



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

EESTI MEREAKADEEMIA Merenduskeskus

Merenduskeskus

Ksenia Sirenko

HEITGAASIDE PUHASTUSSÜSTEEMID LAEVANDUSES

Lõputöö

Juhendaja: dotsent Arvo Käär

Tallinn 2020

Olen koostanud töö iseseisvalt.

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

Ksenia Sirenko

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 166001VDSR

Üliõpilase e-posti aadress: ksenia.sirenko@mail.com

Juhendaja dotsent Arvo Käär:

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

ANNOTATSIOON.....	5
LÜHENDITE JA TERMINITE LOETELU	6
SISSEJUHATUS	7
1 LAEVANDUSES KASUTATAVAD LAEVAKÜTUSELIIGID	10
1.1 Põlevkiviõli.....	12
1.1.1 Põlevkiviõli tootmine ning tootmismeetodid	13
2 LAEVAKÜTUSTE PÕLEMISEL ERALDUVAD SAASTEAINED	15
3 LAEVAKÜTUSTELE JA HEITGAASIDELE ESITATAVAD NÕUDED	17
4 SKRUUBER PUHASTUSSÜSTEEMID.....	20
4.1 Märj skruuber.....	20
4.2 Avatud skruuber	21
4.3 Suletud skruuber	22
4.4 Hübriid tehnoloogia.....	23
4.5 Kuiv skruuber	23
4.6 Skruuberitest tekkivad jäätmed ja reovesi/heitvesi	23
5 VALIKULINE HEITGAASIDE KATALÜÜTILINE REDUTSEERIMINE	27
6 METOODILINE OSA.....	28
6.1 Saasteaine heitkoguse arvutuslik määramine	28
6.2 Tegeliku süsinikuheite ja välisõhku väljutatava süsinikdioksiidi heite arvutamine	29
7 LAEVAKÜTUSTE PÕLETAMISEL TEKKIVATE SAASTEAINETE KOGUSED	30
8 LAEVAKÜTUSTE PÕLETAMISTEL MOODUSTUVAD SÜSINIKDIOKSIIDI HEITE KOGUSED.....	39

9 HEITKOGUSTE ARVUTUSE ANALÜÜS	42
KOKKUVÕTE	45
SUMMARY.....	47
VIIDATUD ALLIKAD.....	48
Lisa 1. Avatud skruuberi tööskeem	54
Lisa 2. Suletud skruuberi tööskeem.....	55
Lisa 3. Suletud skruuberi tahkete jäätmete sisaldus	56
Lisa 4. Suletud skruuberi reovee sisaldus.....	57
Lisa 5. Riigid ja sadamad, mis keelavad skruuberite reovett merre pumpamist	58
Lisa 6. Selgitus heitgaasipuhastussüsteemide kasutamise kohta Eesti merealadel	65
Lisa 7. Energeetikas tekkiva CO ₂ -heite arvutamise näide.....	66

ANNOTATSIOON

Lõputöö pealkiri: „Heitgaasi puhastussüsteemid laevanduses“.

Lõputöö eesmärgiks on uurida erinevate võimsustega laevade peamootoritest eralduvate saasteainete emissioone välisõhku ning sõltuvalt peamootorite võimsustest analüüsida võimalusi heitgaaside vähendamiseks.

Lõputöös püstitatud probleemiks on saasteainete emissioonide vähendamine skruuberite kaasabil ning hinnangu andmine skruuberi vee (so skruuberi vees lahustunud saasteainete) juhtimisel merre. Veekaitse üldiseks eesmärgiks on saavutada mereala hea keskkonnaseisund. Mereala keskkonnaseisund on mereala keskkonna üldine seisund, mille määramisel võetakse arvesse sellesse merealasse kuuluvate mereökosüsteemide struktuuri, funktsiooni ja protsesse koos looduslike geomorfoloogiliste, geograafiliste, bioloogiliste, geoloogiliste ja kliimaatiliste teguritega, samuti füüsikalisi, akustilisi ja keemilisi tingimusi, sealhulgas neid, mis tulenevad inimtegevusest merealal või sellest väljaspool.

Antud töö koosneb kahest osast. Esimene osa on teoreetiline osa, milles kirjeldatakse laevade kütuseid ja nende põlemisel eralduvad saasteaineid, tutvustatakse olemasolevaid merendusasutusi ja heitgaaside vähendamise kaasaegsed meetmed. Teine on praktiline osa, selles osas olid teostatud laevade heitkoguste uurimine.

Autori poolt olid teostatud arvutused laeva mootori eralduvaid saasteainete koguste määratlemiseks.

Võtmesõnad: heitgaasid, heitkogused, skruuber, vääveloksiid, lämmastikoksiid, tahked osakesed, dioksiinid, furaanid.

LÜHENDITE JA TERMINITE LOETELU

API gravity - *American Petroleum Institute gravity* Ameerika naftainstituuti tihedus

BC - *Black carbon* Must süsinik

CO₂ - Süsinikdioksiid

DW – *Deadweight* Laeva täielik kandevõim

ECA - *Emission Control Area* Heite kontrollpiirkond

IMO - *International Maritime Organization* Rahvusvahelise Mereorganisatsioon

LNG - *Liquefied Natural Gas* Veeldatud maagaas

LPG - *Liquefied Petroleum Gas* Veeldatud naftagaas

MARPOL - *International Convention for the Prevention of Pollution From Ships*
Rahvusvaheline laevade põhjustatava merereostuse vältimise konventsioon

MDO - *Marine Diesel Oil* Laeva diislikütus

MEPC - *Marine Environment Protection Committee* Merekeskkonna kaitse komitee

MGO - *Marine Gas Oil* Destilleeritud diiseli

NMVOC - *Non-methane volatile organic compound* Mittemetaansed orgaanilised lenduvad ühendid

NO_x - Lämmastikoksiidid NO₂ ja NO₃

PAH - *Polycyclic aromatic hydrocarbons* Polütsüklilised aromaatsed süsivesinikud

PCDD - *Polychlorinated dibenzodioxins* Polüklooritud dibensodioksiinid

PCDF - *Polychlorinated dibenzofurans* Polüklooritud dibensofuraanid

pH - *Potential of hydrogen* Vesinikueksponent

PM - *Particular Matter* Tahked osakesed

Skruuber (*Scrubber*) - Heitgaaside puhastussüsteem

SOLAS - *International Convention for the Safety of Life at Sea* Rahvusvaheline konventsioon inimeste ohutusest merel

SO_x - Vääveloksiidid SO₂ ja SO₃

SISSEJUHATUS

Sammud laevade saasteainete heitkoguste vähendamiseks välisõhku astus Rahvusvahelise Mereorganisatsioon (IMO) 1980ndate lõpus, tuginedes teadusuuringutele ja rõhutades vajadust piirata laevade õhusaastet. (IMO, 2020)

Laevade heitgaasides sisalduvad keemilised ühendid avaldavad mõju Maa atmosfäärile, inimesele ja elusloodusele (so otsene ja kaudne mõju). Teaduslikud uuringud kinnitavad, et transpordi alal (so liikuvad saasteallikad) tuleks saasteainete heitkogustele tähelepanu pöörata samal määral kui maismaal asuvatele paiksetele saasteallikatele. (Embarkment, 2009) Kuna erinevate keskkonnaalaste tehnoloogiate kasutamine on komplitseeritud (näiteks õhuheite muundumine vee reostuseks), siis tuleb komplekselt lahendada keskkonnaalaseid probleeme. Laevade poolt põhjustatud merereostuse vältimiseks muudeti 1978. aasta MARPOL protokolliga laevade kasvuhoonegaaside heitkoguste kontroll kohustuslikuks. (IMO, 2020)

IMO ettepanekutega (MARPOL'i VI lisa) on keskkonnaalaselte rangemate nõuete jaoks kehtestatud Euroopa Liidu direktiiv 2012/33/EU (väävlidirektiiv): laevakütuste keskkonnaohutuse tagamine väävli osakeste heitkoguste vähendamiseks heitgaasides. (Ibid, 2020) Laeva heitgaasides saasteainete vähendamise meetmed olid varem soovituslikud, siis nüüd on nad muutunud kohustuslikuks. Laevaomaniku seisukohast tähendab see lisakulusid saasteainete heitkoguste vähendamise näol (sh heitvee juhtimisel merre); olemasolevate laevade diiselmootorite ning sinna juurde kuuluva varustuse laialdast modifitseerimist kuni olemasoleva diiselmootori täielikule asendamisele uue keskkonnasõbraliku diiselmootoriga. Laevaomanik peab arvestama ka merekeskkonna kaitset käsitlevate IMO ja EL õigusaktide uute nõuetega. Kuna laevakütuste põlemisel emiteeruvate kasvuhoonegaaside heitkogused suurendavad üldist õhusaastet, siis laevakütuste kvaliteedile on kehtestatud ranged nõuded. Õhusaaste tehnoloogilistel vähendamistel peab arvestama ka veekeskkonna reostusega ning jäätmete tekkega. Keskkonnaalaste probleemide komplekse lahendamise eesmärgiks on tagada vee, õhu ja pinnase kaitse ning minimiseerida jäätmete teket, et vähendada saastatuse/reostuse transformatsiooni ühest keskkonnaelemendist teise. Veetranspordis on samuti kohustus kasutada/juurutada parimat võimalikku tehnikat jälgides saasteainete heidete piirväärtusi, et lahendada keskkonnaalaseid probleeme komplekselt.

