

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Majandusteaduskond

Ärikorralduse instituut

Henri Sten Vainola

**Majanduslikult otstarbekad tehnoloogilised valikud  
raskeveotranspordi dekarboniseerimiseks**

Bakalaureusetöö

Õppekava TABB, peaeriala juhtimine

Juhendaja: Tarvo Niine

Tallinn 2021

Deklareerin, et olen koostanud lõputöö iseseisvalt ja olen viidanud kõikidele töö koostamisel kasutatud teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele, ning ei ole esitanud sama tööd varasemalt ainepunktide saamiseks. Töö pikkuseks on 8482 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Henri Sten Vainola, 13.05.2021

Üliõpilase kood: 185610TABB

Üliõpilase e-posti aadress: henvai@ttu.ee

Juhendaja: Tarvo Niine, PhD

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

# SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE .....	4
SISSEJUHATUS .....	5
1. RASKEVEOTRANSPORT .....	7
1.1. Ülevaade maailma raskeveotranspordist .....	7
1.2. Ülevaade Euroopa ja Eesti raskeveotranspordist .....	9
1.2.1. Euroopa raskeveotransport .....	9
1.2.2. Eesti raskeveotransport.....	10
1.3. Raskeveotranspordi tänased tehnoloogiad.....	11
1.4. Raskeveotranspordi erinevad tulevikutehnoloogiad.....	12
1.4.1. Vesiniku tehnoloogia.....	13
1.4.2. Superkondensaatorid .....	13
1.4.3. Aku tehnoloogia .....	14
1.5. Raskeveotranspordi tulevikutehnoloogiate tehniline võrdlus.....	15
2. METOODIKA .....	18
2.1. Uurimisküsimused ja poolstruktureeritud intervjuu disain .....	18
2.2. Valim ja uuringu läbiviimine.....	19
3. INTERVJUUD SPETSIALISTIDEGA.....	21
3.1. Diiselkütuseid asendavad tehnoloogiad raskeveotranspordi sektoris.....	21
3.2. Suurimad takistused raskeveotranspordi jalajälje vähendamiseks .....	23
3.3. Eestis täna tehtud sammud raskeveotranspordi jalajälje vähendamiseks .....	24
3.4. Täna majanduslikult kõige konkurentsivõimelisem tehnoloogia ning viie aasta pärast kõige sobivam kütus igale raskeveotranspordi osale .....	25
3.5. Erinevate tehnoloogiate eelised ja puudused üksteise ees.....	28
3.6. Järeldused .....	30
3.7. Soovitused edasisteks uuringuteks .....	32
KOKKUVÕTE .....	33
SUMMARY .....	36
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU .....	38
Lisa 1. Intervjuude konsolideeritud töötabel .....	41
Lisa 2. Lihtlitsents .....	46

## LÜHIKOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärk on analüüsida olemasolevaid raskeveotranspordi tehnoloogiaid, kaardistada võimalikud tulevikutehnoloogiad ning seejärel neid omavahel võrrelda majanduslikust aspektist, et milline tehnoloogia oleks tulevikus majanduslikult kõige otstarbekam raskeveotranspordi dekarboniseerimiseks. Probleem seisneb selles, et rongid, levad ja veoautod nõuavad dekarboniseerimiseks koheseid suuri investeeringuid ning tänaste teadmiste juures pole veel selge, milline neist tulevikutehnoloogiatega ka lõplikult diislerongid, laevad ja veoautod asendab. Bakalaureusetöös kasutatakse nii kvalitatiivset kui ka kvantitatiivset uurimismeetodit. Kvalitatiivseks uurimismeetodiks on intervjuud antud valdkonna spetsialistidega. Kvantitatiivne meetod seisneb erinevate rasketranspordi tehnoloogiate majanduslikul võrdlemisel. Kvalitatiivne meetod on abiks, et uurida nende tehnoloogiate majanduslikku tasuvust ja jätkusuutlikkust. Töö keskendub peamiselt kolmele raskeveotranspordi vahendile. Nendeks on laevad, rongid ja veoautod, mis moodustavad kokku ligi 95% kogu raskeveotranspordi heitmetest. Tehnoloogiate puhul on fookus kolmel põhilisel tehnoloogial, milleks on vesinik, superkondensaatorid ja akud. Tulemustest selgub, et mitte ükski valitud tehnoloogia ei ole täna võimeline diiselmootoritega majanduslikult konkureerima. Kliimaeesmärkidest tingituna tuleb raskeveotranspordi sektoris aga muutuseid ellu viia ning need hakkavad toimima välja toodud tehnoloogiate najal. Intervjuude osas sai välja valitud viis erineva tausta ja maailmavaadetega inimest, kes oleks ka raskeveotranspordi sektoriga ning töös välja toodud tehnoloogiatega kursis.

Võtmesõnad: dekarboniseerimine, vesinik, akud, superkondensaatorid, raskeveotransport, logistika tulevikutrendid

## SISSEJUHATUS

Tänapäeval pööravad peaaegu kõik maailma riigid tähelepanu kliimaeesmärkide täitmisele, mida on võimalik saavutada mitmeid erinevaid meetmeid järgides. 2015. aastal nõustus Pariisi Kliimakonverentsi leppega 197 riiki, kes moodustavad kokku 95% kogu maailma CO<sub>2</sub> heitmetest. Iga riigile määrati nii 2030 kui ka 2050 aastaks CO<sub>2</sub> heitmete vähendamise eesmärgid, mis tuleks täita. Kuna iga riigi CO<sub>2</sub> heitmete profiil on erinev, siis valib iga riik majanduslikult kõige tasuvamad viisid ja meetmed, kuidas enda eesmärgid täita. Mõningate riikide heitmed tulenevad sisuliselt ainult suurtööstustest, mis tähendaks seda, et tuleks teha majanduslikult otstarbekad tööstuslikud tehnoloogilised muutused. Mõnes riigis on aga peamiseks heitmete tekitajaks hoopis kergtransport, mis tähendab seda, et tuleks elektrifitseerida sõiduaudod ja bussid linnaliikluses. Kõigi riikide CO<sub>2</sub> heitmete profiilid on küll erinevad, aga kui koondada kokku kogu maailma heitmed kategooriatesse, siis teaduslikult on tõestatud, et umbes 2/3 kogu maailma heitmetest moodustavad suurtööstused ja kergetransport ehk sõiduaudod ning ülejäänud 1/3 moodustavad rasketransport ehk veoaudod, laevad ja rongid ning põllumajandustransport. Samuti on mitmed teaduslikud uuringud tõestanud, et suurtööstusi ja kergetransporti on palju lihtsam elektrifitseerida ning nende sektorite heitmete koguseid vähendada kui on seda rasketranspordi sektoris. Selle põhjus seisneb selles, et suurtööstustes on tehnoloogiline areng kulu- ja kasumiefektiivsuse tõttu kujunenud täiesti tavaliseks. Kuna taastuvenergia kogub terves maailmas hoogu, siis ka taastuvenergial põhinevad tehnoloogiad muutuvad odavamaks ja suurtööstustele otstarbekamaks. Mis puudutab aga rasketransporti, siis seal ei toimu tehnoloogiline areng mitte järk-järgult, vaid koheselt. Kuna rongid, laevad ja veoaudod on tihti mõeldud teenindama või töökohustusi täitma pikaks ajaks, siis tehnoloogilisi uuendusi pole vahepeal korduvalt lihtsalt majanduslikult mõistlik teha. Lisaks sellele on rasketranspordivahendid mõeldud sõitma pikkasid vahemaasid ning selle arvelt peab olema suurem ka aku maht ning pikem laadimisaeg. Kuna kogu maailma kliimaeesmärkide saavutamiseks ei piisa ainult 2/3 ehk suurtööstuste ja kergetranspordi tehnoloogilistest uuendustest, siis olen oma lõputöö uurimisteemaks valinud rasketranspordi tulevikuväljavaated ja tehnoloogiad ning millised neist oleksid tänaste teadmiste põhjal tulevikus majanduslikult kõige mõistlikumad kasutusele võtta.

Isiklikult olen ma motiveeritud antud teemal oma tööd koostama, sest energeetika on huvitav valdkond, kus toimuvad pidevalt tehnoloogilised muutused ja seda just väiksema CO<sub>2</sub> jalajälje võtmes. Miks ma valisin just kaubaveosektori dekarboniseerimise läbi majanduslikult otstarbekate tehnoloogiliste uuenduste on sellepärast, et kaubaveosektor on kõige raskem sektor, mida dekarboniseerida. Uurimisprobleem seisneb selles, et rongid, laevad ja veoautod nõuavad dekarboniseerimiseks koheseid suuri investeeringuid ning tänaste teadmiste juures pole veel selge, milline neist tulevikutehnoloogiatest ka lõplikult diiselsongid, laevad ja veoautod asendab. Täna on maailm sellises seisus, et on tehtud teaduslikke uuringuid nende uute tehnoloogiate kasutuselevõtu kohta, kuid neid pole veel piisavalt testitud, et olla kindel, et need on ka jätkusuutlikud ning majanduslikult otstarbekad. Minu töö eesmärk on analüüsida olemasolevaid raskeveotranspordi tehnoloogiaid, kaardistada võimalikud tulevikutehnoloogiad ning seejärel neid omavahel võrrelda majanduslikust aspektist, et milline tehnoloogia oleks tulevikus majanduslikult kõige otstarbekam raskeveotranspordi dekarboniseerimiseks. Uurimisküsimused, millele teaduslike allikate toel vastuse leian, on järgnevad:

1. Millised on täna kasutatavad tehnoloogiad raskeveotranspordis ning millised on nende majanduslikud tulevikuväljavaated?
2. Milline tehnoloogia on igale raskeveotranspordi osale (laevad, rongid, veoautod) kõige teostatavam?
3. Milline tehnoloogia on igale raskeveotranspordi osale majanduslikult kõige otstarbekam?

Bakalaureusetöös kasutatakse kvalitatiivset uurimismeetodit. Kvalitatiivseks uurimismeetodiks on intervjuud antud valdkonna spetsialistidega. Intervjuude tulemusena saab selgeks see, mis seisukohal ning milliste tulevikuväljavaadetega on täna Eesti energeetikaspetsialistid. Samuti tekib võimalus välismaal läbi viidud uuringuid võrrelda Eesti spetsialistide väljavaadetega ning selle põhjal teha järeldusi Eesti rasketranspordi dekarboniseerimisel. Samuti annan ülevaate erinevate raskeveotranspordi tehnoloogiate majanduslikul võrdlemisel. Raskeveotranspordi dekarboniseerimiseks on võimalik kasutusele võtta erinevaid tehnoloogiaid, millel igal on oma ühiku või tükihind. Kvalitatiivne meetod on abiks, et uurida nende tehnoloogiate majanduslikku tasuvust ja jätkusuutlikkust. Kvalitatiivse osa ehk majandusliku tasuvuse ja otstarbekusele tuleb lisaks arvesse võtta ka kvantitatiivset aspekti, sest riikide heitmete profiilid on erinevad ning igale riigile ei pruugi kõige majanduslikumalt otstarbekam meetod olla samuti ka kõige jätkusuutlikum.

# 1. RASKEVEOTRANSPORT

Teoreetilises osas annan ülevaate kogu maailma, Euroopa ja Eesti raskeveotranspordist. Ülevaade hõlmab endas praegu kasutusel olevaid tehnoloogiaid, CO<sub>2</sub> heitmete koguseid, kuid samuti ka potentsiaalseid tulevikutehnoloogiaid ning nendega seotud heitmekoguseid. Kogu ülevaade sisaldab endas ka majanduslikku aspekti ehk tehnoloogiaid ja heitmete vähendamise koguseid võrreldakse majanduslikust aspektist.

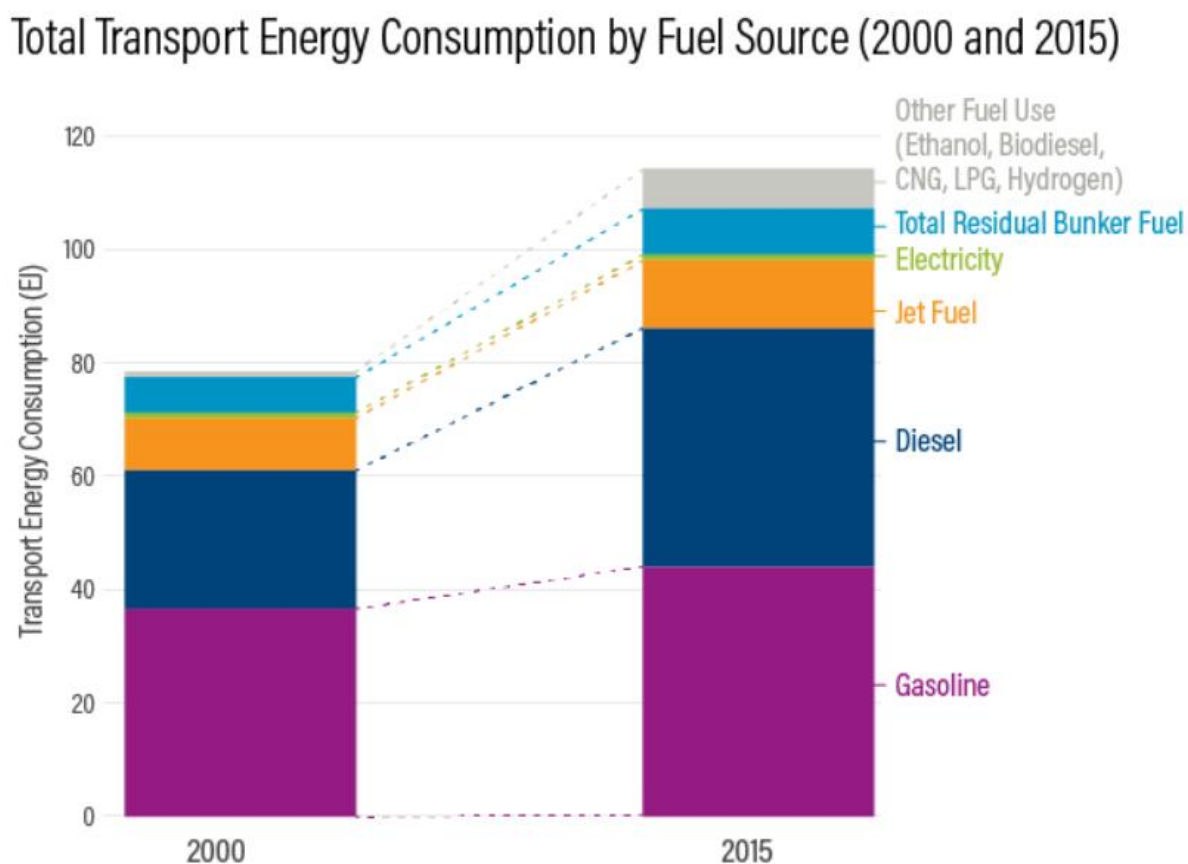
## 1.1. Ülevaade maailma raskeveotranspordist

Raskeveotranspordi sektori kosseisu kuuluvad rongid, laevad, veoautod ja põllumajandustransport. Transpordisektori heitmed, mis tulevad põhiliselt maantee-, raudtee- ja meretranspordist, moodustasid aastal 2016 kokku üle 24% kogu maailma CO<sub>2</sub> heitmetest. Samuti ennustatakse raskeveotranspordi sektorile lähiajal kõige kiiremat arengut, mis võib tekitada suure väljakutse vähendamaks CO<sub>2</sub> heitmete hulka tulenevat Pariisi Kliimakonverentsi eeldustele. (Wang, Ge 2019) Maailmas moodustab kogu raskeveotranspordi heitmetest 72% maanteetransport. Vahemikus 1970-2010 kasvas maanteetranspordi heitmete hulk 80% ning täna on kogu transpordisektor oma heitmeprofiilidega tõusutrendis. Geograafiliselt tuleb suurem osa raskeveotranspordi heitmetest keskmise ning kõrge sissetuleku- ja elatustasemega riikidest. Lõuna-Aasia ning suurem osa Aafrika riikidest panustab kogu maailma raskeveotranspordi heitmetesse tunduvalt vähem kui teised regioonid. Maailma kõige suurem raskeveotranspordi heitmete tekitaja on USA, kellele järgnevad Hiina, Venemaa, India ja Brasiilia. Kogu raskeveotranspordi energiatarbimine on 21. sajandi esimese 15 aastaga tõusnud 44%. Kogu CO<sub>2</sub> heitmete hulk tõusis 31%, mis viitab efektiivsuse suurenemisele. Nafta nõudlus raskeveotranspordi sektoris on tõusnud 25% ning nafta on endiselt kogu transpordisektorile vajalik. Aastal 2015 oli kogu maailma naftatarbimisest 2/3 seotud transpordisektoriga, millest omakorda pool oli maanteetransport. Elektri osakaal raskeveotranspordis on üle maailma tõusnud aastast 2000, kus see oli 0,7% aastaks 2015 1%-ni. Huvitav on see, et raudteedest on üle maailma 39% juba elektrifitseeritud, kuid endiselt on 56% raudteetranspordist veel naftal baseeruv

kütusel, peamiselt diisli. Ülejäänud energiatarbimise tõus tuleneb bensiini, diisli, elektri ja teiste kütuste tõusvast tarbimisest. (Wang, Ge 2019; ITF, OECD 2018)

Aastal 2018 oli transpordisektori kogu energiatarbimine 119 EJ ehk 27% kogu maailma energiatarbimisest. Nafta oli kütuseelement üle 90% maanteetranspordis ja mereveotranspordis, biokütused ja maagaas olid kumbki 3% kogutarbimisest. Elektri kasutamine raskeveotranspordis oli märgatava osakaaluga ainult raudteetranspordis. Aastaks 2050 ennustatakse transpordisektori energiatarbimise väikest langust 112 EJ tasemele kuigi transporditeenused laienevad endiselt. Transpordisektor on seega üks suurimaid mootoreid vedamaks kogu maailmas rohepöoret, kus elektronid muutuvad fossiilkütuste molekulide ees primaarseks. (DNV GL AS 2020, 13)

Järgneval joonisel (vt Joonis 1) on kajastatud 15 aasta muutus maailma kogu energiatarbimises. Esimene tulp kajastab aastat 2000 ja teine 2015 ning osakaaludena on välja toodud igas kategoorias tekkinud muutused. Ühikuks on kasutatud eksadžauli.



