



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

EESTI MEREAKADEEMIA

Merenduskeskus

Svetlana Krupenski

**LNG KASUTAMISEST JA SELLE VARUSTUSKINDLUSEST
LÄÄNEMERE LAEVANDUSES**

Magistritöö

Juhendaja: lektor Yrjö Saarinen

Tallinn, 2023

Olen koostanud töö iseseisvalt.

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

Svetlana Krupenski

(Digitaalallkirjastatud, 17.05.2023)

Üliõpilase kood: 211677VAAM

Üliõpilase e-posti aadress: svetlana.krupenski@gmail.com

Juhendaja Yrjö Saarinen:

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Meelike Paalberg

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	5
JOONISTE LOETELU	7
ANNOTATSIOON.....	8
SISSEJUHATUS.....	9
1 ÜLEVAADE LÄÄNEMERE LAEVADE KÜTUSTEST	12
1.1 Rahvusvahelise laevanduse dekarboniseerimine	13
1.2 Alternatiivsed laevakütuseliigid	15
1.2.1 Metanool.....	16
1.2.2 Veeldatud maagaas	18
1.2.3 Biodiisel.....	18
1.2.4 Vesinik.....	19
1.2.5 Tuleviku tehnoloogiad (Tuumaenergia, <i>Onboard Carbon Capture</i> , Elekter).....	21
1.3 LNG-d kasutatavad laevad.....	22
1.3.1 Tehnilised omadused	22
1.3.2 Viking Grace.....	23
1.3.3 Megastar	25
1.3.4 Viikki ja Haaga.....	26
1.3.5 MyStar	27
1.3.6 Punkerdamislaev Optimus.....	28
2 2021-2023 GAASI MAKSUMUSE JA VARUSTUSKINDLUSE KRIIS	31
2.1 Kriisi põhjused ja areng	31
2.2 LNG hinnamuutuste dünaamika (TTF indeks)	36
2.3 LNG infrastruktuur Läänemeres	38
2.3.1 Klaipeda LNG terminal	40
2.3.2 Hamina LNG terminal	41
2.3.3 Paldiski LNG terminal.....	42
2.3.4 Inkoo LNG terminal	44
3 TURUOSALISTE KÜSITLUSED.....	46
3.1 Küsitluse korraldamine	46
3.2 Küsitluse tulemused.....	46
3.2.1 Tallink.....	46
3.2.2 Stena Line.....	47

3.2.3	ESL Shipping.....	48
3.2.4	Scandlines.....	48
3.2.5	TS Laevad.....	49
3.2.6	Elenger Marine.....	52
3.2.7	Elering.....	53
4	JÄRELDUSED.....	55
4.1	Uuete laevade ehitamine maailmas.....	55
4.2	LNG kasutamine laevakütusena Läänemeres.....	58
	KOKKUVÕTE.....	62
	SUMMARY.....	64
	VIIDATUD ALLIKAD.....	66
	LISA 1. Küsimused Tallink Grupp esindajale.....	73
	LISA 2. Küsimused Stena Lina, ESL Shipping ja Scandlines esindajatele (inglise keeles).....	74
	LISA 3. Küsimused TS Laevad esindajale.....	75
	LISA 4. Küsimused Elenger Marine esindajale.....	76
	LISA 5. Küsimused Elering AS esindajale.....	77
	LISA 6. Lihtlitsents.....	78

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

DW – (*Deadweight*), ehk dedveit. Laeva täielik kandevõime, ehk ühe reisiga pealevõetava lasti maksimaalne kogumass. Lasti hulka arvestatakse veetav kaup, reisijad ja meeskond koos pagasiga, laevatarbed, kütus, vee- ja toiduvarud. Dedveit on laeva veovõime üks tähtsamaid näitajaid.

Eurostat - ehk Euroopa Komisjoni statistikaamet, mille põhiülesandeks on Euroopa Liidu kohta statistilise informatsiooniga varustamine.

FSRU - (*Floating Storage and Regasification Unit*) - LNG taasgaasistamise ujuvterminal.

GT - (*Gross Tonnage*) - laeva kogumahutavus mis on üks laeva mõõtmise ühikutest. See on kõigi laevaruumide ja kinniste tekiehitiste koguruumala, millest on maha arvatud laeva topeltpõhja ja mõningate teenindusruumide mahud.

HELCOM - ehk Helsingi komisjon ehk Läänemere merekeskkonna kaitse komisjon, mis kaitseb Läänemere piirkonna merekeskkonda kõikide reostusallikate eest, tegutsedes Läänemere keskkonnakaitse konventsiooni alusel. Komisjoni liikmeteks on Taani, Rootsi, Soome, Saksamaa, Eesti, Läti, Leedu, Poola, Venemaa.

HFO – (*Heavy Fuel Oil*) on raske laevakütus, tuntud ka kui punkrikütus. HFO on naftatöötlemise jääk, millesse on lisatud vajaliku viskoossuse tagamiseks destilleeritud kütust.

IMO – (*International Maritime Organisation*), Rahvusvaheline Merendusorganisatsioon ÜRO juures, mille ülesandeks on edendada rahvusvahelist meresõidu ohutust ja vältida merereostust, koostöös nii valitsustega kui ka merendusharu esindajatega.

LNG – (*Liquefied natural gas*) - veeldatud maagaas.

MARPOL 73/78 - ehk rahvusvaheline laevade põhjustatava merereostuse vältimise konventsioon, on üks olulisemaid rahvusvahelise merekeskkonna kaitse konventsioone. Konventsiooni eesmärgiks on säilitada merekeskkonda, lõpetades täielikult naftajäätmete ning teiste heitmete merrelaskmise ning viia selliste heitmetega seotud õnnetuste arv miinimumini.

MGO – (*Marine Gas Oil*) - kõrgekvaliteediline destilleeritud kerge laevakütus.

SECA – (*Sulphur Emission Control Area*) - maailmamere piirkonnad, kus on kehtestatud laevadelt lähtuva vääveloksiidide SO_x koguste piirangud.

Ship-to-Ship - punkerdamine laevalt laevale.

Shore-to-Ship - punkerdamine kaldal asuvast LNG-mahutist laevale.

Truck-to-Ship - punkerdamine veoautolt laevale.

JOONISTE LOETELU

Joonis 1 SECA piirkond	14
Joonis 2 Metanooli laevakütusena kasutatavate laevade arv maailmas	17
Joonis 3 Metanooli laevakütusena kasutatavate laevade tüübid (maailmas).....	17
Joonis 4 Vesiniku laevakütusena kasutatavate laevade arv maailmas	20
Joonis 5 Vesiniku laevakütusena kasutatavate laevade tüübid (maailmas)	20
Joonis 6 MS Viking Grace'i punkerdamine	24
Joonis 7 MS Megastari punkerdamine veoautolt	25
Joonis 8 M/S Haaga.....	26
Joonis 9 MyStar-i saabumine Tallinna sadamasse Detsembris 2022	28
Joonis 10 B/V Optimus punkerdab Megastari.....	29
Joonis 11 Maagaasi hind Euroopas ja Ameerika Ühendriikides, 2018–2022	32
Joonis 12 Suurimad gaasitorud Euroopas.....	33
Joonis 13 Nord Stream 1 kaudu tarnete vähenemise dünaamika aastatel 2019–2022	34
Joonis 14 EL-i riikidesse tarnitud gaasi kogumaht 2021. aasta jaanuaris	35
Joonis 15 EL-i riikidesse tarnitud gaasi kogumaht 2022. aasta detsembris	35
Joonis 16 TTF indeksi muutus (€/MWh) igakuiselt alates 2020. aastast	37
Joonis 17 Euroopa LNG infrastruktuur	39
Joonis 18 Klaipeda LNG-terminal, FSRU Independence	41
Joonis 19 LNG punkerdamislaev Optimus Hamina sadamas	42
Joonis 20 Paldiski LNG terminali skeem	43
Joonis 21 FSRU Exemplar Inkoo LNG terminalis Detsembris 2022.....	45
Joonis 22 Stena Germanica punkerdamine Göteborgi sadamas 23.01.2023	47
Joonis 23 Scandlines-i hübriidpraam.....	49
Joonis 24 Hübriidparvlaev Töll	51
Joonis 25 FSRU ühendusjaam Paldiski LNG terminalil	54
Joonis 26 Uute laevade tellimuste jaotus kasutatavate kütuste järgi.....	55
Joonis 27 Uuete laevade kütuseliikide statistika lähtuvalt laeva kogumahutavusest	56
Joonis 28 Konteinerlaevade ehitamisel kasutatavad kütuseliigid.....	57
Joonis 29 LNG-laevade koguarv maailmas.....	57
Joonis 30 LNG-d laevakütusena kasutatavate laevade tüübid	58

ANNOTATSIOON

Magistritöö pealkirjaks on: „LNG kasutamisest ja selle varustuskindlusest Läänemere laevanduses“.

Töö eesmärgiks on selgitada välja, kas LNG kasutamine laevakütusena on endiselt perspektiivne strateegia IMO poolt kehtestatud keskkonnanormide täitmiseks Läänemerel. Selle eesmärgi saavutamiseks kasutab autor kvalitatiivset andmetöötlusmeetodit ehk intervjuude läbiviimist valdkonna esindajatega.

Allikadena kasutati akadeemilist kirjandust, teadusartikleid, värskeid uudiseid Läänemere piirkonna laevandusega seotud teemadel, aga ka viimaste seminaride materjale, mille teemad on seotud rahvusvahelise laevanduse dekarboniseerimisega.

Selle töö päevakajalisuse määrab asjaolu, et rahvusvahelise laevanduse dekarboniseerimine, mis on IMO üks prioriteetseid ülesandeid, suurendab oluliselt laevaomanike kütusekulusid, mis omakorda toob kaasa merevedude hinnatõusu. Antud juhul ei ole tegemist ühe valdkonna probleemiga – laevandus on Läänemere riikide majanduse oluline osa ja puudutab lõpuks otseselt või kaudselt meid kõiki. Gaasitarnete kriisi teema pole vähem aktuaalne, sest energiapuuduse ja sõltumatus teema äratav üha enam teadlaste ja avalikkuse tähelepanu.

Võtmesõnad: LNG, SECA, gaasikriis, veeldatud maagaas, LNG terminal, punkerdamine.

SISSEJUHATUS

Merevedudel on majanduse globaliseerumise ajal rahvusvahelises tarneahelas võtmeroll. Igal aastal veetakse meritsi üle 10 mld tonni kaupa, mis moodustab üle 90% rahvusvaheliste vedude kogumahust (United Nations News, 2022). Meritsi toimivate vedude mahu kasv toob kaasa ka meretranspordisektoris tarbitava kütuse koguse suurenemise. Laevade jõuseadmetes on kuni viimase ajani kasutatud valdavalt fossiilkütuseid diisli ja kütteõli kujul, mis on seotud kahe viimastel aastatel eriti aktuaalseks muutunud probleemiga.

Esimene probleem on spetsialistide prognoositud fossiilkütuste oluline hinnatõus, mis on tingitud aktsiisimäärade tõusust, CO₂ saastekvootidest ja geopoliitilistest teguritest. See omakorda tõstab märkimisväärselt laeva käitamise kogukulu ja vastavalt ka kaubavedude kulusid.

Teiseks probleemiks on kasvuhoonegaaside heitkogused, millele on viimastel aastakümnetel kogu tööstusmaailmas suuremat tähelepanu pööratud. Mere õhusaaste tegelikku taset pole lihtne hinnata, kuid spetsialistide hinnangul saab laevade panust globaalsetesse heitkogustesse ligikaudu näidata järgmises vahemikus: lämmastikoksiidid [NO_x] - 10 -20%. süsinikdioksiid [CO₂] - 2–4%. vääveloksiidid [SO_x] - 4–8% ja laevade heitkoguste osakaal atmosfääri on 5–10% ülemaailmse transpordisüsteemi heitkoguste kogumahust (Elgohary & Seddiek, 2012).

Üheks võimalikuks lahenduseks kahele eespool märgitud probleemile on üleminek alternatiivse laevakütuse kasutamisele.

Üks tähelepanuväärsemaid laevade jõuseadmete alternatiivseid kütuseid kõrvuti metanooliga on veeldatud maagaas (Brun & Kurz, 2020). Arvestades IMO laevakütuse väävlisisalduse piirmäärade nõudeid SECA-desse sisenevatele või sealt väljuvatele laevadele, on LNG-l mitmeid eeliseid, sest väävliühendid puuduvad peaaegu täielikult, samuti on põlemisel minimaalne CO₂-heitkogus, jäädes samas tõhusaks energiakandjaks. Samas võib LNG kasutuselevõtt olla seotud teatavate logistiliste ja tehniliste raskustega.

Aastal 2015 on TTÜ Eesti Mereakadeemia läbi viinud põhjaliku uuringu "Veeldatud maagaasi laevakütusena kasutuselevõtu tehnilise ja majandusliku teostatavus", mille eesmärkideks oli selgitada välja LNG laevakütuse kasutuselevõtu peamised tehnilised, infrastruktuursed ja majanduslikud riskid ja võimalused ning hinnata LNG laevakütuse kasutuselevõtu potentsiaali. Kui uuringu teostamise hetkel oli LNG laevakütuse kasutamine nii globaalselt kui ka Läänemere regioonis uus arengusuund (Kopti, Punab, & Guldenkoh, 2015), siis täna, 8 aasta möödumisel, on

LNG infrastruktuur juba väljakujunenud ning saab juba hinnata selle kütuse tegelikke kogemusi, sealhulgas Läänemere laevadel. Käesolevas töös viitab autor korduvalt Eesti Mereakadeemia poolt 2015. aastal läbi viidud uuringule, et võrrelda tolleaegsed LNG infrastruktuuri arendamise plaanid tänapäevase tegelikkusega.

LNG kasutuselevõtuga seotuid aspekte käsitletakse ka varasemate TalTechi lõpetajate lõputöodes. LNG punkerdamismeetodid ja nendega seotud ohutusaspektid on esitatud Sergei Danilovi magistritöös „Ohutusmeetmete rakendamise analüüs LNG punkerdamisel praktilise näite põhjal Tallinna Vanasadamas“ (2018). Eestisse LNG punkerterminali rajamise otstarbekuse teemat käsitletakse Dagne Markiine Kotkase töös „Veeldatud maagaasi punkerterminali vajalikkus Eestis“ (2019).

Eespool nimetatud tööde kirjutamisest on möödunud suhteliselt lühike aeg, kuid toimunud on üsna palju sündmusi, mis on mõjutanud energeetikavaldkonda üldiselt (ja gaasivaldkonda konkreetselt). Viimase paari aasta jooksul on Euroopa energiasüsteem seisnud silmitsi mitme väljakutsega, nagu enamiku energiatoodete kiiresti tõusvad hinnad ja ebakindlus turuvajaduste rahuldamiseks piisava tarne osas. Põhjustena tuuakse välja mitu järjestikust sündmust: karm talv 2020-2021, suvine põud Euroopas, elektriijaamade vananemisest tingitud ulatuslikud remonditööd (eriti Prantsusmaa tuumaelektriijaamades), sõda Ukrainas (Regional adequacy working group under Baltic Sea System Development Steering Committee, 2022). On ilmne, et peamiseks teguriks olid vahetult pärast Venemaa sissetungi Ukrainasse järgnenud sanktsioonid Venemaalt energiaressursside impordile.

Venemaa maagaasi tarned Euroopasse moodustasid viimastel aastatel ligikaudu 40% kogumahust. Desünkroonimine Venemaa energiavõrkudega on oluliselt raskendanud olukorda gaasitarnelega Eestisse, kus nagu enamikus teistes Venemaaga piirnevates riikides oli Vene gaasi osakaal turul oluliselt kõrgem - u. 93% (Eurostat). On selge, et uute mitmekesiste kütuse tarneahelate loomisele võib kuluda aastaid.

Pakkumise järsk vähenemine koos maagaasi nõudluse vähese paindlikkusega on selle energiakandja hinda Euroopas oluliselt tõstnud. Nii oli maagaasi hind Hollandi TTF-turul 2020. aasta augustis 5 EUR/MWh, 2021. aasta augustis tõusis kuni 50 EUR/MWh ja 2022. aasta augustis oli juba 232 EUR/MWh. Lõputöö kirjutamise päevaks (aprill 2023) on maagaasi hinnad jõudnud tagasi konkurentsivõimelisemale tasemele (52 EUR/MWh), see on aga tingitud mitmete soodsate tegurite kokkulangemisest.

Põhimõtteline muutus maagaasiturul toob kaasa vajaduse hinnata LNG-d ümber kui perspektiivset strateegiat IMO poolt Läänemerel sõitvatele laevadele kehtestatud nõuete täitmiseks. Käesoleva töö raames esitab autor järgmise hüpoteesi: „LNG kui laevakütus on endiselt perspektiivne strateegia IMO kehtestatud keskkonnanormide täitmiseks Läänemerel.“ Selle hüpoteesi kontrollimiseks korraldab autor kaks uuringut: 1) hinnatõusu mõju LNG kui laevakütuse majanduslikule konkurentsivõimele; 2) tarnekriisi mõju punkerdamisprotsessidele. Peamise uurimismeetodina kasutatakse kvalitatiivset andmetöötlusmeetodit ehk intervjuude korraldamist ja nende edasist analüüsi. Vastajateks olid nii Läänemere piirkonna suurimad laevaomanikud kui ka ettevõtted, mille tegevus on seotud LNG punkerdamise taristuga.

Töö esimeses osas annab autor üldpildi kõikidest Läänemerel kasutatavatest laevakütuse liikidest, misjärel peatub põhjalikumalt LNG-d põhikütusena kasutatavatel laevadel - nii juba käigusolevatel kui ka ehitusjärgus.

Töö teises osas analüüsib autor, kuidas aastatel 2021-2022 mõjutas hinnatõusust ja tarnekindlusest tingitud kriis veeldatud maagaasi kasutamist laevakütusena, milliste probleemide ja katsumustega laevaomanikud kokku puutusid.

Töö kolmandas osas töö võtab autor kokku turuosaliste (laevaomanikud, punkerdamisettevõte) seas läbiviidud küsitluste tulemusena saadud andmed.

Viimases osas sõnastab autor järeldused ja annab hinnangu LNG kui laevakütuse kasutamise väljavaadetele Läänemere piirkonnas.

1 ÜLEVAADE LÄÄNEMERE LAEVADE KÜTUSTEST

Vaatamata sellele, et käesoleva töö teemaks on veeldatud maagaasi kui laevakütuse kasutamise analüüs, peab autor vajalikuks anda üldpilt kõigist Läänemere laevadel kasutatavatest kütuseliikidest. Vajadus on tingitud asjaolust, et alternatiivseid laevakütuseid ei saa käsitleda üksikeisest eraldi, igal kütuseliigil on oma eripärad, eelised ja puudused.

Kuni 20. sajandi alguseni kasutati kõigi laevade jõuseadmetes ainult üht kütuseliiki - kivisütt. Naftatööstuse arenguga hakkasid kivisütt asendama vedelkütused: bensiin, petrooleum, diislikütus. Alates 1988. aastast hakati tootma ja aktiivselt kasutama spetsiaalset laevakütust, mida kasutatakse jõe- ja merelaevadel tänapäevani.

Laevakütust liigitatakse viskoossuse, väävlisisalduse, tiheduse, koksistumise ja tuhasuse alusel.

- Kütuse viskoossus iseloomustab sise hõõrdumist, mõjutab kütuse põlemist ja kütusesüsteemi tõrgeteta toimimist. Kuumutamisel väheneb kütuse viskoossus.
- Väävlisisaldus mõjutab kütuse määrdumadusi. Väävlisisalduse ületamine kütuses põhjustab kütusesüsteemi detailide korrosiooni, samuti suurendab heitgaaside toksilisust.
- Tihedus iseloomustab kütuse fraktsioonikoostist, auruvust ja keemilisi omadusi.
- Koksistumise indeks näitab kütuse põlemisel tekkinud tahket jääki, mille väärtus näitab kütuse mittetäieliku põlemise protsenti.
- Tuhasus (tuhasisaldus) on tingitud mittesüttivate lisandite olemasolust. Sageli on need ammutatud nafta loomulikud elemendid, kuid veelgi sagedamini ilmnevad need destilleerimisel, kütuse pikaajalisel hoiul ja transportimisel (Хорошев, Попов, & Гатин, 2019).

