

**GLOBAALNE KLIIMANEUTRAALSUS:**

**VIRU KEEMIA GRUPI VÕIMALUSED JA RISKID**

Kokkuvõte .....	3
Rohepöördest tulenevad võimalused VKG jaoks.....	3
Sissejuhatus .....	4
VKG tänapäeval.....	6
Kiviteri ja Petroteri võrdlus .....	7
VKG põlevkiviõli .....	7
Petroteri tootmisprotsessi KHG emissiooni võrdlus toornaftadega .....	7
Põlevkivi peenkeemia .....	7
Plastijäätmete pürolüüsimine õliks .....	8
Peamised sõnumid:.....	8
VKG võimalused tootmisprotsessi KHG emissiooni vähendamiseks .....	8
CO <sub>2</sub> püüdmistehnoloogiate rakendamine .....	9
CO <sub>2</sub> püüdmine ja ladustamine .....	10
CO <sub>2</sub> kasutamine kütuste tootmiseks.....	10
CO <sub>2</sub> kasutamine keemiatööstuses .....	11
CO <sub>2</sub> kasutamine betooni tootmiseks .....	11
Põhisõnum: .....	12
Uttegaasist metanooli tootmine.....	12
Laevakütuste turg täna .....	13
Laevanduse veomahud .....	13
Laevanduse KHG heide ja kütusetarbimine.....	13
Maailma laevastiku ülevaade ja kütusetarbimine laevaklasside lõikes .....	14
Laevanduses kasutavad kütused .....	15
Meretransport tulevikus ja nõudlus laevakütuste järgi .....	17
IMO kliimaeesmärgid .....	17
Laevandussektori võimalused märkimisväärseks KHG emissiooni vähendamiseks.....	18
Fossiilsete vedelkütuste asendamine alternatiivkütustega .....	18
Tahke biomassi pürolüüsiõli tootmine .....	20
Uute tehnoloogiate ja kütuste kasutuselevõtt laevanduses .....	21
Kuidas kutsuda esile laevanduse KHG emissiooni vähendamist? .....	23
Peamised sõnumid:.....	23
VKG võimalused ja riskid tulevalt globaalsest kliimanetraalsuse ambitsioonist.....	24
Allikad .....	27

## Kokkuvõte

1. Globaalne rohepööre ei jäta puutumata VKG tänast peamist sihtturgu – laevandust. Siiski võtab sealne dekarboniseerimine aega kauem – lähima 10 aasta jooksul nõudlus laevakütuste järgi tänaselt **ca 330 mln tonniselt** tasemelt ei vähene. Alles 20 aasta perspektiivis võib rohepööre hakata mõjutama nõudlust fossiilsete laevakütuste järgi.
2. Laevanduse rohepöörde esilekutsumiseks rakendatakse ilmselt CO<sub>2</sub>-põhiseid maksumeetmeid, kuid täna on ebaselge, kuidas võiks lahendus toimida. Kõigi eelduste kohaselt ei rakendata selliseid globaalseid ega ka regionaalseid meetmeid varasemalt kui 2023-2025 aastal. Kuna maksu subjektiks oleksid laevaomanikud ja -operaatorid ning objektiks laeva kütuse põletamisel tekkiv CO<sub>2</sub> heide, siis **ei mõjutaks antud meede VKG konkurentsivõimet võrreldes teiste kütusetootjatega**.
3. Tänapäevaste tehnoloogiate puhul puudub võimalus lähiperspektiivis üleminekuks rohelistele alternatiivkütustele – seega **muudaks CO<sub>2</sub>-põhine laevandusmaks vedamist kallimaks** ja esialgu suurt muudatust turu toimimisse ei tooks.
4. Laevanduse rohestamise eelduseks on **suuremahulise ja kulutõhusa (rohe)vesiniku tootmisvõimsuse tekkimine** – kõik teadaolevad skaleeritavad lahendused laevanduses sõltuvad sisendina kasutatavast vesinikust (pürolüüsiõli vesiniktöötlemine, ammoniaagi tootmine ja veeldatud vesinikkütus).

## Rohepöördest tulenevad võimalused VKG jaoks:

1. VKG peaks otsima kulutõhusaid võimalusi olemasoleva tootmise süsinikheite vähendamiseks läbi innovaatiliste **CO<sub>2</sub> püüdmiseseadmete ja/või jääkgaaside järeltöötlemise rakendamise**.
  - a. Püütud CO<sub>2</sub> talletamine jääb VKG jaoks liiga kalliks lahenduseks – CO<sub>2</sub> transport meritsi potentsiaalsetesse ladestuspaikadesse (eelkõige Põhjameres) muudab selle ebaratsionaalseks
  - b. Tänapäevase õlitööstuse jääkgaasidest (CO<sub>2</sub> ja uttegaas) toodetud metanooli puhul tuleb silmas pidada, et selle osas ei teki kõigi eelduste juures täiendavat hinnapremiumi võrreldes tavapärase tootega. Eriti juhul, kui see leiab kasutust kütusena. Sama kehtib ka fossiilsete jäätmete pürolüüsiõli puhul – seega peab selliselt CO<sub>2</sub> kasutamise puhul tehnoloogia olema konkurentsivõimeline tänapäevaste konventsionaalsete lahendustega
  - c. Kõige mõistlikum on leida võimalus CO<sub>2</sub> talletamiseks toodetesse – ehitusmaterjalid või plastikud. Siin võib aga probleemiks osutuda piiratud turg ning tehnoloogilist-logistilised küsimused – siiski võiks olla realistlik vähemalt osaliselt tekkivate jääkgaaside utiliseerimine sellisel moel
2. Kui rahvusvaheliselt lepatakse kokku laevanduse KHG emissiooni vähenemist esile kutsuvates meetmetes – näiteks kvoodikaubanduses – siis võib tekkida nõudlus otsekasutatavate kütuste osas. VKG **peaks kaardistama võimalused, mis toormest ja tehnoloogiaga** oleks kõige optimaalsem tekkivat turgu teenindada.
3. Olemasoleva arvestatava ressursibaasi tõttu **võiks mõistlikuks osutada tahke biomassi pürolüüs** ning hilisem hüdrogeenimine. Sellisel juhul võib kasutada ka maagaasist toodetud vesinikku – lõpptoode on KHG neutraalne.
4. Vesinikupõhiste laevakütuste – ammoniaak ja veeldatud vesinik – puhul peaks VKG arvestama, et **vajaliku tootmismahu saavutamiseks tuleb roheelekter tarnida üle elektrivõrgu**. Samas situatsioonis on enamus regiooni ammoniaagi/vesiniku

tootmisüksustest, seega ei peaks VKG konkurentsipositsioon märkimisväärselt konkurentidest nõrgem olema.

## Sissejuhatus

Eesti riiklikku maavara põlevkivi on väärindatud juba üle 100 aasta. Selle jooksul suuri muutusi läbi teinud põlevkivi kasutamise sihtotstarve – kui 20. sajandi keskpaigas toimus näiteks ka põlevkivi gaasistamine, siis sajandi lõpus ja 21. sajandi alguses on valdavaks kasutusotstarbeks olnud põlevkivi otsepõletamine elektri- ja soojusenergia tootmiseks. Tehnoloogia põlevkivi õliks töötlemiseks on olnud kasutusel juba üle 80 aasta, kuid kuni viimaste aastakümneteni pole see olnud peamiseks maavara kasutusviisiks. Ometi saab tänapäevaste tehnoloogiatega õlitootmist pidada kõige efektiivsemaks viisiks põlevkivi väärindamiseks, seda nii majanduslikke kui ka keskkonnaaspekte silmas pidades. Sellest lähtuvalt on Viru Keemia Grupp teinud teadliku valiku keskenduda just põlevkiviõli tootmisele, mille võimekuse arendamiseks on alates 2000ndate keskpaikast tehtud suuremahulisi investeeringuid. Keskkonnakoormuse vähendamiseks, mis tahes-tahtmata põlevkivi töötlemisega kaasneb, on VKG investeerinud märkimisväärsed summasid ning nii on suudetud kaasas käia ning tihtilugu ka edestada järjest rangemaks muutuvaid keskkonnanõudeid.

Kui seni on peamised investeeringud keskendunud lokaalsete keskkonnahäiringute vähendamisele, siis järjest suuremat rolli kogu tööstusharu jätkusuutlikkuse osas mängivad kliimaküsimused ning põlevkivitööstuse võimekus kasvuhoonegaaside (edaspidi KHG)<sup>1</sup> heidet vähendada. 1990ndal aastal tulid Valitsustevaheline Kliimamuutuste Paneeli (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, edaspidi IPCC) teadlased välja oma esimese raportiga, mis märkis, et inimtekkelise emissiooni tõus mõjutab märkimisväärselt atmosfääri kasvuhoonegaaside kontsentratsiooni ja suurendab kliimasoojenemise efekti (IPCC 1992, 64). Alates sellest on nii Euroopa Liit kui ka globaalne kogukond järjest kasvavalt rõhutanud kliima soojenemise kui kogu maailma suurima keskkonnaprobleemi olulisust ning seda, et eesmärgiks peab olema inimtekkeliste kasvuhoonegaaside emissiooni vähendamine. Kui esimene globaalne kokkulepe – Kyoto protokoll – oli oma skoobilt ja kestuselt lühike (KHG emissiooni piiramises leppis kokku 37 riiki perioodiks 2008-2012), siis 2015 aastal allkirjastatud Pariisi kliimaleppega võtsid liitunud riigid ja organisatsioonid pikaajalise kohustuse hoida globaalse keskmise temperatuuri tõus alla 2°C tööstusrevolutsiooni-eelse ajaga võrreldes ning teha endast olenev, et temperatuuri tõus ei ületaks 1,5°C.

Pariisi kliimaleppest tulenevalt on nii riigid, ettevõtted kui ka rahvusvahelised organisatsioonid asunud koostama oma strateegiaid, et võidelda kliima soojenemise ja selle tagajärgede vastu. Kuna 65% inimtekkelisest kasvuhoonegaaside heitest tuleneb fossiilkütuste põletamisest (IPCC 2015, 5), siis suures osas on keskendunud just fossiilkütuste tarbimise vähendamisele. Ometi pole tegelikult täielikku konsensust selles osas, kui suures mahus ja missuguste fossiilkütuste tarbimine peab 2050ndaks aastaks märkimisväärselt vähenema, et jõuda Pariisi kliimaleppe eesmärkide saavutamiseni. IPCC 2018 raportis, mis keskendub stsenaariumitele, milles suudetakse suure tõenäosusega kliima soojenemist sajandi lõpuks piirata 1,5°C-ni, erineb naftatarbimise maht eri stsenaariumite puhul aastal 2050 üle kümne korra (167 EJ vs 15 EJ)<sup>2</sup> (IPCC 2019, 132). Maailma

---

<sup>1</sup> Käesolevas töös on kasutatud nii kasvuhoonegaaside heidetele viitamiseks nii termineid KHG heide, KHG emissioon kui ka CO<sub>2</sub> (emissioon). Kuna CO<sub>2</sub> on kõige suurema kaaluga kasvuhoonegaas, siis mõõdetakse tihtilugu KHG heidet CO<sub>2</sub> ekvivalentides. Kirjandusallikad sageli ei täpsusta, kas silmas on peetud CO<sub>2</sub> heidet (mis tekib kütuse põletamisel) või CO<sub>2</sub> ekvivalenti, mis võtab arvesse ka teisi kasvuhoonegaase (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, nn F-gaasid) ning sellest võivad tekkida teatavad ebakõlad arvudes. Kuna aga valdav enamus KHG heidest tuleneb CO<sub>2</sub>-st, siis ei mängi see aspekt põhijärelduste tegemisel ülemäära suurt rolli.

<sup>2</sup> 2019 oli maailma naftatarbimine 193 EJ (BP 2020, 22)

Energiaagentuuri (*International Energy Agency*, edaspidi IEA) 2020. aasta energiasektori perspektiivide ülevaade hindab, et 2040ndaks aastaks langeb maailma naftanõudlus „jätkusuutliku arengu stsenaariumi“ (*sustainable development scenario – SDS*) korral tänasega võrreldes umbes kolmandiku võrra – 125 EJ-ni (IEA 2020, lk 253).

Lisaks ebaselgele väljavaatele globaalse naftanõudluse poole pealt muudab Euroopa Liidu ambitsioonikas kliimapolitiika problemaatiliseks pikaajaliste investeerimisotsuste tegemise energiamahukasse tööstussektorisse. EL on põhimõtteliselt kokku leppinud eesmärgis muutuda kliimaneutraalseks kontinendiks sajandi keskpaigaks. See aga eeldab, et tööstussektorid, mille tegevusega kaasneb märkimisväärne KHG heide, peavad leidma võimalusi oma tootmistegevuse kliimajalajälje vähendamiseks. Euroopa Komisjoni mõjuanalüüs hindab, et kui täna on ELi tööstussektori emissioon ca 750 mln tonni CO<sub>2</sub>-te, siis 2050. aastaks kliimaneutraalsuse saavutamiseks peab tööstussektori emissioon jääma alla 100 mln tonni CO<sub>2</sub>-e (European Commission 2018, 141; 154). Täna pole kokku lepitud, kuidas selline ELi tööstussektori KHG emissiooni drastiliseks vähendamiseks vajaminev regulatiivne keskkond hakkab välja nägema pärast 2030ndat aastat. Kuid võib eeldada, et EL jätkab „saastaja maksab“ printsiibi rakendamist ja tööstussektoritel, kus pole võimalik vähendada KHG emissioone, muutub CO<sub>2</sub> kvoodikulu arvestatavaks osaks tootmishinna juures.

Arusaadavalt paneb selline ebaselge perspektiiv ettevõtted, kelle äritegevus baseerub fossiilkütuste tootmisel või muul viisil käitlemisel, analüüsima oma majandustegevuse tuleviku väljavaateid valdavalt kliimaneutraalses maailmas. Käesolev dokument vaatlebki VKG riske ja võimalusi olukorras, kus keskpikas perspektiivis valitseb ebaselgus põlevkiviõli nõudluse osas maailmaturul ning samas teiselt poolt võivad Euroopa Liidu ja siseriiklikud regulatsioonid muuta konkurentsivõimelise majandustegevuse võimatuks. Kuigi kontserni plaanides sisaldub ka suuremahuline taastuvenergia tootmisvõimsuste rajamine, siis need ei ole mõeldud põlevkiviõli tootmise asendamiseks. Seega on käesoleva töö lähtepunktiks analüüsida VKG põhitegevuse – põlevkiviõli tootmise – jätkusuutlikkust. Samas vaatleb dokument ka seda, kas ja missuguseid potentsiaalseid uusi ärivõimalusi võib kliimaneutraalsuse poole pürgiv maailm luua tänaste VKG sihtturgude vaates. Lisaks sellele analüüsib töö ka võimalusi uudsete tehnoloogiate rakendamise abil VKG tänaste tööstuslike protsesside KHG emissiooni vähendamiseks.

## VKG tänapäeval

### Kast 1 – KIVITER

Kiviteri gaasilisel soojuskandjal põhinev põlevkiviõli tootmistehnoloogia arendati välja juba ligi 100 aastat tagasi ning enne II maailmasõda avati kolm tehist, millest üks töötas veel kuni viimase ajani.