Joonis 1. Maailma kogu energiatarbimise muutus 2000 vs 2015 aastal

Allikas: World Resources Institute 2019



Energiatarbimine raskeveotranspordi sektoris jätkab oma tõusu nii arenenud kui ka arenevates riikides. Suures osas erinevate riikide energiatarbimise stsenaariumites raskeveotranspordi sektoris, et täita Pariisi Kliimakonverentsil seatud eesmärgid, on enamus maailma riigid välja toonud, et transpordisektoriga seotud energiatarbimine on jätkuvalt kasvav ning nafta moodustab sellest suurima osa kuni aastani 2050. Kogu transpordisektori, kuid ka raskeveotranspordi heitmed peavad muutuma fossiilsetel kütustel baseeruvatest taastvatel allikatel baseeruvateks kui maailm tahab aastaks 2050 täita oma eesmärgi, et kogu planeedi keskmine temperatuur saada alla 2 kraadi Celsiuse skaalal. (Wang, Ge 2019)

## **1.2. Ülevaade Euroopa ja Eesti raskeveotranspordist**

### **1.2.1. Euroopa raskeveotransport**

Osana autotööstusest, mis loob Euroopas 12,1 miljonit otsest ja kaudset töökohta (5,6% kogu ELi tööhõivest) annavad raskeveokitel tootjad olulise panuse Euroopa majandusele. Raskeveokite sektor on tõhusa kaubaveo selgroog Euroopas, sealhulgas panustas antud sektor 2011. aastal Euroopa majandusse 550 miljardi euro suuruse kogulisandväärtuse. Raskeveotööstus loob suure osa Euroopa rikkusest ja jõukusest, luues samas suhteliselt väikese osa kasvuhoonegaaside heitkoguste osakaal. Raskeveokid tekitavad umbes 5% Euroopa kasvuhoonegaaside heitkogustest. Arvestades, et raskeveotransport on vastutav 75% kogu maismaal toimuva kaubaveo eest, siis nende moodustatav kasvuhoonegaaside kogus selle kõrval on suhteliselt väike. Turumuutuste ja tehnoloogiliste arengute tulemusena on veokitootjad suutnud kütusekulu vähendada võrreldes 1965. aastaga 60%. (ACEA 2016, 2-3; ICCT 2018)

19. veebruar 2019 nõustusid Euroopa Komisjoni, Europarlamendi ja Euroopa Nõukogu liikmed lepinguga, mis sätestab esimest korda Euroopa Liidu ajaloos raskeveotranspordile CO<sub>2</sub> heitmete eesmärgid. Need eesmärgid näevad ette, et keskmist CO<sub>2</sub> heitmete hulka tuleks raskeveotranspordis vähendada 2025. aastaks 15% ja 2030. aastaks 20% võrreldes 2019. aasta heitmekogustega. Baasväärtus määratletakse uute veoautode sertifitseeritud süsinikdioksiidiheite põhjal, mis on kogutud eraldi seire- ja aruandlusmääruse alusel, mis jõustus 2019. aasta jaanuaris. (Rodriguez 2019, 1-2) Aastaks 2020 on uutel sõidukitel ja haagistel potentsiaal olla 15–17% kütusesäästlikum kui nad olid 2014. aastal. Mootori, rehvide ja aerodünaamika täiustamisest kogu sõidukist, mille peamine osa on haagised ja kered, ning juhiabisüsteemid aitavad kaasa ka sõidukite kasutajate tõhusama sõidustiili suunamisele. (*Ibid.*)

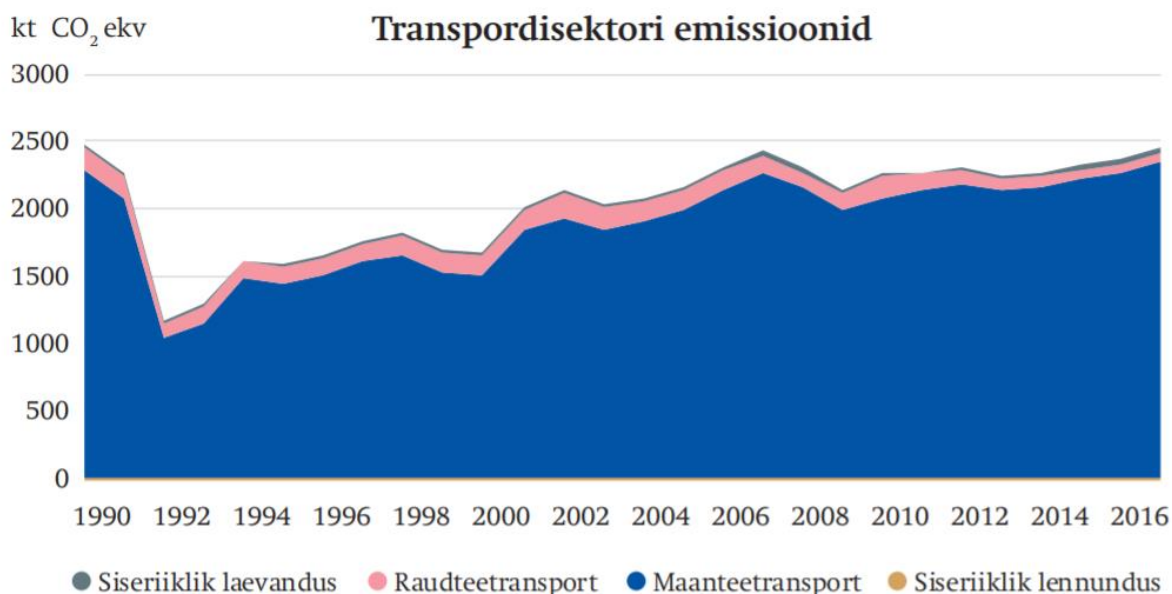
### 1.2.2. Eesti raskeveotransport

Transpordisektoris on kõige energiamahukamaks ja saastavamaks just maanteetransport, mistõttu on selles sektoris olnud ka kõige suurem heitkoguste vähendamise potentsiaal. Enim saastavad välisõhku sõidua autod, mis on sõidukipargis ka suurima osakaaluga. Sõidukitest põhjustatud saasteainete heitkogused on maanteetranspordi sektoris vähenenud aasta-aastalt pea kõigi saasteainete osas, samal ajal kui kütuse tarbimine, sõidukite arv ja aastane läbisõit järjepidevalt kasvab.

Ajavahemikul 1990-2016 vähenesid maanteetranspordi sektoris peaaegu kõigi saasteainete (sh NO<sub>x</sub>, LOÜ, SO<sub>2</sub>, CO) heitkogused märkimisväärselt: NO<sub>x</sub> – 68,8%, LOÜ – 90,7%, SO<sub>2</sub> – 99,8%, CO – 89,6%. Selline heitkoguste vähenemine on saavutatud tänu transpordisektoris toimunud muutustele, nagu uute, katalüsaatoriga sõidukite osakaalu suurenemine, tehnoloogiliste ja heitkoguste standardite karmistumine, kütusekulu ning bensiinimootoriga sõidukite osakaalu vähenemine jms. Lisaks on aasta-aastalt karmistunud ka vedelkütustele esitatavad keskkonnanõuded, mistõttu on toimunud järkjärguline üleminek väävlivabade vedelkütuste kasutamisele transpordisektoris ning see on kaasa aidanud vääveldioksiidi heitkoguste olulisele vähenemisele. (Keskkonnaagentuur 2018)

Riiklikul tasemel on Eestis transpordisektorist tekkivad saasteainete heitkogused aastatega vähenenud. Meie õhukvaliteet on saasteainete osas võrreldes teiste Euroopa linnadega heal tasemel. Siiski on oluline jätkata õhukvaliteedi sihipärase parendamisega arvestades õhusaaste kahjulikku mõju inimese tervisele ja keskkonnale. Eesti transpordisektor on eriline selle poolest, et alates Eesti taasiseseisvumisest aastal 1991 on domineerivaks heitmetekitajaks olnud maanteetransport, mis on raskeveotranspordi üks osa. Võrreldes teiste Euroopa riikidega on Eestis maanteetranspordi osakaal märgatavalt suurem kui mujal. Üks põhjuseid on see, et Eestis sisuliselt puudub siseriiklik lennundus. (*Ibid.*)

Järgneval joonisel (vt Joonis 2) on kujutatud Eesti transpordisektori emissioonid aastatel 1990-2016. On näha, et alates 1990. aastast on põhiliseks heitmetekitajaks olnud maanteetransport, seda iga aasta üle 90% osakaaluga. Teine kõige suurem CO<sub>2</sub> heitmetekitaja on raudeetransport, mis on aastatel 2010-2016 oluliselt vähenenud. See tulemus on saavutatud eduka raudteetranspordi elektrifitseerimise tagajärjel.



Joonis 2. Transpordisektori emissioonid Allikas: Keskkonnaministeerium

Raudteede elektrifitseerimise üle võib Eesti raskeveotranspordi sektoris kõige uhkem olla, kuid suurem probleem seisneb selles, et kuidas vähendada maanteetranspordi CO<sub>2</sub> emissioone.

### 1.3. Raskeveotranspordi tänased tehnoloogiad

Kui nõudlus kaubatranspordi järele kasvab, on üha kiireloomulisem ülesanne muuta maanteetranspordis kasutatavad kaubaveokid puhtamaks ja kütusesäästlikumaks. Enamik raskeveokeid on varustatud diiselmootoritega, mis võivad eriti vanemate mudelite korral eraldada palju tahkeid osakesi nagu näiteks lämmastikoksiide ja erinevaid süsinikühendeid. (ICCT 2021) Diiselmootorite tehnoloogia on viimaste aastakümnete jooksul ulatuslikult arenenud. Tootjad on hakanud kasutama ka taastuvatel ja ümbertöödeldud materjalidel põhinevaid kütuseid, vähendades selle läbi heitkoguseid. Siiski on heitkogused püsinud suhteliselt kõrged ning mootori- ja kütusetehnoloogia asendamine on endiselt väljatöötamisel. (Inkinen, Hämäläinen 2020)

Transpordisektor on kõige vähem hajutatud energiasektor, kus domineerib nafta. 2019. aastal moodustasid naftal baseeruvad kütused 91% USA transpordist, ja 2018. aastal 95% Euroopa Liidus. Maanteetransport on tänapäeval suurim ülemaailmse nafta nõudluse segment, moodustades 42,2 miljonit barrelit päevas (MB) 97,7 mbd ülemaailmsest nafta nõudlusest ehk 43%. (Gross 2020)

Miks domineerib transpordisektoris naftal baseeruv kütus? Vastus on tegelikult lihtne - naftast valmistatud kütustel on omadusi mis teevad neist peaaegu ideaalsed transpordikütused. Transpordiliigid ei kannu ainult reisijaid või kaupa, nad kannavad ka kütust, mis on vajalik teekonna läbimiseks. Seega on ideaalne transpordikütus energiatihedus, mis tähendab, et see sisaldab võimalikult väikese kaalu ja mahu kohta võimalikult palju energiat. Naftapõhiseid kütuseid iseloomustab see kriteerium. Vedelkütuste olemasolu võimaldas sise põlemismootorite arengut ning tänapäeval on vedelkütused kõige suurem osa transpordikütustest. Vedelkütus sobib ideaalselt transpordiks, sest seda on lihtne liigutada tootmisest ladustamiseni kui ka lõplikku kasutusse sõidukis ning seda saab hõlpsasti pumbata pardal olevasse paaki. Transpordisektor on aga mittehomoogeenne. Mõnes osas on seda lihtsam teha dekarboniseerida kui teises. Naftal baseeruvate kütuste väljavahetamine saab olema lihtsam väiksemates sõidukites, mis kannavad kergemat koormat, sest neil on sagedasemad tankimisvõimalused. Iga selline omadused muudab energiatiheduse naftapõhistel kütustel vähem tähtsamaks, luues võimalust alternatiivsetele pardal olevatele energiaallikatele, nagu akud või vesinik.

#### **1.4. Raskeveotranspordi erinevad tulevikutehnoloogiad**

Transpordisektori elektrifitseerimine on ülemaailmsete energia- ja kliimaprobleemidega toimetulekuks oluline ettevõtmine. Pistikühendusega elektrisõidukid, sealhulgas akudel töötavad elektrisõidukid ja ühendatavad hübriid-elektrisõidukid on teinud märkimisväärseid edusamme väikeveokite segmendis, nimelt reisijate ja väikeste tarbesõidukite osas. 2018. aastal ulatus elektriautode müük maailmas 2,08 miljonini, mis moodustas 2,2% kogu autode müügist. Autopargi elektrifitseerimist juhtivates riikides, näiteks Norras, ületas uute elektriautode müügi osakaal 40%. Võrdluseks on raskeveokite segmendi elektrifitseerimisel aeglasem edu. Raskeveokitest ja bussidest koosnevad raskeveosõidukid moodustavad vaid 10% kogu sõidukivarust, kuid tekitavad 46% maanteetranspordi kasvuhooonegaaside heitkogustest. Raskeveokitranspordi segmendi elektrifitseerimine võib tuua olulisi eeliseid energia, kliima ja õhukvaliteedi osas, kuid selle elluviimine ei ole lihtne ülesanne. (Hao et al. 2019)

Selleks, et see eesmärk aga aastate jooksul saavutada, olen oma töö järgnevad osas välja toonud erinevad raskeveotranspordi elektrifitseerimise tehnoloogiad, millel tänaste uuringute kohaselt kõige rohkem potentsiaali oleks.

#### **1.4.1. Vesiniku tehnoloogia**

Vesinik on veel üks alternatiivkütus, millel on potentsiaali raskeveotranspordis, eriti veoautode näol. Vesinikkütusega veokitel on elektriajamid ja tootmiseks kasutatakse vesinikku elektrienergiat kütuseelemendis. Seega on vesinikku kütusena kasutatavatel veoautodel olnud palju eeliseid elektrisõidukite ees - kergem, lihtsam ja tõhusam ajam ning samuti eelis, et neil puudub raske aku ja pikk tankimisaeg. Täna on vesiniku veoautode turg vähem arenenud kui elektriliste veoautode turg, sest vesiniku näol on vajalik ulatusliku infrastruktuuri olemasolu selle tootmiseks ja levitamiseks. (Molloy 2019)

Saavutamaks vesiniku veoautode potentsiaali on samuti vaja vee osakesed üksteisest eraldada elektrolüüsi protsessi käigus, kus veest eralduvad hapniku ja vesiniku molekulid, kus kasutatakse taastuvelektrit, mitte protsess metaani auru reformeerimisega, mis on täna laialdasemalt levinud. Sellest hoolimata on vesinikveokid arengujärgus. Kenworth ja Toyota teevad koostööd vesinikkütusega 8. klassi veoauto väljatöötamiseks, Cumminsil on väljatöötamisel vesinikveokid ja idufirma Nikolal on vesinikveokid täna juba turul. (Gross 2020)

#### **1.4.2. Superkondensaatorid**

Superkondensaatoreid on raskeveotranspordi sektoris kasutatud juba mitmeid aastaid. Järjest rangemate kütusesäästlikkuse ja heitmekoguste vähendamise eeskirjade kohaselt peaks nende kasutamine järgnevatel aastatel hüppeliselt kasvama.