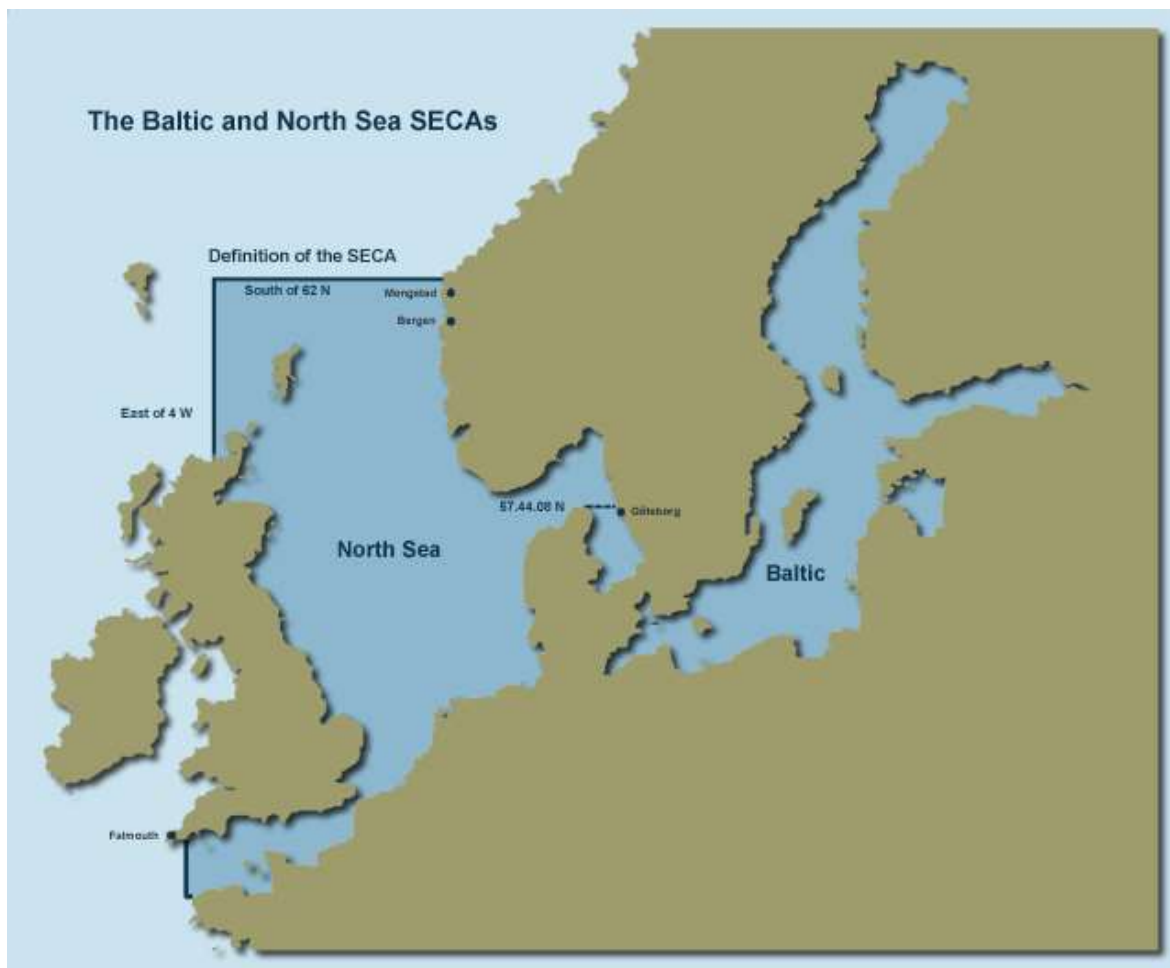
„Traditsiooniline“ (fossiilne) laevakütus jaguneb kahte põhiliiki - rasked ja kerged kütused. Rasket kütuste hulka kuulub raske laevakütus (*Heavy Fuel Oil, HFO*), mida kasutatakse kaubalaevade masinaruumides ja mis on kõige mustem õlifraktsioon. Rasket laevakütust saadakse diislifraktsioonidega naftatoodete jääkidest. Sellise kütuseliigi peamine eelis on suhteliselt madal hind.

Kerge te laevakütuste hulka kuulub näiteks kerge laevakütus (*Marine Gas Oil, MGO*), mis on ülimaldala väävlisisaldusega. Selline kütuseliik sisaldab oluliselt vähem kütteõli, see põhineb kergematel destillaatidel ning madal viskoossus muudab selle mootorisse pumpamise lihtsaks. MGO on oma struktuurilt väga sarnane diislikütusele, seda iseloomustavad head koksistumise näitajad, vähene nõe moodustumine ja kütuse kondenseerumise puudumine mootorisilindrites. MGO peamine puudus võrreldes raske laevakütusega on kõrge hind (Спутниксервис, 2022).

1.1 Rahvusvahelise laevanduse dekarboniseerimine

Punkrite turgu mõjutavad tugevalt rahvusvahelised keskkonnaorganisatsioonid. Rahvusvahelisel Mereorganisatsioonil (IMO) on selles protsessis juhtiv roll. Kõige olulisem IMO vahend võitluses keskkonnareostusega on 1978. aasta protokolliga muudetud 1973. aasta rahvusvaheline laevade põhjustatava merereostuse vältimise konventsioon (MARPOL 73/78), eelkõige MARPOL 73/78 VI lisa, mis reguleerib põlemissaaduste heitkoguste piiramist atmosfääri. Lisas määratletakse SECA-d (väävliühendite heitkoguste kontrolli piirkond, *SO_x Emission Control Area*), milles kontrollitakse rangelt vääveloksiidide heitkoguseid atmosfääri. MARPOL 73/78 VI lisa nõuete kohaselt peavad alates 2015. aastast kõik SECA-desse sisenevad või sealt lahkuvad laevad järgima kütuse väävlisisalduse piirnormi - mitte rohkem kui 0,1% m/m. See nõue kehtib ka Läänemerel sõitvatele laevadele - see piirkond on meresõidu intensiivsuse tõttu arvatud keskkonnakaitseliselt eriti haavatavana SECA hulka.

Joonisel 1 on toodud SECA piirkond, kus on kehtestatud laevadelt lähtuva vääveloksiidide SO_x koguste piirangud.



Joonis 1 SECA piirkond. Allikas: IMO, 2023

Peamine nõuandev organ MARPOL 73/78 VI lisa (ja selle täienduste) koostamisel on Helsingi komisjon ehk Läänemere merekeskkonna kaitse komisjon (*Baltic Marine Environment Protection Commission, The Helsinki Commission, HELCOM*). Komisjon moodustati Läänemere piirkonna merekeskkonna kaitse Helsingi konventsiooni allkirjutamise tulemusena ja ühendab selliseid riike nagu Soome, Rootsi, Taani, Eesti, Läti, Leedu, Saksamaa, Poola ja Venemaa.

HELCOMi sõnul on sellise range keskkonnaregulatsiooni peamine eesmärk vähendada negatiivseid tagajärgi rahvatervisele ja keskkonnale. Paljud südame-veresoonkonna ja hingamisteede haigused on sageli põhjustatud väävliühendeid sisaldavatest osakestest. Lisaks tervisemõjudele põhjustavad need ühendid hapestumist, mis mõjutab negatiivselt ökosüsteeme, hooneid ja kultuuripärandit. Tervikuna ületab HELCOMi hinnangul regulatsiooni positiivne mõju rahvatervisele ja keskkonnale oluliselt väävliheitkoguste nõuete täitmise kulusid (Jonson, Jalkanen, Johansson, & Denier van der Gon, 2015).

Ühine probleem kliimamuutustega võitlemise meetmete osas üksmeele saavutamisel on tööstusriikide ja arengumaade traditsiooniline vastasseis, mille huvid on diametraalselt vastandlikud. SECA-regulatsioon on selles osas muutunud erandiks – arvestades üsna kitsast huvirühmade ringi ja sarnaseid seisukohti valdkonna probleemidele, ei saanud SECA reguleerimine, kui mitte arvestada teatavad kriitilisi märkusi, tõsist poliitilist vastuseisu ega nõudnud suuri diplomaatilisi jõupingutusi (Dbouk, 2021).

Lähtuvalt asjaolust, et laevaliiklust Läänemerel iseloomustavad suhteliselt lühikesed vahemaad ja paljudel liinidel on konkurents maismaatranspordiga (Repka, 2021), mõjutab kütuse väävlisisalduse piirnormi järgimise nõue mitut tuhat laeva, sellel on oluline majanduslik mõju piirkonna laevandusele. Valdkonna osalejad on tõdenud reguleerimist kui vajalikkust, mis aitab kaasa ka innovatsiooni arengule. Enamik SECA-s tegutsevatest suurematest laevaomanikest on otsustanud kas nüüdisajastade oma olemasolevaid laevu või investeerida uute ehitamisse. Sadamad ja nendega piirnevad linnad hakkavad omakorda looma taristut „puhaste“ kütuste hoidmiseks ja punkerdamiseks (Lähteenmäki-Uutela, Repka, Haukioja, & Pohjola, 2017).

IMO on võtnud kursi heitkoguste vähendamiseks 0%-ni – see eesmärk peaks tänase seisuga olema täidetud 2050. aastaks. Võimalik, et seda kurssi kohandatakse järgmises IMO strateegilises ülevaates, mille avaldamine on plaanitud 2023. aasta juulisse.

Punkriturule avaldab mõju ka Euroopa Liit. Üks olulisemaid regulatsioone on 2024. aastal kehtima hakkav EL ETS (*European Emission Trading System*) üleminekuperioodiga aastani 2026, mille mõte on kasutatava kütuse efektiivsuse tõstmine maksumuse/energiatõhususe vahekorras.

IMO ja ELi nõuete täitmist on võimalik saavutada mitmel viisil: üleminek destillaatide (laevadiisli), madala väävlisisaldusega laevakütuse kasutamisele, skruuberite – gaasi-õhu keskkonda lisanditest puhastavate seadmete paigaldamisega, segamise abil, samuti alternatiivsele - nn „puhastele“ kütustele üleminekuga.

1.2 Alternatiivsed laevakütuseliigid

Peamisi alternatiivseid laevakütuste liike võib leida kahel kujul: vedelkütused (metanool, biodiisel) ja gaaskütused (vesinik, maagaas). Kui mittekaevandatavad kütused on keskkonnasõbralikumad, siis mõnda neist on madala energiasisalduse tõttu raske laevadel laialdaselt kasutada.

Alternatiivsetele kütuseliikidele esitatavad põhinõuded:

- piisavate ressursside olemasolu;
- vastuvõetav maksumus;
- tehnoloogiline ja energeetiline ühilduvus laevade jõuseadmetega;
- kütuse tootmis- ja kasutusprotsesside vastuvõetavad keskkonna- ja majandusnäitajad (Рябинин & Телегин, 2018).

Märkimisväärsetest alternatiivsetest kütuseliikidest käsitletakse praegusel ajal eelkõige metanooli ja veeldatud maagaasi, aga ka biodiisli, vesiniku ja muud.

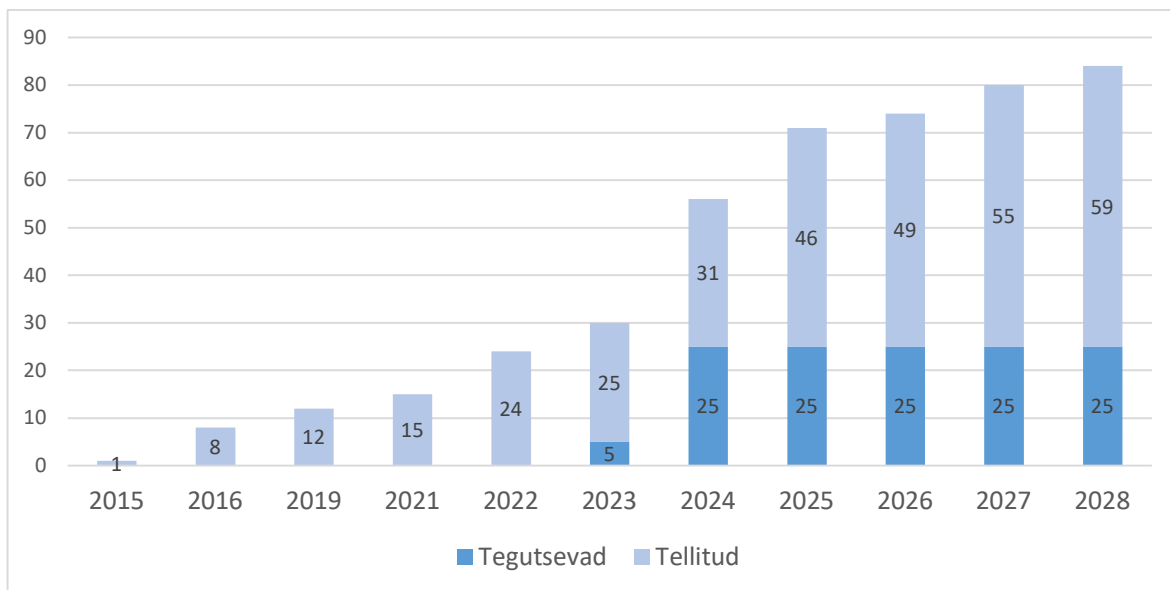
1.2.1 Metanool

Sellel kütuseliigil on head näitajad, kuid kõrge toksilisuse ja suurte metaani heitkoguste tõttu atmosfääri on selle ulatuslik kasutuselevõtt juba pikka aega olnud raskendatud. Pikka aega kasutati metanooli peamiselt seda tüüpi tooteid vedavate tankerite tankimiseks, kuid viimase paari aasta jooksul on metanool koos LNG-ga hõivanud kasutusperspektiivi poolest ühe juhtpositsiooni (DNV, 2022).

Metanoolile üleminekul on mitmeid eeliseid: madalam (võrreldes LNG-ga) laevaehituse maksumus, laevadel hoidmise lihtsus, metanooli tootmise võimalus biotoorainest. Metanooli eelisteks on kõrge detonatsioonikindlus ja kõrge kasutegur tootmisel. Puuduseks võib lugeda asjaolu, et metanool puhtal kujul on mürgine, mis tähendab, et kasutamisel on vajalik kütusesüsteemi hoolikas tihendamine. Metanooliaurud võivad organismi sattumisel põhjustada rasket mürgistust, pimedaksjäämist või surma (Андриадис, Кузнецова, & Петров, 2018).

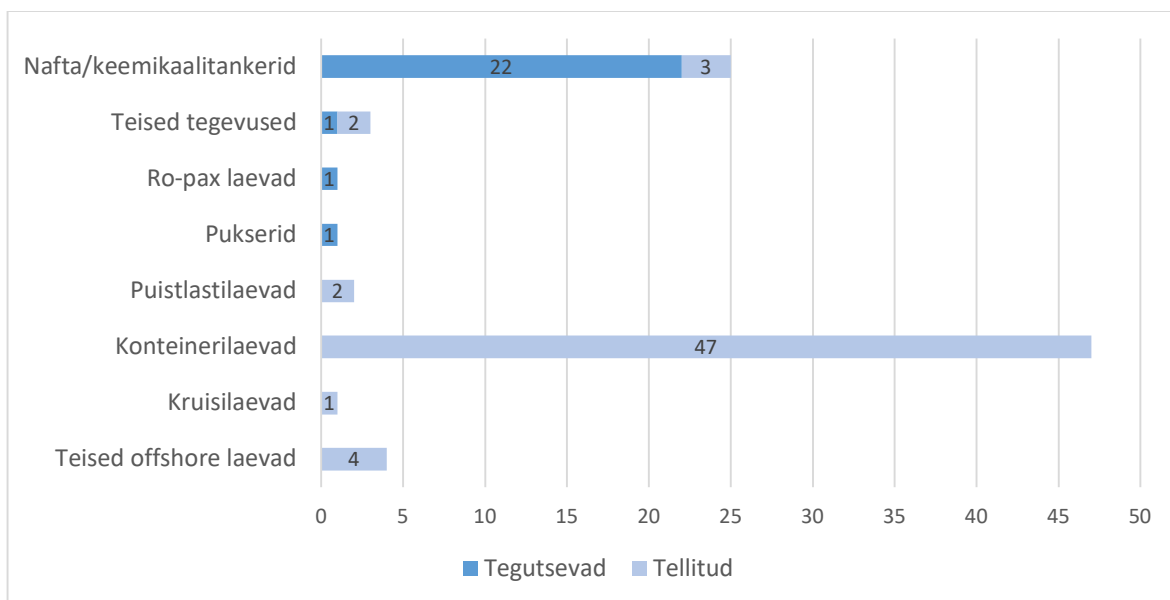
Aktuaalne teema on metanooli võimalikud lekked ookeani. Spetsialistide kinnituste kohaselt sellisel juhul keskkonnale olulist ohtu ei ole – metanooli levik toob kaasa piiratud keskkonnakahju. Metanool lahustub vees hästi ja mere ökosüsteemile muutva mõju avaldamiseks on vaja selle suurt kontsentratsiooni. Pealegi on metanool merekeskkonna loomulik element – seda toodab fütoplankton ja tarbivad bakteriaalsed mikroobid, olles seega osa ookeanifauna toiduahelast (DNV, 2023).

Metanooli kasutavate laevade tellimuste üldine kasv maailmas on selgelt näha joonisel 2, kus eraldi on toodud nii juba kasutusele võetud laevad kui ka ehitatavad laevad. (DNV, 2023).



Joonis 2 Metanooli laevakütusena kasutavate laevade arv maailmas. Allikas: DNV, 2023, autori töötlus

Samal ajal jäävad konteinerilaevad ja tankerid domineerivaks laevaliigiks, mis kasutavad kütusena metanooli. Seda illustreerib joonis 3, mis näitab, millistel laevadel kasutatakse kütusena metanooli. Eraldi on toodud nii juba kasutusele võetud laevad kui ka ehitatavad laevad. (DNV, 2023).



Joonis 3 Metanooli laevakütusena kasutavate laevade tüübid (maailmas). Allikas: DNV, 2023, autori töötlus

1.2.2 Veeldatud maagaas

Veeldatud maagaas, kui puhas ja kõrge energiasisaldusega kütus, on tänapäeval üks nähtavamaid alternatiivseid kütuseliike. LNG põhieelised on keskkonnasõbralikkus, mis on tingitud väevliühendite peaaegu täielikust puudumisest, ning minimaalsed CO₂ heitkogused põlemisel (DNV Webinar, 2021). Samal ajal piiravad veeldatud maagaasiga mootorite kasutuselevõttu raskused sellise kütuseliigi logistikaga - näiteks nõuab sellise kütuseliigiga punkerdamine spetsiaalse taristu loomist ning LNG transporti ja kasutamist raskendavad selle kõrge süttivusega seotud riskid ja hoiuvajadus ülimadalatel temperatuuridel rõhu all (Draffin, 2013).

LNG on krüogeenne vedelik, see tähendab, et selle temperatuur on alla -120 kraadi Celsiuse järgi. LNG tihedus on 45 protsenti vee tihedusest. LNG tootmise põhikomponendiks on metaan, mida peetakse kõige lihtsamaks ja levinumaks süsinikkütuseks. Võrreldes teiste kütustega on LNG-l kõrge soojusvõimsus ja eraldab põletamisel oluliselt vähem CO₂.

Maagaasi veeldamise tehnoloogiline operatsioon seisneb puhastamises ja lisandite - elavhõbeda, vee, süsinikdioksiidi ja väeveldioksiidi - eemaldamises. Järgnevalt toimub raskete süsivesinike eemaldamine. Vajadusel eemaldatakse ka propaan ja butaan või veeldatud naftagaas. Seejärel siseneb gaas spetsiaalsetesse seadmetesse, kus see veeldatakse jahutamisel temperatuurini -160 kraadi Celsiuse järgi. LNG-d hoitakse spetsiaalsetes mahutites keevas olekus temperatuuril -160 kraadi ja atmosfäärilähedasel rõhul. LNG-d transporditakse krüogeense vedelikuna ja muudetakse gaasiosjate seadmetes gaasiliseks, kasutades merevett, glükooli lahuseid või aurusteid koos põlemisprotsessiga (European Maritime Safety Agency, 2018).

Laevandusvaldkonnas on LNG tuntud juba aastakümneid tankeritega veetava kaubana, kuid esimest korda hakati seda kasutama laevakütusena suhteliselt hiljuti, peamiselt laevadel, mis teostavad regulaarvedusid suhteliselt lühikestel vahemaadel. Kuni viimase ajani hindasid spetsialistid kõrgelt väljavaadet kasutada LNG-d peamise kütusena lühikestel marsruutidel sõitvatel laevadel. Üks peamisi majanduslikke tegureid, mis seda hinnangut mõjutas, oli kasu maksumuse erinevusest võrreldes tavapärase laevakütuse liikidega (Brun & Kurz, 2020).

1.2.3 Biodiiseli

Biodiiseli on taastuvatest energiaallikatest toodetav diislikütus. See on taimsest või loomsest õlist toodetav metüüleeter. Biodiisli tootmiseks sobivad igasugused taimeõlid, samuti loomse päritoluga tahked õlid, õli- ja rasvatootmise või tapamajade jäätmed. Biodiisli omadused sõltuvad

kasutatavast toorainest. Nii on palmiõlist valmistatud biodiislikütus kõrge kalorsusega, kuid külmub madalal temperatuuril kiiresti. Rapsi peetakse optimaalseks biodiisli tootmise tooraineks, sest tootmise efektiivsus on väga kõrge ja rapsist biodiisel talub paremini külma (DNV, 2019).

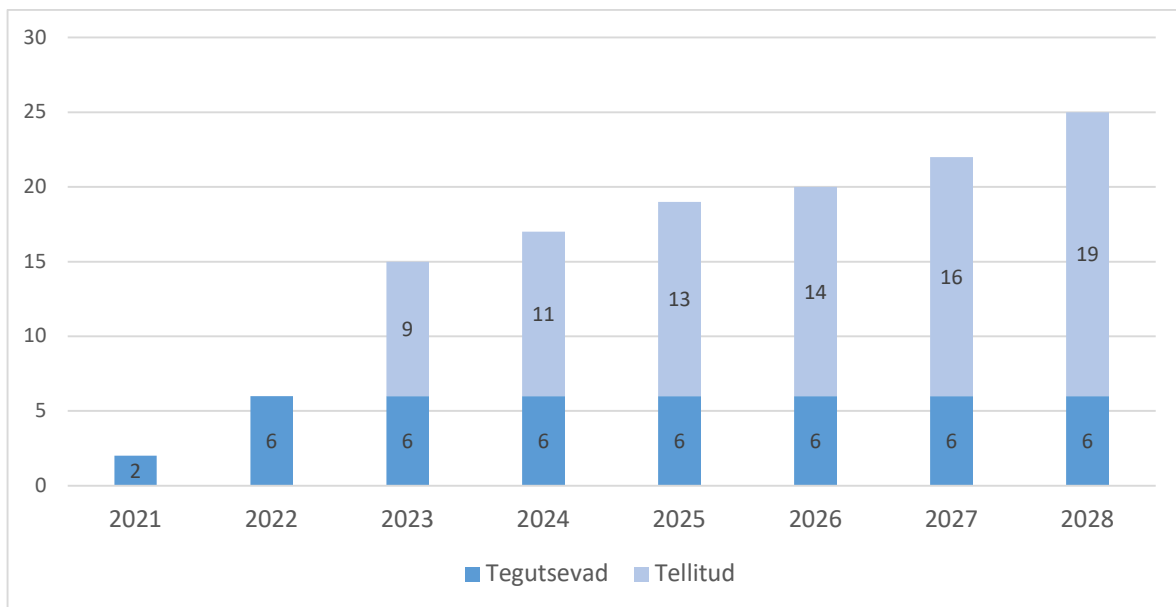
Biodiisliil on laevandusvaldkonnale head süttivus- ja põlemisomadused, puudusteks on materjali hüdrofiilsus, kasutusomaduste kiire kadu hoidmisel ja heitkoguste sõltuvus segamistehnikatest.

