

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EESTI MEREAKADEEMIA
Merenduskeskus

Hanna Liise Arge

VESINIK KUI ALTERNATIIVKÜTUS MERENDUSES JA SELLE TURUPERSPEKTIIVID EESTIS

Lõputöö

Juhendaja: MSc Tõnis Hunt

Tallinn 2021

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõikidele teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Hanna Liise Arge

.....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 178484VDSR

Üliõpilase e-posti aadress: argehanna@gmail.com

Juhendaja MSc Tõnis Hunt

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Marko Jürjoja

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

Sisukord

Annotatsioon.....	5
Sissejuhatus	6
1 KESKKONNAREGULATSIOONID	8
1.1 Rahvusvaheline mereorganisatsioon	9
1.2 Helsingi konventsioon	11
2 ÜLEVAADE TAVAPÄRASTEST JA ALTERNATIIVSETEST LAEVAKÜTUSELIIKIDEST.....	13
2.1 Vesinik kütusena.....	15
2.1.1 Tootmine.....	16
2.1.2 Hoiustamine ja ladustamine.....	17
2.1.3 Transport.....	18
2.1.4 Kütuse ja tehnoloogia hind.....	20
2.1.5 Vesiniku kasutamine merenduses.....	22
3 METOODILINE OSA.....	25
3.1 Eesmärk	25
3.2 Valim	26
4 TULEMUSTE ANALÜÜS	27
4.1 Vesinikkütuse turuperspektiivid intervjuude ja artiklite põhjal	27
4.1.1 Hetkeline kütuse turu seis.....	27
4.1.2 Keskkonnaregulatsioonide täitmine	28
4.1.3 Riigipoolne tugi	29
4.1.4 Vesinik kui alternatiivkütus merenduses.....	31
4.1.5 Vesiniktehnoloogia areng.....	32
4.1.6 Vesinikkütuse tuleviku prognoos	34
4.2 Järeldused ja ettepanekud	36
Kokkuvõte	38
Summary.....	40
Viidatud allikad	42
LISAD	46
Lisa 1. HELCOMI reostuskoormuse aruanne aastatel 1995-2014.....	46
Lisa 2. Elektrolüüsi teel toodetud vesiniku omahinna kujunemine 2030 ja 2050 a. ...	47

Lisa 3. Intervjuu küsimused.....	48
Lisa 4. Prognoositav vesinikvõrgustik Euroopas 2040. aastaks.....	50

Annotatsioon

Käesoleva lõputöö teema on „Vesinik kui alternatiivkütus merenduses ja selle turuperspektiivid Eestis“. Rahvusvaheline Mereorganisatsioon (IMO – *International Maritime Organization*) on vastu võtnud karmimad nõuded, et vähendada kasvuhoonegaase. Merendussektor on otsimas alternatiivseid lahendusi, et fossiilseid kütuseid asendada.

Käesoleva lõputöö eesmärk on analüüsida vesinikukütuse tulevikuperspektiive Eestis. Selle eesmärgi saavutamiseks tehakse ülevaade vesinikukütuse tehnoloogia tarneahelast. Autor kasutas kvalitatiivset uurimismeetodit ning viis läbi intervjuud ettevõtete ja spetsialistidega.

Analüüsitud tulemustes selgus, et ettevõtted on huvitatud leidma alternatiivseid lahendusi. Taastuenergiast toodetud vesinikukütusel on madal CO₂ tase, kuid hetkel vajab selline kütus tehnoloogia arengut, et sobida rahvusvaheliste liinilaevade kütuseks.

Autor teeb töö lõpus ka omapoolsed ettepanekud ning leiab, et Eestil on potentsiaali vesinikku toota ning on ka turgu, kui suudetakse protsess muuta kulutõhusaks. Selle saavutamiseks on vaja paika panna kindlad strateegilised eesmärgid ning teha palju teadustööd. Tulevikus võib vesinik olla üks variant, kuidas merenduses süsinikuemissiooni vähendada.

Võtmesõnad: vesinik, alternatiivkütus, kasvuhoonegaasid, kliimanetraalsus, MARPOL.

Sissejuhatus

Laevandussektor on pideva surve all, et vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid. Eestil on soodsa geograafilise asukoha tõttu konkurentsivõimelised sadamad ja kasutatakse mitmeid aktiivseid laevateid. Lisaks majanduslikule poolele on oluline vaadelda laevandust ka keskkonna aspektist. Riigil on vaja leida parim lahendus, kuidas majandada merd ja mereäärseid alasid nii, et see suurendaks riigi jõukust ja looks töökohti, aga samas tagaks hoitud merekeskkonna.

Rahvusvaheline Mereorganisatsioon kinnitas 2018. aastal kasvuhoonegaaside vähendamise strateegia ning võttis vastu karmimad nõuded. Kooskõlas Pariisi kliimakokkuleppega on peamised strateegilised eesmärgid järgmised:

- vähendada kasvuhoonegaaside heidet vähemalt 50% aastaks 2050, võrreldes 2008. aasta tasemega;
- lõpetada kasvuhoonegaaside emissioon 21. sajandi jooksul täielikult.

(Anspal jt 2020, 42)

Käesoleva lõputöö eesmärk on analüüsida vesinikukütuse turuperspektiive Eestis ning koguda selleks andmeid mitmetelt juhtidelt ja spetsialistidelt. Teema on ilmselgelt uudne, kuna vastav tehnoloogia on alles arendusjärgus ja ühtegi vesinikukütusega laeva, terminali või vesiniku tootmist Eestis ei eksisteeri. Vesinik kui alternatiivkütus merenduses on aktuaalne mitmel põhjusel: laevandussektor peab vähendama süsinikuemissiooni ning laevaomanikud otsivad alternatiivseid lahendusi nende nõuete täitmiseks. Autori hüpotees on, et vesinikukütusel on tulevikus Eesti turul perspektiivi ning selle abil saaks vähendada süsinikuemissiooni.

Käesoleva lõputöö uurimisülesanded:

- anda ülevaade vesinikukütuse tehnoloogia tarneahelast,
- hankida teema kohta adekvaatset informatsiooni,
- analüüsida valdkonna spetsialistide ja juhtide arvamusi,
- kvalitatiiivsest uuringust lähtuvalt vesiniku turuperspektiivi hindamine ja selle põhjal järelduste tegemine.

Lõputöös kasutati kvalitatiivset uurimismeetodit. Andmete kogumiseks viidi läbi intervjuud, mille valim koosnes sihtgrupi esindajatest. Uuritavateks olid kuus osapoolt: Tallinna Sadam AS, Tallink Grupp AS, Baltic Workboats AS, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Keskkonnaministeerium ja Eestis tegutsev kütusemüügiettevõtte. Samuti viidi täiendava info saamiseks läbi küsitlus TalTechi Eesti Mereakadeemia õppejõu Heino Punabiga.

Lõputöö on jagatud neljaks peatükiks. Esimeses peatükis keskendutakse keskkonnaregulatsioonidele. Selgitatakse nende olemust, vastu võetud keskkonnavalaseid seadusi ning nendega kaasnevate muudatuste mõju.

Töö teises osas antakse ülevaade tavapäraastest ja alternatiivsetest laevakütuseliikidest ning vesiniku tarneahelast. Käsitatakse vesinikutehnoloogiaga seotud tegevusi: tootmist, transportimist, ladustamist, hoiustamist, antakse ülevaade antud kütuse ja tehnoloogia hindadest ning kasutamisest merenduses.

Kolmandas peatükis kirjeldatakse metoodilist osa ning antakse ülevaade andmete kogumiseks kasutatud allikatest, analüüsimeetoditest ja valimist. Töö lõpuosas ehk analüüsivas peatükis analüüsitakse kogutud informatsiooni, tehakse järeldused ja esitatakse autoripoolsed ettepanekud.

1 KESKKONNAREGULATSIOONID

Transpordi energiavajadus kasvab pidevalt, seal kasutatavad fossiilsed kütused tõstavad süsinikuemissiooni taset ning selle tulemusena kasvab õhu saastatus ja kasvuhoonegaaside heide. Peamised kasvuhooneefekti põhjustavad gaasid on järgmised: süsihappegaas (CO₂), metaan (CH₄), diämmastikoksiid (N₂O), F-gaasid ehk fluoreeritud gaasid (HFC, PFC, SF₆ ja NF₃). Kõigist eeltoodud gaasidest on CO₂ põhiline kliima soojenemist põhjustav gaas, mis on kõige tavalisem põlemisprotsessi kaasprodukt. (Keskkonnaministeerium 2018) Vääveloksiidid SO₂ ja SO₃, kokku SO_x, satuvad väljalaskegaasidesse kütuses sisalduvast väävlisest. SO_x sisaldus heitgaasides on võrdeline kasutatava kütuse väävlisisalduse ja kütusekuluga, kuna kogu kütuses sisalduv väävel põleb vääveloksiidideks. Lämmastikoksiidid N₂O, NO ja NO₂, mida kokku tähistatakse NO_x, moodustavad keskmiselt poole heitgaasides sisalduvatest kahjulikest lisanditest. Põhilisteks mootorist väljuvateks lämmastikoksiidide gaasideks on umbes 95% ulatuses NO ja 5% ulatuses NO₂, kuid N₂O osakaal on väike. (Punab, Kask 2016)

Alternatiivkütuste kasutuselevõtt laevanduses on viimasel ajal hoogu juurde saanud, põhjuseks erinevad regulatsioonid. Kõige olulisem on rahvusvaheline laevade põhjustatava merereostuse vältimise konventsiooni (MARPOL – *International Convention for the Prevention of Pollution From Ships*) VI lisa. See konventsioon on ka aluseks Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiividele 2012/33/EL ja 2016/80/EL, et kehtestatud normid oleksid MARPOL-i VI lisaga kooskõlas. Nende tulemusel hakkasid Läänemere piirkonnas kehtima rangemad keskkonnanõuded laevaliiklusest tingitud heitmetele. (Alternatiivkütuste taristu tegevuskava 2017) Karmimad regulatsioonid on ka peamine põhjus, miks laevaomanikud on hakanud soovima ehitajatelt keskkonnasõbralikumaid laevu. Regulatsioonidele on raske vastata, kui kasutatakse edasi tavapäraseid laevamootoreid. Fossiilsete kütuste kasutamiseks peab laevadele paigaldama täiendavad seadmed, mis vähendaksid heitmeid. Kuna sellised seadmed on kallid, sobivad selle asenduseks alternatiivkütused. (Transpordi ja liikuvuse arengukava... 2020)

Keskkonnateema puudutab kõiki elanikke, kuna kütuse põletamisel tekivad lenduvad heitmed nagu sulfaadi ning nitraadi peenosakesed ja tahm, mille sissehingamine mõjub

inimese tervisele kahjulikult. Need osakesed on nii pisikesed, et jõuavad kopsudest verre. Vereringes võivad nad vallandada põletikke, mis võivad põhjustada kopsu- ja südamepuudulikkust. (Transport & Environment 2021)

Lisaks inimese tervisele mõjutab suur väävlisisaldus ka loodust ning tekitab happevihmasid. See mõjub halvasti tundlikele ökosüsteemidele, vähendab bioloogilist mitmekesisust ning kahjustab taimekasvatust ja metsi. Linnades võivad happevihmad oluliselt kahjustada ehitisi ja arhitektuuripärandit. Õhusaaste suur probleem paljude sadamalinnade jaoks, kus kai ääres seisvad laevad rikuvad õhukvaliteeti. (Riigi Teataja 2014)

Rääkides konkreetselt Läänemere piirkonnast, siis on see meri väga vastuvõtlik keskkonnamuutustele. Ookeaniga on Läänemeri ühendatud üksnes kitsaste ja madalate Sundi ja Beldi väinade kaudu. Piiratud veevahetuse tõttu püsib Läänemeres sama vesi koos igasuguste selles sisalduvate orgaaniliste ja anorgaaniliste ainetega ligikaudu 25 aastat. (Merekeskkonna kaitse 2018) Seega on karmimad regulatsioonid kõnealuses piirkonnas õigustatud.