Superkondensaatorid suudavad rongi pidurdamisel energiat taastada ja annavad siis täiendavat jõudu, kui rong hakkab uuesti kiirendama. See tehnoloogia parandab energiatõhusust ja vähendab võrgu koormust, eemaldades tiputarbimise ajal tekkivad lühiajalised energiavajaduse kasvud. Superkondensaatoreid saab kasutada ka vedurirongide mootori käivitamise võimsuse tagamiseks. Superkondensaatorid sobivad hästi suurte diiselmootorite käivitamiseks ning selle jaoks vajaliku võimsuse tagamiseks. Veokid vahetavad kogu maailmas pliiaakusid üha enam superkondensaatori-tehnoloogia vastu, mis on usaldusväärsem, tagab käivitamise väga külmade ilmadega ja pikendab

mootori käivitussüsteemi tööga. Veoautodele saab lisada ka kineetilise energia taastamise süsteemi, mis võib vähendada kütusekulu ja süsinikdioksiidi heitmeid kuni 32%. (Skeleton Technologies 2021)

Superkondensaatorid aitavad rahuldada diiselmootori suurimaid käivitamisvajadusi, eriti käivitamisaega ja töökindlust. Akude ja kondensaatorite kombinatsioon on Venemaal raudteetranspordis kasutatud juba üle kuusteist aastat ning nüüd tehakse kogu maailmas muudatusi nende vananenud “ainult akude” süsteemide muutmiseks. Kombineerides superkondensaatori jõuallikaga, mis on enamasti pliiakud, on mõlema seadme tugevus maksimaalne ja jõuallika koormus väheneb drastiliselt. Selle eelised ilmnevad juba esimesel hetkel, kui mootor käivitatakse maksimaalse energiavajadusega, mida näitavad vabastatud energia ja käivitamise aja andmed. Superkondensaatorid koos patareidega parandavad tohutult diiselmootoritetega võrreldavat töökindlust, tõhusust ja võimsust. Olgu selleks kaevandusseadmete heitmine või vedurisüsteem, võivad kondensaatorid muuta ka kõige halvema stardisüsteemi rakendused tõhusamaks võrreldes diiselmootori süsteemiga. Need tagavad mootori käivitamise sõltumata paradiaku laetuse olekust ja töötavad ideaalsest ka väga rasketes ilmastikutingimustes, muutes sõiduki töö selle tulemusena usaldusväärsemaks. Lõpuks on superkondensaatorite kasutamine majanduslikult väga kasulik, kuna need pikendavad diislikütuse käivitussüsteemi tööiga, vähendavad hoolduskulusid ja kütusekulu ning pikendavad mootori säilivusaega. (Burnside 2015; Iosxus 2021)

### **1.4.3. Aku tehnoloogia**

Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamiseks ja kliimaeesmärkide saavutamiseks on vajalik uurida ka raskeveokite jätkusuutlikke tehnoloogiaid pikamaavedudel. Aku elektriautodel on energiaallikana elektriakum, millel on veojõupatarei. Selle jõuülekanne üks peamisi väljakutseid, eriti raskeveokite transpordis pikkade vahemaade jaoks on aku tööpiirang, sest sellel on oluliselt madalam energia tihedus võrreldes kütusega. Sellest piiravast faktorist lahti saamine nõuab täiendavat kombinatsiooni efektiivse aku ja efektiivselt toimiva laadimistaristu näol. (Nykqvist 2021)

Akudel töötavate elektriveokite kasutamist pikema vahemaa jaoks ei hinnata kõige potentsiaalikamaks tulevikutehnoloogiaks, sest see pole võimalik suurte energiavajaduste ja eeldatavate päevaste vahemike tõttu. Veoautod vajavad seetõttu väga rasket akut ja piiravad

kasulikku koormust. Selle asemel on akuga elektriveokid lahenduseks kohalikele turustusautodele, kuna nende päevane tööulatus on madalam.

Liitiumakude energiatihedus on vahemikus 1990–2010 kahekordistunud, kuid hinnad on langenud vaid 20%, võrreldes kümnendi taguse ajaga, mis muudab liitiumakude kasutamiseks elektrisõidukites atraktiivsemaks. Nii on mõnigi tootja nagu Tesla ja Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN) arendavad akudega poolhaagiseid. Kuigi MANi poolhaagis veoauto on mõeldud lühiveo tarneteks, siis Tesla kavatseb toota 8. klassi veoautot pikamaavedude jaoks. Uuringutes käsitletakse ka aku tehnoloogial põhinevaid elektrilisi raskeveokeid ja eeldatakse, et akude maht on 270 kWh ja 400 kWh. Kuna aku on elektrilise veoauto oluline osa, mis mõjutab energiatarbimist, kasulikku koormust ja elueakulusid, siis nõuab see üksikasjalikumat kirjeldust aku mahtuvuse ja vastava laadimistaristu mõõtmete uurimise ja reaalse toimimissenaariumite jaoks. (Mareev et al. 2017)

## **1.5. Raskeveotranspordi tulevikutehnoloogiate tehniline võrdlus**

Volt on volt, olenemata sellest, kas see pärineb vesinikukütuseelemendist või liitiumioonakuist. See, kuidas see volti toodetakse, ei oma vahet tarbesõidukite elektriajamiga mootoritel, kuid panused on tohutud kõigi teiste jaoks, alates sõidukipargi ostjatest kuni inimesteni, kes selliste sõidukite monteerimisliine kavandavad. Elektriliste veoautode toitmiseks on kaks ilmselt otstarbekat viisi, millest mõlemad sobivad praegu teatud rakenduste jaoks mõnevõrra paremini kui teised.

Vesinikul on tänapäeval akude tehnoloogiaga võrreldes kaks selget eelist: pikem tööulatus ning seda ilma kasulikku koormust ohverdamata. Nikola on öelnud, et selle spetsiaalselt ehitatud veoauto sõiduulatus on 800-1300km 80 kg vesinikuga, mis tema sõnul kaalub mitte rohkem kui tüüpiline diiselkäigukastiga sõiduk. Kenworth ja Toyota ütlevad, et nende jaanuaris CESi elektroonika näitusel avalikustatud veoautode prototüüp on vahemikus 560km, lähtudes vesiniku salvestusmahust. Kuna veoautodel lahutatakse diiselmootor, jõuülekanne, kütusepaagid ja järeltöötlussüsteem, kompenseerib see kuue süsinikkiust vesinikupaagi, kütuseelementide korstna ja 12 kW võimsusega ajami aku massi, muutes selle peaaegu neutraalseks võrreldes diiselveokiga.

„Tüüpiline piirkondlik vedu, kus vahemaa on umbes 600km, kulutakse umbes 55kg vesinikku," ütleb Brian Lindgren, kes juhib Kenworthi uurimis- ja arendustööd. "Selle süsteemi kõige raskem osa on umbes 1800kg kaaluvad mahutid, kuid see kaalub poole võrra vähem vajaminevatest 3600kg kaaluvast akust. Lisaks võtab aku laadimine aku tehnoloogia puhul mitu tundi, kuid umbes 15 minutiga on võimalik täita 55kg vesinikku. Ma arvan, et autojuhid elaksid sellega kaasa." Kütuseelemendid sarnanevad natuke diiselmootoritega selle poolest, et need töötavad kõige tõhusamalt püsiseisundis. Vesiniku voolu saab küll reguleerida, kuid aku tagab „gaasi” modulatsiooni, kuna künigaste, vastutuule ja muude nähtuste jaoks on vaja rohkem või vähem energiat. (Park 2019)

Erinevad elektriautode tootjad on väljaannetes välja käinud jahmatavaid numbreid seoses elektriautode hinnakujundusega. Need ei ole odavad, kuid kui varajane tolm on settinud, ei pruugi nad olla nii kallid kui mõned kardavad. Aku tootmise kasvades langevad hinnad kindlasti veel madalamale, enne kui lõpuks mingil määral stabiliseeruvad. „Akude hinnad on praegu languses, kuid me ei tea, kuhu see hind läheb," ütleb Mihelic. „Suurenenud pakkumine viib kulud alla, kuni nõudlus järele jõuab. Kui jõuame ehitada 20 000 elektriveokit aastas, tekitab see kindlasti uut nõudlust tooraine järele, mida varem polnud. Kuhu läheb hinnakujundus suure nõudlusega ja madala pakkumisega maailmas? Hind tõuseb alati.” (Ibid.)



Akude põhise elektrifitseerimise äri- ja töömudel muutub selgemaks ning hetkel on sellest kindlam ettekujutus, kuidas see mõne aasta pärast välja näeb, kuid vesiniku mudel on vähem selge. Kütuseelemendid peavad selles rakenduses end veel tõestama, kuigi nad on end juba tõestatud transiidibusside rakendustes kogu maailmas. Vesiniku tootmine kannatab tõsiasja tõttu, et mingisuguse energia muundamine vesinikgaasiks ja tagasi elektriks on enamikul juhtudel üsna ebaefektiivne. Siiski on intrigeeriv Nikola idee spetsiaalsest päikesevõrgust, mis hakkaks tulvikus vesiniku tootmiseks kasutamata päikeseenergiat, selle asemel, et toetuda traditsioonilistele energiaallikatele. Selle uskumatu tehnoloogiaga turule pääsemine oleks tohutult kapitalimahukas, kuid päikeseenergia muutub sisuliselt kuluvabaks. Seevastu akud arenevad edasi ja eeldatakse, et ka nende energiatihedus aja jooksul paraneb. Seevastu mõjutavad toorainet alati turujõud, kaevandamiskulud, spekulatsioonid ja isegi geopoliitilised probleemid. (Ibid.)

Järgneval joonisel (vt Joonis 3) on välja toodud aastaks 2030 prognoositav veoauto omandikulu võrdlus vesiniku ja aku tehnoloogiate näitel.



## Hydrogen vs battery electric trucks - Long distance

Trips up to 400 km represent 62% of EU truck activity

Parameters	Fuel cell electric truck	Battery electric truck
		
Total cost of ownership over first 5-year user period (based on France)	€ 459 k	€ 393 k
Vehicle purchase costs	€ 139 k	€ 167 k
Annual renewable fuel costs <sup>1</sup>	€ 38 k	€ 22 k
Cost parity with diesel without subsidies	Mid 2040s	Early 2030s
Economies of scale with cars	Low	High
Max range without refuelling / recharging	1200 km	800 km
Refuelling / recharging time (full)	10-20 minutes	8 hours (overnight) 60 minutes (opportunity)
Net payload loss (weight) <sup>2</sup>	None	None

Joonis 3. Vesiniku ja elektrilise veoauto tehniline võrdlus Allikas: Transport & Environment 2020

Jooniselt võib välja lugeda, et vesiniku veoauto omandimaksumus esimese viie kasutusaasta jooksul on ligikaudu 60 000€ rohkem kui aku tehnoloogiat kasutaval veoautol. Vesiniku kütusena kasutava veoauto omahind on aga 28 000€ võrra odavam kui aku tehnoloogiat kasutaval veoautol. Põhjus seisneb selles, et aku enda hind moodustab suhteliselt suure osa kogu auto maksumusest. Välja on toodud ka kütuse maksumus ühe aasta jooksul, mis vesiniku puhul oleks 38 000€, akude puhul aga ainult 22 000€. Vesiniku suurem maksumus tuleneb sellest, et vesiniku saamiseks läbiviidava elektrolüüsi protsessi kasutegur on täna umbes 0,3, mis tähendab seda, et ligi 2/3 energiat läheb protsessi käigul kaduma. Samuti on ennustatud aeg, millal kütus saavutab ilma toetuseta sama hinnataseme, mis diisel. Vesiniku puhul ennustatakse 2040ndate keskpaika, akude puhul aga juba 2030ndate algust. Vesiniku veoauto maksimaalne sõiduulatus ühe laadimisega on 1200 km, akuga veoautol aga 800 km. Üks suurim erinevus kahe tehnoloogia vahel on laadimine. Vesiniku laadimine võtaks aega 10-20 min, kuid aku laadimine üleöö võtaks 8 tundi ning kiirlaadimise võimaluse olemasolul võtaks laadimine tund aega. Samuti on välja toodud, et 62% kogu veoautode liiklusest Euroopas on alla 400 km vahemaad, mis näitab seda, et suur sõiduulatus ei ole tingimata kõigile veoautodele määrav, kuid olulist rolli omab see sellegipoolest.

## **2. METOODIKA**

### **2.1. Uurimisküsimused ja poolstruktureeritud intervjuu disain**

Intervjuude käigus oli plaan spetsialistidelt küsida detailseid küsimusi raskeveotranspordi kohta nii maailmas kui ka Eestis. Intervjuud kõikide spetsialistidega said läbi viidud Teams-i kaudu, kus oli võimalus intervjuu salvestada ning pärast üle kuulata. Ainult Raido Hubergi puhul saatis tema detailsed vastused meilile.

Intervjuude eesmärk oli küsida Eesti erinevatelt tippspetsialistidelt, milliseid muutuseid ja millal näevad nemad raskeveotranspordi sektoris. Sissejuhatav küsimus oli natuke üldisem - milliseid tehnoloogiaid näeksid spetsialistid raskeveotranspordi tulevikus diiselkütuseid asendamas. Selle küsimuse eesmärk oli, et intervjuueeritav nimetaks vähemalt mõnda töös käsitletavat tehnoloogiat ning oleks sellega kursis. Kõik spetsialistid tõid välja nii vesiniku kui akude lahenduse, mõned ka superkondensaatorid. Edasi tulid juba detailsemad küsimused iga tehnoloogia kohta eraldi majanduslikust aspektist.

Poolstruktureeritud intervjuud on oma olemuselt paindlikumad ja orgaanilisemad. Intervjuueerija siseneb vestlusesse paindlike küsimuste ja sondidega või võib-olla isegi lihtsalt täpikpunktide loendiga. See vähem struktureeritud intervjuu juhend on mõeldud pigem diskussiooni ergutamiseks kui selle dikteerimiseks. Poolstruktureeritud intervjuud võivad aset leida välitööde aeglasel etapil või olla kavandatud konkreetseks ajaks. Teadlased saavad teada, mida osalejad peavad kõige huvitavamaks ja olulisemaks, ning intervjuu võib nendele sisukatele teemadele keskenduda. (Tracy 2020)

Uuringud on teabe kogumise meetodid, mida kasutatakse üksikisiku ja ühiskonna kirjeldamiseks, võrdlemiseks või selgitamiseks. Uuring võib olla küsimustik, mille keegi täidab üksi või abiga, või hoopis intervjuu, milles tehakse kokku saades või telefoni teel. (Fink 2017) Käesolev lõputöö oligi intervjuu vormis. Nelja intervjuueeritava puhul viiest sai intervjuu läbi viidud Google Teamsi kaudu. Üks intervjuueeritav saatis põhjalikud vastused meili teel.

## **2.2. Valim ja uuringu läbiviimine**

Intervjueeritavateks oli algusest peale eesmärk valida energeetika valdkonna spetsialistid, kes oleks teemaga kõige rohkem kursis. Polnud mõtet teha massküsitlust, sest antud teema on nii spetsiifiline, et sellel alal oskavad sisukalt kaasa rääkida ainult selle valdkonna inimesed. Valimi moodustasid viis energeetika valdkonna spetsialisti, kellel kõigil on erinevad maailmavaated antud teemal. Tänu läbirääkimistele ja kõigi intervjueeritavate vastutulelikkusele see ka õnnestus. Intervjuude kestvus oli iga spetsialistiga umbes 45 minutit. Pärast intervjuude lõppu sai kokku koondatud kõige olulisem ning võrreldud spetsialistide arvamusi omavahel ning ka kirjanduslike allikatega. Intervjuude ajad pandi paika vastavalt spetsialistide graafikutele. Intervjueeritavatele anti vabad käed välja pakkuda neile sobiv aeg.