Hetkel on töös 2 Kiviteri tehist, mis töötlevad aastas ümber umbes 1,2 mln tonni põlevkivi, millest toodetakse ca 210 000 tonni põlevkiviõlitooteid.

Kiviteri tehastes kasutatakse tükipõlevkivi, mille tükisuuruseks on 25-125 mm ning mille energiasisaldus on 10,5-12 MJ/kg kohta. Tehnoloogia energeetiline efektiivsus on 67% - mis tähendab, et kolmandik tehasesse põlevkiviga sisenevast energiast kasutatakse lõpptoodete valmistamiseks või jääb see tootmisprotsessi jääki – ladestatavasse poolkoksi.

Gaasilise soojuskandja (GSK) protsessi puhul suunatakse tükipõlevkivi vertikaalsesse reaktorisse, kus toimub utmine. Sealjuures kasutatakse soojuskandjana protsessist eralduvat gaasi – nii tekib nõ „kinnine ring“, kus protsessis suitsugaase eriti ei eraldu. Kiviteri protsessi tulemuseks on põlevkiviõli, fenoolvesi ning suures mahus madala kütteväärtusega generaatorgaasi. Generaatorgaasi madala energiasisalduse tõttu ei ole sellel muud kasutusvõimalust kui põletamine elektri- ja soojusenergia tootmiseks.

Tulenevalt Kiviteri tehnoloogiast tekib valdav osa tehase CO<sub>2</sub> heide protsessis eralduva generaatorgaasi utiliseerimisel ehk selle põletamisel soojus- ja elektrienergia tootmiseks. Ühe toodetud õlitonni puhul tekkiva generaatorgaasi põletamisel soojuselektrijaamas tekib 1,7-1,9 tonni CO<sub>2</sub>-te. Kuna lisaks tekib õlitesehases teatav protsessiheid (0,2-0,3 tonni toodetud õlitonni kohta), siis on kogu Kiviteri tehnoloogia KHG jalajälg 1,9-2,2 tonni CO<sub>2</sub>-te toodetud õlitonni kohta.

### Kast 2 – PETROTER

Tahke soojuskandja tehnoloogia arendamist alustati 1950ndatel ning esimest korda rakendati tööstuslikul tasandil 1980ndatel.

VKG Petroter arendati välja 2000ndate aastate keskel ja esimene uus tehas alustas tööd 2009. aastal. Tänapäevaks on käigus kolm Petroter tehist, millest kaks viimast on märkimisväärselt efektiivsemad kui Petroteri esimene versioon. Kolm tehist töötlevad aastas kokku ca 3,5 mln tonni põlevkivi ning lõpptoodanguks on 425 000 tonni põlevkiviõlitooteid.

Petroteri tehnoloogia peamiseks eeliseks on selle energiatõhusus, mis võimaldab põlevkivist efektiivselt kätte saada 80-82% selle energiasisaldusest. Lisaks võimaldab tehnoloogia kasutada madalama energiasisaldusega peenpõlevkivi.

Tahke soojuskandja protsessi juures kasutatakse kuumat tuhka soojusenergia viimiseks utmisprotsessi. Kuum tuhka saadakse protsessis tekkiva poolkoksi põletamise teel koldes. Põlemiskolde kasutamisest tulenevalt tekib Petroter tehnoloogia puhul enamik CO<sub>2</sub> emissioone – ca 1,6 tonni ühe tonni toodetud õli kohta – tehases endas nn protsessiheidena.

Protsessi tulemiks on õli, põlevkivibensiin ja kõrge kütteväärtusega – võrreldav maagaasiga – uttegaas. Uttegaas realiseeritakse elektri ja soojusenergia koostootmisel – ühe tonni õli tootmisel tekkiva uttegaasi põletamisel tekib lisaks 0,6 tonni CO<sub>2</sub>-te. Kogu protsessi emissioon jääb Petroter tehastes võrreldavaks või veidi kõrgemaks kui Kiviteri tehnoloogia puhul – 2,2 tonni CO<sub>2</sub>-toodetud õlitonni kohta. Petroteri minimaalselt kõrgem CO<sub>2</sub> heide tuleneb sellest, et Kiviteri tehastes jääb osa süsinikust poolkoksi ja ladestatakse prügilasse.

Petroteri protsessis tekkiv fenoolvee kogus on väike (ca 5 korda väiksem, kui Kiviteri puhul) ja selle fenoolide sisaldus on madal – seetõttu pole ka majanduslikult mõistlik fenoolide eraldamine Petroter fenoolveest.

## Kiviteri ja Petroteri võrdlus

Tänapäeval on VKG keskendunud täielikult põlevkiviõli tootmisele ja selle jääkproduktide maksimaalselt efektiivsele väärimisele. Kasutusel on kaks tehnoloogiat: ajalooliselt – juba 80 aastat – kasutusel olnud Kiviter tehnoloogia ning uuem Petroter tehnoloogia, millel on selge eelis Kiviteri ees energiatõhususe vaates – tehnoloogia võimaldab kasulikult kätte saada märkimisväärselt suurema osa põlevkivi energiasaldusest kui varasemad tehnoloogiad. Sama aspekti tõttu võib hinnata, et Petroteri kumulatiivne keskkonnakoormus on väiksem – ühe tonni õli tootmiseks on vaja käidelda väiksem hulk põlevkivi. Lisaks on Petroteril eelis protsessi jäätmetekke vaates – Kiviteri puhul on tootmisjäätis ohtlikuks jäätmeks liigituv poolkoks, Petroteri tootmisjäätis on aga tuhk. Lähtudes tehnoloogia efektiivsusest ja selle väiksemast keskkonnamõjust näeb VKG just Petroteride kasutamises tulevikus peamist väljundit põlevkiviõli tootmises.

## VKG põlevkiviõli

VKG tootmisprotsessi peamiseks tulemiks on erinevate omadustega põlevkiviõli – utmisprotsessides tekib valdavalt VKG Sweet ja VKG D spetsifikatsioonile vastavaid kütuseid, mis erinevad omavahel peamiselt tiheduse osas – VKG Sweet on väiksema tihedusega ja seetõttu kvaliteetsem õliklass. Lisanduvaks tooteks on põlevkivibensiin – mida on ca 7-10% lõpptoodetest (aastas 50-60 000 tonni) ning mis leiab kasutamist mootorkütuse tootmisprotsessi komponendina ELi-välistel turgudel. Kui ajalooliselt on põlevkiviõli kasutatud erinevates käitistes, siis täna kasutatakse hinnanguliselt ligi 90% VKG poolt maailmaturule müüdavast õlitoodangust kui laevakütuste komponenti. Osalt kasutatakse õli ka siseriiklikult kütteõlina katelseadmetes, kuid oma omadustelt sobiks kogu toodetud põlevkiviõli kasutamiseks laevanduses. Põlevkiviõli omadused – väike väävlisisaldus (maksimaalselt 0,7-0,8%), teistest naftasaadustest madalam viskoossus ja hangumispunkt – muudavad selle heaks komponendiks laevakütuste segudes tagades kütuse voolavuse. Nii kasutataksegi põlevkiviõli peamiselt raskekütteõlide lisandina, kus see segatakse kokku väiksema väävlisisaldusega kütustega selleks, et toota parameetritele vastavat raskekütteõli laevadele.

## Petroteri tootmisprotsessi KHG emissiooni võrdlus toornaftadega

Petroteri CO<sub>2</sub> protsessiheidete on 1,6 tCO<sub>2</sub> (tonni CO<sub>2</sub>-te) 1 tonni toodetud õli kohta, ehk ca 220 kg CO barreli põlevkiviõli kohta. Kuna jääkprodukti uttegaasi kütteväärtus on maagaasiga võrdne ning seda kasutatakse tõhusalt elektri ja soojuste koostootmisel, siis asendusefekti tõttu pole mõistlik uttegaasi utiliseerimist Petroteri õlitootmise protsessi osana arvestada – sellisel tekkivat KHG heidet peaks kajastama energiatootmise juurde arvatavate emissioonide hulgas. Põlevkiviõli elutsükli KHG emissiooni juurde tuleb arvestada ka õli põletamisel tekkiv CO<sub>2</sub> kogus (ca 400 kg barreli kohta) ning marginaalsed täiendavad peamiselt toorme ja toodete logistikast tulenevad emissioonid. Kuna põlevkiviõli kasutatakse sisuliselt lõpptootena – segatuna laevakütuses – siis täiendavaid märkimisväärsed emissioone põlevkiviõli kasutamisel ei teki. Samas toornafta puhul moodustab ka selle rafineerimine elutsükli KHG emissiooni arvestuses arvestatava osa. Nii jääb VKG Petroteri jaamas toodetud põlevkiviõli elutsükli KHG emissioon suurusjärku 630-640 kg CO<sub>2</sub>/barreli kohta. IEA toob välja, et sarnasel tasemel elutsükli KHG heitega (630 kg CO<sub>2</sub>/bbl) on ka teised süsinurikkama tootmisprotsessiga toornaftad (IEA 2020, 105). Sellised on näiteks Alžeeria, Venetsueela ja Kanada toornaftad (Masnadi et al 2018, 852).

## Põlevkivi peenkeemia

Lisaks õlitoodetele toodab VKG ka põlevkivi peenkeemiatooteid, nii leiavad põlevkivifenoolide fraktsioonid liimvaikudena kasutust rehvi-, vineeri- ja naftatööstuses. Teiseks peenkeemia

tootegrupiks on kõrge puhtusastmega tooted, mida kasutatakse kosmeetikatööstuses, parfümeerias ja elektroonikas. Kokku toodeti 2019. aastal 1 520 tonni peenkeemia- ja fenooltooteid.

Täna kasutusel oleva tehnoloogia puhul toimib põlevkivi peenkeemia tootmine Kiviter tehaste protsessi jääkaine – fenoolvee ümbertöötlemisel. **Eraldiseisev ja õli tootmisest mittesõltuv põlevkivikeemiatööstuse arendamiseks puudub seega hetkel Eestis tehnoloogiline baas.** Kuigi teoreetiliselt ja tehniliselt oleks sellise tööstuse rajamine võimalik, siis igal juhul eeldaks õlitööstusest eraldiseisev põlevkivi keemiatööstus kivi töötlemist kas termiliselt või keemiliselt ning selle tegevusega kaasnevaid KHG emissioone. Samuti tuleb silmas pidada seda, et arvestatava keemiatööstuse toodangumahu saavutamiseks tuleb töödelda väga suur kogus kivimit – ressursitõhususe ja keskkonnakoormuse aspekti silmas pidades ei ole aga selline praktika sugugi mõistlik.

#### Plastijäätmete pürolüüsimine õliks

Uue tegevussuunana on VKG analüüsimas võimalust plastijäätmete pürolüüsimiseks ja sellest õli tootmiseks. Ka ELi regulatsioonid on ette näinud selliste kütuste kasutamise laiendamist – taastuenergia direktiiv (EL) 2018/ 2001 võimaldab nn „ringlussevõetud süsinikupõhiste kütuste“ kasutamist transpordisektori taastuenergiaeesmärgi täitmiseks. Samas on igal ELi liikmesriigil õigus ise otsustada, kas nad aktsepteerivad selliste kütuste kasutamist siseriikliku transpordisektori taastuenergia täitmisel.

Samas peab sellise kütuse puhul arvestama aga asjaoluga, et kuna tegu on fossiilsest materjalist toodetud kütusega, siis ei pruugi selle kui null-emissiooniga kütuse arvesse võtmine olla võimalik. Täpsustada tuleb antud kütuse arvestuspõhimõtteid ning silmas pidada seda, et needki võivad sihtturgude vaates erineda. **Seega ei saa kindel olla, et sellise kütuse eest on võimalik turul saada täiendavat hinnapreemiumi võrreldes põlevkiviõli või teiste fossiilkütustega.**

#### Peamised sõnumid:

**Efektiveim põlevkiviõli tootmistehnoloogia – Petroter – võimaldab kivis sisalduvast energiast efektiivselt kätte saada kuni 82% põlevkivis sisalduvast energeetilisest väärtusest.**

**Petroterides toodetud põlevkiviõli elutsükli KHG jalajälg on võrreldav teiste süsinikuintensiivsete toornaftadega – Kanada õliliiivad, Venetsueela raskeõli ja Alžeeria toornafta**

**Põlevkiviõli sobib oma karakteristikutelt laevanduses kasutatava raskekütteõli lisandiks, aidates parandada selle karakteristikuid ning viies raskeõli vastavusse globaalsete standarditega.**

**Põlevkivikeemia omab keskkonnakaitsest ning majanduslikust vaatepunktist lähtuvalt perspektiivi ainult juhul, kui see on õlitööstuse kõrvaltegevus.**

#### VKG võimalused tootmisprotsessi KHG emissiooni vähendamiseks

Euroopa Liit soovib läbi ambitsioonika kliimapoliitika eesmärkide järjest rohkem sundida oma liidusisest tööstust KHG emissiooni vähendama. Arusaadavalt paneb see tööstussektorile surve, sest suurenevad kulutused KHG kvootide ostmiseks läbi emissioonikaubanduse. VKG õlitootmise juures tekivad KHG emissioonid kahes etapis:

- Õlitootmise protsessi etappide – Petroter tehnoloogia puhul tuleneb enamus õlitootmise KHG heitest just selles etapis. Utteretordis toimuva põlevkivi termilise töötlemise jääkproduktiks olev CO<sub>2</sub> suunatakse pärast suitsugaaside järeltöötlust atmosfääri. Kiviter tehnoloogia puhul protsessis CO<sub>2</sub> emissioone märkimisväärselt ei teki