Saasteainete intensiivse emissiooni tõttu välisõhku kaasnevad kliimamuutused on päevakajaline ja oluline globaalne teema. Kasvuhooneefekt on suurele osale elusorganismidele eluks hädavajalik nähtus, sest ilma kasvuhoonegaasideta atmosfääris oleks Maa keskmine temperatuur ligi 32°C külmem praegusest. Probleem tekib siis, kui inimtegevuse käigus lendub atmosfääri liiga palju kasvuhoonegaase, mis põhjustabki temperatuuri tõusu. Selles, et kliima soojenemisele aitab kaasa inimtegevus, kahtlevad vähesed. Riikidel on ühiselt vaja leida parim lahendus, kuidas majandada merd ja mereäärseid alasid nii, et see ühelt poolt suurendaks riikide jõukust ja looks töökohti, teisalt aga tagaks, et merekeskkond elukeskkonnana oleks hoitud.

Paljusid tehnoloogiaid võib pidada põhimõtteliselt sobivaks heite vältimisteks või (kui see ei ole võimalik) vähendamiseks, et minimeerida või vältida antropogeenset mõju keskkonnale. Parim võimalik tehnika on kõige mõjusam ja tõhusam viis, mille abil on võimalik kõrgetasemeliselt keskkonda kaitsta. Näiteks laevakütuste väävlisisalduse (2101/33EL, 2016) vähendamine aitab minimeerida SO₂ heidet välisõhku, kuid majanduslikel kaalutlustel edendatakse ka erinevate heite vähendamistehnoloogiate katsetamist ja arendamist.

Skruuber-tehnoloogia on alles katsetusfaasis. Skruuber-tehnoloogia on kasutusel umbes 100 laeval. Sellest tulenevalt puuduvad andmed pikaajalise skruuber-tehnoloogia eksploatatsiooni kohta. Skruuber-tehnoloogia toimiva lahenduse korral on tasuvusaeg lühike. Skruuber-tehnoloogia, sh kütuste põletamisel teiste heitgaaside vähendamise tehnoloogiate kasutamine sõltub ujuvvahendite peamootorite võimsustest. Skruuber-tehnoloogia kasutamisel pole tegemist parima kaasaegse tehnoloogia kasutamisega vaid erinevate tehnoloogiliste lahenduste optimeerimisega.

Lõputöö eesmärkideks olid:

- analüüsida erinevate kütustega ja võimsustega laevade peamootoritest eralduvate saasteainete emissioone välisõhku;
- sõltuvalt peamootorite võimsustest võrrelda tehnoloogilisi võimalusi heitgaasides saasteainete vähendamiseks;
- anda kompleksne keskkonnaalane hinnang erinevat tüüpi skruuber-tehnoloogiatele ning
- anda hinnang heitgaaside puhastamistehnoloogiate universaalsusele.

Lõputöös püstitatud probleemiks on saasteainete emissioonide vähendamine skruuberite kaasabil ning hinnangu andmine skruuberi vee (so skruuberi vees lahustunud saasteainete/reoainete) juhtimisel merre. Veekaitse üldiseks eesmärgiks on saavutada mereala hea keskkonnaseisund. Mereala keskkonnaseisund on mereala keskkonna üldine seisund, mille määramisel võetakse arvesse sellesse merealasse kuuluvate mereökosüsteemide struktuuri, funktsiooni ja protsesse koos looduslike geomorfoloogiliste, geograafiliste, bioloogiliste, geoloogiliste ja kliimatiliste teguritega, samuti füüsikalisi, akustilisi ja keemilisi tingimusi, sealhulgas neid, mis tulenevad inimtegevusest merealal või sellest väljaspool.

Erinevate laevakütuste kasutamisel välisõhu emiteeruvate saasteainete koguste arvutamiseks puudub ühene ja ühtne riiklikult tunnustatud meetodika. Selleks kasutati põletusseadmetest välisõhku väljutatud saasteainete heitkoguste määramise ametlikult kinnitatud arvutuslikku meetodikat (keskkonnaministri määrus nr 59 ja 86).

Andmete kogumiseks kasutati internetis olevad artikleid ja kodulehekülgi, seadusi ning raamatud. Uurimisobjekt on piiritletud laevakütuste põlemistel tekkivates heitgaasides saasteainete vähendamise võimalustest skruuber-tehnoloogiaga ning skruuberi vee mõjust merekeskkonnale.

Antud töö koosneb kahest osast. Esimene osa on teoreetiline osa, milles kirjeldatakse laevade kütuseid ning nende põlemisel eralduvad saasteaineid ning heitgaasides saasteainete vähendamise kaasaegsed meetmeid/tehnoloogiaid. Teine on praktiline osa, selles osas viidi läbi laevakütuste põlemisel tekkivate saasteainete heitkoguste analüüs. Autori poolt olid teostatud arvutused laeva mootoritest eralduvate saasteainete koguste määratlemiseks.

1 LAEVANDUSES KASUTATAVAD

LAEVAKÜTUSELIIGID

Laevakütust võib jagada kahte kategooriasse: tavapärased ja alternatiivsed kütused. Tavapärastelt jagatakse laevakütused kahte kategooriasse: destilleeritud kütused / kerged (vedel) kütused (Distillated Fuel) ja jääkkütused/ rasked (vedel) kütused (Residual Oil). Alternatiivsete kütustena võib nimetada vedeldatud maagaasi (LNG – Liquified Natural Gas), veeldatud naftagaasi (LPG - Liquified Petroleum Gas), metanooli või biomassist toodetuid kütuseid. (Punab, 2003)

Laevamootorid põletavad iga päev tonne kütust, et liikuma panna raskesti koormatud laevu. On teada, et need mootorid kasutavad laeva töökulude vähendamiseks madala kvaliteediga kütteõli, kuna kütuse maksumus on 30-50% laeva kogukuludest. Kahjuks (või õnneks) ei ole alati võimalik kasutada madala kvaliteediga kütuseid (näiteks rasket kütteõli või HFO-d) heitgaasi kontrolli aladel mida nimetatakse ka ECA-deks. MGO on sellistel puhkudel üks silmapaistvamalt kasutatav puhas kütus. Laevade pidevalt muutuva tehnoloogiaga muutub kiiresti ka laevamootorite käitamiseks kasutatav kütus. Viimasel ajal nähakse vedeldatud maagaasi ehk LNG-d laevanduse tulevase kütusena. Paraku ei ole kogu tööstus selle muudatusega veel kohanenud ja seega on destilleeritud diisel ehk MGO endiselt üks eelistatumaid laevadel kasutatavaid puhast kütust. (Wankhede, 2019) Rahvusvaheline Mereorganisatsioon ehk IMO 2016. aasta sügisel algatas kogu maailma tsiviillaevastiku ülemineku 2020. aasta jaanuarist laevakütuse kasutamisele, mille väävlisisaldus on 0,5% varasema 3,5% asemel. (Prevention of Air Pollution, 2020)

Raske laevakütus (HFO - *Heavy Fuel Oil*) koosneb nafta töötlemise (destilleerimise ja/või krakkimise) jääkidest, millesse ei ole segatud destillaate.

Raske laevakütus (IFO - *Intermediate Fuel Oil*) koosneb destillaatidega kokku segatud destilleerimisjääkidest.

Laeva diislikütus (MDO - *Marine Diesel Oil*) on segatud destilleerimisjääkidega kerge laevakütus, peab sisaldama vähemalt 50% destillaate.

Kerge laevakütus (MGO - *Marine Gas Oil*) koosneb 100% destillaatidest.

Veeldatud naftagaas (LPG - *Liquefied Petroleum Gas*) koosneb propaanist, isobutaanist, butaanist.

Veeldatud maagaas (LNG - *Liquified Natural Gas*) koosneb metaanist, etaanist, propaanist, butaanist ja lämmastikust.

(Punab, 2003)

Kõik eelmainitud laevakütused põlemisel eralduvad järgmisi saasteaineid:

NO_x; CO; CO₂; NMVOC; SO₂; PM_{sum}; PM₁₀; PM_{2,5}; BC; Pb; Cd; Hg; As; Cr; Cu; Ni, Se; Zn; PCDD; PCDF; benso(a)-püreen; benso(b)-püreen; benso(b)-fluoranteen; benso(k)-fluoranteen; indeno(1,2,3-cd)püreen.