### **2.2.1 Intervjueeritavate spetsialistide lühitutvustus**

Einari Kisel on nii Eesti Energia Ltd kui ka Elektrilevi OÜ nõukogu liige ning lisaks sellele ka TalTechi Targa linna tippkeskuse partnerlussuhete ja strateegia juht. 2017. aastal lõpetas ta Tallinna Tehnikaülikoolis energeetikateaduskonnas doktorantuuri ning kaitses doktoritööd teemal „Energiapoliitika kvaliteedi hindamise indikaatorid“. Einari Kisel oli 2014-2020 Maailma Energeetikanõukogu Euroopa piirkonna juht.

Alan Vaht on Alexela AS ja Alexela Motors AS juhatuse liige. 2001. aastal sai tal läbitud Tallinna Tehnikaülikoolis täielik doktoriõppe programm soojustehnika erialal. Tal on varasem töökogemus nii Eesti Energia AS-is Iru Elektrijaama arenguosakonna juhatajana kui ka AS Olerexi juhatuse liikmena.

Anton Rassõlkin on TalTechi Inseneriteaduskonnas Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi professor. 2014. aastal lõpetas ta doktorantuuri Tallinna Tehnikaülikoolis energia- ja geotehnika erialal. Alates 2020. aastast on Anton Rassõlkin IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) vanemliige.

Raido Huberg on Eesti Energia AS arendusteenistuse projektijuht. 2013. aastal lõpetas Raido Huberg teadusmagistriõppe Colorado School of Mines-is. Alates 2009. aastast on tal ka

teadusmagistri kraad The School for Renewable Energy Science-ist kütuseelementide ja vesiniku erialal.

Kristjan Stroom on Biogas Estonia tegevjuht. Ettevõtte haldab Eestis kolme rohelist transpordikütust tootvat ettevõtet, olles Eestis suurim biometaani tootja. 2015. aastal lõpetas ta Tallinna Tehnikaülikooli materjalid ja protsessid jätkusuutlikus energeetikas erialal (MSc *cum laude*). Varasemalt on ta kuulunud nii Vinni Biogaas OÜ kui ka Oisu Biogaas OÜ juhatusse ning ta on töötanud ka AS Eesti Gaasi biogaasi osakonna juhina.

### **3. INTERVJUUD SPETSIALISTIDEGA**

Järgnev osa hõlmab endas intervjuusid antud valdkonna erinevate spetsialistidega. Intervjuu küsimusi koostasin kokku kuus tükki ning kõigile intervjuueeritavatele esitasin samad küsimused. Intervjuueeritavateks olen valinud inimesed, kes oma töös puutuvad kokku minu valitud lõputöö uurimisküsimuste ja probleemidega, kuid kõigi intervjuueeritavate taust on erinev.

#### **3.1. Diiselmootoreid asendavad tehnoloogiad raskeveotranspordi sektoris**

Einari Kisel rääkis, et laevade puhul võib täna rääkida sellest, et LNG (ingl Liquefied Natural Gas), ta ei ole küll täiesti puhas kütus, kuid selgelt madalama süsinikusisaldusega kui seda on masuut ja pikemas perspektiivis suure tõenäosusega ka vesinik. Veokite puhul on tõenäoliselt esimene lahendus, mis turule jõuab on seotud elektriga, akude lahenduse näol, aga siis akud, mis töötaksid koos superkondensaatoritega, sest muidu läheks veokite laadimisaeg liiga pikaks. Rongide puhul on tuleviku perspektiivis hetkel vesiniku lahendus küsimärgiga. Vesinik on see lahendus, mille poole kindlasti rongide puhul liigutakse, kuid just reisirongide puhul arendatakse hetkel raudteede elektrifitseerimist.

Alan Vaht Alexela juhatausest lisas, et Alexelas nähakse täna seda, et raskeveotranspordi kütus liigub sellel kümnendil diiselmootoreid asemel LNG peale ning järgmisel kümnendil rohkem vesiniku peale. Alexelal endal on juba täna käimas vesinikuga seotud pilootprojektid, kuid täna on need siiski alles projektid. Ilma suurte toetusteta vesinik veel lähiajal kindlasti majanduslikult otstarbekas ei ole. Tehnoloogiate uuendused sõltuvad palju ka sellest, mis suunas Euroopa Komisjon liikuda soovib, seda ka raskeveotranspordi tuleviku kütuste puhul. Selge on see, et kliimaeesmärgid näevad ette seda, et kogu transpordisektor peaks olema aastaks 2050 süsinikneutraalne, mis tähendab seda, et akude puhul näeks see ette seda, et kogu energia oleks toodetud taastuvatest allikatest ehk Eesti puhul päikese- ja tuuleenergiast, vastasel juhul ei oleks fossiilsetest kütustest laetavad akud enam süsinikneutraalsed. Sarnaselt akude lahendusele kehtib sama ka vesiniku puhul, vesinik peaks samuti olema toodetud tuule- või päikeseenergiast, et see oleks süsinikneutraalne. Keskkonna aspektist oleks kõige rohelisem alternatiiv diiselmootoreitele

biometaan, mida ka täna juba turul toodetakse. Biometaan, mida toodetakse sõnnikust on niivõrd keskkonnasõbralik sellepärast, et sõnniku kütuseks kasutamine hoiab ära selle, et see kuskile maha vedelema jäätakse ning sealt mürgised metaani osakesed atmosfääri paiskuksid. See tähendab seda, et keskkonna aspektist tuleb arvutuste kohaselt biometaani keskkonnamõju arväärtusena isegi negatiivne, sest selle taaskasutamine hoiab ära metaani atmosfääri jõudmise. Ükski teine kütus ei ole võimeline oma keskkonnamõju poolest jõudma lähedale isegi nullväärtusele. Metaani osakesed on kuni 25 korda negatiivsema mõjuga kui seda on süsiniku heitmed. Biometaan ei lahenda aga kogu transpordisektori väljakutset, sest biometaani pole lõputus koguses, vaid see ressurss on piiratud.

Anton Rassõlkin lisas veoajamite seisukohast vaadates omalt poolt seda, et Elektriajamite seisukohast pole vahet, millisel kujul raskeveotranspordi tulevikukütustele üleminek on. Selge on see, et täna on osa raudteetranspordist, mis on üks raskeveotranspordi osa juba elektrifitseeritud. Vesinik kui potentsiaalne tulevikukütus on täna veel arendamisel ning hetkel ei ole võimalik sellises mahus energiat näiteks rongidele anda, mida vahemaa läbimiseks vaja oleks. Täna on diisel ja bensiin kõige mugavamad kütuseelemendid, millega on võimalik käivitada nii suuri mootoreid nagu nendeks on rongide, veoautode ja laevade mootorid.

Eesti Energia projektijuht Raido Hubergi seisukoht oli selline, et Diiselkütuse asemel võib näha palju alternatiive nendeks on fossiilsed lahendused (näiteks LNG, LPG, lisaks ka biometaan). Nende kütuse eelis on see, et nad on suhteliselt odavad ja infrastruktuuriga on ka päri hästi (maagaasivõrgustik on olemas) ja erineva sügavusega elektrifitseerimine ( hübriid, täiselektriline, kaudne elektrifitseerimine kasutades vesinikku kui energiakandjat). Otsene elektrifitseerimine (akutehnoloogiat kasutades) on tunduvalt efektiivsem ja ka odavam (elektrivõrk on pea kõikjal olemas, lisaks on ka elekter suhteliselt odav ja elektriajami kasutegur on kõrge võrreldes sisepõlemismootori kasuteguriga), kui vesinikutehnoloogia (puudub infra ja investeeringud on kõrged). Kui rasketranspordi puhul kus läbitavad vahemaad ja veoste mass on suured hakkab vesinikulahendus muutuma atraktiivsemaks kuna tankimine saab toimuda väga lühikese aja jooksul (15 – 30 minutit vesiniku puhul vs kuni mitmed tunnid akulahenduse puhul) ja puht füüsiliselt on vesiniku ladustamine masina pardal väiksema kaaluga kui akud. Mis reaalt tulevikus diisli asemel hakkab on siiski veel lahtine, kuna nii elektrifitseerimine (akudega või otseühendusega võrku nagu trollid/trammid) kui ka vesiniku lahendused on suhteliselt noored ja vajavad mõlemad toetusi, et konkureerida diisli lahendustega.

Kristjan Stoom, kes on Eesti Biogaas OÜ tegevjuht lisas omalt poolt, et Täna juba veoautode ja laevade puhul on ennast tõestanud juba veeldatud maagaas ehk LNG. Pikemas perspektiivis võib kindlasti diiselkütuseid asendada ka vesinik. Majanduslikust aspektist vaadates peaks mis iganes tulevikukütus olema oma hinnalt konkurentsivõimeline täna kasutusel oleva diisliga. Täna kasutusel olev LNG, mis on oma hinna poolest juba täna diisliga konkurentsivõimeline nõuaks veoautode puhul 10-15% suuremat alginvesteeringut veoautosse, sest sellise kütuseelemendiga veoautod maksavad rohkem. Arvesse tuleb võtta ka seda, et veoauto peaks oma eluea jooksul selle lisainvesteeringu tasa teenima.

### **3.2. Suurimad takistused raskeveotranspordi jalajälje vähendamiseks**

Einari Kisel mainis siinkohal, et üks suurimaid takistusi on kindlasti see, et ükski lahendus ei ole täna veel turul konkurentsivõimeline ilma väga suurte toetusteta, samuti ei suuda ükski tehnoloogia täna tagada piisava vahemaa läbimist. Akude puhul on murekoht aga see, et rasketele autodele tuleks lisada juurde veel suured ja rasked akud. Põhiline küsimus on see, et kas seda akut suudetakse teha kergemaks. Einari Kiseli arvates kõikide vesiniku lahenduste puhul probleemiks ohutus, mida ei ole julgenud keegi puudutada. Veoautode puhul, arvestades seda kui tihedas liikluses nad liiguvad ja millised avariid võivad nendega toimuda, siis ei julgeks lasta ühtegi veoautot vesinikuga sõitma. Rongide puhul on probleem täpselt sama, laevadega mõnevõrra vähem. Põhiline küsimus vesiniku kütuste puhul ongi see, et kuidas vähendada seda suurt riski, mis on seotud ohutusega. Need on põhilised teemad, mis on täna lahendamata kogu vesiniku sektori puhul.

Alan Vaht ütles, et suurimad takistused just täna kõige keskkonnasõbralikuma kütuse ehk biometaaniga puhul on see, et seda ressursi on piiratud koguses. Kogu transpordisektori nõudlust see kindlasti rahuldada ei suuda, kuid positiivset mõju transpordisektori heitmetele ta siiski annab. Takistuseks on veel see, et mitmed tehnoloogiad ei ole täna veel turul konkurentsivõimelised, näiteks vesinik ja akud. Vesiniku puhul on takistus kallis hind ning akude puhul raske kaal. LNG ei ole aga 100% süsinikneutraalne kütus, kuid on majanduslikult täna kõige otstarbekam.

Anton Rassõlkin mainis, et suurim takistus raskeveotranspordi jalajälje vähendamisel on see, et energiat on vaja saada sellisest taastuvast allikast nii palju kui seda raskeveotranspordi sektoris ka ära kasutatakse. See tähendab seda, et taastuvatest allikatest tuleb tagada varustuskindlus, et kui

üks hetk raskeveotranspordi sektori nõudlus energia järele kasvab, siis on seda energiat kohe ka kuskilt võtta.

Raido Huberg ütles, et number üks (1) põhjus on hind, nii aku- kui ka vesinikubussid on tunduvalt kallimad kui diisel või CNG alternatiivid, vesiniku puhul on ka vesiniku enda hind vähemalt täna väga kõrge (2) teiseks on infrastruktuur: elektriautode puhul on suuremahuliseks paigaldamiseks vaja väga suuri võimsusi (inimesed tahavad kiirelt laadida = väga võimsad), see probleem võimendub eriti kohtades nagu bussipargid, kus täna on tankimiseks ette nähtud öine aeg, ehk siis kogu bussipargi peaks laadima lühikese aja jooksul. Vesiniku puhul infrastruktuur praktiliselt puudub, isegi kui vesiniku sõiduk on olemas pole seda kuskil tankida ja vesiniku tanklal pole kliente. (3) vesiniku rasketranspordis on täna olemas vaid linnaliinibussid ja nende tarneajad on väga pikad (elektribusside kohta ei oska kommenteerida), vesiniku praame on vaid üks realselt olemas, ehk siis lõpptarbija tarnimine on problemaatiline.

Kristjan Stroom kommenteeris, et esimeseks teguriks on kindlasti see, et kus on võimalik seda alternatiivset kütust laadida. Vesiniku tankimine eeldaks täiesti uut infrastruktuuri, akude lahendus eeldaks veel rohkem kiirlaadimispunkte ning LNG eeldaks samuti infrastruktuuri laienemist, sest täna saab LNG-d tankida vaid ühes tanklas. Teiseks takistuseks on see, et diisliaktsiisi langetamine andis jälle eelise selle kasutamiseks ning tahaplaanile jäi alternatiivsete kütuste kasutuselevõtmine. Kolmandaks on transpordiettevõtlus Eestis suhteliselt traditsiooniline ja mugav ning ettevõtted ei ole valmis 5% suurema kasumlikkuse pärast vahetama oma autoparki välja alternatiivsetel kütustel sõitvate veoautode vastu.

### **3.3. Eestis täna tehtud sammud raskeveotranspordi jalajälje vähendamiseks**

Einari Kisel mainis, et esimene näide oleks kindlasti Tallinki praamide LNG kasutamine. Üks näide oleks kindlasti ka saartevaheliste praamide elektrifitseerimine. Samuti ka linnabusside veogaas, milleks on kujunenud biometaan. Samuti ka kõik CNG (Compressed natural gas ingl.) ja LNG tanklad kuigi raskeveotranspordis veel seda väga palju ei kasutata. LNG puhul on aga potentsiaal täiesti olemas. Eraldi tasuks välja tuua ka kogu Rail Balticu teema, et kas siis elektrifitseerimine või potentsiaalse vesiniku kasutamise võimaldamine ehk see infrastruktuur peaks sinna tekkima, kus oleks võimalik näiteks vesinikku laadida.



Alan Vaht kommenteeris Alexela vaatest seda, et Alexela on järgmiseks aastaks valmis saamas Eesti esimest vesinikutanklat, kuhu kaasatakse ka paar Alexela veoautot pilootprojekti raames, mis vesiniku kütuse abil sõitma hakkavad. LNG on Eestis kasutusel juba mitmetel laevadel ning on näha seda, et LNG on teatud transpordisektorites Eestis korralikult kanda kinnitanud. LNG on täna kasutusel ka mitmetel sõiduauto mudelitel, kuid raskeveotranspordis kasutatakse teda veel suhteliselt vähe, kuigi potentsiaali ka Eestis selle kasutamiseks on piisavalt. Samuti on ka paljud Tallinna linnaliinibussid täna kasutamas biometaan kütusena, mis on hetkel ekvivalentväärtusega kõige rohelisem kütus.

Anton Rassõlkin mainis, et Eestis on täna raskeveotranspordis osa raudteedest elektrifitseeritud. Lisaks sellele on väljatöötamisel erinevad tehnoloogiad veoautodele. Naaberriikides, näiteks Soomes ja Rootsis on täna testimisel vesinikku kütuseallikana kasutavad veoautod ning ka elektrilised veoautod. Samuti on naaberriikides linnaliinibussid elektrilised, mis laevad igas peatuses umbes 30 sekundit, et selle energiaga järgmisesse peatusesse jõuda. Kui need tehnoloogiad ennast naaberriikides tõestavad, siis jõuavad nad varsti kindlasti ka Eestisse kasutusele.

Raido Huberg ei olnud täna Eestis tehtud sammudega ise kursis. Kristjan Stroom ütles, et Riik on toetanud ja kavatseb veel toetada infrastruktuuri laiendamist. Toetuseid on jagatud näiteks erinevate LNG tanklate pilootprojektide jaoks. Samuti on läbi Euroopa Liidu fondide võimalik toetuseid taotleda.

