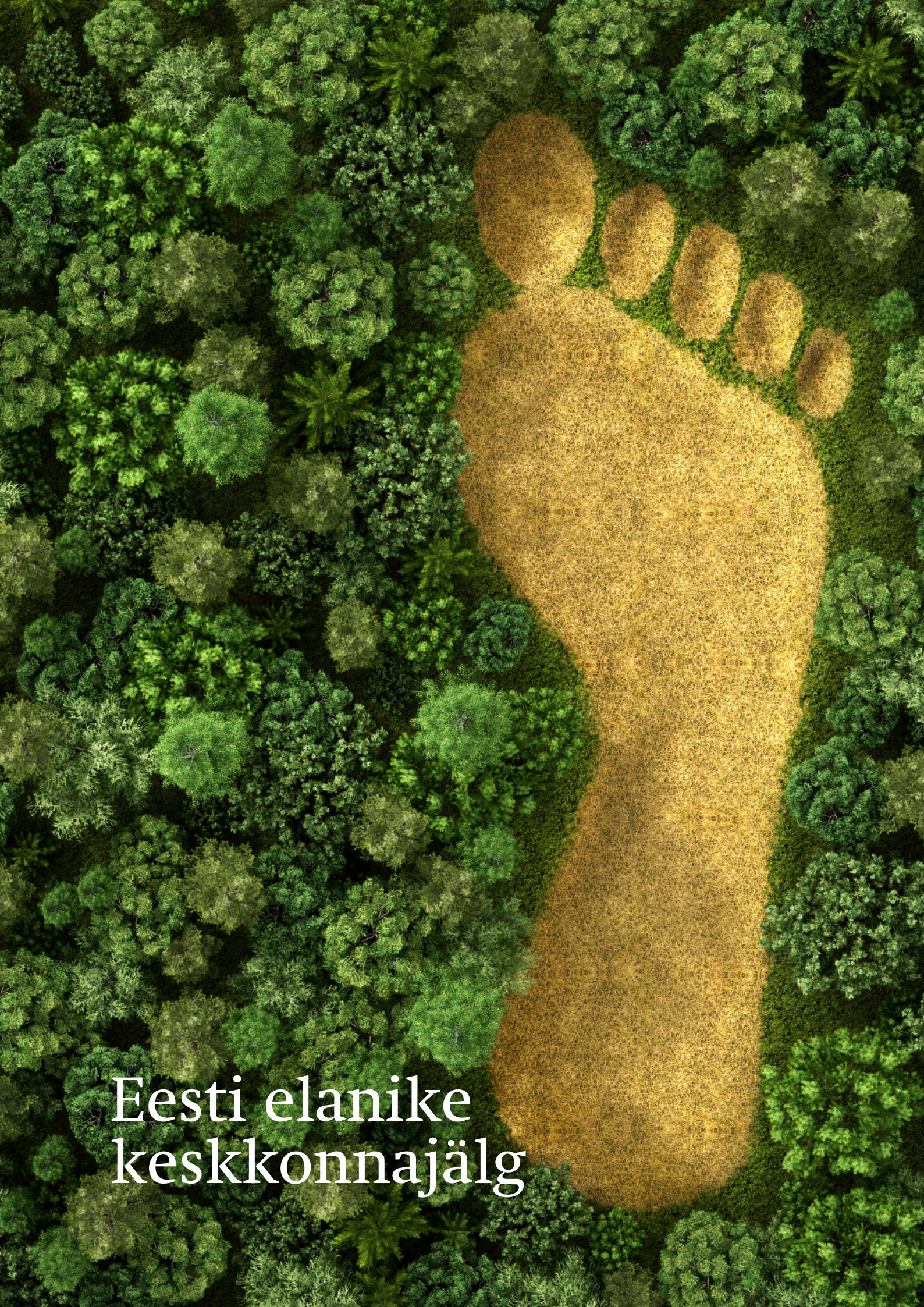
Allikas: Eurostat, autorite arvutused

*Välja arvatud põllumajandus ja elektritootmine.

Vastupidine olukord on töötlevas tööstuses, kus Eesti suhtarv on Euroopa Liidu keskmisega võrreldes paranenud – 2008. aastal tekkis Eestis 1 mln euro suuruse lisandväärtuse loomiseks 24% rohkem kasvuhooonegaase, 2021. aastal vaid 10% rohkem.

Silma paistavad ka info ja side ning eri kaubanduse harud, kus juba 2008. aastal oli Eesti suhteline heitekogus madalam EL-i keskmisest ning 2021. aastaks on see vahe veelgi suurenenud Eesti kasuks.

Tervikuna on kasvuhooonegaaside heitkogused vähenenud Eestis kiire tempos ning 2035. aastaks seatud eesmärk oli 2020. aastal, kui põlevkivienergia ei olnud turul konkurentsivõimeline, juba käeulatuses. Edasised sammud heitmemahukuse vähendamisel nõuavad suuremaid jõupingutusi ja järgmine peatükk selgitab, et madalamal rippuvad viljad on eelkõige riigisektori korjata, kuid oma keskkonnajälge saab vähendada ka igaüks ise.

An aerial photograph of a dense green forest. A large, golden-yellow footprint is superimposed on the right side of the image, with the heel and arch of the foot extending towards the bottom. The forest consists of various types of trees, including deciduous and coniferous, creating a textured green canopy.

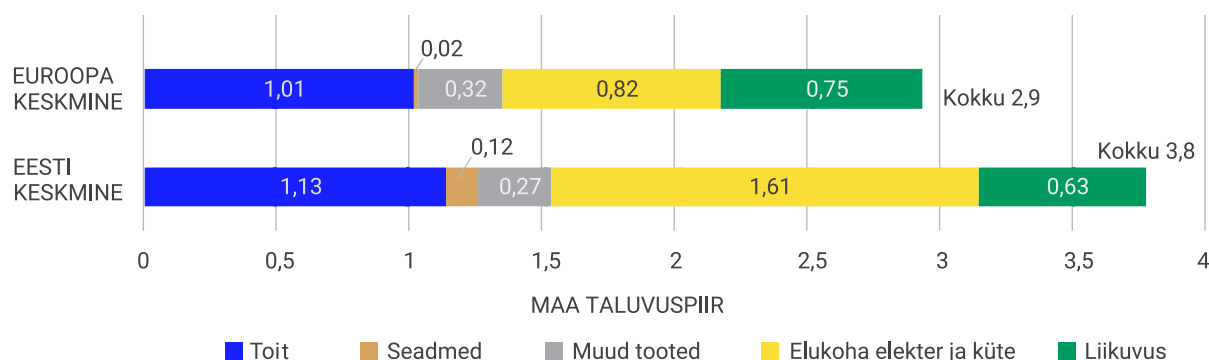
Eesti elanike keskkonnajälg

Inimtegevuse kogumõju keskkonnale saab hinnata planeedi taluvuspiiride kaudu – see paneb paika taseme, mida inimkond ei tohiks pikaajaliselt ületada. Erinevate inimtekkeliste keskkonnamõjude täpsemaks selgitamiseks on kasutusele võetud keskkonnajälje käsitlus. Keskkonnajälg hindab inimese elutegevusega tekkivat keskkonnamõju 16 kategoorias, sealhulgas võetakse arvesse nii ressurside kasutust kui ka tarbimiskäitumise tõttu tekkivat keskkonnakoormust. Seega on keskkonnajälg märksa laiem käsitlus kui üksnes süsinikuheite hindamine.

Järgnev analüüs vaatleb Eesti inimeste igapäevase elutegevuse mõju keskkonnale, tuginedes Euroopa Komisjonis kasutusel olevale keskkonnajälje mõõtmise metoodikale ning Eesti leibkondade tarbimisandmetele, mis pärinevad leibkonna eelarve uuringust (LEU).

Keskkonnajälg leibkonnaliikme kohta Eestis ületab Maa taluvuspiire keskmiselt 3,8-kordselt, Euroopas 2,9-kordselt

Leibkonna eelarve uuringu andmetele tuginedes ületas keskmine Eesti elanik 2019. aastal Maa taluvuspiire 3,8-kordselt. Suurim osa (43%) sellest tuleb elukoha elektrist ja küttest, seejärel (30%) tarbitud toidu tootmisest ja liikuvusest (17%). Keskmine Eesti elanik erineb keskmisest Euroopa elanikust peamiselt elukoha elektri ja kütte suurema keskkonnajälje poolest. Ühelt poolt on selle põhjuseks jahedam kliima – Eurostati andmete järgi kulub Eestis palju enam energiat kütmisele kui Euroopas keskmiselt. Teiseks põhjuseks on erinevus energiaallikates – Eestis on sagedamini kasutusel ahiküte, mille keskkonna jalajälg on ühe KWh kohta kaks korda suurem kui maagaasil, mis oli 2019. aastal Euroopas ülekaalukalt levinuim kütteallikas.



Joonis 5. Keskmise Euroopa ja Eesti elaniku keskkonnajälg

Allikas: Euroopa Komisjon, LEU, autorite arvutused

Kuigi Eesti autopark on üks Euroopa vanimast, siis liikuvusega seotud keskkonnajälg on keskmisel Eesti elanikul keskmisest eurooplasest väiksem. Põhjus seisneb selles, et Eesti inimesed kasutavad vähem lennutransporti – kui Euroopas moodustab lennuliiklus 27% liikuvu-

se keskkonna jalajäljest, siis Eestis 2%. Kui jätta lennuliiklus vaatluse alt välja, oleks Eesti inimeste transpordist tulenev keskkonnajälg 0,63 asemel 0,62 ja Euroopas keskmiselt 0,75 asemel 0,55. Seega ülejäänud liikuvuse keskkonnajälg on Eestis suurem kui Euroopas keskmiselt.

Keskkonnajälje metoodika

Keskkonnajälg näitab, mitu korda ületatakse Maa taluvuspiire. Metoodika põhineb paljudel teadustöödel ja täieneb ajas². Keskkonnajälg koosneb 16 kategooriast, millest igaühe jaoks on kokku lepitud senise parima teadmise järgi mõõdikud ja piirmäärad. Igal kategoorial on erinev mõõdik – nt tahkete osakeste õhus sisaldumise kategooria puhul on selleks suremus. 16 kategooriat kaalutakse kokku ja saadakse ühtne Maa taluvuspiir. Kategooriatel ei ole võrdsed kaalud. Suurim kaal on kliimamuutuste kiirendamise kategoorial (21,06%) ja väikseim vähki mitte-tekitava mürgistuse kategoorial (1,84%) (vt joonis 6). Kategooriatel on ka erinev ulatus, kas kohalik või globaalne. 12 kategooria puhul avalduvad mõjud kohalikul tasandil, samas kui neljal kategoorial on ülemaailmsed mõjud – kliimamuutused, osoonikihi hõrenemine, fossiilsete ja muude maavarade ammendumine.

Sama metoodikat on kasutanud Euroopa Komisjon ja loonud [keskkonnajälje kalkulaatori](#)³. Kalkulaatori abil saab igaüks hinnata oma keskkonnajälje Maa taluvuspiiride raamistikus. Eesti inimeste keskkonnajälje arvutamisel on aluseks võetud Euroopa Komisjoni vastav mudel, mille sisendiks on tarbimine viies valdkonnas:

- tarbitud toidu tootmine;
- seadmed;
- majapidamises tarvitavad muud tooted;
- elukoha küte, elekter ja vesi;
- liikuvus.

Eesti inimeste tarbimist kajastava info aluseks on 2019. aasta leibkonna eelarve uuring (LEU). Uuringus on enamasti rahalised kulud, mis on keskkonnajälje leidmiseks teisendatud tarbitud kogusteks. Näiteks bensiinile tehtud kulutuste põhjal hinnatakse aastast läbisõitu. Selleks on rahaline kulu jagatud 2019. aasta keskmise bensiinihinnaga (1,25 eurot liiter) ja saadud liitrite kogus jagatud Eesti keskmise bensiinimootoriga sõiduki kütusekuluga (8,3 l / 100 km). Iga leibkonna-liikme tarbimist on kohendatud OECD modifitseeritud kaaludega (esimene täiskasvanud isik on kaaluga 1 ja ülejäänud üle 14-aastased kaaluga 0,5 ja alla 14-aastased kaaluga 0,3).

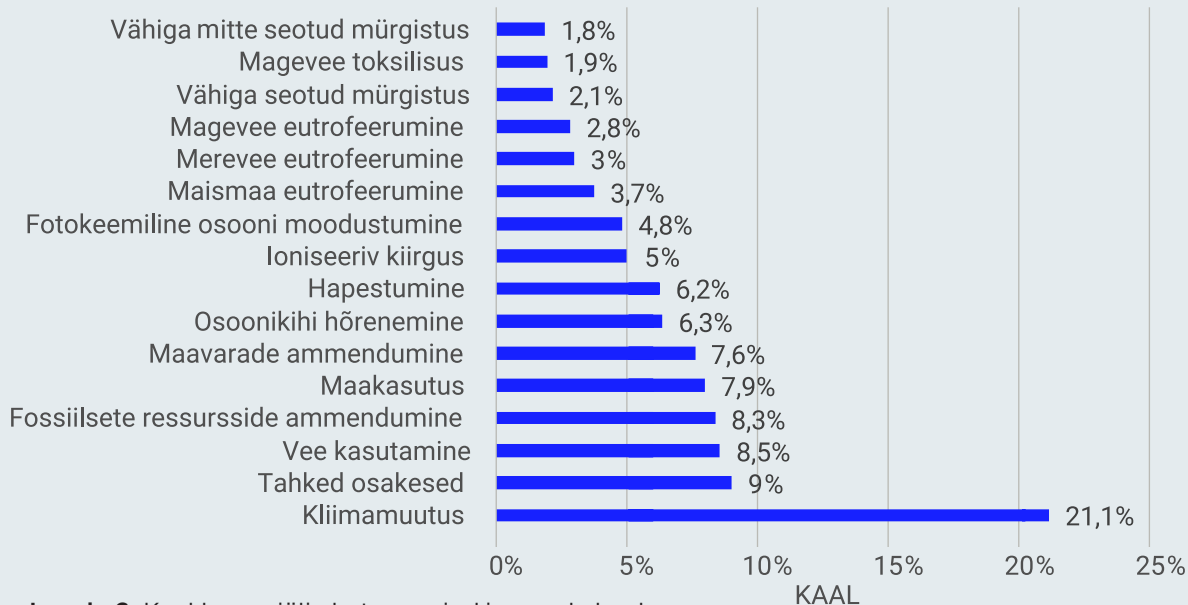
Metoodikat on täpsemalt kirjeldatud uuringus „[Eesti inimeste keskkonnajälg](#)“.

² Crenna, E., Secchi, M., Benini, L. *et al.* (2019). Global environmental impacts: data sources and methodological choices for calculating normalization factors for LCA. *Int J Life Cycle Assess* 24, 1851–1877, <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01604-y>

Sala, S., Crenna, E., Secchi, M., Sanyé-Mengual, E. (2020). Environmental sustainability of European production and consumption assessed against planetary boundaries, *Journal of Environmental Management*, Volume 269, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110686>

Sanyé-Mengual, E., Secchi, M., Corrado, S., Beylot, A., Sala, S. (2019). Assessing the decoupling of economic growth from environmental impacts in the European Union: A consumption-based approach, *Journal of Cleaner Production*, Volume 236, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.010>

³ European Commission, Joint Research Centre, Sala, S., De Laurentiis, V., Barbero Vignola, G. *et al.* (2022). The consumer footprint calculator – Estimating the environmental impacts of the consumption of EU citizens and their lifestyle, Publications Office of the European Union, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/597000>



Joonis 6. Keskkonnajälgikategooriad ja nende kaal

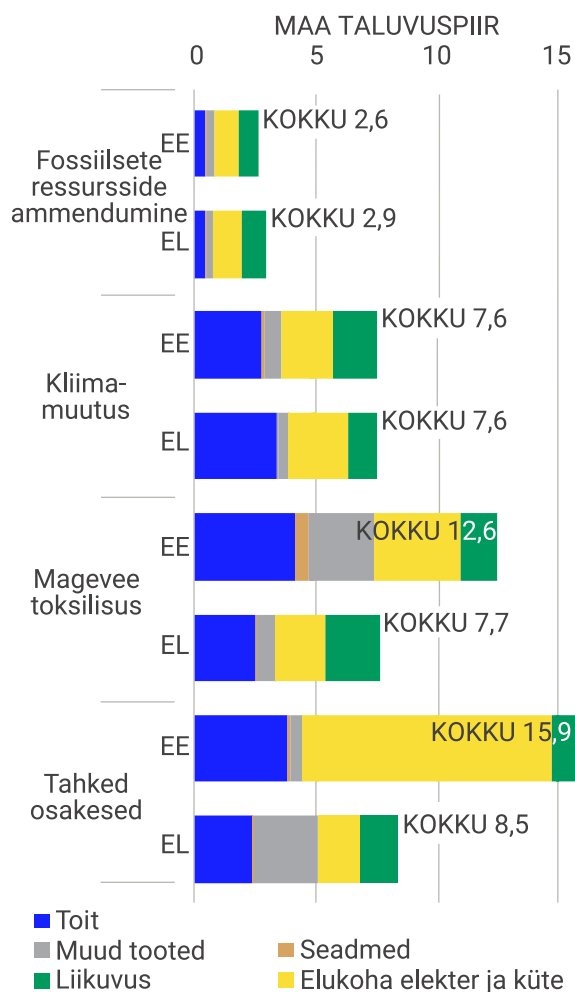
Allikas: Euroopa Komisjon

Kategooriate lõikes on suurimad probleemid nii Euroopas kui ka Eestis seotud tahkete osakeste õhkupaiskamisega (Euroopas 8,5 ja Eestis 15,9 korda üle Maa taluvuspiiri), magevee toksilisusega (vastavalt 7,7 ja 12,6 korda üle piiri), kliimamuutuste kiirendamise ehk süsinikuheitega (7,6 ja 7,6 korda üle piiri) ja fossiilsete kütuste ammendamise (2,9 ja 2,6 korda üle piiri).

Tahkete osakeste õhkupaiskamise mõju on kohalik ja selle väljenduseks on tahkete osakeste põhjustatud suremus. **Eesti suurt tahkete osakeste hulka õhus tekitab peamiselt puiduga kütmine.** 2011. aastal avaldatud töös leiti, et peened osakesed õhus põhjustavad Eestis keskmiselt 600 enneaegset surma⁴.

Magevee toksilisus on samuti kohaliku ja piirkondliku mõjuga tegur. Kolmandiku (33%) ulatuses tekitab seda tarbitud toidu tootmine, 29% elekter ja küte ning 22% leibkonna tarvitavad muud tooted. Toidu puhul on neli suuremat kategooriat: 1) sealiha, mille tootmine annab 18% magevee toksilisuse näitajast, 2) šokolaad (15%), 3) hooajalised puuviljad (7%) ja 4) juust (7%).

⁴ Orru, H. et al. (2011). Välisõhu kvaliteedi mõju inimeste tervisele – peentest osakestest tuleneva mõju hindamine kogu Eesti lõikes.



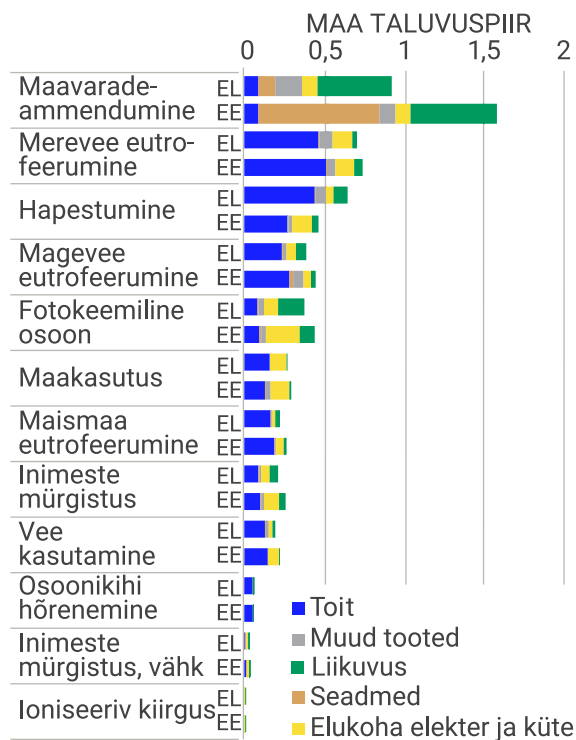
Joonis 7. Suurima keskkonnajälgikategooriad Eestis ja Euroopas

Allikas: Euroopa Komisjon, LEU, autorite arvutused

Kliimamuutuste kiirendamise jalajälg on keskmisel Eesti elanikul sama suur kui keskmisel eurooplasel (7,6). Sageli mõtestatakse rohepööret kui võitlust kliimamuutuste vastu, aga tegelikult on kliimamuutused vaid üks osa kogu inimtegevuse keskkonnamõjust. Kliimale avalduva mõju hindamiseks kasutatakse CO₂ ekvivalenti ja see on globaalse mõjuga tegur. Maa turvalisse taluvuspiiri jõudmiseks peab elaniku tarbimisest tekkiv heide olema alla 1000 kg CO₂ ekvivalendi aastas. Suurimat heidet põhjustab Eestis tarbitud toidu tootmine (36%)⁵, seejärel elukoha elekter ja küte (29%) ning liikuvus (24%).