(Riigiteataja, 2020)

1.1 Põlevkiviõli

Samuti laevanduses kasutatakse põlevkiviõli. See on põlevkivi termilisel töötlemisel tekkiv vedelkütus. Põlevkivi koosneb omavahel tihedalt seotud orgaanilisest (umbes 35%) ja anorgaanilisest osast (umbes 65%). Orgaaniline osa, millest saadakse termilise töötlemise teel põlevkiviõli, koosneb peamiselt kerogeenist (üle 95%) ning sisaldab järgmisi peamisi elemente (reastatult sisalduse kahanemise järgi): süsinik, hapnik, vesinik, väävel, kloor, lämmastik. (Tang, Kõrgmaa, Lavrentjev, 2015)

Põlevkiviõli moodustavaid süsivesinikke võib klassifitseerida umbes 20% alkaanidena, 20% aromaatsena, 25% aromaatsena ja 35% olefiinide ja naftenidena. Seevastu tüüpiline toornafta sisaldaks umbes 15% alkaane, 50% aromaatsena ja 35% naftene, milles pole peaaegu üldse olefiine ega vaiku.

Erinevate töötlemismeetodite abil toodetud põlevkiviõlides on suurim erinevus keemistemperatuuri jaotuses. Kuumutamise kiirus, temperatuuritase ja toote kõrge temperatuuriga kokkupuute kestus mõjutavad toote tüüpi ja saagikust.

Erinevate asukohtade põlevkiviõlide omadused on toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 1). (Guo, 2009)

Tabel 1. Erinevatest kohtadest pärit põlevkiviõlide omadused

Asukoht	Tihedus (API gravity)	Elementaaranalüüs (massiprotsent %)				
		C	H	O	N	S
Colorado, USA	0.943 (18.6)	84.90	11.50	0.80	2.19	0.61
Ida-Virumaa (kukersiit), Eesti	1.010	82.85	9.20	6.79	0.30	0.86
Stuart, Austraalia		82.70	12.40	3.34	0.91	0.65
Rundle, Austraalia	0.636 (0.91)	79.50	11.50	7.60	0.99	0.41
Irati, Brasiilia	0.919 (22.5)	84.30	12.00	1.96	1.06	0.86
Maoming, Hiina	0.903	84.82	11.40	2.20	1.10	0.48
Fushun, Hiina	0.912	85.39	12.09	0.71	1.27	0.54

Allikas: Guo, 2009 (kohaldatud autori poolt)

1.1.1 Põlevkiviõli tootmine ning tootmismeetodid

Käesoleval ajal kasutatakse põlevkiviõli tootmisel Eestis kahte meetodit:

- gaasilise soojuskandja (GSKm) meetod;
- tahke soojuskandja (TSKm) meetod.

Gaasilise soojuskandja meetodi (GSK) korral kasutatakse rikastatud tükkpõlevkivi. GSK meetodil põlevkivist õli tootes saadakse kõrval produktina madala kütteväärtusega (3-4 MJ/Nm³) generaatorgaas, mida teatud aegadel kasutati põlevkivigaasi tootmise kamberahjude kütusena.

(Sikk, Rebane 2017)

Tahke soojuskandja (TSK) meetod annab võimaluse kasutada peeneteralist põlevkivi (kaasa arvatud tolm), mis tekib põlevkivi kaevandamisel. Põlevkivi töödeldakse termiliselt ja saadakse õlisaadused ja kõrge kalorsusega gaas (kütteväärtusega kuni 50 MJ/m³). Saadud tooteid kasutatakse puhaste kõrgekvaliteediliste energiakandjatena. Hinnalisemad keemilised koostisosad on täiendavaks toormebaasiks keemiatööstusele. (Ibid, 2017)

Põlemisel eraldub põlevkiviõli järgmised saasteained:

NO_x; CO; CO₂; NMVOC; SO₂; PM_{sum}; PM₁₀; PM_{2,5}; BC; Pb; Cd; Hg; As; Cr; Cu; Ni, Se; Zn; PCDD/PCDF; benso(a)-püreen; benso(b)-püreen; benso(b)-fluoranteen; benso(k)-fluoranteen; indeno(1,2,3-cd)püreen; heksaklorobenseen (HCB) ja raskemetallid.

(Riigiteataja, 2020)

2 LAEVAKÜTUSTE PÕLEMISEL ERALDUVAD SAASTEAINED

Laevandus tekitab märkimisväärses koguses heitkoguseid. Laevad eraldavad kütuse põlemisel vääveldioksiide (SO_x), lämmastikoksiide (NO_x), süsinikdioksiidi (CO₂), musta süsiniku(BC) ja palju teisi saasteaineid. Laevade mootori heitgaasid tavaliselt sisaldavad 95% vääveldioksiidi (SO₂) ja 5% vääveltrioksiidi (SO₃). (World Shipping Council, 2020)

CO₂ - põhjustab kliima soojenemist ja kasvuhoone efekti. Inimesel võib tekkida unisus, peavalu, suurenenud vere happesus. (Хан, 2019)

NO_x - põhjustab ka kliima soojenemist, veekogude eutrofeerumist ning loodusliku metaani kontsentratsiooni vähenemist välisõhus. Sellega kaasnevad hapevihmad võivad inimestel tekitada bronhiiti ja astmat. (Сармулдинов, 2013)

SO_x - põhjustab hapevihmade tekkimist ja veekogude hapestumist. Tekkinud sudu võib samuti inimestel esile kutsuda bronhiiti ja astmat. (Queensland Government, 2017)

PM (tahked osakesed) - põhjustavad aerosoolide moodustamist ja soojuskiirguse peegeldust. Inimesel võib tekitada südame-veresoonkonna, hingamisteede- ja vähihaigusi. (Всемирная организация здравоохранения, 2018)

BC (Must süsinik) - põhjustab atmosfääri soojenemist, vähenenud lume peegeldusvõimet (albedo) ja pilvereostust. Inimesel põhjustab hingamisteede ja südame-veresoonkonna haiguste esinemist, samuti enneaegse surma. (Всемирный фонд дикой природы, 2013)

RM (Raske metall) - vähendab mulla viljakust ning põhjustab mere elanike mürgistust. Inimesel kahjustab kesknärvisüsteemi, maksa, neerusid, nahka, luid ja hambaid. (Suik, 2014)

C_nH_m (Lenduvad orgaanilised ühendid) - reageerimisel lämmastikoksiididega põhjustab kliimamuutuseid. Inimesel pikaajaline kokkupuude võib põhjustada maksa-, neeru- ja kesknärvisüsteemi kahjustusi. Lühiajaline kokkupuude võib põhjustada silmade ja hingamisteede ärritust, peavalu, pearinglust, nägemishäireid, väsimust, koordinatsioonihäireid, allergilisi nahareaktsioone, iiveldust ja mälu kahjustusi. (Sotsiaalministeerium, 2020)

PCB (Polüklooritud bifeniüülid) - põhjustavad veekogude saastumist ja selle elanike mürgistust. Inimesel tekivad maksakahjustused, neuroloogilised häired, nõrkus, kaalukaotus. (Hariduskeskus, 2020)

PCDD/PCDF (Polüklooritud dibenso-p-dioksiinid ja dibensofuraanid) - inimesel võivad tekkida pahaloomulised kasvaja, arenguhäired laste hammaste emailil, kilpnäärme haigused, kahjustused immuunsüsteemis, diabeet. (Всемирная организация здравоохранения, 2016)

Benso(a)püreen; benso(b)fluoranteen; benso(k)fluoranteen - inimesel võib mõjutada hingamiselundkonda, seedeelundkonda, nahka, silmi ja põhjustada muud liiki vähki. (Roadmap, 2018)

HCB (Heksaklorobenseen) - põhjustab kilpnäärme haiguseid, juuste kaotust, madalat tähelepanuulatust, mäluprobleeme. (Рокед, 2015, 35)

3 LAEVAKÜTUSTELE JA HEITGAASIDELE ESITATAVAD NÕUDED

Meretranspordis on Rahvusvaheline Mereorganisatsioon (IMO) kõige olulisem organisatsioon, mis määrab kõik merel olemisega seotud küsimused. (IMO, 2020)

Tähtsamad kehtivad konventsioonid:

- Rahvusvaheline konventsioon inimeste ohutusest merel (SOLAS 1974),
- Rahvusvahelise laevakokkupõrgete vältimise eeskirja konventsioon (COLREG 1972),
- Rahvusvaheline laevade põhjustatava merereostuse vältimise konventsioon (MARPOL 1978),
- Rahvusvaheline mereotsingute ja –pääste konventsioon (SAR 1979),
- Meremeeste väljaõppe, diplomeerimise ja vahiteenistuse aluste rahvusvaheline konventsioon (STCW 1978).

(Veeteedeamet, 2020)

MARPOL 73/78 (Rahvusvaheline laevade põhjustatava merereostuse vältimise konventsioon) on kõige kaalukam regulatsioon, mis on kehtestatud IMO rahvusvahelise konventsiooniga merereostuse vältimiseks laevadelt. Laevadelt lähtuvate kahjulike saastete, sh. atmosfäärisaaste heitkoguste, milleks on vääveloksiid (SO_x) ja lämmastikoksiid (NO_x), piirnorme ning nende rakendamise tingimusi reguleeritakse IMO Merekeskkonnakaitse Komitee erinevate otsuste kaudu.