### **3.4. Täna majanduslikult kõige konkurentsivõimelisem tehnoloogia ning viie aasta pärast kõige sobivam kütus igale raskeveotranspordi osale**

Einari Kiseli arvates on täna on majanduslikult kõige reaalsem alternatiiv LNG, sest hinna mõttes on see täna tunduvalt odavam kui teised tehnoloogiad. Kui LNG-le tekiks ka korralik infrastruktuur, siis kasutajaid tekiks kindlasti juurde. Põhiline proleem seisneb selles, et täna sellised veokeid on suhteliselt vähe, mis saaksid LNG-ga sõita. Praamide puhul on LNG tehnoloogia täna juba kasutusel. Rongide puhul aga tõenäoliselt LNG tulevikukütus ei ole, seal eelistatakse pigem elektrilist lahendust. Viie aasta pärast hakkab elektri kasutus just lühimaatranspordis kasvama veelgi, eriti vahemaade puhul, mis jäävad alla 500km. Kümne aasta pärast on aga suure tõenäosusega Eestis olemas esimene vesinikku kütusena kasutatav laev. Vesiniku

kasutuselevõtt näiteks praamidele on otstarbekas ainult juhul kui vesinikku toodetakse Eestis, ideaalis isegi tanklale võimalikult lähedal. See taandub sisuliselt sellele, et peaks olema mingi odav energiaallikas, kust saaks elektrolüüsi protsessi käigus vesinikku toota. Akud superkondensaatoritega koos on suure tõenäosusega see, mis võib lähitulevikus veoautodele jõuda. Vesiniku masskasutusse jõudmist järgneva viie aasta jooksul on aga raske ette kujutada. Vesiniku kasutust võiks lähitulevikus ette kujutada ainult laevade puhul ning seda ka väiksemate otste läbimiseks, näiteks praamidel, aga ka seda tõenäoliselt lähima viie aasta jooksul ei juhtu, kümne aasta perspektiivis aga juba võibolla. Kaubarongide puhul on vesiniku kütuse puhul aga küsimus selles, et kas suudetakse luua selline infrastruktuur, kus oleks rongidel võimalik vesinikku laadida. Venemaa suunalisel rongiliinil Tallinn-Narva tõenäoliselt vesinikuronge ei teki üldse, kui see tekib, siis see tekib Rail Balticu peale.

Alan Vaht ütles, et majanduslikult kõige konkurentsivõimelisemad tehnoloogiad on kindlasti CNG ja LNG. Need tehnoloogiad on kasutusel olnud juba mõnda aega ning diiselkütustega võrreldes ei ole hind samuti kõrgem, küll aga keskkonnamõju on palju väiksem. Viie aasta pärast võiks loota, et ka vesinikuga on juba rohkem edukaid pilootprojekte läbi viidud ning ta on tõestanud end kui ühe kliimaeesmärkide täitmiseks kasutusele võetava kütusena. Viie aasta pärast tõenäoliselt on veel veidi vara loota, et vesinik juba masskasutuses oleks, kuid mingid arendused on selleks ajaks kindlasti juba tehtud. Rongide puhul võiks tulevikus kindlasti mõelda vesiniku kasutamisele. Vesinik nõuab suhteliselt suurt kütusepaaki ning rongidele see lisada oleks reaalne. Miinuspool sellel on aga see, et rongide puhul peaks vesiniku kasutusele võtmiseks välja töötama kogu infrastruktuuri ehk kus vesinikku toodetakse ning kus seda ka rongi tangitakse ning see võib kujuneda väga kulukaks. Laevade puhul, eelkõige just lühemaid vahemaid läbivate laevade puhul on kõige otstarbekam tehnoloogia LNG, mis on ka täna juba paljudes praamides ja laevades kasutusel. Veoautode puhul tulevikus võiks kindlasti kütusena kasutusel olla vesinik, kuid seda tõenäoliselt mitte lähima kümne aasta jooksul. Seni võiks laieneda LNG kasutus nii kaugemale kui ressursid seda lubavad.

Anton Rassõlkin ütles, et täna on majanduslikult kõige konkurentsivõimelisem diiselkütustega kergliiklustranspordis kindlasti elektrilahendused, näiteks akud. Mis puudutab aga raskeveotransporti, siis tulenevalt sellest, et vahemaad on pikad ning akud kaaluvad palju, siis täna on kõige mugavam kasutada ikkagi diiselkütust. Tulevikus võiks raskeveotranspordis diiselkütuseid asendada kindlasti näiteks vesinik. Kuna vesinik on täna alles arengu järgus, siis peab ta ennast pilootprojektides veel tõestama efektiivse kütusena enne kui see masskasutusse

jõuab. Tõenäoliselt selle kümnendi jooksul vesinik veel raskeveotranspordis domineerivaks kütuseelemendiks ei saa. Mida kergem on transpordivahend, seda otstarbekam on kasutada akude lahendust. Seda eelkõige väiksemate autode ja kergliiklusvahendite puhul. Kaubikute ja veoautode puhul on kõige otstarbekam kasutada hübriidversioone, mis tähendab seda, et kütusena kasutatakse küll diisli, kuid sõiduk ise on hübriid nagu seda täna on paljud Toyota mudelid. Need sõidukid on välise laadimisvõimaluseta hübriidsõidukid, mis laevad ennast näiteks pidurdades. Selline süsteem on efektiivsem kui seda oleks ainult diiselkütus. Rongide puhul on täna mugavuse pärast kõige otstarbekam endiselt diisel, kuid tulevikus miks mitte ka vesinik. Laevade puhul on täna juba laialdaselt kasutusel CNG, mis pole küll täiesti roheline kütus, kuid on ennast tõestanud kui efektiivne ning rohelisem kütus kui diisel.

Raido Huberg mainis, et täna on selleks maanteetranspordi puhul CNG (sh linnaliinibussid), kuigi CO<sub>2</sub> emissioone ei pruugi siin olla madalamad, kui diisli puhul. Raudteetranspordis on juba täna väga palju löike elektrifitseeritud (nn kontaktvõrguga), kus see end ära tasub (suure liiklusega lõikudel). Tõenäoliselt suureneb tunduvalt diisel/CNG hübriid lahenduste osakaal ja mingi väike osa saab olemas ka vesiniku ja akubussidel. Rakse on ennustada kas rohkem saab olema aku või vesinikubusse. Superkondensaatorid sobivad vaid hübriidlahenduste jaoks ja on pigem toetava funktsiooniga mingile tehnoloogilisele lahendusele (diisel, aku-elektri, vesiniku jne). Suure kilometraaži ja veomahtudega rakenduste puhul on vesinikuahendus otstarbekam kui akudega lahendus, kuna antud juhul on vajalik suhteliselt tiheda graafikuga ja suurte energiamahdade „tankimine“.

Kristjan Stroom väitis, et täna on majanduslikult kõige konkurentsivõimelisem LNG. Kümne aasta pärast on LNG-l kindlasti ka oma koht, kuid kogu kütusesegment on kooslus erinevatest kütustest. Kogu kütusesegmendis on tõenäoliselt kümne aasta pärast esindatud LNG, akud, diisel ning väiksemal määral ka juba vesinik. Diisli kasutus kindlasti võrreldes tänasega väheneb, kuid kümne aasta pärast selle kasutamine täiesti ära kadunud ei ole. Laevade osas on tulevikus, näiteks 5-10 aasta pärast tõenäoliselt kõige jõulisemalt kasutusel LNG. Praamidele sobiks ka elekter väga edukalt. Kasutades superkondensaatoreid võib praamiliikluse elektrifitseerimine kujuneda väga edukaks, sest vahemaad ei ole eriti pikad. Ronge LNG-le üle viimine võib kujuneda veidi problemaatiliseks. Rongide puhul aga võiks sobida lahenduseks elekter. Veoautodel on kümne aasta pärast kindlasti mitmeid kütuseid, mis kasutusel on. Kindlasti on esindatud LNG, akud ja vesinik ning 10 aasta pärast võiks olla neist kolmest veoautode puhul LNG kõige suuremas kaalus esindatud.

### 3.5. Erinevate tehnoloogiate eelised ja puudused üksteise ees

Einari Kisel ütles, et vesiniku puhul on kaks põhilist puudust kindlasti see, et ta on kallis ja ta on ohtlik. Vesiniku puhul tuleb tõenäoliselt veel nende probleemidega järgnevad 10-15 aastat tegeleda. Elektri kasutamise puhul on infrastruktuuri investering on suhteliselt keeruline ja kulukas, aga kui näiteks rongide puhul, kus seda on varasemalt tehtud, siis see toimib. Eestis üldiselt elektri kui kütuseelemendi kasutuselevõtt laieneb järk-järgult. Akude puhul on täna põhilised probleemid need, et akud kaaluvad liiga palju ning nende sõiduulatus on piiratud. Superkondensaatorite puhul on puudus see, et ta on tegelikult täienduseks akule, mis võimaldab kiiremini laadida. Ainult superkondensaatorite peal ükski sõiduk võimeline sõitma ei ole. Biogaasi puhul on puuduseks see, et maht on piiratud, muidu võiks teda rohkem kasutada, kuid gaasi ennast on suhteliselt vähe. LNG puhul on puudus see, et tegu on siiski fossiilset päritolu kütusega. Majanduslikust aspektist on LNG täna konkurentsivõimeline, aga keskkonna aspektist ja dekarboniseerimist silmas pidades ta efektiivne pikaajaline lahendus ei ole.

Alan Vaht lisas, et vesiniku puudus täna on kindlasti see, et oma kalli hinna tõttu ei ole ta majanduslikult konkurentsivõimeline. Lisaks sellele tuleks vesiniku puhul nullist üles ehitada kogu infrastruktuur. Selleks et vesinikku toota roheliselt, tuleks seda toota taastuvatest energiaallikatest ehk tuulest ja päikesest ning seda võimekust täna Eestis samuti lõputult ei ole. Vesiniku puhul tuleks arvesse võtta ka seda, et tuule- või päikeseenergiast vesinikku tootes on vesiniku lõplik kasutegur umbes 0,3, mis tähendab elektrolüüsi protsessi käigus ligi kolmekordset energiakadu, mis omakorda eeldab seda, et vesinikku oleks mõistlik toota ainult siis kui elektrienergia hind on väga madal ehk on kas väga tuuline või on väga palju päikest ning selle tulemusena jääb energiat üle. Akude puhul suurim puudus on see, et aku ise kaalub palju ning kui mõelda akude kasutust veoautodel raskeveotranspordis, siis sisuliselt peaks veoauto kandma koguaeg endaga kaasas rasket akut, mistõttu jääks koorem väiksemaks ning see ei oleks samuti otstarbekas. Lisaks sellele kuluks akude laadimisele pikk aeg ning maanteetranspordis ei oleks sellist aega, et tundide viisi kuskil peatuda ning akut laadida.

Anton Rassõlkin mainis, et akude puuduseks raskeveotranspordis on see, et akud ise kaaluvad nii palju, et neid ei ole veoautol otstarbekas koguaeg endaga kaasas vedada. Lisaks sellele on akude miinuseks veel see, et laadimiseks kulub aeg on liiga pikk. Vesiniku puuduseks on see, et täna on vesinikutehnoloogia veel liiga kallis. Lisaks sellele ei ole erinevad vesinikuga tehtud pilootprojektid kujunenud nii edukaks, et vesinik võiks asendada raskeveotranspordis

diiselkütuseid. Vesiniku eeliseks on aga see, et kui näiteks kümne aasta pärast on selle hind odavam, siis on see palju vähem keskkonda saastavam kütus kui diisel või erinevad hübriidlahendused. Akude eelis on see, et akude puhul ei ole näiteks veoautodel vaja käike, vaid on ainult edaspidi ja tagurpidi käik nagu täna näiteks Tesladel.

Raido Huberg tõi siinkohal võrdluse vesinik vs akud: 1. Infrastruktuur: akulahenduse puhul on infrastruktuur olemas, ehk siis elektrivõrk on peaaegu igal pool olemas ja lisama peab vaid suhteliselt madala maksumusega laadija. Vesiniku puhul on vajalik vesiniku tootmise üksus, logistika ja suhteliselt kõrge hinnasildiga tankla 2. tehnoloogia on akubusside puhul mõnevõrra odavam, kui vesinikubusside puhul, kuigi hinnad on mõlema puhul kukkumas ja aja jooksul jõuavad nad nii diiselbusside hinnale kui ka üksteisele (elekter vs vesinik) suure tõenäosusega väga lähedale. 3. elektribusside puhul on üldine kasutegur tunduvalt kõrgem ja seega kulub elektrit bussi poolt läbitud kilomeetri kohta kuskil kaks korda vähem kui vesiniku puhul (elektrolüüsi kasutegur ~65% ja sõiduki kasutegur ~50%, akude puhul on see kasutegur suurusjärgus 80%). 3. Tankimise aeg on vesiniku puhul tunduvalt parem, 15 – 30 minutit versus mitmed tunnid. Kuid kui tankimise kiirus pole nii oluline, siis pikad laadimise ajad akubussidele miinuspunkte ei too. Superkondensaatorid tulevad pildile hübriidlahenduste puhul, kus nad kataksid ära väga suured koormused, mis on äärmiselt lühikese kestvusega ja efekt suures pildid on piiratud.

Kristjan Stroom mainis, et LNG puhul on küsimus selles, et kuidas see toodetud on. Täna tuuakse suur osa LNG-st sisse Venemaalt ning kui seal on see toodetud fossiilsetest kütustest, siis ka meie kasutajatena ei ole just kõige süsinikneutraalsemad. Küsimus ongi selles, et kust saada tulevikust rohelist LNG-d. Vesiniku puhul peab tugevalt arenema kindlasti infrastruktuur ning selgeks peab saama ka see, kuidas lõpptarbija seda tarbida saab. Täna on vesiniku hind umbes 5-10x kallim kui gaasiliste kütuste hind. See eeldab vesiniku puhul ka selle hinna suurt langemist, et võiks rääkida vesinikust kui ka majanduslikult konkurentsivõimelisest kütusest. Elektri ja superkondensaatorite valdkond laieneb üsna kiiresti. Isegi Eestis on Skeleton Technologies, kes sellega aktiivselt tegeleb. Akude puhul on väga tähtis see, et kui pikk on tegelikult aku eluiga ning mis on selle sõiduulatus.

### 3.6. Järeldused

Intervjuudest spetsialistidega selgus, et täna on raskeveotranspordi kütustest diisliga võrreldes majanduslikult kõige otstarbekam kasutada LNG-d. Minu töös küll eraldi LNG-d välja pole toodud, sest tegu pole päris rohelise kütusega ning sellel pole potentsiaali kunagi täiesti süsinikneutraalseks saada nagu on näiteks vesinikul või akudel, sest LNG on veeldatud maagaas ning maagaas on teadagi fossiilne allikas. Mitmed spetsialistid tõid intervjuu käigus välja seda, et LNG on Eesti raskeveotranspordis juba täna kasutusel. LNG-d kasutavad täna juba mitmed praamid ning ka Tallinki laevad, mis sõidavad Soome vahelt. LNG puhul on küll tegu taskukohase ja rohelisema kütusega kui seda on diisel, kuid ainult LNG ei aita Eestil saavutada 2050. aastaks süsinikneutraalsust. LNG on täna põhiliselt kasutusel laevadel ja praamidel, kuid mitte veoautodel. Intervjuudest selgus, et LNG pole veoautodel veel nii levinud, sest LNG veoauto nõuaks 10-15% suuremat alginvesteeringut kui veoauto, mis sõidab diisliga. Sellest tulenevalt on LNG veoauto tasuvusaeg pikem ning pole ka kindel, kas veoauto oma soetusmaksumuse eluea jooksul tagasi teeniks.

Suurimad takistused raskeveotranspordi jalajälje vähendamiseks on täna just majanduslikud. Erinevad pilootprojektid üle maailma on tõestanud seda, et nii vesinik kui akud võiksid olla potentsiaalsed rohelised tulevikukütused, kuid ilma suurte toetusteta ei ole täna majanduslikult otstarbekas neid kasutada. Spetsialistid tõid peamiselt vesiniku puhul välja selle, et esiteks on vaja rajada uus infrastruktuur, mis esiteks eeldaks seda, et taastuvenergiat peaks Eestis olema piisavas koguses, et oleks mõtet toota 0,3 kasuteguriga vesinikku. Teiseks eeldaks see seda, et tuleks teha suured investeeringud vesiniku tanklate rajamiseks. Kolmandaks, täna on vesinikku kütusena kasutavad transpordivahendid kordades kallimaid kui seda on fossiilseid kütuseid kasutavad transpordivahendid.