1.1 Rahvusvaheline mereorganisatsioon

Rahvusvaheline mereorganisatsioon on paika pannud, kui palju maksimaalselt võib õhku paisata väävli- ja lämmastikuemissioone. IMO ülesanne on edendada meresõiduohutust ja vältida merereostust. Selle peamiseks konventsiooniks on rahvusvaheline laevade põhjustatava merereostuse vältimise konventsioon. (IMO 2019a) MARPOL-i lisa VI määrab ära laevade heitgaaside vääveloksiidi (SO_x) ja lämmastikoksiidi (NO_x) piirnормid. MARPOL-i muudetud VI lisa jõustus 1. juulil 2010. (Euroopa Liidu Teataja 2016)

Heitmekontrolli piirkonnaks (*Emission Control Area – ECA*) nimetatakse mereala piirkonda, kus on nõutav eriliste kohustuslike meetmete rakendamine keskkonna säästmiseks (joonis 1). Selle eesmärk on vältida, vähendada ja kontrollida õhusaastet NO_x või SO_x ja tahkete osakestega või kõiki kolme tüüpi heitmetega ning hinnata

nendega kaasnevaid kahjulikke mõjusid inimeste tervisele ja keskkonnale. (Riigi Teataja 2014)



Joonis 1. Kehtestatud ja plaanitavad ECA kontrollalad

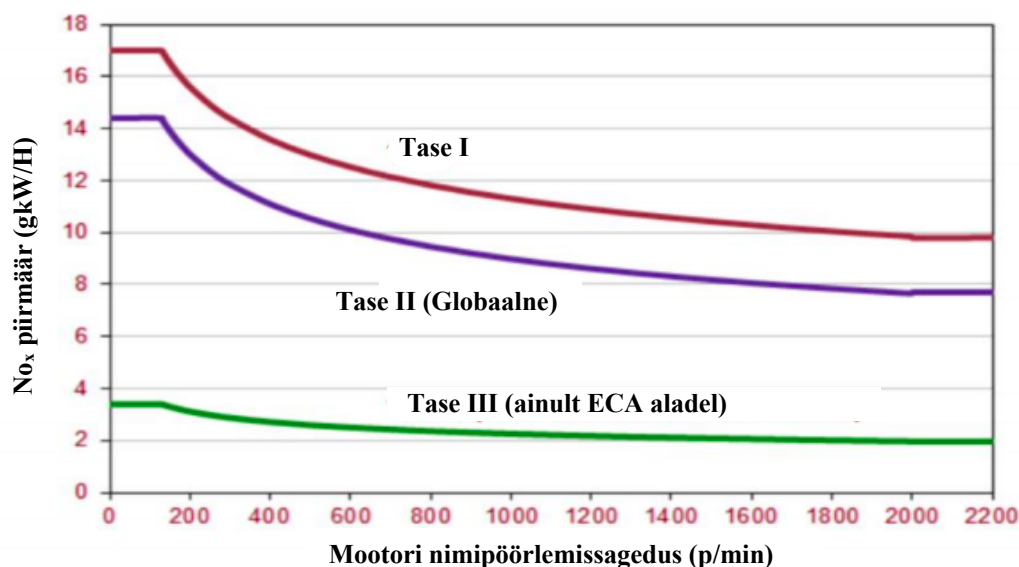
Allikas: (FuelsEurope 2020)

ECA piirkonnas kehtib laevakütuse väävlisisalduse nõue 0,10% alates 1. jaanuarist 2015. Need karmimad nõuded kehtivad praegu Läänemeres, Põhjamerel, Inglise kanalis ja 200 meremiili ulatuses USA ja Kanada rannikust. Väljaspool Euroopa Liitu asuvatel merealadel kehtib 0,50% alates 1. jaanuarist 2020. Lühiajal plaanitakse lisada ECA-le aktiivseid merekoridore, näiteks Iiri ja Norra merel, Vahemerel ning Jaapani rannikul. (FuelsEurope 2020)

Lämmastikoksiidi heitmete nõuded on sätestatud MARPOL-i VI lisas diiselmootoritele võimsusega üle 130 kW. Olenevalt laeva ehitusaastast on määratud erinevad tasemed, millele mootor peab vastama ning mille väärtus sõltub mootori nimipöörlemissagedustest (engine's rated speed) (joonis 2). (IMO 2019b)

I taseme standardid kehtivad laevadele, mis on ehitatud peale 1. jaanuari 2000. 1. jaanuarist 2011 võeti ülemaailmselt kasutusele II taseme normid. Tase III kehtib laevadele, mis opereerivad ainult ECA alas, väljaspool seda ala kehtib tase II. Taseme III NOx piirnormid on omakorda jaotatud sõltuvalt ECA piirkonnast. 1. jaanuarist 2016 kehtivad karmimad NOx heitmete nõuded Põhja-Ameerika ja USA Kariibi mere

piirkonnas ja alates 1. jaanuarist 2021 hakkasid kehtima III taseme piirnormid ka Läänemere ning Põhjamere piirkonnas. (IMO 2019b)



Joonis 2. MARPOL VI NOx piirangud

Allikas: (Rata jt 2017)

Meretranspordi kütuse kogutarbimine ja emissioon on olnud ikkagi kasvutrendis. 2018. aastaks võrreldes 1990. aastaga on sektori kütusetarbimisest tekkinud heitmete kogus suurenenud järgmiselt: NOx 55,8%, CO 72,9%, kuid SO₂ heide on vähenenud 46,4%. Viimase numbri vähenemine on tingitud väävlidirektiivi regulatsioonist. 2018. aastal moodustas merendussektorist pärinev heide koguheitmesse järgmise osa: NOx – 22% ja SO₂ – 4,5%, teiste saasteainete hulk jäi väiksemaks. (Transpordi ja liikuvuse arengukava... 2020)

1.2 Helsingi konventsioon

Helsingi konventsioon (*Helsinki Commission* – HELCOM) on Läänemere piirkonna merekeskkonna kaitse konventsioon (*Baltic Marine Environment Protection Commission*). Algselt allkirjastasid selle seitse Läänemere rannikuriiki 1974. aastal, et püüda lahendada inimtegevuse tõttu kasvavaid keskkonnaprobleeme. Aastal 1992 seda dokumenti uuendati ja alla kirjutasid Taani, Eesti, Soome, Saksamaa, Läti, Leedu, Poola, Venemaa, Rootsi ja Euroopa Liit. Helsingi konventsioon kaitseb Läänemerd igasuguste

reostusallikate eest maal, õhus ja merel. Lepingupoolel peavad täitma kaitsemeetmeid, et säilitada elupaiku ja elustiku mitmekesisust. (HELCOM 2021c)

Üheks suuremaks probleemiks Läänemere ökosüsteemi jaoks on eutrofeerumine. Selle probleemi leevendamiseks on HELCOM-i riigid kokku leppinud koostöös, et mõõta ja hinnata saastekoormuse andmeid. Peamised saasteallikad on lämmastik ja fosfor, mis põhjustavad vetikaliikide vohamist, elustiku vaesumist ning veekogude kinnikasvamist. HELCOM-i aruandes on hinnatud ja võrreldud aastatel 1995, 2000, 2006 ja 2014 lämmastiku- ja fosforiheitmete koguseid Läänemeres (vt lisa 1). (Sonesten jt 2018). Läänemere piirkonnas on heitmed aasta-aastalt vähenenud, kuid hinnatud aastatel head keskkonnaseisundit ei saavutatud. HELCOM on hinnanud, et saasteainete aastane maksimaalne sissevool on 21 000 tonni fosforit ja umbes 600 000 tonni lämmastikku. Uue perioodi hindamist alustati aastal 2017 ning see kestab 2021. aastani. Lähiaastate reostuskoormuse tulemusel oleks võimalik reaalselt hinnata karmimate keskkonnaregulatsioonide mõju. (HELCOM 2021a)

2 ÜLEVAADE TAVAPÄRASTEST JA ALTERNATIIVSETEST LAEVAKÜTUSELIIKIDEST

Veetransport on üks vanimaid transpordiliike maailmas. Praegusel hetkel moodustavad laevakütused globaalsetest inimtekkelise süsihappegaasi (CO₂) heitmetest umbes 3 protsenti (DNV GL 2019). Tänapäeval kasutab enamik laevu naftast toodetud kütust. Suurenenud vajadusest keskkonda säästa on hakatud tavapäraste kütuste kõrval arendama alternatiivseid kütuseid nagu veeldatud maagaas, naftagaas, metanool ja vesinik. Uute kütuste kasutuselevõtt peab tagama puhtama põletamisprotsessi, et kinni pidada vajalikest MARPOL VI regulatsioonidest.

Raske kütteõli (HFO) (*heavy fuel oil*) on praegu kõige enam kasutatav laevakütus. Peaaegu kõik keskmise ja väikese kiirusega laevade diiselmootorid on mõeldud raske kütteõli jaoks. HFO-d iseloomustab eriti suur viskoossus ja tihedus. Kütus on musta värvi. (Oiltanking 2021)

Laeva kütteõli (MGO) (*marine gasoil*) koosneb tavaliselt erinevate destillaatide segust. MGO on sarnane diislikütusega, kuid sellel on suurem tihedus. Erinevalt raskest kütteõlist (HFO) ei pea MGO-d ladustamise ajal kuumutama. Seda kasutatakse nii väikese ja keskmise kiirusega laevade kui ka kiirlaevade mootorites ja masinates. Võrreldes HFO hinnaga on MGO oluliselt kallim ning sellepärast ei kasutata seda merendussektoris eriti laialt. (Marquard & Bahls 2021)

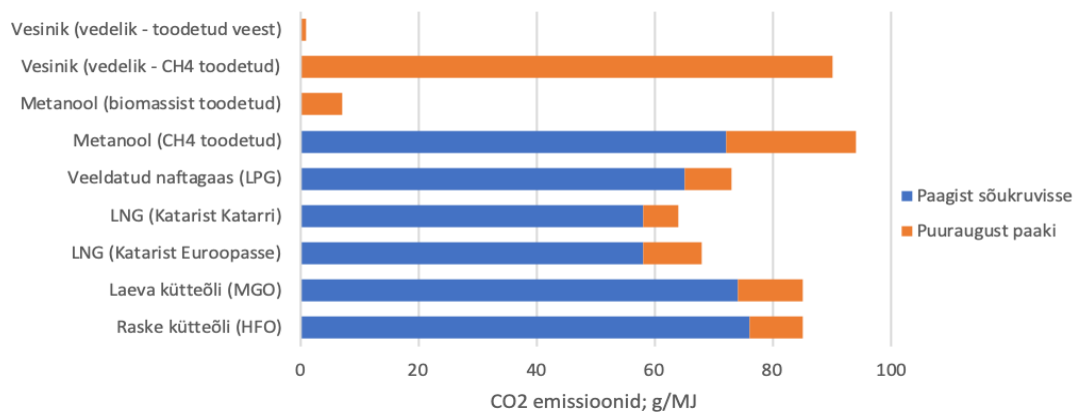
Veeldatud maagaas (LNG) (*liquid natural gas*) on lõhnatu, värvusetu ja mittetoksiline vedelik, mille saamiseks alandatakse temperatuur -162 kraadini. Jahutamisprotsessis väheneb ruumala umbes 600 korda, mis muudab ladustamise ja transportimise lihtsamaks ja turvalisemaks. Vedelas olekus LNG ei sütti. (Shell 2021) Võrreldes tavapäraste laevakütustega, on LNG CO₂ heide ca 25% väiksem ning vähendab nii vääveloksiidi kui ka lämmastikoksiidi heidet. Miinuseks on, et veeldatud maagaasi transpordil ja kasutamisel lekib atmosfääri metaani, mis on väga tugeva mõjuga kasvuhooonegaas. Võrreldes senise olukorraga, on see edasiminekuks, kuid mitte lõplik lahendus kahjulike emissioonide osas. (Anspal jt 2020, 43)

Veeldatud naftagaas (LPG) (*liquefied petroleum gas*) on segu peamiselt propaanist ja butaanist, milles on ka propüleen, büteleen ja muid süsivesikuid. LPG-d tuleb hoida surve all, et ta püsiks vedelas olekus. (Demirbas 2002) Selle kütuse heitmed peaaegu ei sisalda väevliühendeid. LPG vähendab kasvuhoonegaase umbes 17% võrreldes HFO ja MGO põletamisega. Veeldatud naftagaasi pealt on võimalik üle minna ammoniaagipõhisele kütusele, kuna süsteemid ja paakides kasutatavad materjalid enamasti sobivad ammoniaagile. (Späth 2019)

Metanool (CH₃OH) on hõlpsasti kättesaadav kogu maailmas; igal aastal toodetakse seda üle 70 miljoni tonni. See on väga sarnane tavapärastele kütustele (nagu HFO), kuna on loomulikus olekus vedel. See tähendab, et metanoolile üleminekuks on vaja teha ainult väikseid muudatusi ladustamisel, punkerdamisel ja transportimisel. Investeeringuvajadus on metanooli puhul palju väiksem, võrreldes teiste alternatiivkütustega, näiteks LNG-ga, mida on vaja lisaks ka veeldada. (Andersson, Salazar 2015) Metanooli toodetakse peamiselt maagaasist, mille koguheide on isegi suurem kui tavapäraste kütuste puhul. Biomassist toodetud metanooli puhul on võimalik märkimisväärselt vähendada heitkogust. (Anspal jt 2020, 43–44)

Joonis 3 iseloomustab erinevate kütuste CO₂ jalajälge. Kõigist joonisel nimetatud fossiilsetest kütustest kaasneb LNG kasutamisega kõige vähem süsinikdioksiidi. Arvesse peab võtma, et LNG kasutamisel lekib metaani, mis võib vähendada selle kütuse eelised võrreldes HFO ja MGO-ga. Metaanil on 25–30 korda suurem võime tekitada kasvuhooneefekti kui süsihappegaasil. Kuid tootjad kinnitavad, et suudavad välja arendada sellise mootori, millel on väga madal metaani leke ning mille emissioon vastaks joonise 1 andmetele. (DNV GL 2019)

Joonisel 3 on välja toodud CO₂ erinevused sõltuvalt LNG kasutamise asukohast. Kui võrrelda LNG tarbimist tootmispaigale väga lähedal asuvas Kataris või kui seda kasutatakse Euroopas, siis veeldatud maagaasi transportimine ei suurenda oluliselt CO₂ jalajälge.



Joonis 3. Erinevate kütuste CO₂ emissioonid

Allikas: (DNV GL 2019)

Kõige suuremat CO₂ heidet tekitavad kütused on metaanist (CH₄) tootud vesinik ja metanool. Need numbrid ületavad isegi HFO ja MGO emissiooni taset. Kõige suurema erinevuse toob taastuva energia kasutamine vesiniku ja metanooli puhul. Kui vesinik on tootud veest, siis on heitkoguse tase väga madal. Seega võiks vesinik olla laevanduse tulevikukütus.

2.1 Vesinik kütusena

Vesiniku kui kütuseelemendi kasutuselevõtt on mitmete ettevõtete tulevikuperspektiiv. Vesinikul on suur potentsiaal vähendada globaalselt süsinikdioksiidi. Vesinik (H₂) on kõige enam levinud element universumis, seega võib see tulevikus mängida olulist rolli kogu energiasüsteemi kontekstis. Sellele nähakse suurt potentsiaali laevanduses, kus on rohke energiatarbimine.