Fossiilsete ressursside ammendamise jalajälg on keskmisel Eesti elanikul väiksem kui keskmisel eurooplasel (2,6 vs. 2,9). Mõlemal juhul on suurimateks mõjutajateks elukoha elekter ja küte ning liikuvus. Fossiilsete kütuste all on peamiselt mõeldud naftat, maagaasi ja sütt. Eraldi vaadeldi ka maavarade ammendamise seotud jalajälge – selles osas ületab keskmise Eesti elaniku keskkonnajälg (1,2) veidi turvaliseks peetavat piiri, keskmise eurooplase oma aga jääb turvalisse tsooni (0,9). Maavarade all on peamiselt mõeldud mineraale ja metalle, näiteks indium, kuld, tantaalium ja hõbe. Suur osa maavarade ammendumisest tuleneb seadmete tarbimisest (48%) ja see omakorda peamiselt teleritest ja arvutitest. Maavarade ammendumine on globaalse mõjuga tegur – järgnevatel põlvkondadel on väiksem võimalus neid maavarasid kasutada. Jalajälje vähendamiseks on tähtsal kohal toodete võimalikult pikk eluiga ja kasutusest väljas olevatest seadmetest pärinevate materjalide taaskasutamine.

Ülejäänud kategooriate tulemused jäävad nii keskmisel Eesti elanikul kui ka keskmisel eurooplasel Maa taluvuspiiride turvalisse alasse.



Joonis 8. Väiksema keskkonnajäljega kategooriad Eestis ja Euroopas
Allikas: Euroopa Komisjon, LEU, autorite arvutused

Kõige lähemal ollakse oma elutegevuse käigus tekkiva mõjuga merevee eutrofeerumise (0,7) ja hapestumisega (0,7) seotud taluvuspiiridele. Kuigi keskmise Eesti elaniku keskkonnajälg vee eutrofeerumise (meres, magevees ja maismaal) kategoorias ei ületa Maa taluvuspiire, peab arvestama, et Läänemeri on üks suurimas eutrofeerumise ohus merealasid maailmas⁶. Eutrofeerumine ehk taimede toitainete liigkõrge kontsentratsioon, mis vähendab vee hapnikusisaldust, toimub siis, kui peamiselt inimtegevuse tagajärjel tekkinud üleliigsed toitained (enamasti lämmastik või fosfor) satuvad veekogusse.

⁵ Kuna kliimamuutuste kiirendamine on globaalse mõjuga kategooria, siis ei teki kogu Eestis tarbitud toiduga kaasnev heide Eestis, imporditud toidu ulatuses tekib see päritoluriikides. Ka liikuvuse puhul tekib näiteks autode tootmisega seonduv heide välisriikides, sama kehtib Eestisse imporditud energiakandjate tootmisega seonduvate heitmete kohta.

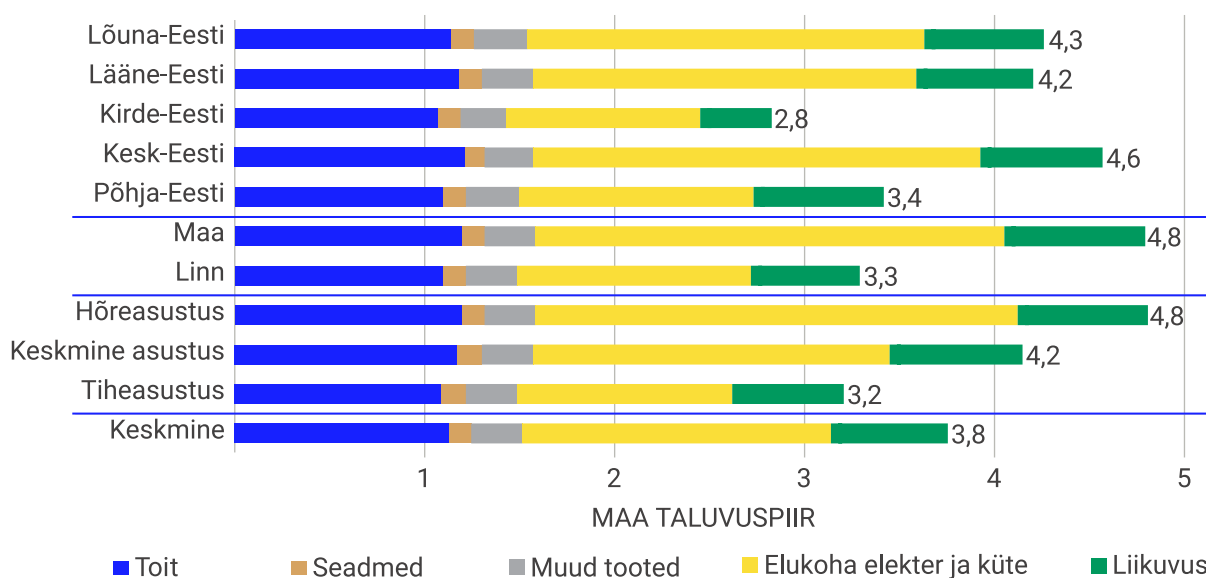
⁶ Euroopa Kontrollikoda (2016). Läänemere eutrofeerumisega võitlemine: tuleb võtta rohkem ja mõjusamaid meetmeid.

Kirde- ja Põhja-Eestis elavatel leibkondadel on teiste piirkondadega võrreldes väiksem keskkonnajälg

Piirkondlikult on keskkonnajälg väiksem Kirde- (2,8) ja Põhja-Eestis (3,4) ning keskmisest suurem Lääne- (4,2), Lõuna- (4,3) ja Kesk-Eestis (4,6) elavatel leibkondadel. Kirde-Eestis elavate inimeste keskkonnajälg on väiksem igas tarbimiskategoorias, aga peamine erinevus tekib elukoha kütte ja liikuvusega seotud väiksemast keskkonnakoormusest. Kirde-Eesti linnaline asustussüsteem tähendab, et rohkem kasutatakse kaugkütet, mis on väiksema keskkonnajäljega. Sama kehtib ka Põhja-Eesti kohta, kus 80% leibkondi kasutab oma kodu kütmiseks kaugkütet või väiksema keskkonnajäljega lokaalkütet (nt maagaasi). Keskmisest suurema keskkonna-

jäljega piirkondades on sagedamini kasutusel ahiküte, mille keskkonnajälg on peenosakeste õhkupaiskumise tõttu suurem.

Sarnased mustrid ilmnevad linnaliste (3,3) ja maa-asulate (4,8) võrdluses, kus põhiline erinevus seisneb elukoha kütte keskkonnajäljes ning vähesel määral ka liikuvuses ja toidu tarbimises. Leibkonnaliikme kohta kulub maal elukoha kütteks sageli enam energiat kui linnas. Ka sõidetud vahemaad on maal elades suuremad. Samas peab arvestama, et inimeste elutegevusega kaasnev lokaalse mõjuga keskkonnajälg, ahiküttest tingitud tahkete osakeste õhkupaiskumine, hajub maapiirkondades suuremale alale ning pole seega sama tõsine probleem kui linna- piirkonnas.



Joonis 9. Keskkonnajälg asustustiheduse ja piirkonna järgi

Allikas: Euroopa Komisjon, LEU, autorite arvutused

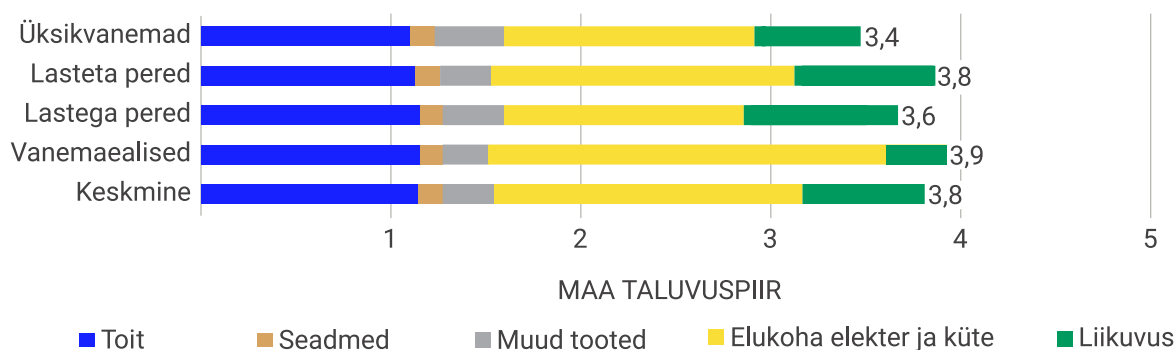
Erinevate leibkonnatüüpide keskkonnajäljed on sama mõõtu, kuid erinevate mustritega

Erinevate leibkonnatüüpide keskkonnajälg on suhteliselt sarnane, küll aga erineb selle sisemine struktuur ehk erinevate tegurite panus keskkonnajälje kujunemisse. Suurim keskkonnajälg

(3,9) on vanemaealiste leibkondadel. Selle peamiseks põhjuseks on elukoha küttega seotud keskkonnakoormus (vanemaealistel 2,1, keskmiselt 1,6) – üldjuhul on vanemaealiste leibkonna suuruseks 1 või 2 inimest, koetavat eluruumi aga suhteliselt palju, mistõttu ühe inimese kohta arvestatuna kulub küttele palju energiat. Vastupidiselt küttele on vanemaealistel keskmisest

väiksem liikuvuse keskkonnajälg (vanemaealistel 0,3, keskmiselt 0,6). Lastega ja lasteta peredel tekib keskmisest suurem keskkonnajälg just liikuvusest, sest sellises leibkondades elavad

inimesed läbivad aasta jooksul keskmiselt kaks korda rohkem kilomeetreid kui vanemaealiste leibkondade liikmed.



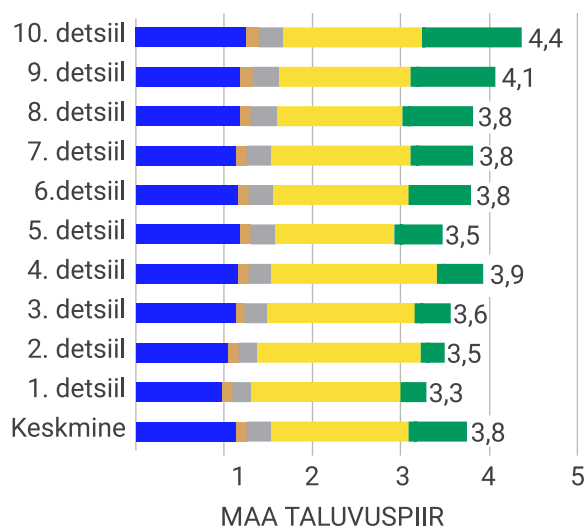
Joonis 10. Keskkonnajälg leibkonnaliikme kohta erinevates leibkonnatüüpides 2019. aastal
Allikas: Euroopa Komisjon, LEU, autorite arvutused

Hinnates keskkonnajälge erinevate kategooriate lõikes, paistab silma, et vanemaealiste leibkondade liikmed ületavad Maa taluvuspiire kõige enam peenosakeste õhkupaiskamisega (20,1 korda, leibkondade keskmine 15,9 korda), mida saab seostada ahikütte kui kütteallika sagedasema kasutamisega. Samas ületavad vanemaealised oma tarbimiskäitumisega keskmisest vähem (6,7 vanemaealised ja 7,6 keskmiselt) kliimamuutustega seotud Maa taluvuspiire. Lastega perede keskkonnajälg on vastupidine – suhteliselt väiksem on peenosakeste (13,1) osakaal ja suurem kliimamuutuste ja ressursside ammenemisega seotud keskkonnajälg.

Jõukuse kasvades väheneb kütte keskkonnajälg ja suureneb liikuvuse keskkonnajälg

Enamasti on suurema sissetulekuga leibkondadel ka suurem keskkonnajälg⁷ – 1. detsiili keskkonnajälg on 3,3 ja kõrgeima sissetulekuga 10. detsiili kuuluvatel Eesti inimestel keskmiselt 4,4. Samas ei suurene erinevate tarbimiskategooriate keskkonnajälg ühtlaselt koos sissetulekutega

– näiteks tarbitud toiduga seotud keskkonnajälg on sarnane 3. kuni 9. detsiilil, eristuvad vaid 1. ja 2. detsiil keskmisest madalama ja 10. detsiil keskmisest kõrgema keskkonnajäljega. Sarnane seos esineb ka seadmete kasutamise ja muude leibkonnas tarvitavate toodetega.



Joonis 11. Keskkonnajälg sissetulekudetsiili järgi
Allikas: Euroopa Komisjon, LEU, autorite arvutused

⁷ Theine, H. et al. (2022). Emissions inequality: Disparities in income, expenditure, and the carbon footprint in Austria, Ecological Economics, Volume 197, 107435, ISSN 0921-8009.

Oswald, Y. et al. (2020). Large inequality in international and intranational energy footprints between income groups and across consumption categories. Nat Energy 5, 231239..

Vastassuunaliselt sissetulekutega muutuvad elukoha kütte ja liikuvusega seotud keskkonnajäljed. **Mida suurem on sissetulek, seda väiksem on leibkonna elukoha küttest tingitud keskkonnajälg.** Suurema sissetulekuga leibkonnad kasutavad sagedamini soojuspumpasid, kaugkütet ja gaasikütet ning teisi kõrge kasuteguriga kütelahendusi. **Samas kasvab koos sissetulekuga liikuvusega seotud keskkonnajälg.** Suurema sissetulekuga detsiilides on leibkondadel rohkem mootorsõidukeid ja läbitakse rohkem kilomeetreid, enam kasutatakse ka len-

nutransporti – 10. detsiili leibkonnad lendavad aasta jooksul üle 50 korra enam kilomeetreid kui 2. detsiili kuuluvad leibkonnad. Ka teiste transpordiviiside kasutamine on jõukamates detsiilides intensiivsem.

Sissetulekugruppide tarbimiskäitumise erinevused avalduvad ka keskkonnamõjude iseloomus – keskmise Eesti inimesega võrreldes paiskavad madalama sissetulekuga inimesed õhku rohkem peenosakesi, suurema sissetulekuga inimeste tarbimine kasvatab kliimamuutuste ja ressursside ammendumise riski.

Kuidas keskkonnajälge väiksemaks muuta?

Maa taluvuspiiridesse jõudmiseks on eelkõige vaja vähendada Eesti energia- ja soojamajanduse keskkonnamõju. Need on süsteemsed muutused, kus tegutsemisvõimalused on sageli indiviidi tasandist kõrgemal. Näiteks kui linnakeskkonnas, kus on lihtsam viia eluruume ahiküttelt üle kaugküttele, väheneks ahikütte kasutajate osakaal poole võrra, kahaneks linnalise piirkonna keskkonnajälg 0,5 võrra (3,3 asemel 2,8) ning Eestis tervikuna 0,4 võrra. Paljud süsteemsete muutuste võtmed peituvad ka uute rohetehnoloogiate arendamises ja rakendamises.

Kuid oma keskkonnajälge saavad vähendada ka inimesed ise. Mõned muudatused nõuavad suuremal või vähemal määral lisakulusid – näiteks kui maapiirkonnas väheneks tänu hoonete soojustamisele ja efektiivsematele küttekolletele küttepuude kasutus 50% võrra, kahaneks maapiirkondade keskkonnajälg 0,8 punkti võrra (4,8 asemel 4,0). Samas on tegevusi, mis suurt rahalist panust ei nõua – vähendades liha tarbimist Terve Arengu Instituudi soovitustele vastavaks, kahaneks keskmine keskkonnajälg 0,2 punkti võrra. Samuti peitub keskkonnajälje vähendamise võimalusi inimeste liikumisharjumustes – keskkonnajälg väheneks 0,1 punkti võrra, kui 20% ulatuses asendataks sõiduautoga sõidud ühistranspordiga. Kõikide autode asendamine elektriautodega vähendaks summaarset jalajälge 0,4 punkti võrra, kuid muudaks keskkonnajälje mustrit: väheneks fossiilsete ressursside ammendumise risk, aga kasvaks muude maavarade ammendumise risk, mida vajab elektriautode akude tootmine.

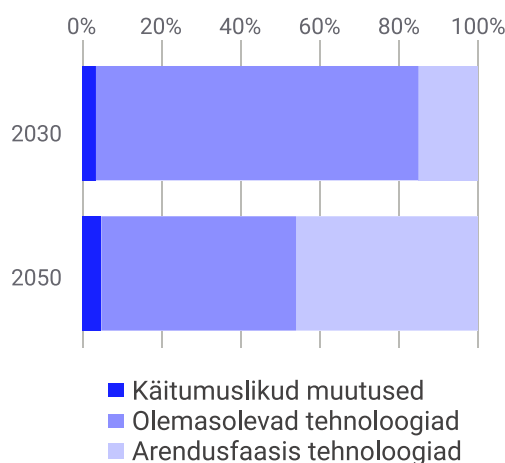
Keskkonnajälje vähendamisel on suurem võimalus õnnestuda, kui inimeste valikute suunamisel peetakse silmas mõlemat poolt – **mitte ainult muutes suurema keskkonnajäljega valikud kallimaks, vaid mõeldes ka sellele, kuidas muuta kestlikud valikud odavamaks.** Selleks tavapäraselt kasutatav toetuste pakkumine (Eestis on kasutusel näiteks elektriauto ostutoetus, renoveerimistoetus, küttesüsteemi vahetamise toetus) aitab eelkõige elanikkonna jõukamat osa, kes suudab tulla toime omafinantseeringu ja taotlusprotsessi keerukusega.



Paljud rohepöördeks
vajalikud tehnoloogiad on
alles arendusfaasis

Rohepöörde keskmises on erinevad mada-
la heitega tehnoloogiad ning edu klii-
maneutraalsuse suunas liikumisel on
seotud läbimurretega uute rohetehnoloogia-
te väljatöötamisel ja rakendamisel.

Rahvusvahelise Energiaagentuuri (IEA) andme-
tel⁸ on ligikaudu pool tehnoloogiatega, mida va-
jame looduse sidumisvõimet mitteületava heit-
me saavutamiseks aastaks 2050, alles varajases
prototüübi või demonstratsiooni faasis (vt joo-
nis 12). Seega sõltub kliimaneutraalsus sellest,
kas käesoleva kümnendi jooksul õnnestub teha
piisavalt jõupingutusi ja läbimurdeid, et need
uued tehnoloogiad õigeaegselt kasutusele võt-
ta. Rohepöördega seotud tehnoloogiate kiire
areng toob globaalsel turul kaasa suuri muutusi,
aga seeläbi ka majanduslikke võimalusi Eestile.
Samas, üksnes tehnoloogiate olemasolu ei too
kaasa nende kiiret levikut – vaja on ka ühiskonna
toetust ja sobilikku tegevuskeskkonda.



Joonis 12. Vajalikud panused iga-aastaste CO₂ heitkoguste vähendamiseks süsinikuneutraalsuse saavutamiseks võrreldes 2020. aastaga

Allikas: International Energy Agency 2022

Rohepöördega seoses räägitakse sageli süvatehnoloogiatest (Deep Tech), mille all mõistetakse tehnoloogiaid, mille arendamine tänaseid võimalusi kasutades on vaevu teostatav ning nõuab märkimisväärset intellektuaalset ja majanduslikku kapitali, kuid millel on potentsiaal muutuda tulevikus üldkasutatavateks⁹.

Euroopa uus innovatsioonikava¹⁰ seab eesmärgiks, et Euroopal oleks juhtroll süvatehnoloogiate innovatsioonis. Euroopa tugevustena tuuakse esile teaduse head taset, tugevat tööstusbaasi, ühtsest turust tulenevaid eeliseid ning haritud inimesi. Nende tugevuste ärakasutamine nõuab ühelt poolt sihituid meetmeid, aga teisalt kogu ettevõtluse tegevuskeskkonna sobilikkust – nt õigusraamistik, maksusüsteem, haridussüsteem. Lahendamist vajavad küsimused, kuidas tagada kasvufirmade juurdepääs rahastusele ja innovatsiooniks vajalikule taristule. Samad võtmeküsimused seisavad ka Eesti ees.