Väärrib märkimist, et biokütuste teema on väga lai ja loomulikult ei piirdu ainult biodiisliga. Biokütuste ilmseks eeliseks on nende mittekaevandatav päritolu, samuti kasutusvõimalus ilma jõuseadmete ajakohastamise vajaduseta. Peamiseks piiravaks teguriks on tooraine (biomassi) kättesaadavus valdkonna vajadusteks vajalikus koguses (DNV Maritime, 2022).

1.2.4 Vesinik

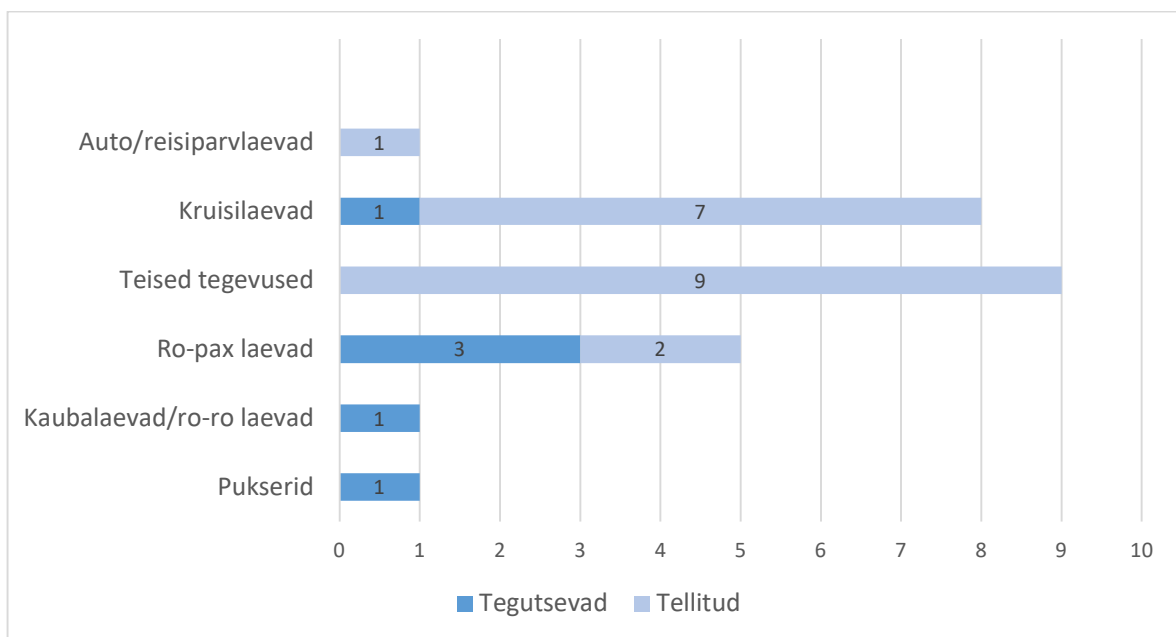
Vesinik on gaas, mida leidub looduses piiramatus koguses. Vesinik on üks keskkonnasõbralikumaid kütuseid (peaaegu ei sisalda põlemissaadusi), kuid sellel on üsna madal mahuline energiatihedus, mis toob kaasa vajaduse suurte hoiukohtade järele. Lisaks on vesinikul suur plahvatusohtlikkus ja äärmiselt madal keemistemperatuur (-252,6 kraadi Celsiuse järgi). Sellest tulenevalt eeldab vesiniku kasutamine kas suurte mahutite olemasolu pardal või sagedast punkerdamist. Nendel põhjustel ei ole vesinik ookeanilaevanduses sobiv kütus, kuid seda võib kaaluda alternatiivina Läänemere laevadel kasutamiseks või abijõuseadmena (Рябинин & Телегин, 2018).

Vesiniklaevade kasutatavate laevade koguarv maailmas on esitatud joonisel 4, kus eraldi on toodud nii juba kasutusele võetud laevad kui ka ehitatavad laevad (DNV, 2023).



Joonis 4 Vesiniku laevakütusena kasutatavate laevade arv maailmas. Allikas: DNV, 2023, autori töötlus

Märkimisväärne osa tellimustest, nagu on näidatud joonisel 5, pärineb kruisifirmadelt. Eraldi on toodud nii juba kasutusele võetud laevad kui ka ehitatavad laevad (DNV, 2023).



Joonis 5 Vesiniku laevakütusena kasutatavate laevade tüübid (maailmas). Allikas: DNV, 2023, autori töötlus

1.2.5 Tuleviku tehnoloogiad (Tuumaenergia, *Onboard Carbon Capture*, Elekter)

Alternatiivsetest laevakütuse liikidest rääkides tasub nimetada tehnoloogiaid, mille praktiline rakendamine kommerts-laevanduses ei ole praegusel ajal aktuaalne, kuid spetsialistid hindavad tuleviku kasutusperspektiive kõrgelt. Üldiselt peetakse silmas tuumaenergiat. Tuumamootorid on mereväes laialdaselt kasutusel, nende peamiseks eelisteks on praktiliselt piiramatult sõiduulatus ja võime hoida pikka aega suurt sõidukiirust. Samas on tuumaseadmetega laevadega opereerimine seotud suurte riskidega (nii meeskonnale kui ka keskkonnale) – et vähendada eksploatatsiooniriske kommerts-laevanduses vastuvõetava tasemeni, on vaja välja töötada teist liiki reaktoreid. Töö seda tüüpi reaktorite loomisel juba käib – eeldatakse, et sulasoolreaktorid (Molten Salt Reactors, MSR) suudavad tagada vajaliku ohutuse, keskkonnasõbralikkuse ja efektiivsuse. Eeldusel, et tehnoloogilise progressi areng kulgeb plaanipäraselt, on esimesed sulasoolreaktorid saadaval 2030. aastaks ja esimesed laevad vastavate jõuseadmetega 2035. aastaks (DNV, 2023).

Teine arendamisel olev tehnoloogia on süsiniku sidumine pardal (*Onboard Carbon Capture (OCC)*). Süsiniku sidumise ja säilitamise (*Carbon Capture and Storage, CCS*) protsess hõlmab CO₂ eraldamist energiaallikast, transportimist hoiukohta ja pikaajalist isoleerimist atmosfäärist. Nagu ka tuumaenergia puhul, pole ka see tehnoloogia uus, vaid seda on kasutatud erinevatel eesmärkidel juba mitukümmend aastat (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2005). Tehnoloogia peaks olema kommerts-laevanduses kasutamiseks kättesaadav 2030. aastaks. Enne seda tuleb lahendada palju tehnilisi ja keskkonnavalaseid küsimusi, millele praegu selgeid vastuseid pole. Seega nõuab süsihappegaasi sidumise tehnoloogiline protsess märkimisväärseid energiakulutusi, mis võib kaasa tuua kogu kütusekulu suurenemise kuni 45%. Lisaks piirab tehnoloogia kasutuselevõttu CO₂ hoidmiseks saadaolevate allmaahoidlate hulk. Spetsialistide hinnangul võib süsiniku pardal sidumise tehnoloogia muutuda aktuaalseks peamiselt suuritel tankeritel kasutamiseks (Maersk Mc-Kinney Moller Center, 2022).

Veel üks tähelepanu vääriiv segment on täiselektrilised laevad. Elektrilaevade arenduse eestvedaja on praegusel ajal Norra, kus antakse rahalist toetust uute elektrilaevade ehitamiseks. Üks huvitavamaid projekte sellel suunal on 2022. aastal ehitatud täiselektriline konteinerlaev MV Yara Birkeland, mis kuulub Norra keemiaettevõttele Yara International. Laev sõidab 7 meremiili pikkusel liinil Herøya-Brevik ja on katseprojekt, mille eesmärk on kontrollida täielikult autonoomse ja kaugjuhtimisega elektrilaeva kontseptsiooni. Vaatamata selle tehnoloogia vaieldamatule perspektiivikusele eeldab selle laialdane kasutamine arenenud taristu olemasolu sadamates, mis on paljude aastate küsimus. Elektriautode kasutamisega sarnastel põhjustel

peetakse elektrilaevade kasutamist oluliseks eelkõige suhteliselt lühikestel marsruutidel või siseveekogudel (IDTechEx Research, 2017).

Arvestades survet, mida kaubanduslikule meresõidule praegu avaldatakse, on eespool nimetatud tehnoloogiad praegu pigem uurimis- ja arendustegevuse teema. Pole välistatud, et see on lahendus tulevaste põlvkondade laevadele, kuid praegu on laevaomanikud olukorras, kus neil on juba lähitulevikus vaja teha otsuseid tehnoloogia kättesaadavusest lähtuvalt.

1.3 LNG-d kasutatavad laevad

1.3.1 Tehnilised omadused

Kui pidada silmas LNG-d kütusena kasutatavate laevade funktsionaalseid ja konstruktsioonilisi omadustest, võib märkida, et neile kõigile kehtib põhioõue – vastava ohutustaseme tagamine. See nõue on tingitud veeldatud maagaasi füüsikalistest omadustest – kõrgest süttivusest ja hoiuvajadusest ülimadalatel temperatuuridel rõhu all.

Nii hoitakse LNG-d kütusena pardal silindrilises krüogeenses mahutis, mis on valmistatud spetsiaalsest tugevdatud plastist tõmbetugevuse piirväärtusega 1029 MPa. Mahuti seinad on valmistatud selliselt, et see talub rõhku 0,3-10 baari ja säilitab hoiutemperatuuri -162 °C. Säilitusmahutid on alati topelt seintega, mille vahel on ülitõhus isolatsioon, aga et isolatsioon olenemata tõhususest ei suuda iseenesest hoida temperatuuri vajalikul madalal tasemel, hoitakse LNG-d keevas olekus (Elgohary M. M., 2013).

Laeva konstruktsioon peab andma võimaluse piirata ja kontrollida kohti, kus gaasi tarnimine ja kasutamine toimub. LNG tarnimiseks mõeldud torujuhtmed ei tohi läbida kajuteid ja teenindusruume. Kõik gaasitorud, mis läbivad kinnist ruumi väljaspool laeva masinaruumi, peavad asuma kahekordse toru või õhukanali sees, millel on rõhu all mehaaniline ventilatsioon, mis tagab 30 õhuvahetust tunnis, ja gaasilekke tuvastamise süsteemid. Õhukanali suurus peab vastu pidama survele, mis tekib toru lõhkemisel (Возницкий, 2005).

Esimeseks LNG-laeva ehituskulusid (*Capital Expenditures, CAPEX*) mõjutavaks teguriks on mahutisüsteem. Umbes 20 000 TEU mahutavusega konteinerlaevade puhul on LNG-mahutisüsteemi maksumus hinnanguliselt 10-15 mln USD. See moodustab ligikaudu 5% laeva ehituse kogumaksumusest. Võrreldes tavakütusel töötava laeva kütusemahutite maksumusega tähendab see mahutite ehituskulude kasvu 55-65%.

Teine tegur, mis mõjutab LNG-laeva ehituskulusid, on kahekütuselise mootori kallim hind, mis on tavaliste nafatakütustel töötavate diiselmootoritega võrreldes 40-45% kallim. Et turul ei ole saadaval puhtalt gaasiküttel töötavaid mootoreid, on LNG ainsaks kasutusviisiks praeguseni kahekütuselised mootorid, mis on võimelised töötama kas tavapärase laevakütusega või segarežiimis, kus süütekütusena kasutatakse minimaalset kogust laevadiisliit. Teine, vähem keskkonnasõbralik kütusestrateegia on kasutada enamiku ajast fossiilkütuseid, samas kui LNG-d kasutatakse ainult heitkoguste kontrolli piirkondades (SECA). Ainult gaasiga töötada ei saa, mis tähendab, et saadaval peavad olema mõlemad kütuseliigid (DNV Maritime, 2021).

Uue LNG-l töötava laeva ehitamise maksumus on hinnanguliselt 25-30% kallim samaväärselt naftakütusel töötava laeva maksumusest (Kopti, Punab, & Guldenkoh, 2015).

Lisaks uue ehitamisele on samuti võimalik LNG-le üle viia olemasolev diiselmootoriga laev. LNG ja vedelkütuste põhimõttelise erinevuse tõttu (hoidmise, käitlemise ja mootoris kasutamise seisukohalt) on see nüüdisajastamine seotud kallite ja mahukate mahutite ning uute kahekütuseliste mootorite paigaldamise vajadusega. Samuti tuleb arvesse võtta laeva märkimisväärset seisakuaega. Spetsialistide hinnangul on laeva ümberehitamist LNG-ga kasutamiseks mõttekas kaaluda vaid juhul, kui laeva vanus ei ületa 5 aastat (Kopti, Punab, & Guldenkoh, 2015).

Fossiilkütusega võrreldes nõuab LNG hoid 2-3 korda rohkem laevaruumi. See vähendab laeva nimivõimsust ja suurendab tegevuskulusid (*Operating Expense, OPEX*), mis on tingitud sagedamast punkerdamisvajadusest. Tegevuskulude suurendamisel on ka teisi (vähem olulisi) tegureid - näiteks LNG-laeval töötamiseks vajaliku pädevusega meeskonna maksumus, suuremad kindlustuskulud, varuosade kõrge hind.

1.3.2 Viking Grace

MS Viking Grace – laevafirmale Viking Line kuuluv ro-pax-laev, millega asuti opereerima 2013. aasta jaanuaris. See on esimene suurem veeldatud maagaasiga töötav parvlaev. Laev ehitati laevatehases STX Europe Turku ja läks maksma ligikaudu 240 miljonit eurot (Viking Line, 2010). Laev sõidab Turku-Stockholmi liinil.



Joonis 6 MS Viking Grace'i punkerdamine. Allikas: Wärtsila

Laev on varustatud kahekütuselise mootoriga, mis töötab nii LNG kui ka MGO-ga. Täielikust punkerdamisest piisab 2-3 sõidupäevaks. Laeva pikkus on 218 meetrit, laius 31,8 meetrit ja maksimaalne suvine süvis on 6,80 meetrit. Laeva dedveit on 6107 DWT ja mahutavus 57 565 GT, mis võimaldab sõidutada 2800 reisijat. MS Viking Grace'il on 1000 meetrit radu autodele ja 1275 meetrit radu ro-ro kauba jaoks (European Commission, 2017).

Rääkides MS Viking Grace'ist, ei saa nimetamata jätta ka rootorpurje tehnoloogiat (Rotor Sail Solution), mis oli üks aruteluteemasid meretranspordi alternatiivsetele energiaallikatele pühendatud DNV Maritime konverentsil (Alternative Fuels Online Conference, November 2022). Rotorpurje tehnoloogiat (*Rotor Sail Solution*) arendab Soome firma Norsepower ja see võib soodsate ilmastikutingimuste korral säästa kuni 20% kütust. MS Viking Grace oli algselt varustatud rootorpurjega, mis võimaldas LNG hübriidkasutamist koos tuuleenergiaga. Rotorpurje katsetati esmakordselt 12. aprillil 2018 reisil Turkust Stockholmi, kuid eemaldati hoolduse käigus 2021. aastal. Purje tegelikku mõju LNG tarbimisele on Viking Line'i sõnul raske hinnata, sest nii mereolud kui ka kaubamaht muutuvad päev-päevalt (Turun Sanomat, 2021).

MS Viking Grace'i ehitamist ajendas vajadus asendada 1980. aastate lõpus ehitatud MS Isabella ja MS Amorella. Viking Line'i juhi sõnul lähtus ettevõtte uuele laevale kütust valides sellest, et LNG võiks sobiva hinna korral olla tuleviku laevakütus. LNG kasuks otsustamisel olenes palju Viking Line'i läbirääkimistest Skandinaavia ühe suurima gaasitarnijaga - Gasum.

Varustuskindluse hindamisel võeti arvesse kavandatavat LNG-terminali rajamist Naantali või Turusse. Vägagi oluline tegur LNG-laeva ehitamisotsuse juures oli riigi toetus laevastiku keskkonnaseisundi parandamise investeeringuteks summas 28 miljonit eurot (Enkvist, 2010).

1.3.3 Megastar

MS Megastar – jaanuaris 2017 Meyer Turu laevatehases Tallinkile ehitatud ro-pax tüüpi laev. MS Megastarist sai Tallinki esimene LNG-laev. Tellimuse kogusumma oli 230 miljonit eurot (Cruise Industry News, 2017).



Joonis 7 MS Megastari punkerdamine veoautolt. Allikas: Eesti Gaas.

Laev on varustatud Wärtsilä 50DF kahekütuseliste mootoritega, LNG oli algselt mõeldud põhikütuseks ja diislikütus abikütuseks. Laeva pikkus on 212 meetrit, laius - 36 meetrit, mahutavus - 49 000 GT, max reisijate arv - 2800 inimest.

LNG hoidmiseks kasutatakse kahte krüogeenset mahutit mahuga 300 m³. Erinevalt Viking Grace'ist asuvad mahutid laeva kere sees, peateki all (Wärtsilä, 2017).

1.3.4 Viikki ja Haaga

Viikki ja Haaga on Soome ettevõtte ESL Shipping tellimusel 2018. aastal Bothnia Bulk nimelise projekti raames ehitatud jääklassi IA kuivlastilaevad.

Projekti Bothnia Bulk rahastati EL-i vahenditest ja see teostati aastatel 2016–2020. Projekti eesmärk oli nüüdisajastada mereliiklus Läänemere põhjaosas veelgi keskkonnasõbralikumaks. Kahjulike heitkoguste vähendamiseks atmosfääri kavandati LNG laiialdast kasutamist laevakütusena, samuti Rootsi Luleå ja Oxelösundi sadamate ning Soome Raahe sadama töö efektiivsuse suurendamist. Projekt hõlmas kahe uue jääklassiga IA LNG-kuivlastilaeva ehitamist, punkerdamistaristu arendamist Raahe sadamas, investeeringuid laevade kaldaenergivarustusse Luleå sadamas ning LNG ladustamise ja punkerdamise ohutuse täiustamist kõigis kolmes sadamas projekti osana (ESL Shipping, 2020).

Mõlemad laevad projekteeriti intensiivseks liikluseks, mis eeldab mitut sõitu sadamasse nädalas ja lasti maha-/pealelaadimist pardal olevate kraanadega. Pardal on kolm elektrohüdraulilist kraanat kogutõstejõuga 37,5 tonni, mis võimaldavad lasti iseseisvalt konveierile või kaile maha laadida.

Laevad ehitati Hiinas ja jõudsid Läänemerele Kirdeväila kaudu, mis võrreldes Panama kanali läbimisega lühendas teekonda kolme nädala võrra ja vähendas heitkoguseid 40 protsenti.



Joonis 8 M/S Haaga. Allikas: ESL Shipping

Viikkil ja Haagal on samasugused tunnussuurused. Laevad dedveidiga 25600 tonni ja pikkusega 160 meetrit on varustatud kahekütuseliste mootoritega MAN B&W 5G45ME-C9.5-GI+PTO/PTI, koguvõimsus on 7250 kW.

Laevade eripäraks on võime töötada täielikult süsinikuvaba biogaasiga (LBG). See võimalus nähti ette arvestusega, et biogaasi kättesaadavus aja jooksul paraneb. 2020. aastal toimus Raahe sadamas Viikki esimene punkerdamine veeldatud biogaasiga LBG. Punkerdamine toimus Skandinaavia energiafirma Gasum abiga ja oli pigem sümbolse iseloomuga, olles esimene LBG kasutus Soome meretranspordis. Sündmuse sümboolsust näitab ka see, et LBG punkerdamine toimu rauamaagi transpordiks Rootsi terasefirma SSAB tellimusel. SSAB on tuntud oma tarneahelates heitkoguste vähendamisele keskendumise poolest, eesmärgiks on seatud kaotada 2025. aastaks täielikult oma logistikast fossiilkütused.

Biogaasi laialdane kasutuselevõtt on tänapäeval raskendatud selle kütuseliigi suhteliselt piiratud saadavuse tõttu, peale selle tuleb arvestada ka kuluteguriga (ESL Shipping, 2020).

1.3.5 MyStar

Tänase seisuga tehnoloogiliselt arenenuma ja energiasäästlikuma Tallinki laeva ehitus algas 6. aprillil 2020 Soome laevatehases Rauma Marina Constructions. Laeva ehitamine venis kuus kuud COVID-pandeemia põhjustatud probleemide tõttu ülemaailmsetes tarneahelates (ERR, 2022). Ehitamine läks maksma 247 miljonit eurot. Laev on esmakordselt saadetud liinile Tallinn – Helsinki 2022. aasta detsembris.



Joonis 9 MyStar-i saabumine Tallinna sadamasse Detsembris 2022. Allikas: ERR.ee

50 629 GT kogumahutavusega MyStar on 212,4 meetrit pikk, 30,6 meetrit lai ning mahutab 2800 reisijat. Laev on varustatud viie 8-silindrilise mootoriga, mis suudavad töötada nii LNG kui ka diislikütusega. Suurim sõidukiirus on 27 sõlme.

MyStar on Tallinki esimese LNG-laeva Megastari järglane. Konstruksioonierinevuste poolest on MyStar varustatud 30% suuremate LNG-mahutitega kui Megastar ning lisaks saab toidet kail asuvast toiteallikast (tehnoloogia *Shore-to-Ship Green Power*).

Alates liinile asumise hetkest ja praeguselgi ajal on MyStar LNG tarneprobleemide tõttu kasutanud diislikütust. Tallinki esindaja sõnul ootab ettevõtte Paldiski LNG-kai ehituse lõpetamist ja LNG turuhinna normaliseerumist, mis koos peaksid looma uued võimalused LNG kasutamiseks laevakütusena Tallinki laevadel (ERR, 2022).

1.3.6 Punkerdamislaev Optimus

Viimastel aastatel on märgata laevalt-laevale meetodil punkerdamiseks mõeldud punkerdamislaevade arvu järsku kasvu. Organisatsiooni SEA-LNG andmetel oli 2019. aasta alguses maailmas vaid 6 punkerdamislaeva ning 2022. aasta lõpuks ulatus nende arv 40 ühikuni.