(Riigiteataja, 2020)

MARPOL sisaldab ka kuut dokumenti, mis kajastavad laevade poolt tekitatavaid merereostuse vorme:

Lisa I „Nafta reostuse vältimine“ (jõustus 02.10.1983);

Lisa II „Reostuse vältimine vedelate kahjulike ainete mahtveol“ (jõustus 02.10.1983);

Lisa III „Reostuse vältimine ohtlike ainete veol laevadel pakitult“ (jõustus 01.7.1992);

Lisa IV „Laevade reovetest põhjustatud reostuse vältimine“ (jõustus 27.10.2003);

Lisa V „Laevade prügist põhjustatud reostuse vältimine“ (jõustus 31.12.1988);

Lisa VI „Õhureostuse vältimine laevadelt“ (jõustus 19.05.2005, täiendatud versioon SO_x ja NO_x uute standardite kohta jõustus 01.07.2010).

(Ibid, 2020)

Üks oluliseim IMO dokumentidest on laevade põhjustatud merereostuse vältimise konventsiooni (MARPOL), VI lisa, mis reguleerib laevade atmosfääri saastamist. Eriti mootori heitgaaside tagajärjel.

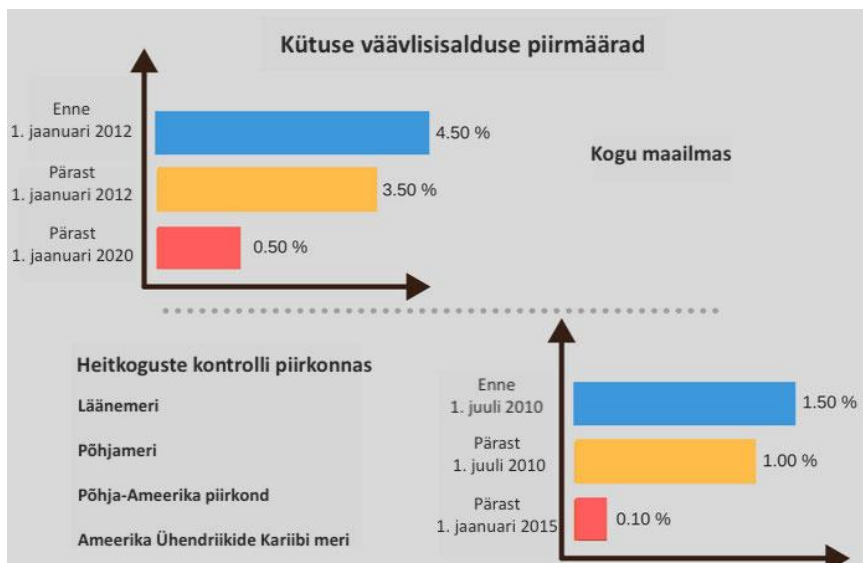
Peamised muudatused MARPOLi VI lisas on SO_x, NO_x ja tahkete osakeste heitkoguste ülemaailmne vähendamine ning heitkoguste kontrolli piirkonna (ECA- Emission Control Area) kehtestamine, et veelgi vähendada nende õhusaasteainete heitkoguseid teatavates merepiirkondades.

Kooskõlas MARPOLi muudetud VI lisaga vähendati üldist väävlisisalduse piirmäära 3,50% -lt 0,50% -le alates 1. jaanuarist 2020 ja heitkoguste kontrolli piirkonnas SO_x ja PM kogus ei tohi ületada 0.10% alates 1. jaanuarist 2015. (IMO, 2020)

Alljärgneval joonisel (Joonis 1) on näidatud kütuse väävlisisalduse piirmäärad.

ECA- Emission Control Area ehk heitkoguste kontrolli piirkond on mereala, kus on nõutav eriliste kohustuslike meetmete rakendamine. Seda selleks, et vältida, vähendada ja kontrollida õhusaastet NO_x või SO_x ja tahkete osakestega (PM) ning nendega kaasnevaid kahjulikke mõjusid inimeste tervisele ja keskkonnale.

(IMO, 2020)



Joonis 1. Kütuse väävlisisalduse piirmäärad

Allikas: Jassal, 2017 (kohaldatud autori poolt)

Vastavalt MARPOL lisa VI regulatsioonis 13 sisalduvaid NO_x heitkoguste piirnorme kohaldatakse kõikidele diiselmootoriga laevadele, mille võimsus on üle 130 kW.

(IMO, 2020)

Erinevad kontrollastmed sõltuvad laeva ehitamise kuupäevast ja konkreetse astme piires määratakse tegelik piirväärtus mootori nimikiiruse põhjal (Tabel 2):

Tabel 2. NO_x heite piirmäärad

Astme	Laeva ehitamise kuupäev	Tsükli kaalutud koguheitte piirväärtus (g/kWh)		
		n = mootori nimikiirus (p/min)		
		n < 130 (p/min)	130 < n < 2000 (p/min)	n ≥ 200 (p/min)
I	1 jaanuar 2000	17,0 g/kWh	45,0*n ^(-0,2) g/kWh	9,8 g/kWh
II	1 jaanuar 2011	14,4 g/kWh	44,0*n ^(-0,2) g/kWh	7,7 g/kWh
III	1 jaanuar 2016	3,4 g/kWh	9,0*n ^(-0,2) g/kWh	2,0 g/kWh

Allikas: IMO, 2020 (kohaldatud autori poolt)

4 SKRUUBER PUHASTUSSÜSTEEMID

Skruuber (ingl. k. *Scrubber*) on seade, mis paigaldatakse heitgaasisüsteemi mootorile või katlale, eesmärgiga eemaldada suurem osa SO_x heitgaasidest ja vähendada tahkete osakeste (PM) sisaldust. See töötleb heitgaase paljude ainetega, mille hulka võivad kuuluda merevesi, keemiliselt töödeldud magevesi või kuivained.

Täna on kasutusel kaks tehnoloogiat: kuiv ja märg. Ülekaalukalt enam kasutatakse märgi skruubersüsteeme. Märja süsteemi puhul on kolm alternatiivi: avatud skruuber (ingl. k. *open loop*), suletud skruuber (ingl. k. *close loop*) ja hübriid (ingl.k. *hybrid scrubbers*), mis võib töötada kas suletud või avatud režiimis. (Sethi, 2020)

4.1 Märg skruuber

Heitgaas läbib vedelat keskkonda, kus keemilisel reageerimisel pesuvedelikus sisalduvate teatud ühenditega, eemaldatakse heitgaasist SO_x. Kõige sagedamini kasutatavad vedelikud on töötlemata merevesi ja keemiliselt töödeldud magevesi. Pesuvedelik, mida nimetatakse ka pesuveeks, peab üldiselt sisaldama kõrget naatriumkloriidi sisaldust, et SO_x seoks sooladega ja eemalduks heitgaasist.

Märjas skruuberis vääveldioksiid lahustub vees, mille käigus ilmub väävelhape (H₂SO₃), mis omakorda lahustub bisulfitiks (HSO₃²⁻) ja sulfitiks (SO₃²⁻).

Seejärel oksüdeerivad need hapnikku sisaldavas merevees täiendavalt sulfaadiks (SO₄²⁻) ja vesinikioonideks (H⁺).

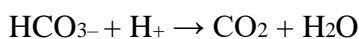
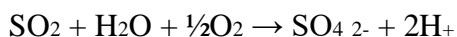
(Sethi, 2020)

4.2 Avatud skruuber

Avatud skruuberis kasutatakse heitgaasis oleva SO_x pesemiseks merevett, mis on olemuselt aluseline. Need skruuberid pumpavad sisse merevee ja pärast kasutamist viskavad selle tagasi merre. Vääveldioksiidide hulk sõltub vee aluselisusest. Antud skruuberi põhimõte on jahutada heitgaasi temperatuuri ümbritseva keskkonna lähedale. Seejärel kondenseeruvad süsivesinikud heitgaasis olevatel tahmaosakestel ja jäävad äravooluvees.

Peale antud protsessi teostatakse puhastus äravooluveele, mille käigus eraldatakse osa saastet. Antud tahket setet hoiustatakse laeval kuni jõutakse ohtlike jäätmete vastuvõtu punkti. Pesuvett ei retsirkuleerita. Avatud süsteem võib olla ebapiisav, kui merevee leeliselisus on liiga madal. Mõni jõevesi on „kõva” vesi ja seetõttu on sellel märkimisväärne leeliselisus, mis on mõnikord isegi kõrgem kui merevesi, nii et antud süsteem võib mõnes sadama- ja jõe piirkonnas tõhusalt töötada. Avatud süsteemi puhul on väga suur vee kulu võrreldes suletud süsteemi puhul. Põhjuseks on vee madal leelisus. Sellest lähtudes kulub protsessi efektiivsuse jaoks rohkem vett. Avatud süsteemid vajavad töötamiseks suuremat elektrilist koormust suuremate pesuvee voogude tõttu. Positiivne on näha, et võrreldes suletud ahela süsteemiga pole keemilisi lisandeid vaja. Võrreldes suletud süsteemiga avatud süsteemi tööskem (Lisa 1) on lihtsam. (Sethi, 2020).