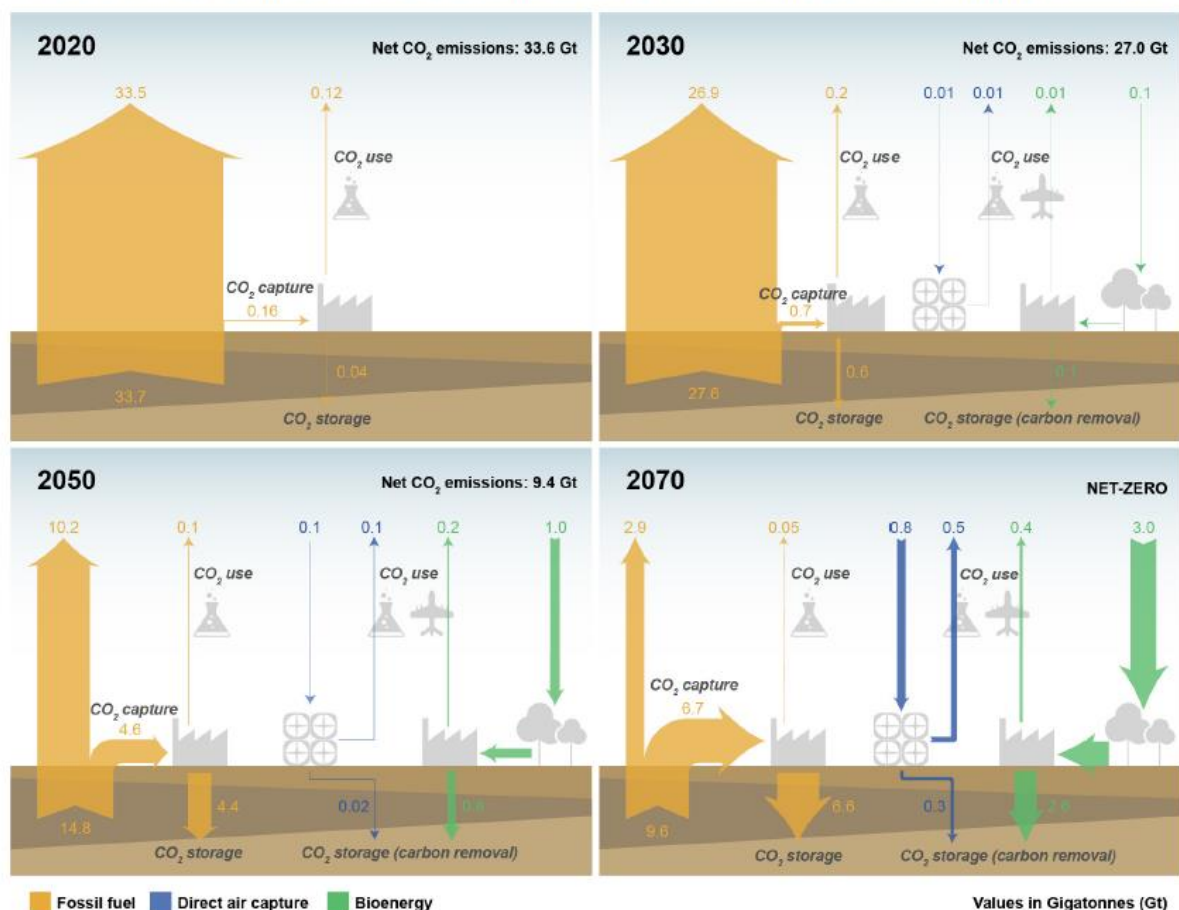
- Jääkgaaside põletamisest tulenev emissioon – Kiviter tehnoloogias tekivad madala energiasaldusega generaatorgaas ja Petroter protsessis tekivad uttegaas (või poolkoksigaas) suunatakse VKG Energia soojuselektrijaama, kus gaasikateldes toodetakse koostootmisrežiimil soojus- ja elektrienergiat. Põlemisprotsessi tulemik on energiatootmise CO<sub>2</sub> emissioon

VKG põlevkiviõlitootmises on kaks võimalust KHG emissiooni vähendamiseks: süsiniku püüdmistehnoloogiate rakendamine Petroter tehastes ning elektrijaamas ja tekkivate jääkgaaside ümbertöötlemine ilma nende põletamiseta.

### CO<sub>2</sub> püüdmistehnoloogiate rakendamine

Erialakirjanduses on juba aastaid räägitud süsiniku püüdmistehnoloogiate (*Carbon Capture (Usage or Storage) – edaspidi CCUS*) rakendamisest ning IEA hindab, et süsinikuneutraalsuse saavutamine on kõigi eelduste kohaselt võimatu ilma antud tehnoloogiate rakendamiseta. Ka ELi kliimanetraalsuse kava stsenaariumid käsitlevad CCUS tehnoloogiaid – näiteks stsenaariumi „1.5TECH“ korral püütakse 2050ks aastaks ELis kokku ca 600 mln tonni CO<sub>2</sub>-te, sealjuures ca 100 mln tonni tuleneb fossiilkütuste kasutamisest<sup>3</sup> (European Commission 2018, 192). IEA näeb oma jätkusuutliku stsenaariumi korral CO<sub>2</sub> püüdmistehnoloogiate rakendamist ette järgmiselt:

Figure 2.2 CO<sub>2</sub> emissions, capture and removal in the Sustainable Development Scenario



IEA 2020. All rights reserved.

<sup>3</sup> Stsenaariumi 1.5TECH korral kasutatakse suures mahus ka CO<sub>2</sub>- püüdmist otse õhust (nn *direct air capture – DAC*) või biomassi käitlemisel tekkiva CO<sub>2</sub> heite püüdmist (*bio-energy with carbon capture and storage/utilization – BECCS/BECCUS*)

## CO<sub>2</sub> püüdmine ja ladustamine

Hetkel on maailmas 21 CCUS käitist, mis püüavad kokku 40 mln tonni CO<sub>2</sub>-te aastas, sealjuures valdav enamus käitistest on rakendatud maagaasi töötlemise juures. Kõige rohkem käitisi on töös USAs, kus on välja arendatud ka torustikud CO<sub>2</sub> transportimiseks – seda seetõttu, et kohalik naftatööstus kasutab CO<sub>2</sub>-te ammutamisprotsessi efektiivsemaks muutmiseks (nn *enhanced oil recovery* protsess – EOR). Euroopa piirkonnas töötab seni ainult üks projekt – Norras (IEA 2020c). Samas on oodata, et selliseid projekte tekib ka ELis juurde: 2020. aasta oktoobris toimunud ELi innovatsioonifondi taotlusvoorus esitati kokku 14 CCUS projekti osas rahastustaotlus (European Commission 2020b). Probleemiks on see, et hetkel on CCUS tehnoloogiad väga varases arengustaadiumis – IEA hindab, et tervelt 63% vajaminevatest tehnoloogiatest kliimaneutraalsuse saavutamiseks on alles prototüübi- või demonstratsioonifaasis (IEA 2020c, 96). Samas tähendab varane staadium ka seda, et paljude püüdmistehnoloogiate hinnad vähenevad tehnoloogia arenedes märgatavalt ning madalam alginvesteering võib muuta CCUS tehnoloogiate rakendamise kulutõhusaks lahenduseks.

IEA prognoosib, et CCUSi juures jääb valdavaks siiski CO<sub>2</sub> talletamine – üle 90% „jätkusuutliku arengustsenaariumi“ puhul kinni püütud CO<sub>2</sub> heitest ladestatakse maa-alustesse maardlatesse (IEA 2020c, 55). Selle lahenduse rakendamisel on kaks suurt kulufaktorit – CO<sub>2</sub> kinnipüüdmine ja selle transport ladestuspaika.

Kogu CCUS rakendamise esimeseks faasiks on CO<sub>2</sub> püüdmine allikast. IEA (IEA 2020c, 98-100 „Box 3.2“) toob välja 8 põhilist tehnoloogiat, mida oleks potentsiaalselt võimalik rakendada CO<sub>2</sub> püüdmisel. Suuresti sõltub tehnoloogia rakendamise mõistlikkust CO<sub>2</sub> allikast ja sellest, kuivõrd kontsentreeritud on CO<sub>2</sub> emissioon. See on aga arvestatav muutuja CO<sub>2</sub> püüdmise kulutõhususe juures – mida kontsentreeritum on allikas, seda soodsam on tehnoloogia rakendamine (IEA 2020c, 101). Pärast püüdmist komprimeeritakse CO<sub>2</sub> ning selle transport lõppladestuspaika on teine arvestatav kuluallikas. Teadaolevalt ei ole võimalik Eestis geoloogiliselt ladestada CO<sub>2</sub>-te ning hetkel on lähim projekt CO<sub>2</sub> ladustamiseks Norra Northern Lights. Selleks tuleks aga CO<sub>2</sub> laevutada Edela-Norraste Øygardenisse, kust see siis torujuhtme kaudu ladestuspaika transporditakse (IOPG 2019, 27). Mõõda mereteed on Eestist sinna ca 2000 km ja IEA hindab, et laevaga CO<sub>2</sub> transportimine 1000 km kaugusele maksab suurusjärgus 22-27 EUR/tCO<sub>2</sub> kohta (IEA 2020c, 108) – seega maksaks transport Eestist veel suurusjärgu võrra rohkem. Transpordi komponent on samuti ainuke kogu CCUS rakendamise väärtusahelast, mille hind märgatavalt muutuda ei saa – kui tehnoloogia arenguga võib CO<sub>2</sub> püüdmine odavamaks muutuda, siis laevatransport on suhteliselt fikseeritud hinnaga, kus efektiivsus enam kasvada ei saa. **Seega muudaks suur transpordikulu püütud CO<sub>2</sub> ladestamise lahenduse VKG õlitootmise juures majanduslikult ebaratsionaalseks.**

## CO<sub>2</sub> kasutamine kütuste tootmiseks

Teine suund kinnipüütud CO<sub>2</sub>-e utiliseerimiseks on selle kasutamine erinvates protsessides, toodete tootmises nii toormena kui ka abimaterjalina. Juba praegu tarbitakse globaalselt ca 250 mln tonni CO<sub>2</sub>-te – enamus sellest leiab kasutamist kas EORina nafta- ja gaasitööstuses (85 mln tonni) või karbamiidi tootmisel väetisetööstuses<sup>4</sup>. Väike osa kõrge puhtusastmega CO<sub>2</sub>-te (kokku 6% või ca 15 mln tonni) kasutatakse toidu- ja joogitööstuses ning sama palju ka muudes erinevatest tööstusharudes (IEA 2019, 6). Kindlasti nähakse kõige suuremat potentsiaali kinni püütud CO<sub>2</sub> kasutamisel sünteetiliste kütuste tootmisel – IEA „jätkusuutliku arengu“ stsenaariumi kohaselt rakendatakse 95% kinni püütud ja kasutatud CO<sub>2</sub>-st just selliselt. Samas märgib IEA, et püütud CO<sub>2</sub>-e kasutamise potentsiaal näiteks ehitusmaterjalide tööstuses veel hinnata pole võimalik, kuna tehnoloogiad pole veel piisavalt

---

<sup>4</sup> Väetisetööstuses siiski ei kasutata süsiniku püüdmise protsessi raames saadud CO<sub>2</sub>-te – kasutatakse hoopis maagaasi töötlemise protsessi.

arenenud (IEA 2020c, 55). Kindlasti tasub silmas pidada, et tööstuses tekkinud CO<sub>2</sub> baasil toodetud kütuste põletamist ei saa kõigi eelduste kohaselt rahvusvahelises inventuuris pidada kliimaneutraalseks, kuna need pärinevad siiski fossiilsetest allikatest.

### CO<sub>2</sub> kasutamine keemiatööstuses

Alternatiivselt on CO<sub>2</sub>-te potentsiaalselt võimalik töödelda selliselt, et sellest toota keemiatööstuse sisendtoorainet. Ühe suurema potentsiaali ja turuga tooraine – metanooli – tootmine kinni püütud CO<sub>2</sub>-st. Metanooliturg on globaalne, ent valdav enamus ca 90 mln tonnise maailmaturu nõudlusest pärineb Aasiast. Kuigi Aasias paikneb ka enamus tootmisüksustest, siis suured ekspordile keskendunud piirkonnad on ka Lõuna-Ameerika ning Lähis-Ida – kokku on metanooli tootmisvõimsusi ca 110 mln tonni juures (Kajaste *et al* 2018, 1075). CO<sub>2</sub>-st metanooli tootmine on aga äärmiselt elektrimahukas ning selleks on vajalik väga odava elektrienergia olemasolu. CO<sub>2</sub> baasil metaani ja metanooli tootmisel moodustab elektri hind 40-70% tootmise omahinnast (IEA 2019, 10).

CO<sub>2</sub>-te saab kasutada ka polümeeride tootmiseks ning kuigi potentsiaalne turg ei ole väga suur, siis juba üle 10 aasta on näiteks Taipeis töötanud tehas, mis toodab 150 000 tonni polükarbonaate, kasutades CO<sub>2</sub>-te tootmissisendina. Tähtis aspekt on see, kui suur hulk tekkinud CO<sub>2</sub>-st on võimalik polümeerides talletada – maksimaalselt on see 50% (Alberici *et al* 2017, 22). Samuti ei ole protsess elektriintensiivne, mis muudab selle vähem sõltuvaks odava elektrienergia olemasolust. 2019. aastal läks tööle tehas, milles Saudi Aramco koos Novomeriga toodab 50-100 000 tonni polükarbonaate, milles on kuni 50% mahus kasutatud sisendina CO<sub>2</sub>-te (IEA 2019, 53). Polümeeride tootmist saab pidada hetkel kõige atraktiivsemaks lahenduseks CO<sub>2</sub>-e taaskasutamiseks keemiatööstuses – **tänu madalale energiaintensiivsusele on polümeeride tootmine konkurentsivõimelisem, kui teised võimalused CO<sub>2</sub>-e kasutamisel kemikaalide tootmiseks**. Samas suureks küsimuseks on piiratud turg ja võimalus püütud CO<sub>2</sub> piisavas mahus polümeeridesse talletada

### CO<sub>2</sub> kasutamine betooni tootmiseks

Kolmandaks peamiseks võimaluseks on CO<sub>2</sub>-e kasutamine ehitusmaterjalide tootmisel – eriti tsemendi ja betooni juures. Kuna maailmas kasutatakse aastas 30 mld tonni betooni, mis toodetakse 4,2 mld tonnist tsemendist, siis on turg äärmiselt suur (IEA 2019, 56). Potentsiaalselt saaks kuni 3% betooni kaalust asendada CO<sub>2</sub>-ga ning kuna 2030ks kasvab prognooside kohaselt betooni tarbimine 40 mld tonnini, siis võiks potentsiaalselt selliselt kasutust leida kuni 1,2 mld tonni CO<sub>2</sub>-te. Keemilisel tasandil on CO<sub>2</sub> betoonitööstusele sobilik molekul – õigete tingimuste korral saab CO<sub>2</sub> muutuda karbonaadiks CO<sub>3</sub>, mis moodustab enamuse betooni tahkeosast (ICEF 2017, 7). Enne kui betooni, kuhu on seotud CO<sub>2</sub> saab suures mastaabis kasutusele võtta, tuleb lahendada regulatiivsed küsimused – materjal ja tooted peavad läbima testid ning saama sertifikaadid. Lisaks tehnoloogilistele küsimustele tuleks lahendada ka CO<sub>2</sub> tarnimise logistikaga seotud probleemid – kuna betooni toodetakse erinevates väiksemates tehastes, siis võib logistika tekitada täiendavaid lisakulusid. Samas on üheks kaasnevaks plussiks see, et CO<sub>2</sub> lisamine betooni vähendab vajaminevat vee hulka – osade tehnoloogiate puhul väidavad arendajad, et vee kasutamine väheneb kuni 80% (IEA 2019, 57).

Eesti Betooniühingu andmetel toodeti Eestis 2019. aastal kokku 1,7 mln m<sup>3</sup> erinevaid betoonitooteid, millest 1,1 mln m<sup>3</sup> oli raskebetoon (raudbetoon, betoonisegud ja sillutis-äärekivid), 0,6 mln m<sup>3</sup> puhul oli tegu kergbetoonitoodetega (bauroc ja fibo plokid). Raskebetooni mahukaal on vahemikus 2,2-2,5 tonni m<sup>3</sup> kohta, kergbetooni puhul on see ca 0,7-0,9 tonni m<sup>3</sup> kohta – seega kokku toodetakse Eestis suurusjärgus 2,7 mln tonni raskebetooni ja 0,5 mln tonni ehitusplokke. Maksimaalselt on seega võimalik **Eestis tänaste betoonitootmise mahtude puhul siduda 90-100 000 tonni kinni püütud CO<sub>2</sub>-te**. Samas plaanib riik investeerida suurelt teede taristu arendamiseks – kuigi täna on betoonist

teelõike katsetatud, siis võiks suuremas mahus betooni kasutamine teedeehituses suurendada ka potentsiaalselt võimalusi CO<sub>2</sub> rakendamiseks betooni lisandina.