Eesti raskeveotranspordis on täna tuleviku jaoks juba osa ettevalmistusi tehtud. Uurisin intervjuu käigus spetsialistidelt, millised on nende arvates kõige suuremad sammud, mis tänaseks juba tehtud on. Mitmed spetsialistid tõid välja laeva- ja praamiliikluses LNG kasutamise. Samuti toodi välja see, et Tallinnas on palju linnaliinibusse, mis sõidavad täna juba biometaanil abil. LNG puhul ei ole tegu täiesti rohelise kütusega, kuid siiski keskkonnasõbralikumana kütusega kui seda on diisel. Eraldi toodi välja ka Rail Baltic ning võimalused, kas elektrifitseerida raudteeliin või hakata kasutama juba vesinikku.

Spetsialistid olid ühel arvamusel, et täna on majanduslikult kõige konkurentsivõimelisemad raskeveotranspordi kütused diislile CNG ja LNG. Seda näitab ka see, et Eestis on need juba üsna laialdaselt kasutusel just raskeveotranspordi sektoris. Tegu ei ole aga kõige jätkusuutlikuma lahendusega, sest ainult CNG ja LNG kasutamine kogu transpordisektoris ei aita Eesti riigil täita 2050. aastaks Pariisi Kliimakokkuleppe eesmärke. Akude lahenduse puhul olid spetsialistid samuti ühel meelel. Akud on raskeveotranspordis kasutamiseks täna liiga kallid ning liiga rasked. Spetsialistid tõid välja, et kui veoauto puhul kasutada akude lahendust, siis umbes kolmandiku veoauto massist moodustaks ainult aku. Samuti ei ole täna veel kiirlaadimise infrastruktuur seal maal, et ta oleks laadimise poolest konkurentsivõimeline diisli tankimisele kuluva ajaga. Kui akude puhul tehakse arendusi, et need tunduvat kergemaks muuta ning kui ka laadimisvõrgustik märgatavalt laieneb, siis tulevikus nägid spetsialistid sellel potentsiaali, täna aga kindlasti mitte. Vesiniku puhul ei pidanud ükski spetsialist realistlikuks seda, et vesinik oleks laialdaselt raskeveotranspordis levinud enne 2030. aastat. Põhjuseid selleks on mitmeid. Esiteks ei ole vesinik täna majanduslikult konkurentsivõimeline kütus diislile, sest seda toota on täna liiga kallis. Teiseks peaks Eestis olema taastuvenergia tootmist tunduvat rohkem kui seda on täna, et tasuks kaaluda 0,3 kasuteguriga vesiniku tootmist. Kolmandaks tuleks vesiniku puhul nullist üles rajada kogu infrastruktuur, mis eeldaks suuri investeeringuid.

Küsisin ka spetsialistidelt, et mis nad arvavad, millist kütust oleks tulevikus otstarbekas millisele raskeveotranspordi osale rakendada. Spetsialistid olid laevade puhul ühel meelel, et täna on konkurentsivõimelised lahendused CNG ja LNG, sest need on täna juba kasutusel. Tulevikus pakuti välja nii vesiniku lahendust kui ka akude ja superkondensaatorite kooslust. Viimane eeldaks aga seda, et vahemaad ei oleks väga pikad, sest superkondensaatorite omapära on see, et suudetakse anda välja palju energiat korraga ning pikema vahemaa läbimiseks energiat ei piisaks. Akude ja superkondensaatorite kooslust pakuti välja pigem saartevahelisele praamiliiklusele. Veoautode puhul nähti tulevikus ka vesiniku lahendust, kuid kindlasti mitte enne 2030. aastat. Rongide puhul tundus spetsialistidele kõige realistlikum elektrifitseerimine, kuid pakuti välja ka potentsiaalset vesiniku kasutamist.

Tehnoloogiate puuduste ja eeliste kohta üksteise ees olid spetsialistid valdavalt jällegi ühel arusaamal. Vesiniku puhul on täna puudusteks hind, infrastruktuuri puudumine ning ohutus. Akude puhul on suurimateks puudusteks hind, suur akude mass ning piisava kiirlaadimistaristu puudumine. Eeliste kohta toodi välja seda, et CNG ja LNG on majanduslikult konkurentsivõimelisemad. Vesiniku eelis on see, et kui seda kütuseliiki arendatakse, siis on

reaalne, et kümne aasta pärast on tegu täiesti rohelise kütusega. Akude puhul on eeliseks see, et akude lahendus on vesiniku omast kindlasti ohutum, kuid puuduseks vesiniku ees on see, et vesiniku tankimine võtaks aega 15 minuti, kuid akude laadimine raskeveotranspordis tänase tehnoloogia juures mitu tundi.

### **3.7 Soovitused edasisteks uuringuteks**

Antud uuring käsitles eekõige raskeveotranspordi tehnoloogiate majanduslikku võrdlust. Selle kõrval on ka veel teine suur probleem, milleks on keskkonna aspekt. Majanduslik võrdlus seadis primaarseks just kütuse hinna, infrastruktuuri rajamise kulu ning jooksvad kulud erinevatel tehnoloogiatel. Keskkonna aspekti arvesse võttes võiks tulevikus leida korrelatsiooni majandusliku ja keskkonna aspekti vahel. Siis tekiks juba selgem arusaam, millised tehnoloogiad on ka jätkusuutlikud ning suutelised kliimaeesmärkide täitmisele kaasa aitama. Samuti võiks veel uurida, millised on näiteks akude tootmiseks kuluvad fossiilsete kütuste kogused ning kui roheliselt on võimalik uus tehnoloogia turule tuua. Selge on see, et kui kasutatakse akusid, mida laetakse taastuenergia arvelt, siis fossiilseid kütuseid ei kasutata, kuid kui akud on toodetud väga keskkonda saastaval viisil, siis on sellel keskkonnamõju täiesti olemas. Tulevikus võiks veel lähemalt uurida erinevaid vesiniku tehnoloogiaid. Olemas on roheline, sinine ja hall vesinik, kuid võiks uurida, millist neist kõige rohkem täna toodetakse, mis hinnaga ning kui jätkusuutlikud nad on.



## KOKKUVÕTE

Raskeveotranspordi sektori dekarboniseerimine on kogu maailma jaoks suur väljakutse. Pariisi Kliimakokkuleppe kohaselt peavad aga kõik riigid oma heitmekoguseid igas sektoris märgatavalt vähendama, sealhulgas ka raskeveotranspordi sektoris. Selge on see, et tehnoloogiaid selle teostamiseks on täna maailmas välja töötatud juba mitmeid, kuid minu töö keskendub peamiselt tehnoloogiate küpsusele majanduslikust aspektist ning keskkonna aspekt on sekundaarne. Töö eesmärk oli esmalt kaardistada maailma, Euroopa ja Eesti tänased olud raskeveotranspordis ning välja tuua ka tuleviku visioonid. Hetkel on maailmas domineerivaks kütuseks diisel, kuid erinevad riigid on käivitanud pilootprojekte juba vesiniku, akude ja superkondensaatorite lahenduste näol.

Eesti raskeveotransport on jõudsalt liikumas eesmärkide poole. Ajavahemikul 1990-2016 vähenesid maanteetranspordi sektoris peaaegu kõigi saasteainete heitkogused märkimisväärselt. Eesti transpordiheitmetest moodustab ligi 90% maanteetransport, enamalt jaolt just veoautod. Samuti lisasid mitmed spetsialistid intervjuudes, et Eesti raskeveotranspordis on muutuste läbiviimine juba täna käimas. Näiteks ütles Alexela juhatuse liige Alan Vaht, et juba järgmine aasta saab neil valmis esimene vesinikutankla. Eestil on seega väga hea potentsiaal efektiivse tehnoloogia veoautodele rakendades vähendada kogu transpordisektori heitmeid märkimisväärselt. Eesti teine suurim transpordisektori heitmeallikas on raudteetransport, mille heitmed elektrifitseerimise tulemusena on 1990. aastaga vähenenud neli korda.

Minu töö keskendus peamiselt kolmele raskeveotranspordi vahendile. Nendeks olid laevad, rongid ja veoautod, mis moodustavad kokku ligi 95% kogu raskeveotranspordi heitmetest. Raskeveotranspordi hulka loetakse ka põllumajandustransport ning lennundus, kuid nende osakaal kogu raskeveotranspordi sektori heitmetest on minimaalne. Tehnoloogiate puhul seadsin samuti fookuse kolmele põhilisele tehnoloogiale, milleks olid vesinik, superkondensaatorid ja akud. Vesinik on täna energeetikamaailmas kõige rohkem kõneainet pakkuv tehnoloogia ning sellel nähakse tulevikus kõige suuremat potentsiaali. Töö käigus aga selgus, et vesinik on küll heitmevaba kütus kui seda toodetakse taastuvatest energiaallikatest, kuid vesinikul on ka mitmeid probleeme, mis vajavad lahendamist enne kui see kõigile kättesaadavaks saab. Hetkel on suurim

vesiniku probleem just majanduslik. Vesinikku toota on täna lihtsalt liiga kallis. 1kg vesiniku hind on täna 5-6€ ning selle puhul tuleb arvesse võtta ka seda, et elektrolüüsi protsessi käigus, mis on tuule- või päikeseenergiast vesiniku moodustamise protsess, on vesiniku kasutegur umbes 0,3. See tähendab seda, et vesinikku tootes läheb protsessi käigus kaotsi ligi 2/3 energiast. Teine suurim majanduslik probleem vesiniku puhul on see, et masskasutamiseks tuleks rajada uus infrastruktuur, mis eeldaks suuri alginvesteeringuid. Tuleks ehitada tanklad ning rajada efektiivne tootmine taastuvatest energiaallikatest. Järgmine analüüsitud tehnoloogia oli akude tehnoloogia, eelkõige liitium-ioon akude tehnoloogia.

Viimastel aastatel on tekkinud tänavale järjest rohkem elektriautosid, kuid tõenäoliselt akusid kasutavaid veoautosid veel lähitulevikus näha pole. Põhjus seisneb selles, et akudel on kaks suurt probleemi, mis tuleks lahendada enne kui neid saaks hakata kasutama raskeveotranspordis. Esimene probleem seisneb selles, et keskmise veoauto puhul oleks piisava mahuga aku mass umbes 1/3 veoauto kogumassist. Seda probleemi töid välja ka mitmed spetsialistid, et veoauto aku kaal saab määravaks teguriks kogule akude tehnoloogiale. Sisuliselt tähendaks see seda, et veoauto kannaks endaga kogu aeg kaasas rasket akud ning saaks selle arvelt vähem kaupa vedada, mis muudaks kogu kaubaveo kordades ebaefektiivsemaks. Teine suur probleem puudutab akude laadimist ning sõiduulatust. Veoauto aku laadimisele kuluv aeg on 8-10 tundi üleöö laadimise puhul ning ligi 1h kiirlaadimise korral. Diisli tankimine võtab keskmiselt veoautol umbes 10 minutit. Jällegi tekib isegi kiirlaadimise korral ajakulu, mis tänase fossiilkütuse diisli puhul on kordades väiksem. Samuti on akudega sõitvate veoautode pikim sõiduulatus täna kuskil 800km, mis on samuti vähem kui diisliga sõitvatel veoautodel. Superkondensaatorite puhul selgus see, et kõige efektiivsem oleks neid kasutada koos akudega. Eesti päritolu ettevõtte Skeleton Technologies on üks maailma suurimaid supekondensaatorite tootjaid ning tulevikus on neid kindlasti potentsiaali konkureerida nii diisli kui ka vesinikuga. Superkondensaator on element, mis suudab anda lükkese aja jooksul korraga endast välja väga suure hulga energiat. Kui luua võrdlus akudega siis superkondensaator on juskui sprinter ja aku maratonijooksja. Superkondensaatoritel nähakse suurimat potentsiaali praamidil ja laevadel.

Teiseks suuremaks osaks olid intervjuud spetsialistidega. Valisin välja viis erineva tausta ja maailmavaadetega inimest, kes oleks ka raskeveotranspordi sektoriga ning töös välja toodud tehnoloogiatega kursis. Intervjueeritavad inimesed olid Einari Kisel, Alan Vaht, Anton Rassõlkin, Raido Huberg ja Kristjan Stroom. Einari Kisel on Eesti energeetikamaastikul üks kõige tuntumaid nimesid, Alan Vaht on hetkel Alexela juhatuse liige, Anton Rassõlkin TalTechi professor

elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudis, Raido Huberg on projektijuht Eesti Energias ning Kristjan Stroom on Eesti Biogaas OÜ tegevjuht. Koostasintervjuu jaoks kuus erinevat küsimust ning igalt spetsialistilt küsisin täpselt samad küsimused. Intervjuude tulemusel selgus see, et mitmed spetsialistid tõid välja ka CNG ja LNG tehnoloogiad, mida minu töö ei puudutanud. Põhjus on selles, et nii CNG kui LNG ei ole täiesti rohelised kütused. Eestis kasutatakse mõlemat kütust põhiliselt laevanduses. Samuti ei suudaks CNG ja LNG kütused ära rahuldada energiavajadust, mid kogu raskeveotranspordi sektor vajaks. Minu töö oli pigem suunatud revolutsioonilistele uutele tehnoloogiatele raskeveotranspordis, mitte hübriidlahendustele. Üks oluline aspekt, mida kõik spetsialistid arvasid oli see, et tõenäoliselt vesinik ei asenda raskeveotranspordis diiselmootoreid järgneva kümne aasta jooksul, vaid alles 2030ndatel aastatel. Samuti tõid spetsialistid iga tehnoloogia kohta välja suurimad eelised ja puudused ning samuti avaldasid arvamust, millisele raskeveotranspordi liigile milline tehnoloogia kõige paremini sobiks.

## **SUMMARY**

### **Economically feasible technological solutions for the decarbonisation of heavy goods transport**

Henri Sten Vainola

The decarbonisation of the heavy transport sector is a major challenge for the World. However, under the Paris Climate Agreement, all countries must significantly reduce their emissions in every sector, including the heavy transport sector. It is clear that many technologies have already been developed in the World to make this happen, but my work focuses mainly on the economic maturity of the technologies and the environmental aspect is secondary. The aim of the work was first to map out the current conditions of the World, Europe and Estonia in heavy transport and to bring out visions for the future. At present, diesel is the dominant fuel in the World, but various countries have already launched pilot projects in the form of hydrogen, batteries and ultracapacitor solutions. Estonian heavy transport is well on its way to its goals. Between 1990 and 2016, emissions from almost all pollutants in the road transport sector decreased significantly. Road transport accounts for almost 90% of Estonia's transport emissions, mostly trucks. Estonia therefore has a great potential to significantly reduce emissions from the entire transport sector by applying efficient technologies to trucks. The second largest source of emissions in the transport sector in Estonia is rail transport, the emissions of which have decreased four times since 1990 as a result of electrification. This work focused mainly on three means of heavy transport. These were ships, trains and trucks, which together account for almost 95% of total heavy transport emissions. In terms of technologies, the focus was on three main technologies, which were hydrogen, supercapacitors and batteries. Hydrogen is the most talked about technology in the energy world today and is seen as having the greatest potential in the future. However, the work revealed that hydrogen is an emission-free fuel if it is produced from renewable energy sources, but hydrogen also has a number of problems that need to be solved before it becomes available to public. Currently, the biggest hydrogen problem is economical. It is simply too expensive to produce

hydrogen today. Today, the price of 1 kg of hydrogen is 5-6 €, and it must also be taken into account that during the electrolysis process, which is the process of forming hydrogen from wind or solar energy, the efficiency of hydrogen is about 0.3. This means that almost 2/3 of the energy is lost in the process of producing hydrogen. The second major economic problem for hydrogen is that new infrastructure would need to be built for mass use, which would require large initial investments. Refuelling stations should be built and efficient production from renewable energy sources should be established. The next technology to be analyzed was battery technology, in particular lithium-ion battery technology.