LNG laevalt laevale punkerdamist peetakse eelistatuimaks punkerdamisvariandiks, sest see võimaldab ankrus olles või kai ääres pumbata suuri LNG-koguseid. Punkerdamislaevad on varustatud süsteemidega LNG-d vastuvõtvalt laevalt auruna naasva eralduva gaasi töötlemiseks.

Punkerdamislaevu saab kasutada nii LNG transportimiseks suurtest hoidlatest vaheterminalidesse kui ka laevade punkerdamiseks. Punkerdamislaevade eripäraks on nende suhteliselt väikesed mõõtmed, mis tagab suurema manööverdusvõime sadamas punkerdamiseks (Kopti, Punab, & Guldenkoh, 2015).

Üks suurimaid Läänemere Soome lahe piirkonnas opereerivaid LNG-tankereid on ettevõttele Elenger Marine OÜ kuuluv B/V Optimus, mis alustas oma tööd Läänemere sadamates aastal 2021.



Joonis 10 B/V Optimus punkerdab Megastari. Allikas: Elenger Marine

B/V Optimus on 100m pikkune 1A jääklassiga LNG punkerdamise laev, millel on 2 x 3000 m³ tugevalt isoleeritud silindrilist LNG mahutit. Laeval on kaks kahekütuselist (*dual-fuel*) peamasinat, mille abil suudab laev arendada kiirust ca 13 sõlme ning mis võimaldavad väga paindlikku manööverdust ja haalamist nii kitsastes sadamates kui ka ankrualadel operatsioone tehes. Kolm LNG laadimis/mahalaadimis „manifoldi“ võimaldavad punkerdamise teenust pakkuda peaaegu kõikidele laevatüüpidele (reisilaevad, konteinerlused, autoveolaevad,

kruisilaevad, tankerid jms). Maksimaalne punkerdamise võimsus on ca 1000 m³/h. Optimuse ehitas Hollandi laevachituse firma Damen ning laeva üleandmine toimus 2021 aasta oktoobris.

Optimuse peamised kliendid on olnud Tallinki LNG kütusega sõitvad laevad MyStar ja Megastar. Samuti on Optimuse abil LNG punkerdamist tehtud autoveolaevadele Auto Energy ja Auto Eco ja sõetranspordi alustele Haaga ja Viikki.

Hetkel opereerib Optimus prahtimislepingu alusel Belgia-Hollandi piirkonnas ning laeva tagastamise võimalused sõltuvad enamasti gaasihinna tasemest turul. Kui gaas saavutab diislikütusega võrreldes turul hinnaeelise, hakatakse LNG-d rohkem kasutama ning nõudlus sellise infrastruktuuri järele hakkab kasvama.

2 2021-2023 GAASI MAKSUMUSE JA VARUSTUSKINDLUSE KRIIS

2.1 Kriisi põhjused ja areng

Euroopa gaasikriisi põhjustena nimetatakse mitut samaaegset või järjestikust sündmust, mis toimusid aastatel 2021–2023.

Esimene tegur – ilmaolud. Äärmiselt külm talv 2020-2021 mitte ainult Euroopas, vaid Aasias ja Põhja-Ameerikas tõi kaasa gaasivarude ammendumise hoidlates. Sellele järgnenud 2021. aasta suvi purustas kõik temperatuurirekordid – kuumus suurendas nõudlust elektri järele, kuid mis põhiline, tõi kaasa veehoidlate kuivamise ja hüdroelektrijaamade tootlikkuse vähenemise. Lisaks ebataavalisele kuumusele osutus suvi viimase 70 aasta tuulevaikseimaks - selle tulemusena kahanes järsult ka tuuleenergia tootmine. Seetõttu suurenes nõudlus gaasi järele, kuid külma talve järel tühjaks jäänud hoidlate varude täiendamise vajaduse tõttu jäi sellest väheks.

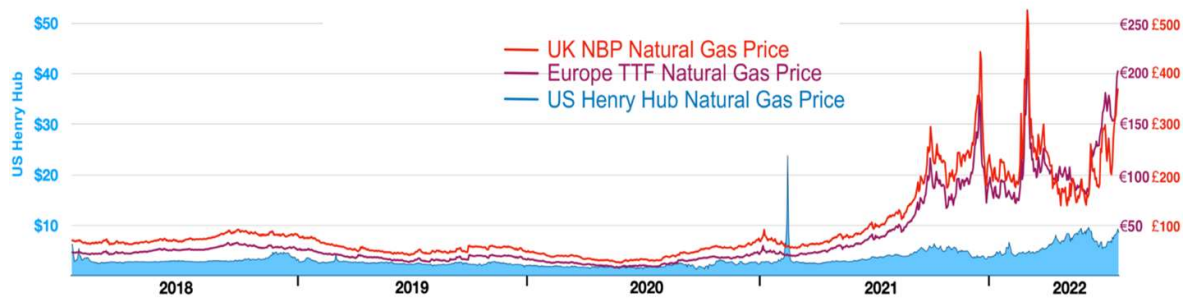
Järgmine tegur on veeldatud gaasi tarnete järsk langus Euroopas. Kui torugaasiga varustamine jäi algul samale tasemele, siis vedelgaasiga tankerid suundusid enamjaolt Aiasse. Põhjusteks on Aasia majanduse suhteliselt kiire taastumine pärast COVID-pandeemiat ja Aasia riikide valmisolek maksta rohkem.

Majanduse taastumine pärast pandeemiat – eelkõige samaaegne tööstusettevõtete töö taasalustamine – on saanud üheks põhjuseks gaasi nõudluse ja hinna kasvule kogu maailmas.

Eespool nimetatud sündmuste taustal vähenes oma gaasi tootmine Euroopas. Mitmed Norra gaasimaardlad läksid pärast Põhjamere varude ammendumist plaanilisse hooldusse. Norra valitsus on toetusmeetmena lubanud ühel suurimal Euroopa turu kütusetarnijal Equinoril (endise nimega Statoil) suurendada kahest maardlast ekspordi 2 mld kuupmeetri võrra aastas. Arvestades Euroopa turu energiavajadusi, ei olnud see ilmselgelt piisav.

Gaasi hinna kasvu mõjutasid ka struktuursed tegurid – ELi riigid hakkasid järk-järgult loobuma keskkonda oluliselt halvendavatest energiakandjatest, eelkõige kivisöest. Et alternatiivsed energiaallikad kogu valiku külluse juures ei suuda praegu kivisütt täielikult asendada, ei ole gaasile kiiret asendust lihtne leida (International Energy Agency, 2022).

Joonis 11 näitab maagaasi hindade muutuste dünaamikat maailma suurimatel gaasikauplemissivormidel aastatel 2018-2022 (NBP, TTF, US Henry Hub, mõõduühik: €/\$/MWh) (European Gas Hub, 2023).



Joonis 11 Maagaasi hind Euroopas ja Ameerika Ühendriikides, 2018–2022. Allikas: European Gas Hub, 2023), autori töötlus

Kui eespool kirjeldatud tegurid mõjutasid peamiselt gaasi hinda, siis Venemaa sissetung Ukrainasse 2022. aasta veebruaris ja sellele järgnenud sündmused muutsid pikas perspektiivis kardinaalselt maagaasi kättesaadavust (European Commission, 2022).

Vaatamata pingetele suhetes oli kuni aastani 2022 Euroopa Liidu pikaajalises energiastrateegias oluline roll Venemaalt energiakandjate impordil. Venemaa gaasi on alati hinnatud poliitiliselt vastuoluliseks, kuid sellegipoolest on seda peetud vajalikuks energiaallikaks üleminekul vähese CO₂-heitkogusega majandusele (European Council on Foreign Relations, 2023).

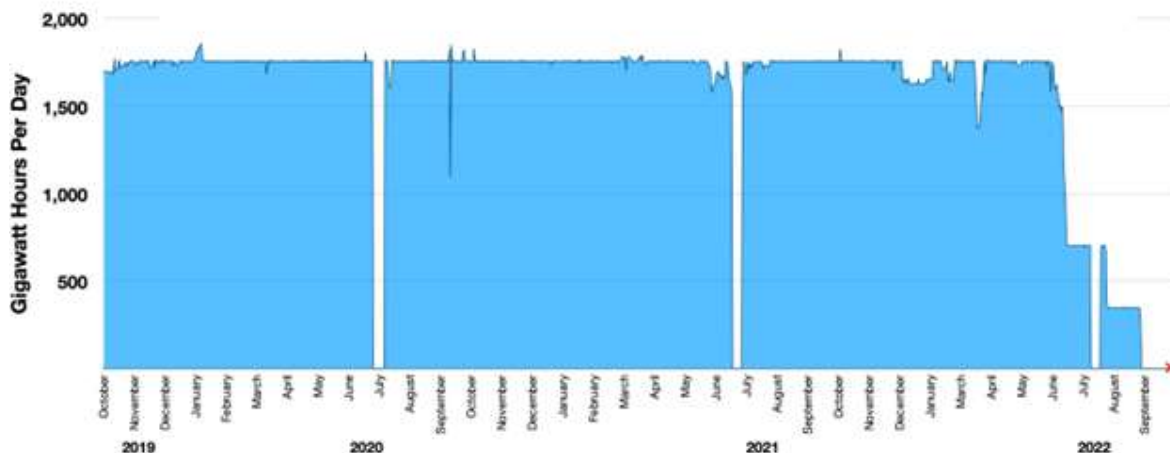
Vene gaasi olulisust Euroopa energeetikale illustreerib selgelt joonis 12, millel on kujutatud Euroopa suurimaid gaasitorusid (European Network of Transmission System Operators for Gas, 2023).



Joonis 12 Suurimad gaasitorud Euroopas. Allikas: European Network of Transmission System Operators for Gas, 2023

Sanktsioonid, aga ka sõja puhkemisele järgnenud Venemaa tegevused viisid maagaasi impordi peaaegu täieliku seiskumiseni Venemaalt Euroopasse.

Joonisel 13 on toodud Nord Stream 1 kaudu tarnete vähenemise dünaamika aastatel 2019–2022 (Nord Stream, 2023). Nagu jooniselt näha, on tarded 2022 aasta sügiseks täielikult seiskunud.



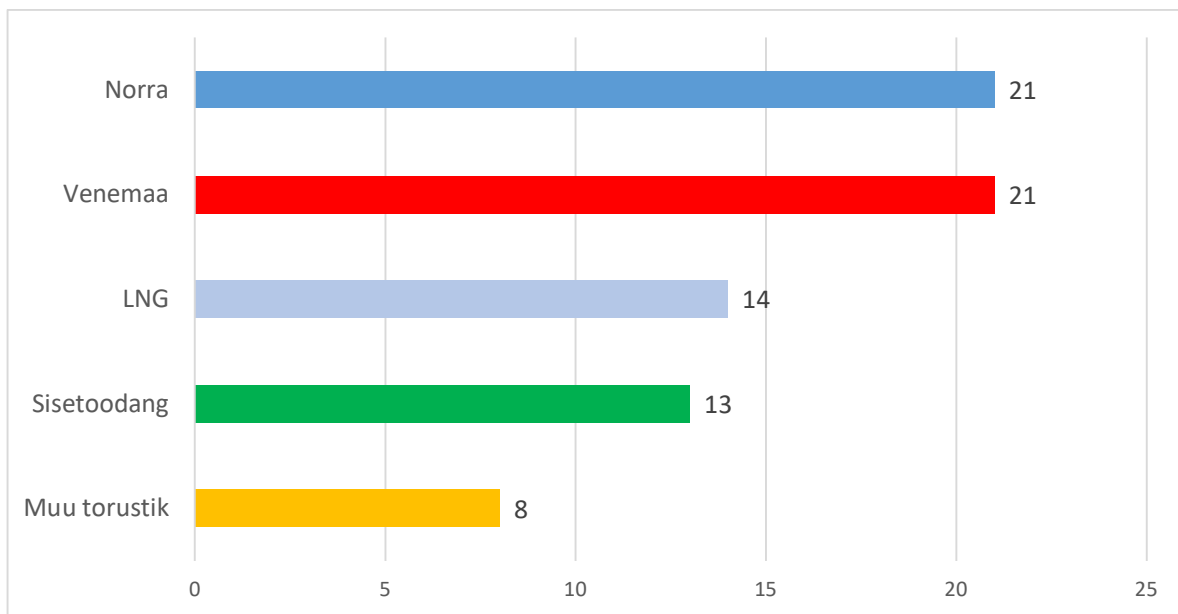
Joonis 13 Nord Stream 1 kaudu tarnete vähenemise dünaamika aastatel 2019–2022. Mõõduühik: GWh päevas.

Allikas: Nord Stream, 2023, autori töötlus

Samas hindavad eksperdid ebatõenäoliseks tarnete taastumist märkimisväärses mahus ka kaugemas tulevikus. Sellise hinnangu aluseks on eelkõige geopoliitilised kaalutlused, kuid ollakse ka arvamusel, et uued energiaallikad võivad muuta Venemaa gaasi ELi ostjatele majanduslikult mõttetuks (International Energy Agency, 2022).

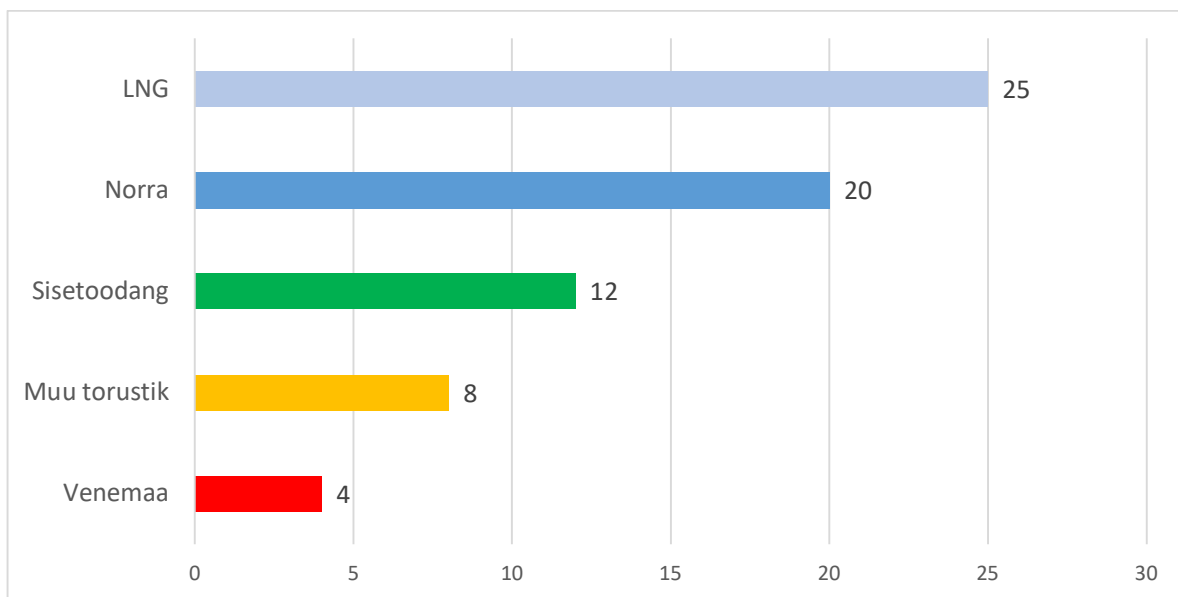
Veeldatud maagaasist võib saada ELi riikide peamine alternatiiv Venemaa maagaasile. LNG maailmaturg on aktiivselt arenenud alates 2016. aastast. Spetsialistide hinnangul kasvab ülemaailmne vedelgaasiga kauplemise maht aastatel 2017–2023 enam kui 100 mld kuupmeetri võrra, 391 miljardilt m³-lt 505 miljardile m³-le (European Commission, 2022).

Euroopasse imporditava gaasi struktuurimuutuste hindamiseks piisab järgmiste jooniste vaatamisest. Joonisel 14 on näha, millistest allikatest tarniti gaasi Euroopa Liidu riikidesse (sealhulgas Ühendkuningriiki) 2021. aasta jaanuaris (Oxford Institute for Energy Studies, 2023). Kokku tarniti 27 ELi riiki (pluss Ühendkuningriik) gaasi kokku 77 miljonit m³ ja jaotus oli järgmine:



Joonis 14 EL-i riikidesse tarnitud gaasi kogumaht 2021. aasta jaanuaris. Mõõduühik: mln m³. Allikas: Oxford Institute for Energy Studies, 2023, autori töötlus

2022. aasta detsembris vähenes gaasitarnete kogumaht 69 miljoni m³-ni ja jaotus on nähtav joonisel 15:



Joonis 15 EL-i riikidesse tarnitud gaasi kogumaht 2022. aasta detsembris. Mõõduühik: mln m³. Allikas: Oxford Institute for Energy Studies, 2023, autori töötlus

Selge nihe on Venemaalt torujuhtmega gaasitarnete asemel veeldatud maagaasi impordile, kuid Euroopa põhjaosas napib endiselt LNG vastuvõtutermine. Riigid (eelkõige Saksamaa) püüavad

oma võimsusi suurendada ning LNG vastuvõtmise ja punkerdamise taristu arendamine saab riigi tasandil olulist toetust. Nii teatas Saksamaa valitsus 2022. aasta detsembris 62 miljoni euro eraldamisest kolme LNG punkrilaeva ehitamiseks (LNG Prime, 2022) ning 2023. aasta jaanuaris teatati LNG-terminali Deutsche Ostsee käivitamisest (Reuters, 2023).

2.2 LNG hinnamuutuste dünaamika (TTF indeks)

Euroopa gaasituru võrdlusalusena kasutatakse peamiselt Hollandi *Title Transfer Facility* (TTF) indeksit. TTF on Hollandis asuv hinnastamiskoht, millest on saanud Euroopa kõige likviidsem hinnakujundusindeks. Seda kasutatakse pikaajaliste lepingute sõlmimiseks ja sellisena toimib see sageli kogu Euroopa gaasi impordituru hinnanäitajana.

Müügikohta TTF haldab Hollandi gaasitranspordisüsteemi operaator Gasunie Transport Services B.V, mis on ka Saksamaal tegutseva Hollandi suurima gaasitranspordiettevõtte Gasunie tütarettevõtte (Gasunie Transport Services B.V., 2023).

TTF loodi 2003. aastal, et tõhustada gaasikaubandust Hollandi turul ja suurendada likviidsust gaasiga kauplemisel. TTF-börs on viimastel aastatel märkimisväärselt kasvanud ja on nüüd suurim börs Mandri-Euroopas.

Sisuliselt on TTF virtuaalne turg, kus iga lepinguosaline saab kaubelda Gasunie Transport Services B.V. transpordisüsteemi pumbatud gaasiga. Iga tehing registreeritakse "nominatsiooni" ehk elektroonilise teate abil, mis näitab müüja ja ostja andmeid, samuti edastatud gaasi mahtu, selle kvaliteeti ja edastamise perioodi. TTF-is müüdava gaasi koguhulk on enam kui 14 korda suurem Hollandis tarbitavast gaasist. TTF-i indeks on kõigi sellel päeval TTF-virtuaalbörsil tehtud tehingute mahuga kaalutud keskmine gaasihind (Gasunie Transport Services B.V., 2023).

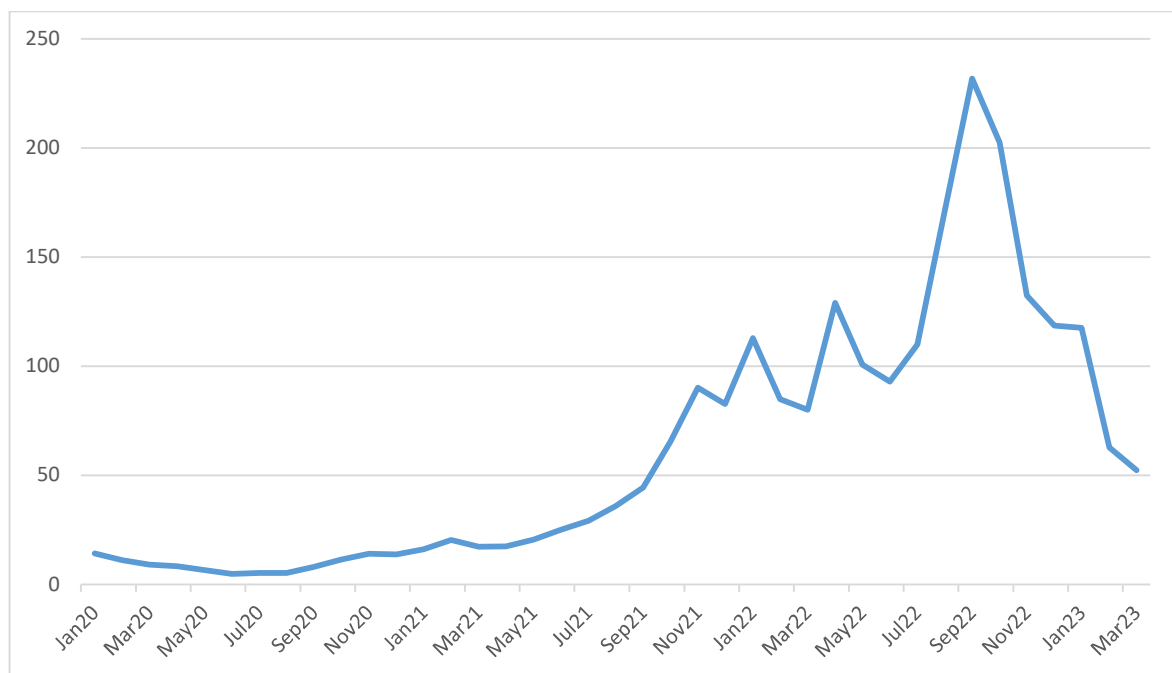
Euroopa maagaasiturud on järk-järgult eemaldumas naftaindeksitega seotud pikaajalistest lepingutest. Gaasihindade dünaamika ja suure likviidsuse tõttu Euroopas muutub TTF eelistatumaks hinnakujundusmehhanismiks (DNV Maritime, 2022).