Põhisõnum:

**CO<sub>2</sub> püüdmistehnoloogiate rakendamisel on peamiseks küsimuseks, kas ja kuidas on hiljem kõige mõistlikum kinni püütud CO<sub>2</sub> utiliseerida. Ladestamine maa-alustes maardlates Põhjameres on transpordikulude tõttu ebamõistlik. Suure energiatarbimise tõttu on problemaatiline CO<sub>2</sub>-st metanooli tootmine. Teatava potentsiaaliga on polümeeride tootmine ning kasutamine betooni tootmiseks, kuid see eeldab täpsemaid turuanalüüse ja tehnoloogiliste võimaluste selgeks tegemist. Siiski võib selliselt siduda ainult osa tekkivast CO<sub>2</sub> emissioonist.**

Uttegaasist metanooli tootmine

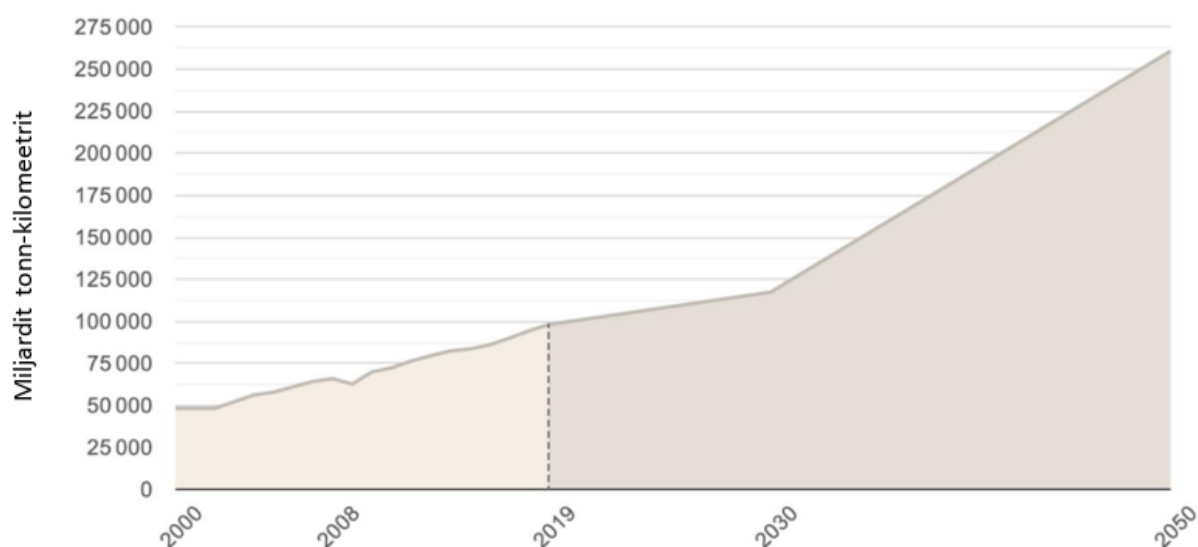
VKG on kaugemale arendanud projekti Petroteri uttegaasi töötlemiseks metanooliks. See eeldab tekkinud uttegaasi kompromiteerimist ning gaasbensiini eraldamist uttegaasist, selle puhastamist H<sub>2</sub>S ja CO<sub>2</sub> molekulidest ning metanooliks sünteesimist. Kui uttegaasi põletamisel soojuselektrijaamas tekib ca 270 000 tonni CO<sub>2</sub> emissiooni, siis selliselt oleks võimalik seda kogust üle 70% vähendada – ehk arvestuslikult on võimalik selliselt kokku hoida 190-200 000 tonni CO<sub>2</sub>-te ning toota 140 500 metanooli.

## Laevakütuste turg täna

### Laevanduse veomahud

Laevandus on maailma tänase majandusstruktuuri selgroog – üle 80% kaubavahetusest toimub meritsi. Seoses globaalse majanduskasvu, maailma elanikkonna kasvu ning järjest intensiivsemaks muutuva rahvusvahelistumisega on viimase kahe kümnendi jooksul tõusnud märgatavalt ka kaubavahetuse maht merel. Kui 2000ndal aastal veeti merel 6 mld tonni kaupa, siis 2018ndaks aastaks oli maht tõusnud pea kaks korda – 11 mld tonnini (UNCTAD 2019, 72). Samas veetakse kaupa pikemate vahemaade taha ning tonnkilomeetrites on samal perioodil vedude maht suurenenud veidi üle kahe korra – 48 000 mld tonn-kilomeetrilt 98 000 mld tonn-kilomeetrini (UNCTAD 2020, 6). Meretranspordi geograafia on samuti laienenud ja viimase 20 aastaga on märkimisväärselt suurenenud arenguriikide roll maailma merekaubavahetuses. Kui 2000ndal aastal olid arenguriigid 30% kaupade sihtriigiks, siis 2018ndaks aastaks oli see osakaal juba 64%, samal perioodil on arenguriigid olnud stabiilselt 60% kaupade lähteriigiks.

**Graafik 1.** Rahvusvahelise merekaubanduse maht ja kasvuprognosis



Allikad: UNCTAD 2020 ja ITF&OECD 2019

### Laevanduse KHG heide ja kütusetarbimine

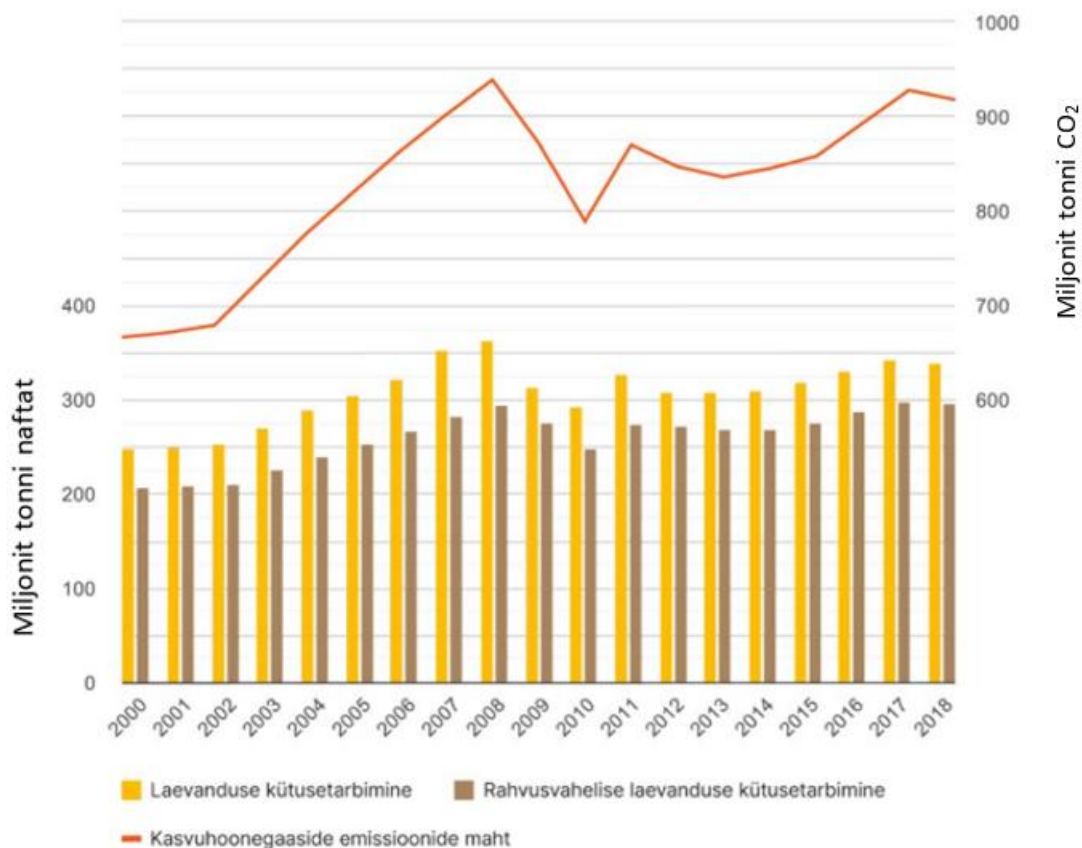
Kui kogu laevandusest tulenev KHG heide – veidi üle 1 mld tonni – moodustab umbes 3% globaalsest KHG heitest<sup>5</sup>, siis merendussektori osakaal kogu maailma naftatarbimisest on oma ca 330 miljoni tonnise aastase mahuga veidi üle 6%. Nii on laevandusel arvestatav roll globaalse naftanõudluse kujundamisel, kuid kui võtta arvesse toornafta rafineerimistehaste toimimisloogikat, siis muutub laevandus veelgi tähtsamaks. Toornafta rafineerimisprotsessis eraldatakse kergemad fraktsioonid, mis

<sup>5</sup> Laevanduses tekib umbes 1 mld tonni CO<sub>2</sub>-te aastas, globaalne emissioon oli aastal 36,6 mld tonni CO<sub>2</sub>-te (IMO 2020, 10)

<sup>6</sup> Lisaks KHG heitele on laevanduses probleemiks ka nn „must süsinik“, mis lendub osakesena välisõhku raskete laevakütuste mittetäieliku põlemise tagajärjel. Õhku lendudes neelab musta süsiniku osake päikest ning kuumendab õhku. Kuna tegu on osakesega, siis püsib see atmosfääris paar päeva kuni nädal, misjärel langeb see maapinnale. Kuum ja tume must süsinik kiirendab jää ja lume sulamist ning see suurendab arvestatavalt laevandussektori kliimajalajälge – kui musta süsinik ka arvestada jalajälje juurde, siis lisab see kuni 21% laevanduse kliimamõjudele (ICCT 2017, 6). Kuna musta süsiniku mõju on eriti märkimisväärne just jää- ja lumekilbi sulatamisel, siis räägitakse tõsiselt võimalustest lõpetada raskekütteõli kasutamine Arktikas.

leiavad kasutust kas maantee- või lennutranspordi, kergemate kütteõlide katelseadmetes või ka erinevate keemiatööstuste toorainena. Rafineerimisprotsessi jäägiks on pikad süsivesinike ahelad, mis moodustavad jääkõlid, mida kutsutakse alternatiivselt ka raskekütteõlideks. Umbes pool maailma raskekütteõlidest tarbitakse laevakütusena ning seetõttu on laevandusel võtmeroll tagamaks tänase toornafta rafineerimisprotsessi majanduslikku efektiivsust (CONCAWE 2020, 4).

**Graafik 2.** Rahvusvahelise laevanduse kütusetarbimine ja KHG emissioon alates aastast 2000.



#### Maailma laevastiku ülevaade ja kütusetarbimine laevaklasside lõikes

Kokku liigub maailma veeteedel umbes 120 000 üle 100-tonnise kandevõimega laeva. Valdav enamus laevandussektori kütusetarbimisest ning samas ka KHG emissioonist tuleneb kaubalaevadest – üle 90% maailmamerel liikuvatest laevadest kandevõime põhjal on just kaubaveoga seotud laevad (IMO 2020, 47). Otseselt kaubavahetusega mitteseotud meresõidukeid on siiski arvuliselt rohkem ning seetõttu moodustab 20% laevandussektori kütusetarbimisest kalandus, reisijatevedu ja kruisilaevandus ning erinevad abilaevad. Kokku on kaubavahetusega seotud naftanõudlus 81% laevandussektori tarbimisest ehk ca 260 miljonit tonni aastas, omakorda 70% kogu kaubavahetuse kütusetarbimisest põhineb kolmel peamisel laevaklassil: konteinerlaevad, puistekaupu vedavad laevad ja naftatankerid (tuletatud IMO 2020, tabelist 35). Kuna arvestatav osa abilaevade – puksiirid jm teeninduslaevad – kasutamisest tuleneb ka kaubalavade teenindamise vajadusest, siis veab kaubavahetus selgelt laevanduse kütusetarbimist.

Tähtis on märkida, et laevandus on juba teinud läbi märkimisväärse arengu energiatõhususes – kütusetarbimine ja kasvuhooonegaaside emissioon oli tipus 2008. aastal enne globaalse majanduskriisi algust. Seejärel on küll veomahud kasvanud, kuid kütusetarbimine pole samas suurusjärgus kaasa



tulnud – nii oli 2018. aastal iga veetud tonni kohta laevanduse KHG emissioon 32% väiksem, kui 2008. aastal (IMO 2000, 11). KHG emissioon on otseses seoses kütusetarbimise mahuga ja kasutatud kütustega ning kuna viimase 10 aasta jooksul on ka madalama KHG emissiooniga LNG tarbimine kasvanud, siis vedelkütuste tarbimise efektiivsuse kasv laevanduses on olnud isegi kõrgem kui 32%. Üheks sektori energiatõhususe vedajaks nii praegu kui ka tulevikus on IMO poolt 2011 aastal kokku lepitud energiatõhususe eesmärgid uutele laevadele – nende kütuse kasutamise efektiivsus peab tõusma 20% aastaks 2020 ja 30% aastaks 2025 (ICCT 2011, 1).

- **Laevanduse kütusetarbimine – kokku ca 330 mln tonni**
- **Rahvusvahelise merekaubanduse kütusetarbimine – 260 mln tonni**
- **Tankerite, puistelasti- ja konteinerlaevade kütusetarbimine – 182 mln tonni**
- **Raskekütteõli kasutamine laevanduses: 240-250 mln tonni**

#### Laevanduses kasutatavad kütused

Laevanduses kasutatavad vedelkütused võib suures plaanis jagada kaheks – destillaatkütused ja jääkkütused (*distillate fuels* ja *residual fuels*). Lisaks kasutatakse vähesel määral ka veeldatud maagaasi: LNG-d tarbis 2019. aastal kokku 756 laeva (ICCT 2020, 2) ja see moodustas 3% kogu laevandussektori kütusetarbimisest (IMO 2020, tabel 34). LNG tarbimine pakub väävlivaba ja teataval määral väiksema KHG emissiooniga võimalust konventsionaalsete kütuste kõrval. Kuna LNG näol on siiski tegu fossiilkütusega, siis ei nähta aga selles pikaajalist lahendust laevandussektori dekarboniseerimiseks – ICCT hindab, et LNG-d kasutades ei teki täiendavat pikaajalist kasu globaalsele kliimaseisundile võrreldes täna valdavate naftapõhiste vedelkütustega (ICCT 2020, 1). IEA ei näe LNG kasutamise hüppelist ja märkimisväärset tõusu 2030 perspektiivis – hetkel kokku lepitud eesmärkide ja meetmete juures tõuseb LNG osakaal laevakütuste portfellis ainult 5%ni aastaks 2030 (IEA 2020, 196).