Sageli tuuakse hea näitena EL-i positsioon tuuleenergia valdkonnas, kus julged poliitilised valikud koos avaliku ja erasektori tiheda koostööga ning ühtse turu eelistega on toonud kaasa olukorra, kus Euroopa Liidus asuvad ligi poolte tuuleturbiinide, generaatorite aluste ja teiste tuulikudetaile tootvate ettevõtete peakontorid¹¹.

Mitmetes valdkondades on paralleelselt arenduses erinevad tehnoloogilised alternatiivid

Erinevad rohepöördega seotud tehnoloogiad konkureerivad omavahel ning paljudes valdkondades ei ole selge, mis saab olema läbimurdeline lahendus. Näiteks energiatootmises on üheks selgeks arengusuunaks tuule- ja päikeseenergia tehnoloogiate ja elektrienergia

⁸ International Energy Agency (2022). Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector.

⁹ Siegel, J., Krishnan, S. (2020). Cultivating Invisible Impact with Deep Technology and Creative Destruction. Journal of Innovation Management. 8. 619. 10.24840/2183-0606_008.003_0002.

¹⁰ International Energy Agency (2022). Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector.

¹¹ https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy_en

salvestustehnoloogiate arendamine. Rahvusvahelise Energiaagentuuri poolt mudeldatud arengutee süsinikuneutraalse majanduseni nõuaks sel kümnendil päikese- ja tuuleenergia kasutamise ülikiiret suurendamist, saavutades 2030. aastaks tootmismahu vastavalt 630 GW päikeseenergiast ja 390 GW tuuleenergiast¹². Selleni jõudmine tähendaks praeguse maailma suurima päikesepargi mahus tootmisvõimsuste paigaldamist ligikaudu iga päev.

Aga päikese- ja tuuleenergeetika kõrval on ka teisi arendussuundasid – näiteks Silicon Valley iduettevõtte Oklo¹³ arendab kompaktnuuktuumareaktorit, mille kütuseks kasutatakse olemasolevaid tuumajäätmeid. Nende lahendus on USA regulaatoritelt saanud juba suures osas heakskiidu. Oklo mikroreaktori ehitamine võib maksta umbes 10 miljonit dollarit ja käitamine vaid 3 miljonit dollarit aastas. Mikroreaktori tootmisvõimsus jääb 10 MWh piiridesse, kuid neid omavahel ühendades on võimalik luua ka suurema võimsusega tootmisüksusi. Aastakümneid tuleviku energiaallikaks peetud termotuumasünteesil põhinev energiatootmine võib samuti järgmisel kümnendil reaalsuseks saada. Seda toetavad uued avastused materjalitehnoloogias. Perspektiivikas on näiteks ka biogaasi laiem kasutamine, mille juures tehnoloogilise arendustegevuse fookus on hea puhtusastmega biometaani saamisel.

Teise näitena, kus arenduses on mitmeid omavahel võistlevaid tehnoloogiaid, saab tuua liha alternatiivide valdkonna. Taimsed liha alternatiivid on juba mõnda aega turul, kuid pole saavutanud loodetud turuosa. Lihavalgu asendava taimevalgu alternatiivid on kultiveeritud liha ehk lihavalgu tootmine laboratoorselt, samuti kasutatakse mikroobseid liha alternatiive ning putukate valku.

Rohepööre ei saa läbi digitehnoloogiata

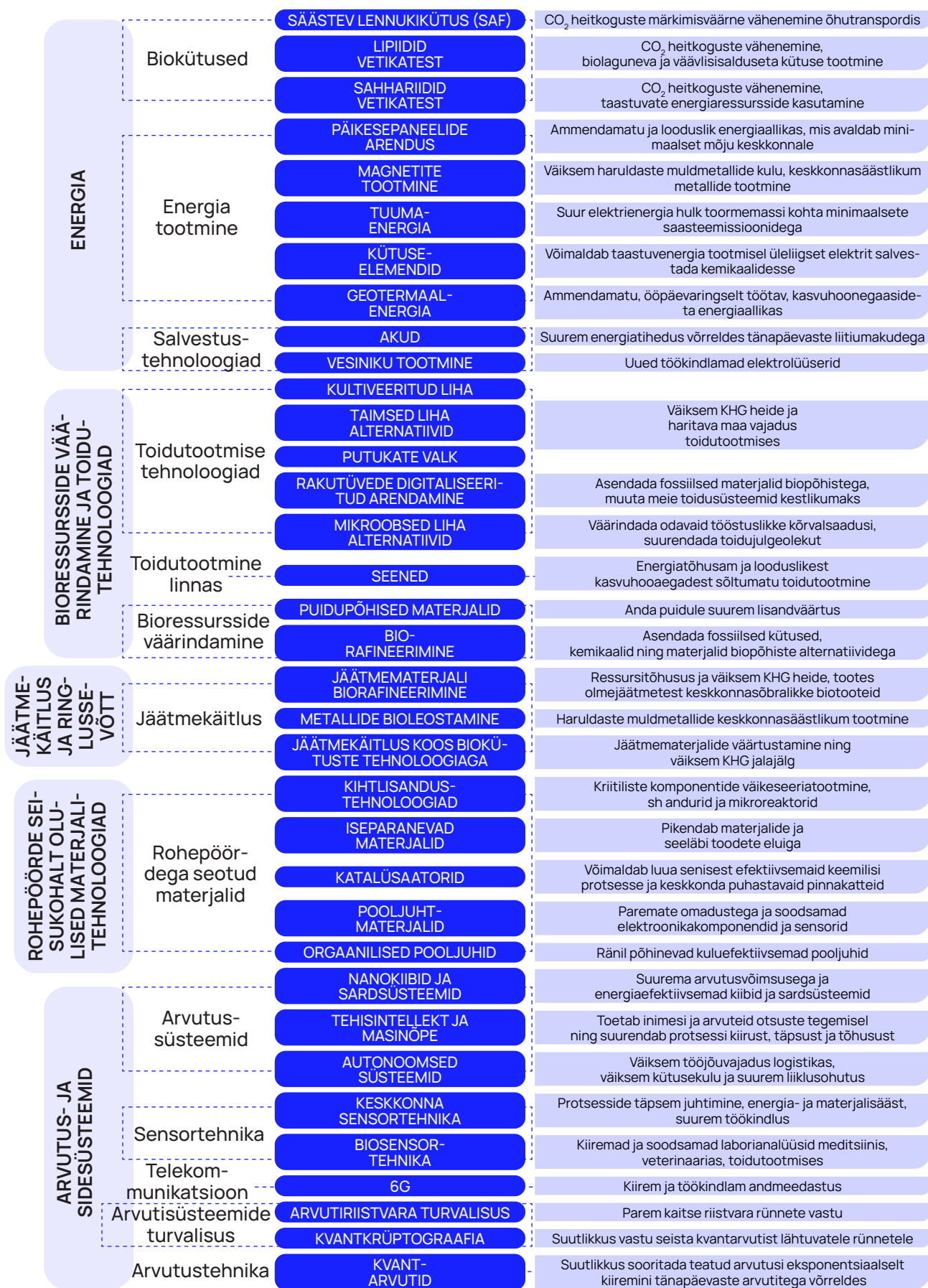
Kliimaneutraalsuse saavutamine ei piirne kaugeltki ainult energiatootmisega. Tehisintellekt (*Artificial Intelligence* ehk AI) võib vähendada hoonete energiatarbimist, analüüsides ilmateadet, hoonete täituvust ja teisi tegureid ning reguleerides vastavalt kütte-, ventilatsiooni- ja valgustussüsteemi tööd. Digilahendused aitavad ettevõtetel jälgida, analüüsida ja esitada keskkonnaandmeid, toetades sellega süsinikdioksiidi heitkoguste vähendamist¹⁴. AI võib muuta süsinikuturud läbipaistvamaks – nt idufirma Pachama on töötanud välja platvormi, kus ettevõtted saavad toetada süsinikdioksiidi vähendamise projekte. Projektide vastu usalduse tekitamiseks kasutatakse satelliidipilte ja tehisintellekti, et mõõta metsades kogutud süsiniku. Digitehnoloogiat saab kasutada ka inimeste rohepöördesse kaasamiseks. Näiteks luuakse virtuaalreaalsuse filme, mis demonstreerivad globaalse soojenemise katastroofilisi mõjusid ja püütakse sel viisil kaasata publikut keskkonnasäästlikumalt käituma. Digitehnoloogiate varjukülg on paraku küllaltki suur energiamahukus, mis fossiilse energia kasutamisel omakorda suurendab süsiniku jalajälge.

Joonis 13 esitab ülevaate erinevatest rohepöörde seisukohalt olulistest tehnoloogiavaldkondadest ja nende raames töös olevatest täpsematest arendussuundadest. Vaatluse alt on jäetud välja need tehnoloogiad, mis on madalamatel valmidusastmetel või mille puhul on äärmiselt ebatõenäoline, et need muutuvad enne 2050. aastat turuküpseks.

¹² International Energy Agency (2022). Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector.

¹³ <https://oklo.com/overview/default.aspx>

¹⁴ <https://www.salesforce.com/products/net-zero-cloud/overview/>



Joonis 13. Rohepöörde seisukohast oluliste süvatehnoloogiate valdkonnad ja arendussuunad

Allikas: Koppel et al. 2023¹⁵¹⁵ Koppel, K., Kuusik, A., Arrak, K., Raik, J., Niidu, A., Kõks, K., Lahtvee, P. (2023). Süvatehnoloogiate alternatiivsed arengutrajektorid ja nende tähendus Eestile. Civitta Eesti AS.

Võtmetehnoloogiate võimalikud arengutrajektorid ja tähendus Eesti jaoks

Tehnoloogiatega seotud poliitikate kujundamiseks on oluline mõista, millised süvatehnoloogiad

giad võiksid tulevikus Eesti tegevuskeskkonda kõige enam kujundada, missugused on nende tehnoloogiate võimalikud arengutrajektorid ning milline nendega kaasnev mõju eri valdkondadele.

Tehnoloogiate valiku metoodika

Ekspertide hinnangutele tuginedes ning Riigikantselei, Justiitsministeeriumi ja Euroopa Komisjoni mõjude hindamise metoodikast lähtudes valiti eelnevast loetelust välja kuus kõige suurema mõjuga tehnoloogiat, mida käsitletakse põhjalikumalt. Tehnoloogiade mõjude ja arengusuundade täpsemal avamisel on tuginetud valdkondlike ekspertide hinnangutele – prof Jaan Raik (TalTech), prof Allan Niidu

(TalTech), vanemteadur Alar Kuusik (TalTech), prof Petri-Jaan Lahtvee (TalTech). Lisaks tehti ekspertintervjuud konkreetsete süvatehnoloogiatega kokku puutuvate teadlaste ja ettevõtjate esindajatega – TalTech (tervise tehnoloogiate instituut, keemia ja biotehnoloogia instituut, ettevõtlusosakond), Tartu Ülikool (arvutiteaduste instituut, tehnoloogiainstituut, keemia instituut), STACC OÜ, Gelatex Technologies OÜ, TFTAK AS, Icosagen Cell Factory OÜ, Krakul OÜ, Fibenol OÜ.

Liha alternatiivne tootmine



Alternatiivsed liha tootmise tehnoloogiad tähendavad lihavalgu tootmist laboratoorselt, mikroobide abil sünteesides või tootes lihaalternatiive putukatest, seentest või taimedest. Kultiveeritud liha ehk laboriliha puhul kasvatatakse loomsete rakkude kultuur bioreaktoris sobival söötmel. Mikroobne liha on loodud mikroorganismide rakke (nt bakterid,

pärm või seenerakud) kasutades, mis suudavad sünteesida lihasarnaseid valke. Taimsed lihaalternatiivid on valmistatud taimsetest valguallikatest, nagu soja, herned, nisu, kaunviljad, kartulid ja riis, ning putukatest valmistatud alternatiivid põhinevad putukate kasutamisel toiduvalguallikana. **Loomse valgu tootmine kasutab 80% kogu põllumajandusmaast, ent toodab 30% inimeste tarbitavast valgust.** Lihaasenduste globaalne turumaht kokku oli 2022. aastal hinnanguliselt 2 miljardit eurot aastas.

Kuidas toetab rohepööret?

- **Toidutootmise väiksem koormus keskkonnale.** Laiem üleminek taimepõhisele toidule võib vähendada ülemaailmset põllumajanduslikku maakasutust kuni 50%¹⁶, kultiveeritud liha puhul oleks maakasutuse vähenemine veelgi suurem¹⁷. Ka KHG vähenemise potentsiaal on kultiveeritud liha tootmisel suur, täpne mõju sõltub tootmisel kasutatavatest energiaallikatest.

- **Toidujulgeoleku suurendamine.** Kohalike tootmisprotsesside väljaarendamine, kliimamuutuste mõju vähendamine toidutootmisele.
- **Parem tervis.** Zoonootiliste haiguste ohu vähenemine, tervise paranemine liha ületarbimise vähenemise tulemusel. Kahaneb pestitsiidide, antibiootikumide ja väetiste kasutamine liha tootmisel.

¹⁶ Jarmul, S., Dangour, A. D., Green, R., Liew, Z., Haines, A., & Scheelbeek, P. F. (2020). Climate change mitigation through dietary change: a systematic review of empirical and modelling studies on the environmental footprints and health effects of 'sustainable diets'.

¹⁷ Mattick, C. S., Landis, A. E., Allenby, B. R., & Genovese, N. J. (2015). Anticipatory life cycle analysis of in vitro biomass cultivation for cultured meat production in the United States.

- **Eetilised küsimused.** Laboratoorsed, mikroobsed või taimsed alternatiivid võimaldavad vähendada loomade heaoluga seotud eetilisi probleeme.
- **Jäätmete vähendamine.** Mikroobsete val-

kude ja rasvade tootmine biotehnoloogilisi protsesse kasutades võimaldab väärindada **tööstuslikus toidutootmises tekkinud jääke valguallikatenä.** Vähenevad pakendamisel kasutatavad jäätmed.

Eeldused läbimurdeks ja edasine perspektiiv

- **Tarbijate eelistuse muutumine.** Valmisolek proovida kultiveeritud ja mikroobset liha ning juba turul olevaid taimseid ja putukatest tehtud alternatiive. Euroopa ja USA tarbijad on mõõdukalt avatud kultiveeritud liha proovima (nt Euroopas on seda nõus maitsema 70%), ent laiem valmisolek seda tarbida (veel) puudub. Eesti ekspertide sõnul võib eelistuse muutumine Eestis toimuda teiste lääneriikidega võrreldes pigem aeglasemas tempos, sest Eesti tarbijal on kehteline mõista alternatiivse liha otsest isiklikku kasu, mis tuleneb nii kultuurilisest ja ajaloolisest taustast (liha tähtsus toidutraditsioonides) ning vähesest keskkonnakasu tunnetusest.
- **Regulatiivne heakskiit.** Kultiveeritud liha kui uuendtoidu käsitlemiseks ja turustamiseks on vaja Euroopa Komisjoni luba, mis omakorda eeldab Euroopa Toiduohutusameti heakskiitu. See protsess võib potentsiaalselt kesta mitu aastat. Eestis ja Euroopa Liidus ei ole uuendtoidu luba senini taotletud ning mujal maailmas on kultiveeritud liha tootmise luba suurriikidest saadud vaid Singapuris (2020) ja USA-s (2022). Regu-

latiivsetest tingimustest tulenevalt võib laboriliha suuremas mahus esimesena turule jõuda pigem Lähis-Idas, Singapuris või USA-s, mitte Euroopas.

- **Tootmise skaleerimine.** Kultiveeritud liha ja mikroobsete alternatiivide puhul on tarvilik kasutatavate bioreaktorite suurendamine ning optimeerimine. Proovikiviks on ka kuluefektiivsus – praegu on reaktorites kasutatavate söötmete kulud märkimisväärsed. Uued mitteloomsel materjalil põhinevad ja soodsamad tüvirakkude söötmed võivad tuua olulist kokkuhoidu. Edusammud rakutüvede digitaliseeritud arendamisel kiirendavad liharakkude arendusprotsessi.

Näiteid tulevikuperspektiividest:

- + Valkude ja rasvade tootmine õhus leiduvast CO₂-st
- + Vetikate laialdasem kasutuselevõtt
- + Täppisfermentatsiooniprotsesside arendamine erinevate valkude, rasvade, antioksüdantide, vitamiinide või maitseühendite tootmisel

Ohud

- Elusate rakuliinide tööstuslikus mahus kasvatamine ei õnnestu
- Kultiveeritud liha ja teiste alternatiivide tootmisprotsessi kulud jäävad kõrgeks
- Traditsiooniline põllumajandus on tugevalt subsideeritud
- EL-i regulatsioonid raskendavad geneetiliselt muundatud mikroobide tarbimist
- Tarbijad eelistavad loomset päritolu liha
- Laboriliha mõju inimese tervisele vajab põhjalikku uurimist



Eesti võimalused ja otsustuskohad

- **Eesti jaoks on suur võimalus eelkõige teadus- ja arendustegevus**, mh täppisfermentatsiooni arendamine, eesmärgiga töötada välja eksporditavaid tehnoloogiaid või tooteid. Sealhulgas võivad ekspordivõimalused muudesse maailma piirkondadesse olla paremad kui Euroopa turule, arvestades EL-i aeglast tegutsemist uuendoidu turule lubamisel.
- **Kultiveeritud liha puhul peitub ekspertide hinnangul Eesti jaoks suur potentsiaal teaduskoostöös ja patenteerimises**, täpsemalt seadmete (bioreaktorid), rakusöötmete ning rakukasvustraatide prototüüpide kujundamises, testimise reguleerimises ja testlaborite loomises, rakusöötmete ja rakukasvustraatide ning seadmekomponentide disainis ja tootmises.
- Suure investeerimisvajaduse tõttu ei peeta nii mikroobsete alternatiivide kui ka kultiveeritud liha puhul realistlikuks suuremate tootmiskeskuste rajamist Eestisse, **samas oleks ekspertide arvates perspektiivne investeerida Eestis bioreaktorite tootmisse**.
- **Valikukohaks on, kas ja kuidas peaks riik suunama tarbijate eelistusi**. Üheks võimaluseks on avaliku sektori algatatud teavituskampaania ning avalik arutelu kunstliha eeliste üle. Teiseks võimaluseks on jätta üldsuse teadlikkuse tõstmine erasektori hooleks, mis võib tähendada eelistuste aeglasemat muutumist.

Näiteid tehnoloogiasuunaga tegelevatest Eesti ettevõtetest

Gelatex Technologies OÜ (kultiveeritud liha), TFTAK (toiduinnovatsioon, fermentatsioon, mikroobsed alternatiivid), ÄiO Tech OÜ (taimsed rasvad ja õlid), Funki Foods OÜ (mükoproteiin ehk liha seeneniidistikust), Mati ehk OÜ Future

Food Now (liha seeneniidistikust), Thormi ehk OÜ Vegestar (taimsed alternatiivid), Yook Production AS (taimsed alternatiivid), Peas Out (taimsed alternatiivid)

Tehisintellekt ja masinõpe



Tehisintellekt on inimintellekti töö simuleerimine masinate, peamiselt arvutisüsteemide abil. Tehisintellekt toetab inimesi ja arvuteid otsuste tegemisel ning suurendab otsustusprotsessi kiirust, täpsust ja tõhusust. Masinõpe on tehisintellekti liik, mille algoritmid töötavad sarnaselt inimese ajuga, õppides ning tehes üldistusi suure hulga näidete põhjal.

Tehisintellekti rakendatakse juba täna pea kõigis eluvaldkondades teenuste optimeerimiseks (27%), toodete ja nende funktsionaalsuse täiustamiseks (22%), ennustava teeninduse ja sekkumise pakkumiseks (18%), klienditeeninduse analüüsiks (17%), uute tehisintellektipõhiste toodete arendamiseks (17%), klientide segmenteerimiseks (16%), riskianalüüsiks (16%), pettuste analüüsiks (14%)¹⁸. Tehisintellekti ja masinõppe globaalne turumaht 2022. aastal oli 150 miljardit eurot.

¹⁸ McKinsey Analytics (2021). The State of the AI in 2021.

Kuidas toetab rohepööret?