Antud peatükk seletab alapeatükkidena lahti vesiniku tarneahela erinevad osad. Tarneahel algab vesiniku olemusest. Selgitatakse tootmise võimalusi, mis hõlmavad halli, sinise ja rohelise vesiniku tootmise erinevusi. Järgmisena selgitatakse vesiniku hoiustamise ja ladustamise võimalusi erinevates olekutes (gaasiline ja vedel). Lisaks tuuakse välja vesinikukütuse tehnoloogia, kütuse prognoositav hind ning selle kasutamise võimalused merendusvaldkonnas.

2.1.1 Tootmine

Vesinik on kõige väiksema aatommassiga element. Suure Paugu tulemusel tekkis peamiselt vesinik ning element paikneb perioodilisustabelis esimesel kohal. Normaalingimustel on see värvitu, lõhnatu ja mittemürgine gaas. Vesinikku esineb Maal väga harva puhtal kujul, enamasti leidub seda keemiliselt seotuna. Kõige suurem osa vesinikust on vee koostises (H₂O). (Adolf jt 2017) Vesinikku saab toota erinevatel viisidel, nagu on näidatud tabelis 1.

Tabel 1. Vesiniku tootmise võimalused

Tooraine	Vesiniku tootmise meetod	CO ₂ heite mõõde	Vesiniku värvus
Maagaas	Reformimine	Kõrge CO ₂	Hall vesinik
Süsi	Gaasitamine	CO ₂ maa-alused hoidlad	Sinine vesinik
Elekter + vesi	Elektrolüüs	Puudub CO ₂ heide	Roheline vesinik
Biomass	Gaasitamine või biomassi reformimine	Puudub CO ₂ heide	Roheline vesinik

Allikas: (DNV GL 2019)

Vesinikku peab esmalt tootma, seda ei saa lihtsalt valmiskujul maa seest ammutada. Tootmise viisi ja päritolu järgi saab vesiniku jagada kolmeks rühmaks. Kõige saastavam viis vesinikku toota on fossiilsetest kütustest, näiteks maagaasist. Seda nimetatakse halliks vesinikuks, kuna tegemist on märkimisväärse CO₂ allikaga. (Anspal jt 2020, 44) Maagaasi reformimise teel toodetakse tänapäeval enamik vesinikust (kogu maailmas toodetud vesinikust umbkaudu 75%); 23% toodetakse kivisööst (Agabus jt 2020).

Sinine vesinik on eelmisest keskkonnasõbralikum. Selle tootmisel ei lasta CO₂ lenduda atmosfääri, vaid see püütakse kinni ja ladustatakse maa-alustes hoidlates. Sinise vesiniku tootmise areng on olnud aeglane, kuna ei ole veel ehitatud sellise tehnoloogiaga suuremahulisi tehaseid. Niisugused tehased tagaks arvatavasti ka sinise vesiniku hinna langemise. (Farmer 2020)

Kolmas viis vesinikku toota on taastuenergiast, näiteks tuulest või päikesest. Seda viisi nimetatakse rohelisteks vesinikuks, kuna puudub CO₂ heide. Tootmiseks on vaja vett ja

elektrit ning vesinik saadakse elektrolüüsi teel. Elektrolüüs on keemiline reaktsioon, mille käigus elektrienergia abil eraldatakse vesi kaheks koostisosaks, vesinikuks ja hapnikuks. Algselt taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrienergia kasutamine muudabki selle vabaks CO₂ heitmest. (Farmer 2020) Elektrolüüsi abil tootmine on tänapäeval tuntud tehnoloogia ja sobib kohalikuks tootmiseks, näiteks sadamates, kui on olemas piisavalt elektrienergiat (DNV GL 2019). Teine roheline viis on kasutada biomassi, mis koosneb põllumajanduse ja metsasaaduste jäägist, samuti võib kasutada vilja või prügi gaasitamist (Lillepõld 2014).

2.1.2 Hoiustamine ja ladustamine

Vesiniku hoiustamine ja ladustamine sõltub selle molekuli füüsikalistest omadustest. Vesinikku on võimalik hoiustada metallides, kõrgsurvepaakides, veeldatult ja maa-alustes tühimikes. (Agabus jt 2020)

Vesiniku hoiustamine metallides keemiliste sidemete abil on üks praktilisemaid lahendusi selle aine salvestamisel. Võimalik on kasutada näiteks magneesiumhüdriidi (MgH₂), naatriumhüdriidi (NaH) ja kaltsiumhüdriidi (CaH₂). Magneesiumhüdriidi kasutamisel on mitmeid häid omadusi, näiteks on selle abil võimalik salvestada võrdlemisi suurt vesinikukogust ning magneesium on odav, kättesaadav ja väikese eritihedusega. Puudusena võib välja tuua keemilistest eripäradest tingitud pikka vesiniku laadimise aega magneesiumisse ja ka lisaenergiakulu vesiniku eraldamisel magneesiumist. (Agabus jt 2020)

Vedelat vesinikku on võimalik paremini hoiustada kui gaasilist, aga see on energiamahukam. Vesinik veeldub väga madalal temperatuuril (alla -253 °C), nõudes seega keerukaid tehnilisi lahendusi ja lisakulusid. Veeldamine suurendab vesiniku tihedust umbes 800 korda. See on oluline ladustamisel, sest ladustamise maht vastavalt kahaneb. (Adolf jt 2017) Vesinikku on väga keeruline hoiustada, kuna selle molekulid on väga väikesed. See tähendab, et vesinik võib hajuda mitmete materjalide, sealhulgas metalli kaudu teise keskkonda. Ladustamisel nõuab vesinik spetsiaalsete materjalide kasutamist ning on vaja mahuteid isoleerida. Mahutitel on tavaliselt topeltsein, milles on vaakumpump seesmise ja välimise seina vahel, mis aitab rõhku reguleerida. Sellist

süsteemi kasutatakse tänapäeval kosmoseettevõtetes ning suurim mahuti asub Kennedy kosmosekeskuses, mis mahutab umbes 3800 m³ vedelat vesinikku. (Adolf jt 2017)

Gaasilise vesiniku hoiustamine sõltub rõhust. Kõrge rõhk seab mahutitele rangemad nõuded seinte paksuse ja materjali osas, milleks sobivad ainult spetsiaalsed terased ja komposiitmaterjalid. Minevikus on olnud õnnetusi mahutitega, kus teras on pragunenud. Praeguseks on standardeid ja määrusi karmistatud ja õnnetusjuhtumite sagedus on peaaegu olematu. (Lillepõld 2014)

Kui eeltoodud ladustamissüsteeme on võimalik ehitada igale poole, siis maa-aluste tühimike kasutamise võimalikkus oleneb suuresti kohalikest tingimustest. Hoiustamiseks sobivad näiteks ammendunud maagaasimaardlad ning soola- ja kivikoopad (*salt caverns, rock caverns*). (Agabus jt 2020) Maa-aluseid tühimikke on kasutatud mitmeid aastaid maagaasi ja naftasaaduste hoidmiseks, kuid vesiniku jaoks eksisteerib selline lahendus ainult mõnes kohas USA-s ja Euroopas (Adolf jt 2017).

Hoiustamisel ja ladustamisel peab tähelepanu pöörama ka ohutusele. Vesinik on põlev gaas ehk gaas võib õhuga moodustada plahvatusohtliku segu. Ainult vesinik ise ei ole plahvatusohtlik, isesüttiv või oksüdeeruv. Selleks et vesinik põleda saaks, on vaja oksüdeerijat (õhk/hapnik) ja süüteallikat. Turvalise ladustamise puhul tuleb vältida süüteallikaid, vesinikusurvepaagid peaksid olema varustatud kaitseklappidega ja kõrge ohutusvaruga. (Adolf jt 2017) Kui vesinikku hoiustatakse kinnises ruumis, on igasugune vesinikuleke murettekitav. Inimene ei ole võimeline vesinikku tuvastama ja see võib süttida õhus väga laia kontsentratsiooni vahemikus. Pealegi põleb vesinik kahvatusinise leegiga, mis ei ole päevavalguses nähtav ning puudub ka suits. Seega peaks suletud ruumis olema hea ventilatsioon ja õhutus. (Agabus jt 2020)

2.1.3 Transport

Vesinikku on võimalik transportida kokkusurutult gaasilises või vedelas olekus. Peamised transportimise viisid on veoautoga, tankeriga ja gaasitorude kaudu. Käesoleval hetkel puudub puhta vesiniku jaoks laialdane transpordisüsteem, eksisteerivad üksnes lokaalsed lahendused torujuhtmete või maanteetranspordi kujul (Agabus jt 2020).

Kokkusurutud gaasilise vesiniku suure koguse transportimiseks kasutatakse silindreid või torusid. Need on ladustatud veoautode peale, millel on ümber kaitsev raam (joonis 4). Torud on tehtud tavaliselt terasest ning nendel on suur netokaal. Maanteetranspordi puhul on oluline järgida kaaluga seotud veopiiranguid. Samuti mängib transportimises rolli vesiniku väike tihedus. Normaalingimustel on vesiniku tihedus $0,0899 \text{ kg/m}^3$ ning kui suurendada rõhku, siis tõuseb ka tihedus. Sõltuvalt rõhust ja materjalist suudab üks veoauto vedada umbes 500 kg vesinikku. (Adolf jt 2017) Tänapäeval on kasutusele võetud materjale, mis asendavad rasket terast. Näiteks alumiinium on palju kergem ning seda on tugevdatud erinevate komposiitmaterjalidega, näiteks süsinikkiududega (Lillepõld 2014).



Joonis 4. Gaasilise vesiniku transport veoautoga

Allikas: (Renewable Energy Focus 2014)

Alternatiivina gaasile on võimalik transportida vesinikku ka veeldatud kujul (joonis 5). Selle eeliseks on suuremate koguste transportimine, kuna veeldatud vesinikul on suurem tihedus kui gaasilisel vesinikul. Vedeliku transportimiseks mõeldud veokid võivad mahutada umbes 4000 kg vesinikku. Samuti on võimalik transportida mere- ja raudtee kaudu, kui on sobivad vee- ja raudteed ning terminalid. (Adolf jt 2017) Vesiniku transportimiseks mõeldud tankerid on sarnased LNG omadega, kuid vesinikumahutitel peab olema parem isolatsioon, et vältida aurustumist (Lillepõld 2014).



Joonis 5. Veeldatud vesiniku transport veoautoga

Allikas: (Chart)

Gaasitorusid peetakse üheks parimaks võimaluseks suure koguse vesiniku transportimiseks. Miinuseks on toruvõrgustiku rajamiseks vajalik suur investeering. Selline investeering võib ära tasuda ainult siis, kui vesinikku transporditakse suurtes kogustes. (Adolf jt 2017)

Üle maailma on spetsiaalseid vesinikutorude võrgustike üle 4500 kilomeetri, millest enamikku opereerivad vesiniku tootjad. Euroopas on kõige pikem vesinikutoru Belgias (605 km), samuti on neid Saksamaal (376 km), Prantsusmaal (303 km) ja Hollandis (237 km). Teine võimalus on kasutada ja arendada kohalikku maagaasi jaoks mõeldud torude võrgustikku, mida on võimalik hakata ühendama teiste piirkondade torustikega. Mõned riigid on kaalunud võimalust lisada 5–15% vesinikku olemasolevatesse maagaasivõrkudesse. Selline kogus ei mõjuta negatiivselt lõppkasutajat ega torude infrastruktuuri. Suurema koguse vesiniku lisamine nõuaks seadmete ümberehitamist, mis läheks kalliks maksma. (Adolf jt 2017)

2.1.4 Kütuse ja tehnoloogia hind

Üheks oluliseks faktoriks uue tehnoloogia kasutuselevõtu juures on selle hind. Vesinikukütuse infrastruktuuri ehitamine nõuab suurt investeeringut ja algkapitali. Kuigi keskkonna aspektist on vesinikul suur eelis, on hetkel selle kütuse hind kõrge. Tuleb saavutada suuremahuline tootmine, et roheline vesiniku kilogrammi hind oleks 2–3 eurot (Noordelike Innovation Board 2017). FCH JU (*Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking*) on avaliku ja erasektori partnerlus Euroopa komisjoni ja tööstusettevõtte

vahel. Nad on seadnud eesmärgiks, et vesiniku jaehind oleks 4,5–7 eurot/kg aastaks 2025. Mitmed teised uuringud ennustavad jaehinna järk-järgulist langust ning arvavad, et aastaks 2030 on hind umbes 5–7 eurot/kg. (Jovan, Dolanc 2020)

Vesinikukütuse hinna kujunemist võib võrrelda LNG-ga (joonis 6). Mitmete aastate vältel on LNG odavamaks läinud, kuna tehnoloogia on arenenud ja suudetakse rohkem toota. Selline areng on turul tekitanud veeldatud maagaasi ülepakkumise, mis on kaasa toonud pikaajalise hinnalanguse. Konkurentsivõimeline hind tähendab laevanduses suurt kasvupotentsiaali ja aina rohkem on ehitatud LNG-laevu. Maagaasi taristu areng mängib väga olulist rolli vesinikutehnoloogia arengus, kuna vesiniku ja maagaasi käitlemine on sarnane. (Tooming 2020)



Joonis 6. LNG kütuse hind dollarites

Allikas: (Macrotrends 2021)

Infrastruktuuri hind sõltub mitmest faktorist: asukoht, suurus, kohalikud tingimused. Kütuse hind sõltub lisaks eelmainitutele ka jaotamise hinnast ja transpordist. Konkurentsiga seotud põhjustel ei avaldata kulude andmeid ning need on konfidentsiaalsed. Eeldada võib, et mootori hind on sarnane sellega, mis kasutab LNG kütust. Hoiustamiseks kasutatavad mahutid laevades on tõenäolisemalt kallimad kui LNG mahutid, kuna on vaja madalamat temperatuuri ning paremat isoleeritust, ka on merenduses vesinikuga vähe kogemusi. (Adolf jt 2017)

Elektrolüüserite ehitushindade prognoosid tulevikuks on märkimisväärselt ebamäärased. Kõige madalam oleks tootmise hind siis, kui vesiniku toodetak kohapeal. See tähendaks, et jaotuskulud oleksid marginaalsed. Tehnikaülikooli poolt tehtud uuring on prognoosinud elektrolüüsi teel toodetud vesiniku omahinna kujunemist aastaks 2030 ja 2050 (Agabus jt 2020). Selles arvutuses on hinnatud kolme tehnoloogia investeringukulu, hoolduskulu ja sisendelektrienergia hinna kulukomponentide väärtust väljundvesiniku energiaühiku kohta (vt lisa 2). Oletatav hind sõltub tehnoloogiast ning 2030. aastal peaks omahind jääma vahemikku umbes 45–62 eurot/MWh ja 2050. aastaks olema hinnanguliselt 37–41 eurot/MWh.