Kergemad destillaatkütused on toornafta rafineerimisprotsessi käigus eralduv kütusefraktsioon, mida kasutavad peamiselt väikesed ja keskmise suurusega laevad, mille mootorite jaoks ei ole kõrge viskoossusega raskekütteõlid sobivad. Antud kütuseid, mis liigituvad omakorda kas merediislikütusteks (MDO – *Marine Diesel Oil*) või gaasiõlideks (MGO – *Marine Gas Oil*), järeltöödeldakse ja puhastatakse ebasobivatest lisanditest rafineerimisprotsessi käigus ning nii on laevandusele müügil isegi destillaatkütuseid, milles on väävli osakaal ainult 0,001%. Selliseid kütuseid on kohustatud kasutama näiteks laevad, mis liiguvad ELi sisemaistel laevateedel (jões ja kanalid).

Jääkkütused ehk raskekütteõlid tekivad samuti rafineerimisprotsessis, kuid on moodustatud toornafta fraktsioonidest, mille keemispunktid on jäänud konkreetse rafineerimisprotsessi käigus saavutatud temperatuurist kõrgemaks. Kuigi ainult 25% maailma laevastikust (lähtudes laevade arvust) kasutab peamise kütusena raskekütteõli, siis kuna seda tarbivad suurimad ookeane ületavad kaubalaevad, on ca 75% laevanduses tarbitavatest kütustest justnimelt raskekütteõli (MFO – *Marine Fuel Oil*) (IEA Bioenergy 2017, 30). Raskekütteõlid on kõrge viskoossusega ning hanguvad kergelt, seetõttu vajavad nad eelsoojendamist enne laevamootoris põletamist. Põlevkiviõli kasutatakse selliste raskelaevakütuste lisandina, et tagada kütuse vajalik viskoossus ning parandada süütekvaliteeti. Raskeõlid on enamasti kõrge väävlisisaldusega ning seetõttu sobib põlevkiviõli oma 0,7-0,8%-lise väävlisisaldusega koos teiste madala väävlisisaldusega ent kallimate kütusefraktsioonidega IMO2020 regulatsioonile vastava raskelaevakütuse tootmiseks. Seega on põlevkiviõli sobiv ja kulutõhus lahendus laevandussektorile IMO2020 regulatsioonile vastava kütuse tootmiseks.

**Põhisõnum: Põlevkiviõli on soodne ja sobilik lisand rasketele laevakütustele – parandades raskekütteõli viskoossust, süüteparameetreid ning vähendades väävlisisaldust. Põlevkiviõli**

**sihtturuna saabki hinnata raskekütteõli tarbimist laevanduses: täna on selle mahuks 245 miljonit tonni aastas.**

### Kast 3. IMO2020 regulatsioon.

Rahvusvaheline Merendusorgansatsioon (*International Maritime Organization* – edaspidi IMO) reguleerib laevanduse keskkonnakoormust läbi 1973. aastal allkirjastatud rahvusvahelise MARPOL konventsiooni. Spetsiaalselt asuti laevanduse õhuemissioonide reguleerimise vajadusest läbi rääkima 1990ndate lõpus ning tänaseks on leppe ratifitseerinud 98 riiki ning see katab ca 97% maailma laevastikust tonnaži järgi. 2005. aastal jõustunud leppe esimese etapi eesmärgiks oli piirata vääveloksiidide (SOx) emissiooni ning see tõi laevanduses kaasa maksimaalselt 3,5%-lise väävlisisaldusega laevakütuste kasutamise.

Siiski jätkusid läbirääkimised veelgi ambitsioonikamate eesmärkide saavutamiseks ning 2020. aastal jõustunud IMO 2020 piirang vähendab aga senisega võrreldes SOx emissioone 77% ning kohustab kasutama kütuseid, milles on väävlisisaldus maksimaalselt 0,5%. Lisapiirangud on juba varasemalt seatud teatud regionaalmeredele (nn *Emission Control Areas*) – seal hulgas Läänemerele – kus maksimaalne lubatud väävlisisaldus kütuses on 0,1%.

### Infokast: toornafta kaudsed teisendamisväärtused

Energiaturgudel kasutatakse erinevaid ühikuid selleks, et väljendada kütuse tarbimist või selle energiamahukust. Kuna naftatoodete energiasisaldused ja erikaalud on väga spetsiifilised, siis antud kastis ja töös kasutatud ühikuid väljendavad suurusjärke.

**Barrel** (*barrels - bbl*): Ajalooline mahuühik, mis ühildub briti mõõtsüsteemiga, kus 1 barrel = 42 Ühendriikide gallonit, Euroopa mõõtesüsteemis on naftabarreli suuruseks 158,98 liitrit. Kasutusel on ka teisendus kuupmeetrisse, kus  $1\text{m}^3 = 6,2898\text{ bbl}$ . Globaalset naftanõudluse ja -toodangu väljendamiseks kasutatakse enamasti mõõtühikut miljonit barrelit päevas (*million bbl/d*). Viimastel aastatel on see jäänud suurusjärku 90-100 mln barrelit päevas. Maailma aastatoodangu leidmiseks barrelites tuleb seega keskmine päevane toodang korrutada läbi päevade arvuga (365).

**Tonn** (*tonne – t*): Euroopa toorainebörsidel kasutatakse naftasaadustega kauplemisel massiühikuid. See võib tekitada segadust, kuna erinevad naftatooted on erineva tiheduse ja mahukaaluga: näiteks raskeõlitonn võib olla mahus 6,1 barrelit, samas kui mootoribensiini tonn on 7,9 barrelit. Kasutusel on standardne ühik: naftatonn (*ton of oil equivalent – toe*). Toornafta jaoks on kasutusel faktor  $1\text{ toe} = 7,33\text{ barrelit}$ .

**Energiasisaldus:** Enamasti väljendatakse seda kas džaulides (*joule – J*) või vatt-tundides (*watt-hour - Wh*). Kehtib kindel teisendus, kus  $1\text{ Wh} = 3600\text{ J}$ . Sarnaselt mahuühikutele võivad nii erinevate toornaftade kui ka toodete energiasisaldused kõikuda. Näiteks Eesti põlevkiviõli energiasisaldus on vahemikus 39-42 GJ (gigadžauli)/tonni kohta. VKG Petroterid toodavad õli, mille energiasisaldus on keskmiselt 41,5 GJ/tonni kohta, samas toornafta puhul hinnatakse energiasisalduseks 42 GJ tonni kohta.

Seega: 1 tonn toornaftat /põlevkiviõli = 7,33 barrelit = 1 165 liitrit = 42 GJ/11,6 MWh

VKG aastane toodang: 660 000 tonni = 4,8 mln barrelit = 13 254 bbl/d (0,01325 mln bbl/d) = 769,2 mln liitrit = 27,72 TJ/7,7 GWh.

VKG osakaal laevanduses kasutatavatest raskekütteõlidest: 0,25% (260 mln tonni raskekütteõlisid kasutatakse aastas laevanduses, VKG toodang on 0,66 mln tonni põlevkiviõli)



## Meretransport tulevikus ja nõudlus laevakütuste järgi

Arvestades seda, et täna liigub valdav enamus VKG toodetest rahvusvahelise laevandussektori teenindamiseks, siis tasub põlevkiviõli pikaajalise nõudluse hindamiseks analüüsida just selle turusegmendi arenguperspektiive. International Transport Forum ja OECD prognoosivad, et rahvusvaheline kaubavahetus kasvab aastaks 2050 enam kui kolm korda. Kuigi lennunduse kasvunumbrid on kõige kõrgemad, siis jääb siiski domineerivaks veoliigiks laevandus – üle ¾ kogu kaubavahetusest toimub ka 2050 aasta perspektiivis meritsi. Täna 98 000 mld tonn-kilomeetrit tõuseb meritsi kaubavahetus 261 000 mld tonn-kilomeetrit (Graafik 1). Siiski märgitakse, et kaubatranspordi prognoosid on koostatud suure ebamäärasusega, mille realiseerumist mõjutab paljuski globaalne majanduskasv (ITF&OECD 2019, 18). Kaubandusaktiivsuse ja sellest tuleneva globaalse majanduskasvu määrab suuresti ära rahvusvaheline poliitiline olukord – näiteks on Soome Keskpang hinnanud, et USA-Hiina kaubandussõda vähendab globaalset majanduskasvu 0,7% (Vilmi *et al* 2019). Arusaadavalt omavad sellised poliitilised konfliktid märkimisväärset mõju lühikeses ja keskpikas ajalis perspektiivis, kuid pikaajaliselt on lähtuvalt globaalsetest trendidest selge, et kaubavahetus maailmas tõuseb ning meretranspordi maht kasvab nominaalselt märgatavalt.

### IMO kliimaeesmärgid

Laevakütuste turuosaliste jaoks on aga vajalikum indikatsioon see, et kui palju muutub tänasega võrreldes laevanduse kütusetarbimine. Selle aspekti juures on tähtsateks muutujateks nii laevamootorite efektiivsuse kasv, reise planeerimine ja muu logistika ning samas ka järjest suuremaks muutuvad laevad ja nende veokogused. 2018. aastal leppisid IMO liikmed kokku rahvusvahelise laevanduse KHG emissiooni vähendamise eesmärkides:

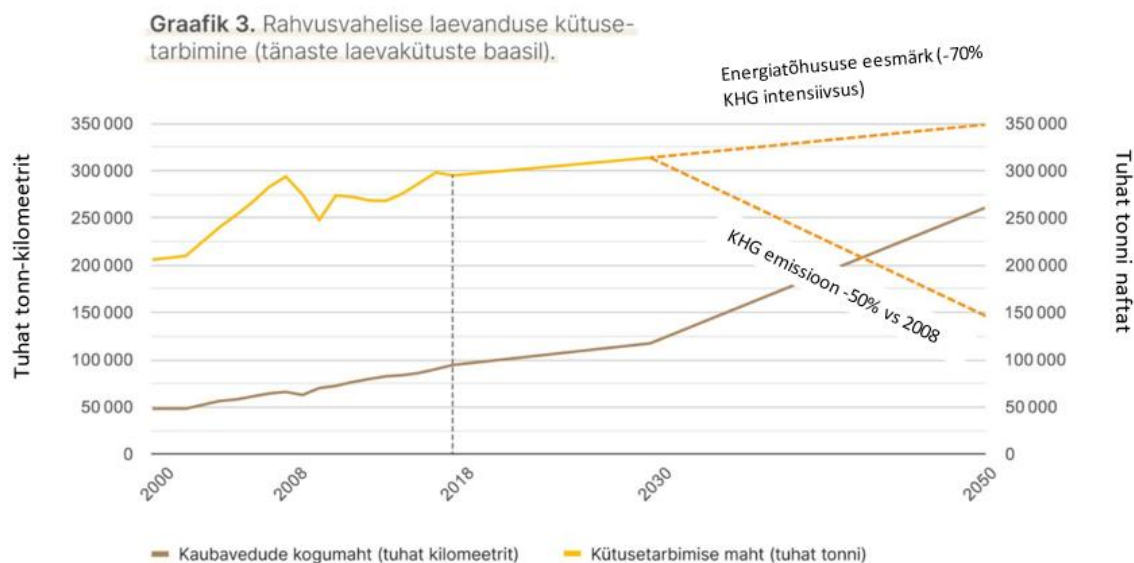
- Rahvusvahelise laevanduse KHG intensiivsus on 2030. aastal vähemalt 40% madalam kui 2008. aastal, eesmärgiks on jõuda 70% tasemeni aastaks 2050
- Saavutada rahvusvahelise laevanduse KHG emissioonide tipp võimalikult varakult ning vähendada 2050ks aastaks vähemalt 50% emissioone 2008. aastaga võrreldes (IMO 2018) <sup>7</sup>

Tähelepanu peab osutama sellele, et IMO eesmärgid laienevad ainult rahvusvahelisele laevandusele – ehk ligi 90% (300 mln tonni) laevakütust tarbivale osale laevandussektorist – mistõttu nõu muu laevandussektor pole otseselt kohustatud oma kliimajalajälge vähendama. Kuna aga suurest osast ülejäänud laevadest tulenev KHG heide liigitub erinevate riikide siseriiklike KHG vähendamise eesmärkide alla, siis võib eeldada, et ka seal väheneb KHG emissioon – ning sellest tulenevalt ka nõudlus fossiilsete kütuste järgi – 2050 perspektiivis märkimisväärselt.

2018. aastaks oli 2030 eesmärgist juba enamus saavutatud – rahvusvahelise merelaevanduse KHG-intensiivsus oli 32% madalam kui 2008. aastal (IMO 2020, 11). Lähtudes seni saavutatud laevanduse tõhususe suurendamisest, siis ei tohiks olla probleem ei 2030 ega ka 2050 KHG-intensiivsuse eesmärkide saavutamiseks, seda näitab ka graafik 3. Selle eesmärgi täitmine ei muudaks laevandussektori toimimist märkimisväärselt tänasega võrreldes – fossiilsete laevakütuste tarbimine jääks ka 2050. aastal kõrgemaks kui see on hetkel – tasemele ca 350 mln tonni. Selleks, et saavutada teine kokku lepitud eesmärk – KHG emissiooni vähendamine 50% võrreldes aastaga 2008 – tuleb aga märkimisväärselt muuta kogu laevandussektoris kasutatavat kütuseportfelli. Selle eesmärgi täitmine tähendaks, et iga üksiku laeva KHG emissioon peaks vähenema ca 85% (ESCA&ICS 2020, 15).

---

<sup>7</sup> 2008ndal aastal olid KHG emissioonid rahvusvahelisest laevandusest kokku 921 tonni CO<sub>2</sub>e. Kütusetarbimine oli 2008. aastal 294 mln tonni. (IMO 2015, lk 1 ja 9)



**Põhisõnum:** juhul, kui laevandussektor lähtub ainult KHG intensiivsuse eesmärkidest, siis jätkub laevandussektoris raskekütteõlide tarbimine tänapäevaste laevakütuste baasil kuni aastani 2050. Märkimisväärset muutust laevakütuste portfellis ning kogu sektori kütusega varustamise tarneahelas tooks kaasa aga 2050 KHG emissiooni vähendamine 50% võrreldes 2008. aastaga.

## Laevandussektori võimalused märkimisväärseks KHG emissiooni vähendamiseks

Laevandussektori KHG emissiooni suuremahuline vähendamine ei ole olemasolevate kütuste ja tehnoloogiate baasil võimalik – selgelt on vaja tehnoloogia arengus järgmist sammu (IEA 2020b, 142). Sisuliselt on olemas kaks lahendust eesmärkide täitmiseks:

- **Süsinikuvabad kütused**, mida saab tänapäevastes laevamootorites kasutada ilma suuremahulise mootori moderniseerimiseta.
- **Uued tehnoloogiad ja kütused**, mis eeldavad nii laevastiku väljavahetamist või märkimisväärseid ümberehitustöid ning uue laevandussektori teenindava kütuse tarneahela rakendamist

IEA hindab, et säästlike biokütuste ja vesinikkütuste kasutamine on keskne võimalus pikaajaliste kliimaeesmärkide saavutamiseks. Ometi ei nähta, et nende kasutamine tõuseb lähiperspektiivis hüppeliselt – vaid 5% laevanduse kütusetarbimisest 2030. aastal tuleneb isegi jätkusuutliku stsenaariumi kohaselt süsinikuvabadest alternatiivkütustest (IEA 2020, 112). Ainult globaalse 2050 kliimanetraalsuse stsenaariumi korral – mis ületab tänapäevaste ambitsioonide isegi Pariisi kliimaleppe eesmärkide kontekstis – on laevanduses kasutatavatest kütustest 2050. aastaks üle poole süsinikuvabad alternatiivkütused (IEA 2020, 158).