- **Protsesside optimeerimine ja ressursitõhususe suurendamine.** Hõlmab väga laia ringi erinevaid protsesse (tööstus, energiasüsteemid, transpordivõrgud jne), mille tõhususe parandamisel vähenevad KHG heitkogused ja leevenevad negatiivsed keskkonnamõjud.
- **Energiakasutuse vähendamine.** Hõlmab energianõudluse prognoosimist ja küttesüsteemide automatiseerimist, vähendaks vajalikku energiahulka (nt võimaldab masinõppe algoritmidega ennustada, millal on ruumid tõenäoliselt hõivatud, ja reguleerida vastavalt kütet).
- **Saagikuse suurendamine põllumajanduses.** Tehisintellekti kasutatakse mulla niiskuse seireks, ilma ennustamiseks, taimede kasvu jälgimiseks, põllukultuuride sordiaretuseks, haiguste prognoosimiseks ja kariloomade majandamiseks¹⁹, samuti hüdropoonikas²⁰ ja aeropoonikas²¹. Võimaldab optimeerida nii vee kui ka taimemürkide kasutamist (nn täppispõllumajandus), mis vähendab ühtaegu nii tootmiskulusid kui ka põllumajanduse ökoloogilist jalajälge.
- **Jäätmetekke vähendamine.** Tehisintellekt saab anduritest ja kiipidest pärit andmeid analüüsides optimeerida jäätmekäitlust, parandades jäätmete sorteerimise ja kõrvaldamise tõhusust ja täpsust, vähendades prügilasse suunatavate jäätmete hulka ning võimaldades säästvamaid jäätmekäitlustavasid.
- **Liiklusvoogude optimeerimine.** Tehisintellekti rakendamine arukas liikluskorraldussüsteemis aitab vähendada liiklusummikuid, parandada õhukvaliteeti ja optimeerida liiklusvoogu²².

Eeldused läbimurdeks ja edasine perspektiiv

- **Seletava tehisintellekti areng** (*Explainable AI* ehk XAI), mis oleks suuteline selgitama enda langetatud otsuseid. Eesmärk on selgitada otsustusprotsessi lõpptarbijale, tõstes seega rakenduste usaldusväärsust. Potentsiaalsed edasiarendused läbimurde saavutamiseks oleks mudelite lihtsustused, vähendades AI mudelite kasutamise keerukust, ilma et see oluliselt kahjustaks nende jõudlust. Edenemine inimese ja AI suhtluses aitaks samuti tagada, et tehisintellekti süsteemid jäävad vastutavaks, läbipaistvaks ja inimväärtustega kooskõlas olevaks.
- **Nn roheline tehisintellekt ja energiama-hukuse vähendamine.** Masinõppe lahendused nõuavad õppeks suuri andmemahte ja energiakulu. Edasise arengu eelduseks on efektiivsemate andmemudelite ja meetodite loome. Üheks lahenduseks on väikeandmetel (*small data learning, one-shot learning*) baseeruvate masinõppealgoritmide edukas realiseerimine. Ekspertide sõnul ollakse praegu siiski veel väga kaugel energiaefektiivsete tehisintellektilahenduste loomisest.
- **Eetilist ning juriidilist laadi takistuste ületamine.** Näiteks automatiseeritud otsustega seonduva vastutuse reguleerimine, diskrimineerimise, desinformatsiooni leviku jms ebasoovitavate ühiskondlike tagajärgede ennetamine. Ärilisest ja tööstuslikust aspektist tõstatatakse ka organisatsioonikultuuri tähtsuse küsimus, kuna just juhtide tasandil on sagedasti tajutav tõrge tehisintellekti laiema kasutuselevõtu vastu.

¹⁹ F. K. Shaikh, M. A. Memon, N. A. Mahoto, S. Zeadally, & J. Nebhen (2022). Artificial Intelligence Best Practices in Smart Agriculture. IEEE Micro, vol. 42, no. 1, pp. 17–24, 1 Jan.–Feb., doi: 10.1109/MM.2021.3121279.

²⁰ Hüdropoonika ehk vesiaiaandus on meetod taimede kasvatamiseks ilma mullata, kasutades selle asemel mineraalsete toitainete lahuseid.

²¹ Aeropoonika on taimede kasvatamine õhu- või udukeskkonnas ilma mulla või agregaadiga kasutamiset.

²² Sukhadia, A., Upadhyay, K., Gundeti, M. et al. (2020). Optimization of Smart Traffic Governance System Using Artificial Intelligence. Augment Hum Res 5, 13.

Näiteid tulevikuperspektiividest:

- Inimese ja AI suhtlus, näiteks *human-in-the-loop* süsteemid ehk tehisintellekti süsteemid, mis sisaldavad inimese sisen-dit, tagasisidet või järelevalvet oma töö lahutamatu osana
- Liitõpe ehk hajutatud masinõppe mee-

tod, mis võimaldab mudelite treenimist detsentraliseeritud andmetel ilma privaats-et teavet jagamata

- Andmete dividend (*data dividend*) ehk üksikisikud või kogukonnad saavad osa nende isikuandmetest genereeritud ma-janduslikust väärtusest

Ohud

- AI süsteemide keelamine algoritmide ja si-sendandmete vähesele läbipaistvusele vii-dates
- Turvalisuse ja sertifitseeritavusega seotud

tehnoloogilised takistused

- Ebavõrdsuse suurenemine tehis-intellekti ebaühtlase ühiskondliku kasutuse tõttu

**Eesti võimalused ja otsustuskohad**

- Teadlased tõmbavad paralleele tehisin-tellekti ning veebitehnoloogia arenguga 2000-ndate alguses. Võrreldes toonasega ei ole Eestis tehisintellekti jaoks välja töö-tatud arenguks vajalikke regulatsioone, nagu loodi X-tee ja e-valitsemise tarbeks veebirevolutsiooni ajal, mis tõid kaasa laial-dase edu. **Eestile tehisintellekti alal kon-kurentsieelise tekitamiseks soovitavad teadlased avalikul sektoril teha jõupin-gutusi võrreldava õigusliku raami loomi-seks.**
- Tehisintellektialast õigusruumi luues on võimalik valida ennetav lähenemisviis, asu-des koheselt välja töötama terviklikke – nii avalikule sektorile, eraettevõtetele ja üli-koolidele kui ka üksikisikutele kohalduvaid – eetilisi suuniseid ja eeskirju, mis võiksid olla eeskujuks teistele EL-i riikidele ning soo-dustada koostööd rahvusvaheliste ette-võtete ja teadlastega. **Teisalt on võimalik rakendada reaktiivsemat lähenemisviisi, reguleerides pigem vähem ja üldisemalt ning võimaldades tehnoloogia arenedes norme ja eeskirju konkretiseerida.**

- **Eesti suurim võimalus peitub eksper-tide sõnul tehisintellekti väga kiires kasutuselevõtus võimalikult paljudes ühiskonnaelu valdkondades.** Samal ajal tuleb jätkata teadus- ja arendustegevus-se investeerimist praegustes tugevates teemades (nt bioinformaatika, visuaaland-mete tuvastus ja töötlus, tehisintellekti ra-kendamine e-valitsemises); vältimatu on rahvusvaheline koostöö ka valdkonna eda-siarengute vallas ehk XAI ning nn rohelise AI arendamine.

- **Eestil on ette näidata häid tulemusi väi-kekeelte töötamise (nii süntees kui ka kõne-tuvastus) valdkonnas²³.**
- **Eesti kõrgkoolide juures tegutseb mit-meid teadusgrupe, mis toimivad kas-vulavana tehnoloogiaid turule viivatele ettevõtetele, näiteks bioinformaatika, ma-sinõppe, andmeteaduse, usaldusväärsete arvutisüsteemide, kiibirealisatsioonide ja algoritmide töökindluse valdkondades.** Eesti ülikoolid, Tehnopol ja Tartu Teadus-park on ellu kutsunud Tehisintellekti- ja Robootikakeskuse AIRE, mis vahendab tee-

²³ Alumäe, Tanel, & Jiaming Kong (2021). Combining Hybrid and End-to-End Approaches for the OpenASR20 Challenge. Inter-speech, pp. 4349–4353.

nusepakkujaid ja toetab tehisintellektivaldkonna pilootprojekte.

- Valikukohaks on tasakaalu leidmine tehisintellekti ja masinõppega seotud investeeeringute suunamisel – kas pigem taristu võime-

kuse suurendamiseks (nt andmekeskused, pilvandmetöötlus) või teadus- ja arendustegevusse ning innovatsiooniprogrammidesse, toetades ülikoole, muid teadusasutusi ja *start-up*-ettevõtteid.

Näiteid tehnoloogiasuunaga tegelevatest Eesti ettevõtetest

MindTitan (vestlusrobotite ja loomuliku kõne lahendused), FoxWay (visuaalsete defektide automaattuvastus ringmajanduses), Proekspert (tööstusega seotud suurandmetöötluse tehnoloogia), EyeVi (visuaalandmete automaattöötlus), R8Tech (ehitiste energiakasutuse optimeerimine masinõppe abil), Veriff (visuaalandmetöötlus ja mustrituvastus), Cybernetica (tehisintellekti rakendamine e-valitsemisel),

Rantelon (raadiosignaalituvastuse rakendused), Reconeyez (automaatpildituvastus turvarakendustes), DecSecIntel (objektituvastuslahendused turvarakendustes), Nortal (andmeanalüüsi ja masinõppe integreerimine arendustöösse), Flowbase (visuaalandmetöötlus), Salv (masinõppe rakendamine finantsvaldkonnas)

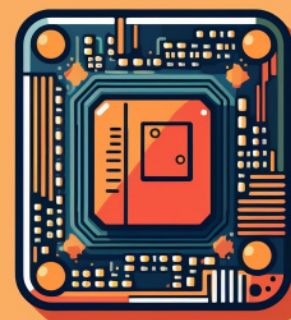
Sardsüsteemid ja kiibitehnoloogiad

Ühisnimetajat sardseade ja sardsüsteem kannavad elektroonikaseadmed, mis töötavad spetsiifilises rakenduses ja on tavapärastel ühendatud hajussüsteemi. Nanokiibid on kaasaegsed pooljuhtmaterjalidest toodetavad mikroelektroonikalülitused, mis koosnevad mikroskoopilistest elektroonika-, mehaanika- või optikakomponentidest. Kiibid on arvutustehnika ja asjade interneti (IoT) ehk sardsüsteemide põhikomponendid. Kiirelt kasvab vajadus spetsiifiliste kiipide nagu erineva jõudlusega masinõppeprotsessorite, ümbritsevast keskkonnast jääkenergiat ammutavate (*energy harvesting*) analoog- ja hübriidkiipide järele, mille arendamine on töömahukas, kuid mis on kõrge lisandväärtusega.

Seoses kiipide keerukuse kasvuga on nende arendus järjest töömahukam, mis on suurema

osa väärtusloost nihutanud

pooljuhtide tootmisettevõtelt nende arendusettevõtetele. Kiibikriisist ajendatuna investeerib EL Aasiast sõltuvuse vähendamiseks Euroopa kiibitööstusse lähiaastatel 43 miljardit eurot eesmärgiga saavutada tootmises globaalne turuosa 20%²⁴. Nanokiipide ja sardsüsteemide globaalne turumaht 2022. aastal oli 570 miljardit eurot.



²⁴ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_729

Kuidas toetab rohepööret?

- **Keskkonnaseire.** Nii vabavaralised nanokiibid kui ka uudsed kõrgtundlikkusega sensorkiibid pakuvad senisest soodsamaid, efektiivsemaid ja mitmekülgsemaid sensorseadmeid ja keskkonnajuhtimissüsteeme ning võimaldavad tõrkeennetust ehk varajasi hoiatusi energiatootmis- ja tööstussüsteemides, transpordivahendites ja mujal (nt kliimamuutuste või ehituskonstruksioonide vananemise seire).
- **Energiaefektiivsuse suurendamine.** Kõrget temperatuuri taluvad kiibid on olulised eelkõige elektrisõidukites ja muundusseadmetes, kus nende kasutamine võimaldab oluliselt vähendada päikeseenergia muundamise kadusid (10+%) ning vähendada seadmete mõõtmeid ja maksumust.
- **Efektiivsem ja ühendatum transpordisüsteem.** Sardsüsteemide ja nanokiipide abil saab luua tõhusaid ja ohutuid isejuhtivaid sõidukeid, mis suudavad ohutult liikuda keerulistes liiklusolukordades. Nanokiipide integreerimisega sõidukitesse saaks tulevikus luua täielikult ühendatud transpordisüsteemi, mis vähendaks liiklusummikuid ja parandaks liiklusohutust.

pide integreerimisega sõidukitesse saaks tulevikus luua täielikult ühendatud transpordisüsteemi, mis vähendaks liiklusummikuid ja parandaks liiklusohutust.

- **Väiksem materjalikulu ja energiatarve.** Kiipide pidev väiksemaks muutumine toob kaasa väiksema materjalikulu ning käib ekspertide sõnul kaasas põhimõttega „ühes tükis tooted elavad kauem“. Jätkuv miniatüriseerimine võimaldab tõsta seadmete arvutusvõimsusi energiatarvet suurendamata või seda koguni vähendades. Samas suureneb kiipide kasutusvõimaluste laienedes hüppeliselt ka kasutatavate kiipide arv – see omakorda toob kaasa suureneva nõudluse mittetaastuvate või haruldaste maavarade järele, mille kaevandamine, transport ning töötlemine on väga suure negatiivse keskkonnamõjuga. Seega, kiipide positiivne mõju keskkonnale avaldub siis, kui neid just sellel eesmärgil kasutatakse.

Eeldused läbimurdeks ja edasine perspektiiv

- **Vabavaralistel tarkvarakomponentidel baseeruvate protsessorite ja mikrokontrollerite lai levik ja arendus.** Mikrokiipide projekteerimine on sarnane tarkvara loomisega ning üha rohkem pööratakse tähelepanu vabavaralistele protsessorilahendustele. Vabavaraliste protsessorite levik toob turule odavamaid nanoprotsessoreid nii IoT kui ka masinõppe superarvutite jaoks ja loob võimalusi väikestele kiibidisainiettevõtetele. EL pöörab valdkonnale palju tähelepanu, nt investeerides vabavaralisse protsessorilahendusse RISC-V 270 miljonit eurot²⁵. Turu märkimisväärset avanemist vabavaralistele kiipidele võib prognoosida 2–5 aasta jooksul.
- **Uudsete pooljuhtstruktuuride tootmine ja rakendamine (3D kiibid, in-me-**

mory-computing). Uudsed lahendused panustavad otseselt mikroelektroonika, masinõppe ja tuleviku andmeside valdkonda. Need võimaldavad suure arvutusvõimsusega kiipe oluliselt kompaktsemaks muuta. Läbimurrete realiseerumist takistab veel hulk tehnoloogilisi probleeme – lahendused on arengufaasis ning esmast läbimurret võib oodata viie aasta jooksul.

- **Uudsete pooljuhtmaterjalide baasil keerukamate elektroonikakomponentide arendamine ja masstootmine, näiteks valgusside ja orgaaniline elektroonika.** Läbimurdeline oleks uudsete materjalide baasil välja töötada keerukamaid elektroonikakomponente, mis tänu nende kõrgele pingele, radiatsiooni- ja temperatuuritaluvusele on sobilikud jõu- ja side-

²⁵ <https://www.hpcwire.com/2022/12/16/europe-to-dish-out-e270-million-to-build-risc-v-hardware-and-software/>

elektroonikaseadmetes kasutamiseks. Erivaldkond on **orgaanilisest materjalist elektroonikakomponentide masstootmine**, mis on keskkonnasäästlik ja võimaldab kasutada ühekordseid ja keskkonnasäästlikke IoT sensoreid. Läbimurret takistab töötlemise keerukus, orgaanilise elektroonika puhul on vajalik ka mastaabiefekt, et hind muutuks vastuvõetavaks.

Näiteid tulevikuperspektiividest:

- + Kvantilinguid kasutavad kiibid ja integreeritud sensorid
- + Valgusside kiipidel ja kiipide vahel, mis võimaldab suurendada andmeedastuskii-
rust suurusjärgudes

Ohud

- Uute kiibitehnoloogiatega kaasneb pöördprojekteerimise (*reverse engineering*) risk, mis ohustab arendustöö tulusust
- Nanokiipide ja IoT levikuga suurenevad **privaatsus- ning andmekaitseriskid**^{26,27,28}
- Tootmiseks vajalike haruldaste maavarade piiratud kättesaadavus võib põhjustada rahvusvahelisi pingeid



Eesti võimalused ja otsustuskohad

- **Eesti võimalusi suurendaks läbimurre vabavaraliste kiipide vallas, mille projekteerimine on jõukohane väikeettevõtetele.**
 - Sardüsteemide komponentide tootmine Eestis on vähetõenäoline tootmise suure investeringuvajaduse tõttu. **Majanduslikult realistlik on teha teatud etappe uudsete kõrgtemperatuursete pooljuhtseadiste tootmisel**, näiteks aluskristallide tootmisel. Kui tehnoloogiad lihtsustuvad, on võimalik hakata pakkuma erilahendusi või väikeseriaid.
 - **Eestis on mitmeid valdkondlikke uurimisgrupe**, mis tegelevad näiteks digitaal-
- kiipide töökindlusega, kloonimis- ja kopeerimisvastaste tehnoloogiatega, kiipide ja sensorikomponentide instrumenteeritud katsetamisega ning hajussüsteemidega.
- Valikukohaks on põhimõtteline lähenemine küberturvalisuse tagamisele, arvestades sardsüsteemide üha laialdasemat levikut. Kaaluda tuleb, kas rakendada juhtumipõhist paindlikku lähenemist, mille puhul avalik sektor tagab eelkõige järelevalve ja sekkumise ebaõnnestumise korral; või reguleerida küberturvalisust ennetavalt ning juhtida sellealast koostööd akadeemia ja tööstuse vahel.

Näiteid tehnoloogiasuunaga tegelevatest Eesti ettevõtetest

Selfdiagnostics (meditsiinilised kiiplaborid), Analoo-disaini AS (mikroskeemide arendamine), LightCode Photonics (3D kaameratehnoloogia), Testonica (pooljuhtseadmete tarkvaraline testimine), GScan (osakeste sensortehnoloogia),

Evikon (sensorseadmete arendus), Artec Design, Hedgehog, Superhands, Krakul / Bercman Technologies, Kõu Mobility Group, Rantelon (sardsüsteemide väljatöötamine koostude tasemel)

²⁶ Ziegeldorf, J. H., Morchon, O. G., & Wehrle, K. (2014). Privacy in the Internet of Things: threats and challenges. Security and Communication Networks, 7(12), 2728–2742.

²⁷ Al-Sharekh, S. I., & Al-Shqeerat, K. H. (2020, February). An Overview of Privacy Issues in IoT Environments. In 2019 International Conference on Advances in the Emerging Computing Technologies (AECT) (pp. 1–6). IEEE.

²⁸ Abomhara, M., & Kœien, G. M. (2014, May). Security and privacy in the Internet of Things: Current status and open issues. In 2014 international conference on privacy and security in mobile systems (PRISMS) (pp. 1–8). IEEE.

Vesinikutehnoloogia



Vesiniku tootmine on üks võimalikke lahendusi taastuvenergia salvestamiseks pikemaks perioodiks – mitmeks päevaks või nädalaks. Vesiniku toodetakse vee elektrolüüsi teel,

kasutades eri tüüpi elektrolüüsereid. Tänapäeval toodetakse enamik vesinikust maagaasist, millega kaasneb oluline CO₂ heide, kuid elektrolüüs võimaldab tulevikus toota vesinikku süsinikuvabalt eeldusel, et elektritootmine on süsinikuvaba. Samasse kategooriasse vesiniku

elektrolüüsiga liigitub ka vee ja CO₂ elektrokeemiline koosväärdamine, mille käigus saadakse süngaasi, millest omakorda saab toota erinevaid kemikaale, nt metanooli. Viimase energiatihedus mahuühiku kohta on vesinikust oluliselt suurem ja võimaldab kasutada oluliselt lihtsamat taristut kemikaali transpordiks. Vesiniku salvestamiseks kasutatakse surveanumaid või veeldatud vesiniku korral atmosfäärirõhul anumaid. Uudsemad tehnoloogiad kätkevad endas vesiniku keemilist (nt vedelikesse) või füüsilist (nt metallidesse või poorsetesse materjalidesse) sidumist. Vesiniku tootmiseks on vaja energiat, mistõttu vesinik ei ole energiaallikas, vaid pigem energiakandja. Vesiniku tootmise globaalne turumaht 2022. aastal oli 140 miljardit eurot.

Kuidas toetab rohepööret?