LNG punkrikütuse hind Euroopas on seotud TTF indeksiga ning kujuneb iga piirkonna puhul lähtudes selles piirkonnas olemasoleva LNG-infrastruktuuri iseärasusest. LNG punkrikütuse hind määratakse tavaliselt valemiga $TTF + B$ (marginaal, mis sõltub paljudest teguritest – punkerdamise maht, lepingu kestus, punkerdamissagedus, punkerdamispiirkond jne.). Seega on LNG

punkerdamise hind iga kliendi jaoks individuaalne, olenevalt tarnijaga sõlmitud lepingu tingimustest. Põhiliseks kuluteguriks on seejuures siiski TTF indeks (Elenger Marine, 2023).

TTF-i gaasi kauplemise ühikuks kasutatakse energia ehk soojushulga mõõtühikut megavatt tunnis (€/MWh). Energia mõõtühiku kasutamine ühtlustab erinevatest väljadest pärit gaasi omadused ja võimaldab hinnata müüdava gaasi mahu energiatõhusust.

Joonisel 16 on toodud maagaasi hinna muutus TTF börsil 2020. aasta algusest 2023. aasta esimese kvartali lõpuni:



Joonis 16 TTF indeksi muutus (€/MWh) igakuiselt alates 2020. aastast. Allikas: TTF, 2023, autori töötlus

Madalaim hind (4,842 €/MWh) oli 2020. aasta juunis. TTF indeks saavutas haripunkti 2022. aasta septembris (231,884 €/MWh). 2023. aasta märtsiks on see langenud tasemeni 52,326 €/MWh. Genoas asuva laevamaakleri Bravo Groupi raporti kohaselt oleksid praeguste hinnatasemete juures laeva kütusekulud diislikütuse (MGO) ja LNG kasutamisel ligikaudu võrreldavad. Seda arvamust toetavad nii spetsialistid (Willmington, 2023) kui ka ainus Eestis LNG punkerdamisega tegelev ettevõtte Elenger Marine OÜ esindaja.

Nagu graafikust näha, 2022 aasta viimase kvartali lõpust on maagaasi hinnad hakanud langema. Põhjusteks nimetatakse rekordilise LNG impordi, kõrge hoiustamistaseme ja suhteliselt soe talve (Eesti Gaas, 2023).

LNG impordi mahud Euroopasse on hakanud kasvama 2022 aasta neljanda kvartali lõpus. Põhjuseks on see, et Aasia riikide LNG nõudlus on oluliselt vähenenud, mistõttu on isegi tekkinud olukord, kus LNG tankerid pidid tihedas mahalaadimisjärjekorras Euroopa ranniku terminalide ees ootama (Elering AS, 2023a).

Lähtudes Euroopa Keskpanga prognoosist, pidanuks talve 2022-2023 temperatuuriolud olema üheks võtmeteguriks piisavate gaasivarude tagamisel Euroopa gaasihoidlates. 2022-2023 talvekuude soojad temperatuurid on kaasa toonud selle, et gaasihoidlate mahud on püsinud kõrged – selle tulemusena on langemas ka hind (Adolfson, Lappe, & Manu, 2023).

Talvekuu kõrged temperatuurid on kahtlemata tugevdanud EL-i energiapositsiooni lühiajaliselt (mida näitab ka gaasi hind), kuid varustuskindluse sõltuvus ilmastikutingimustest toob kaasa olukorra, kus gaasi hinda on järjest raskem ennustada. Ka suvi võib osutada väljakutseks – suvekuudel valitsevad kõrged temperatuurid suurendavad nõudlust gaasi järele elektri tootmiseks, kuna kliimaseadmete vajadus on suurenenud.

2.3 LNG infrastruktuur Läänemeres

LNG kasutamine eeldab vajaliku taristu olemasolu. Juba 1996. aastal Euroopa Komisjoni algatatud Euroopa transpordivõrgu TEN-T arendamise projekti merendusala osa nägi ette ka LNG-taristu arendamist. 2015. aasta seisuga hinnati Läänemere põhjaosas töötavate LNG-terminalide ja punkerdamisjaamade arvu selgelt ebapiisavaks, kuid taristu arendamise plaanid võimaldasid tulevikku vaadata optimistlikult (Kopti, Punab, & Guldenkoh, 2015).

Euroopas on maagaasi veeldamiseks enda tootmisvõimsusi väga vähe, enamik neist on koondunud Norrassa. LNG tootmiskahtude märkimisväärne suurendamine Põhja-Euroopas oli kavandatud seoses mitme tehase avamisega Venemaal (Murmanski lähedal, Viiburis ja Kaliningradis), mille eesmärk pidi olema peamiselt merendussektori varustamine, kuid praeguseks on ilmne, et see tarnekanal on lühemas perspektiivis võimatu. Praeguseks toimub LNG tarnimine Põhja-Euroopasse selle piiride tagant suurte tankeritega suurtesse vastuvõtuhoidlatesse. Et imporditava LNG põhieesmärk on Euroopa gaasivõrkude varustamine maagaasiga, on LNG-vastuvõtuhoidlate geograafiline asukoht tihedalt seotud maagaasi jaotusvõrguga (Kopti, Punab, & Guldenkoh, 2015). Lisaks peab LNG-vastuvõtuhoidla asuma kohas, mis sobib suurte tankerite sadamasse sisenemiseks.

ELi riikide LNG vastuvõtuterminalide koguvõimsus on umbes 250 miljardit m³, mis võimaldab teoreetiliselt asendada kogu Venemaa impordi. Arvestades, et peamiseks veeldatud maagaasi tarnijateks ELi riikidesse võivad lähitulevikus kujuneda USA ja Katar, ei ole peamiseks probleemiks mitte niivõrd piisava koguse vedelgaasi kättesaadavus turul, vaid logistilised aspektid - riikidevaheliste torustike puudumine, Lõuna- ja Põhja-Euroopa taristute ebapiisav integreeritus, LNG-terminalide puudumine Ida-Euroopa riikides. Logistilised raskused toovad kaasa LNG ebaühtlase jaotumise riikide vahel - see on aktuaalne teema, mida on Eestis sageli arutatud.

Eesti kaugus suurtest LNG-terminalidest on selgelt näha joonisel 17:



Joonis 17 Euroopa LNG infrastruktuur. Allikas: Euroopa Komisjon, 2022

Kaart on koostatud 2022. aasta juuni andmete põhjal. Lõputöö valmimise hetkeks on Paldiski, Hamina ja Inkoo LNG terminalid valmis ehitatud.

Nagu näha, on LNG-terminalide puudumise probleem aktuaalne mitte ainult Eesti, vaid ka kogu Euroopa põhjaosa jaoks. Sellega kaasneb vältimatu konkurents riikide vahel, mis soovivad tagada oma hoidlate täituvuse. Ekspertide hinnangul peavad ELi liikmesriigid LNG-tarnete impordi usaldusväärsuse tagamiseks oluliselt parandama oma tegevuste koordineerimist (European Council on Foreign Relations, 2023).

Merevaldkonna LNG-taristu oluliseks elemendiks võivad olla vaheterminalid, mis on hädavajalikud juhtudel, kui suure vastuvõtva LNG-hoidla kaugus punkerdamiskohast muudab LNG transportimise majanduslikult ebaotstarbekaks. LNG-punkerdamislaevade majanduslikult otstarbekaks kauguseks loetakse 100 meremiili, paakautodel - 350-600 km. Et vaheterminalide loomine sadamatesse on seotud suurte investeeringutega, muutub see majanduslikult põhjendatuks üksnes punkerdamisega seotud kindla arvu püsiklientide olemasolul. Paindlikuma lahendusena, mis ei nõua märkimisväärsed investeeringukulused, on võimalik kasutada ka pargaste pardal ujuvmahuteid (Kopti, Punab, & Guldenkoh, 2015).

2.3.1 Klaipeda LNG terminal

Klaipeda LNG terminal on Leedu ettevõttele Klaipėdos Nafta kuuluv LNG-ujuvterminal. Terminal alustas tööd 2014. aasta detsembris, millega Leedust sai tollal viies riik, mis kasutab FSRU tehnoloogiat LNG impordiks (Delfi, 2014).



Joonis 18 Klaipeda LNG-terminal, FSRU Independence. Allikas: Klaipėdos Nafta

FSRU-laevana kasutatakse FSRU Independence'it mahutavusega 170 000 kuupmeetrit. Laev prahiti 10-aastaseks perioodiks Norra ettevõttelt Leif Höegh & Co. Praeguseks on tehtud otsus laev rendilepingu lõppedes välja osta (Klaipėdos nafta, 2022).

Alates 2022. aasta aprillist, pärast Venemaa gaasist loobumist, toimub Leedu gaasivarustus täielikult Klaipeda LNG-terminali kaudu (LNG Prime, 2022).

Alates 2020. aasta märtsist on Klaipeda sadamas toimunud ka LNG punkerdamised (Klaipėdos nafta, 2020).

2.3.2 Hamina LNG terminal

Hamina LNG-terminal asub Soome Kotka sadama lähedal, Helsingist 140 kilomeetri kaugusel. Terminali ehitus algas 2017. aastal Hamina Energy Ltd, Alexela ja Wärtsilä ühisprojektina. Terminal alustas tegevust 2022. aasta oktoobris (LNG Prime, 2022). Alexela osalemine projektis tähendas Eesti ettevõtte seni suurimat otseinvesteeringut Soome (Postimees, 2022).



Joonis 19 LNG punkerdamislaev Optimus Hamina sadamas. Allikas: Alexela

Hamina LNG terminal on ühendatud Soome gaasijaotusvõrguga, kust see tarnitakse Balticconnector-gaasitorustiku kaudu Eesti tarbijateni. Tegemist on avalikuks kasutuseks mõeldud maismaaterminaliga.

Hamina LNG terminal projekteeriti ja ehitati peamiselt LNG punkerdamiseks ja transportimiseks veeldatud kujul. Seetõttu on terminalil suhteliselt väikese läbimõõduga ühendus gaasi ülekandevõrguga, kuid taristu laevade punkerdamiseks on üsna arenenud (LNG Prime, 2022).

2.3.3 Paldiski LNG terminal

Paldiski LNG-terminali ajalugu ulatub aastate taha. Terminali projekti asus Alexela välja töötama juba 2007. aastal. Teemaplaneeringu alustamise ja terminali keskkonnamõju hindamise otsuse tegid Paldiski ametivõimud 2010. aastal. Edasi viidi järk-järgult lõpule kõik sellise objekti ehitamiseks vajalikud inseneri- ja projekteerimistööd: kinnitati LNG-terminali plaan, korraldati keskkonnamõju hindamine, töötati välja terminali kai ja selle maismaaosa detailplaneering. Terminali ehitus viidi lõpule 2022. aastal.

Terminal asub Lahepere lahes, Pakri poolsaare kirderannikul - Pakrineeme osas. See koht oli ainuvõimalik Eesti rannikule LNG-terminali rajamiseks, sest just Pakri poolsaarelt algab mööda

merepõhja asetatud kõrgsurve gaasitorustik Balticconnector, mis ühendab Eesti ja Soome gaasivõrgud.

Terminali projekt on üsna mastaapne ja koosneb mitmest osast. Mereosa koosneb kaist, mille juures sildub ujuvterminal FSRU (*Floating Storage and Regasification Unit*). FSRU on sisuliselt LNG-tanker, mis on varustatud taasgaasistamise süsteemiga ja täidab sarnaseid funktsioone maismaal asuvate LNG-terminalidega – muundab LNG vedelast olekust gaasiliseks, mille järel muutub gaas sobivaks torujuhtmete kaudu edastamiseks (Excelerate Energy, 2023). Ujuvterminali FSRU saab täita sellele ligineva tankeri gaasiga. Kai asub rannajoonest u. 1 km kaugusel, sügavus selle kõrval on u. 20 m.

Projekti maismaaosa koosneb torujuhtmete võrgust, mis tagab gaasi transportimise elektriseadmete abil. Oluline komponent on Eleringi kompressorjaam, mis tagab vajaliku gaasirõhu selle edasiseks edastamiseks läbi gaasitorustiku (Eleringi või Balticconnector'i võrku). Terminali skeem on toodud joonisel 20 (Alexela, 2023).



Joonis 20 Paldiski LNG terminali skeem. Allikas: Alexela

Terminal on osa Eesti ja Soome ühisest plaanist rajada taristu LNG vastuvõtmiseks. Alexela ja Infortar ehitavad plaani kohaselt Paldiski lähiste kai, Elering aga ühendab selle olemasolevasse Eesti gaasivõrku. Soome omakorda ehitab kai Inkoosse. Plaani kohaselt rendivad FSRU

ujuvterminali Eesti ja Soome ühiselt. Saabumise hetkest (28.12.2022) kuni tänaseni on FSRU-laev Exemplar seisnud Soome Inkoo sadamas.

Väärib märkimist, et Paldiski lähiste rajatud taristut saab LNG-terminaliks pidada vaid siis, kui kai äärde on sildunud FSRU-laev.

Paldiski lähedale rajatud terminali olulisust Eesti punkerdamisvaldkonnale käsitletakse töö uurimisosas Elering AS-i FSRU-allüksuse juhiga läbiviidud küsitluse raames.

2.3.4 Inkoo LNG terminal

Inkoo LNG terminal on Soome gaasijaotusvõrgu operaatori Gasgrid Finland Oy tellimisel ehitatud LNG-ujuvterminal. Terminal asub Ingå lähedal, Inkoo süvasadamas, 60 kilomeetrit Helsingist läänes.

LNG-terminali ehitamine Ingåsse oli algset kavandatud 2000ndate alguseks osana projektist "Finnigulf LNG". Initsiatiiv tuli Soome energiafirmalt Gasum, taristu eeldas LNG kasutamise võimalust nii tööstuslikul otstarbel kui ka laevade punkerdamisel. Terminali ehitus pidi lõppema 2018. aastaks, kuid 2015. aastal loobus Gasum projektist ärilise ebaotstarbekuse tõttu (Offshore Energy, 2015).

Pärast Venemaa sissetungi Ukrainasse 2022. aasta veebruaris muutus Inkoo LNG-terminali ehitamine taas aktuaalseks seoses vajadusega tagada riigi energiasõltumatus. Rajatiste ehitamist alustati 2022. aasta augustis ja valmis saadi nelja kuuga (Terramare, 2022).

2022. aastal sõlmis Gasgrid Finland Oy Ameerika ettevõttega Excelerate Energy 10-aastase rendilepingu FSRU-laeva Exemplar opereerimiseks Inkoo sadamas. Rendi maksumuseks kujunes umbes 460 miljonit eurot. Laev Exemplar on 291 meetrit pikk ja 43 meetrit lai, gaasihoidlate mahutavus on 151 000 kuupmeetrit, mis vastab ligikaudu 68 000 tonnile LNG-le või energiamahukusele 1050 GWh (Gasgrid, 2022). Ujuvterminali energiamahukus ja läbilaskevõime on võimelised tagama gaasivarustuse lisaks Soomele ka Baltimaades, Balticconnector-gaasitoru abil (Fortum, 2022). Esimene LNG tarne Inkoo terminali toimus Eesti Gaasi tellimusel 02. aprillil 2023 gaasitankeriga Vivit Americas LNG (Eesti Gaas, 2023).



Joonis 21 FSRU Exemplar Inkoo LNG terminalis Detsembris 2022. Allikas: Helsinki Times

Tõenäoliselt on LNG-terminali avamisel Inkoo sadamas positiivne mõju piirkonna punkerdamistaristu paranemisele, kui terminaliomaniku taotluse punkerdamisteenuse osutamiseks kiidavad Soome ametivõimud heaks (Gasgrid, 2023).

3 TURUOSALISTE KÜSITLUSED

3.1 Küsitluse korraldamine

Kvalitatiivse uuringu läbiviimiseks valis autor välja 18 Läänemere regioonis tegutsevat laevaoperaatorit, kes opereerivad eri liiki ja eri suurusega laevu. Gaasikriisi aegse punkerdamise tehniliste ja majanduslike aspektide mõistmiseks oli oluline ka saada teavet Läänemere piirkonnas LNG punkerdamisega tegelevatelt ettevõtetelt. Samuti pidas autor vajalikuks küsitleda Elering AS FSRU osakonna esindajat, et saada teada millist mõju avaldab Paldiski LNG ujuva terminali rajamine LNG punkerdamistaristule.

Lähtudes sellest, et küsitlevate arv on suhteliselt väike, ja samuti sellest et ettevõtted erinevad nii tegutsemisvaldkonna kui ka laevade tüübi ja suuruse poolest, ei kasutanud autor kõigi jaoks ühte identset küsimustikku vaid esitas küsimusi ettevõtte spetsiifikast lähtuvalt.

Ettevõtete suhtekorralduse eest vastutavatele esindajatele saadeti e-posti teel küsimustega ankeedid. Küsimuste sisu olenes ettevõttest ja selle laevastikust. Mõni aeg pärast küsimuste lähetamist helistas autor ettevõttesse palvega võimaluse ja aja olemasolu korral vastata akadeemilisele järelepärimisele.

3.2 Küsitluse tulemused

Vastused saadi nii neljalt laevaoperaatorilt (Tallink, Stena Line, ESL Shipping, Scandlines, TS Laevad) kui ka ühelt Läänemere piirkonnas asuvalt LNG punkerdamisettevõttelt (Elenger Marine). Samuti oli nõus vastama küsimustele Elering AS esindaja, kes on Paldiski ujuva LNG-terminali FSRU ühendusüksuse juht.

3.2.1 Tallink

Tallinki esindaja sõnul on ettevõtte üldiseks strateegiaks laevade energianõudluse ja emissioonide vähendamine. Tallink jälgib ja täitab nii IMO kui ka EL nõudeid laevakütuste osas. Autori küsimusele, kas Tallinkil on plaanis laiendada LNG-laevastikku, vastas ettevõtte esindaja, et Tallink ei piirdu vaid LNG-ga vaid jälgib tähelepanelikult laevakütuste turul toimuvat ning on huvitatud madalama süsinikusisaldusega laevakütuste kasutuselevõttust.

Mis puudutab LNG punkerdamise infrastruktuuri, siis Tallinki esindaja arvamus oli selline et kuigi olemasolev infrastruktuur rahuldab nende vajadused olemasolevate laevade LNG-ga punkerdamiseks, siis „peatas gaasikriis Läänemere piirkonnas laevade LNG punkerdamise taristu arengut ning oleme nüüd tagasi aastas 2017“.

3.2.2 Stena Line

Rootsi firma Stena Line esindajalt saadud vastuse kohaselt nad LNG-d laevakütusena kasutada ei kasuta ega plaanigi. Stena Line usub, et tuleviku laevakütus on metanool (saadav eri toorainetest). Stena Line'i hinnangul on metanool koos elektrifitseerimisega kommerts-laevanduses kõige praktilisem lahendus kliimaprobleemidele.

Tänapäeval on Läänemere piirkonnas juba ka reisi- ja kaubalaevu, mis kasutavad laevakütusena metanooli – näiteks üks maailma suurimaid ro-pax-laevu, 240-meetrine Stena Germanica, mis teostab reisi- ja kaubavedusid Göteborgi ja Kieli vahel. Varem kai ääres autotsisternidest metanooli punkerdanud laev seadistati 2015. aastal ümber ja sellest sai maailma esimene metanoolimootoriga parvlaev (Stena Line, 2021). 23. jaanuaril 2023 toimus laeva edukas tankimine Göteborgi sadamas metanooliga – seega sai Stena Line'i pressiteate kohaselt Stena Germanicast esimene mitte-tanker maailmas, mida punkerdati metanooliga „parras-pardas“ skeemi alusel (Methanex, 2023).



Joonis 22 Stena Germanica punkerdamine Göteborgi sadamas 23.01.2023. Allikas: Port Technology, 2023.

Huvi metanooli vastu on hakanud kasvama maagaasi hindade järsu kasvu taustal, kuid selle laialdasel kasutamisel laevakütusena Läänemere piirkonnas puuduvad endiselt tootmisvõimsused ja vajalik taristu (DNV, 2023). Stena AB, mille laevastik koosneb praegu umbes 140 laevast, kavatab koostöös maailma ühe suurima metanoolitootja, Šveitsi kontserniga Proman välja töötada ühise lahenduse laevade ümberseadistamiseks ja metanoolitarnete taristu arendamiseks Läänemere piirkonnas. Göteborgi sadamal on alust saada üheks peamiseks metanooli punkerdamiskeskuseks Põhja-Euroopas.

3.2.3 ESL Shipping

ESL Shipping on Läänemerel juhtiv puistlastide vedaja. Ettevõtte laevastik koosneb 50 laevast kogukandevõimega üle 450 000 tonni.

Tänase seisuga kasutab ettevõtte peamiselt madala väävlisisaldusega kütust, skruubereid pole paigaldatud.

Ettevõttel on 2 LNG-laeva: Viikki ja Haaga. Mõlemad laevad ehitati 2018. aasta teises pooles ja olid ehitamise ajal ESL Shippingu hinnangul maailma kõige keskkonnasõbralikumad kuivlastilaevad.

Küsimusele LNG-laevastiku laiendamise plaanide kohta vastas ettevõtte esindaja, et praegu selliseid plaane ei ole.

LNG-taristust rääkides avaldas ESL Shippingu esindaja arvamust, et gaasikriis on viinud selleni, et Läänemerel (eriti selle põhjaosas) on ilmne punkerdamislaevade nappus (õigemini peaaegu täielik puudumine). Selle põhjuseks on tema sõnul see, et LNG-punkerdamislaeva opereerimine Läänemere põhjaosas ei ole LNG-kütuse tarnijatele piiratud mahtude tõttu kasumlik. Ettevõtte kasutab enda LNG-laevade punkerdamisel peamiselt meetodit *truck-to-ship*.

3.2.4 Scandlines

Scandlines on parvlaevaettevõtte, mis opereerib Taani ja Saksamaa vahelistel liinidel. Ettevõtte laevastik koosneb 7 laevast, millest 6 on hübriidlaevad. Scandlines on seega maailma suurima hübriidlaevastikuga ettevõtte.