Olemasoleva maagaasivõrgu ümberehitamisel ainult vesiniku transportimiseks oleks vesiniku transpordi hind hinnanguliselt 3,7 eurot/MWh (600 km transpordidistantsi korral). Kui on rajatud uus võrk ja spetsiaalsed torud vesiniku jaoks, siis on keskmine transpordikulu vahemikus 4,6–45 eurot/MWh (600 km kohta). Analüüside kohaselt on vesiniku veeldamine transpordi eesmärgil võrdlemisi kallis, hinnanguliselt 58–62 eurot/MWh (600 km kohta). Selline hind tuleneb vesiniku veeldamisega seotud energiakulust. (Agabus jt 2020)

2.1.5 Vesiniku kasutamine merenduses

Vesinikukütuse kasutamine laeva mootoris on endiselt varases disainimis- ja katsetamisfaasis. Hetkel on sellist lahendust kasutatud väiksemate reisi-, parv- või väikelaevade juures. Siiani ei tööta ükski suur kaubalaev vesinikukütusega. See tähendab, et kuna puuduvad tarbijad vesinikukütuse jaoks, siis ei ole ehitatud sobivat infrastruktuuri ja punkerdamist laevadele. Üheks miinuseks on vesiniku kallis hind võrreldes diislikütustega.

Tabel 2 näitab erinevate kütuste energiatiheduse väärtust. Kõige suurem väärtus on tavapärasel kütusel HFO-1 ja MGO-1 ning alternatiivsed kütused jäävad nendele numbritele alla. Vesiniku suureks puuduseks on väga väike energiatiheduse väärtus ja see tähendab, et on vaja suure mahutavusega ladustamist. Seega hetkel vesinik ei sobi otseseks kasutamiseks rahvusvahelistes avamerevedudes, vaid pigem lühikesteks lähimeresõitudeks. (DNV GL 2019)

Tabel 2. Erinevate kütuste energiatiheduse väärtus

Kütus	Energiatiheduse väärtus, GJ/m ³
HFO	41.20
MGO	35.68
LPG	23.41
LNG	20.49
Metanool	15.61
Vesinik	8.50

Allikas: (Jefimov 2017)

On olemas esimesed lepingud vesiniku vedamiseks meritsi. Jaapan ja Austraalia sõlmisid 2017. aastal lepingu, et hakata transportima vesinikku. Jaapan näeb vesiniku kasutamises mitmeid eeliseid: see suurendab riigi energiavarustust, vähendab kahjulikke heitmeid ning tõstab tööstuse konkurentsivõimet. Eesmärk on võtta vesinik laialt kasutusele ning sellega vähendada tootmiskulusid. Austraalias toodetakse vesinikku gaasitamise teel ning kasutatakse CO₂ maa-alusteid hoidlaid, kuid tulevikus tahetakse liikuda rohelisema päikeseenergiast toodetud elektrolüüsi tehnoloogia poole. Jaapani firma ehitas uue spetsiaalse laeva Suiso Frontier vesiniku transportimiseks, kuid mootoris kasutatakse kütusena diisli. Tanker mahutab 1250 m³ vedelat vesinikku ning selles on vaakumisolatsiooniga kahekordsed seinad. (Blain 2019) Laev valmis 2019. aastal ja on valmis vedamiseks, kuid hetkel Covid-19 tõttu on tekkinud viivitus ning arvatakse, et 2020. aasta suvel on laev töös (Argus Media 2021).

Euroopa mitmed sadamad on teinud vesinikukütusesse suuri investeeringuid, näiteks Rotterdam, Hamburg ja Amsterdam. Rotterdami sadam plaanib ehitada vesinikusüsteemi, mis ühendab tootmist ja kasutamist. Esialgu ehitatakse torude võrgustik, mille kaudu transporditakse Hollandi ostjatele ja tarnijatele nii sinist kui ka rohelist vesinikku. Eeldatakse, et see projekt valmib aastaks 2030. Samuti soovib Rotterdami sadam ehitada vesinikutermini, et soodustada selle importi teistesse riikidesse. (Port of Rotterdam 2020)

Norra on üks riike, kes on esirinnas vesiniku kasutamisel laevanduses. Norras hakkab opereerima maailma esimene vesinikukütusega sõitev parvlaev. Laeva operaator on

Norled, mis hakkab vedama kohalike saarte vahel nii inimesi kui autosid. Roheline vesinik toodetakse Saksamaal elektrolüüsi teel ning transporditakse vedelal kujul. Transpordifirma pakub täislahendust ning ehitab maismaale ja pardale vesinikumahutid, jaotussüsteemid ja ohutusseadmed. Plaanitavad vesinikutarned peaksid algama 2022. aastal, kui esimene parvlaev hakkab opereerima. (Radowitz 2021)

Lisaks saartevahelisele liinile on Norral plaanis koos Taaniga ehitada maailma suurim ja võimsaim vesinikukütusel opereeriv kruisilaev. Hetkel on kavas, et see laev oleks reisijate kasutuses aastaks 2027 ning hakkaks sõitma Kopenhaageni ja Oslo vahel. Vesinik toodetakse Taanis, kasutades tuuleenergiat elektrolüüsiks, nii et tulemus liigituks rohelise vesiniku alla. Mootori plaanitav võimsus on kuni 23 MW. Hetkel on kõige suurema vesinikumootori võimsus ainult 1–5 MW, seega on väga suur katsumus sellise kütuseelemendiga mootor ehitada. Laev on kavandatud 1800 reisijale ja mahutab 120 veoautot või 380 sõiduautot. Igal aastal hoitakse kokku 64000 tonni CO₂ emissioone. (DFDS 2020)

Saaremaa laevaehitustehases Baltic Workboats (BWB) on praegu projekteerimisel ettevõtte esimene vesinikutehnoloogiaga laev, mis on kombineeritud akudega. See laev võib tehase arvates valmida kahe-kolme aasta pärast. BWB arendusjuhi sõnul on vesinik akudega võrreldes energiatihedam ja on rohkem potentsiaali ehitada ka avameretöök võimelisi laevu. Akud sobivad lühikesteks sõitudeks, kuna kaaluvad palju ning oluline on laadimisvõimaluse lähedus. (Ots 2021)

3 METOODILINE OSA

Antud lõputöö uuritavaks objektiks on vesinik kui alternatiivkütus merenduses ning selle tulevikuperspektiivid Eestis. Varem ei ole Eesti Mereakadeemias vesinikust kütuse valmistamist uuritud, kuigi on tehtud uurimistöid teistest alternatiivkütustest. Teema on hetkel väga aktuaalne ning merendussektor otsib lahendusi, kuidas kasvuhoonegaaside heitmeid vähendada.

Käesolevas peatükis kirjeldab autor lõputöös kasutatud andmete kogumise viise ning analüüsimeetodeid. Andmete kogumiseks kasutati varasemaid uuringuid, teadusartikleid, kodulehekülgi ja veebiseminari ning viidi läbi intervjuu erinevate ettevõtetega ja oma ala spetsialistidega.

Autor valis uurimisviisiks kvalitatiivse analüüsi. Uurimiseks vajalikud andmed saadakse intervjuude kaudu. Autori arvates annab intervjuu kõige paremini soovitud infot, olles personaalne ja paindlik. Intervjuu on vestluse vorm, mida kasutatakse andmete kogumiseks uurimisprobleemi lahendamise eesmärgil. Küsimuste edukaks koostamiseks on vaja omada baasteadmisi antud valdkonnas. Töös kasutati poolstruktureeritud intervjuu vormi, kus küsimused olid eelnevalt ette valmistatud, kuid autor lähtus intervjuueerimisel situatsioonist ja vastustest. (Õunapuu 2014)

3.1 Eesmärk

Käesoleva töö eesmärk on analüüsida vesinikukütuse turuperspektiive Eestis. Antud eesmärgi täitmiseks peab mõistma vesiniku tarneahela toimimist ning omama baasteadmisi valdkonnast. Selle eesmärgi lahenduseni jõudmist toetab algallikatele tuginev teoreetiline osa ja metoodilise osa intervjuude vastuste analüüs.

Käesoleva uurimuse raames teostatud intervjuude eesmärk on küsitleda kütuse-, laeva- ja laevaehitusfirmasid, sadamaid ning valitsusasutusi, et kuulda nende arvamust vesinikust kui alternatiivkütusest merenduses.

3.2 Valim

Valimi koostamisel said määravaks Eestis tegutsevad ettevõtted ja spetsialistid, kes on seotud antud teemaga. Nende vastuste ja info põhjal saab jõuda põhjendatud järeldusteni ning pakkuda välja edasisi ettepanekuid.

Autor viis läbi poolstruktureeritud intervjuu kuue osapoolega:

- Sadam:
 - Tallinna Sadam AS – Ellen Kaasik, kvaliteedi- ja keskkonnajuhtimise osakonna juhataja.
- Laevafirma:
 - Tallink Grupp AS – Andrus Vaher, keskkonnaspetsialist,
 - Tallink Grupp AS – Katri Link, kommunikatsioonijuht.
- Laevaehituse firma:
 - Baltic Workboats AS – Sander Vahtras, arendusjuht.
- Kütusefirma:
 - Eestis tegutsev kütusemüügiettevõtte – gaasikütuste valdkonna arendusjuht.
- Valitsusasutus:
 - Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium – Johann Peetre, transpordi arengu ja investeringute osakonna ekspert,
 - Keskkonnaministeerium – Karmo Kübarsepp, välisõhu ja kiirgusosakonna peaspetsialist.

Autor viis täiendava info saamiseks läbi küsitluse ühe osapoolega:

- TalTech Eesti Mereakadeemia – Heino Punab, antud valdkonnale spetsialiseerunud laevamehaanika lektor.

Töö lisadest leiab intervjuude küsimused (lisa 3). Intervjuud toimusid 13.04.–26.04.2021 ja ühe intervjuu kestuseks kujunes umbes 30 minutit. Intervjuud viidi läbi Microsoft Teamsi videokõne vahendusel.

4 TULEMUSTE ANALÜÜS

4.1 Vesinikkütuse turuperspektiivid intervjuude ja artiklite põhjal

Meretranspordi mahud aina kasvavad ning seetõttu on kehtestatud karmimad regulatsioonid heitmete vähendamiseks. Rahvusvaheline Mereorganisatsioon kehtestas aastal 2018 kasvuhoonegaaside vähendamise strateegia, mis on kooskõlas Pariisi kliimakokkuleppega. Lõppeesmärk on lõpetada kasvuhoonegaaside emissioon täielikult 21. sajandi jooksul.

Käesoleva lõputöö uurimusobjektiks on Eestis tegutsevad ettevõtted ja spetsialistid. Valimisse kuulusid Tallinna Sadam AS, Tallink Grupp AS, Baltic Workboats AS, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Keskkonnaministeerium ja Eestis tegutsev kütusemüügiettevõtte.

Järgmistes alapeatükkides analüüsitakse intervjueeritud isikute arvamusi ja hinnanguid vesinikukütuse kasutamise kohta merenduses. Lisaks kasutatakse ka teadusartikleid ning 14.04.2021 toimunud veebiseminari vesinikust Eesti ja Hollandi ettevõtete ning organisatsioonide näitel.

4.1.1 Hetkeline kütuse turu seis

Intervjueeritavad olid ühel nõul, et tänapäeval lähtutakse kütuse valikul peamiselt hinnast ning eelistatakse odavamaid. Hetkel pakutavad keskkonnasõbralikud alternatiivkütused on kallimad kui fossiilsed. Tallink tõi välja, et meretranspordis on kütus suuremaid kuluartikleid, seega odava kütuse hind on määrav mõistliku hinnaga teenuse pakkumiseks.

Euroopa Komisjoni 2018. aasta seire andmetel moodustas kasutatud kütustest 70% raske kütteõli. Gaasiõli, kus on koos kerge kütteõli ja diislikütus, moodustas kogu kütusetarbimisest vaid 10%. Gaasiõli kasutati peamiselt SECA alades (*Sulphur Emission Control Area* – SOx heitmekontrolli piirkond). Esindatud oli ka LNG kasutamine, mis moodustas ainult 3% kogu aastasesest kütusetarbimisest. Seda kasutasid peamiselt gaasi- ja

LNG tankerid. Tuleb märkida, et LNG tarbimine laevakütusena on aastate jooksul kasvanud eelkõige karmimate regulatsioonide tõttu, kuna see vähendab SO_x ja NO_x heitmeid. Kütusekulu on erinev sõltuvalt laeva tüübist. Näiteks konteinerlaev tarbib kaks korda rohkem kütust kui puistlastilaev. Konteinerlaevadel on tavaliselt võimsamad mootorid ning need opereerivad palju kiiremal kiirusel kui puistlastilaevad. (European Commission, 2020) Kui vaadelda Eesti tasandil, siis fossiilsed kütused moodustasid 2018. aastal 64% kogu energia lõpptarbimisest. Ainult 6% moodustas taastuvenergia ning transpordis kasutati sellest ainult 0,001%. (Pirksaar 2021)

4.1.2 Keskkonnaregulatsioonide täitmine

Üheks viisiks, kuidas keskkonnasäästlik kütus suudab konkureerida odavate fossiilsete kütustega, on regulatsioonid. Tarbijad on hakanud otsima lahendusi, kuidas olla vastavuses seadusandluse nõuetega. Hetkel on Eestis peamiseks lahenduseks olnud akude ja LNG kasutamine. Akude lahendust kasutatakse väikelaevadel või lühikeste vahemaade puhul. Näiteks TS Laevade parvlaevale Tõll on paigaldatud akupangad, kuhu on salvestatud elektrienergia. Üha rohkem ehitatakse ka LNG laevu. LNG-d kasutab Tallinki laevastikust Megastar, ehitamisel on uus laev Myster. Tallinki keskkonnaspetsialist Andrus Vaher ütles, et Tallink otsib aktiivselt erinevaid keskkonnasäästlike lahendusi, kuid praegu need tehnoloogiad ei sobi laeva mastaabiga. „Tallinki uued laevad kasutavad parimat võimalikku vahendit, milleks hetkel on veeldatud maagaas, aga tulevikus võib see midagi muud olla, näiteks ka vesinikul põhineb kütuseelement,“ lisas Vaher.