- **Keskkonnasõbralik on üksnes nn roheline vesinik.** Vesinikutehnoloogia mõju keskkonnale sõltub suuresti sellest, kuidas vesinik toodetud on. Vesinik on keskkonnasõbralik ainult siis, kui see on toodetud taastuvaid energiaallikaid kasutades, sest fossiilkütustest toodetud vesinik soodustab globaalset soojenemist samal määral kui fossiilkütuste otsepoletamine²⁹.
- **Taastuvenergia salvestamine.** Vesiniku abil saab salvestada taastuvenergiat, mida toodetakse juhitamatutest energiaallikatest nagu päike ja tuul, ning muundada see tagasi elektriks, kui nõudlus ületab pakumise.
- **Tööstuse keskkonnamõju vähendamine.** Vesinikku saab kasutada lähteaine või kütusena tööstuslikes protsessides, asendamaks süsinikumahukaid meetodeid. Näiteks saab vesinikku kasutada kemikaalide tootmisel, nafta rafineerimisel ja terase tootmisel. Keemiatööstus sõltub tänapäe-

val samuti naftast, aga tarbib ka vesinikku. Rohelist vesinikku saaks kasutada keemiatööstuse toormena baaskemikaalide nagu ammoniaak ja metanool tootmiseks. Ammoniaak on paljude lämmastikväetiste põhikomponent.

- **Transpordi keskkonnajälje vähendamine.** Vesinikkütuseelemendiga sõidukid pakuvad jätkusuutlikku alternatiivi fossiilkütusel töötavatele sõidukitele. Lisaks puhtal kujul kasutamisele saab vesinikku kasutada e-kütuste toormena, eelkõige lennukütuste tootmiseks, sest lennunduse dekarboniseerimine akude või salvestatud vesiniku abil on tehnoloogiliselt keeruline. Lennunduse kõrval on murekohaks ka laevandus, kus samuti ei sobi ei vesinik ega akud pikamaatranspordiks ja kus plaanitakse laevakütustena kasutusele võtta kas ammoniaak või metanool.

²⁹ Nowotny, Janusz, & T. Nejat Veziroglu (2011). Impact of hydrogen on the environment. International Journal of Hydrogen Energy 36.20: 13218–13224.

Eeldused läbimurdeks ja edasine perspektiiv

- **Uued elektroodide ja membraanide materjalid.** Elektrolüüserite peamiseks murrekohaks on kiire ja sagedase käivitamise ning sisendpinge muutuse kulutav mõju elektrolüüserite elektroodidele ja separaatoritele.
- **Tahkekeksidsete elektrolüüserite kasutuselevõtt.** Need on suurima potentsiaaliga pikemas perspektiivis, sest sisaldavad odavaid materjale ja on kompaktsed ehitusega. Läbimurre seisab praegu skaleerimise taga, tarvis oleks suurema võimsuse ja tootlikkusega elektrolüüsereid, et neid oleks võimalik näiteks tuuleparkide juures kasutada.

Näiteid tulevikuperspektiividest:

- + Vesinikumajanduse teke ja erinevate rakendusvaldkondade sünergia
- + Vee ja CO₂ elektrokeemiline koosväärdamine
- + Bioloogiline vesiniku tootmine ehk mikroorganismide või ensüümide kasutamine vesiniku tootmiseks näiteks kääritamise või fotosünteesi abil või fotokatalüütiline tootmine ehk valguse kasutamine keemiliste reaktsioonide käivitamiseks, mis tekitavad vesinikku

Ohud

- Vesiniku tootmine, ladustamine ja transport nõuavad spetsiaalset infrastruktuuri, mille rajamine on kulukas ja tekitab turvaprobleme seoses infrastruktuuri kaitsega
- Elektrolüüsertehnoloogiate puhul on probleemiks laboriväliste katsetuste vähesus, mistõttu on raske hinnata elektrolüüserite eluiga looduslikes tingimustes
- Kütuseelementide areng on aeglane (lühike eluiga, kõrge kasutustemperatuurid,

kõrge hind) ja vesiniku salvestamiseks ei teki sobilikke võimalusi

- Uute suurema energiatihedusega akude (nt tahkefaasiakud) kiire areng ja turuosa haaramine, mistõttu vesinikusalvestuse rakendusvõimalused vähenevad
- Vesiniku tootmise kiirendamiseks kasutatavate haruldaste muldmetallide kaevandamine on suure keskkonnajäljega



Eesti võimalused ja otsustuskohad

- **Vesinikul on suur potentsiaal muutuda oluliseks kaubandusartiklik.** Sõltuvalt elektri- ja vesinikuturgude arengust on rohelise vesiniku tootmispotentsiaali Eestis 2030. aastaks hinnatud vahemikus 2000–40 000 tonni aastas³⁰ ning kaugemas tulevikus kuni 250 000 tonni aastas³¹.
- Kuigi vesinikutehnoloogia arendamine on globaalne, on Eestil võimalusi mitmete murdepunktide mõjutamiseks. Kohalik

teadus- ja arendustegevuse tase, teaduskeskuste rahvusvaheline võrgustik ja Eesti taristupotentsiaal loob soodsa olukorra nii tehnoloogia arendamiseks, tootmiseks kui ka laialdaseks kasutuselevõtuks. Ekspertide sõnul on viimasel kümnendil toimunud märkimisväärne areng nii ülikoolides kui ka Eesti ettevõtete arendustegevuses (nt Elcogen, Stargate Hydrogen Solutions, PowerUP Energy Technologies).

³⁰ Eesti vesiniku teekaart 2023, <https://envir.ee/media/9265/download>

³¹ Vesiniku tootmise potentsiaal Eestis, <https://h2est.ee/vesinikumajandus/ressurss/>

- **Kõrgkoolides tegutseb mitmeid teadusgruppe, mis on keskendunud kütuseelementide ja nendega seotud materjalitehnoloogiatele,** sealhulgas vesiniku kütuseelementid, materjalid nende passiivseks jahutamiseks, elektrolüüseritele vajalikud materjalid. TalTechi Virumaa Kõledžis tegutseb mikrovõrgu ja vesinikutootmise demolabor.
- **Rohevesiniku tootmiseks Eestis loovad eeldusi taristuinvesteeringud päikese- ja tuuleparkide võrkude ja nendega seotud vesinikusalvestuse arendamisse, samuti investeeringud süvasadamatesse ja vesiniku transportimise võimekuse loomisse.**
- **Oluline võimalus on liitumine Nordic Hydrogen Route'iga,** mis on osa suuremast üleeuroopalise vesinikuvõrgu (Hydrogen Backbone) plaanist, mis võiks 2040. aastaks ühendada omavahel 21 Euroopa riiki vesinikutranspordiks sobivate gaasitrassidega. Ilma vesiniku infrastruktuurita võib olla Eestis keeruline realiseerida meretuule potentsiaali (7 GWel ja 24 TWhel aastatootangut), kuid vesinik pakuks tootjatele alternatiivset turuvõimalust Kesk-Euroopas ja kaugemal, kus energiadefitsiit tulevikus prognoositult kasvab.
- **Otsustada tuleb, kuidas viia ellu vesinikutaristu edendamise investeeringuid.**

Perspektiivne ja riigi investeerimisvajadust vähendav viis taristu arendamiseks on avaliku ja erasektori partnerlus, mis tooks Eestisse ka uusi välisinvesteeringuid. Teisalt võib see tähendada tulevikus ebapiisavat kontrolli kriitilise taristu üle. Otsustamist vajab ka riigi tegevusulatus – kas see piirduks väikesel skaalal piloot- ja demoprojektidega või võetaks käsile üleriiklike vesinikujaamade rajamine ning maagaasitaristu moderniseerimine.

- **Lahtine on tuumaenergia kui peamise taastuvenergia alternatiivi tulevik.** See-ga vajab otsustamist, kuivõrd liikuda Eestis mõlemaga edasi paralleelselt?
- **Välispoliitiliselt on oluline küsimus, kellest saavad peamised strateegilised partnerid vesinikuvaldkonnas.** Näiteks on Jaapan ja Saksamaa juhtivad riigid vesinikutehnoloogiate kasutamisel ja arendamisel; partnerluse fookuses saaks olla kiirem ligipääs uutele tipp- ja eksperimentaaltehnoloogiatele ning maailmatasemel ekspertisile, kaugküttelahenduste kasutamine, eksport Saksamaale ning vastava transportitaristu loomine. Teisalt, partnerlus Balti- ja Põhjamaadega võimaldaks seada fookuse kohalikule julgeolekule ning energiaturvalisusele, ekspordile ja keskkonnalasele jätkusuutlikkusele.

Näiteid tehnoloogiasuunaga tegelevatest Eesti ettevõtetest

H2Electro OÜ (kõrgtemperatuurised tahkeoksiidsed elektrolüüserid), Stargate Hydrogen Solutions OÜ (elektrolüüseritega seotud materjalitehnoloogia), PowerUP Energy Technologies

(vesiniku kütuseelementide arendus ja tootmine), Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut (KBFI) (vesiniku kütuseelementide materjalide arendus ja taaskäitlus)

Biorafineerimine

Biorafineerimise all peetakse silmas erinevaid tehnoloogiaid biomassile suurema lisandväärtuse andmiseks ning kõrge puhtusastmega saaduste tootmiseks. Biorafineerimine hõlmab erinevaid valdkondi, näiteks bioenergia, biokemikaalide, valgupõhise sööda ja bioväetiste tootmisele keskenduvad meetodid ja süsteemid³². Biorafineerimise tegelik mõju sõltub suures osas säästvast metsamajandusest – kriitiline on

säilitada tasakaal biomassi kasutamise ja metsa ökosüsteemi tervise vahel. Biorafineerimise globaalne turumaht 2022. aastal oli 142 miljardit eurot.



Kuidas toetab rohepööret?

- **Naftapõhise toodangu asendamine.** Puit on võimeline täies ulatuses asendama naftapõhist toodangut. Võrreldes fossiilkütuste rafineerimisega kasutatakse biorafineerimisel toormena taastuvat toorainet, mille töötlemine avaldab keskkonnale minimaalset mõju. Kui puidupõhised biotooted nagu biokütused, bioplastid ja biomaterjalid asendavad fossiilseid tooteid, väheneb CO₂ ja muude kasvuhoonegaaside heitkogus. Näiteks võib puidu baasil toodetud etanool vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid üle 60% bensiiniga võrreldes³³.
- **Süsinikuringluse tasakaalustamine.** Metsad neelavad atmosfäärist süsinikdioksiidi, talletades seda biomassi ning pinnasesse. Jätkusuutliku majandamise korral võivad metsad säilitada oma süsiniku sidumise võime, pakkudes samal ajal biorafineerimis-

protsesside jaoks biomassi³⁴. Kasutades metsamajanduslike toimingute jääke, aitab puitbiojäätmete rafineerimine säilitada tasakaalu kasvavate metsade süsiniku sidumise ja raiutud puittoodetest tulenevate süsiniku heitkoguste vahel³⁵. Nii võib puidujääkide kasutamine biojäätmete rafineerimisprotsessides takistada puidu looduses lagunemist, mis vastasel juhul vabastaks metaani, mis on tugev kasvuhoonegaas.

- **Jäätmete vähendamine.** Biorafineerimine võib aidata vähendada jäätmeid ja edendada ringmajandust. Biorafineerimistööstus võimaldab muundada kasulikeks toodeteks 99% toormaterjalist ning tööstusjäägid suunatakse soojus- ja elektrienergia koostootmisse. Väheneb jäätmete kõrvaldamisega kaasnev keskkonnamõju.

Eeldused läbimurdeks ja edasine perspektiiv

- **Väljakujunenud naftapõhise tehnoloogia asendamisvajadus.** Kasutusel olevad fossiilkütuste rafineerimistehased ei või-

malda biorafineerimist ilma tehnoloogia põhimõttelise ümberehitamiseta, mis on ajamahukas ja kulukas protsess. Sama

³² Karo, E. *et al.* (2021). Biomajanduse tehnoloogiate trendid ja teekaardid. ADDVAL-BIOEC projekti tööpaketi 2.2 vaheanalüüs. Tallinn & Tartu.

³³ Zanchi, G., Pena, N., & Bird, N. (2012). Is woody bioenergy carbon neutral? A comparative assessment of emissions from consumption of woody bioenergy and fossil fuel. *Gcb Bioenergy*, 4(6), 761–772.

³⁴ Gustavsson, Leif *et al.* (2015). Climate effects of bioenergy from forest residues in comparison to fossil energy. *Applied Energy* 138: 36–50.

³⁵ Johansson, T., Malmer, N., Crill, P. M., Friborg, T., Åkerman, J. H., Mastepanov, M., & Christensen, T. R. (2006). Decadal vegetation changes in a northern peatland, greenhouse gas fluxes and net radiative forcing. *Global change biology*, 12(12), 2352–2369.

kehtib saaduste kasutamise kohta – näiteks biokütustel peaks olema bensiini/diislikütuse/petrooleumi/maagaasi keemilised omadused, et seda saaks kasutada väljakujunenud energiataristus või mootorites.

- **Biorafineerimise saaduste kõrge hind.** Biorafineerimise saadused on veel märksa kallimad kui naftatooted, sest viimaste hind ei kajasta keskkonnakulu. Lähitulevikus on realistlik biorafineerimistooted kasutada kas segatuna sarnaste naftatoodetega või kõrge lisandväärtusega ja/või eksklusiivsetes toodetes. Biorafineerimise saaduste hindade langemine on tõenäoline 5–10 aasta jooksul.
- **Tooraine sortimendi laienemine.** Aitaks kaasa toodete mitmekesisistumisele ning tagaks lähteaine varud. Sünteetilise bio-

loogia areng võimaldaks võtta kasutusele erinevaid jäätmeid (sh fossiilsete kütuste tootmisest tekkinud jäätmeid) biorafineerimisprotsessi toormena. Üha suuremat tähelepanu pälviv maailmas toidujäätmete käitlemine ja väärtustamine, sh biorafineerimise teel.

- **Koostootmisprotsesside arendamine** biorafineerimistehase säästlikkuse ja töhususe tõstmiseks – biosaaduste, kemikaalide ja energia koostootmine.
- **Puidupõhise biovesiniku tootmine biomassi kääritamisprotsessi kaudu.** Biokütuste füüsikalised ja keemilised omadused on paljuki sarnased olemasolevate kütuste omadega. Läbimurre puidupõhise vesiniku tootmisel on tõenäoline lähima viie aasta jooksul.

Ohud

- Ühiskondlik vastuseis biorafineerimistehaste rajamisele
- Masstootmisega tekkiv sobiva biotoorme nappus
- Ebastabiilsed biomaterjali tootmiskulud
- Suur keskkonnamõju looduslikule mitme-

kesisusele, kui majandusmetsade pindala suurendatakse oluliselt praegusega võrreldes

- Biomassi muundamine biokütusteks, kemikaalideks ja materjalideks toob töötlemisel kaasa suure energia-
tarbimise ja lenduvad heitkogused³⁶



Eesti võimalused ja otsustuskohad

- Puidu biorafineerimine on puidutööstust täiendav majandusharu, mis eeldab juba väljakujunenud puidutööstust koos piisavalt suure toorainemahuga. Nii on näiteks Saudi Araabias puidu biorafineerimine oluliselt ebatõhusam kui metsarikkas Brasiilias. **Eestis välja kujunenud puidutööstus on seetõttu eelis.**
- Eestis kasutatakse puidu rafineerimisel toorainena üksnes kaske, millest toodetak-

se ligniini, puidusuhkrut C₅ ja C₆ ning eritselluloosi. **Laiema puidusortimendi kasutamine võimaldaks suurendada masstaapi ja vähendaks konkurentsi samale toorainele (nt vineeritööstus).**

- Puidupõhise biorafineerimise majanduslik mõju on seotud eelkõige vastava tehase rajamise ning käitamisega³⁷. **Biorafineerimisprotsessid tõstavad puidu biomassi lisandväärtust ning mitmekesistavad ja**

³⁶ Cherubini, F., Bird, N. D., Cowie, A., Jungmeier, G., Schlamadinger, B., & Woess-Gallasch, S. (2009). Energy-and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. Resources, conservation and recycling, 53(8), 434–447.

³⁷ Pätäri, S., Tuppur, A., Toppinen, A., & Korhonen, J. (2016). Global sustainability megafactors in shaping the future of the European pulp and paper industry towards a bioeconomy. Forest Policy and Economics, 66, 38–46.

aitavad muuta puidupõhiseid tööstusharusid vastupidavamaks turu kõikumiste suhtes³⁸.

- **Biokütuste tootmine puidujääkidest aitab vähendada riigi sõltuvust imporditud fossiilkütustest, suurendades seeläbi riigi energiasõltumatust ja vähendades sõltuvust maailma energiaturgude hinnavolatiilsusest³⁹.** Lisaks võib energiaallikate mitmekesistamine suurendada riigi vastupanuvõimet tarnekatkestuste või geopoliitiliste konfliktide suhtes.

- **Eesti kõrgkoolides tegutseb mitmeid teadusgrupe, mis on keskendunud biorafineerimisega seotud tehnoloogiatele, näiteks tselluloosi ja kiitini ensümaatilisele lagundamisele ning vetikatest lipiidide saamisele.**

- Ettevõtluse toetamisel on vaja ühtaegu hoida fookuses nii uute ettevõtete valdkonda lisandumist kui ka olemasolevate (suur) ettevõtete tehnoloogilise innovatsiooni ja tootearenduse soodustamist.

Näiteid tehnoloogiasuunaga tegelevatest Eesti ettevõtetest

Fibenol OÜ (puidu ensümaatilise lagundamine), AS Estonian Cell (haavapuidu termomehaaniline

väärindamine), Horizon Tselluloosi ja Paberi AS (klassikaline pulpimistehas)

Rakutüvede digitaliseeritud arendamine

Rakutüvede digitaalne arendamine tähistab rakude ja ensüümide konstrueerimise protsessi, mis ühendab sünteetilise bioloogia ja IT võimalused, loomaks parendatud või täiesti uute funktsionaalsustega rakke. Digitaliseeritud rakutüvede arendus vähendab vajadust laborikatsete järele ning kiirendab rakude konstrueerimist. Rakutüvede digitaliseerimine on rakendatav erinevates valdkondades, näiteks toidutootmises või meditsiinis, ning selle majanduslik potentsiaal on väga suur. McKinsey hiljutine raport hindas, et kuni 60% maailmamajanduse füüsilisest sisendist saab toota bioloogiliste süsteemide kaudu ning järgmise 20 aasta jooksul võib vald-

konna majandusmõju

ulatuda enam kui 4 triljoni dollarini aastas⁴⁰. Et efek-

tiivsete biotehnoloogiliste protsesside abil toota erinevaid materjale,

ravimeid, kemikaale, kütuseid, toitu ja muud,

on vaja efektiivseid rakuvabrikuid

või ensüme – bioloogilisi katalüsaatoreid, mis muundavad orgaanilist materjali meile sobilikeks ühenditeks.



Kuidas toetab rohepööret?

- **Keskkonnasäästlikkuse edendamine.** Võimalik välja töötada lahendusi, mis aita-

vad kaasa jätkusuutlikkusele ja keskkon-
nahoiole laiemalt alates keskkonnasaaste

³⁸ Mantau, U. (2012). Wood flows in Europe (EU27). Project report. Celle, 24.

³⁹ Gnansounou, E., & Dauriat, A. (2010). Techno-economic analysis of lignocellulosic ethanol: a review. Bioresource technology, 101(13), 4980–4991.

⁴⁰ https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/life%20sciences/our%20insights/the%20bio%20revolution%20innovations%20transforming%20economies%20societies%20and%20our%20lives/mgi_the%20bio%20revolution_executive%20summary_may%202020.pdf

jälgimisest ja kõrvaldamisest⁴¹, invasiivsete kahjurite ja patogeenide ohjamisest⁴² kuni ohustatud liikide taaselustamiseni.⁴³

- **Süsiniku püüdmine ja kasutamine (CC/CCU).** Rakkude disain võimaldab välja arendada efektiivsemad mikroorganismid, mis suudavad fikseerida süsinikdioksiidi ja süsinikoksiidi nii tööstuslikest heitgaasidest kui ka õhust ning konverteerida selle süsiniku meile vajalikeks kemikaalideks või materjalideks.
- **Keskkonnasõbralikud alternatiivid põllumajandusväetistele.** Rakkude digitaliseeritud disain võimaldab luua lämmastikku fik-

seerivaid mikroobe, mis kinnituvad taimede juurtele ning kaotavad seeläbi vajaduse lisaväetiste järele põllumajanduses.

- **Rakupõhiste toodete arendamise väiksem keskkonnajälg.** Väheneb vajadus füüsiliste katsete järele, mis võib vähendada laborijäätmete hulka ja ressurside (nt energia, vee ja kemikaalide) kasutamist⁴⁴. Samuti võib kiireneda arendusprotsess ja saab võimalikuks rakupõhiste toodete kulutõhusam tootmine. Väheneb katse-eksituse meetodite kasutamine, mis kahandab ressurside tarbimist ja jäätmeteket veelgi.