Keemiline reaktsioon süsteemis:



(Ibid, 2020)

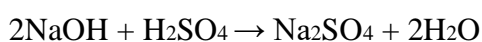
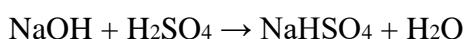
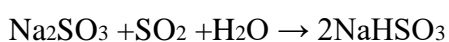
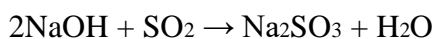
4.3 Suletud skruuber

Suletud süsteemi puhul taaskasutatakse pesuvett pidevalt sõltumata mis vetes laev liigub. Seda selleks, et säiliks puhastuse efektiivsus. Vee vastava leelisuse tagamiseks lisatakse naatriumhüdroksiidi (NaOH), harvemini magneesiumoksiidi (MgO). Samuti on võimalik kasutada merevee elektrolüüsi.

Pesuvesi võib sõltuvalt skruuberi konstruktsioonist olla mage või soolane. Suletud süsteemid vajavad töötamiseks väiksemat elektrilist koormust väiksemate pesuvee voogude tõttu. Suletud skruuberid vajavad rohkem tanke kui avatud skruuberid. Puhastusvee tsirkulatsioonisüsteemis on vaja protsessi- või puhvermahutit ning hoidmispaaki (suurus sõltub laeva nõuetest) ning naatriumhüdroksiidi jaoks on vaja laadimisvõimalusi, hoiumahuteid ja doseerimisvahendeid.

Antud süsteemis läheb pesurist väljuv räpane pesuvesi protsessi- või tsirkulatsioonipaaki, tagades vajaliku veekoguse ning täiendades veetaseme ja leeliselisuse kadusid. Piiratud koguses pesemist protsessimahuti põhjast (kuhu on kogunenud jäägid) ekstraheeritakse madala imemisega. Seejärel liigub see edasi separaatorisse, kust jäägid eemaldatakse. Nende protsesside käigus juhitakse puhastatud vesi kas laeva pardale või hoiupaaki, sõltuvalt laeva asukohast ja kohalikest eeskirjadest. Pesuveest eemaldatud jääkmuda suunatakse jäätmete / muda mahutisse, et kõrvaldada see kaldal. Töötlemispaaki lisatakse puhastusvett, et asendada puhastusprotsessis kaotatud, eemale juhitud ning aurustumise läbi kaotatud vesi. Doseerimisseade lisab pesuveele tagasi kaustilist sooda, mille kogus varieerub sõltuvalt vee leelisusvajadusest. Enne korpusesse uuesti süstimist läbib pesuvesi jahuti. Pump tsirkuleerib pesuvee protsessimahutist tagasi puhastusseadmesse. Suletud skruuberi tööskeem (Lisa 2) on keerulisem, kui avatud skruuberil. (Sethi, 2020)

Keemiline reaktsioon süsteemis:



(Ibid, 2020)

4.4 Hübriid tehnoloogia

Hübriid skruuberid (ingl. k. *hybrid scrubber*) võivad töötada nii avatud kui ka suletud režiimis.

Mõlema süsteemi eeliste kasutamiseks on mõeldud välja hübriidsüsteem. Seda saab kasutada avatud süsteemina ookeanis ja suletud süsteemina madala leeliselisusega veealal. Üleminek avatud režiimist suletud režiimile toimub tsirkulatsioonipumba imamise üleviimisega mereveest tsirkulatsioonipaaki ja pesuvee väljalaske muutumisega üle parda tühjendusest tsirkulatsioonipaaki.

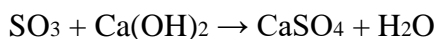
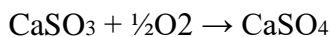
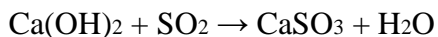
Tänapäeval on kõige populaarsem lahendus hübriid skruuberid. Neile järgnevad avatud süsteemid. Hübriid süsteem on eelistatav võimalus, kuna saab töötada mõlematel režiimidel, olles samal ajal keeruline. (Sethi, 2020)

4.5 Kuiv skruuber

Kuiv skruuber (ingl. k. *dry scrubber*) ei kasuta puhastusprotsessis vett ega vedelikku, vaid kasutab väävlühendite eemaldamiseks kuiva reagenti - kaltsiumhüdrosiid. Kuiv skruuberi kasutatakse laialdaselt maismaatööstuses. Kuiv süsteem võimsusega 20 MW kaalub 211 tonni, võrreldes samaväärse märg süsteemiga, mis kaalub umbes 10 tonni. Samuti kuiv skruuber vajab rohkem ruumi kuna granuleeritud kaltsiumhüdrosiidi jaoks on vaja suuri mahuteid. Tänapäeval on kuiv skruuberite kättesaadavus väga piiratud, võrreldes märg skruuberitega.

(Sethi, 2020)

Keemiline reaktsioon süsteemis:



(Ibid, 2020)

4.6 Skruuberitest tekkivad jäätmed ja reovesi/heitvesi

Skruuberites tekkivate jäätmete kvalitatiivne ja kvantitatiivne koostis sõltub kütuste heitgaasides sisalduvatest keemilistest ühenditest. Heitgaasides moodustuvad keemilised ühendid on sõltuvuses kasutatavast kütusest ning kütuste põlemistingimustest. Skruuberites moodustuvad tahked osakesed võivad sisaldada erinevate metallide oksiide ja sulfaate, BC (must süsinik), erinevaid orgaanilisi ühendeid, sh polüaromaatseid süsivesinikke, aldehüüde, alkaane, alkeene, mittepõlenud kütuste jääke ning kütuste koosseisus mittepõlevaid keemilisi ühendeid. Märja puhastussüsteemiga skruuberi üheks probleemiks on reovee töötlemine. Kui skruuberis tekkiva reovee puhastamine pole kontrollitav, siis võib skruuberi heitvee juhtimisel merre akumuleeruda põhjasettesse märkimisväärne kogus ohtlikke jäätmeid. Näiteks suhteliselt suurel kruisilaeval (3600 reisijat) võib ühe nädala jooksul suletud ja avatud skruuberites tekkida jäätmeid/setteid vastavalt 12 ja 0,5 tonni. (Merta, Hänninen, Laine-Ylijoki, 2016)

Tabelites (Lisa 3 ; Lisa 4) on esitatud suletud skruuberist pärit tahkete osakeste ja reovee omadused.

IMO MEPC juhised kehtestavad reovee piirväärtused pesuvee äraviskamisel kuid ei sisalda geograafilisi piiranguid. Kui piirväärtused on täidetud, võimaldavad need heitgaaside puhastussüsteemidel töötada pesuvee merre laskmisel ilma täiendavate piiranguteta. Need ei viita avatud ega suletud režiimidele. Juhtseadised kehtivad kõigi märg skruuberite jaoks.

Reovett lubatakse merre lasta vastavalt MEPC.259(68) juhendis sätestatud kontrollile. Jäätmejääkide setted tekivad pesuvee konditsioneerimisel saasteainete eemaldamiseks ja vastavad MEPC.259(68) pesuvee väljalaske piirmääradele. Muda on saasteaine ja seda ei saa merre lasta. See tuleb viia vastavasse jäätmete vastuvõtukohta, et neid keskkonnahoidlikult töödelda ja kõrvaldada. IMO MEPC.259(68) järgi pesuvee merre juhtimisel ei tohi pesuvee pH ületada väärtust 6.5 ($\text{pH} \leq 6,5$).

(IMO,2020)

Tabelis (Tabel 3) on toodud skruuberite veekeskkonna, tekkinud jäätmete ja nende käitlemise võrdlused.