Scandlinesi laevade hübriidsüsteem sarnaneb hübriidsõidukite omale, kus bensiin või diislikütus on kombineeritud elektriga. Kui mootor vajab rohkem energiat, kui diislegeneraator suudab

pakkuda, kasutab see akude energiat, ja kui mootori energiavajadus väheneb, salvestub liigenergia akudes (Scandlines, 2023).



Joonis 23 Scandlines-i hübriidpraam. Allikas: Scandlines

Et üksnes hübriidsüsteemi olemasolu ei taga vastavust väävlisisalduse IMO nõuetele, on Scandlinesi parvlaevad lisaks hübriidsüsteemidele varustatud suletud ahelaga skruuberiga. Suletud tsükliga skruuber puhastab mootori heitgaasivood saasteainetest, nagu väävel ja tahked osakesed, ning vähendab heitkoguseid vähemalt 90%. Suletud tsükliga skruuber puhastab saastunud vee tsentrifuugis. Seejärel kogutakse puhastatud vesi kokku ja hoitakse mahutis pumpamiseks kaldale, kus see reoveepuhasti abil keskkonnasõbralikul viisil kõrvaldatakse. Suletud ahelaga skruuberite paigaldamisega on Scandlines täitnu kütuse väävlisisalduse IMO nõuded.

Scandlinesi esindajalt saadud teabe alusel ei ole ettevõttel plaanis LNG-d kasutada.

3.2.5 TS Laevad

TS Laevad OÜ on AS Tallinna Sadam tütarettevõte, millel on riigiga pikaajaline leping mandri ning Saaremaa ja Hiiumaa vahelise parvlaevaliini korraldamiseks. Ettevõtte laevastik koosneb

praegusel hetkel 5 parvlaevast: Leiger (2016), Tõll (2017), Piret (2017) ja Tiiu (2017), samuti varuparvlaevana kasutatav Regula (1971).

Rääkides TS Laevad OÜ-st LNG kontekstis tuleb mainida, et nelja uue TS Laevad parvlaeva ehitamisel aastatel 2015-2017 oli algselt plaanis kasutada LNG jõul töötavaid mootoreid. Neid plaane arvestasid ka valdkonna spetsialistid Eesti LNG taristu arengu prognoose tehes (Kopti, Punab, & Güldenkoh, 2015). Sellele vaatamata valis ettevõtte diiselmootorite kasuks, mis tollal diisliga võrreldes oluliselt madalamat LNG hinda arvestades tekitas mitmeid küsimusi. Intervjuus Ärilehele (12.08.2016) selgitas TS Laevad OÜ esindaja seda otsust eelkõige sellega, et Eestis puudub vajalik punkerdamise infrastruktuur ja et pole ka selge kas ja millal see luuakse (Ärileht, 2016).

Eeltoodut arvestades pidas autor vajalikuks saada TS Laevad OÜ esindaja arvamuse ettevõtte suhtumise kohta LNG-sse laevakütuse aspektist tänapäeva seisuga.

Küsimusele, milline näeb välja TS Laevad OÜ üldine keskkonnanõuete täitmise strateegia, vastas ettevõtte esindaja nii: „Kui me räägime EEDI ja ETS nõuetest siis need hetkel veel ei laiene TS Laevad OÜ-le, meil on rannikuvetes sõitvad laevad mille GT on alla 5000. Küll aga on TSL teinud väga suuri pingutusi vähendamaks CO₂ jalajälge ja oleme keskmiselt igal aastal vähendanud ca 10% meie toodetud CO₂ ilma regulatsioone ootamata. Kui Eesti riik investeeriks meie laevadega opereeritavatesse sadamatesse ja võimaldaks seal laevade kiire elektri laadimise siis oleksima valmis omaltpoolt investeerima ja ehitama ümber kõik laevad ka täiselektriliseks või hübriidideks. See annaks meile peaaegu nullilähedase jalajälje.“

Seda strateegiat kinnitavad ka ettevõtte tegevused oma laevade moderniseerimiseks. 2020. aastal varustati parvlaev Tõll energiasalvestussüsteemiga akupankade kogumahutavusega 678 kWh, mis tegi Tõllust esimese hübriidreisilaeva Eestis (Offshore Energy, 2020). Tõllu hübriidreisilaevaks ümberehitamise tulemusel väheneb kasutatava diislikütuse hulk aastas hinnanguliselt 20 protsenti ning õhku paisatava CO₂ hulk 1600 tonni.



Joonis 24 Hübriidparvlaev Tõll. Allikas: ERR

Parvlaeva ümberehitamise maksumus ulatus 1,6 miljoni euroni ja tehnilise külje poolest oli see TS Laevad OÜ aastaraamatu kohaselt suhteliselt lihtsalt teostatav – diiselküttest toodetava elektri asendamine akudelt saadava vooluga ei muuda laeva veoseadmete ehituses midagi, lisada tuli vaid akud, laadimisseadmed ja kontrollsüsteemid. Akupangad ei võta palju ruumi, nad on paigaldatud laeva sisemuses olevasse spetsiaalselt selleks kohandatud ruumi (TS Laevad, 2021).

Küsimusele, kas TS Laevad OÜ plaanib võtta kasutusele LNG-d oma parvlaevadel (kas moderniseerides olemasolevaid laevu või ehitades uusi), vastas ettevõtte esindaja järgmiselt: „TSL ei plaani võtta kasutusele LNG kütuseid, LNG ei ole heitmevaba kütus ja ilmselt mingi aja jooksul lükatakse ta ka välja rohekütuste nimekirjadest. Kui vaatame sarnase äri laeva operaatoreid näiteks Norras siis kõik LNG laevad on ümber ehitatud kas hübriidideks või täiselektrilisteks, selleks on lausa riiklik programm eraldanud sadu miljoneid eurosid.“

Rääkides sellest, kuidas hindab TSL Laevad olemasoleva LNG punkerdamise taristut ja selle arengut TS Laevad OÜ opereerimise piirkonnas, oli vastuseks see, et piirkonnas, kus opereerib TS Laevad OÜ, puudub igasugune taristu LNG punkerdamise jaoks.

3.2.6 Elenger Marine

Ainus Eesti ettevõtte, kes tegeleb LNG punkerdamisega lõputöö valmimise hetkel on Elenger Marine OÜ. Läänemere piirkonnas tegeb LNG punkerdamise- ja vedamiseга veel ettevõtte Gasum, kes samuti opereerib Läänemere piirkonnas ühte LNG punkerlaeva Coralius.

Elenger Marine on AS Eesti Gaasi 100%-line tütar-ettevõtte, mille põhitegevuseks on veeldatud maagaasi hankimine, tarnimine, transport ja müümine tarbijatele. Esimene punkerdamine *truck-to-ship* meetodil oli tehtud jaanuaris 2017 reisiparvlaevale Megastar. Täna on päevaks on teostatud ca 4300 *truck-to-ship* punkerdamist (ca 800 000 tonni) ning ca 30 *ship-to-ship* punkerdamist punkerlaev Optimusega.

Elenger Marine OÜ opereerib oma tegevuse jaoks 9-t spetsialiseerunud LNG poolhaagist, mis tarnivad gaasi nii maismaobjektidele (katlamajadele ja tööstustele) kui ka teostavad LNG punkerdamist laevadele. Samuti opereerib Elenger Marine LNG punkerlaeva B/V Optimus, mis alustas oma tööd Läänemere sadamates aastal 2021.

Autor on viinud läbi küsitluse Elenger Marine OÜ LNG mereoperatsioonide juhiga, kelle pädevuses on ka B/V Optimuse tegevuse koordineerimine.

Küsitluse käigus selgus, et gaasi kriis on mõjutanud ka Elenger Marine tegevust. Aastal 2021 toimusid regulaarsed LNG punkerdamise operatsioonid TTS meetodil erinevates Soome lahe sadamates (Tallinn, Helsinki, Vuosaari, Hanko). Alates märtsist 2022 gaasihinnad Euroopa turul hakkasid järsult tõusma ning suurem osa kahekütuseliste mootoritega varustatud laevadest hakkasid kasutama diiselkütust, mis sisuliselt suretas välja LNG kui meretranspordi kütuse turu kogu Euroopas. LNG hinnatase hakkas diisliga vaikselt võrdsustuma turul alles käesoleva 2023 aasta alguses, siis laevaoperaatorite huvi LNG vastu hakkas taas järk-järgult aeglaselt kasvama ja Elenger Marine on hakanud taas sujuvalt taastama oma tarneid Tallinki laevadele.

Kuna kriisieelsel ajal olid LNG tarneid suures osas korraldatud Võssotsi veeldamistehasest Venemaal, siis uues olukorras tuli hakata otsima uusi tarneallikaid, mille arv on antud piirkonnas piiratud. Lähim töötav LNG importterminal asub Leedus Klaipėdas, mille koormus tõusis kriisi algusega hüppeliselt ning logistilise broneeringute tegemine muutus seal väga keeruliseks. Samuti sundis gaasi hinnasurve laevaomanikke ümber lülitama laevad diiselkütusele (sest enamused LNG-d tarbivad laevad on varustatud kahekütuseliste mootoritega).

LNG kui punkrikütuse kasutamine ja selle kättesaadavus on regionaalse iseloomuga, mis tähendab, et infrastruktuuri areng peab toimuma põhilisi mereteid kattes, mitte riigipõhiselt. Olemasolevad võimalused Eestis ja Soomes katavad vähemalt Soome lahel olevat LNG punkerdamise vajadust. Samuti hetkel ei näe, et see nõudlus peaks oluliselt kasvama, sest Venemaasuunalist kauba ja reisijate liikumise taastumist lähiajal näha ei ole. Läänemere piirkonnas üldisemalt tegutseb mitmeid LNG punkerlaevu (näiteks Coralius, Kairos, Avenir), kuid vaadates uute LNG-d kasutavate laevade tellimusi saab järeldada, et c:a viie aasta perspektiivis jääb ka sellest võimekusest väheks. Teatavasti on punkerlaevu samuti tehastes ehitamisel, kuid on teadmata nende tulevane opereerimispiirkond. Suures pildis on Elenger Marine esindaja arvamusel, et infrastruktuuri puudulikkuse taha LNG punkerdamise sektor arenemata ei jää, pigem on küsimus laevaomanike otsustuskindlusest jõulisemalt LNG-le ülemineku suhtes ja usust selle hinnastabiilsuse osas.

Elenger Marine OÜ esindaja arvamusel on olemasolevate kliimaeesmärkide valguses LNG-l lähitulevikus suur roll meretranspordi sektoris. Infrastruktuur on ettevõtte esindaja hinnangul arenenud Läänemere piirkonnas viimase 6-7 aastaga üpris aktiivselt. Lisaks Elenger Marine tegevusele on samuti selle perioodi jooksul tekkinud mitmeid tarneallikaid - valminud LNG veeldamise tehas Võssotskis, LNG impordi terminal Klaipedas, samuti avati käesoleva aasta alguses väike imporditerminal Hamina-Kotkas Soomes. Käesoleval aastal alustab samuti tööd LNG ujuvterminal Inkoo sadamas, mis samuti avab võimalused punkerlaevade varustamiseks LNG-ga. See on alati olnud põhimõtteliseks küsimuseks, kas infrastruktuur peab järele liikuma nõudlusele, või nõudlus saab tekkida alles infrastruktuuri tekkimise järel. Elenger Marine esinaja arvamusel peavad nõudlus ja pakkumine liikuma kõrvuti, samuti tihedas koostöös pakkujate ja tarbijate vahel. LNG pikema perioodi tuleviku määrab kindlasti uute keskkonnasäästlike tehnoloogiate turuletulek ja selle töökindlus (vesinik, ammoniaak, metanool), kuid samuti ka regulatiivne strateegia (s.h sanktsioonide iseloom). Ometigi olemasolevat infrastruktuuri arengut ja LNG pakkumise-nõudlust arvestades saab eeldada, et vähemalt lähima 10 aasta jooksul kujuneb LNG-st põhiline keskkonnaaspekte arvestav kütus meretranspordis.

3.2.7 Elering

Elering AS on Eesti riigile kuuluv elektri ja gaasi ühendüsteemihaldur. Ettevõtte sai Eesti gaasi ülekandevõrgu omanikuks 2015. aastal. 2022 aasta lõpuks rajas Elering AS Paldiskisse LNG vastu võtmiseks gaasitaristu (Elering AS, 2023b). Autori küsimustele oli nõus vastama Elering AS FSRU (ehk ujuva LNG-terminali) osakonna esindaja.



Joonis 25 FSRU ühendusjaam Paldiski LNG terminalil. Allikas: Elering AS

Autori küsimusele kas (ja kuidas) Paldiski LNG terminali rajamine mõjutab (parandab) LNG punkerdamise taristut Eestis (nii *truck-to-ship* kui ka *ship-to-ship* punkerdamise viise), vastas Elering AS esindaja, et kuna Paldiskis rajatud FSRU ühendus võimaldab võtta vastu maagaasi vaid gaasilisel kujul, siis otseselt FSRU ühenduse rajamine LNG-ga seotud ärisuundadele Eestis mõju ei avalda. Samas rajatud sildumiskai ei takista võimaliku LNG terminali rajamist Paldiskis, isegi toetab seda, sest tehniliselt oleks võimalik rajada LNG vastuvõtuvõimekus kaile. Samaaegne töö FSRU (*Floating Storage and Regasification Unit*) ja FSU (*Floating Storage Unit*) terminali jaoks ei oleks küll sellisel juhul võimalik. Juhul kui FSRU peaks Paldiskis silduma ning terminalina tööle hakkama, siis sõltub juba terminali operaatorist kas *truck-to-ship* kui ka *ship-to-ship* ümberlaadimist sooritatakse, sõltuvalt terminali ärimudelitest ning Konkurentsiameti heakkiidust.

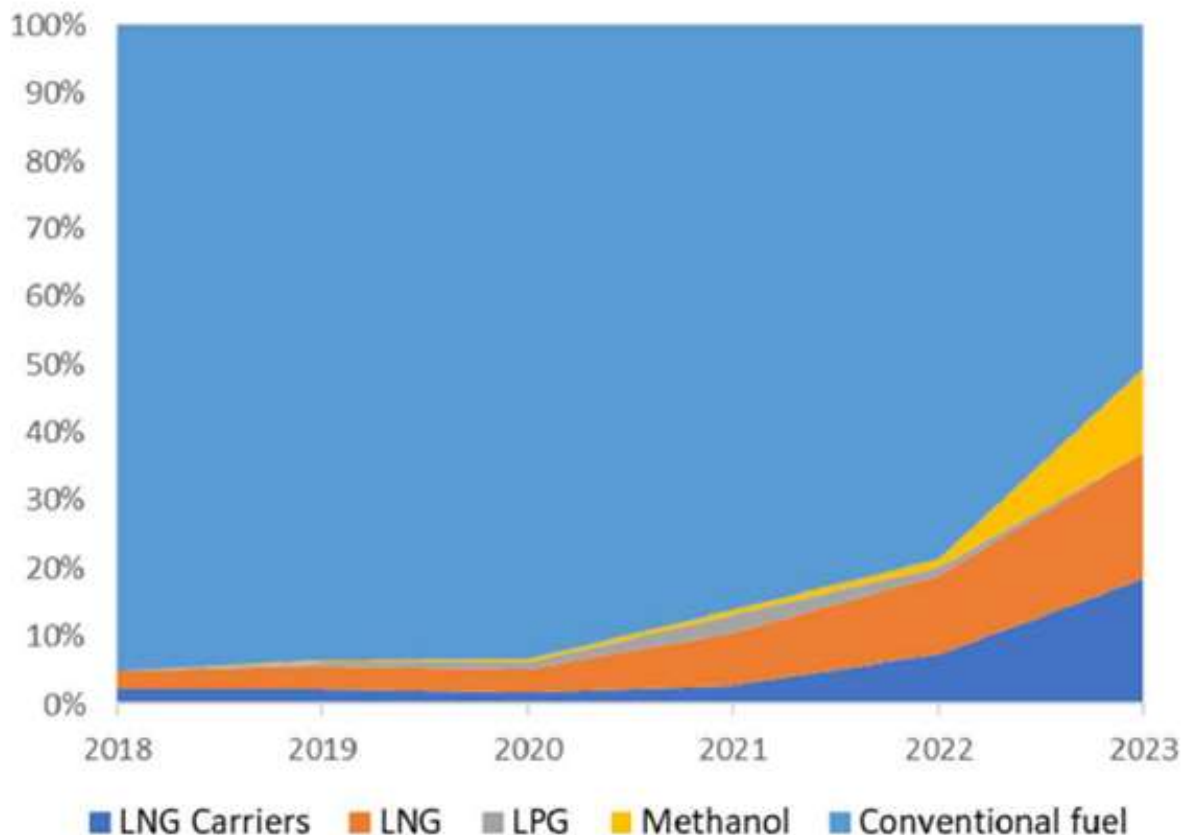
Samas on Soome lahe piirkonda lisandunud FSRU Exemplar alustanud Soome energiaregulaatoriga konsultatsiooni selleks, et lisada terminalile punkerdamiseteenuse võimekust (Gasgrid, 2023). Eduka konsultatsiooni järgselt võib tekkida Inkoosse täiendav punkerdusvõimekus.

4 JÄRELDUSED

Oleme tunnistajaks ajaloolisele muutusele kommerts-laevanduses – üleminekul põhimõtteliselt uutele kütuseliikidele. Viimati toimusid sellised muutused umbes 100 aastat tagasi (üleminek kivisöelt vedelkütustele). Kui kivisöest järkjärguline loobumine toimus järk-järgult ja kestis mitu aastakümnet, siis praegune üleminek laevaomanikele avaldatava tugeva surve tõttu toimub ilmselt palju kiiremini. Laevaomanikele avaldavad survet erinevad osapooled, eelkõige reguleerivad asutused (IMO, EL), aga ka pangad ja investorid, et tagada investeringute keskkonnasõbralikkus (DNV Webinar, 2022).

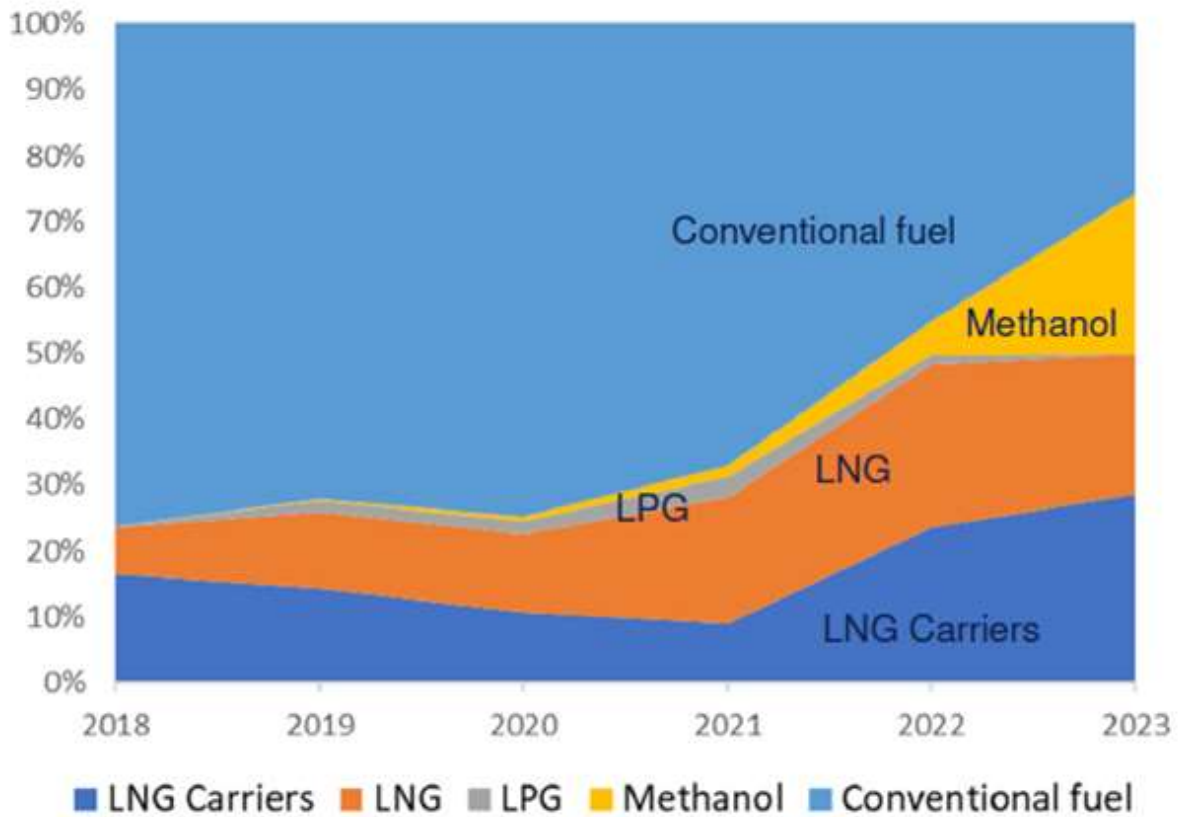
4.1 Uute laevade ehitamine maailmas

Alternatiivseid kütuseliike kasutavate laevade uute tellimuste koguarv kasvab väga kiiresti – seda on näha jooniselt 26, kus on toodud uute laevade ehitamise jaotus laevadel kasutatavate kütuseliikide järgi (2023. aasta andmed on esitatud 31.01.2023 seisuga) (DNV, 2023):