Eeldused läbimurdeks ja edasine perspektiiv

- **Biokemikaalide tootmine tööstusjääki-dest.** Digitaalset rakkude disaini saab kasutada mikroorganismide abil jäätmematerjalide kasulikeks kemikaalideks muutmisel, näiteks muutes lignotselluloosi sisaldava biomassi või tahked olmejäätmed biokütusteks või muudeks kemikaalideks. See aitaks vähendada jäätmekäitluse probleeme ja sõltuvust taastumatutest ressurssidest.
- **Biopõhised materjalid** (ehitusmaterjalid, kattematerjalid, pakkematerjalid jt).
- **Viiruste või toksiliste ühendite pidev monitoorimine** vees või õhus.
- **Uute ravimite väljatöötamine,** konstrueerides rakke spetsiifiliste molekulide või valkude tootmiseks.
- **Haiguste mehhanismide parem mõistmine,** luues bioloogiliste süsteemide lihtsustatud versioone, mida saab uurida kontrollitud keskkonnas.

Ohud

- Õigusraamistik ei soosi turvalist andmete jagamist ja koostööd tööstusega
- Tehnoloogia skaleerimine ei õnnestu
- Arvutusmeetodite kasutamine rakutüvede digitaliseerimisel on energiamahukas
- Sünteetiliste organismide keskkonda sattumise oht, mis tekitab vajaduse korraliku järelevalve, bioohutusmeetmete ning isoleerimissüsteemide järele⁴⁵



⁴¹ De Lorenzo, Victor *et al.* (2018). The power of synthetic biology for bioproduction, remediation and pollution control: the UN's Sustainable Development Goals will inevitably require the application of molecular biology and biotechnology on a global scale. EMBO reports 19.4: e45658.

⁴² Teem, John L., *et al.* (2020). Genetic biocontrol for invasive species. Frontiers in bioengineering and biotechnology 8: 452.

⁴³ Lee, S. Y. (2019). DNA Data Storage Is Closer Than You Think. <https://www.scientificamerican.com/article/dna-data-storage-is-closer-than-you-think/>

⁴⁴ Scheper, Thomas, *et al.* (2021). Digitalization and bioprocessing: promises and challenges. Digital Twins: Tools and Concepts for Smart Biomanufacturing, 57–69.

⁴⁵ Schmidt, Markus, & Victor de Lorenzo (2012). Synthetic constructs in/for the environment: managing the interplay between natural and engineered Biology. FEBS letters 586.15: 2199–2206.

Eesti võimalused ja otsustuskohad

- **Eestis on alustatud rakuvabrikute arendamisega**⁴⁶ eesmärgiga luua biokemikaale ja ravimeid tootvaid mikroobitüvesid, mis areneks uueks jätkusuutliku biotööstuse sektoriks ja annaks tulevikus suure panuse Eesti keemiatööstusse. Seeläbi soovitakse asendada praegune põlevkivil baseeruv keemiatööstus jätkusuutliku biotööstusega.
- **Kõrgkoolides tegutseb mitmeid teadusgruppe, mis on tugeval rahvusvahelisel tasemel ja saavad olla kasvulavaks tehnoloogiaid turule viivatele ettevõtetele**, näiteks sünteetilise bioloogia, rakkude digitaalse disaini ja geenitehnoloogia vallas.

Näiteid tehnoloogiasuunaga tegelevatest Eesti ettevõtetest

Icosagen Cell Factory OÜ ja Icosagen AS (terapeutilised antikehad ja rekombinantsed valgud teadusuuringuteks ja diagnostikaks), Solis BioDyne OÜ (stabiliseeritud valkude tootmine diagnostikaks ja teadusuuringuteks), ÄiO Tech OÜ (mikroorganismide abil toodetud jätkusuutlikud asendused loomsetele rasvadele, palmi- ja

kookosõlile), TFTAK (bioloogiliste tootmisprotsesside optimeerimine ja toiduainete uurimine), Gearbox BioSciences OÜ (valkude tootmine mikroorganismides antibiootikume kasutamata)

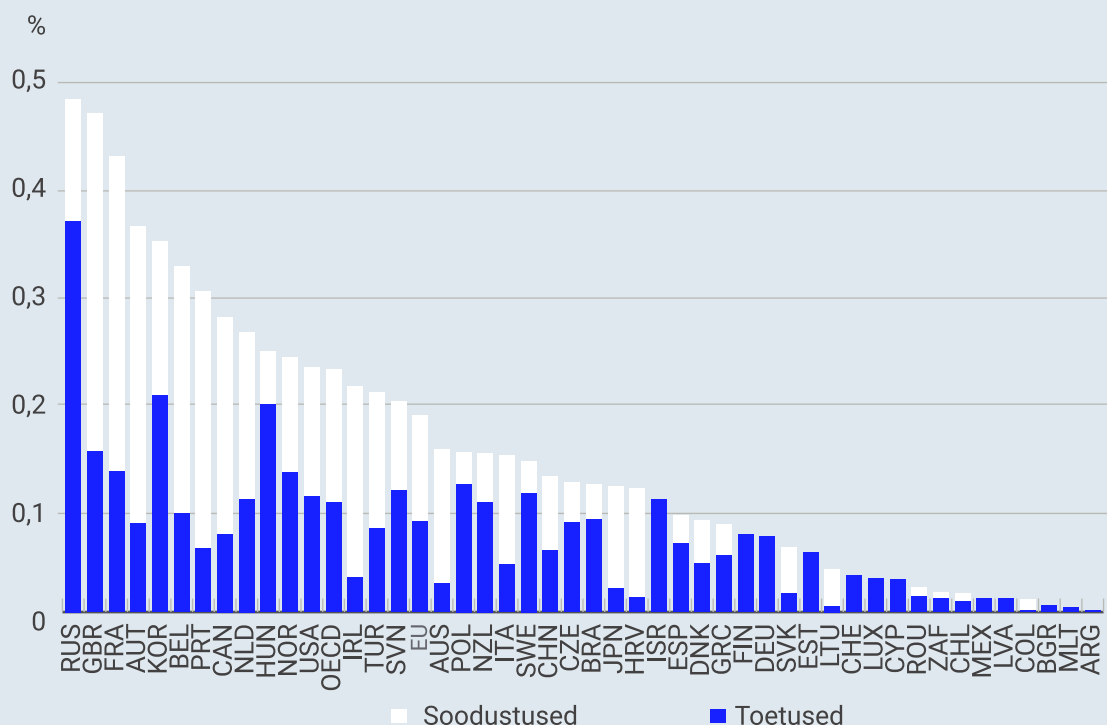
Riigi tugi tehnoloogilisele teadus- ja arendustegevusele Eesti ettevõtetes on napp ja ebastabiilne

Eesti suurim rohetechnoloogiatega seotud potentsiaal peitub teadus- ja arendustegevuses ning toodete väljatöötamises. Rohetechnoloogiate arendamisel on keskne koht just ettevõtlussektoril, sh iduettevõtlusel, mis on olemuslikult kiirem ja riskialtim, võrreldes turgu valitsevate ettevõtjatega. Seega eeldab rohetechnoloogiate arengu toetamine ettevõtete teadus- ja arendustegevuse toetamist.

OECD riigid toetavad erasektori TA-d keskmiselt 0,2% ulatuses SKP-st, mis jaguneb toetuste ja maksusoodustuste vahel enam-vähem pooleks. Eestis ulatus toetus erasektori TA-le 2020. aastal vaid 0,06%-ni SKP-st, jäädes OECD keskmisele kolmekordselt alla. Maksusoodustustest on teistes riikides kõige sagedamini kasutusel

TA maksukrediit (*R&D tax credit*), mis võimaldab ettevõttel vähendada maksukohustust teatud osakaalu võrra TA kulutuste summast, ning TA maksuvabastus (*R&D tax allowance*), mille rakendamisel ei arvestata TA kulutusi maha maksusummast, vaid maksubaasist. Mõnevõrra vähem levinud lahendusena on kasutusel soodustused tööjõukulude maksustamisel – näiteks madalamad maksumäärad teadustöötajatele. Maksusoodustuste eelis ettevõtete jaoks on parem ettenähtavus ja selgus, nendega on võimalik arvestada juba äriplaani koostamisel. Eestis maksusoodustuste võimalusi praegu ei kasutata.

⁴⁶ <https://novaator.err.ee/258541/disainerrakkude-arendamiseks-loodud-keskusega-liitunud-teadlane-loob-rakuvabrikuid>

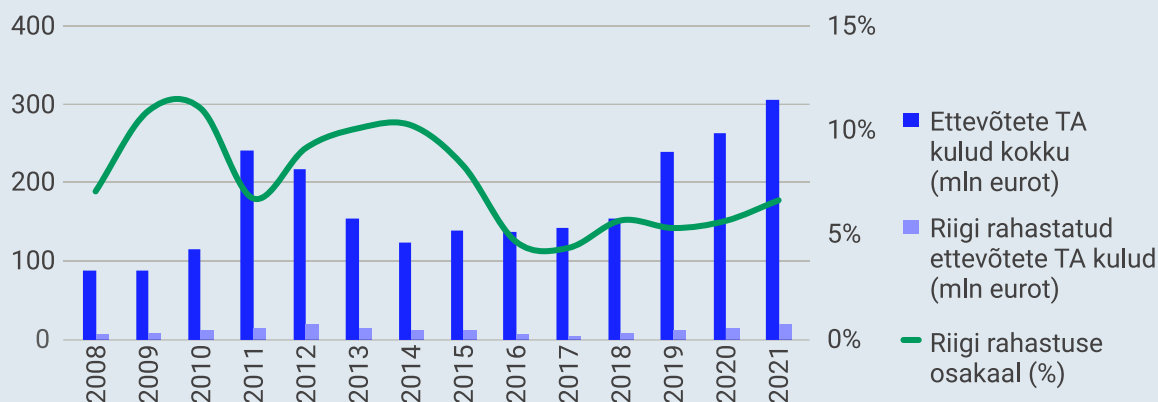


Joonis 14. OECD riikide otsetoetused ja maksusoodustused ettevõtete teadus- ja arendustegevuseks 2020. aastal, % SKP-st

Allikas: OECD R&D Tax Incentives Database⁴⁷

Erasektori TA toetamisel on tähtis selle stabiilsus. Eestis on erasektori TA toetamine olnud pigem ebastabiilne ja sõltunud EL-i tõukefondide perioodidest ja tingimustest. Riigi toetuse

osakaal on kõikunud 4–11% vahel ettevõtete TA investeeringutest ning aastane toetussumma on ulatunud 6–7 miljonist eurost (aastail 2008, 2016, 2017) 20 miljoni euroni (aastail 2012 ja 2021).



Joonis 15. Riigi osakaal ettevõtlussektori teadus- ja arendustegevuse rahastamises

Allikas: Eesti Statistikaamet

⁴⁷ <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=RDtax>

A close-up photograph showing several hands of different skin tones cupped together, holding a small, vibrant green seedling with several leaves. The seedling is rooted in a mound of dark, rich soil. The hands are positioned around the base of the plant, suggesting a collective effort in nurturing or planting it. The background is softly blurred, showing parts of blue and green clothing. The overall image conveys themes of growth, sustainability, and collaborative investment.

Rohepööre nõuab uut
investeeringute lainet
nii era- kui ka avalikult
sektorilt

Euroopa Liidu roheleppe keskmes on küsimus, kuidas vähendada kliima soojenemise ja biosfääri kahjustamise riski, luues samas aluse kestvaks majandusarenguks ja seeläbi ümberjagamisvõimaluste säilimiseks ühiskonnas. Kliimamuutuste pidurdamisest ja bioloogilise mitmekesisuse säilitamise vajadusest on räägitud pikka aega, kuid aastakümneid kestnud viivitamine on toonud kaasa selle, et majanduse sujuva ümberkohanemise asemel terendab ees pigem järsk üleminek.

Majandustegevuses kasutatav füüsiline kapital – eelkõige seadmed, hooned ja energiasüsteem – vajab keskkonnaprobleemide süvenemise ennetamiseks kiiret uuendamist, paiguti enne oma majandusliku eluea lõppu. **Seetõttu on rohepöördega seotud investeeringutel kaks poolt – ühest küljest tehakse pidevalt asendusinvesteeringuid eesmärgiga asendada amortiseerunud tehnoloogia keskkonnasõbralikumaga, kuid teisalt on vaja teha ka täiendavaid investeeringuid, mis lisanduvad tavapärasele investeerimismahule.** Rohepöördega seoses ongi üks põhiküsimus, kui palju täiendavaid investeeringuid see vajab ja kuidas muutused investeerimismustrites võivad majandust mõjutada.

Keskkonna muutused kahjustavad majanduskasvu

Säästva arengu tuumaks on tõdemus, et keskkonna-, majandus- ja sotsiaalvaldkond on tihedalt vastastikku seotud. Kliima soojenemise ja biosfääri kahjustamisega kaasnevad kulud, mis muu hulgas hõlmavad äärmuslike ilmastikunähtustega (nt üleujutused ja põuad) seotud kulusid, vähendavad põllumajanduse ja toidutööstuse tootlikkust ning inimkapitali tulene-

valt terviseprobleemidest. Ülevaateartikli järgi, mis sisaldab kliimamuutuste 22 majandusmõju käsitlevat rahvusvahelist analüüsi, toob kliima soojenemine 2,5 kraadi võrra kaasa globaalse kogutoodangu vähenemise keskmiselt 1,3 protsendi võrra, kuid eri allikates varieeruvad hinnangud +2,3 protsendilt kuni -6,7 protsendini kogutoodangust⁴⁸.

Analüüsides toodud hinnangud osutavad siiski üksmeelselt, **et kuigi lühikeses või keskmises ajahorisondis võib kliimamuutus kogutoodangut suurendada, siis pikemas horisondis avaldab kliimamuutus kogutoodangule negatiivset mõju ja võimalik võit on lühiajaline.** Sarnased on hinnangud ka kliimamuutuse mõju kohta Euroopas – näiteks hiljutises Euroopa Ühisuuringute Keskuse (JRC) raportis hinnatakse majanduskahjuks 0,7 kuni 1,4% SKP-st, sõltuvalt sellest, kas kliima soojeneb 2 või 3 kraadi võrra⁴⁹.

Eeltoodud hinnangud viitavad sagedamini eelkõige otsestele, näiteks ekstreemsetest ilmastikunähtustest põhjustatud kahjudele, kuid neile lisanduvad ka kaudsemad mõjud. Sellised mõjud võivad olla seotud inimeste ootuste ja vajadustega, näiteks kliima soojenemine ja bioloogiline mitmekesisus mõjutavad muuhulgas taimede tolmeldamist, muldade viljakust ja vee-režiimi ning seeläbi põllumajanduse ja toiduainetööstuse tootlikkust. Suuremas ulatuses on aga kaudsemad mõjud elukeskkonnale selliste omadustega, mis on raskesti nähtavad ja hinnatavad, näiteks keerulisem on hinnata väljasurveate liikide või ümberkujundatud maastikuga seoses tekkivat majanduslikku kahju. Seetõttu ei pruugi kliima ja biosfääri muutuste mõjule antud majanduslikud hinnangud hõlmata täielikult inimeste ja muude eluvormide heaolu jaoks olulisi tegureid ja nendega seonduvaid kulusid.

⁴⁸ Tol, R. S. J. (2018). The Economic Impacts of Climate Change. Review of Environmental Economics and Policy, 12(1), 4–25, <https://doi.org/10.1093/reep/rex027>

⁴⁹ European Commission. Joint Research Centre (2020). Economic analysis of selected climate impacts: JRC PESETA IV project: Task 14. Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/845605>

Rohepöördeks on tarvilikud rohelised investeeringud

Rohepööre eeldab innovatsiooni, mis võimaldab asendada energia- ja materjalimahukad tooted ja teenused vähem mahukamatega ning seeläbi toetada majanduskasvu ja lisandväärtuse suurenemist või vähemalt majanduse jätkusuutlikkust ning ühiskonna heaolu laiemalt⁵⁰. Siiski pole olemas ühetaolisi kriteeriume investeeringute rohelisuse hindamiseks. Praktikas on vaid vähesed roheinvesteeringud suunatud negatiivsest keskkonnamõjust täielikule vabanemisele (*decoupling*). Enamasti sihitakse vaid kahjuliku keskkonnamõju vähendamist ja ressursside tõhusamat kasutamist või kaudsemalt vastavust keskkonnastandarditele (nt ISO14001).

Roheinvesteeringutel võib olla erinev mõjuulatus. Ühelt poolt võib roheinvesteering tuua kaasa lainetusefekti, mille mõjul suureneb nõudlus rohelahenduste järele, mis ajendab ka teisi ettevõtteid roheinvesteeringuid tegema ja seeläbi suureneb keskkonda säästev mõju. Teisest küljest võib investeeringul olla ka tagasilöögiefekt – olgugi et materjalide või energia-kasutus tooteühiku kohta väheneb, tähendab kasvav nõudlus toote või teenuse järele seda, et kasutatavate ressursside hulk ja keskkonnakahju tervikuna hoopis suurenevad.

Hiljutise Chițimiea *et al.*⁵¹ ülevaateartikli järgi ajendavad ettevõtteid roheinvesteeringuid tegema erinevad välised ja sisemised tegurid.

Välised tegurid

- Klientide, tarbijate käitumine – nõudlus keskkonnahoidlike toodete järele
- Kliimamuutus – keskkonnariskid mõjutavad ettevõtte riske, mis ajendab tootmise keskkonnamõjusid vähendama
- Regulatsioon – miinimumstandardid mõjutavad ressursikasutust
- Juurdepääs finantsvahenditele – pankade ja avaliku sektori finantsvahendite reeglid ajendavad kasutada rohelisemaid tehnoloogiaid

Sisemised tegurid

- Investorite eelistused – rahalise tootlikkuse kõrval on investoritele oluliseks muutunud säästva arengu eesmärgid
- Organisatsiooni kultuur – ettevõtjate ja kaastöötajate ning laiemalt tootmisahela väärtusruum ootab majandustegevuse keskkonnasäästlikkust (sh ettevõtete sotsiaalne vastutus ja ettevõtte reputatsioon)
- Tõhusus ja finantstulemused – ressursside tõhusam kasutamine tootmises aitab kulusid vähendada
- Võimaldab siseneda uutele turgudele või saavutada turueelis innovatsiooni kaudu

Joonis 16. Ajendid ja motivatsioon roheliste investeeringute tegemiseks

Allikas: Chițimiea *et al.* 2021, Table 5. Drivers and motivation for the adoption of green investments⁵²

⁵⁰ Heinrich-Böll-Stiftung, ZOE, Institute for Future-Fit Economies, & Finanzwende Recherche (Hrsg.) (2022). Making the great turnaround work: Economic policy for a green and just transition. Heinrich-Böll-Stiftung.

⁵¹ Chițimiea, A., Minciu, M., Manta, A.-M., Ciocoiu, C. N., & Veith, C. (2021). The Drivers of Green Investment: A Bibliometric and Systematic Review. Sustainability, 13(6), 6, <https://doi.org/10.3390/su13063507>

⁵² Chițimiea *et al.* (2021). Table 5. Drivers and motivation for the adoption of green investments.

Tulenevalt nendest teguritest võivad roheinves- teeringud nii ettevõtte kui ka majanduse kui ter- viku vaatest nii lisanduda senistele kui ka asen- dada olemasolevaid kapitalipaigutusi. Esimesel juhul investeerib energiatootja näiteks taastuv- energeetikasse lisaks fossiilsetel kütustel põ- hinevale energeetikale, mille tulemusena ener- giatootja tootmisportfell mitmekesistub. Teisel juhul, asendavad energiatootja investeeringud taastuvenergeetikasse investeeringud fossiil- setel energiakandjatel põhinevasse energee- tikasse. **Samuti konkureerivad roheinves- teeringud omavahel – piiratud ressursside tõttu vähendavad investeeringud olemasole- vate tehnoloogiate keskkonnasäästlikumaks muutmisse võimalusi investeeringuteks alles tekkivate rohetehnoloogiate arendamisse või kasutuselevõtmisse.**

Vajalike roheinvesteeringute maht on märkimisväärne

Hinnangud rohepöördeks tarvilike investeeri- ngute suuruse kohta jõuavad üldjoontes sarna- sele järeldusele, et **täiendav investeerimis- vajadus kiireneb ja jõuab haripunkti 2030. aastaks ning seejärel taandub järk-järgult 2050. aastaks.** 2021. aasta raportis hindas Rahvusvaheline Energia Assotsiatsioon, et glo- baalse neto-nullheite saavutamiseks aastaks 2050 on vajalike täiendavate investeeringute maht ligikaudu 1,3% SKP-st aastas ajavahemi- kus 2021–2030⁵³. Rahvusvaheline Valuutafond hindas vajalike täiendavate investeeringute mahuks umbes 2% SKP-st ajavahemikus 2030– 2050⁵⁴. Euroopa Komisjon on leidnud, et Euroo-

pas peaksid investeeringud kasvama umbes 1,5– 1,8% võrra SKP-st ajavahemikus 2021–2030⁵⁵.