Samal ajal mõned jurisdiktsioonid on kehtestanud kohalikud eeskirjad, mis piiravad või keelavad nende veekogudes pesuvee juhtimise puhastitest. Seda loetelu (Lisa 5) ei tohiks siiski pidada tingimata täielikuks ja see on üksnes soovituslik, märkides eriti, et kohalikke seadusi võib muuta lühikese etteteatamisega. Seetõttu on oluline, et laevameeskond jälgiks tähelepanelikult praegust olukorda ja võtaks enne saabumist alati ühendust kohaliku esindajaga. See peaks hõlmama värskema olukorra kinnituse saamist seoses skruuberite käitamisega seotud kõigi kohaldatavate nõuetega ja nende kasutamiseks vajalike lubade saamist asjaomastelt kohalikelt omavalitsustelt. Eesti Veeteede Ameti ringkiri nr 4 (Lisa 6) sätestab reovee merre pumpamise üksikasjalikud nõuded, sealhulgas vajaduse sadama eelneva loa saamiseks juhul, kui pesuvesi lastakse sadamaaladele. (Brittania P&I, 2020)

Tabel 3. Skruuberite tüübid ja tehnoloogiad

Puhastussüsteem	Puhastuskeskkond	Tekkinud jäätmed ja nende käitlemine pardal
Avatud skruuber (ingl. k. <i>open loop scrubber</i>)	Töötlemata merevesi; loodusliku leeliselisuse (vesinikkarbonaat, HCO_3^-) kasutamine neutraliseeriva ainaena.	Pesuvesi: lahjendatakse mereveega nõutud pH taseme saavutamiseks ja juhatakse merre. Tahked jäätmed: ladustatakse mahutites.
Suletud skruuber (ingl. k. <i>close loop scrubber</i>)	Magevesi koos lisanditega, tavaliselt NaOH, et moodustada Na_2SO_4 skruuberis. Samuti on kasutatakse MgO. Annustamine sõltub kütuse väävlisisaldusest.	Pesuvesi: töödeldakse mehaanilis-keemilise protsessis ja suunatakse tagasi skruuberisse. Heitvesi juhatakse merre või hoitakse tankis. Tahked jäätmed: ladustatakse mahutites.
Hübriid skruuber (ingl. k. <i>hybrid scrubber</i>)	Vt ülalpool, olenevalt töörežiimist.	Vt ülalpool, olenevalt töörežiimist.
Kuiv skruuber (ingl. k. <i>dry scrubber</i>)	Kaltsiumhüdroksiid graanulites.	Tahked jäätmed: ladustatakse mahutites ja pärast viiakse vastavasse jäätmete vastuvõtukohta.

Allikas: Merta, Hänninen, Laine-Ylijoki, 2016 (kohaldatud autori poolt)

5 VALIKULINE HEITGAASIDE KATALÜÜTILINE REDUTSEERIMINE

Valikuline katalüütiline redutseerimine (SCR) – spetsiaalne katalüsaator, mille puhul ammoniaak reageerib NO_x-ga. Selle tulemusel tekib kahjutu lämmastik ja veeaur. SCR nõuab ammoniaagi allikat, milleks tavaliselt on karbamiidilahus. Seda hoitakse spetsiaalses mahutis, mida tuleb teatud ajavahemike järel täita.

(Gieseke, Gerbrandy, 2016)

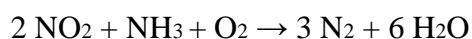
SCR on kasutatud erinevatel alustel ning erinevaid kütuseid kasutatavatel mootoritel. Seda nii madala kui ka kõrge väävlisisaldusega kütuste puhul.

Praegu rakendatakse palju SCR-i moderniseerimistel. Ehk siis kohaldataks olemasolevatele mootoritele järeltöötlussüsteemi.

(Air Clim, 2014)

Valikuline katalüütiline redutseerimine sobib kasutamiseks koos kuiva skruuber süsteemiga, kuna SCR nõuab töötamiseks kuuma (300°C) heitgaasi.

Keemiline reaktsioon süsteemis:



(Jurgens, 2013.)

6 METOODILINE OSA

Arvutamiseks kasutati põletusseadmetest välisõhku väljutatud saasteainete heitkoguste määramise ametlikult kinnitatud arvutuslikku meetodikat (keskkonnaministri määrus nr 59 ja 86).

6.1 Saasteaine heitkoguse arvutuslik määramine

Saasteaine hetkeline heitkogus arvutatakse järgmiselt:

1) leitakse saasteaine eriheide q_i ;

2) arvutatakse heiteallikast väljutatava i -nda saasteaine hetkeline heitkogus M_{pi} , lähtudes põletusseadme nimisoojusvõimsusest, kasutades järgmist valemit:

$M_{pi} = 10^{-3} \times P \times q_i$, g/s, (raskmetallide korral mg/s), kus

P – põletusseadme nimisoojusvõimsus sisse antava kütusekoguse põhjal, MWth;

q_i – i -nda saasteaine eriheide, g/GJ (raskmetallide korral mg/GJ).

Vääveldioksiidi hetkeline heitkogus M_{pSO_2} tahke kütuse ja vedelkütuse põletamisel arvutatakse kütuse väävlisisaldusest lähtudes, kasutades järgmist valemit:

$M_{pSO_2} = 20 \times P \times S_r \times (1-\eta) / Q_{ri}$, g/s, kus

P – põletusseadme nimisoojusvõimsus sisse antava kütusekoguse põhjal, MWth;

S_r – väävlisisaldus kütuse tarbimisaines, massiprotsent;

η – väävliärastusseadmest väljutatava või põlemisseadmes kütuse tuhaga seotava väävli suhteline hulk;

Q_{ri} – kütuse alumine kütteväärtus, MJ/kg.

(Riigiteataja, 2020)

6.2 Tegelik süsinikuheite ja välisõhku väljutatava süsinikdioksiidi heite arvutamine

Korrutades kütuse või massibilansiga hõlmatud sisendvoo või väljundvoo tegeliku süsinikukoguse sama kütuse või massibilansiga hõlmatud sisendvoo või väljundvoo oksüdatsiooniteguriga, arvutatakse tegelik süsinikuheide (M_c) gigagrammides (GgC), kasutades järgmist valemit:

$$M_c = 10^{-3} \times B_1 \times q_c \times K_c, \text{ kus}$$

B_1 – kütusekulu või massibilansiga hõlmatud sisendvoo või väljundvoo kogus, TJ;

q_c – süsiniku eriheide, tC/TJ;

K_c – oksüdatsioonitegur.

Kütuse põletamisel välisõhku väljutatav või massibilansiga hõlmatud sisendvoo või väljundvoo CO₂-heide (M_{CO_2}) arvutatakse gigagrammides ($GgCO_2$), kasutades järgmist valemit:

$$M_{CO_2} = M_c \times 3,664, \text{ kus}$$

M_c – kütuse või massibilansiga hõlmatud sisendvoo või väljundvoo süsinikuheide, GgC .

Standardmeetodi korral leitakse kütuse välisõhku väljutatav CO₂-heide, summeerides kõigist põletatud kütuseliikidest väljutatud CO₂-heited.

(Riigiteataja, 2020)

7 LAEVAKÜTUSTE PÕLETAMISEL TEKKIVATE SAASTEAINETE KOGUSED

Valitud meetoodika põhjal antud peatükis autori poolt olid teostatud arvutused. Eesmärgiks on näidata kui palju saasteainet eraldavad laevad erinevate mootori võimsustega. Arvutamiseks olid võetud järgmiste võimsustega laevad: 1,3 MW; 2,2 MW; 5,7 MW; 7,35 MW; 24,5 MW; 40,6 MW; 96 MW.

Arvutustes on võetud laevamootori maksimaalne töö režiim. Alljärgnevas tabelis (Tabel 4) on väljatoodud laevakütuste saasteaine eriheite kogus.

Tabeli 4 põhjal olid teostatud arvutused. Tulemused on alljärgnevates tabelites (Tabel 5; Tabel 6; Tabel 7; Tabel 8; Tabel 9; Tabel 10; Tabel 11). Nende tabelites on vaadeldud erinevate laeva peamootorite võimsustel tekkivate saasteainete emissioone välisõhku.

Tabel 4. Laevakütuste saasteaine eriheite kogus

Saasteaine	Maagaasi saasteaine eriheide (q)	Vedelkütuste saasteaine eriheide (q)	Põlevkiviöli saasteaine eriheide (q)	Saasteaine eriheite ühik
Lämmastikoksiid (NO _x)	42,8	111	50	g/GJ
Süsinikoksiid (CO)	30	42	4	g/GJ
Mittemetaansed orgaanilised lenduvad ühendid (NMVOC)	2	5	2	g/GJ
Vääveldioksiid (SO ₂)	0,51	Arvutatakse massi% alusel	Arvutatakse massi% alusel	g/GJ
Osakesed (PM _{sum})	0,45	40	50	g/GJ
Peenosakesed (PM ₁₀)	0,45	6	10	g/GJ
Eriti peened osakesed (PM _{2,5})	0,45	6	10	g/GJ
Must süsinik (BC) ei märgita paikse heiteallika käitaja keskkonnakaitseloale	5,4	0	300	% PM _{2,5} -st
Plii (Pb)	0,0015	10	10	mg/GJ
Kaadmium (Cd)	0,00025	0,3	1	mg/GJ
Elavhõbe (Hg)	0,1	0,1	2	mg/GJ
Arseen (As)	0,12	44,5	3	mg/GJ
Kroom (Cr)	0,00076	20	5	mg/GJ
Vask (Cu)	0,00076	6	10	mg/GJ
Nikkel (Ni)	0,00051	200	5	mg/GJ
Seleen (Se)	0,011	0	0	mg/GJ
Tsink (Zn)	0,015	5	100	mg/GJ
Vanaadium (V)	0	0	5	mg/GJ
Polüklooritud dibenso- pdioksiinid ja dibensofuraanid (PCDD/PCDF)	0,5	10	0,001	ng/GJ
Benso(a)püreen	0,56	1	3,5	µg/GJ
Benso(b)fluoranteen	0,84	1	5	µg/GJ
Benso(k)fluoranteen	0,84	1	2,5	µg/GJ
Indeo(1,2,3-cd)püreen	0,84	1	3	µg/GJ
Heksaklorobenseen (HCB)	0	0	0,6	µg/GJ