The second major part was interviews with specialists. There were five people selected from different backgrounds and worldviews who would also be familiar with the heavy transport sector and the technologies identified in the work. The interviewees were Einari Kisel, Alan Vaht, Anton Rassõlkin, Raido Huberg and Kristjan Stroom. I compiled six different questions for the interview and asked each specialist the same questions. The interviews revealed that several specialists also pointed out CNG and LNG technologies that were not covered in the work. The reason is that both CNG and LNG are not completely green fuels. In Estonia, both fuels are mainly used in shipping. CNG and LNG fuels would also not be able to meet the energy needs of the entire heavy transport sector. The work focused on revolutionary new technologies in heavy-duty transport rather than hybrid solutions. One important aspect that all experts thought was that hydrogen is unlikely to be a substitute for diesel in heavy-duty transport in the next ten years. The experts also pointed out the biggest advantages and disadvantages of each technology, as well as expressed an opinion on which type of heavy transport would be best suited for which technology.

## KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- ACEA. (2016). *Reducing CO2 Emissions from Heavy-Duty Vehicles*. Kättesaadav: [https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA\\_Position\\_Paper\\_Reducing\\_CO2\\_Emissions\\_from\\_Heavy-Duty\\_Vehicles.pdf](https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Position_Paper_Reducing_CO2_Emissions_from_Heavy-Duty_Vehicles.pdf), 18. veebruar 2021.
- Bannon, E. (2020). *Comparing Hydrogen and Battery Electric Trucks*. Kättesaadav: <https://www.transportenvironment.org/publications/comparing-hydrogen-and-battery-electric-trucks>, 19. jaanuar 2021.
- Burnside, M. (2015). *How Ultracapacitors Can Transform Your Fleet*. Kättesaadav: <https://www.constructionbusinessowner.com/equipment/how-ultracapacitors-can-transform-your-fleet>, 3. märts 2021.
- DNV GL AS. (2020). *Energy Transition Outlook 2020 Executive Summary: A Global and Regional Forecast to 2050*. Kättesaadav: [https://www.waveco.no/docs/DNV\\_GL\\_Energy\\_Transition\\_Outlook\\_2020\\_Executive\\_Summary.pdf](https://www.waveco.no/docs/DNV_GL_Energy_Transition_Outlook_2020_Executive_Summary.pdf), 17. veebruar 2021
- Fink, A. (2017). *How to Conduct Surveys*. Sixth edition.
- Gross, S. (2020). *The Challenge of Decarbonizing Heavy Transport*. Kättesaadav: [https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2020/09/FP\\_20201001\\_challenge\\_of\\_decarbonizing\\_heavy\\_transport.pdf](https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2020/09/FP_20201001_challenge_of_decarbonizing_heavy_transport.pdf), 24. jaanuar 2021.
- Hao, H., Geng, Y., Tate, J. E., Liu, F., Chen, K., Sun, X., Liu, Z., Zhao, F. (2019). *Impact of Transport Electrification on Critical Metal Sustainability with a Focus on the Heavy-Duty Segment*. Kättesaadav: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-13400-1>, 9. märts 2021.

- ICCT, DieselNet. (2018). *EU: Heavy-Duty: GHG Emissions*. Kättesaadav: <https://www.transportpolicy.net/standard/eu-heavy-duty-ghg-emissions/>, 18. veebruar 2021.
- ICCT. (2021). *Heavy-Duty Vehicles*. Kättesaadav: <https://theicct.org/heavy-duty-vehicles>, 2. aprill 2021.
- Inkinen, T., Hämäläinen, E. (2020). *Reviewing Truck Logistics: Solutions for Achieving Low Emission Road Freight Transport*.
- Ioxus. (2021). *Transportation*. Kättesaadav: <https://ioxus.com/transportation/>, 11. märts 2021.
- ITF, OECD. (2018). *Transport CO2 and the Paris Climate Agreement: Reviewing the Impact of Nationally Determined Contributions*. Kättesaadav: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/transport-co2-paris-climate-agreement-ndcs.pdf>, 25. veebruar 2021.
- Keskkonnaagentuur. (2018). *Transpordisektori õhusaaste väheneb*. Kättesaadav: <https://www.keskkonnaagentuur.ee/et/uudised/transpordisektori-ohusaaste-vaheneb>, 19. jaanuar 2021.
- Mareev, I., Becker, J., Sauer, D. U. (2017). *Battery Dimensioning and Life Cycle Costs Analysis for a Heavy-Duty Truck Considering the Requirements of Long-Haul Transportation*. Kättesaadav: [https://www.researchgate.net/publication/322106513\\_Battery\\_Dimensioning\\_and\\_Life\\_Cycle\\_Costs\\_Analysis\\_for\\_a\\_Heavy-Duty\\_Truck\\_Considering\\_the\\_Requirements\\_of\\_Long-Haul\\_Transportation](https://www.researchgate.net/publication/322106513_Battery_Dimensioning_and_Life_Cycle_Costs_Analysis_for_a_Heavy-Duty_Truck_Considering_the_Requirements_of_Long-Haul_Transportation), 4. veebruar 2021.
- Molloy, P. (2019). *Hydrogen Fuel Cell Trucks Can Decarbonise Heavy Transport*. Kättesaadav: <https://energypost.eu/hydrogen-fuel-cell-trucks-can-decarbonise-heavy-transport/>, 15. veebruar 2021.
- Nykvist, B., Olsson, O. (2021). *The Feasibility of Heavy Battery Electric Trucks*. Kättesaadav: <https://www.sei.org/publications/feasibility-heavy-battery-electric-trucks/>, 18. märts 2021.

- Park, J. (2019). *Will Future Trucks Be Powered by Batteries or Fuel Cells?* Kättesaadav: <https://www.truckinginfo.com/339798/will-future-trucks-be-powered-by-batteries-of-fuel-cells>, 27. märts 2021.
- Peris, M. (2019). *Euroopa Liidu ja Eesti transpordipoliitika tulevikutrendidest*. Kättesaadav: [https://www.riigikogu.ee/wpcms/wp-content/uploads/2019/02/pikksilm\\_miiko\\_peris.pdf](https://www.riigikogu.ee/wpcms/wp-content/uploads/2019/02/pikksilm_miiko_peris.pdf), 27. veebruar 2021.
- Rodriguez, F. (2019). *CO2 Standards for Heavy-Duty Vehicles in the European Union*. Kättesaadav: <https://theicct.org/publications/co2-stds-hdv-eu-20190416>, 16. veebruar 2021.
- Skeleton Technologies. (2021). *Heavy Transport*. Kättesaadav: <https://www.skeletontech.com/heavy-transportation>, 19. jaanuar 2021.
- Tracy, S. J. (2020). *Qualitative Research Methods: Collecting Evidence, Crafting Analysis, Communicating Impact*. Second Edition.
- Wang, S., Ge, M. (2019). *Everything You Need to Know About the Fastest-Growing Source of Global Emissions: Transport*. Kättesaadav: <https://www.wri.org/insights/everything-you-need-know-about-fastest-growing-source-global-emissions-transport>, 8. märts 2021.



## Lisa 1. Intervjuude konsolideeritud töötabel

	Einari Kisel	Alan Vaht	Anton Rassõlkin	Raido Huberg	Kristjan Stroom
<b>Milliseid tehnoloogiaid näeksite raskeveotranspordi tulevikus diiselkütuste asemel?</b>	<p>Veokite puhul on tõenäoliselt esimene lahendus, mis turule jõuab on seotud elektriga, akude lahenduse näol, aga siis akud, mis töötaksid koos superkondensaatoritega, sest muidu läheks veokite laadimisaeg liiga pikaks. Rongide puhul on tuleviku perspektiivis hetkel vesiniku lahendus küsimärgiga. Vesinik on see lahendus, mille poole kindlasti rongide puhul liigutakse, kuid just reisirongide puhul arendatakse hetkel raudteede elektrifitseerimist.</p>	<p>Alexelas nähakse täna seda, et raskeveotranspordi kütus liigub sellel kümnendil diiselkütuste asemel LNG peale ning järgmisel kümnendil rohkem vesiniku peale. Alexelal endal on juba täna käimas vesinikuga seotud pilootprojektid, kuid täna on need siiski alles projektid. Ilma suurte toetusteta vesinik veel lähiajal kindlasti majanduslikult otstarbekas ei ole.</p>	<p>Elektrijamite seisukohast pole vahet, millisel kujul raskeveotranspordi tulevikukütustele üleminek on. Selge on see, et täna on osa raudteetranspordist, mis on üks raskeveotranspordi osa juba elektrifitseeritud. Vesinik kui potentsiaalne tulevikukütus on täna veel arendamisel ning hetkel ei ole võimalik sellises mahus energiat näiteks rongidele anda, mida vahemaa läbimiseks vaja oleks. Täna on diisel ja bensiin kõige mugavamad kütuseelemendid, millega on võimalik käivitada nii suuri mootoreid nagu nendeks on rongide, veoautode ja laevade mootorid.</p>	<p>Diiselkütuse asemel võib näha palju alternatiive nendeks on fossiilsed lahendused (näiteks LNG, LPG, lisaks ka biometaan). Nende kütuse eelis on see, et nad on suhteliselt odavad ja infrastruktuuriga on ka päri hästi (maagaasivõrgustik on olemas) ja erineva sügavusega elektrifitseerimine (hübriid, täiselektriline, kaudne elektrifitseerimine kasutades vesinikku kui energiakandjat). Otsene elektrifitseerimine (akutehnoloogiat kasutades) on tunduvalt efektiivsem ja ka odavam (elektrivõrk on pea kõikjal olemas, lisaks on ka elekter suhteliselt odav ja elektrijami kasutegur on kõrge võrreldes siseõlemismootori kasuteguriga), kui vesinikutehnoloogia (puudub infra ja investeeeringud on kõrged). Kui rasketranspordi puhul kus läbitavad vahemaad ja veoste mass on suured hakkab vesinikulahendus muutuma atraktiivsemaks kuna tankimine saab toimuda väga lühikese aja jooksul (15 – 30 minutit vesiniku puhul vs kuni mitmed tunnid akulahenduse puhul) ja puht füüsiliselt on vesiniku ladustamine masina pardal väiksema kaaluga kui akud.</p>	<p>Täna juba veoautode ja laevade puhul on ennast tõestanud juba veeldatud maagaas ehk LNG. Pikemas perspektiivis võib kindlasti diiselkütuseid asendada ka vesinik. Majanduslikust aspektist vaadates peaks mis iganes tulevikukütus olema oma hinnalt konkurentsivõimeline täna kasutusel oleva diisliga. Täna kasutusel olev LNG, mis on oma hinna poolest juba täna diisliga konkurentsivõimeline nõuaks veoautode puhul 10-15% suuremat alginvesteeringut veoautosse, sest sellise kütuseelemendiga veoautod maksavad rohkem. Arvesse tuleb võtta ka seda, et veoauto peaks oma eluea jooksul selle lisainvesteeringu tasa teenima.</p>

<p><b>Mis on peamised suurimad takistused raskeveotranspordi jalajälje vähendamisel?</b></p>	<p>Üks suurimaid takistusi on kindlasti see, et ükski lahendus ei ole täna veel turul konkurentsivõimeline ilma väga suurte toetusteta, samuti ei suuda ükski tehnoloogia täna tagada piisava vahemaa läbimist. Akude puhul on murekoht aga see, et rasketele autodele tuleks lisada juurde veel suured ja rasked akud. Põhiline küsimus on see, et kas seda akut suudetakse teha kergemaks.</p>	<p>Suurimad takistused just täna kõige keskkonnasõbralikuma kütuse ehk biometaan puhul on see, et seda ressursi on piiratud koguses. Kogu transpordisektori nõudlust see kindlasti rahuldada ei suuda, kuid positiivset mõju transpordisektori heitmetele ta siiski annab. Takistuseks on veel see, et mitmed tehnoloogiad ei ole täna veel turul konkurentsivõimelised, näiteks vesinik ja akud. Vesiniku puhul on takistus kallis hind ning akude puhul raske kaal. LNG ei ole aga 100% süsinikneutraalne kütus, kuid on majanduslikult täna kõige otstarbekam.</p>	<p>Suurim takistus raskeveotranspordi jalajälje vähendamisel on see, et energiat on vaja saada sellisest taastuvast allikast nii palju kui seda raskeveotranspordi sektoris ka ära kasutatakse. See tähendab seda, et taastuvatest allikatest tuleb tagada varustuskindlus, et kui üks hetk raskeveotranspordi sektori nõudlus energia järele kasvab, siis on seda energiat kohe ka kuskilt võtta.</p>	<p>Number üks (1) põhjus on hind, nii aku- kui ka vesinikubussid on tunduvalt kallimad kui diisel või CNG alternatiivid, vesiniku puhul on ka vesiniku enda hind vähemalt täna väga kõrge (2) teiseks on infrastruktuur: elektriutode puhul on suuremahuliseks paigaldamiseks vaja väga suuri võimsusi (inimesed tahavad kiirelt laadida = väga võimsad), see probleem võimendub eriti kohtades nagu bussipargid, kus täna on tankimiseks ette nähtud õine aeg, ehk siis kogu bussipargi peaks laadima lühikese aja jooksul. Vesiniku puhul infrastruktuur praktiliselt puudub, isegi kui vesiniku sõiduk on olemas pole seda kuskil tankida ja vesiniku tanklal pole kliente. (3) vesiniku rasketranspordis on täna olemas vaid linnaliinibussid ja nende tarneajad on väga pikad (elektribusside kohta ei oska kommenteerida), vesiniku praame on vaid üks reaalselt olemas, ehk siis lõpptarbija tarnimine on problemaatiline.</p>	<p>Esimeseks teguriks on kindlasti see, et kus on võimalik seda alternatiivset kütust laadida. Vesiniku tankimine eeldaks täiesti uut infrastruktuuri, akude lahendus eeldaks veel rohkem kiirloomispunkte ning LNG eeldaks samuti infrastruktuuri laienemist, sest täna saab LNG-d tankida vaid ühes tanklas. Teiseks takistuseks on see, et diisliaktsiisi langetamine andis jälle eelise selle kasutamiseks ning tahaplaanile jäi alternatiivsete kütuste kasutuselevõtmine. Riik võiks lähitulevikus mõelda näiteks LNG veoautode ostmise osalist kompenseerimist. Kolmandaks on transpordiettevõtlus Eestis suhteliselt traditsiooniline ja mugav ning ettevõtteid ei ole valmis 5% suurema kasumlikkuse pärast vahetama oma autoparki välja alternatiivsetel kütustel sõitvate veoautode vastu.</p>
<p><b>Milliseid samme on Eestis täna juba tehtud raskeveotranspordi sektori jalajälje vähendamiseks?</b></p>	<p>Esimene näide oleks kindlasti Tallinki praamide LNG kasutamine. Üks näide oleks kindlasti ka saartevaheliste praamide elektrifitseerimine. Samuti ka linnabusside veogaas, milleks on kujunenud biometaan. Samuti ka kõik CNG (Compressed natural gas ingl.) ja LNG tanklad kuigi raskeveotranspordis veel seda väga palju ei</p>	<p>Alexela on järgmiseks aastaks valmis saamas Eesti esimest vesinikutanklat, kuhu kaasatakse ka paar Alexela veoautot pilootprojekti raames, mis vesiniku kütuse abil sõitma hakkavad. LNG on Eestis kasutusel juba mitmel laeval ning on näha seda, et LNG on teatud transpordisektorites Eestis</p>	<p>Eestis on täna raskeveotranspordis osa raudteedest elektrifitseeritud. Lisaks sellele on väljatöötamisel erinevad tehnoloogiad veoautodele. Naaberriikides, näiteks Soomes ja Rootsis on täna testimisel vesinikku kütuseallikana</p>	<p>Ei ole kursis.</p>	<p>Riik on toetanud ja kavatses veel toetada infrastruktuuri laiendamist. Toetuseid on jagatud näiteks erinevate LNG tanklate pilootprojektide jaoks. Samuti on läbi Euroopa Liidu fondide võimalik toetuseid taotleda.</p>