Eesti kohta tehtud seni mahukaim analüüs jõuab sarnaste suurusjärgudeni. 2019. aastal hindas SEI Tallinn⁵⁶, et kliimaneutraalse Eestini jõudmine eeldab investeeringuid kogumahuks 17,5 miljardit eurot aastaks 2050. **Vajalike inves- teeringute aastane maht on seega keskmis- selt 2% SKP-st, kuid vahe-eesmärgi ehk CO₂ heite vähendamise 70% võrra saavutamine aastaks 2030 eeldab suuremaid investeeri- nguid just lähematel aastatel.** Prognoositult oleksid iga-aastased investeeringud kuni aas- tani 2030 umbes 4% SKP-st, 2031–2040 umbes 2% ja 2041–2050 vähem kui 1%. Eesti täiendava- te investeeringute tegemise väljakutse muudab aga tõsisemaks asjaolu, et enamik investeeri- nguid tuleb teha kindlates tegevusvaldkonda- des – energeetikas, tööstuses, transpordis. Kui näiteks 2019. aastal oli energiasectori investee- ringute maht 1,6% SKP-st, siis täiendavad inves- teeringud mahus 1,5% SKP-st suurendaks inves- teeringuid energiasectorisse ligi kaks korda⁵⁷.

Rohepöördega seotud investeerimisvajadust saab kirjeldada ka laiemas kontekstis – kuidas suhestub see majanduse koguinvesteeringu- tega. Eurostati andmetel (tabel SDG_08_11) moodustasid Eesti äri- ja avaliku sektori ning majapidamiste investeeringud 2021. aastal kok- ku ligi 28,9% SKP-st (Euroopa Liidu 27 liikmesrii- gis tervikuna umbes 22,5%). Suurima osa moo- dustasid ärisectori investeeringud (umbes 18% SKP-st), avaliku sektori ja majapidamiste inves- teeringud olid kumbki umbes 5% SKP-st.

⁵³ IEA (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

⁵⁴ IMF (2021). Reaching Net Zero Emissions, <https://www.imf.org/external/np/g20/pdf/2021/062221.pdf>

⁵⁵ European Commission (2020). Commission Staff Working Document Impact Assessment Accompanying The Document Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Econo- mic And Social Committee And The Committee Of The Regions, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cel- lar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF

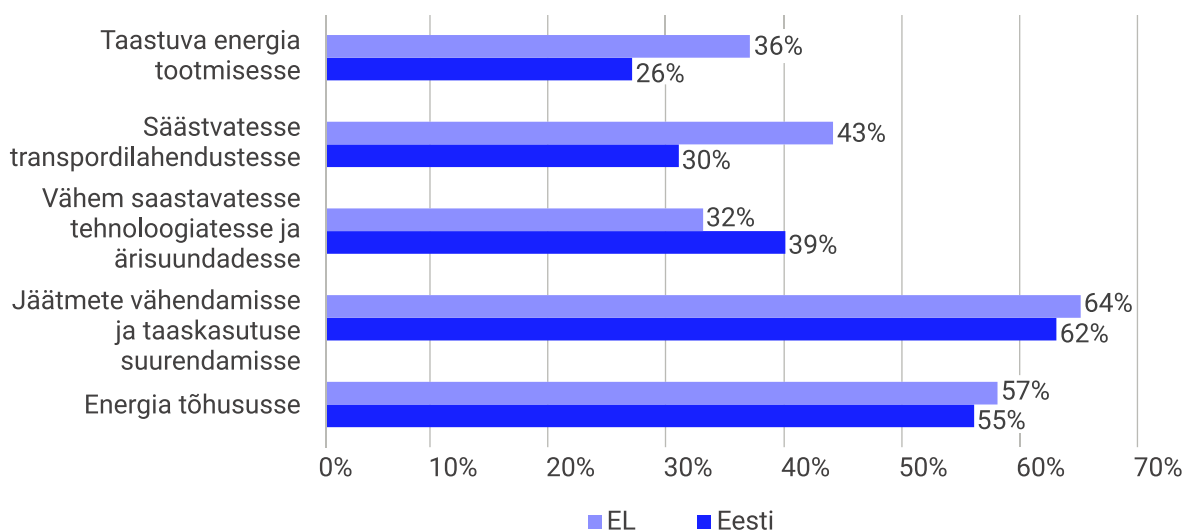
⁵⁶ Meeliste, S., Tammiste, L., Grünvald, O., Kirsimaa, K., Suik, K., Org, M., Stockholm Environment Institute, & Eesti (Toim) (2019). Eesti kliimaambitsiooni tõstmise võimaluste analüüs [Võrguteavik]. SEI Tallinn: Finantsakadeemia.

⁵⁷ OECD (2022). OECD Economic Surveys: Estonia 2022. OECD, <https://doi.org/10.1787/21ef46e4-en>

Eesti ettevõtted teevad roheinvesteeringuid üsna usinalt, aga vaja oleks kaks korda enam

Roheinvesteeringute vajaduse iseloomustamise kõrval on oluline vaadata Eesti ettevõtete investeerimiskäitumist rohepöörde algusfaasis. Euroopa Investeerimispanka 2021. aasta ettevõtete läbilõikelise küsitlusuuringu⁵⁸ järgi on rohelistesse lahendustesse investeerinud

Eesti ettevõtete osakaal sarnane Euroopa Liidu keskmisega (vaata ka joonis 17). Osakaalude järgi edestavad Eesti ettevõtted EL-i ettevõtteid investeeringute poolest vähem saastavatesse tehnoloogiatesse ja ärisuundadesse, kuid jäävad maha investeeringute poolest säästvatesse transpordilahendustesse ja taastuvenergia tootmisse.



Joonis 17. Ettevõtete hinnangud roheinvesteeringute ja arenduste tegemise kohta, osakaal vastanud ettevõtete hulgas

Allikas: EIB Investment Survey 2022⁵⁹

Uuringud osutavad, et **kuigi suur hulk Eesti ettevõtteid investeerib rohelistesse lahendustesse, siis investeeritavad summad veel väga suured ei ole.** Otsesed keskkonnakaitseinvesteeringud on väikesed, moodustades Eurostati (TEN00136) järgi nii Eestis kui ka Euroopa Liidus ligi 0,4% SKP-st. Kuid laiemalt ressursisäästlikusele viivate investeeringute osakaal on oluliselt suurem. Euroopa Investeerimispanka 2021.

aasta küsitluse järgi teevad Eesti ettevõtted ligi 12% ulatuses oma investeeringuid energiatõhususe parandamisse, sama näitaja Euroopa Liidus tervikuna on 10%⁶⁰. Võttes aluseks, et Eesti SKP oli 2022. aastal 36,12 miljardit eurot, investeerisid ettevõtted 2022. aastal kokku umbes 6,5 miljardit eurot, sealhulgas 0,8 miljardit eurot energiatõhususe suurendamisse, mis moodustab umbes 2,2% SKP-st.

⁵⁸ EIB Investment Survey, <https://www.eib.org/en/publications-research/economics/surveys-data/eibis/about/index.htm>

⁵⁹ <https://www.eib.org/en/publications-research/economics/surveys-data/eibis/about/index.htm>

⁶⁰ European Investment Bank, & Ipsos Public Affairs (2022). EIB investment survey 2022: European Union overview. Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2867/488028>

Roheinvesteeringud saavad elavdada Eesti majandust: kolm stsenaariumit

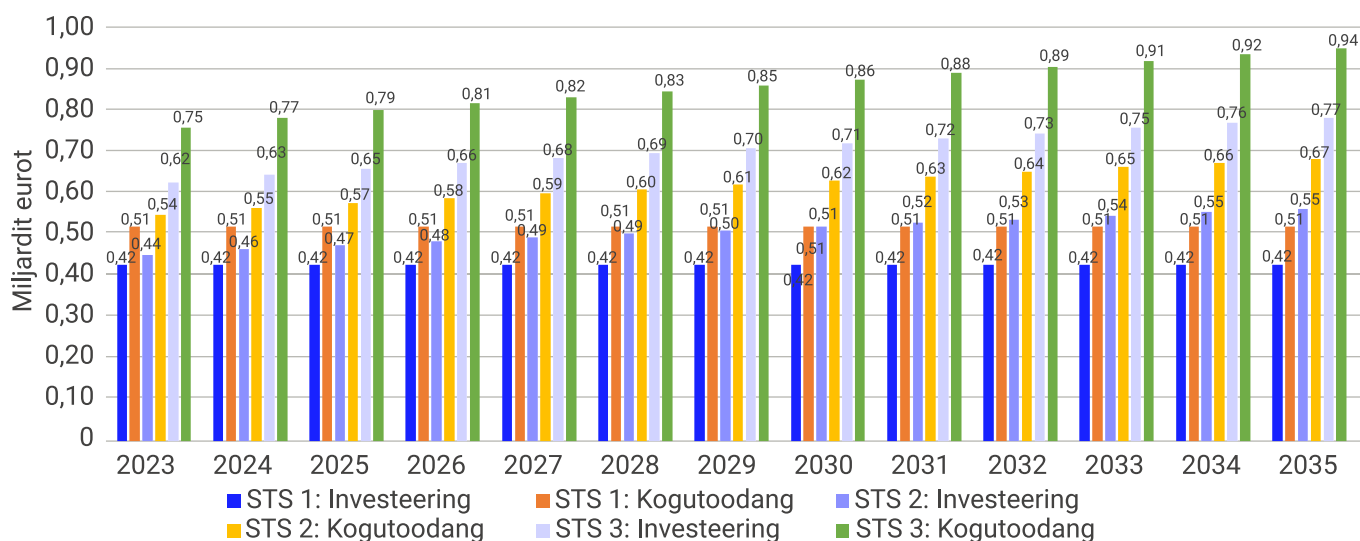
Ettevõtete roheinvesteeringutega kaasneb mõju Eesti majandusele – **investeeringud suurendavad majanduse kogutoodangut, hõivatute arvu ning avaliku sektori maksutuluseid**. Järgnevalt on esitatud kolm stsenaariumi Eesti ettevõtete roheinvesteeringute mahu ja nendega kaasnevate mõjude kohta (roheinvesteeringute majandusmõju hindamise metoodika on lühidalt avatud lk 56 olevas tekstikastis).

- Esimeses, konservatiivses stsenaariumis eeldame, et ettevõtted teevad järgmise 13 aasta jooksul igal aastal roheinvesteeringuid praeguses aastases mahus, mis on hinnatud üle tegevusalade Euroopa Investeerimispanka investeeringute uuringu järgi⁶¹;
- Teises, kasvu stsenaariumis eeldame, et esimeses stsenaariumis arvestatud ettevõtete aastased roheinvesteeringud kasvavad samas tempos SKP-ga (Rahandusministeeriumi pikaaegse prognoosi järgi);
- Kolmandas, trendi murdva kasvuga stsenaariumis eeldame, et lisaks teises stsenaariumis eeldatud SKP määras kasvule suurendavad ettevõtted roheinvesteeringuid praeguselt tasemelt umbes 2% SKP-st kõrgemale tasemele, mis on 3% SKP-st.

I stsenaariumi järgi teevad ettevõtted aastaks 2035 tänastes hindades umbes 5,47 miljardi euro väärtuses roheinvesteeringuid (aastas keskmiselt ligi 0,46 miljardit eurot), mille tulemusena suureneb majanduse kogutoodang 6,64 miljardit eurot ning avaliku sektori maksutuluseid laekub ligi 1,1 miljardit eurot (aastases arvestuses vastavalt 0,42 ja 0,08 miljardit eurot).

Kõige investeerimismahukama III stsenaariumi korral teevad ettevõtted vaadeldaval perioodil umbes 9,07 miljardi euro väärtuses roheinvesteeringuid, mille mõjul suureneb majanduse kogutoodang 11,07 miljardi euro võrra ja praegu kehtivaid maksureegleid järgides suurenevad avaliku sektori maksutulud 1,83 miljardi euro võrra (aastases arvestuses vastavalt 0,85 ja 0,14 miljardi euro võrra). **Seega, investeerides ühe euro rohelisemasse majandustegevusse, kasvab kogutoodang 1,2 euro võrra ning maksutulud avalike teenuste pakkumiseks suurenevad 20 senti võrra.** Investeeringutega kaasneb ka suurenev tööjõuvajadus – kui rohepöördesse investeeritakse praeguses mahus, on roheinvesteeringuga seotud ligi 5333 täiendavat täistöökohta aastas; kui roheinvesteeringud suurenevad III stsenaariumi järgi, kasvab investeeringuga seotud töökohtade arv 8845 täistöökohani aastas.

⁶¹ Eesti ettevõtete hinnangud roheinvesteeringute osakaalu kohta pärinevad EIB küsitlusuuringust. Siinjuures ei võimalda küsitlusuuring anda hinnanguid kõigi tegevusalade kohta. Siinsetes stsenaariumides ja nende majandusmõju analüüsis vaatame eraldi 63 tegevusala, millest 53 kohta on teada roheinvesteeringute osakaalu hinnangud. 10 sektori kohta ei ole roheinvesteeringute osakaalud teada ning analüüsis neid ei eeldata ega hinnata nt imputeerimise teel. Kuna nende 10 tegevusala osakaal Eesti majanduses ja investeeringutes on siiski väike, siis siinsed mõjuanalüüsid alahindavad vaid veidi roheinvesteeringute mõju majandusele.



Joonis 18. Eesti ettevõtete roheinvesteeringute suurus ja nende mõjud mõtteliste stsenaariumide järgi
Allikas: Autorite arvutused, kasutades sisend-väljundtabelitel põhinevat 'RITA-C19-makromodelit'

Tabel 3. Eesti ettevõtete roheinvesteeringute suurus ja nende mõju 2023–2035

	STSENAARIUM 1 „Senises tempos“	STSENAARIUM 2 „Samas tempos majanduskasvuga“	STSENAARIUM 3 „Murranguline juurdekasv“
Investeering, mld eurot		5,47	6,53
Kogutoodang, mld eurot		6,64	7,93
Maksutulu, mld eurot		1,10	1,32
Tööjõukulu, mld eurot		1,26	1,50
Hõive, täistöökohta aastas		5333	6367
			8845

Allikas: Autorite arvutused, kasutades sisend-väljundtabelitel põhinevat 'RITA-C19-makromodelit'

Roheinvesteeringute majandusmõju hindamise metoodika

Roheinvesteeringute mõju hindamiseks Eesti majandusele kasutasime sisend-väljund-tabelitel põhinevat 'RITA-C19-makromodelit'. Modeli metoodika on terviklikult kirjas Anspal *et al.*⁶² koostatud raportis. Hindamisel võtame arvesse rohepöörde arendustegevuste investeeringuid erinevatesse tegevusaladesse ega arvesta arenduse käitamise mõju.

Roheinvesteeringu suurus on arvestatud olemasolevate investeeringuvajaduste hinnangute põhjal või arvestatud kaudsemalt kirjandusest ja ekspertintervjuudest saadud sisendi järgi. Analüüsis vaatame investeeringute kui lõpptarbimise kasvu mõju Eesti majandusele. Kuna investeeringu eest ostetavad imporditavad tooted ja teenused meie mudelis majandust ei elavda, siis on investeeringute mõju analüüsi sisendiks see investeeringute osa, mille eest ostetakse Eesti majandusüksustelt tooteid, teenuseid ja tööjõudu.

Hinnates kõigi Eesti ettevõtete roheinvesteeringute mõju, vaadatakse statistilist kodumaise tarbimise osakaalu. Hinnates valitud rohepöördeprojektide investeeringute mõju, kohendati vastavalt allikatele ja eksperthinnangutele kodumaise tarbimise osakaale.

Makromajanduslike mõjude hindamine on staatiline – mudel võtab aluseks 2017. aasta sisend-väljundtabelite (viimane saadaolev) struktuuri ja näiteks investeerimisperioodi esimese aasta tulemused teise aasta tulemust enam ei mõjuta, küll aga on mudelis arvestatud, et majanduse tootlikkus üle investeerimisperioodi kasvab. Majandustegevuse eri harude vahelised seosed enda ja teiste toodete ja teenuste tarbimisel osutavad, millise tegevusala lõpptarbimise kasvul on investeeringu tulemusena suurem mõju teiste harude tootmise kasvule. Analüüsis arvestame, kui palju suureneb näiteks sise-majanduse kogutoodang lõpptarbimise ja vahetarbimise tulemusena (kuid ei arvesta tingitud mõju sellest, et suurem tulu võimaldab ka kodumajapidamistel tarbimist suurendada, mis omakorda elavdab majandust). Kokkuvõttes alahindavad mudeliga saadud tulemused mõnevõrra tegelikke mõjusid.

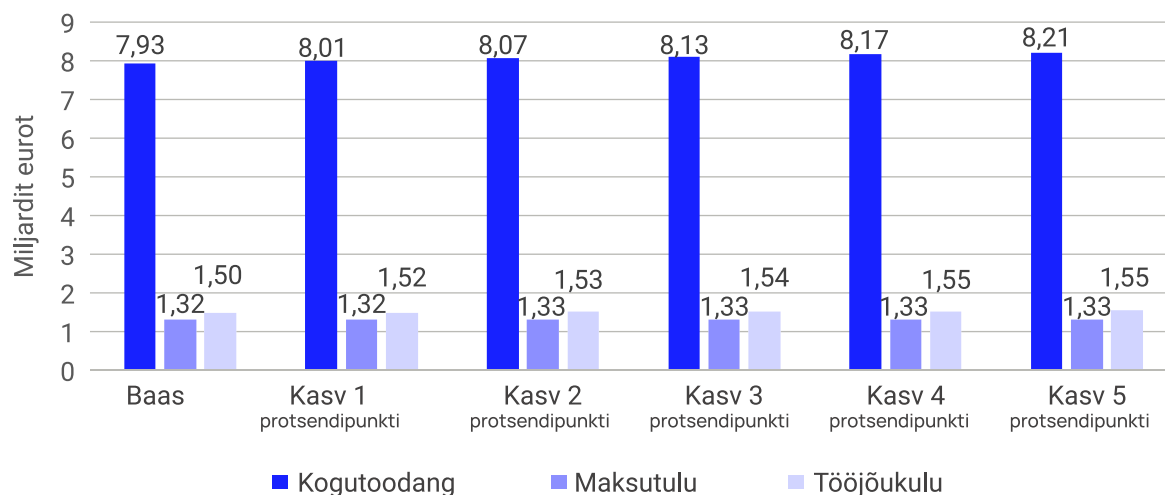
Raporti eelmisest peatükist ilmnas, et suur osa rohepöördeks vajalikke tehnoloogiaid on alles arendusjärgus. Ülekaalukas osa nendest uutest tehnoloogiatest mõeldakse välja ja arendatakse Eestist väljaspool ja me saame neid kasutada tänu importimisele. Roheinvesteeringute majandusmõjud sõltuvad aga otseselt sellest, kui suur osa vajaminevatest toodetest ja teenustest imporditakse välisriikidest ning kui suur osa on võimalik hankida kodumaalt.

Mida suuremas osas saavad ettevõtted rohearenduseks tarvilikke tooteid, tehnoloogiaid, teenuseid ja tööjõudu osta Eesti majandusest, seda suurem on roheinvesteeringute Eesti majandust elavdav mõju. Seega, kui Eesti ettevõtted suudavad uues, rohepöördele orienteeritud keskkonnas kasvatada kodumaal pakutavate tehnoloogiate, toodete ja teenuste osakaalu, võib rohepöördega seotud investeeringute majandusmõju osutuda eelnevalt hinnatust suuremaks.

⁶² Anspal, S., Järve, J., Kallaste, E., Kivi, L., & Sömer, M. (2022). Eesti Rakendusuuringu Keskus CentAR.

Selle näitlikustamiseks vaatame uuesti stsenaariumi, kus ettevõtete aastased roheinvesteeringud kasvavad SKP-ga samas tempos. Järgneval joonisel on kujutatud roheinvesteeringute

majandusmõju muutust, kui Eesti ettevõtete roheinvesteeringute kodumaise tarbimise osakaal suureneb igas astmes ühe protsendipunkti võrra.



Joonis 19. Eesti ettevõtete roheinvesteeringute suurus ja nende mõju erineva kodutarbimise osakaalu korral, vms

Allikas: Autorite arvutused, kasutades sisend-väljundtabelitel põhinevat 'RITA-C19-makromudelit'

Roheinvesteeringu suuruseks kõigis joonisel toodud olukordades on 6,5 miljardit eurot ja baasvariandis on üle kõigi tegevusalade roheinvesteeringute kodumaise tarbimise osakaal ligi 90%. Järgmistes variantides suurendatakse üle kõigi tegevusalade kodumaise toodangu lõpptarbimise osakaalu 5 protsendi võrra, tänu millele suureneb kogutoodang investeeringu tulemusena 0,28 miljardi võrra ja maksutulu 0,02 miljardi võrra.