Viking Line opereerib laeva Viking Grace, mis kasutab liikumiseks veeldatud maagaasi või tuuleenergiat. Samuti on Viking Line'is oodata uut LNG kütusega laeva Viking Glory. Ettevõtte pressiteates on mainitud, et eespool nimetatud laevad on valmis töötama ka biogaasil, kui sellest peaks tulevikus saama konkurentsivõimeline alternatiivkütus. (Viking Line 2019)

CO₂ neutraalsuseni jõudmine merenduses on väga tõsine väljakutse, kuna puudub sobiv tehnoloogia. „Selleks et jõuda süsinikuneutraalsuse eesmärgini, on lähiajal vaja suurt arenguhüpet. Kliimaeesmärke tuuakse aina varasemaks, aga samas ei ole näha tohutut

arendustegevust selles suunas,“ märkis Tallinki kommunikatsioonijuht Katri Link. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ekspert Johann Peetre ütles, et Euroopa Liidus on praegu käimas diskussioon, kuidas leida tasakaalupunkti Euroopa merenduse konkurentsivõime ja kliimaeesmärkide vahel. Lisaks püstitas Peetre küsimuse, millistel tasanditel tuleks neid eesmärke reguleerida. „Riigil ei ole kohustust võtta mingeid samme, mis puudutab rahvusvahelisi mereühendusi, kuna see ei lähe riigi kasvuhoonegaaside arvestusse,“ täpsustas Peetre. Sellest sõltumata on Tallinna Sadam võtnud initsiatiivi, et vähendada negatiivset mõju keskkonnale. Tallinna Sadam pakub sadamatasude soodustust keskkonnasõbralikele laevadele ESI (*Environmental Ship Index*) indeksi alusel. ESI indeks võtab arvesse süsiniku, lämmastiku ja väävli sisaldust laevakütuses. Laevadel, millele see on omistatud, on õigus taotleda tonnaažitasu soodustust, mis väärtusest sõltuvalt on 3% või 8%. Samuti pakutakse sadamas automaatsildumist ja kaldaelektriga ühendumise võimalust, mille abil vähendatakse õhusaastet.

4.1.3 Riigipoolne tugi

Nii valitsusasutused kui ettevõtted nõustusid, et hetkel ei ole ettevõtetal otsest riigipoolset tuge, mis aitaks merenduse keskkonnanõudeid täita. Keskkonnaministeeriumi spetsialisti Karmo Kübarsepa sõnul ei ole IMO regulatsioonid nii karmid, võrreldes üleüldise Euroopa Liidu kliimapoliitikaga. Ta arvab, et neid eesmärke ei pea riigi tasandil toetama, ja lisas, et praegu ei panda ministeeriumis suurt rõhku kütuste valikule, kuna Läänemeres on juba reguleeritud SECA alad. „Hetkel olulisemad teemad merenduses on näiteks ballastivee probleemid, müra vähendamine, prügi merre kukkumine ja eutrofeerumine,“ lisas Kübarsepp. Riigipoolse toe küsimuse peale Andrus Vaher kommenteeris: „Kohustused on pandud, aga kuidas neid eesmärke täita, on jäetud ainult ettevõtte enda õlule.“ Samuti tõi Tallinki keskkonnaspetsialist välja, et on pakutud erinevaid viise eesmärkide täitmiseks, kuid nende elluviimine sõltub laevastiku ja liinide eripärast. „Ilmselt saabki riigipoolne lahendus olema selline, mis ei sobi kõigile ettevõtetele,“ lisas Vaher.

Kõik osapooled nõustusid, et riigi toetus on vajalik ning on oluline käimapanev jõud tehnoloogia arengus. „Praegu on ikkagi selline tunne, et enamus transpordiettevõtteid tegeleb sellega üksi ja püüab mingisuguse lahenduseni jõuda. Aga ühist koostööd

teadusvaldkonnas riikide, sektorite, ettevõtete vahel tunda ega näha ei ole,“ kommenteeris Katri Link. Kütuseettevõtte arendusjuht ütles, et edasiliikumiseks ei ole vaja ainult raha ja toetusi, vaid riigi sihipäraseid tegevusi selles suunas. Arendusjuht lisas, et riik on hetkel vesiniku teemaga liikunud oma tegevuses tagurpidises suunas. „On olemas raha, aga ei ole strateegiat, kuhupoole joosta,“ märkis arendusjuht. Põhjusena tõi ta välja, et on soovitud väga kiiresti muutuda roheliseks, seega teatud asjadega on kiirustatud ning ülesannete järjekord on paigast ära.

Tallinki juhid tõi intervjuus välja riigi ja ettevõtte koostöö ühe kitsaskoha. Nimelt laekuvad erinevad küsimustikud Keskkonnaministeeriumilt, Euroopa Komisjonilt ja teistest asutustest, mida Tallinki juhid on hoolikalt täitnud. Katri Link rääkis, et tagasiside nende küsimuste kohta valitsusasutustest puudub. „Väga vähe on näha, mis nende küsimustikega ja saadetud andmetega edasi tehakse. Nende täitmiseks läheb tohtu panus, aga samas ei anna seda tunnet, et sellega tegelikult tõeliselt ka tegeletakse,“ seletas Link.

Keskkonnaministeerium tõi välja, et kui tuleb mingi määrus või seadus, siis kooskõlastusringil on ka vastav huvigrupp, näiteks firma või neid koondav ühing. See tähendab, et ettevõtted saavad riiklike seisukohtade kujundamiseks esitada oma ettepanekud. Huvigruppidega kohtutakse eraldi, seal on võimalik teemasid arutada rohkem süvitsi. Kütuseettevõtte arendusjuht tõi välja kaks võimalikku viisi riiklikust lähenemisest, mis suunaks transpordivaldkonda keskkonnasäästlikumale teele. Üheks viisiks on riikliku maksusüsteemi kaudu kehtestada kütustele erinevad aktsiisimäärad. „Diislikütuse aktsiisi tõus võib soodustada Eesti kohaliku transpordi arengut ja üleminekut näiteks biometaanile, surugaasile või LNG-le,“ pakkus gaasikütuse arendusjuht. Teine viis on suunata ettevõtjaid riigihangete kaudu. „Riigil on võimalik öelda näiteks bussiettevõtjatele, et kilomeetri lõpphinnast olenemata soovib riik näha gaasibusse,“ selgitas arendusjuht. Arendusjuhi sõnul on nimetatud lähenemine väga mõistlik ning selline viis ka praktikas toimib.

4.1.4 Vesinik kui alternatiivkütus merenduses

Intervjueeritavad suhtusid vesinikukütusesse positiivselt, aga samas ka skeptiliselt. Toodi välja, et keskkonna aspektist on sellel suur potentsiaal, kuid praegusel hetkel on vesiniku kasutamisel ka mitmeid miinuseid. Peetre tõi välja, et nimetatud kütuse kaod on erinevate protsesside juures liiga suured ja see ei ole kulutõhus. Andrus Vaheri arvates ei ole hetkel leitud head lahendust, kuidas objektiivselt hinnata erinevate energiakandjate keskkonnamõju. „Ma arvan, et naftatööstus täna on päris efektiivne kogu tarneahelat vaadates, kuna protsess on nii ära lihvitud ja kaod on üsna minimaalsed. Ma ei ole üldse kindel, et täna pakutavate alternatiivide mõju kogu selles ahelas on märkimisväärselt väiksem kui fossiilkütustel,“ rääkis Vaher.

Vesinikukütust on vähe uuritud ja seega igasugused projektid on väga suure investeringuriskiga. Tallinna Sadam on huvitatud vesiniku punkerterminali rajamisest Muugale ja Paldiski Lõunasadamasse, kuid hetkel sõltub kogu projekt Euroopa Liidu kaasfinantseerimise otsusest. Johann Peetre tõi näite, et juba 2014. aastal anti esimene toetus kiri Pärnusse vesinikutankla rajamiseks, kuid see projekt pole siiani käivitunud. Põhjuseks arvas Peetre olevat suure turutõrke, sest antud kütuse hind on liiga kallis. Baltic Workboatsi arendusjuht Sander Vahtras tõi intervjuus välja tänased turuhinnad diisli ja vesiniku puhul. „1 MW diisli maksab umbes 150–180 tuhat eurot. Kui tahetakse võtta 1 MW vesinikku, siis selle hind on 1,5 miljonit eurot,“ ütles Vahtras. Positiivse poolena märkis Vahtras, et vesiniku kütuseelemendi hooldus on suhteliselt odav, kuna ei ole liikuvaid osi. Teisest küljest ei ole teada, kui töökindel on antud tehnoloogia ning kaua sellise kütuseelemendiga laev kestab. Lisaks peab vesinik suutma konkureerida ka teiste säästlike alternatiividega.

Merenduse seisukohalt suhtub Tallink antud kütusesse ettevaatlikult. Vaher arvab, et rahvusvahelises laevanduses ei saa vesinik väga populaarseks oma omaduste tõttu. Vesiniku kütuseenergia sisaldus on kerge kütteõliga võrreldes umbes neli korda väiksem. „Samasuguse autonoomsuse saavutamiseks vesiniku näol on vaja neli korda rohkem seda kaasas kanda kui kergemat kütteõli. Esiteks, gaasilisel kujul on vesinikku üldse raske kaasas kanda mingisuguses arvestatavas mahus. Teiseks veeldamine on variant, aga see on ääretult energiamahukas ja laeval hoida peaaegu absoluutsel nullil on mõeldamatu“

selgitas Vaher. Ellen Kaasik nõustus Vaheri väitega, et tänase tehnoloogiaga see tõesti ei sobi rahvusvaheliseks mereveoks. Sellest sõltumata arvab Kaasik, et kindlasti nii see olukord ei jää ning see tehnoloogia areneb päev-päevalt. „Vesinikuterminal on nii pika perspektiiviga investering, et võib-olla selleks ajaks, kui terminal valmis saab, on laevu ikkagi rohkem, kes soovivad seda kütusena kasutada. Juhul kui ei saada neid laevu, siis Tallinna Sadamal on lihtsalt terminal, mis on vesiniku ekspordiks ehk on juures üks kaubaliik,“ selgitas Kaasik.

Mitmed osapooled märkisid, et vesinik võiks rolli mängida väikeste vahemaade puhul, kus saab tihedalt punkerdada või ei ole mõistlik kasutada akupankasid. BWB arendusjuht Sander Vahtras pakkus võimalikuks lahenduseks akude ja kütuseelementide kombinatsioonil põhinevat hübriidtehnoloogiat. „Kütuseelement üksi kindlasti ei tööta laeva peal, kuna selle tootlikkust ei saa nii kiiresti muuta ning on akusid abiks vaja. Kütuseelement toodab mingit kindlat kilovatti ning akud saavad puhverdada vajalikul hetkel rohkem võimsust mootorisse,“ märkis Vahtras.

4.1.5 Vesiniktehnoloogia areng

Esialgu on uue tehnoloogia arendamine väga kulukas ning ei too ettevõttele raha sisse. Kütuseettevõtte arendusjuht märkis, et kulusid saaks alla tuua, kui suudetaks toota suuri mahtusid. Sellist tegevust ei ole toimunud, kuna puuduvad lõpptarbija lahendused. Sander Vahtras ütles, et hetkel on tehnoloogia sellises faasis, kus on võimalik ehitada testimiseks prototüüpe. Hetkel on ka BWB-s projekteerimisel vesiniktehnoloogiaga laev. „Meie plaan on ehitada prototüüp vesinikutehnoloogia testimiseks. Tõenäoliselt see laev läheb lootsi laevana kasutusse ning olenevalt sadamast sõidaks kuni viie meremiili kaugusele,“ selgitas Vahtras.

Vaher tõi intervjuus välja, et hetkel Tallink uue tehnoloogia arendamisse ei panusta. „Tallink ei saa väga eksperimenteerida liinilaevadel, kuna vesinikulahenduste puhul on hästi palju ebakindlust. Alates sellest, kui töökindel see on, kuni selleni välja, kust tuleb kütus ning milline on infrastruktuur. Selline lahendus ei sõltu ainult laevandusettevõttest,“ märkis Vaher. Samuti tõi Vaher välja olulised küsimused, mis on vaja enne kasutusele võtmist ära lahendada, näiteks kütuse hind, päritolu ning milline on

selle kättesaadavus. „Eksperimentaalseid lahendusi on võimalik proovida, aga selle põhjal ei saa täna üles ehitada liinilaevandust,“ ütles Vaher. Sander Vahtras lisas, et hetkel puudub kliendil teadmine, milline on vesinikulaeva töökindlus ning kuidas see toimib. „Liinilaevanduse puhul ei ole aktsepteeritav, kui kuus korra on laev rivist väljas. Näiteks diiselmootoriga seda ei juhtu, kuna 100 aastat on see töötanud, seega on ka väga töökindel,“ mainis Vahtras.