Allikas: Riigiteataja, 2020 (kohaldatud autori poolt)

Tabel 5. Tekkivate saasteainete heitkogused 1,3 MW laeva peamootori võimsusel

Saasteaine	Hetkeline heitkogus			Ühik
	Maagaas	Vedelkütus	Põlevkiviõli	
Lämmastikoksiid (NO _x)	0,05564	0,1443	0,065	g/s
Süsinikoksiid (CO)	0,039	0,0546	0,0052	g/s
Mittemetaansed orgaanilised lenduvad ühendid (NMVOC)	0,0026	0,0065	0,0026	g/s
Vääveldioksiid (SO ₂)	0,000663	0,3148	0,6933	g/s
Osakesed (Pmsum)	0,000585	0,052	0,065	g/s
Peenosakesed (PM ₁₀)	0,000585	0,0078	0,013	g/s
Eriti peened osakesed (PM _{2,5})	0,000585	0,0078	0,013	g/s
Must süsinik (BC) ei märgita paikse heiteallika käitaja keskkonnakaitseloale	0,00702	0	0,39	mg/s
Plii (Pb)	1,95*10 ⁻⁶	0,013	0,013	mg/s
Kaadmium (Cd)	3,25*10 ⁻⁷	0,00039	0,0013	mg/s
Elavhõbe (Hg)	0,00013	0,00013	0,0026	mg/s
Arseen (As)	0,000156	0,05785	0,0039	mg/s
Kroom (Cr)	9,88*10 ⁻⁷	0,026	0,0065	mg/s
Vask (Cu)	9,88*10 ⁻⁷	0,0078	0,013	mg/s
Nikkel (Ni)	6,63*10 ⁻⁷	0,26	0,0065	mg/s
Seleen (Se)	0,0000143	0	0	mg/s
Tsink (Zn)	0,0000195	0,0065	0,13	mg/s
Vanaadium (V)	0	0	0,0065	mg/s
Polüklooritud dibenso-pdioksiinid ja dibensofuraanid (PCDD/PCDF)	0,00065	0,013	0,0000013	ng/s
Benso(a)püreen	0,000728	0,0013	0,00455	µg/s
Benso(b)fluoranteen	0,001092	0,0013	0,0065	µg/s
Benso(k)fluoranteen	0,001092	0,0013	0,00325	µg/s
Indeo(1,2,3-cd)püreen	0,001092	0,0013	0,0039	µg/s
Heksaklorobenseen (HCB)	0	0	0,00078	µg/s

Allikas: Autori koostatud

Tabel 6. Tekkivate saasteainete heitkogused 2,2 MW laeva peamootori võimsusel

Saasteaine	Hetkeline heitkogus			Ühik
	Maagaas	Vedelkütus	Põlevkiviõli	
Lämmastikoksiid (NO _x)	0,09416	0,2442	0,11	g/s
Süsinikoksiid (CO)	0,066	0,0924	0,0088	g/s
Mittemetaansed orgaanilised lenduvad ühendid (NMVOC)	0,0044	0,011	0,0044	g/s
Vääveldioksiid (SO ₂)	0,001122	0,5327	1,1733	g/s
Osakesed (Pmsum)	0,00099	0,088	0,11	g/s
Peenosakesed (PM ₁₀)	0,00099	0,0132	0,022	g/s
Eriti peened osakesed (PM _{2,5})	0,00099	0,0132	0,022	g/s
Must süsinik (BC) ei märgita paikse heiteallika käitaja keskkonnakaitseloale	0,01188	0	0,66	mg/s
Plii (Pb)	3,3*10 ⁻⁶	0,022	0,022	mg/s
Kaadmium (Cd)	5,5*10 ⁻⁷	0,00066	0,0022	mg/s
Elavhõbe (Hg)	0,00022	0,00022	0,0044	mg/s
Arseen (As)	0,000264	0,0979	0,0066	mg/s
Kroom (Cr)	1,67*10 ⁻⁶	0,044	0,011	mg/s
Vask (Cu)	1,67*10 ⁻⁶	0,0132	0,022	mg/s
Nikkel (Ni)	1,12*10 ⁻⁶	0,44	0,011	mg/s
Seleen (Se)	2,42*10 ⁻⁵	0	0	mg/s
Tsink (Zn)	0,000033	0,011	0,22	mg/s
Vanaadium (V)	0	0	0,011	mg/s
Polüklooritud dibenso-pdioksiinid ja dibensofuraanid (PCDD/PCDF)	0,0011	0,022	0,0000022	ng/s
Benso(a)püreen	0,001232	0,0022	0,0077	µg/s
Benso(b)fluoranteen	0,001848	0,0022	0,011	µg/s
Benso(k)fluoranteen	0,001848	0,0022	0,0055	µg/s
Indeo(1,2,3-cd)püreen	0,001848	0,0022	0,0066	µg/s
Heksaklorobenseen (HCB)	0	0	0,00132	µg/s

Allikas: Autori koostatud

Tabel 7. Tekkivate saasteainete heitkogused 5,7 MW laeva peamootori võimsusel

Saasteaine	Hetkeline heitkogus			Ühik
	Maagaas	Vedelkütus	Põlevkiviõli	
Lämmastikoksiid (NO _x)	0,24396	0,6327	0,285	g/s
Süsinikoksiid (CO)	0,171	0,2394	0,0228	g/s
Mittemetaansed orgaanilised lenduvad ühendid (NMVOC)	0,0114	0,0285	0,0114	g/s
Vääveldioksiid (SO ₂)	0,002907	1,3801	3,0400	g/s
Osakesed (Pmsum)	0,002565	0,228	0,285	g/s
Peenosakesed (PM ₁₀)	0,002565	0,0342	0,057	g/s
Eriti peened osakesed (PM _{2,5})	0,002565	0,0342	0,057	g/s
Must süsinik (BC) ei märgita paikse heiteallika käitaja keskkonnakaitseloale	0,030780	0	1,71	mg/s
Plii (Pb)	8,55*10 ⁻⁶	0,057	0,057	mg/s
Kaadmium (Cd)	1,43*10 ⁻⁶	0,00171	0,0057	mg/s
Elavhõbe (Hg)	0,00057	0,00057	0,0114	mg/s
Arseen (As)	0,000684	0,25365	0,0171	mg/s
Kroom (Cr)	4,33*10 ⁻⁶	0,114	0,0285	mg/s
Vask (Cu)	4,33*10 ⁻⁶	0,0342	0,057	mg/s
Nikkel (Ni)	2,91*10 ⁻⁶	1,14	0,0285	mg/s
Seleen (Se)	6,27*10 ⁻⁵	0	0	mg/s
Tsink (Zn)	8,55*10 ⁻⁵	0,0285	0,57	mg/s
Vanaadium (V)	0	0	0,0285	mg/s
Polüklooritud dibenso-pdioksiinid ja dibensofuraanid (PCDD/PCDF)	0,00285	0,057	0,0000057	ng/s
Benso(a)püreen	0,003192	0,0057	0,01995	µg/s
Benso(b)fluoranteen	0,004788	0,0057	0,0285	µg/s
Benso(k)fluoranteen	0,004788	0,0057	0,01425	µg/s
Indeo(1,2,3-cd)püreen	0,004788	0,0057	0,0171	µg/s
Heksaklorobenseen (HCB)	0	0	0,00342	µg/s