## Fossiilsete vedelkütuste asendamine alternatiivkütustega

Tehniliselt lihtsam lahendus laevandussektori drastiliseks dekarboniseerimiseks oleks asendada täna kasutusel olevad fossiilsed vedelkütused süsinikuneutraalsete alternatiividega. Sellisel juhul ei oleks

vaja arendada välja täiesti uusi laevamudeleid ning -mootoreid, samuti saaks kasutada olemasolevaid kütuse tarneahelaid ning tankimistaristut – kasutusele võetakse nn „otsekasutatavad kütused“ (*drop-in fuels*). Suures pildis saavad süsinikuvabad otsekasutatavad kütused olla kas erinevad biokütused või nn „e-kütused“. Viimaseid on potentsiaalselt võimalik toota taastuvelektrist elektrolüüsi teel toodetud vesiniku sünteesimisel CO<sub>2</sub>-ga. Siiski on tähtis märkida, et e-kütuste tootmisel ja kasutamisel reaalse kliimavõidu tekkimiseks oleks vaja, et protsessis kasutatav CO<sub>2</sub> tuleneks kas biomassi töötlemisel erituvast emissioonist või püütakse see otse õhust (IRENA 2019, 23; IEA 2019, 2).

Biokütuseid kasutatakse juba praegu üsna laialdaselt transpordikütuste lisandina maanteetranspordis ning seetõttu oleks laevanduses sobivate biokütuste kasutuselevõtt kiireim ja efektiivseim võimalus juba lähimate aastate jooksul alustada kõikide laevaklasside lõikes laevandussektori GHG emissiooni vähendamist. Samas võivad tänaste vedelkütuste alternatiivid jääda laevakütuste turgu pikaajaliselt mõjutama: IEA Uute Tehnoloogiaperspektiivide raport hindab, et aastaks 2070 tuleneb tervelt 30% laevanduse ja lennunduse kütusetarbimisest biokütustest (IEA 2020b, 122). Ka Lloyd's Register ja University Maritime Advisory Services on oma nullemissiooniga laevade (*Zero-emission Vessels*) analüüsis jõudnud järeldusele, et biokütused on hetkel turul olevatest lahendustest kõige atraktiivsemad (Lloyd's Register&UMAS 2020, 24).

Lisaks sellele, et vedelaid biokütuseid saab potentsiaalselt valdavalt kasutada laevamootorites ilma märkimisväärsete ümberehitusteta, siis on kütuse energiasisaldus märksa suurem kui alternatiivide puhul. Kui LNG-d kasutatav konteinerlaev peab 3% oma veomahust loovutama LNG kütusemahutitele võrreldes raskekütteõlil alternatiiviga (UNCTAD 2020, 45), siis potentsiaalne tuleviku-laevakütus ammoniaak on LNGst veel kaks korda väiksema energiatihedusega. Samuti alternatiivina kaalutava veeldatud vesiniku vahe LNGga on aga koguni 3 korda (IRENA 2019, 20) – **seega väheneks võimaliku veetava kauba maht suurusjärgus vastavalt 5,4% ammoniaagi ja 6,4% veeldatud vesiniku puhul võrreldes vedelate alternatiivkütustega**. Arvestades prognoositavat kaubavahetuse märkimisväärset kasvu muutub järjest tähtsamaks ka laevade veosemaht, mistõttu vedelate alternatiivkütuste atraktiivsus konkureerivate tehnoloogiate-kütuste vaates võiks ajas tõusta.

Tänapäeval hetkel on biokütuste kasutamine laevanduses alles algusfaasis – laevafirmad on alustanud teste selliste kütuste kasutamisele võtmiseks, et hinnata nende mõju laevamootoritele ja mõõta kütuste täpseid karakteristikuid (ICCT 2020b, 3). Probleemiks on aga olnud see, et ka biokütuste pakkumine turul on piirdunud õlitaimedest ja loomarasvadest toodetud kütustega, lignotselluloosist (ehk puitsest/tahkest biomassist) vedelkütuste tootmine pole hetkel veel sellises mahus arenenud, et turul oleks saadaval piisavas koguses sobivat kütust, mida laevamootorite testimisel kasutada (IEA Bioenergy 2017, 10). Samas on tahke biomassi – puit, kõrrelised jms – puhul tegemist kättesaadava ressursiga, mille väärindamine vedelkütusteks võib olla nii keskpikas kui ka pikemas perspektiivis majanduslikult ja ka keskkonnaaspekte silmas pidades kõige mõistlikum viis puit- jm tahke biomassi kasutamiseks. Shell markeeribki peamise probleemina, mis raskendab biokütuste kasutamist laevanduses, konkurentsi toorme osas – paljud teised transpordi- ja muud sektorid vajavad sisendina biomassi. (Shell 2020, 19).

Laevanduse suuremahuliseks teenindamiseks biokütustega eeldab, et valdavaks oleks puitsest biomassist toodetud kütus – kuna õlikultuuridest toodetud biokütuste puhul tekib probleeme toorme säästlikkuse ja pikemas plaanis ka kättesaadavuse küsimusega, siis **ainult lignotselluloosist toodetud vedelkütused suudavad pikaajaliselt laevandussektori nõudlust rahuldada** (IEA Bioenergy 2017, 9). Kui turul oleksid regulatsioonid ja nõudlust tekitavad mehhanismid paigas, siis võiks aastal 2030 biokütused moodustada 5-10% laevanduse kütuseportfellist (ehk 16-33 mln tonni) (IEA Bioenergy 2017, 61).

IEA bioenergia töörühm on analüüsinud erinevate laevandusse sobivate biokütuste töötlemise teekaarte (Figure 8) ning pea kõikide lahenduste puhul eeldab laevandusse sobivate otsekasutatavate kütuste tootmine ühel või teisel viisil kütuse vesiniktöötlust.



**Figure 8. Overview of different feedstock conversion routes to marine biofuels including both conventional and advanced biofuels.**

Allikas: IEA Bioenergy 2017.

### Tahke biomassi pürolüüsiõli tootmine

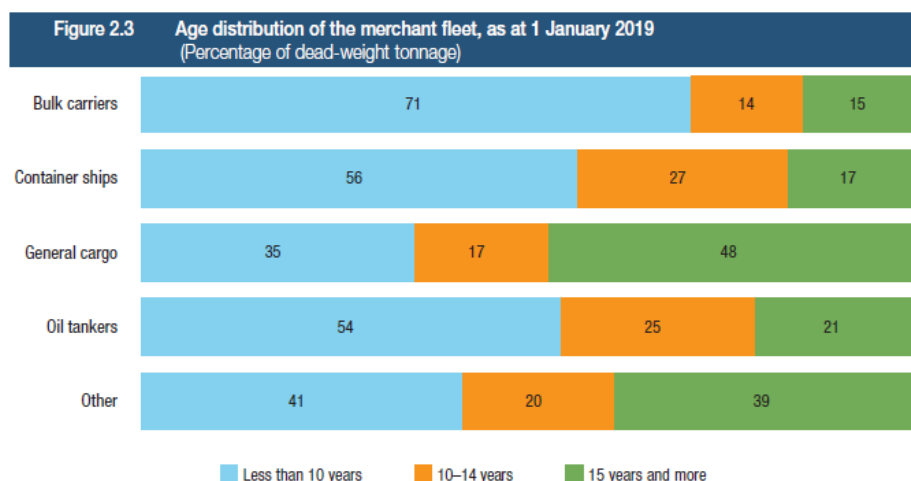
Pürolüüsi tehnoloogia – mida täna VKG rakendab põlevkiviõli tootmisel – on IEA poolt markeeritud ühe potentsiaalse viisina laevakütuseid toota biomassist. Probleemina tuuakse välja aga pürolüüsi-õli kõrge vee- ja hapnikusisalduse, mis vähendab eelkõige kütuse energiamahutavust, (kuid) eriti kriitilise aspektina toob aga kaasa selle ebastabiilsuse. Seetõttu eeldab pürolüüsi teel toodetud biokütus järetöötlust (IEA Bioenergy 2017, 48). See tähendab, et pärast pürolüüsi protsessi peab tekkinud saagist hüdrokeenima vesinikuga – see tõstab nii õli tootmise keerukust kui ka omahinda.

Ühe tihumeetri puidu töötlemisel võib potentsiaalselt saagiseks olla 0,25 tonni laevamootoritesse sobivat bioõli. VKG tänase põlevkiviõli tootmismahu täielikuks asendamiseks puiduõliga eeldaks 2,6 mln tihumeetri puidu kasutamiseks pürolüüsi seadmes. 2017. aasta puidubilansi järgi eksporditi näiteks Eestist 2,75 mln tm mahus puitpelletteid, 0,9 mln tm küttepuitu ja puithaket (laaste) ning 1,8 mln tm paberipuu palki. Lisaks kasutati siseriiklikult energeetikas 5,1 mln tm puitu – **seega kokku 10,55 mln tm puidu puhul oleks selle tänane väärindamine puiduõli tootmisest väärtusahelas madalamal** (Keskkonnaagentuur 2019, 34). Lisaks on Eesti Arengufond hinnanud, et Eesti rohumaadelt jääb aastas kasutamata ca 1,4 mln tonni rohtse biomassi kuivainet, kusjuures see on valdav enamus 2,2 mln t rohtse biomassi kogumahust (Eesti Arengufond 2015, 7). Seda saab samuti vaadelda potentsiaalse toormena pürolüüsiõli tootmiseks.

## Uute tehnoloogiate ja kütuste kasutuselevõtt laevanduses

Alternatiivseks võimaluseks laevanduses märkimisväärset KHG emissiooni vähenemist esile kutsuda, on uute tehnoloogiate juurutamine ning kütuste kasutuselevõtt, mis eeldavad laevade (ja) ning teenindamiseks vajaliku taristu täielikku uuendamist. Kuigi innovaatilisi lahendusi on mitmeid – näiteks tuuleenergia kasutamist ookeanilaevadel, akupankade rakendamist – siis erialakirjandus ja laevandussektor on peamiselt keskendunud kahele potentsiaalsele alternatiivile – veeldatud vesinikule ja ammoniaagile.

Esimeseks kriitiliseks aspektiks on aga nende tehnoloogiate rakendamise ajaline perspektiiv. Laevade keskmine eluiga on 21 aastat (UNCTAD 2019, 28) ja uute tehnoloogiate kasutuselevõtt eeldab, et järgmise 10 aasta jooksul muutuvad süsinikuvabad tehnoloogiad turukõlblikuks ja saavad valdavaks uute laevade ehitamisel. 70% kütusetarbimisest tuleneb kolmest põhilisest laevaklassist – puistelasti vedavad laevad, naftatankerid ja konteinerlaevad – ja valdav enamus antud laevadest vahetatakse välja perioodil 10-15 aasta pärast. Nii on tähtis, et turukõlblikud lahendused tekiksid juba lähemate aastate jooksul, et neid oleks võimalik rakendada järgmise ringi uute kaubalaevade puhul.



Source: UNCTAD secretariat calculations, based on data from Clarksons Research.

Allikas: UNCTAD 2020.

Nagu märgib Shell, siis laevandussektori ekspertide seas läbi viidud küsitlusele vastanud leidsid, et isegi juhul, kui täna oleks reaalne ja turukõlblik lahendus olemas, siis vältaks laevanduse üleminek süsinikuvabadele tehnoloogiatele 20-30 aastat (Shell 2020, 23). **Seega olukorras, kus töötavad tehnoloogiad täna puuduvad, venib üleminek veelgi pikemaks ning olemasolevad lahendused jäävad kasutusel ka perioodil pärast 2050ndat aastat.** Lisaks näeb laevandussektor probleemi paljudes sadamates uute tankimislahenduste ja tarneahelate vastavusse viimises alternatiivkütuste tehniliste nõudmistega (Shell 2020, 25). Eriti keeruliseks muudab see laevakütuste tarnelooistikat olukorras, kus suur osa kaubavahetust liigub arenguriikide vahel – sellistes riikides on keerukate uute tehnoloogiate rakendamine aeganõudvam, tihti kallim ja suurema riskiastmega.

Teiseks suureks probleemkohaks on alternatiivkütuste omadused – eelkõige energiamahukus. Kuna rahvusvahelise merelaevanduse ärimudeli toimimine on suuresti mahupõhine – konkurentsieelised on võimalikult suure veomahuga laevadel, siis on ka laeva tehniliseks teenindamiseks vajalike süsteemide suurus kriitilise tähtsusega. See aspekt vähendab märkimisväärselt aga vesiniku konkurentsivõimet laevakütusena – oma kõige tihedamas olekus veeldatuna on vesiniku energiamahutavus on üle 4 korra väiksem kui tänastel vedelkütustel.

**Table 2: Comparison of different marine fuels**

Fuel type	LHV* [MJ/kg]	Volumetric energy density [GJ/m <sup>3</sup> ]	Storage pressure [bar]	Storage temperature [°C]
MGO	42.7	36.6	1	20
LNG	50	23.4	1	-162
Methanol	19.9	15.8	1	20
Liquid ammonia	18.6	12.7	1/10	-34/20
Liquid hydrogen	120	8.5	1	-253
Compressed hydrogen	120	7.5	700	20

\*LHV: Lower heating value  
Based on: De Vries (2019)

Allikas: IRENA 2020.

Lisaks väiksemale energiamahutavusele on veeldatud vesiniku puhul probleemiks ka see, et selle kasutamine eeldab kütuse väga madalatele kraadidele viidud kütuse hoiustamist laeva mahutites. Selle tehnoloogia rakendamine aga on kallis ja viib alginvesteeringu laevadesse kõrgeks võrreldes näiteks ammoniaakkütusega. Nii peavad laevaomanikud arvestama sellega, et mõlema kütuse puhul – aga eriti vesiniku puhul – väheneb veetava kauba maht, kuna kütused vajavad hoiustamiseks suuremat ruumi (Lloyd’s Register&UMAS 2020, 24). Lähtudes nendest aspektidest võib järeldada, et vesinikku ei peeta lahenduseks suurte ookeanilaevade puhul – ammoniaak on täna turuosaliste jaoks atraktiivsem lahendus (Offshore Energy 2020). Laevades saab ammoniaaki kasutada kas sisepõlemismootorite kütustena või otse kütuseelemendis, sealjuures on selle sisepõlemismootorites kasutamise efektiivsus sama võrreldes vedelkütustega. Kütuseelement suudab ammoniaaki efektiivsemalt kasutada ja nii tuleks sama teekonna läbimiseks ookeanilaevadel kasutada 10-30% vähem ammoniaaki energiasalduse järgi võrreldes vedelkütustega (Hansson *et al* 2020, 6). Seega toob ammoniaagi kasutamine teatava võidu laevanduse energiatõhususes, kuid see ei muuda suures plaanis laevanduses tarbitava kütuse kogust energiakoguse vaates.