Euroopa Liit näeb roheline vesiniku kasutamises ühe olulist sammu kliimaneutraalsuse saavutamiseks ning sellega on võimalik vähendada sõltuvust fossiilkütustest. Euroopa Liidus on 50 miljoni euro suurune taaskäivitamise rahastus, mis toetab mitmeid vesiniku kasutuselevõtu projekte, algatusi ja uuringuid. Samuti on kogutud kasvuhoonegaaside müügitulust 5 miljonit eurot, mis on konkreetselt suunatud transpordisektorisse. Seal toimub avatud konkurss, kus valitakse välja parim projekt, mis suudab kõige rohkem kasvuhoonegaase kokku hoida. Euroopa roheleppe (*European Green Deal*) raames on ka Tallinna Sadam konkureerinud selle toetuse saamiseks, et välja arendada vesinikutehnoloogia ning ehitada selleks ka vastav terminal.

Valitsuse tegevusprogrammis on mitmeid tegevusi, mis edendaks vesinikutehnoloogiat. Nende üheks ülesandeks on koostada vesiniku teekaart, mis toob välja riigi üleüldise strateegia vesiniku tarneahela kohta. „Eesti on väga väike riik ning on vähe ressursse, seega iga vesiniku kasutamise valdkonda ei saa riik toetada ja arendada. Eesti peab leidma oma suuna,“ rääkis Kübarsepp. Johann Peetre sõnul ei ole teekaardiga veel alustatud, aga hetkel on käivitunud vesiniku-uuring. Uuringu koha pealt kommenteeris Peetre, et hetkel ei ole teada, millal see valmis saab, kuid tema sõnul on sellega jõutud poole peal. Uuringu eesmärk on välja käia esimesed kõige perspektiivsemad kasutuskohad, et vesinikuturg käima saada. „Vaadeldakse erinevate meetmete kulutõhusust, pakutakse välja kõige paremad alternatiivid ning siis saab sellest teha mingi sisendi, kuhu oleks Eestis kõige mõistlikum investeerida,“ ütles Peetre.

Lisaks teekaardile, strateegiale ja uuringutele on valitsuse ülesandeks töötada välja vesiniku kasutamiseks vastavad regulatsioonid ning ohutusnõuded. Peetre sõnul ei ole üleliia keeruline paika saada vesiniku kasutamise jaoks vajalikke regulatsioone. „Kui

riigil on suur huvi, siis selle saaks paika umbes poole aastaga,“ pakkus Peetre. Sander Vahtras kommenteeris vesiniku ohutusnõuete koha pealt: “Ei ole teada, kas antud kütus on täiesti ohutu kasutada laevades. Juhul kui siin järgmise viie aasta jooksul tuleb neid laevu oluliselt juurde ning mõni või mitu tükki läheb põlema või plahvatab, siis kindlasti võtab see arengu hoogu maha ning tuleb muuta selle tehnoloogilist kasutust.“

4.1.6 Vesinikkütuse tuleviku prognoos

Mitmed intervjuueeritud uskusid, et kunagi võib vesinik olla tavapärane nähtus merenduses, kuid hetkel on seda vara prognoosida. Seega tuleviku kohta ei osatud väga täpseid aastaarve pakkuda. Vesiniku kasutusele võtuks on vaja arendada ja täiustada mitmeid aspekte ning kindlasti on vaja välja ehitada selleks sobiv infrastruktuur.

2020 aasta aprillis avaldati üleeuroopaline vesinikuvõrgustiku visiooni raport. Uuringus osales 23 Euroopa gaasisüsteemihaldurit, Eestist elektriettevõtte Elering. Prognoositakse, et tulevikus hakkab maagaasi tarbimine vähenema ning kliimaeesmärkide täitmiseks tahetakse fossiilne kütus millegi muuga asendada. Seega vabastaks maagaasi vähene tarbimine gaasivõrkudes ruumi ja üheks võimaluseks oleks kasutada seda vesiniku ülekandmiseks. Lisas 4 on välja toodud 2040. aasta Euroopa võimalik vesinikuvõrgustik. Mitmetes Euroopa piirkondades on võimalik olemasolev gaasitorustik ümber ehitada vesiniku jaoks, kuid Rootsis, Soomes ja Balti riikides ei eksisteeri sellist infrastruktuuri. Eestil on suur potentsiaal toota taastuvenergiat tuulest. Tuulistel aegadel on võimalik Eestis toota neli korda rohkem energiat, kui on nõudlust. Seega on võimalik vesiniku kaudu energiat salvestada ning transportida meritsi või maismaatorustike kaudu Kesk- ja Ida-Euroopasse. (Jens jt 2021)

Mitmed osapooled nõustusid, et vesinik sobib pigem energia salvestamiseks kui kütuseks. Kübarsepp tõi välja, et vesinikku on mõttekas kasutada, kui seda kohapeal toodetakse ja ka tarbitakse. Tema sõnul tundub vesiniku transportimine torude kaudu hetkel ulmeline. „Tavapäraseks nähtuseks võiks vesinik Eestis saada, kui tehakse valmis suured meretuulepargid, mida hetkel plaanitakse. Nende parkide kaudu on võimalik toota tohutult rohelist elektrit ning vesinikku saaks kasutada energia salvestina,“ ütles

Kübarsepp. Samuti lisas ta, et kui aastaks 2030 on saavutatud suuremahuline elektri tootmine, siis merenduses võiks vesinik saada tavapäraseks kõige varem 2035. aastal.

Ellen Kaasik tõi välja võimaliku vesinikuturu prognoosi, mida väliskonsultandid pakkusid Tallinna Sadamale (joonis 7). „Arvati, et mõne aasta pärast saaks alguse just siseriiklikust vajadusest, siis juba edasi liikuda ühiskondlikule tasandile ning ka merendusse,“ märkis Kaasik. Joonist vaadates võib prognoosida, et tehnoloogia arenedes võib juba kümne aasta pärast näha vesinikukütusel sõitvaid rahvusvahelisi laevu.



Joonis 7. Vesiniku turu prognoos

Allikas: (Postma 2021)

Kütusefirma arendusjuht tõi paralleeli vesiniku kasutamisest LNG kütusega. „Kui 2013. aastal räägiti LNG-st kui merenduse revolutsioonilisest kütusest, siis praegu, 7 aastat hiljem, neid LNG laevu tuleb, aga pigem on projektid veninud,“ märkis kütusefirma arendusjuht. Laevandussektoris tuleb arvestada laevade pika elueaga, mis on üldjuhul 20–30 aastat. Kütusefirma arendusjuht näeb vesinikukütust arenemas sarnaselt CNG (*compressed natural gas* – surumaagaas), LNG ja biometaaniga. „Liigutakse kohalikule tootmisele, mille taha tekib tervikahel lõpptarbijani välja,“ märkis arendusjuht. Samuti lisas ta, et vesiniku puhul on kõige kõrgem valmidusaste turule tulekuks bussidel.

Vaher arvab, et vesinikukütust ei hakata merenduses laialdaselt kasutama. „Tegelikult me ei tea, mis vesinik võiks maksma hakata ja milliseid seadlusandlikke hoobasid hakatakse kasutama, et piirata fossiilkütuste kasutamist. Lõppkokkuvõttes fossiilsete kütuste kasutamine või üleüldse CO₂ tekitamine võib tulevikus minna väga kalliks, et seda ei ole võimalik enam teha,“ lausus Vaher.

Hetkel on TS Laevad näidanud üles huvi vesinikukütuse katsetamise vastu Rohuküla-Heltermaa vahelisel parvlaeval. „Praegu lõppes TS Laevades hange uue laeva ostmiseks ning see ehitatakse valmisolekuga vesinikukütuse kasutamiseks,“ lisas Ellen Kaasik.

Sellest sõltumata ütles Kaasik, et kõik võib veel muutuda, kuna vesinik on alles uurimise all ja ei teata, milline on kõige õigem variant. Peetre pakkus välja, et selline laev võiks alustada opereerimist 2024.–2026. aastal.

4.2 Järeldused ja ettepanekud

Autor tegi kuue osapoolega intervjuu, kust saadi esmane ülevaade erinevate spetsialistide arvamusest vesinikukütuse kasutamise kohta merenduses. Hetkel on teema nii uudne ja alles algusjärgus, et Eestis ei ole väga palju spetsialiste, kes oleks sellega kursis.

Vesinik on kerkinud üheks tõsiseltvõetavamaks tuleviku mittesaastava laevakütuse variandiks. Erinevad regulatsioonid, toetused ja strateegiad soosivad ettevõtjaid uurima võimalikke lahendusi, mis asendaks tavapäraseid fossiilkütuseid. Rohelisel teel toodetud vesiniku peamiseks eeliseks on selle madal CO₂ tase, millega on võimalik erinevaid keskkonnanorme täita. Keskkonnasõbraliku vesiniku tootmiseks on vaja elektrit, mida on võimalik saada taastuvate elektrienergiaallikate abil. Kõige paremaks võimaluseks Eesti puhul on elektrit genereerida tuuleenergiast. Seega oleks vesinik hea lahendus, kuidas ära kasutada antud energiaallika täit potentsiaali.

Eelistest sõltumata eeldab vesiniku kasutuselevõtt mitmete väljakutsete lahendamist. Hetkel on rohelisel teel toodetud vesinik liiga kallis, et konkureerida teiste kütustega. Lisaks hinnale tuleb arvestada ka vesinikukütuse hoiustamist laeval ja punkerdamistaristu olemasolu. Selle kasutuselevõtt oleneb tehnoloogia arengust ehk sellest, kui odavaks ja tõhusaks suudetakse antud protsess arendada. Samuti on oluline märkida, et laeva keskmine eluiga on 20–30 aastat ning üleminek uuele energiakandjale võtab väga kaua aega.

Hetkel nähakse merenduses vesinikukütuse kasutamist siseriiklikel lühimereliinidel, kus sadamakülastused on tihedad ja marsruudid lühikesed. Pikki marsruute sõitvate ookeanilaevade puhul on sadamakülastusi vähem ning suur osa vajaminevast energiaallikast tuleks kaasa vedada laeval. See tähendab, et kütuse energiatihedus peab olema võimalikult suur, et jääks piisavalt ruumi kauba jaoks. Seetõttu ei ole hetkel veel

realistlik kasutada vesinikku, kuna selle energeetiline väärtus on umbes neli korda madalam kui MGO-l. Arvatavasti alustatakse vesiniku puhul hübriidlahendusest, näiteks akude ja kütuseelemendi tehnoloogia kombinatsioonist. Selline lahendus võib olla oluliseks sammuks vesinikule üleminekul.

Tänapäeval on lõpptarbijale kütuse valiku juures olulisem hind kui keskkonnasäästlikkus. Üheks võimaluseks on muuta turgu investeeringute ja riiklike meetmete kaudu, näiteks kui pangad või riik finantseeriksid ainult keskkonnasõbralikke lahendusi. Fossiilsete kütuste kasutamist saab samuti vähendada seaduste ning aktsiisidega, mis suunaks ettevõtjaid ja tarbijaid valima alternatiivseid kütuseid. Lisaks hinnamuudatustele ja toetustele oleks vaja kindlat riiklikku strateegiat. See soodustaks antud tehnoloogia arengut ning uuringute kaudu on võimalik leida kõige perspektiivikamad asukohad ja valdkonnad, kuhu oleks turu käimasaamiseks mõistlik investeerida.

Kokkuvõte

Erinevad heitmenormid aitavad transpordis kontrolli all hoida sellest tegevusest tulenevaid kasvuhoonegaase. Süsinikdioksiid on peamine saasteallikas, mis tekib laevakütuse põletamisel. Kliimamuutuse leevendamiseks on merendussektoril vaja leida mootori tööks mingisugune muu energiaallikas kui naftal põhinev kütus. Selle muutuse kaudu on võimalik vähendada sõltuvust fossiilkütustest ning saavutada puhtam õhk, hoida ökosüsteemi ja kogu sektor oleks jätkusuutlikum.

Rohelise vesiniku tootmiseks on vaja ainult elektrit ja vett. Just taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrienergia kasutamine muudab vesiniku CO₂ vabaks. Seda on võimalik hoiustada metallides, kõrgsurvepaakides, veeldatult ja maa-alustes tühimikes. Peamiselt transporditakse sellist kütust veoautoga, tankeriga või torusid pidi. Praegu puudub Euroopas puhta vesiniku jaoks laialdane transpordisüsteem, eksisteerivad üksnes lokaalsed lahendused torujuhtmete või maanteetranspordi kujul.

Lõputöö alguses püstitas autor hüpoteesi, et vesinikukütusel on tulevikus Eesti turul perspektiivi. Mitmed ettevõtted on välja näidanud huvi selle kütuse vastu, kuid hüpoteesi on raske kinnitada, kuna hetkel Eestis puudub vesiniku kasutamise kogemus. Intervjueeritute vastustest selgus, et kujunenud olukorra põhjuseks on olnud turutõrge. Uue tehnoloogia uurimine ja väljaarendamine nõuab suuri investeringuid ning hetkel pole vesinikukütuse hind konkurentsivõimeline, võrreldes teiste pakutavate kütustega.

Eestis saaks vesinik tõsiseltvõetavaks alternatiivkütuseks, kui selle jaoks oleks olemas sobiv tarneahel. Eesti turul on suur potentsiaal kasutada tuuleenergiast toodetud vesinikku. Hetkel on kõige suurem valmidusaste antud kütuse kasutamiseks ühistranspordis. Merenduse seisukohalt võtab selline tehnoloogiline muudatus mitmeid aastaid aega, kuna laevade eluiga on enamasti 20–30 aastat ning mootor peab saavutama väga suure võimsuse. Autor järeldab, et antud kütuse kasutusala saab alguse bussidest, mis looks vajaliku taristu vesinikule ning edasi saaks areneda järk-järgult teistesse transpordisektoritesse.