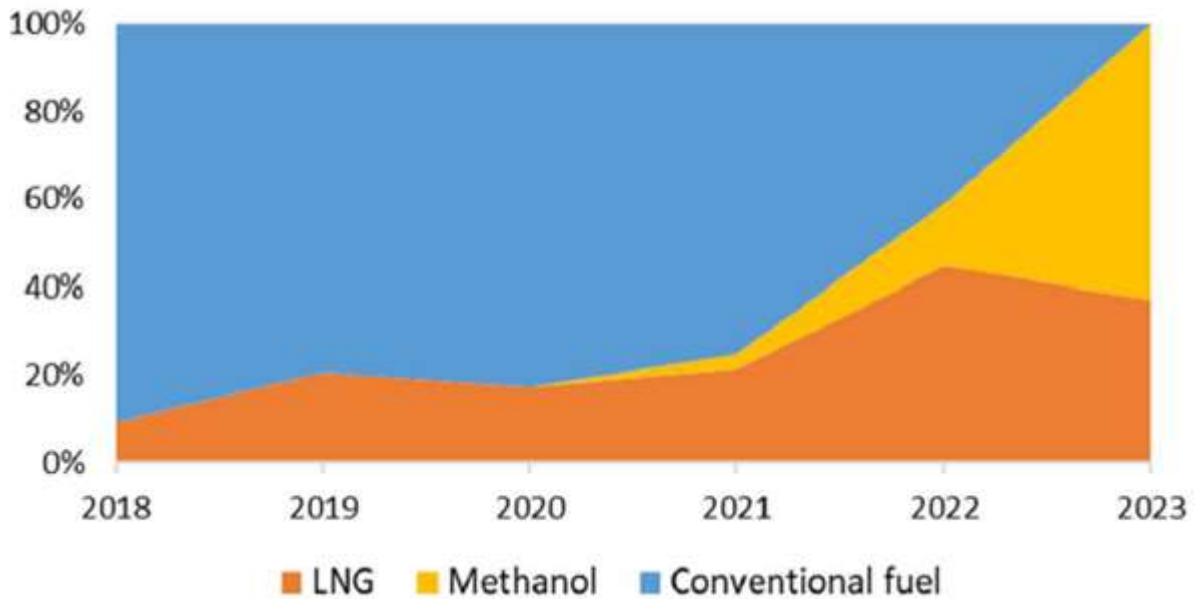
Joonis 26 Uute laevade tellimuste jaotus kasutatavate kütuste järgi. Mõõduühik: laevade arv. Allikas: DNV, 2023

Kui pöörata tähelepanu uute tellimuste statistikale lähtuvalt tonnaažist, siis fossiilkütuste osakaal on siin veelgi väiksem – spetsialistide hinnangul pöörab järjest suurem hulk lastiomanikke tähelepanu sellele, millist kütuseliiki vedudeks kasutatakse (DNV, 2023). Joonis 27 näitab, kuidas jaotub uute laevade tellimuste statistika lähtuvalt laeva kogumahutavusest:



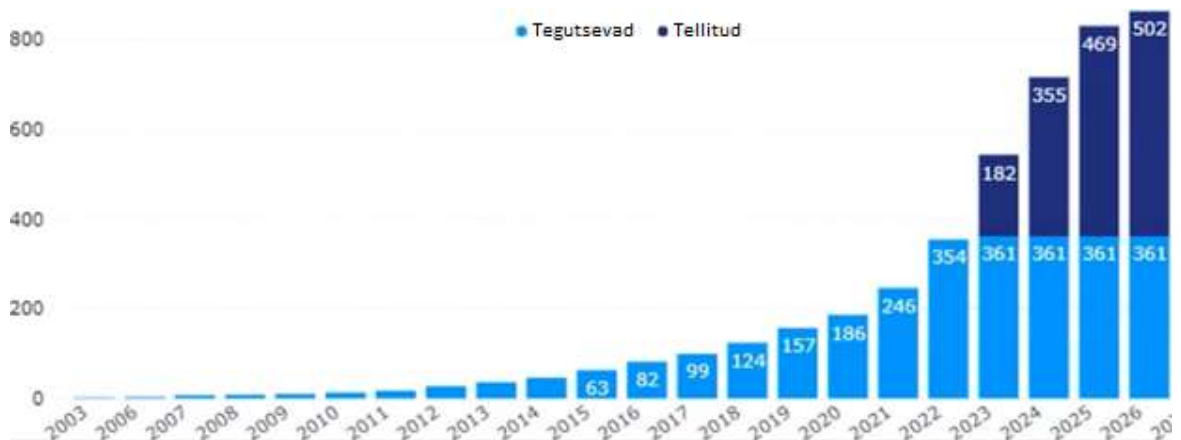
Joonis 27 Uute laevade kütuseliikide statistika lähtuvalt laeva kogumahutavusest. Mõõduühik: laevade kogumahutavus. Allikas: DNV, 2023

Sellega seoses pakub erilist huvi konteinerlaevade uute tellimuste statistika - arvud näitavad, et fossiilkütust kasutavate konteinerlaevade ajastu on lõplikult läbi. Joonis 28 näitab, milliseid kütuseliike kasutatakse uute konteinerlaevade ehitamisel (DNV, 2023):



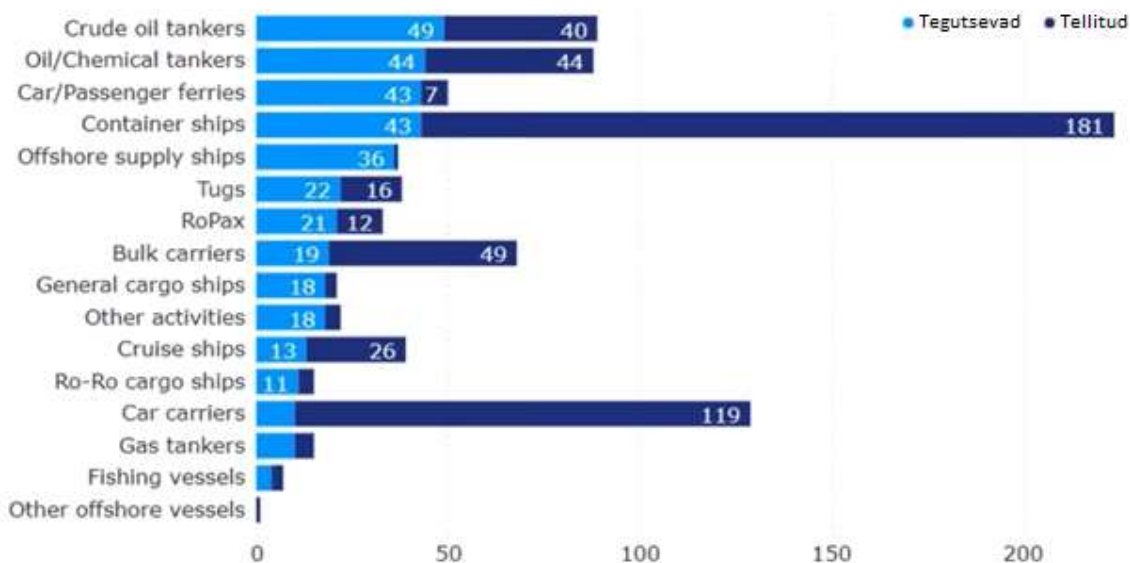
Joonis 28 Konteinerlaevade ehitamisel kasutatavad kütuseliigid (laevade arvu järgi). Allikas: DNV, 2023

Mis puudutab LNG-d kütusena kasutatavaid laevu, siis vaatamata kiirele gaasihindade tõusule kasvab LNG-ga töötavate laevade tellimuste arv jätkuvalt. Laevamaakleri Clarksons Researchi läbiviidud uuringu kohaselt oli 2022. aasta LNG-laevade ehituslepingute osas rekordaasta, kui tellimuste kogusumma ulatus umbes 39 mld USD-ni. Olemasolevatel tellimustel põhinevate prognooside kohaselt ulatub veeldatud gaasil töötavate laevade arv 2030. aastaks umbes 900 ühikuni. Kui senised kasvutrendid jätkuvad, siis on põhjust eeldada, et 2030. aastaks on käigus 2-4 tuhat põhikütusena LNG-d kasutavat laeva. LNG-laevatellimuste arvu kasvu dünaamikat näitab joonis 29, kus eraldi on toodud nii juba kasutusele võetud laevad kui ka ehitatavad laevad (DNV, 2023):



Joonis 29 LNG-laevade koguarv maailmas. Allikas: DNV, 2023

Ometi tuleb märkida, et LNG-laevastiku kasvu taga on eelkõige suured konteinerlaevad ja autovedajad. Seda on näha jooniselt 30, mis näitab millist tüüpi laevad kasutavad veeldatud maagaasi laevakütusena:



Joonis 30 LNG-d laevakütusena kasutavate laevade tüübid. Mõõduühik: laevade arv. Allikas: DNV, 2023

4.2 LNG kasutamine laevakütusena Läänemeres

Nagu eespool esitatud ülemaailmsest uute laevade tellimuste statistikast näha, on LNG endiselt üks enimkasutatud alternatiivseid laevakütuseid kogu maailmas (Willmington, 2023).

Rääkides Läänemeres LNG kasutamise väljavaadetest laevakütusena, tuleb arvestada piirkonna eripäraga – eelkõige laeva liikidega ja taristu iseärasustega.

Oma töös on autor püstitanud järgmise hüpoteesi: „LNG kui laevakütus on endiselt perspektiivne strateegia IMO kehtestatud keskkonnanormide täitmiseks Läänemeres“. Sõna „endiselt“ kasutatakse seetõttu, et enne 2021.-2023. aasta energiakriisi peeti LNG perspektiivse Läänemere piirkonna kommerts-laevanduses üldiselt üsna kõrgeks. 2021. aastal alanud energiakriis (suurel määral gaasikriis) seadis kahtluse alla nii LNG kui laevakütuse kasutamise majandusliku otstarbekuse kui ka selle kättesaadavuse valdkonna vajadusteks vajalikus mahus.

Hüpoteesi kontrollimiseks viis autor läbi rea küsitlusi valdkonna esindajate seas, kus vastajateks olid nii Läänemere piirkonna suurimad laevaomanikud kui ka ettevõtted, mille tegevus on seotud LNG punkerdamise taristuga. Pärast vastuste ja arvamuste analüüsimist jõudis autor järeldusele,

et hüpotees ei leia kinnitust. Kui oma esialgses keskkonnas (saadavus, hind, keskkonnasõbralikkus) oli LNG igati arvestatav laevakütus, siis praeguses situatsioonis hindade ja saadavuse volatiivsete mõjurite tagajärjel võib seda pigem nimetada üleminekuperioodi kütuseks.

Sellel hinnangul on mitu põhjust ja need kõik on mingil moel omavahel seotud.

Ilmselt on LNG-valdkonna arengu eelduseks regioonis piisav arv sõitvaid laevu, mis seda kütuseliiki kasutavad. 2023. aasta seisuga on selliste laevade koguarv Läänemerel kõigist varasematest prognoosidest oluliselt väiksem. LNG-laevastiku suurendamine on võimalik mitte niivõrd uute laevade ehitamise kaudu (neid võib olla üksikuid), vaid olemasolevate moderniseerimise kaudu (siin võib rääkida kümnetest). Sellise moderniseerimise majandusliku tasuvuse tingimuste arvutused tehti mitu aastat tagasi, kui LNG hind oli madalam kui diislikütus ja, mis kõige olulisem, oli prognoositav. Lisaks oli veendumus, et punkerdamistaristut hakatakse järk-järgult üles ehitama. Tasuvusaeg oli sel ajal olenevalt laeva liigist ja suuruselt kaks kuni kolm aastat ning moderniseerimist peeti otstarbekaks ainult kuni 5 aasta vanuste laevade puhul. Tänapäeval on diisellaeva LNG-le ümberehitamise küsimus laevaomanikule palju vähem ilmselge lahendus: esiteks on selge, et punkerdamistaristu areneb üliaeglaselt, teiseks puudub kindlus vajaliku koguse kütuse kättesaadavuse suhtes tulevikus, kolmandaks on gaasi hind muutunud äärmiselt ettearvamatuks. Arvestades, et LNG mahutid võtavad pardal üsna palju ruumi, on laeva moderniseerimine mõttekas vaid siis, kui on kindel, et LNG-d tõepoolest kasutatakse põhikütusena (Tallinki näite kohaselt ei ole see alati nii – viimasel ajal kasutavad parvlaevad Megastar ja MyStar kütusena diislit).

Mis puudutab laeva moderniseerimise tehnilisi aspekte LNG-le üleminekuks, siis gaasi eripärade tõttu eeldab see olulisi muudatusi laeva konstruktsioonis. Kõige keerulisem ja kulukam tegur on LNG mahutid, aga ka mootori kütusega varustamise süsteemid. Sellest vaatenurgast näib eelistatum üleminek hübriidsüsteemile (diiseli + elekter), mis ei nõua olulisi muudatusi laeva konstruktsioonis. Diisellaeva hübriidsüsteemile muutmise näide Eestis on TS Laevade reisiparvlaev Tõll.

LNG kasutamine laevakütusena on võimatu ilma punkerdamistaristu olemasoluta. LNG-taristust rääkides tuleb tähelepanu pöörata terminali konstruktsioonile. Et laeva punkerdamine eeldab gaasi tarnimist pardal asuvasse mahutitesse vedelal kujul, saab punkerdamistaristuks pidada ainult neid LNG-terminale, mis võimaldavad LNG transporti terminalist/hoidlast vedelal kujul. LNG-

terminalid, mis on mõeldud eranditult LNG taasgaasistamiseks gaasilisse olekusse ja gaasi edastamiseks gaasitranspordi võrku, ei oma punkerdamisel praktilist tähtsust, olenemata meetodist. Seega ei ole Paldiskis hiljuti ehitatud ujuvterminal praegusel kujul ette nähtud punkerdamiseks, sest on projekteeritud nii, et FSRU laeval olev gaas toimetatakse kaile juba taasgaasistatud (gaasilises) olekus.

Nii laevaomanikud kui ka LNG-taristu arendajad on valdavalt eraettevõtted, mille põhieesmärk on aktsionäridele raha teenida. Nii taristu loomine kui ka laeva ehitamine/moderniseerimine on seotud suurte investeringutega, mille lõppeesmärk on kasumi teenimine. Kui tuua paralleel autovaldkonnaga, siis keegi ei soovi investeerida tankla rajamisse kohta, kus autosid pole. Teisest küljest soovivad vähesed autot osta, ilma et nad oleksid kindlad selle tankimise võimaluses. Läänemere piirkonnas on häid näiteid, kui laevaomaniku ja taristuomaniku huvid ühtivad – kõige tähelepanuväärsem on autori arvates Rootsi firma Stena Line ja Göteborgi sadama ametiisikute koostöö, kes arendavad ühiselt laevakütusena metanooli. Teiseks huvitava koostöö näiteks oli projekt Bothnia Bulk, mille raames ehitati LNG-laevu (Viikki ja Haaga) ning arendati ka punkerdamistaristut nende laevade tegevussadamates.

Riigisektor on võimeline kaasa aitama laevanduse LNG-suuna arendamisele eeldusel, et seda hõlmab riigi energiate strateegia raamistik. Kui rääkida Eestist, siis ei ole näha riigi selgelt väljendatud soovi LNG-valdkonna arengut toetada. 2015. aastal (LNG valdkonna arengu koidikul) taristu esindajate ja teiste valdkonna osaliste seas läbi viidud küsitluste kohaselt ei olnud sel ajal Eestis selget poliitilist soovi LNG-taristut arendada, puudusid toetusmeetmed laevade moderniseerimiseks LNG-le, puudusid maksusoodustused sellele kütuseliigile (Kopti, Punab, & Guldenkoh, 2015). Aastate möödudes võib täheldada, et oluliselt pole midagi muutunud – ei ole märgata reaalseid riigipoolseid samme LNG kui laevakütuse toetamiseks. AS Tallinna Sadamal on LNG-ga töötavatele laevadele sadamatasude soodustusi (AS Tallinna Sadam, 2023), kuid üldiselt konkureerib LNG laevakütusena turul diisliga võrdsetel alustel.

Autori hinnangul on LNG ka järgmise paarikümne aasta jooksul maailma mastaabis laialdaselt kasutatav laevakütus, kuid fossiilse päritolu tõttu positsioneerub see üha enam „üleminekukütusena“. Maagaas, olles kaevandatav energiakandja, ei saa olla pikas perspektiivis LNG tootmise tooraineks – ekspertide hinnangul tuleb LNG tootmisel varem või hiljem üle minna taastuvale toorainele (Bio-LNG) (DNV Maritime, 2021). Bio-LNG-ga seoses tuleb aga ette see, mis kehtib kõikide alternatiivsete laevakütuste kasutamise puhul lähiaastatel – peamiseks

piiranguks on mitte tehnoloogia ja taristu olemasolu, vaid kütuse tootmiseks vajaliku tooraine saadavus (DNV Webinar, 2022).

Läänemere piirkonda silmas pidades hindab autor LNG kasutamise väljavaateid laevakütusena madalaks. Arvestades selle piirkonna laevanduse eripärasid, võib perspektiivikamaks ja laialdasemaks osutada näiteks hübriidlaevade kasutamine.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli hinnata veeldatud maagaasi (LNG) kasutamist laevakütusena Läänemerel olukorras, kus 2021-2023 aastate gaasikriis on viinud Euroopa energiaturu täieliku ümberhindamiseni.

Laevaomanike mõjutavad tugevalt keskkonnakaitsenõuded, eelkõige Rahvusvahelise Mereorganisatsiooni IMO poolt välja antud rahvusvaheline laevade põhjustatava merereostuse vältimise konventsioon (MARPOL 73/78), mis reguleerib põlemissaaduste heitkoguste piiramist atmosfääri. Läänemere piirkond on meresõidu intensiivsuse tõttu klassifitseeritud suurema keskkonnatundliku piirkonnana (SECA), kus kehtivad eriti ranged laevakütuse väävlisisalduse piirnormid - mitte rohkem kui 0,1% m/m.

Keskkonnakaitsenõuete surve laevaomanikele on väga tugev ning on viinud selleni et oleme tunnistajaks ajaloolisele muutusele kaubanduslikus meresõidus – üleminekul põhimõtteliselt uutele kütuseliikidele. Seda saab võrrelda üleminekuga kivisöelt vedelkütustele 100 aastat tagasi, aga kui kivisöest järkjärguline loobumine kestis mitu aastakümnet, siis praeguses olukorras peavad laevaomanikud tegutsema palju kiiremini. Üheks võimalikuks lahenduseks on nii nimetatud alternatiivsete laevakütuste kasutuselevõtt, kus veeldatud maagaas (LNG) on üks tähelepanuväärsemaid võimalusi.

Veeldatud maagaas, vaatamata oma fossiilsele päritolule, on väga puhas ja tõhus energiakandja - väävliühendid puuduvad peaaegu täielikult, samuti on põlemisel minimaalne CO₂-heitkogus. LNG-d peeti pika aja jooksul üsna perspektiivseks laevakütuseks ka Läänemere piirkonna kommerts-laevanduses, kuid gaasikriis pani kahtluse alla nii LNG kui laevakütuse kasutamise majandusliku otstarbekuse kui ka selle kättesaadavuse valdkonna vajadusteks vajalikus mahus. See toob kaasa vajaduse LNG kasutamise väljavaateid ümber hinnata.

Oma töös on autor püstitanud järgmise hüpoteesi: „LNG kui laevakütus on endiselt perspektiivne strateegia IMO kehtestatud keskkonnanormide täitmiseks Läänemerel“. Hüpoteesi kontrollimiseks viis autor läbi rea küsitlusi valdkonna esindajate seas, kus vastajateks olid nii Läänemere piirkonna suurimad laevaomanikud kui ka ettevõtted, mille tegevus on seotud LNG punkerdamise taristuga. Pärast vastuste ja arvamuste analüüsimist jõudis autor järeldusele, et hüpotees ei leia kinnitust. Praeguses situatsioonis hindade ja saadavause volatiivsete mõjurite tagajärjel on see laevakütus toonud pettumust ja vajadust kas mõnevõrra tagasikäik anda või veel

intensiivsemalt uusi lahendusi otsida. LNG-d võib seega nimetada üleminekuperioodi kütuseks ja sellega on töös püstitatud hüpotees ümber lükatud. Samas, välistatud pole ka uued arengud - hinnad ja saadavus võivad stabiliseeruda tulevikus ning kui LNG hind jääb konkurentsivõimeliseks, siis on see jätkuvalt aktuaalne laevakütuse alternatiiv nii Tallinki- kui ka teistel Läänemere laevadel.

Vaatamata ülaltoodule pole siiski kahtlust, et maailma mastaabis jääb LNG ka järgmise paarikümne aasta jooksul laialdaselt kasutatava laevakütusena, eelkõige uute LNG-konteinerlaevade suure arvu tõttu. Kui proovida vaadata veelgi kaugemale ette, siis on alust arvata, et laevanduses jääb LNG üha enam „üleminekukütusena“, kuni fossiilse päritoluga kütuste asendamiseni kliimanetraalsete kütusetehnoloogiatega.

SUMMARY

The aim of this Master's thesis was to evaluate the use of liquefied natural gas (LNG) as ship fuel in the Baltic Sea in a situation where the gas crisis of 2021-2023 has led to a complete reassessment of the European energy market.

Ship owners are strongly influenced by environmental protection requirements, in particular the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78), issued by the International Maritime Organization IMO, which regulates the limitation of emissions of combustion products into the atmosphere. Due to the intensity of seafaring, the Baltic Sea region is classified as a major environmentally sensitive area (SECA), where there are particularly strict limits for the sulfur content of marine fuel - no more than 0.1% m/m.

The pressure of environmental protection requirements on ship owners is very strong and has led to the fact that we are witnessing a historic change in commercial shipping - the transition to fundamentally new types of fuel. This can be compared to the transition from coal to liquid fuels 100 years ago, but while the phase-out of coal took several decades, in the current situation, ship owners have to act much faster. One possible solution is the introduction of so-called alternative marine fuels, where liquefied natural gas (LNG) is one of the most notable possibilities.

Liquefied natural gas, despite its fossil origin, is a very clean and efficient energy carrier - sulfur compounds are almost completely absent, and CO₂ emissions are minimal during combustion. For a long time, LNG was considered a promising ship fuel in commercial shipping in the Baltic Sea region as well, but the gas crisis called into question both the economic feasibility of using LNG as a ship fuel and its availability in the volume necessary for the industry's needs. This leads to the need to reassess the prospects for the use of LNG.