	<p>kasutada. LNG puhul on aga potentsiaal täiesti olemas. Eraldi tasuks välja tuua ka kogu Rail Balticu teema, et kas siis elektrifitseerimine või potentsiaalse vesiniku kasutamise võimaldamine ehk see infrastruktuur peaks sinna tekkima, kus oleks võimalik näiteks vesinikku laadida.</p>	<p>korralikult kanda kinnitanud. LNG on täna kasutusel ka mitmetel sõiduauto mudelitel, kuid raskeveotranspordis kasutatakse teda veel suhteliselt vähe, kuigi potentsiaali ka Eestis selle kasutamiseks on piisavalt. Samuti on ka paljud Tallinna linnaliinibussid täna kasutamas biometaani kütusena, mis on hetkel ekvivalentväärtusega kõige rohelisem kütus.</p>	<p>kasutavad veoautod ning ka elektrilised veoautod. Samuti on naaberriikides linnaliinibussid elektrilised, mis laevad igas peatuses umbes 30 sekundit, et selle energiaga järgmisesse peatusesse jõuda. Kui need tehnoloogiad ennast naaberriikides tõestavad, siis jõuavad nad varsti kindlasti ka Eestisse kasutusele.</p>		
<p><b>Milline raskeveotranspordi tehnoloogia on Teie arvates täna majanduslikult kõige konkurentsivõimelisem diiselkütustega, milline aga 5 aasta pärast?</b></p>	<p>Täna on majanduslikult kõige reaalsem alternatiiv LNG, sest hinna mõttes on see täna tunduvalt odavam kui teised tehnoloogiad. Kui LNG-le tekiks ka korralik infrastruktuur, siis kasutajaid tekiks kindlasti juurde. Viie aasta pärast hakkab elektri kasutus just lühimaatranspordis kasvama veelgi, eriti vahemaade puhul, mis jäävad alla 500 km. Kümne aasta pärast on aga suure tõenäosusega Eestis olemas esimene vesinikku kütusena kasutatav laev. Vesiniku kasutuselevõtt näiteks praamidele on otstarbekas ainult juhul kui vesinikku toodetakse Eestis, ideaalis isegi tanklale võimalikult lähedal. See taandub sisuliselt sellele, et peaks olema mingi odav energiaallikas, kust saaks elektrolüüsi protsessi käigus vesinikku toota. Eestis hakkab tuule- ja päikeseenergia arvelt odavat elektrit kindlasti tekkima, kuid kaheldav on see, et kas Eestisse</p>	<p>Majanduslikult kõige konkurentsivõimelisemad tehnoloogiad on kindlasti CNG ja LNG. Need tehnoloogiad on kasutusel olnud juba mõnda aega ning diiselkütustega võrreldes ei ole hind samuti kõrgem, küll aga keskkonnamõju on palju väiksem. Viie aasta pärast võiks loota, et ka vesinikuga on juba rohkem edukaid pilootprojekte läbi viidud ning ta on tõestanud end kui ühe kliimaeesmärkide täitmiseks kasutusele võetava kütusena. Viie aasta pärast tõenäoliselt on veel veidi vara loota, et vesinik juba masskasutuses oleks, kuid mingid arendused on selleks ajaks kindlasti juba tehtud. Mercedes lubas, et nemad tulevad turule esimese vesiniku veoautoga alles selle kümnendi lõpus. Tõenäoliselt ei suuda ka konkurendid just vesiniku veoautodega turule tulla varem kui 2028.</p>	<p>Täna on majanduslikult kõige konkurentsivõimelisem diiselkütustega kergliiklustranspordis kindlasti elektrilahendused, näiteks akud. Mis puudutab aga raskeveotransporti, siis tulenevalt sellest, et vahemaad on pikad ning akud kaaluvad palju, siis täna on kõige mugavam kasutada ikkagi diiselkütust. Tulevikus võiks raskeveotranspordis diiselkütuseid asendada kindlasti näiteks vesinik. Kuna vesinik on täna alles arengu järgus, siis peab ta ennast pilootprojektides veel tõestama efektiivse kütusena enne kui see masskasutusse jõuab. Tõenäoliselt selle kümnendi jooksul vesinik veel raskeveotranspordis domineerivaks</p>	<p>Täna on selleks maanteetranspordi puhul CNG (sh linnaliinibussid), kuigi CO2 emissioonide ei pruugi siin olla madalamad, kui diisli puhul. Raudteetranspordis on juba täna väga palju löike elektrifitseeritud (nn kontaktvõrguga), kus see end ära tasub (suure liiklusega lõikudel). Täna on ka diisel ja CNG hübriidid suhteliselt konkurentsivõimelised ja tammide trollide lisamine (kuigi trolliliine on vähendatud Tallinnas). 5 aasta pärast on linnaliinibusside seas tõenäoliselt kõige suurem alternatiivne osa CNG-l, kuigi CO2 see ei vähenda, siis on CNG põlemine puhtam ja palju muid heitmeid, mis diisli puhul emiteeritakse jääb ära ja linnaõhk muutub paremaks. Tõenäoliselt suureneb tunduvalt diisel/CNG hübriid lahenduste osakaal ja mingi väike osa saab olemas ka vesiniku ja akubussidel. Rakse on ennustada kas rohkem saab olema aku või vesinikubusse.</p>	<p>Täna on majanduslikult kõige konkurentsivõimelisem LNG. Kümne aasta pärast on LNG-l kindlasti ka oma koht, kuid kogu kütusesegment on kooslus erinevatest kütustest. Kogu kütusesegmendis on tõenäoliselt kümne aasta pärast esindatud LNG, akud, diisel ning väiksemal määral ka juba vesinik. Diisli kasutus kindlasti võrreldes tänasega väheneb, kuid kümne aasta pärast selle kasutamine täiesti ära kadunud ei ole.</p>

	lähitulevikus ka meretuulepark tekib.		kütuseelemendiks ei saa.		
<b>Millises raskeveotranspordi osas oleks mis tehnoloogiat kõige otstarbekam kasutada?</b>	<p>Päris puhast energiat täna ette kujutada on natuke liiga optimistlik. Nagu eelpool juba välja toodud, siis osade sektorite puhul nagu laevad ja praamid võib rääkida LNG-st, mis on täna ja järgnevad viis aastat majanduslikult kõige otstarbekam. LNG pole küll 100% süsinikneutraalne kütus, kuid majanduslikust aspektist on see tehnoloogia kõige otstarbekam. Akud superkondensaatoritega koos on suure tõenäosusega see, mis võib lähitulevikus veoautodele jõuda. Vesiniku masskasutusse jõudmist järgneva viie aasta jooksul on aga raske ette kujutada. Vesiniku kasutust võiks lähitulevikus ette kujutada ainult laevade puhul ning seda ka väiksemate otste läbimiseks, näiteks praamid, aga ka seda tõenäoliselt lähima viie aasta jooksul ei juhtu, kümne aasta perspektiivis aga juba võibolla. Kaubarongide puhul on vesiniku kütuse puhul aga küsimus selles, et kas suudetakse luua selline infrastruktuur, kus oleks rongidel võimalik vesinikku laadida. Venemaa suunalisel rongiliinil Tallinn-Narva tõenäoliselt vesinikuronge ei teki üldse, kui see tekib, siis see tekib Rail Balticu peale.</p>	<p>Rongide puhul võiks tulevikus kindlasti mõelda vesiniku kasutamisele. Vesinik nõuab suhteliselt suurt kütusepaaki ning rongidele see lisada oleks reaalne. Miinuspool sellel on aga see, et rongide puhul peaks vesiniku kasutusele võtmiseks välja töötama kogu infrastruktuuri ehk kus vesinikku toodetakse ning kus seda ka rongi tangitakse ning see võib kujuneda väga kulukaks. Laevade puhul, eelkõige just lühemaid vahemaid läbivate laevade puhul on kõige otstarbekam tehnoloogia LNG, mis on ka täna juba paljudes praamides ja laevades kasutusel. Veoautode puhul tulevikus võiks kindlasti kütusena kasutusel olla vesinik, kuid seda tõenäoliselt mitte lähima kümne aasta jooksul. Seni võiks laiendada LNG kasutus nii kaugele kui ressursid seda lubavad.</p>	<p>Mida kergem on transpordivahend, seda otstarbekam on kasutada akude lahendust. Seda eelkõige väiksemate autode ja kergliiklusvahendite puhul. Kaubikute ja veoautode puhul on kõige otstarbekam kasutada hübriidversioone, mis tähendab seda, et kütusena kasutatakse küll diisli, kuid sõiduk ise on hübriid nagu seda täna on paljud Toyota mudelid. Need sõidukid on välise laadimisvõimaluseta hübriidsõidukid, mis laevad ennast näiteks pidurdades. Selline süsteem on efektiivsem kui seda oleks ainult diiselmootor. Rongide puhul on täna mugavuse pärast kõige otstarbekam endiselt diiselmootor, kuid tulevikus miks mitte ka vesinik. Laevade puhul on täna juba laialdaselt kasutusel CNG, mis pole küll täiesti roheline kütus, kuid on ennast tõestanud kui efektiivne ning rohelisem kütus kui diiselmootor.</p>	<p>Superkondensaatorid sobivad vaid hübriidlahenduste jaoks ja on pigem toetava funktsiooniga mingile tehnoloogilisele lahendusele (diiselmootor, aku-elektri, vesiniku jne). Suure kilometraaži ja veomahtudega rakenduste puhul on vesinikuahendus otstarbekam kui akudega lahendus, kuna antud juhul on vajalik suhteliselt tiheda graafikuga ja suurte energiamahude „tankimine“.</p>	<p>Laevade osas on tulevikus, näiteks 5-10 aasta pärast tõenäoliselt kõige jõulisemalt kasutusel LNG. Praamidele sobiks ka elekter väga edukalt. Kasutades superkondensaatoreid võib praamiliikluse elektrifitseerimine kujuneda väga edukaks, sest vahemaad ei ole eriti pikad. Rongide LNG-le üle viimine võib kujuneda veidi problemaatiliseks. Rongide puhul aga võiks sobida lahenduseks elekter. Veoautodel on kümne aasta pärast kindlasti mitmeid kütuseid, mis kasutusel on. Kindlasti on esindatud LNG, akud ja vesinik ning 10 aasta pärast võiks olla neist kolmest veoautode puhul LNG kõige suuremas kaalus esindatud.</p>
<b>Millised on erinevate</b>	Vesiniku puhul on kaks põhilist puudust kindlasti	Vesiniku puudus täna on kindlasti see, et oma kalli	Akude puuduseks raskeveotranspordis on	Vesinik vs akud: 1. Infrastruktuur: akulahenduse	LNG puhul on küsimus selles, et kuidas see

<p><b>tehnoloogiate eelised ja puudused üksteisega võrreldes?</b></p>	<p>see, et ta on kallis ja ta on ohtlik. Vesiniku puhul tuleb tõenäoliselt veel nende probleemidega järgnevat 10-15 aastat tegeleda. Elektri kasutamise puhul on infrastruktuuri investering on suhteliselt keeruline ja kulukas, aga kui näiteks rongide puhul, kus seda on varasemalt tehtud, siis see toimib. Eestis üldiselt elektri kui kütuseelemendi kasutuselevõtt laieneb järkjärgult. Akude puhul on täna põhilised probleemid need, et akud kaaluvad liiga palju ning nende sõiduulatus on piiratud. Superkondensaatorite puhul on puudus see, et ta on tegelikult täienduseks akule, mis võimaldab kiiremini laadida. Ainult superkondensaatorite peal ükski sõiduk võimeline sõitma ei ole. Biogaasi puhul on puuduseks see, et maht on piiratud, muidu võiks teda rohkem kasutada, kuid gaasi ennast on suhteliselt vähe. LNG puhul on puudus see, et tegu on siiski fossiilset päritolu kütusega. Majanduslikust aspektist on LNG täna konkurentsivõimeline, aga keskkonna aspektist ja dekarboniseerimist silmas pidades ta efektiivne pikaajaline lahendus ei ole.</p>	<p>hinna tõttu ei ole ta majanduslikult konkurentsivõimeline. Lisaks sellele tuleks vesiniku puhul nullist üles ehitada kogu infrastruktuur. Selleks et vesinikku toota roheliselt, tuleks seda toota taastuvatest energiaallikatest ehk tuulest ja päikesest ning seda võimekust täna Eestis samuti lõputult ei ole. Vesiniku puhul tuleks arvesse võtta ka seda, et tuule- või päikeseenergiast vesinikku tootes on vesiniku lõplik kasutegur umbes 0,3, mis tähendab elektrolüüsi protsessi käigus ligi kolmekordset energiakadu, mis omakorda eeldab seda, et vesinikku oleks mõistlik toota ainult siis kui elektrienergia hind on väga madal ehk on kas väga tuuline või on väga palju päikest ning selle tulemusena jääb energiat üle. Akude puhul suurim puudus on see, et aku ise kaalub palju ning kui mõelda akude kasutust veoautodel rakseveotranspordis, siis sisuliselt peaks veoauto kandma koguaeg endaga kaasas rasket akut, mistõttu jääks koorem väiksemaks ning see ei oleks samuti otstarbekas. Lisaks sellele kuluks akude laadimisele pikk aeg ning maanteetranspordis ei oleks sellist aega, et tundide viisi kuskil peatuda ning akut laadida.</p>	<p>see, et akud ise kaaluvad nii palju, et neid ei ole veoautol otstarbekas koguaeg endaga kaasas vedada. Lisaks sellele on akude miinuseks veel see, et laadimiseks kulub aeg on liiga pikk. Vesiniku puuduseks on see, et täna on vesinikutehnoloogia veel liiga kallis. Lisaks sellele ei ole erinevad vesinikuga tehtud pilootprojektid kujunenud nii edukaks, et vesinik võiks asendada raskeveotranspordis diiselkütuseid. Vesiniku eeliseks on aga see, et kui näiteks kümne aasta pärast on selle hind odavam, siis on see palju vähem keskkonda saatavam kütus kui diisel või erinevad hübriidlahendused. Akude eelis on see, et akude puhul ei ole näiteks veoautodel vaja käike, vaid on ainult edaspidi ja tagurpidi käik nagu täna näiteks Tesladel.</p>	<p>puhul on infrastruktuur olemas, ehk siis elektrivõrk on peaaegu igal pool olemas ja lisama peab vaid suhteliselt madala maksumusega laadija. Vesiniku puhul on vajalik vesiniku tootmise üksus, logistika ja suhteliselt kõrge hinnasildiga tankla 2. tehnoloogia on akubusside puhul mõnevõrra odavam, kui vesinikubusside puhul, kuigi hinnad on mõlema puhul kukkumas ja aja jooksul jõuavad nad nii diiselbusside hinnale kui ka üksteisele (elekter vs vesinik) suure tõenäosusega väga lähedale. 3. elektribusside puhul on üldine kasutegur tunduvalt kõrgem ja seega kulub elektrit busi poolt läbitud kilomeetri kohta kuskil kaks korda vähem kui vesiniku puhul (elektrolüüseri kasutegur ~65% ja sõiduki kasutegur ~50%, akude puhul on see kasutegur suurusjärgus 80%). 3. Tankimise aeg on vesiniku puhul tunduvalt parem, 15 – 30 minutit versus mitmed tunnid. Kuid kui tankimise kiirus pole nii oluline, siis pikad laadimise ajad akubussidele miinuspunkte ei too. Superkondensaatorid tulevad pildile hübriidlahenduste puhul, kus nad kataksid ära väga suured koormused, mis on äärmiselt lühikese kestvusega ja efekt suures pildid on piiratud.</p>	<p>toodetud on. Täna tuuakse suur osa LNG-st sisse Venemaalt ning kui seal on see toodetud fossiilsetest kütustest, siis ka meie kasutajana ei ole just kõige süsinikneutraalsemad. Küsimus ongi selles, et kust saada tulevikust rohelist LNG-d. Vesiniku puhul peab tugevalt arenema kindlasti infrastruktuur ning selgeks peab saama ka see, kuidas lõpptarbija seda tarbida saab. Täna on vesiniku hind umbes 5-10x kallim kui gaasiliste kütuste hind. See eeldab vesiniku puhul ka selle hinna suurt langemist, et võiks rääkida vesinikust kui ka majanduslikult konkurentsivõimelisest kütusest. Elektri ja superkondensaatorite valdkond laieneb üsna kiiresti. Isegi Eestis on Skeleton Technologies, kes sellega aktiivselt tegeleb. Akude puhul on väga tähtis see, et kui pikk on tegelikult aku eluiga ning mis on selle sõiduulatus.</p>
---	---	--	---	---	---

## Lisa 2. Lihtlitsents

### **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Henri Sten Vainola

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Majanduslikult otstarbekad tehnoloogilised valikud raskeveotranspordi dekarboniseerimiseks,

mille juhendaja on Tarvo Niine,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

13.05.2021

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. jq 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.