Eesti merenduses nähakse vesinikukütuse kasutamist siseriiklikus merenduses ning peamiselt toodi välja just maismaa ja saarte vahelised liinid. TS Laevad on näidanud üles huvi kasutada seda kütust ka tulevastel parvlaevadel. Tallinna Sadam on konkureerinud vesinikterminali ehitamise projektiga Muugale ja Paldiski Lõunasadamasse, kuid hetkel sõltub see Euroopa Liidu kaasfinantseerimisest. Ettevõttes Baltic Workboatsi on praegu projekteerimisfaasis vesinikutehnoloogiaga prototüüplaev.

Praegusel hetkel on Eestil vaja paika panna konkreetne vesinikustrateegia. Peale teekaardi dokumendi avaldamist on võimalik teha täpsem turuanalüüs. Lisaks uuringutele on vaja valmis ehitada suured tuulepargid, millest jaguks ka vesiniku tootmiseks. Vesinikukütuse kasutuselevõtt oleneb tehnoloogia arengust ning sellest, kui odavaks ja kulutõhusaks suudetakse see protsess muuta.

Summary

HYDROGEN AS AN ALTERNATIVE MARINE FUEL AND ITS MARKET PROSPECTS IN ESTONIA

Hanna Liise Arge

International Maritime Organization has adopted mandatory measures to reduce emissions of greenhouse gases (GHG) from international shipping. The initial strategy was adopted in April 2018 and the main goals are to cut annual greenhouse gas emissions from international shipping by at least half by 2050, compared with their level in 2008, and work towards phasing out GHG emissions from shipping entirely as soon as possible in this century.

The aim of this work is to analyse hydrogen fuel's market prospects in Estonia. The subject is new because the technology is at very early stages and no ships, terminal nor hydrogen production yet exist in Estonia. Hydrogen as a fuel in maritime is important in many reasons: the shipping industry must reduce carbon emissions and therefore shipowners are looking for alternative solutions to meet those requirements. The author hypothesized that in the future hydrogen fuel has perspective in the Estonian market and with that fuel it is possible to reduce GHG emissions.

In this thesis, the author will cover the following tasks: give an overview of the hydrogen technology supply chain, obtain adequate information on this subject, analyse the opinions of specialists in the field, based on qualitative research method carry out hydrogen market prospects and make a conclusion.

Many companies have shown interest in this fuel, but it is difficult to confirm the hypothesis because Estonia has no experience with the use of hydrogen. Among those interviewed answered that the reason for this situation is a market failure. Research and development of new technology requires a large investment and currently the price of hydrogen is too expensive to compete with other fuels.

In Estonia, hydrogen could become a strong fuel option if there is a suitable supply chain for it. The Estonian market has great potential to use hydrogen from wind energy. Currently, the highest degree of readiness is to use this fuel in public transport. From a maritime point of view, such change will take many more years because ships usually have a lifespan of 20-30 years and engines must reach very high power. The author concludes that the use of hydrogen will start with buses, which will create the necessary infrastructure. From that it is possible to gradually develop into other transport sectors.

In Estonian shipping, the use of hydrogen fuel is seen in domestic ferry routes, especially between mainland and the islands. TS Laevad has shown interest in using this fuel on future ferries. Port of Tallinn has applied with a project to build a hydrogen terminal in Muuga and Paldiski South Harbour. Currently such a project all depends on the decision of European Union co-financing. Right now, Baltic Workboats is in the design phase with hydrogen technology prototype vessel.

At the moment, Estonia needs to put in place particular hydrogen strategy. After publication of hydrogen roadmap document, it is possible to make more detailed market analysis. In addition to research, it is necessary to build large wind farms, which will be able to produce enough energy for hydrogen. Thus, the introduction of hydrogen fuel all depends on technological developments and how cost-effective this process can be achieved.

Viidatud allikad

Adolf, J., Balzer, C.H., Louis, J., Schabla, U., Fishedick, M., Arnold, K., Pastowski, A., Schüwer, D. (2017). Shell hydrogen study. Wuppertal Institut. Shell.
https://www.shell.com/energy-and-innovation/new-energies/hydrogen/_jcr_content/par/keybenefits/link.stream/1496312627865/6a3564d61b9aff43e087972db5212be68d1fb2e8/shell-h2-study-new.pdf (06.03.2021)

Agabus, H., Šuvalova, J., Koduvere, H., Siirde, A., Latõsov, E. (2020). Vesiniku ja sünteetilise gaasi kasutamise potentsiaal ja ühenditest tulenev mõju ülekandetorustikele ja lõpptarbija seadmetele. Tallinna Tehnikaülikool.
https://elering.ee/sites/default/files/2021-01/ER%20P2G%20aruanne%20v3_detsember2020.pdf (18.03.2021)

Alternatiivkütuste taristu tegevuskava. (2017). Majandus- ja taristuministri käskkirja nr 1.1-1/17-078 lisa.
https://mkm.ee/sites/default/files/alternatiivkütuste_taristu_tegevuskava.pdf (24.03.2021)

Andersson, K., Salazar, C.M. (2015). Methanol as a marine fuel report. FCBI Energy.
<http://www.methanol.org/wp-content/uploads/2018/03/FCBI-Methanol-Marine-Fuel-Report-Final-English.pdf> (06.03.2021)

Anspal, S., Hunt, T., Järve, J. (2020) Merekaubanduse tulevik: arengusuunad ja stsenaariumid Rahvusvahelise laevanduse ja meremajanduse arenguseire. Eesti Rakendusuuringute Keskus CentAR. Uuring valmis Arenguseire Keskuse tellimusel, 42-44.
https://www.riigikogu.ee/wpcms/wp-content/uploads/2020/10/2020_merekaubandus_aruanne.pdf (06.03.2021)

Argus Media. (2021). Covid-19 delays Japan-Australia hydrogen project.
<https://www.argusmedia.com/en/news/2189114-covid19-delays-japanaustralia-hydrogen-project> (29.03.2021)

Blain, L. (2019). Kawasaki launches the world's first liquid hydrogen transport ship.
<https://newatlas.com/marine/kawasaki-worlds-first-liquid-hydrogen-transport-ship/> (29.03.2021)

Chart. Hydrogen Energy.
<https://www.chartindustries.com/Specialty-Markets/Hydrogen-Fueling> (17.03.2021)

Demirbas, A. (2002). Fuel Properties of Hydrogen, Liquefied Petroleum Gas (LPG), and Compressed Natural Gas (CNG) for Transportation, Energy Sources, 24:7, 601-610.
<https://doi.org/10.1080/00908312.2002.11877434> (04.03.2021)

DFDS. (2020). Partnership aims to develop hydrogen ferry for Oslo-Copenhagen.
<https://www.dfds.com/en/about/media/news/hydrogen-ferry-for-oslo-copenhagen> (18.03.2021)

DNV GL. (2019). Assessment of selected alternative fuels and Technologies.
<https://www.dnv.com/Publications/assessment-of-selected-alternative-fuels-and-technologies-rev-june-2019--116334> (06.03.2021)

Euroopa Liidu Teataja. (2016). Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv (EL) 2016/802. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L0802&from=en> (18.03.2021)

European Commission. (2020). 2019 Annual Report on CO₂ Emissions from Maritime Transport. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/shipping/docs/swd_2020_82_en.pdf (24.04.2021)

Farmer, M. (21.07.2020) What colour is your hydrogen? Power Technology. <https://www.power-technology.com/features/hydrogen-power-blue-green-grey-brown-extraction-production-colour-renewable-energy-storage/> (08.03.2021)

FuelsEurope. (2020). Statistical Report 2020. https://www.fuelsEurope.eu/wp-content/uploads/SR_FuelsEurope-_2020.pdf (18.03.2021)

HELCOM. (2021a). Nutrient Reduction Scheme <https://helcom.fi/baltic-sea-action-plan/nutrient-reduction-scheme/> (29.03.2021)

HELCOM. (2021b). Pollution Load Compilations. <https://helcom.fi/baltic-sea-trends/pollution-load-compilations/> (29.03.2021)

HELCOM. (2021c). The Helsinki Convention. <https://helcom.fi/about-us/convention/> (29.03.2021)

IMO. (2019a). International Maritime Organization. Introduction to IMO. <https://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx> (18.03.2021)

IMO. (2019b). Nitrogen Oxides (NO_x) – Regulation 13. [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx) (24.03.2021)

Jefimov, S. (2017). LNG kasutamise transpordi kütusena. Eesti Gaas. <http://estis.ee/wp-content/uploads/2017/11/LNG-transpordisektoris-20.11.2017-SJ.pdf> (07.03.2021)

Jens, J., Wang, A., Leun, K., Peters, D., Buseman M. (2021). Extending the European Hydrogen Backbone. <https://gasforclimate2050.eu/publications/> (02.05.2021)

Jovan, D., J., Dolanc, G. (2020). Can Green Hydrogen Production Be Economically Viable under Current Market Conditions. Jožef Stefan Institute. Slovenia. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/24/6599> (24.03.2021)

Keskkonnaministeerium. (2018). Kasvuhooneefekt ja kasvuhoonegaasid. <https://www.envir.ee/et/kasvuhooneefekt> (07.03.2021)

Lillepõld, K. (2014). Vesinikuenergeetika väljakutsed ja tulevik. (Bakalaureusetöö) Tallinna Tehnikaülikool, mehaanikateaduskond, Tallinn. <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/6b85c067-f3b0-4949-b17e-f7bbf7787d71> (08.03.2021)

Macrotrends. (2021). Natural Gas Prices – Historical Chart <https://www.macrotrends.net/2478/natural-gas-prices-historical-chart> (24.03.2021)

- Marquard & Bahls. (2021). Marine Gasoil (MGO).
<https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-gasoil-mgo.html>
 (04.03.2021)
- Noordelijke Innovation Board. (2017). The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands. The Northern Netherlands Innovation Board.
https://www.ebnn-nieuw.nl/wp-content/uploads/2019/05/NIB-Hydrogen-Full_report.pdf
 (24.03.2021)
- Oiltanking. (2021). Heavy Fuel Oil (HFO).
<https://www.oiltanking.com/en/news-info/glossary/details/term/heavy-fuel-oil-hfo.html>
 (04.03.2021)
- Ots, J., M. (27.02.2021). Ökolaevu takistavad lünklik taristu ja puuduv regulatsioon. Postimees.
- Pirksaar, R. (2021). Hydrogen Webinar. Port of Tallinn – converting ambitions into action.
<https://biopark.ee/wp-content/uploads/2021/04/Raimo-Pirksaar-%E2%80%93-Port-of-Tallinn-%E2%80%93-converting-ambitions-into-action.pdf> (25.04.2021)
- Port of Rotterdam. (2020). Hydrogen economy in Rotterdam handout.
<https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/hydrogen-economy-in-rotterdam-handout.pdf?token=TmTxjgoA> (26.04.2021)
- Postma, P. (2021). Webinar. Hydrogen – Driver of the Estonian (green) Future.
<https://biopark.ee/wp-content/uploads/2021/04/Keynote-by-Mr-Petrus-Postma-consultant-on-sustaibility-and-green-transition-founder-of-Flux-B.V..pdf> (25.04.2021)
- Punab H., Kask J. (2016). Mereviki. Heitgaasid.
<https://mereviki.vta.ee/mediawiki/index.php/Heitgaasid> (24.03.2021)
- Radowitz, B. (2021). World's first hydrogen-powered ferry in Norway to run on green gas from Germany.
<https://www.rechargenews.com/technology/worlds-first-hydrogen-powered-ferry-in-norway-to-run-on-green-gas-from-germany/2-1-976939> (29.03.2021)
- Rata V., Rusu L., Gasparotti C. (2017). The importance of the reduction of air pollution in the black sea basin. Dunarea de Jos University. Galati.
<https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/mtd/article/view/2238/1903> (24.03.2021)
- Renewable Energy Focus. (2014). Air products launches hydrogen high pressure tube trailers for European hydrogen infrastructure.
<http://www.renewableenergyfocus.com/view/36777/air-products-launches-hydrogen-high-pressure-tube-trailers-for-european-hydrogen-infrastructure-deployment/> (17.03.2021)
- Riigi Teataja. (2014). MARPOL-i muudetud VI Lisa. Laevade põhjustatava õhusaaste vältimise reeglid I.
https://www.riigiteataja.ee/aktiiv/2290/4201/4002/MARPOL_lisaVI.pdf# (18.03.2021)
- Shell. (2021). Liquefied Natural Gas (LNG).
<https://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/liquefied-natural-gas-lng.html>
 (06.03.2021)

Sonesten, L., Svendsen, L., M., Tornbjerg, H., Gustafsson, B., Frank-Kamenetsky, D., Haapaniemi, J. (2018). Sources and pathways of nutrients to the Baltic Sea. HELCOM PLC-6. Helsinki Commission.

<https://helcom.fi/media/publications/BSEP153.pdf> (29.03.2021)

Späth, N. (2019). New DNV GL class notation helps to boost LPG as ship fuel. DNV GL.

<https://www.dnv.com/news/new-dnv-gl-class-notation-helps-to-boost-lpg-as-ship-fuel-162900#> (06.03.2021)

Tooming, M. (17.02.2020). ERR. Soe talv, suvised hinnad: ületootmine ajas maagaasi hinna rekordmadalale.

<https://www.err.ee/1036195/soe-talv-suvised-hinnad-uletootmine-ajas-maagaasi-hinna-rekordmadalale> (24.03.2021)

Transpordi ja liikuvuse arengukava 2021-2035 keskkonnamõju strateegilise hindamise aruanne. (2020). Tallinn.

https://www.mkm.ee/sites/default/files/lisa_2._ksh_aruande_en_0.pdf (24.03.2021)

Transport & Environment. (2021). Shipping's impact on air quality.