The author has put forward the following hypothesis: "LNG as ship fuel is still a perspective strategy for meeting the environmental standards established by the IMO in the Baltic Sea". To verify the hypothesis, the author conducted a series of surveys among industry representatives, where the respondents were both the largest ship owners in the Baltic Sea region and companies whose activities are related to LNG bunkering infrastructure. After analyzing the answers and opinions, the author came to the conclusion that the hypothesis cannot be confirmed.

At the same time, there is no doubt that LNG will remain a widely used shipping fuel on a global scale for the next few decades, especially due to the large number of new LNG container ships. If

we try to look even further ahead, there is reason to believe that LNG will increasingly remain a "transition fuel" in shipping until fossil fuels are replaced by completely climate-neutral fuel technologies.

VIIDATUD ALLIKAD

- Adolfson, J. F., Lappe, M.-S., & Manu, A.-S. (2023). *Global risks to the EU natural gas market*. Allikas: ECB Economic Bulletin, Issue 1/2023: https://www.ecb.europa.eu/pub/economic-bulletin/focus/2023/html/ecb.ebbox202301_01~6395aa7fc0.en.html (29.01.2023)
- AS Tallinna Sadam. (2023). *AS Tallinna Sadam sadamatasud, punkt 3.2.3.1*. Allikas: AS Tallinna Sadam veebileht: <https://www.ts.ee/wp-content/uploads/2023/01/Sadamatasud-2023.pdf> (23.04.2023)
- Brun, K., & Kurz, R. (2020). Myth: Gas turbines do not belong on commercial ships. *Turbomachinery International*.
- Cruise Industry News. (2017). *Meyer Turku Delivers LNG Ferry*. Allikas: Cruise Industry News: <https://cruiseindustrynews.com/cruise-news/2017/01/meyer-turku-delivers-lng-ferry/> (14.02.2023)
- Dbouk, D. W. (2021). Climate justice and the decarbonization of shipping. *International Science Council*.
- Delfi. (2014). FSRU “Independence” successfully sailed off on a sea trial. Allikas: <https://www.delfi.lt/en/business/floating-lng-terminal-independence-sails-into-klaipeda-66226156> (20.02.2023)
- DNV. (2019). *Assessment of selected alternative fuels and Technologies*.
- DNV. (2022). Alternative Fuels Online Conference.
- DNV. (2023a). *DNV Alternative Fuels Insight*. Allikas: <https://afi.dnv.com> (01.02.2023)
- DNV. (2023b). Emerging alternative ship fuels – focus on methanol and biofuels.
- DNV Maritime. (2021). *Alternative Fuels for Containerships - 2nd edition: Methanol*.
- DNV Maritime. (2022). Alternative Fuels Online Conference.
- DNV Webinar. (2021). LNG as ship fuel – where are we and what comes next?
- DNV Webinar. (2022a). Maritime Forecast to 2050 - fuel availability in focus.

- DNV Webinar. (2022b). MEPC 79 in focus – revising future GHG ambitions.
- Draffin, N. (2013). *An Introduction to LNG Bunkering*. Petrosport Limited.
- Eesti Gaas. (2023a). *Eesti Gaas tõi Inkoo terminali esimese gaasitarne*. Allikas: Eesti Gaas veebileht: <https://www.gaas.ee/eesti-gaas-toi-inkoo-terminali-esimese-gaasitarne/> (05.04.2023)
- Eesti Gaas. (2023b). *Gaasituru ülevaade 2022. a IV kvartal*. Allikas: Eesti Gaasi veebileht: <https://www.gaas.ee/gaasituru-ulevaade-2022-a-iv-kvartal/> (15.02.2023)
- Elering AS. (2023a). *Eesti Gaasiülekandevõrgu arengukava 2023-2032*. Elering AS.
- Elering AS. (2023b). *Ettevõttest*. Allikas: Elering AS veebileht: <https://elering.ee/ettevottest> (25.04.2023)
- Elgohary, M. M. (2013). Overview of past, present and future marine power plants. *Journal of Marine Science and Application*, 219-227.
- Elgohary, M. M., & Seddiek, I. S. (2012). Comparison between Natural Gas and Diesel Fuel Oil Onboard Gas Turbine Powered Ships. *JKAU Marine Science*, 109-127.
- Enkvist, L. (2010). Risteilylautan tilaus pelasti Turun telakan. *Turun Sanomat*. Allikas: Turun Sanomat.
- ERR. (2022). *Tallinki laev MyStar valmib pool aastat plaanitust hiljem*. Allikas: ERR: <https://www.err.ee/1608656947/tallinki-laev-mystar-valmib-pool-aastat-plaanitust-hiljem> (15.03.2023)
- ESL Shipping. (2020). *Bothnia Bulk: Environmental upgrade of year-round supply in the northern Baltic Sea*. Allikas: ESL Shipping: <https://www.eslshipping.com/en/company/bothnia-bulk> (10.02.2023)
- ESL Shipping. (2020). *Towards more sustainable shipping: ESL Shipping first in Finland to use 100% renewable liquefied biogas in maritime transport*. Allikas: ESL Shipping: <https://www.eslshipping.com/en/news/towards-more-sustainable-shipping-esl-shipping-first-in-finland-to-use-100-renewable-liquefied-biogas-in-maritime-transport> (20.02.2023)

- European Commission. (2017). *Study on the Completion of an EU Framework on LNG-fuelled Ships and its Relevant Fuel Provision Infrastructure*. European Commission.
- European Commission. (2022). *REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy*. Allikas: EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A108%3AFIN> (20.03.2023)
- European Commission. (2022). *US liquefied natural gas (LNG) has the potential to help match EU gas needs*. Allikas: European Commission: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-02/EU-US_LNG_2022_2.pdf (21.02.2023)
- European Council on Foreign Relations. (2023). *Conscious uncoupling: Europeans' Russian gas challenge in 2023*. Allikas: e CFR: <https://ecfr.eu/article/conscious-uncoupling-europeans-russian-gas-challenge-in-2023/> (21.02.2023)
- European Gas Hub. (2023). *Natural Gas Prices*. Allikas: European Gas Hub: <https://www.europeangashub.com/weekly-trend-of-natural-gas> (29.04.2023)
- European Maritime Safety Agency. (2018). *Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations*.
- Excelerate Energy. (2023). *FSRU: Floating Regasification*. Allikas: Excelerate Energy veebileht: <https://excelerateenergy.com/capabilities/fsru/> (18.03.2023)
- Fortum. (2022). *Finland's first floating LNG terminal to be placed in Fortum's Inkoo port*. Allikas: Fortum Press release: <https://www.fortum.com/media/2022/06/finlands-first-floating-lng-terminal-be-placed-fortums-inkoo-port> (09.03.2023)
- Gasgrid. (2022). *LNG floating terminal vessel Exemplar anchors safely in the Port of Inkoo*. Allikas: Gasgrid veebileht: <https://gasgrid.fi/en/2022/12/28/lng-floating-terminal-vessel-exemplar-anchors-safely-in-the-port-of-inkoo/> (08.03.2023)
- Gasgrid. (2023). *The Energy Authority has launched consultations on amending terms and conditions of Floating LNG Terminal Finland Oy*. Allikas: Gasgrid veebileht: <https://gasgrid.fi/en/2023/03/16/the-energy-authority-has-launched-consultations-on-amending-terms-and-conditions-of-floating-lng-terminal-finland-oy/> (23.02.2023)

- Gasunie Transport Services B.V. (2023). Allikas: Gasunie Transport Services B.V. veebileht: <https://www.gasunietransportservices.nl/> (10.02.2023)
- IDTechEx Research. (2017). *Electric Boats and Ships 2017-2027*. IDTechEx.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2005). *Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge University Press.
- International Energy Agency. (2022). *World Energy Outlook 2022 shows the global energy crisis can be a historic turning point towards a cleaner and more secure future*. [iea.org](https://www.iea.org/).
- Jonson, J.-E., Jalkanen, J.-P., Johansson, L. G., & Denier van der Gon, H. (2015). Model calculations of the effects of present and future emissions of air pollutants from shipping in the Baltic Sea and the North Sea. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 783-798.
- Klaipėdos nafta. (2020). *Breakthrough in the field of LNG bunkering: A vessel filled with LNG for the first time in Klaipėda Port*. Allikas: Klaipėdos nafta veebileht: <https://www.kn.lt/en/news/news/breakthrough-in-the-field-of-lng-bunkering-a-vessel-filled-with-lng-for-the-first-time-in-klaipeda-port/3345> (04.03.2023)
- Klaipėdos nafta. (2022). *After 2024 FSRU "Independence" will stay in Lithuania*. Allikas: Klaipėdos nafta veebileht: <https://www.kn.lt/en/news/news/after-2024-fsru-independence-will-stay-in-lithuania-/5066> (07.03.2023)
- Kopti, M., Punab, H., & Güldenkoh, M. (2015). *Veeldatud maagaasi laevakütusena kasutuselevõtu tehnilise ja majandusliku teostatavuse uuring*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Eesti Mereakadeemia.
- LNG Prime. (2022). *Finland's Hamina LNG terminal starts commercial ops*. Allikas: lngprime.com: <https://lngprime.com/europe/finlands-hamina-lng-terminal-starts-commercial-ops/63128/> (09.02.2023)
- LNG Prime. (2022). *Germany backs construction of three LNG bunkering ships*. Allikas: lngprime.com: <https://lngprime.com/europe/germany-backs-construction-of-three-lng-bunkering-ships/69556/> (09.02.2023)
- LNG Prime. (2022). *Lithuania halts Russian gas imports*. Allikas: lngprime.com: <https://lngprime.com/europe/lithuania-halts-russian-gas-imports/47655/> (24.02.2023)

- Lähteenmäki-Uutela, A., Repka, S., Haukioja, T., & Pohjola, T. (2017). How to recognize and measure the economic impacts of environmental regulation: The Sulphur Emission Control Area case. *Journal of Cleaner Production* 154, 553-565.
- Maersk Mc-Kinney Moller Center. (2022). *The Role of Onboard Carbon Capture in Maritime Decarbonization*. Zero Carbon Shipping.
- Methanex. (2023). *Methanex, Stena Line and Port of Gothenburg Achieve New Methanol Marine Fuel Milestone*. Allikas: Methanex Corporation veebileht: <https://www.methanex.com/news/release/methanex-stena-line-and-port-of-gothenburg-achieve-new-methanol-marine-fuel-milestone/> (10.02.2023)
- Nord Stream. (2023). *Network Data*. Allikas: Nord-stream.info: <https://www.nord-stream.info/> (19.03.2023)
- Offshore Energy. (2015). <https://www.offshore-energy.biz/gasum-dumps-balticconnector-plan/>. Allikas: Offshore Energy: <https://www.offshore-energy.biz/gasum-dumps-balticconnector-plan/> (12.03.2023)
- Offshore Energy. (2020). *Estonia's first hybrid ferry starts service*. Allikas: Offshore Energy: <https://www.offshore-energy.biz/estonias-first-hybrid-ferry-toll-starts-service/> (14.03.2023)
- Postimees. (2022). *Alexela tõi esimese LNG-laeva Soome Hamina terminali*. Allikas: Postimees: <https://majandus.postimees.ee/7635287/alexela-toi-esimese-lng-laeva-soome-hamina-terminali> (11.03.2023)
- Regional adequacy working group under Baltic Sea System Development Steering Committee. (2022). *Nordic and Baltic Sea Winter Power Balance 2022–2023*.
- Repka, S. H. (2021). Assessing the costs and environmental benefits of IMO regulations of ship-originated SO_x and NO_x emissions in the Baltic Sea. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*.
- Reuters. (2023). *TotalEnergies starts up Deutsche Ostsee LNG terminal*. Allikas: Reuters: <https://www.reuters.com/article/totalenergies-germany-gas-idUSFWN33X35G> (22.02.2023)

- Scandlines. (2023). *A fleet of hybrid ferries*. Allikas: Scandlines veebileht: <https://www.scandlines.com/about-us/our-green-agenda/a-fleet-of-hybrid-ferries/> (19.03.2023)
- Stena Line. (2021). *The world's first methanol ferry*. Allikas: Stena Line veebileht: <https://www.stenaline.com/media/stories/the-worlds-first-methanol-ferry/>(05.04.2023)
- Terramare. (2022). *Finland's first floating LNG terminal in Inkoo completed in record time*. Allikas: Boskalis Terramare : <https://terramare.boskalis.com/en/projektit/finlands-first-floating-lng-terminal-in-inkoo-completed-in-record-time/> (18.03.2023)
- TS Laevad. (2021). *TS Laevad OÜ aastaraamat 2020*. Allikas: TS Laevad OÜ veebileht: <https://www.praamid.ee/wp-content/uploads/2021/08/TS-laevad-2020.pdf> (22.03.2023)
- Turun Sanomat. (2021). Viking Line luopuu roottoripurjeesta Viking Grace -aluksella. *Turun Sanomat*.
- Turun Sanomat. (2021). *Viking Line luopuu roottoripurjeesta Viking Grace -aluksella*. Allikas: Turun Sanomat: <https://www.ts.fi/uutiset/5292067> (22.03.2023)
- United Nations News. (2022). *Новые требования по декарбонизации морского судоходства*. Allikas: <https://news.un.org/ru/story/2022/11/1434187> (15.02.2023)
- Viking Line. (2010). *Viking Linen vuosikertomus 2009–2010*. Allikas: Viking Line: <https://web.archive.org/web/20131203000649/http://www.vikingline.com/Documents/investors/annual%20reports/vuosikertomus09-10.pdf> (23.02.2023)
- Willmington, R. (2023). Europe's ro-ro cargo ship sector well prepared for decarbonisation. *Lloyd's List*.
- Wärtsilä. (2017). *MS Megastar – pride of the Baltic*. Allikas: Wärtsilä: <https://www.wartsila.com/insights/article/ms-megastar-pride-of-the-baltic> (23.03.2023)
- Ärileht. (2016). *TS Laevade juhatuse liige selgitas, miks valiti praamimootorite kütuseks kallim variant*. Allikas: Delfi: <https://arileht.delfi.ee/artikkel/75323887/ts-laevade-juhatuse-liige-selgitas-miks-valiti-praamimootorite-kutuseks-kallim-variant> (15.03.2023)

- Андриадис, В., Кузнецова, В., & Петров, Д. (2018). Метанол как альтернативный энергоноситель в нефтехимической промышленности. *Молодой ученый № 33 (219)*, 1-4.
- Возницкий, И. (2005). *Практика использования морских топлив на судах*. ГМА им. Макарова.
- Рябинин, В., & Телегин, И. (2018). *ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА*. ИГСХА, Инженерный факультет.
- Спутниксервис. (2022). *Судовое топливо: виды и характеристики*. Allikas: <https://sputnik-flot.ru/vidy-sudovogo-topliva>
- Хорошев, В., Попов, Л., & Гатин, Р. (2019). *ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА В СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ*. Крыловский государственный научный центр.

LISA 1. Küsimused Tallink Grupp esindajale

Tere ...,

minu nimi on Svetlana Krupenski. Olen Eesti Mereakadeemia magistri tudeng ning tegelen praegu lõputöö kirjutamisega. Magistritöö on seotud LNG kasutamise ja laevakütusena Läänemeres, arvestades gaasi kallinemist ja tarneprobleeme.

Lõputöö üks osa on laevandusettevõtete küsitlus. Arvestades Megastar ja MyStar tähendust Eesti laevandusele, oleks Tallinki tagasiside minu lõputöö jaoks äärmiselt väärtuslik. Oleksin tänulik, kui edastaksite minu e-kirja isikule, kes suudaks vastata allolevatele küsimustele:

- 1) Kuidas näeb välja Tallinki üldine strateegia laevakütuste osas IMO nõuete täitmiseks?
- 2) Kas Tallink plaanib laiendada LNG-laevastikku (kui jah, siis kas moderniseerides olemasolevaid laevu või ehitades uusi)?
- 3) Kas teie arvates on olemas mingi LNG piirhind, mille ületamisel ei oleks selle kütuse kasutamine enam majanduslikult kasulik?
- 4) Kas te olete rahul olemasoleva LNG punkerdamise infrastruktuuriga?
- 5) Kas gaasikriis on LNG punkerdamise infrastruktuuri kuidagi mõjutanud (tarbimise seisukohast)?

Kogutud teavet kasutan akadeemilistel eesmärkidel. Palun võtke minuga ühendust, kui vajate minu- või minu lõputöö kohta lisateavet.

Ette tänades,

Svetlana Krupenski

LISA 2. Küsimused Stena Lina, ESL Shipping ja Scandlines esindajatele (inglise keeles)

Good day,

my name is Svetlana Krupenski, I am currently working on my master thesis in Estonian Maritime Academy.

The topic of my thesis is related to the use of LNG as a marine fuel in the Baltic Sea, given the increase of gas cost and issues with the supply.

One part of the thesis is a survey of shipping companies regarding their attitude to LNG as a marine fuel. Given the size of your fleet, your feedback would be highly valuable for my thesis. I would be therefore thankful if you could forward my email to a person in your company who could answer the questions below:

- 1) What fuels are you using in order to meet IMO requirements for the content of sulfur?
- 2) Are there LNG vessels in your fleet?
- 3) Do you have plans for expanding LNG fleet in the future?

If there are LNG vessels in your fleet:

- 4) In your opinion, is there a threshold price for LNG beyond which the use of this fuel would no longer be economically reasonable?
- 5) Are you satisfied with the existing LNG bunkering infrastructure?
- 6) Has the gas crisis affected the LNG bunkering infrastructure from your point of view?

With all respect to your time, I would really appreciate if you could answer my questions. Collected information will be used for academic purposes only. Don't hesitate to contact me if you need more information about me or my thesis.

Thank you in advance,
Svetlana Krupenski

LISA 3. Küsimused TS Laevad esindajale

Tere,

minu nimi on Svetlana Krupenski. Olen Eesti Mereakadeemia magistritudeng ning tegelen praegu lõputöö kirjutamisega. Magistritöö on seotud LNG kasutamise ja laevakütusena Läänemeres, arvestades gaasi kallinemist ja tarneprobleeme.

Lõputöö üks osa on laevandusettevõtete küsitlus. Arvestades TS Laevad OÜ tähendust Eesti laevanduse jaoks, oleks teie tagasiside minu lõputöö jaoks äärmiselt väärtuslik. Oleksin tänulik, kui edastaksite minu e-kirja isikule, kes suudaks vastata allolevatele küsimustele:

- 1) Kuidas näeb välja TS Laeva OÜ üldine strateegia laevakütuste osas IMO nõuete täitmiseks?
- 2) Kas TS Laevad OÜ plaanib võtta kasutusele LNG-d oma parvlaevadel (kui jah, siis kas moderniseerides olemasolevaid laevu või ehitades uusi)?
- 3) Kuidas te hinnate olemasoleva LNG punkerdamise taristut ja selle arengut TS Laevad OÜ opereerimise piirkonnas?

Lõputöö valmimise tähtaja tõttu oleksin väga tänulik, kui jõuaksite vastata kuni 24.04.2023.

Kogutud teavet kasutan akadeemilistel eesmärkidel. Palun võtke minuga ühendust, kui vajate minu- või minu lõputöö kohta lisateavet.

Ette tänades,

Svetlana Krupenski

LISA 4. Küsimused Elenger Marine esindajale

Tere ...,

täna meeldiva vestluse eest. Samuti ka selle eest et olid nõus vastama minu küsimustele. Vastavalt kokkuleppele edastan ka küsimused.

- 1) Mis on Elenger Marine tegevuseks?
- 2) Kas tegevus on kuidagi muutunud seoses gaasi kriisiga 2021-2022?
- 3) Mis on Elenger Marine osakaal LNG punkerdamise turul Eestis?
- 4) Kuidas on Elenger Marine poolt teostatud LNG punkerdamise mahud muutunud ajavahemikus 01.01.2021 kuni tänapäevani?
- 5) Palun anna natuke üldist infot Optimusest (üldine spetsifikatsioon, omadused, laeva eripärad, kus ja millal ehitati, palju maksma läks - kõik mis pole saladus)?
- 6) Kes on Optimuse peamised "konkurendid" Läänemeres?
- 7) Kes on olnud Optimuse peamisteks klientideks Läänemeres?
- 8) Kas Elenger Marine planeerib tagastada Optimuse enda kontrolli alla? Millest see sõltub?
- 9) Mis on sinu arvamus LNG-st kui laevakütusest Läänemere piirkonnas, arvestades maksumuse- ja varustuse ebastabiilsust? Millistest teguritest LNG tulevik (laevakütusena) sinu arvates sõltub?
- 10) Kas LNG punkerdamise infrastruktuur Eestis vajab sinu arvates arendamist? Kui jah, siis mis osas?

Kinnitan, et kogutud teavet kasutan ainult akadeemilistel eesmärkidel. Palun võta minuga ühendust, kui vajad minu- või minu lõputöö kohta lisateavet.

Ette tänades,

Svetlana Krupenski

LISA 5. Küsimused Elering AS esindajale

Tere ...,

suured tänud, et oled valmis kommentaari / arvamust jagama.

Lõputöö teema on seotud LNG kasutamisega laevakütusena Läänemeres, arvestades gaasi kallinemist ja tarneprobleeme.

Uuringu osas katsume saada arvamused Läänemere laevaomanike käest - kuidas näeb nende arvamusel LNG, kui laevakütuse, perspektiiv ja tulevik. Paljud kinnitavad et LNG punkerdamise taristu meie piirkonnas võiks olla parem.

Töö jaoks oleks väga huvitav saada sinu, kui Elering AS esindaja võimalikult põhjaliku kommentaari selle kohta kas (ja kuidas) Paldiski LNG terminali rajamine mõjutab (parandab) LNG punkerdamise taristut Eestis (nii Truck-to-ship kui ka Ship-to-ship punkerdamise viise).

Ette tänades,

Svetlana Krupenski

LISA 6. Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Svetlana Krupenski

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „LNG kasutamisest ja selle varustuskindlusest Läänemere laevanduses“, mille juhendaja on Yrjö Saarinen,

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.

17.05.2023

¹ 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 tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.