Ammoniaagi puhul loetakse eeliseks veel seda, et juba täna toodetakse maailmas ca 196 mln tonni ammoniaaki (FAO 2019, 2), kuid sealjuures on tootmisvõimsusi olemas 230 mln tonni tootmiseks<sup>8</sup>), mis leiab kasutust valdavalt väetistena (70% ehk 130 mn tonni). Seega on olemas nii kriitiline tootmisbaas, tarneahelad kui ka taristu ning oskused sellise kütuse käitlemiseks. Üheks põhiliseks probleemiks ammoniaagi puhul on see, et täna toodetakse seda fossiilsest maagaasist. Et see oleks roheline ja KHG emissiooni vaba kütus, mis realselt tooks ka kaasa laevanduse kliimajalajälje vähenemise, peaks selle tootmine toimuma elektrolüüsi teel toodetud vesinikust ja õhust püütud lämmastikust. IEA leiab, et kuigi esialgu on rohelisest vesinikust toodetud kütused biokütustest kallimad, siis aastaks 2040 on elektrolüüsi tehnoloogia hind läinud nii madalaks, et ammoniaak saab konkureerida vedelate biokütustega (IEA 2020, 294). Samas vajab tehnoloogia arenemiseks ja turuküpseks saamiseks aega ja turuosalised eeldavad, et alles 2030 aasta ümbruses hakkavad esimesed nullheitega laevad merele jõudma (Shell 2020, 6). Ammoniaagi miinusena tuuakse välja sellega kaasnevaid saasteaineid (mitte KHG emissioone), kütuse mürgisust ning süütamisel kõrget energiavajadust (Shell 2020b, 10).

Global Maritime Forum hindab, et just ammoniaak saab domineerivaks lahenduseks merendussektori dekarboniseerimisel. KHG emissiooni nulli viimiseks aastaks 2050 tuleb investeerida vähemalt triljon

<sup>8</sup> FAO annab tootmis- ja tarbimismahud ainult lämmastiku (N) põhised, käesolevas dokumendis on viidud see NH<sub>3</sub> põhiseks – lisatud on ka vesiniku molaarmass

dollarit – ka teiste alternatiivsete kütuste puhul oleks investeringud samas mastaabis. Tervelt 90% investeringutest on aga seotud kütuste tootmise ja tankimistaristu loomisega ning laevadesse endasse tuleb täiendavalt märkimisväärselt vähem investeerida (Global Maritime Forum 2020, 2). Hinnatakse, et aastaks 2050 võib tekkida kuni 1 mld tonnine nõudlus laevanduse poolt ammoniaagile – see ületab viiekordset tänast tootmismahtu (UMAS 2020, 7). See eeldab, et rohelise ammoniaagi tootmiseks peaks igal aastal alates 2030ndast lisanduma kahekohaline arv tootmisüksuseid (UMAS 2020, 17).

**Kuidas kutsuda esile laevanduse KHG emissiooni vähendamist?**

Valdavalt on kirjandus ja sektori eksperdid nõus, et transformatsioon peaks toimuma läbi nõudluse tekitamise süsinikuvabadele lahendustele-kütustele – emissioonipõhine süsinikumaks on üheks võimaluseks, kuidas turupõhiselt nõudlust tekitada (Lloyd's Register&UMAS 2020; UNCTAD 2020; Shell 2020). Täna puuduvad nii rahvusvahelised kui ka regionaalsed instrumendid laevanduse KHG emissiooni vähendamiseks – seetõttu pole nõudlust ka alternatiivkütustele. IMO plaanib oma kliimastrateegia üle vaadata ja täpsustada aastal 2023 ning kokku leppida instrumentides, mis viiks eesmärkideni lühemas ja pikemas perspektiivis.

Ka EL plaanib laevanduse KHG emissiooni adresseerida oma Roheleppe kontekstis, kuid seni pole konkreetsete ettepanekutega välja tulnud. Ühe riskikohana tuuakse aga välja, et kui EL kehtestab oma paralleelsüsteemi kvoodikaubanduse näol, siis see diskrediteerib IMO tööd rahvusvahelisel tasandil KHG vähendamise raamistiku loomiseks (ESCA&ICS 2020, 30).

Turumehhanismid adresseeriksid eeldatavasti kütuse põletamisel tekkivaid KHG emissioone ja on väheusutatav, et keeruline ja kergesti rünnatav KHG elutsükli jalajälje arvestamine leiab laevanduses kasutust. Seega mõjutab turumehhanismide rakendamine võrdselt kõiki fossiilsete laevakütuste tootjaid – kütuse põletamisel tekkinud KHG emissioon on valdavalt kõigil vedelatel fossiilkütustel sarnane ning seda saab ainult vähendada nn otsesegatavate biokütuste lisamisega laevakütusesse. Turumehhanismide rakendamine võiks just selle esile kutsuda.

**Peamised sõnumid:**

**Kuigi rahvusvahelised eesmärgid laevanduse KHG emissiooni vähendamiseks on kokku lepitud, siis täna puuduvad nii tehnoloogiad selle saavutamiseks kui ka turumehhanismid selle esile kutsumiseks.**

**Kiirem võimalus KHG emissiooni vähendamiseks on kasutusele võtta biokütused, mida saab kasutada kas eraldiseisvalt või lisatuna fossiilsetele laevakütustele olemasolevates laevades.**

**Ainus tooraine sellises mahus laevanduses vedelate biokütuste turu teenindamiseks on puitne biomass, mille üheks põhiliseks töötlemistehnoloogiaks on pürolüüs ja järeltöötlemine vesinikuga.**

**Alternatiivtehnoloogiaid – veeldatud vesinik ja ammoniaak – pole täna arendatud ja turuküpseks ei saa need enne kümnet aastat, misjärel kuluks 20-30 aastat enne, kui need avaldaksid märgatavat mõju laevandussektori kütusetarbimisele**

**Fossiilkütuste kasutamine laevanduses jääb tänasega võrreldavale tasemele vähemalt aastani 2030 ning tehnoloogilise ülemineku ajamahukust arvesse võttes ei vähene kõigi eelduste kohasel fossiilse vedelkütuse tarbimine drastiliselt ka aastaks 2040.**



## VKG võimalused ja riskid tulevalt globaalsest kliimaneutraalsuse ambitsioonist

Globaalse rohepöördega kaasnevad riskid VKG jaoks tulenevad nii nõudluse poolelt kui ka regulatiivsel tasandil, mis mõjutavad põlevkiviõli tootmisprotsessi konkurentsivõimet. Antud töö raames on teadlikult fookuses olnud VKG põhiturust – laevandusest tulenev. Siiski on ilmselt suurimaks keskpika perioodi riskiks ELi regulatsioonidest tulenev majanduslik mõju õlitootmise omahinnale. Nagu ülal kirjeldatud, siis selle riski maandamiseks on võimalikud lahendused tehnoloogilised, mis tänasel hetkel veel ei ole ettevõtte jaoks tasuvad. Seega on peamiseks riskiks tootmise poole pealt olukord, kus tootmise omahind – läbi rangemaks muutuva EL Heitkogustega Kauplemise Süsteemi (nn EU-ETS – *Emission Trading System*) regulatsiooni ja tõusva CO<sub>2</sub> kvoodi hinna – muutub märkimisväärselt kõrgemaks ja samas tehnoloogiate hinnad õlitootmise KHG emissiooni vähendamiseks ei lange piisava kiirusega. **Kiirele üleminekule väiksema KHG emissiooniga tootmisele aitaks kaasa riigi- ja ELi-poolsete toetusmeetmete fokuseerimine tööstussektori protsessihte vähendamiseks.**

Peamiseks tururiskiks on see, et laevandussektori nõudlus fossiilsete vedelkütuste järgi väheneb järsult. Lähtudes tänasest olukorrast laevakütuste turul, ei saa aga sellist arengut prognoosida ja pigem jätkub kesk- ja pikemas perspektiivis nõudlus fossiilsete laevakütuste järgi tänasel tasemel ning hakkab stabiilselt langema alates 2035. aastast. Kuigi ühelt poolt muutuvad laevad oma kütusetarbimise osas efektiivsemaks, siis teisalt prognoositakse märkimisväärset vedude mahu kasvu. Senikaua, kuni ei globaalselt ega ka regionaalselt pole rakendatud ühtegi turuinstrumenti, mis suunaks laevandussektorit vähendama KHG emissiooni, ei saa prognoosida alternatiivkütuste tarbimise kasvu fossiilsete vedelkütuste arvelt. Nii EL kui ka IMO tulevad lähiaastatel – vastavalt 2021 ja 2023 – välja oma ettepanekutega laevandussektoris KHG emissiooni vähendamiseks loodava poliitikaraamistiku osas. IMO rahvusvaheline ja ELi (ning potentsiaalselt teised) regionaalsed meetmed võivad kiirendada üleminekut KHG-neutraalsetele laevakütustele, kuid hetkel pole võimalik neid mõjusid hinnata. **Siiski kõigi eelduste kohaselt ei mõjutaks need meetmed VKG-d konkurentidega võrreldes rohkem.**

Lähtudes siiski rahvusvaheliselt kokku lepitud eesmärkidest laevanduse kliimajalajälje vähendamiseks, tekib prognoositav nõudlus süsinikuvabadele alternatiivsetele lahendustele. Kui keskpikas perspektiivis väljendub see esmalt nn otsekasutatavate biokütuste kasutamises olemasolevates laevades, siis tulevikus võivad dekarboniseeritud laevandussektoris olla kasutusel uued tehnoloogiad eelkõige ammoniaak) kombineerituna vedelate biokütustega. Vedelate biokütuste puhul nähakse aga, et ainuke võimalus laevanduse nõudluse rahuldamiseks on kasutada tahket biomassi – seda juhul kui on tagatud, et tooraine on säästlikult majandatud ja maakasutuse muutusest ei tulene tõusvaid KHG emissioone. Konkurentsiolekorrast on eelis neil tootjatel, kes suudavad õli toota võimalikult toorme tekkekoha läheduses ning omavad häid logistilisi ühendusi nii toorme transpordi kui ka lõpptoote turustamise vaates. Lisaks Eesti metsarikkusele ja sellest tulenevale puitse biomassi olemasolule on kaardistatud, et riigis tekib märkimisväärne kogus täna väärindamata lignotselluloosset biomassi ka kõrrelistest – seega on riigi tasandil olemas vajalik ressurss tahkest biomassist vedelkütuste tootmise võimaldamiseks. VKG omab head logistilist asukohta ning ligipääsu raudteed pidi laiale bioressursibaasile, lisaks toimivad olemasolevad ühendused ja tarneaahelad lõpptoote – vedelkütuse – transportimiseks sihtturule. Lignotselluloosist vedelkütuste tootmise üks võimalik tehnoloogia – pürolüüs – on VKG jaoks tuttav ning ilmselt ollakse vähemalt ELis üks suuremaid pürolüüsideadmete käitajaid. Seetõttu võiks VKG-l olla märkimisväärne konkurentsieelis selliste kütuste tootmisel.

Tasub siiski silmas pidada, et lignotselluloosist toodetud puiduõli eeldab toote hilisemat töötlemist, et viia kütuse veesisaldus normi piiresse ja vähendada hapnikuühendite osakaalu. Tänapäevaste teadmiste juures eeldab see aga kütuse vesiniktöötlust – kui seda teha rohelise vesinikuga, siis elektrolüüserite



kasutuselevõtt tähendab tänaste hindade juures märkimisväärset investeringut ja pikka tasuvusaega. Samas võib lahenduseks olla see, et esimeses faasis toimuks pürolüüsi-õli järeltöötlemine nn „halli vesinikuga“, mis on toodetud maagaasist. Kuigi täna ei ole täpselt teada, kuidas IMO- või regionaalsel tasandil potentsiaalselt rakendatavad instrumendid seda teemat käsitlevad, siis võib analoogi otsida ELi regulatsioonist mootorikütuste biokütuste osas<sup>9</sup>. Selle raames peab lõpptoode vastama teatud säästlikkuse kriteeriumitele (sealhulgas elutsükli KHG jalajäljele) ning kui miinimumnõuded on täidetud, saab kütuse põletamisel tekkivat KHG emissiooni arvestada nulliks. **Seega kõigi eelduste kohaselt saab pürolüüsitud õli töödelda ka „halli vesinikuga“ ilma, et kütuse definitsioon muutuks – see jääb ka selliselt töödelduna KHG neutraalseks.** Samas tekib „halli vesiniku“ tootmisel CO<sub>2</sub> heide ning ELi kliimapolitikast lähtuvalt võib sellisel viisil pürolüüsi-õli järeltöötlemine osutada riskantseks sammuks. Erinevalt vedelatest biokütustest ei saa „halli vesinikuga“ toodetud ammoniaaki või veeldatud vesinikku pidada nullheitega kütuseks, sest kogu kütuse põlemisenergia on saadud maagaasist.

Kui laevanduses saab valdavaks kütuseks dekarboniseerimisel ammoniaak, siis peab perioodil 2030-50 lisanduma maailmasse üle 300 uue ammoniaagi tehase. Kui selline drastiline nõudluse kasv realiseerub, siis tekitab see tugeva konkurentsi uute turule sisenejate vahel. Kindlasti soodustab globaalne turg just suurte tootmisüksuste tekkimist, mis mastaabiefekti tõttu suudavad konkurentsivõimelisemalt kütuseid toota.

Pidades silmas antud töö käigus kaardistatud võimalusi VKG KHG emissiooni vähendamiseks ning uute turusegmentide esile kerkimist keskpikas- ja pikas perspektiivis, siis ilmselge on see, et kõik teekaardid laevandussektori dekarboniseerimiseks eeldavad suuremahulise rohevesiniku kasutamist kütuste tootmisel. Kuigi täna on elektrolüüserite tehnoloogia äärmiselt kallis, mis muudab vesinikupõhiste lahenduste rakendamise ebamõistlikuks, siis eeldab ELi vesinikustrateegia, et tänaselt 900 EUR/kW hinnatasemelt jõutakse 2030. aastaks tasemele 450 EUR/kW ja 2040. aastaks tasemele 180 EUR/kW (European Commission 2020, 5). Elektrolüüserid moodustavad valdava enamiku vesiniku tootmise alginvesteeringust – kui hinnad aga langevad vastavalt ELi prognoosidele, siis muutub märkimisväärselt ka vesiniku tootmise kulutõhusus. **Lähemas perspektiivis eeldab aga vesinikutootmise arendamine riiklike või ELi toetusmeetmete olemasolu ning baasnõudluse olemasolu rohevesiniku baasil toodetud ammoniaagile ja/või vedelatele biokütustele.**

Maksimaalse efektiivsuse saavutamiseks oleks mõistlik rajada rohevesiniku tootmisüksus taastuvenergia tootmisüksuste lähedale, sest muidu muutub elektri ülekandeliinide rajamine elektrolüüseriteni suureks kulukomponendiks. Samas eeldab see väga suurte taastuvenergia üksuste rajamist, mis VKG geograafilist asukohta arvestades ei ole realistlik. Võttes arvesse regiooni keskmise maismaa tuuleenergia toodangu, siis tuleks selleks, et tänase õlitoodangu mahuga võrdväärse suurusjärgus ammoniaaki toota, rajada vähemalt 2550 MW tuuleenergia tootmisvõimsuseid. Päikseelektri baasil oleks vaja installeerida aga 8700 MW tootmisüksus. **Seega peaks VKG ammoniaagi tootmiseks vajaliku taastuvelektri tarnima üle elektrivõrgu.** Samas rakenduvad sarnased piirangud ka teiste regiooni ammoniaagi tootmisüksuste suhtes, sest logistiliselt sobivaid asukohti vesiniku/ammoniaagi tootmiseks, mille lähedusse on võimalik rajada ka suured taastuvelektri tootmisüksused, on Euroopa regioonis kõigi eelduste kohaselt üksikuid.