<https://www.transportenvironment.org/what-we-do/shipping-and-environment/shipping%E2%80%99s-impact-air-quality> (04.03.2021)

Viking Line. (24.10.2019). Viking Glory will be one of the most climate-smart passenger ships in the world.

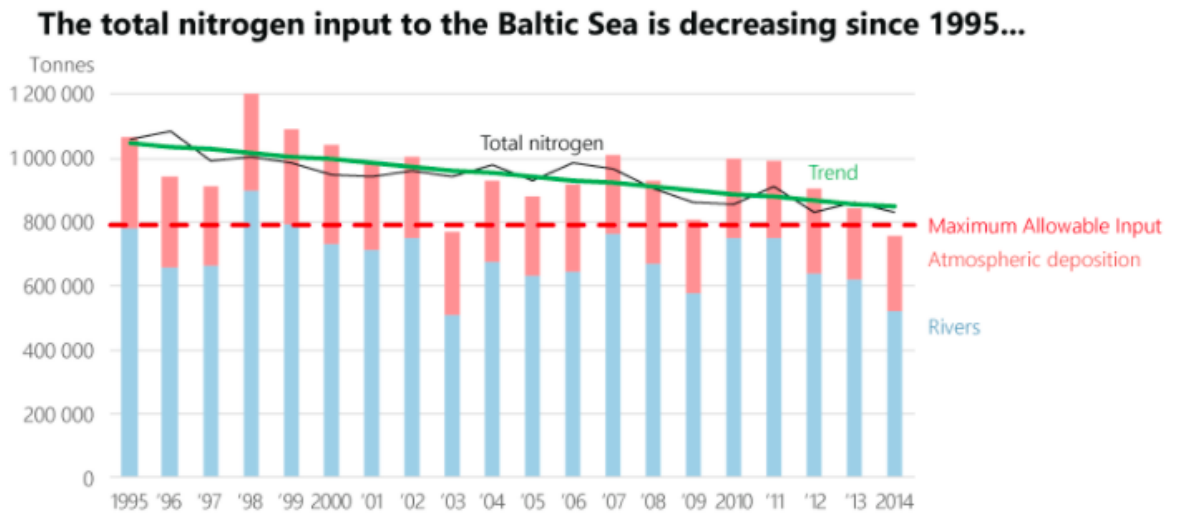
<https://www.vikingline.com/press-room-old/press-releases/358C04145790BDD4> (23.04.2021)

Õunapuu, L. (2014). Kvalitatiivne ja kvantitatiivne uurimisviis sotsiaalteadustes. Tartu Ülikool.

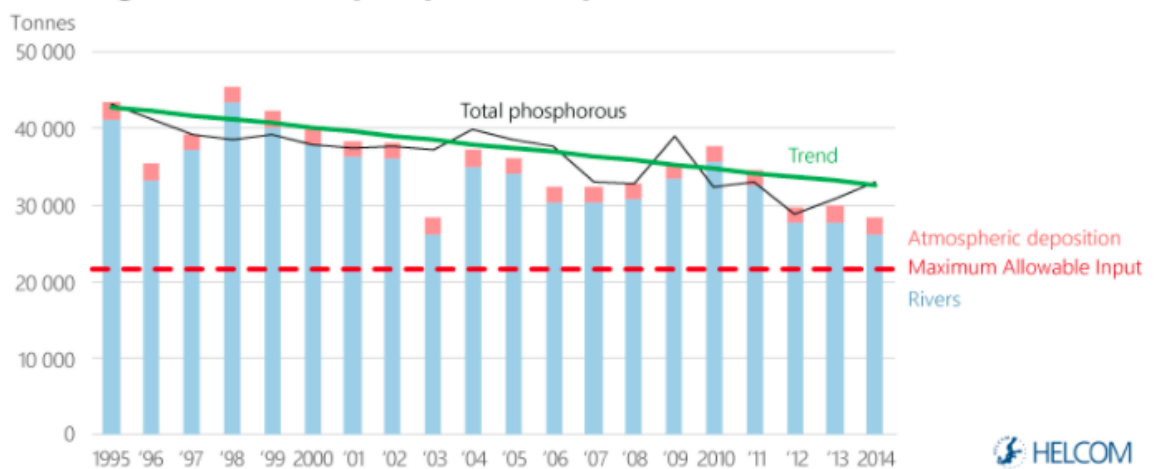
http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/36419/ounapuu_kvalitatiivne.pdf (29.03.2021)

LISAD

Lisa 1. HELCOMI reostuskoormuse aruanne aastatel 1995-2014

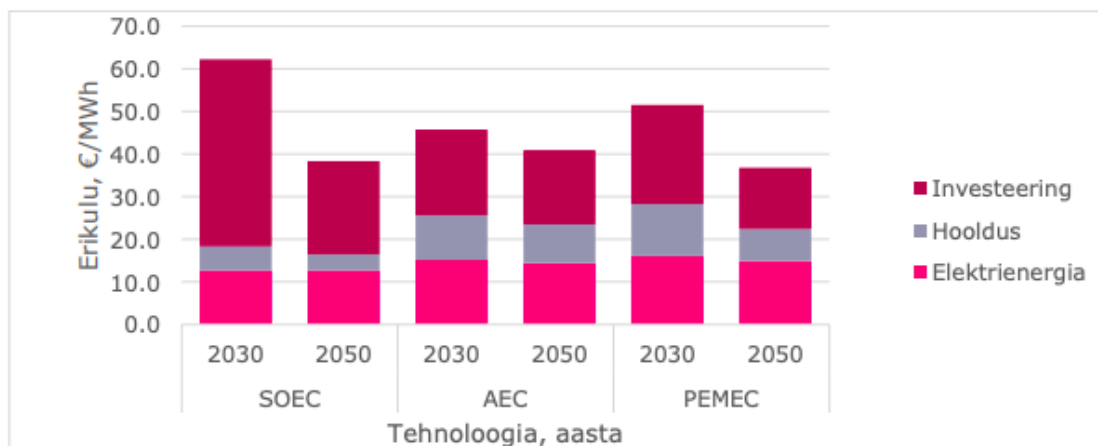


... along with the total phosphorous input



Allikas: (HELCOM 2021b)

Lisa 2. Elektrolüüsi teel toodetud vesiniku omahinna kujunemine 2030 ja 2050 a.



Allikas: (Agabus jt 2020)

SOEC – (*Solid Oxide Electrolyzer Cell*) tahkeoksiid elektrolüüdiga elektrolüüser.

AEC – (*Alkaline Electrolyzer Cell*) leeliselektrolüüdiga elektrolüüser.

PEMEC – (*Polymer Electrolyte Membrane Electrolyzer Cell*) polümeermembraan-elektrolüüdiga elektrolüüser.

Lisa 3. Intervjuu küsimused

Üldised küsimused:

1. Millised on praegune seis turul, kas eelistatakse odavamaid või keskkonnasäästlike kütuseid? Millised on turutrendid kütuste ja hinna osas?
2. Mis on Teie arvamus vesinikukütuse kasutuselevõtmist merenduses?
3. Hetkel on vesiniku kasutamine transpordis marginaalne. Kuidas saaks vesinikutehnoloogia edendamist toetada transpordis? Mis on peamised takistused vesinikutehnoloogia kasutusele võtmises merenduses?
4. Millistel marsruutidel laevad hakkavad Teie arvates eelisjärjekorras kasutama vesinikukütust?
5. Kui palju võib vesinikukütuse kasutamine meretranspordi hinda mõjutada?
6. Kui suure osa võiks aastaks 2050 moodustada vesinikukütusel sõitvad laevad Eesti piirkonnas?
7. Millal võiksid vesinikukütusega laevad olla tavapärane nähtus Eestis, Läänemerel?

Sadamale lisaküsimused:

1. Kuidas saaks sadam kaasa aidata keskkonnasäästlike kütuste kasutamise osas?
2. Kas sadamatel on tekkinud lisakohustusi seoses IMO keskkonnaregulatsioonidega? Kui jah, millised?

Laevafirmale lisaküsimused:

1. Kui oluline on keskkonnasäästlikkus transpordiliigi valikus?
2. Milline on riigipoolne tugi laevafirmadele IMO keskkonnaregulatsioonidega kohanemiseks? Näiteks toetused, muutused seadusandluses jne?

Laevaehitajale lisaküsimused:

1. Kui palju umbes maksavad vesinikutehnoloogiaga laevad võrreldes teiste kütustega, näiteks HFO, MGO ja LNG?
2. Kus hakkaks sõitma Baltic Workboatsi poolt ehitatud esimene vesinikulaev? Kui suur ja mis tüüpi on laev?

Valitsusasutusele lisaküsimused:

1. Milline on riigipoolne tugi merendusettevõtetele keskkonnaregulatsioonidega kohanemiseks? Näiteks toetused, muutused seadusandluses jne?
2. Kas riigi toetus on üldse oluline ja vajalik?
3. Kui palju teeb riik koostööd merendusettevõtetelega kliimaeesmärkide saavutamiseks? Kuidas saaks riik toetada, et ettevõtted arendaksid ühiselt ning toimuks koostöö?

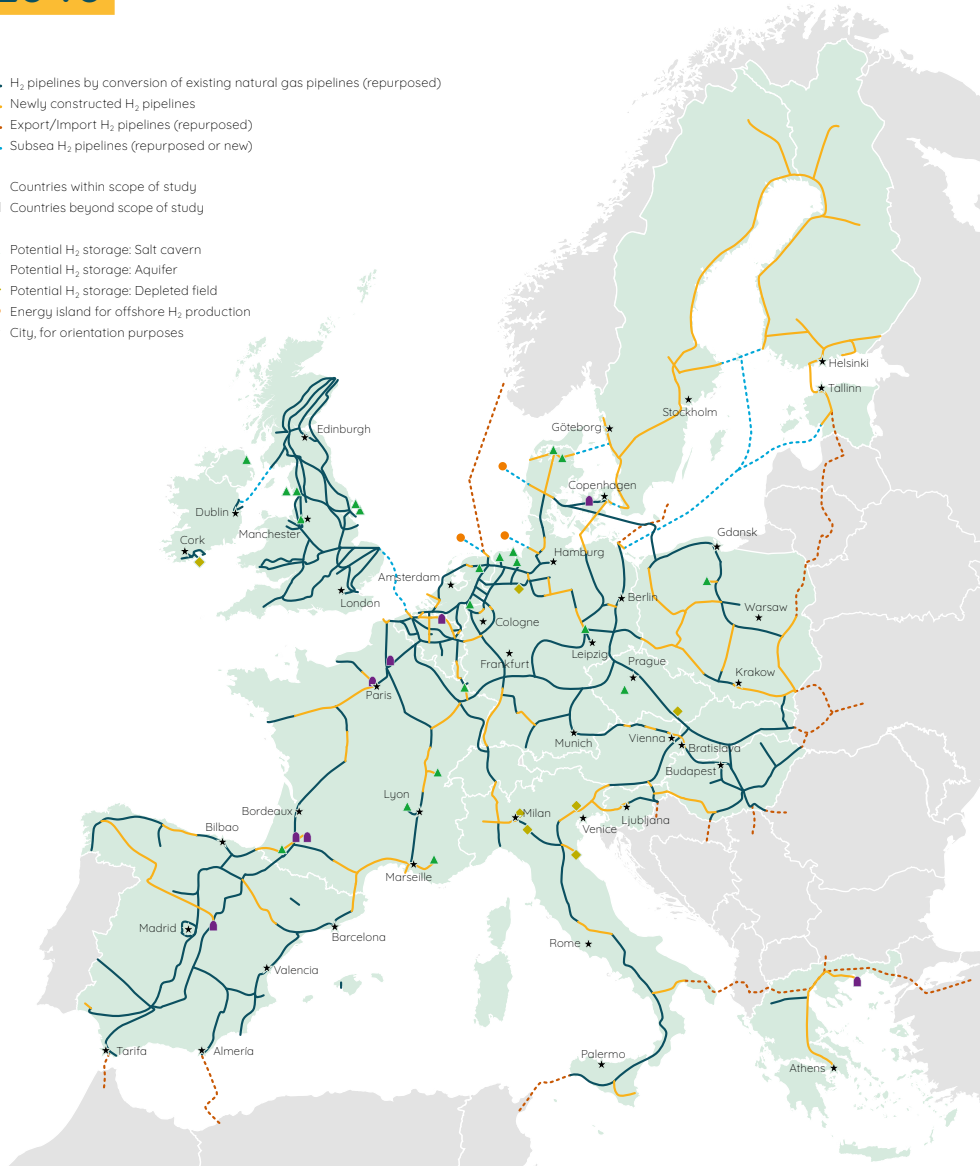
Lisa 4. Prognositav vesinikvõrgustik Euroopas 2040. aastaks

Mature European Hydrogen

Backbone can be created by

2040

- H₂ pipelines by conversion of existing natural gas pipelines (repurposed)
- Newly constructed H₂ pipelines
- - - Export/import H₂ pipelines (repurposed)
- - - Subsea H₂ pipelines (repurposed or new)
- Countries within scope of study
- Countries beyond scope of study
- ▲ Potential H₂ storage: Salt cavern
- Potential H₂ storage: Aquifer
- ◆ Potential H₂ storage: Depleted field
- Energy island for offshore H₂ production
- ★ City, for orientation purposes



Allikas: (Jens jt 2021)

Lihtlitsents lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ja reprodutseerimiseks

Mina Hanna Liise Arge (sünnikuupäev: 14.03.1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Vesinik kui alternatiivkütus merenduses ja selle turuperspektiivid Eestis“, mille juhendaja on: Tõnis Hunt

1.1 reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas TalTech raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

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

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

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

.....

(allkiri, kuupäev)