Mitmel plaanitaval roheinvesteeringul on suur positiivne majandusmõju

Roheinvesteeringute kavandamine hõlmab tegevuste valimist, mis aitavad toota, salvestada ja kasutada energiat säästlikumalt ja on seeläbi väiksema mõjuga kliimale ja biosfäärile laiemalt.

Rohepöördega seotud investeeringute majandusmõjude näitlikustamiseks vaatame järgnevalt 11 arendusprojekti, mille valisime nii riigi rohepöördevaldkondi puudutavatele arendusplaanidele tuginedes kui ka Eesti ettevõtjate arendusprojekte kaardistades. Osa valitud arendusprojekte peegeldab juba töös olevaid arendusi, kuid ka nende projektide investeeringute suurus ja struktuur esindab pigem siinse töö autorite arvestusi ja arvestuste kohandusi selle töö eesmärke arvestades. Siinjuures tuleb arendustegevuste kulude ja mõjude hinnangute juures arvestada, et vaatame ainult investeeringuid ja investeeringute majandusmõjusid; teisisõnu, nende arenduste käitamise ulatuslikumad kulud ja majandusmõjud ei ole siinse hindamise fookuses. Valitud investeeringute suurus ja hinnatud majandusmõju on ülevaatlilikult kujutatud järgmisel joonisel.

Energia tootmine

MAJANDUSMÕJUD

	TUUMA-ELEKTRIAAM	Võimsus: Investeering: Periood:	600 MW 2,3 miljardit € 2023–2032	Kogutoodang: Maksutulud: Tööjõukulud: Töökohad:	1,16 miljardit € 0,37 miljardit € 0,26 miljardit € 1349 kohta aastas
	MAATUULE-ELEKTER	Võimsus: Investeering: Periood:	600 MW 0,81 miljardit € 2023–2035	Kogutoodang: Maksutulud: Tööjõukulud: Töökohad:	0,26 miljardit € 0,12 miljardit € 0,06 miljardit € 233 kohta aastas
	MERETUULE-ELEKTER	Võimsus: Investeering: Periood:	600 MW 2,10 miljardit € 2023–2035	Kogutoodang: Maksutulud: Tööjõukulud: Töökohad:	0,49 miljardit € 0,28 miljardit € 0,11 miljardit € 308 kohta aastas
	PÄIKESE-ELEKTER (PV)	Võimsus: Investeering: Periood:	600 MW 0,58 miljardit € 2023–2035	Kogutoodang: Maksutulud: Tööjõukulud: Töökohad:	0,24 miljardit € 0,09 miljardit € 0,06 miljardit € 406 kohta aasta

Energia salvestamine

	HÜDRO-SALVESTI	Võimsus: Investeering: Periood:	6000 MWh 0,88 miljardit € 2023–2035	Kogutoodang: Maksutulud: Tööjõukulud: Töökohad:	0,26 miljardit € 0,12 miljardit € 0,06 miljardit € 829 kohta aastas
	AKU-SALVESTI	Võimsus: Investeering: Periood:	240 MWh 0,15 miljardit € 2023–2035	Kogutoodang: Maksutulud: Tööjõukulud: Töökohad:	0,06 miljardit € 0,02 miljardit € 0,01 miljardit € 41 kohta aastas

Energia tarbimine: eluruumid

	ELAMUTE ENERGIA-TÕHUSTAMINE	Pindala: Investeering: Periood:	12,7 miljonit m ² 3,81 miljardit € 2023–2035	Kogutoodang: Maksutulud: Tööjõukulud: Töökohad:	5,27 miljardit € 0,88 miljardit € 1,21 miljardit € 4789 kohta aastas
	GAASIKÜTTELT SOOJUS-PUMBALE	Seadmed: Investeering: Periood:	30 000 0,10 miljardit € 2023–2035	Kogutoodang: Maksutulud: Tööjõukulud: Töökohad:	0,05 miljardit € 0,02 miljardit € 0,01 miljardit € 49 kohta aastas

Energia tarbimine: transport

	RASKE-TRANSPORT BIOKÜTUSELE	Masinad: Investeering: Periood:	40 000 5,34 miljardit € 2023–2035	Kogutoodang: Maksutulud: Tööjõukulud: Töökohad:	0,80 miljardit € 0,73 miljardit € 0,22 miljardit € 956 kohta aastas
	ELEKTRI- JA VESINIKU-RONGILIIKLUS	Arendus: Investeering: Periood:	Taristu ja 25 rongi 0,51 miljardit € 2023–2035	Kogutoodang: Maksutulud: Tööjõukulud: Töökohad:	0,22 miljardit € 0,08 miljardit € 0,05 miljardit € 206 kohta aastas
	ELEKTRIAUTOD JA -LAADIJAD	Autod: Investeering: Periood:	85 000 autot 2,79 miljardit € 2023–2035	Kogutoodang: Maksutulud: Tööjõukulud: Töökohad:	0,90 miljardit € 0,46 miljardit € 0,23 miljardit € 891 kohta aastas

Joonis 20. Eesti rohepöördeinvesteeringute näiteid: investeeringud ja nende mõjud kokku ajavahemikus 2023–2035

Allikas: Autorite arvutused, kasutades sisend-väljundtabelitel põhinevat 'RITA-C19-makromudelit'

Siinkirjeldatud projektide maht üle 13 aastase investeerimisperioodi on kokku ligi 19,4 miljardit eurot (ehk keskmiselt ligi 1,5 miljardit eurot aastas). **Hinnatud roheinvesteeringud suurendavad Eesti majanduse kogutoodangut kokku ligikaudu 10 miljardi euro ulatuses (aastas keskmiselt 0,8 miljardit eurot) ja avaliku sektori maksutulused ligi 3,2 miljardi euro ulatuses (aastas keskmiselt 0,25 miljardit eurot). Roheinvesteeringutega seostatavate tegevustega on seotud ligi 13 000 täistöökohta aastas ajavahemikus 2023–2035.**

Siinjuures tuleks tähele panna, et mitmed arendustegevused on üksteist asendavad – näiteks ühistranspordi arendamine peaks vähendama isiklike sõiduautode, sealhulgas elektriautode kasutamist, ning nõudlus elektrienergia järele ei pruugi aastani 2035 suureneeda sellises ulatuses, et kõigi arenduste tootmismahud praktikas tarvilikuks osutuksid, arvestades konkurentsi kiiret kasvu regiooni energiaturul.

Visandatud rohepöörde arendustegevustel on samuti alternatiivkulu. Näiteks ehitiste rekonstrueerimine aitab juba olemasolevat elamufondi energiatõhusamaks muuta, kuid vähendab samas energiatõhusate uusehitiste arendust.

Viimaks, kuigi valitud roheprojektid on küllalt mitmekesised, ei ennetata ega lahenda need siiski kõiki rohepöördeks vajaminevaga seotud probleeme. Näiteks hõlmavad siin toodud tegevused küll lühiajalist elektrienergia salvestust, kuid mitte pikaajalist salvestust (nt vesinikutehnoloogial põhinev pikaajalisem energiasalvestamine eeldab Eestile sobiva salvestustehnoloogia arengut). Piiratud keskkonnaressursside kasutamise seisukohalt on elektriauto või biokütusbussi asemel mõistlikum liikuda (elektri-) jalgrattaga, kuid valmisolek loobuda mootorsõidukitest on veel vähene.

Samavõrd kui ülaltoodud investeeringud on üksteist osaliselt asendavad, on nad ka ümber-

ajastatavad – ühe või teise rohearenduse ja -investeeringu ajakohasus võib kasvada pärast 2035. aastat ning seega lähtub siinne hinnang eelkõige sellest, et ka kaugemas investeerimishorisondis on roheinvesteeringute tegemise võimalusi.

Valitud roheinvesteeringud sisaldavad palju imporditavaid (rohe-)tehnoloogiaid, mis panustavad peamiselt elektriseadmete tootmisse, (elektri-)ehitusse ja masinaehitusse. **Mida suurem on Eesti ettevõtete suutlikkus pakkuda imporditavatele (rohe-)tehnoloogiatele konkurentsi, seda suuremas osas Eesti makromajanduse näitajad nendest roheinvesteeringutest ka võidavad.**

Näiteks, liikuvuse keskkonnasäästlikkusele aitab mõnevõrra kaasa osaline siirdumine elektriautodele (elektriautode kasutamine üle elutsükli siiski olulise keskkonnamõjuga). Autosid praegu Eestis veel ei toodeta, kuid Eestimaine L7E-kategooria elektriauto EEV, mis võrreldes M1-kategooria sõiduautoga on lisaks säästlikum materjalide ja energia kasutuse osas, on kümnendi teiseks pooleks tarbijatele kättesaadav. Muutes eelneval joonisel tehtud arvestusi elektriautode kohta selliselt, et kodumaise tarbimise osakaal „Mootorsõidukite, haagiste ja poolhaagiste tootmises“ suureneb praeguselt nulltasemelt viie protsendi võrra, suureneb investeeringu mõju Eesti kogutoodangule 0,9 miljardilt 1,13 miljardi euron.

Elektriautode juurutamine on seda väiksema keskkonnamõjuga, mida suuremas hulgas kasutame väiksema keskkonnajäljega elektrienergiat. Näiteks meretuuleenergiajaamade rajamine on sarnaselt elektriautodega spetsiifiliselt tehnoloogiamahukas. Samas on ka siin Eesti ettevõtted võimelised praegusega võrreldes suurema osa tarvilikest elektriseadmetest ise tootma ja ise elektriehitust teostama. Näiteks eelmisel kümnendil tootis Eestis elektrituulikuid

tehnoloogiaettevõtte Eleon ja Konesko / TUGE Energia, ning ABB Eesti üksuses on samuti toodetud tuulikute jaoks elektrigeneraatoreid ja muud elektroonikat. Eeldades ka siin, et kodumaise tarbimise osakaal suureneb 5 protsendi võrra, suureneks sisemajanduse kogutoodang joonisel 20 näidatud 0,49 miljardilt eurolt 0,56 miljardi euroni.

Toodud näited osutavad, et suurendades roheprojektides kodumaise tarbimise osakaalu, on võimalik Eesti majandust märgatavalt elavdada. Sealhulgas ei sõltu selline elavdamine mitte ainult ettevõtjate kui roheprojektide arendajate valikutest, vaid ka Eesti inimeste ja leibkondade valikutest (nt eelistades rohelisemaid liikumishendusi). Lõpptulemusena saab sellise innovatsiooni toel vähendada ka Eesti elanike keskkonnanajälge.

Roheline teerada tulevikku

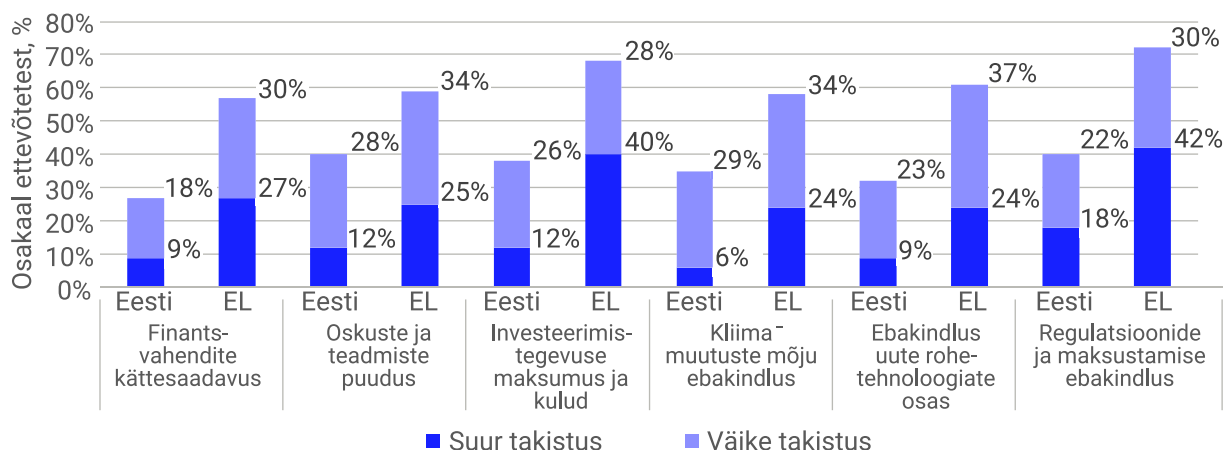
Investeeringud rohepöördesse võimaldavad osaliselt nii ennetada kliima soojenemise ja biosfääri kahjustumise majanduslikku mõju kui ka elavdada majandustegevust elanikkonna heaolu loomiseks. Mitmed siinses peatükis käsitletud tehnoloogilised arendustegevused ja nendeks tarvilikud investeeringud on käesolevaks ajaks reaalsed. Siiski, mitmeid rohepööret võimaldavaid arendustegevusi on vaja veel planeerida ja nendeks investeeringuid kavandada. Ühendkuningriigi EY raporti⁶³ järgi hoiab erainvestoreid

roheinvesteeringute tegemisel tagasi tegurite kompleks, mis hõlmab muuhulgas näiteks järgmist:

- selgete investeerimiseesmärkide defineerimine on ettevõtetele keerukas, mis tuleneb sellest, et majandustegevuse ning biosfääri ja kliima seosed ise on keerukad;
- investeeringutega seotud riskide ning tulude-kulude analüüsiks tarvilikud andmed ja teadmised on piiratud, mistõttu juurdepääs finantsvahenditele on takistatud;
- mitmed tarvilikud investeeringud eeldavad kulukat ja ka pikaajast teadus- ja arendustegevust, mistõttu tasuvus on pikaajaline, ning arendustegevuse tulu ülekandumine teistele ettevõtetele vähendab arendaja valmisolekut üksinda kulusid kanda;
- muutuvast majanduskeskkonnast võib ressursside kasutamise ja jätmete päästu regulatsioonide muutlikkus samuti suurendada projekti tulude riski ja elujõulisust.

Nagu osutab järgnev joonis, tunnetavad Eesti ettevõtjad võrreldes kõigi EL-i ettevõtjatega harvemini, et nimetatud tegurid takistavad oluliselt roheinvesteeringute tegemist. Samas ei tee Eesti ettevõtted seepärast veel EL-i ettevõtetest rohkem roheinvesteeringuid – Eesti ettevõtetest 38% ja EL-i ettevõtetest 44% on investeerinud heitmete vähendamisse või kliimamõjude juhtimisse. Väiksem takistuste tajumine võib seega olla hoopis tingitud vähesest teadlikkusest ja väiksemast investeerimisvalmidusest.

⁶³ Atalla, G., & McQueen, J. (2022). Six ways that governments can drive the green transition [EY], https://www.ey.com/en_uk/government-public-sector/six-ways-that-governments-can-drive-the-green-transition



Joonis 21. Ettevõtete hinnangud roheinvesteeringute tegemist mõjutavate tegurite olulisuse kohta, osakaal vastanute hulgas

Allikas: EIB Investment Survey 2020

Eeltoodu osutab juba, et roheinvesteeringute suurendamiseks on tarviklik ettevõtete ja avaliku sektori tulemuslik koostööimine. Avaliku sektori regulatsioon ja majandusstiimulite pakkumine ettevõtetele saavad võimaldada ja julgustada roheinvesteeringute kasvu nii üldmahus kui ka sihituna, näiteks õiglase ülemineku sihte järgides. Kirjanduse põhjal⁶⁴ on avaliku sektori tööriistakastis mitmekesised meetmed ettevõtete roheinvesteeringute soodustamiseks:

- **Maksusoodustused ja toetused, mis vähendavad roheinvesteeringute riskantsust ning lühendavad tasuvusperioodi.** Näiteks eespool kirjeldatud sõiduautode elektrifitseerimist soodustatakse nii maksusoodustusega (sest sõiduautode liikumiseks kasutatavat elektrit ei maksustata aktsiisiga sarnaselt sisepõlemismootorites

kasutatava vedelkütusega) kui ka Keskkonnainvesteeringute Keskuse ostutoetustega⁶⁵.

- **Regulatsioonid ja standardid, mis sätestavad ootused ressursside kasutamise tõhususe ning jäätmete tekke suhtes.** Näiteks eespool kirjeldatud energiatõhusate elamute ehitamist ja rekonstrueerimist suunab avalik sektor energiatõhususe miinimumnõuete kehtestamisega⁶⁶.
- **Keskkonnahoidlike riigihangete reeglite jõustamisega saavad avalik sektor ja sellega seotud majandusüksused vähendada toodete ja teenuste tootmisest, kasutamisest ja kõrvaldamisest põhjustatud keskkonnamõju⁶⁷.** Näiteks eespool kirjeldatud avaliku raudteetranspordi elektrifitseerimise infrastruktuuri ja veeremi hanked on kantud sellistest põhimõtetest.

⁶⁴ Marilena Angeli, Cassandra Archer, Sandra Batten, Ambrogio Cesa-Bianchi, Lucio D'Aguanno, Alex Haberis, Theresa Löber, Sarah Maxwell, Rana Sajedi, Michelle van der Merwe, Boromeus Wanengkirtyo, & Chris Young (2022). Climate change: Possible macroeconomic implications. Bank of England; Bank's Climate Hub, International Directorate, Monetary Analysis Directorate and Research Hub, <https://www.bankofengland.co.uk/quarterly-bulletin/2022/2022-q4/climate-change-possible-macro-economic-implications>

⁶⁵ Täiselektriliste sõidukite ostutoetuse andmise tingimused ja kord. Vastu võetud 01.02.2023 nr 3. Avaldamismärge: RT I, 03.02.2023, 55, <https://www.riigiteataja.ee/akt/103022023055>

⁶⁶ Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Vastu võetud 11.12.2018 nr 63; RT I, 13.12.2018, 14; jõustumine 01.01.2019, <https://www.riigiteataja.ee/akt/107072020011>

⁶⁷ Vaata ka Keskkonnaministeeriumi ülevaadet „Keskkonnahoidlikud riigihanked“, <https://envir.ee/ringmajandus/ringmajandus/keskkonnahoidlikud-riigihanked>

- **Roheinvesteeringute fondi, sealhulgas ühisrahastusfondide juurutamise kaudu on võimalik pakkuda kapitali ettevõtetele, mis arendavad või rakendavad rohelisi tehnoloogiaid või protsesse.** Siinjuures toetab ka EAS-i ja KredEx-i ühendasutus ning nende tütarettevõtte SmartCapi Rohefond investeeringuid rohetehnoloogiatesse⁶⁸.
- **Roheliste võlakirjade emiteerimisega on võimalik koguda vahendeid roheinvesteeringute tegemiseks** ning saata avalikkusele ja investoritele signaal, et avalik sektor on pühendunud rohepöördele ja üleminekule rohelisele majandusele.
- **Avalikul sektoril on võimalik edendada ettevõtete roheinvesteeringuid ka läbi teadlikkuse tõstmise ning oskuste ja**

teadmiste jagamise meetmete (nt rohetehnoloogia kiirendid, inkubaatorid), mis annavad ettevõtetele väärtussuuniseid ja teadmust rohepöörde tegemiseks oma majandustegevuses. Näiteks kodumaist keskonnahoidlikku biometaanit kasutavatele autodele on loodud rohemärgis⁶⁹.

Roheinvesteeringute kasv sõltub nii ettevõtete käitumise kui ka avaliku poliitika valikutest. Poliitikavalikud kujundavad lisaks investeeringute mahule ka investeeringute jaotust avaliku ja erasektori vahel. Varasemate analüüside järgi on rohepöördeks vajalike avaliku sektori ja erasektori investeeringute jaotuse suurusjärguks 1 euro avalikust sektorist ja 3 eurot erasektorist (vt nt IEA 2021⁷⁰; Meeliste *et al.* 2019⁷¹).

⁶⁸ Kredex, Era- ja riskikapitalifondid, <https://kredex.ee/et/riskikapital>; SmartCap Rohefond, <https://smartcap.ee/et/meist/rohefond/>

⁶⁹ Vaata ka veebilehte „Biometaan“, <https://www.biometaan.info/>

⁷⁰ IEA (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

⁷¹ Meeliste, S., Tammiste, L., Grünvald, O., Kirsimaa, K., Suik, K., Org, M., Stockholm Environment Institute, & Eesti (Toim) (2019). Eesti kliimaambitsiooni tõstmise võimaluste analüüs [Võrguteavik]. SEI Tallinn: Finantsakadeemia.

Arenguseire Keskus

Lossi plats 1a, 15165 Tallinn
arenguseire@riigikogu.ee
www.arenguseire.ee



ARENGUSEIRE KESKUS