---

<sup>9</sup> Reguleeritud nii Taastuvenergia Direktiiviga (*Renewable Energy Directive*) kui ka Kütusekvaliteedi Direktiiviga (*Fuel Quality Directive*)

### Eesti Energia Liivi lahe tuulepark ja vesinikutootmine

Eesti Energia arendab Liivi lahes 1000 MW suurust meretuuleparki ning plaanib sinna juurde ka 60 000 tonnist vesinikutootmise üksust (Ots 2020). Uuemate meretuulikute puhul on keskmiseks võimsuskooormuseks 45-50% - ehk tuulikud toodavad poole aastast oma nominaalvõimsusega. Seega on tuulepargi aastane arvestatav toodang:  $0,5 \cdot 1000 \cdot 8760 = 4\,380$  GWh.

Vesiniku energiamahukus on 120 MJ/kg ehk 0,0334 MWh/kg, seega on 60 000 tonni vesiniku energiamahukus 2000 GWh. Sisuliselt on tegu ühe Petroteri õlitehase mahus energiakandja tootmisega (172 000 tonni põlevkiviõli = 2006 GWh). Kuna vesiniku tootmisel elektrolüüsi teel on efektiivsus 60-80% (Hydrogen Europe 2020), siis keskmiselt suudetakse 70% elektri energiakogusest talletada vesinikku.

Seetõttu kuluks sellise koguse vesiniku tootmiseks ca 2850 GWh elektrienergiat. Kui EE liigub välja hõigatud plaanidega edasi, siis tähendab see, et rajatav tuulepark teenindaks elektriturgu ainult kolmandikus oma toodetud energiast. Samas eeldab nii vesiniku kui ka tiputoodangule optimeeritud elektriliinide ülekandevõimsuste välja arendamine topeltinvesteeringut ja seda ei saa pidada majanduslikult mõistlikuks lahenduseks.

Rohelise ammoniaagi tootmise puhul on peamiseks tootmissisendiks vesinik, mis omakorda on toodetud taastuvelektrist ning seetõttu on kõige kulutõhusamad võimalused antud kütuse tootmiseks asukohtades, kus on head tuuleolud ja/või päikesepotentsiaal. Ka tuumaenergia võib siinkohal olla kulutõhus võimalus sisendelektrit vesiniku tootmiseks saada – EL liigub selles suunas, et tuumaelektrist toodetud vesinik defineerida rohevesinikuks (Taylor 2020). Seega sõltub ammoniaagi tootmise konkurentsipositsioon VKG-le sellest, mis on selleks kasutatava taastuvelektri omahind. Kuigi võib eeldada, et hea taastuvenegiapotentsiaaliga piirkondades on tootmise omahind parem, kuid siin tulevad siin mängu ka muud aspektid (regionaalne konkurentsipositsioon, toetava infrastruktuuri olemasolu jms).

Kuna järjest tähtsamaks muutuvad kasutatavate kütuste kogu elutsükli KHG emissioonid, siis raske on näha, et fossiilkütuste tootmisest tekkinud CO<sub>2</sub> ja muude jääkgaaside baasil toodetud kütuseid arvestataks tulevikus KHG-neutraalsete alternatiividega. Seega nii plastijäätmete pürolüüs, kui ka uttegaasist ja/või protsessis kinni püütud CO<sub>2</sub>-st toodetud metanool (ja/või muud vedelkütused) ei leia kõigi eelduste kohaselt nõudlust laevanduses kui KHG-neutraalne kütus. Seega peaks VKG selliste tehnoloogiate arendamisel nägema antud toodetele teisi lõppturge ja/või peaks toodetud kütus olema hinna osas konkurentsivõimeline fossiilsete vedelkütustega.

## Allikad

**Alberici, S., et al.**, 2017. *ECOFYS, Assessing the Potential of CO<sub>2</sub> Utilisation in the UK*. Kättesaadav: [[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/799293/SISUK17099AssessingCO<sub>2</sub>\\_utilisationUK\\_ReportFinal\\_260517v2\\_1\\_.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/799293/SISUK17099AssessingCO2_utilisationUK_ReportFinal_260517v2_1_.pdf)]. 22.11.2020

**British Petroleum (BP)**, 2020. *Statistical Review of World Energy 2020. 69th edition*. Kättesaadav: [<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-oil.pdf>]. 18.11.2020

**CONCAWE**, 2020. *Marine Fuel Facts*. Kättesaadav: [[https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2017/01/marine\\_factsheet\\_web.pdf](https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2017/01/marine_factsheet_web.pdf)] 18.11.2020

**Eesti Arengufond**, 2015. *Biometaani tootmine ja kasutamine transpordikütusena – väärtusahel ja rakendusettepanekud*. Kättesaadav: [[http://www.arengufond.ee/wp-content/uploads/2015/10/Eesti\\_Arengufond\\_Biometaani\\_tootmine\\_ja\\_kasutamine\\_transpordik%C3%BCtusena\\_-\\_v%C3%A4%C3%A4rtusahel\\_ja\\_rakendusettepanekud\\_2015.pdf](http://www.arengufond.ee/wp-content/uploads/2015/10/Eesti_Arengufond_Biometaani_tootmine_ja_kasutamine_transpordik%C3%BCtusena_-_v%C3%A4%C3%A4rtusahel_ja_rakendusettepanekud_2015.pdf)]. 23.11.2020

**European Commission**, 2018. *In-depth Analysis in Support of the Commission Communication COM(2018) 773*. Kättesaadav: [[https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com\\_2018\\_733\\_analysis\\_in\\_support\\_en\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf)]. 18.11.2020

**European Commission**, 2020. *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe*. Kättesaadav: [[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf)]. 19.11.2020

**European Commission**, 2020b. *First Innovation Fund call for large-scale projects: 311 applications for the EUR 1 billion EU funding for clean tech projects*. Kättesaadav: [[https://ec.europa.eu/clima/news/first-innovation-fund-call-large-scale-projects-311-applications-eur-1-billion-eu-funding-clean\\_en](https://ec.europa.eu/clima/news/first-innovation-fund-call-large-scale-projects-311-applications-eur-1-billion-eu-funding-clean_en)]. 21.11.2020

**Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**, 2019. *World fertilizer trends and outlook to 2022*. Kättesaadav: [<http://www.fao.org/3/ca6746en/CA6746EN.pdf?eloutlink=imf2fao>]. 18.11.2020

**Global Maritime Forum, 2020**. *The scale of investment needed to decarbonize international shipping*. Kättesaadav: [[https://www.globalmaritimeforum.org/content/2020/01/Getting-to-Zero-Coalition\\_Insight-brief\\_Scale-of-investment.pdf](https://www.globalmaritimeforum.org/content/2020/01/Getting-to-Zero-Coalition_Insight-brief_Scale-of-investment.pdf)]

**Hansson, J. et al**, 2020. Sustainability no 12, 3265. *The Potential Role of Ammonia as Marine Fuel—Based on Energy Systems Modeling and Multi-Criteria Decision Analysis*

**Hydrogen Europe**, 2020. *Electrolyzers*. Kättesaadav: [<https://hydrogeneurope.eu/electrolyzers>]. 21.11.2020

**IEA Bioenergy**, 2017. *Biofuels for the marine shipping sector*. Kättesaadav: [<https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/02/Marine-biofuel-report-final-Oct-2017.pdf>]. 18.11.2020

**Innovation for Cool Earth Forum (ICEF)**, 2017. *Carbon Dioxide Utilization (CO<sub>2</sub>U). ICEF Roadmap 2.0*. Kättesaadav: [[https://www.icef-forum.org/platform/upload/CO<sub>2</sub>U\\_Roadmap\\_ICEF2017.pdf](https://www.icef-forum.org/platform/upload/CO2U_Roadmap_ICEF2017.pdf)]. 21.11.2020

**Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**, 1992. *Climate Change: The IPCC 1990 and 1992 Assessments*. Kättesaadav: [<https://www.ipcc.ch/report/climate-change-the-ipcc-1990-and-1992-assessments/>]. 18.11.2020

**Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**, 2015. *Climate Change 2014 Synthesis Report*. Kättesaadav: [[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)]. 18.11.2020

**Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**, 2019. *Global warming of 1.5°C. Special Report*. Kättesaadav: [<https://www.ipcc.ch/sr15/>]. 18.11.2020

**International Association of Oil & Gas Producers (IOGP)**, 2019. *The potential for CCS and CCU in Europe*. Kättesaadav: [[https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/iogp\\_-\\_report\\_-\\_ccs\\_ccu.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/iogp_-_report_-_ccs_ccu.pdf)]. 21.11.2019.

**International Council on Clean Transportation (ICCT)**, 2011. Policy Update 15. *The Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships*. Kättesaadav: [[https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTpolicyupdate15\\_EEDI\\_final.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTpolicyupdate15_EEDI_final.pdf)]. 18.11.2020

**International Council on Clean Transportation (ICCT)**, 2020. Working Paper 2020-02. *The climate implications of using LNG as a marine fuel*. Kättesaadav: [<https://theicct.org/publications/climate-impacts-LNG-marine-fuel-2020>]. 18.11.2020

**International Council on Clean Transportation (ICCT)**, 2020b. Working Paper 2020-02. *The potential of liquid biofuels in reducing ship emissions*. Kättesaadav: [<https://theicct.org/publications/marine-biofuels-sept2020>]. 18.11.2020

**International Council on Clean Transportation (ICCT)**, 2017. *Greenhouse gas emissions from global shipping, 2013–2015*. Kättesaadav: [[https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-shipping-GHG-emissions-2013-2015\\_ICCT-Report\\_17102017\\_vF.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-shipping-GHG-emissions-2013-2015_ICCT-Report_17102017_vF.pdf)]. 18.11.2020

**International Energy Agency (IEA)**, 2019. *Putting CO2 to Use. Creating value from emissions*

**International Energy Agency (IEA)**, 2020. *World Energy Outlook 2020*

**International Energy Agency (IEA)**, 2020b. *Energy Technology Perspectives 2020*

**International Energy Agency (IEA)**, 2020c. *Energy Technology Perspectives 2020: Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage*

**International Maritime Organization (IMO)**, 2009. *Second IMO GHG Study 2009*.

**International Maritime Organization (IMO)**, 2015. *Third IMO GHG Study 2014 – Executive Summary and Final report*.

**International Maritime Organization (IMO)**, 2018. *Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*. Kättesaadav: [[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250\\_IMO%20submission\\_Talanoa%20Dialogue\\_April%202018.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250_IMO%20submission_Talanoa%20Dialogue_April%202018.pdf)]. 18.11.2020

**International Maritime Organization (IMO)**, 2020. *Fourth IMO GHG Study 2020 – Final report*.

**International Renewable Energy Agency (IRENA)**, 2019. *Navigating to a renewable future: Solutions for decarbonising shipping*, Preliminary findings.

**International Transport Forum, OECD (ITF&OECD)**, 2019. *Transport Outlook 2019*.

**Kajaste, R. et al**, 2018. *AIMS Energy*, 6(6): 1074–1102. *Methanol-Managing greenhouse gas emissions in the production chain by optimizing the resource base*

**Keskonnaagentuur**, 2019. *Puidubilanss Ülevaade puidukasutuse mahtudest 2017*. Kättesaadav: [[https://www.keskonnaagentuur.ee/sites/default/files/elfinder/article\\_files/puidubilanss\\_2017\\_0.pdf](https://www.keskonnaagentuur.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/puidubilanss_2017_0.pdf)]. 19.11.2020

**Lloyd's Register, University Maritime Advisory Services (Lloyd's Register&UMAS)**, 2020. *Zero-Emission Vessels 2030. How do we get there?*

**Masnadi, M. S. et al**, 2019. Science no. 361 (6405), *Global carbon intensity of crude oil production*.

**Offshore Energy**, 2020. *Mapping of zero-emission projects shows strong focus on hydrogen vessels*. Kättesaadav: [<https://www.offshore-energy.biz/mapping-of-zero-emission-projects-shows-strong-focus-on-hydrogen-vessels/>]. 18.11.2020

**Ots, J., M.**, 2020. Postimees. *EL tahab avameretuuleparkide mahtu 30 korda kasvatada*. Kättesaadav: [<https://leht.postimees.ee/7115061/el-tahab-avameretuuleparkide-mahtu-30-korda-kasvatada?>]. 21.11.2020

**Shell, 2020**. *Decarbonising Shipping: All Hands on Deck*. Kättesaadav: [[https://www.shell.com/promos/energy-and-innovation/decarbonising-shiping-all-hands-on-deck/\\_jcr\\_content.stream/1594141914406/b4878c899602611f78d36655ebff06307e49d0f8/decarb-onising-shiping-report.pdf](https://www.shell.com/promos/energy-and-innovation/decarbonising-shiping-all-hands-on-deck/_jcr_content.stream/1594141914406/b4878c899602611f78d36655ebff06307e49d0f8/decarb-onising-shiping-report.pdf)]. 18.11.2020

**Shell, 2020b**. *Decarbonising Shipping: Setting Shell's Course*. Kättesaadav: [[https://www.shell.com/promos/energy-and-innovation/decarbonising-shiping-setting-shells-course/\\_jcr\\_content.stream/1601385103966/709d83f692075a4f1880104fc5cc466168e8a26a/decarb-onising-shiping-setting-shells-course.pdf](https://www.shell.com/promos/energy-and-innovation/decarbonising-shiping-setting-shells-course/_jcr_content.stream/1601385103966/709d83f692075a4f1880104fc5cc466168e8a26a/decarb-onising-shiping-setting-shells-course.pdf)]. 19.11.2020

**Taylor, K.** 2020. Euractiv. *Hydrogen produced from nuclear will be considered 'low-carbon', EU official says*. Kättesaadav: [<https://www.euractiv.com/section/energy/news/hydrogen-produced-from-nuclear-will-be-considered-low-carbon-eu-official-says/>]. 19.11.2020

**The European Community Shipowners' Associations , The International Chamber of Shipping (ESCA&ICS)**, 2020. *Implications of application of the EU Emissions Trading System (ETS) to international shipping, and potential benefits of alternative Market-Based Measures (MBMs)*

**United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD)**, 2019. *Handbook of statistics 2019*. Kättesaadav: [[https://unctad.org/system/files/official-document/tdstat44\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/tdstat44_en.pdf)]. 18.11.2020

**United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD)**, 2020. *Review of Maritime Transport 2019*. Kättesaadav: [[https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2019\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2019_en.pdf)]. 18.11.2020

**University Maritime Advisory Services (UMAS)**, 2020. Ettekanne: *Aggregate investment for the decarbonisation of the shipping industry*

**Vilmi, L. et al**, 2019. Bank of Finland Bulletin. *The trade war has significantly weakened the global economy*. Kättesaadav: [<https://www.bofbulletin.fi/en/2019/4/the-trade-war-has-significantly-weakened-the-global-economy/>]. 18.11.2020