Allikas: Autori koostatud

Tabel 8. Tekkivate saasteainete heitkogused 7,35 MW laeva peamootori võimsusel

Saasteaine	Hetkeline heitkogus			Ühik
	Maagaas	Vedelkütus	Põlevkiviõli	
Lämmastikoksiid (NO _x)	0,31458	0,81585	0,3675	g/s
Süsinikoksiid (CO)	0,2205	0,3087	0,0294	g/s
Mittemetaansed orgaanilised lenduvad ühendid (NMVOC)	0,0147	0,03675	0,0147	g/s
Vääveldioksiid (SO ₂)	0,003749	1,7797	3,9200	g/s
Osakesed (PM _{sum})	0,003308	0,294	0,3675	g/s
Peenosakesed (PM ₁₀)	0,003308	0,0441	0,0735	g/s
Eriti peened osakesed (PM _{2,5})	0,003308	0,0441	0,0735	g/s
Must süsinik (BC) ei märgita paikse heiteallika käitaja keskkonnakaitseloale	0,03969	0	2,205	mg/s
Plii (Pb)	1,1*10 ⁻⁵	0,0735	0,0735	mg/s
Kaadmium (Cd)	1,84*10 ⁻⁶	0,002205	0,00735	mg/s
Elavhõbe (Hg)	0,000735	0,000735	0,0147	mg/s
Arseen (As)	0,000882	0,327075	0,02205	mg/s
Kroom (Cr)	5,59*10 ⁻⁶	0,147	0,03675	mg/s
Vask (Cu)	5,59*10 ⁻⁶	0,0441	0,0735	mg/s
Nikkel (Ni)	3,75*10 ⁻⁶	1,47	0,03675	mg/s
Seleen (Se)	8,09*10 ⁻⁵	0	0	mg/s
Tsink (Zn)	0,00011	0,03675	0,735	mg/s
Vanaadium (V)	0	0	0,03675	mg/s
Polüklooritud dibenso-pdioksiinid ja dibensofuraanid (PCDD/PCDF)	0,003675	0,0735	7,35*10 ⁻⁶	ng/s
Benso(a)püreen	0,004116	0,00735	0,025725	µg/s
Benso(b)fluoranteen	0,006174	0,00735	0,03675	µg/s
Benso(k)fluoranteen	0,006174	0,00735	0,018375	µg/s
Indeo(1,2,3-cd)püreen	0,006174	0,00735	0,02205	µg/s
Heksaklorobenseen (HCB)	0	0	0,00441	µg/s

Allikas: Autori koostatud

Tabel 9. Tekkivate saasteainete heitkogused 24,5 MW laeva peamootori võimsusel

Saasteaine	Hetkeline heitkogus			Ühik
	Maagaas	Vedelkütus	Põlevkiviõli	
Lämmastikoksiid (NO _x)	1,0486	2,7195	1,225	g/s
Süsinikoksiid (CO)	0,735	1,029	0,098	g/s
Mittemetaansed orgaanilised lenduvad ühendid (NMVOC)	0,049	0,1225	0,049	g/s
Vääveldioksiid (SO ₂)	0,012495	5,9322	13,0667	g/s
Osakesed (PM _{sum})	0,011025	0,98	1,225	g/s
Peenosakesed (PM ₁₀)	0,011025	0,147	0,245	g/s
Eriti peened osakesed (PM _{2,5})	0,011025	0,147	0,245	g/s
Must süsinik (BC) ei märgita paikse heiteallika käitaja keskkonnakaitseloale	0,1323	0	7,35	mg/s
Plii (Pb)	3,68*10 ⁻⁵	0,245	0,245	mg/s
Kaadmium (Cd)	6,13*10 ⁻⁶	0,00735	0,0245	mg/s
Elavhõbe (Hg)	0,00245	0,00245	0,049	mg/s
Arseen (As)	0,00294	1,09025	0,0735	mg/s
Kroom (Cr)	1,86*10 ⁻⁵	0,49	0,1225	mg/s
Vask (Cu)	1,86*10 ⁻⁵	0,147	0,245	mg/s
Nikkel (Ni)	1,25*10 ⁻⁵	4,9	0,1225	mg/s
Seleen (Se)	0,00027	0	0	mg/s
Tsink (Zn)	0,000368	0,1225	2,45	mg/s
Vanaadium (V)	0	0	0,1225	mg/s
Polüklooritud dibenso-pdioksiinid ja dibensofuraanid (PCDD/PCDF)	0,01225	0,245	2,45*10 ⁻⁵	ng/s
Benso(a)püreen	0,01372	0,0245	0,08575	µg/s
Benso(b)fluoranteen	0,02058	0,0245	0,1225	µg/s
Benso(k)fluoranteen	0,02058	0,0245	0,06125	µg/s
Indeo(1,2,3-cd)püreen	0,02058	0,0245	0,0735	µg/s
Heksaklorobenseen (HCB)	0	0	0,0147	µg/s

Allikas: Autori koostatud

Tabel 10. Tekkivate saasteainete heitkogused 40,6 MW laeva peamootori võimsusel

Saasteaine	Hetkeline heitkogus			Ühik
	Maagaas	Vedelkütus	Põlevkiviõli	
Lämmastikoksiid (NO _x)	1,73768	4,5066	2,03	g/s
Süsinikoksiid (CO)	1,218	1,7052	0,1624	g/s
Mittemetaansed orgaanilised lenduvad ühendid (NMVOC)	0,0812	0,203	0,0812	g/s
Vääveldioksiid (SO ₂)	0,020706	9,8305	21,6533	g/s
Osakesed (PM _{sum})	0,01827	1,624	2,03	g/s
Peenosakesed (PM ₁₀)	0,01827	0,2436	0,406	g/s
Eriti peened osakesed (PM _{2,5})	0,01827	0,2436	0,406	g/s
Must süsinik (BC) ei märgita paikse heiteallika käitaja keskkonnakaitseloale	0,21924	0	12,18	mg/s
Plii (Pb)	6,09*10 ⁻⁵	0,406	0,406	mg/s
Kaadmium (Cd)	1,02*10 ⁻⁵	0,01218	0,0406	mg/s
Elavhõbe (Hg)	0,00406	0,00406	0,0812	mg/s
Arseen (As)	0,004872	1,8067	0,1218	mg/s
Kroom (Cr)	3,09*10 ⁻⁵	0,812	0,203	mg/s
Vask (Cu)	3,09*10 ⁻⁰⁵	0,2436	0,406	mg/s
Nikkel (Ni)	2,07*10 ⁻⁵	8,12	0,203	mg/s
Seleen (Se)	0,000447	0	0	mg/s
Tsink (Zn)	0,000609	0,203	4,06	mg/s
Vanaadium (V)	0	0	0,203	mg/s
Polüklooritud dibenso-pdioksiinid ja dibensofuraanid (PCDD/PCDF)	0,0203	0,406	4,06*10 ⁻⁵	ng/s
Benso(a)püreen	0,022736	0,0406	0,1421	µg/s
Benso(b)fluoranteen	0,034104	0,0406	0,203	µg/s
Benso(k)fluoranteen	0,034104	0,0406	0,1015	µg/s
Indeo(1,2,3-cd)püreen	0,034104	0,0406	0,1218	µg/s
Heksaklorobenseen (HCB)	0	0	0,02436	µg/s

Allikas: Autori koostatud

Tabel 11. Tekkivate saasteainete heitkogused 96 MW laeva peamootori võimsusel

Saasteaine	Hetkeline heitkogus			Ühik
	Maagaas	Vedelkütus	Põlevkiviõli	
Lämmastikoksiid (NO _x)	4,1088	10,656	4,8	g/s
Süsinikoksiid (CO)	2,88	4,032	0,384	g/s
Mittemetaansed orgaanilised lenduvad ühendid (NMVOC)	0,192	0,48	0,192	g/s
Vääveldioksiid (SO ₂)	0,04896	23,2445	51,2000	g/s
Osakesed (PM _{sum})	0,0432	3,84	4,8	g/s
Peenosakesed (PM ₁₀)	0,0432	0,576	0,96	g/s
Eriti peened osakesed (PM _{2,5})	0,0432	0,576	0,96	g/s
Must süsinik (BC) ei märgita paikse heiteallika käitaja keskkonnakaitseloale	0,51840	0	28,8	mg/s
Plii (Pb)	0,000144	0,96	0,96	mg/s
Kaadmium (Cd)	0,000024	0,0288	0,096	mg/s
Elavhõbe (Hg)	0,0096	0,0096	0,192	mg/s
Arseen (As)	0,01152	4,272	0,288	mg/s
Kroom (Cr)	7,3*10 ⁻⁵	1,92	0,48	mg/s
Vask (Cu)	7,3*10 ⁻⁵	0,576	0,96	mg/s
Nikkel (Ni)	4,9*10 ⁻⁵	19,2	0,48	mg/s
Seleen (Se)	0,001056	0	0	mg/s
Tsink (Zn)	0,00144	0,48	9,6	mg/s
Vanaadium (V)	0	0	0,48	mg/s
Polüklooritud dibenso-pdioksiinid ja dibensofuraanid (PCDD/PCDF)	0,048	0,96	0,000096	ng/s
Benso(a)püreen	0,05376	0,096	0,336	µg/s
Benso(b)fluoranteen	0,08064	0,096	0,48	µg/s
Benso(k)fluoranteen	0,08064	0,096	0,24	µg/s
Indeo(1,2,3-cd)püreen	0,08064	0,096	0,288	µg/s
Heksaklorobenseen (HCB)	0	0	0,0576	µg/s

Allikas: Autori koostatud

8 LAEVAKÜTUSTE PÕLETAMISTEL MOODUSTUVAD SÜSINIKDIOKSIIDI HEITE KOGUSED

Järgmisena autor arvutab erinevate mootori võimsustega laevade süsinikdioksiidi (CO₂) heite kogust raskekütteõli (Tabel 12), põlevkiviõli (Tabel 13) ja maagaasi põlemisel (Tabel 14). Raske kütteõli kütuseväärtus on 41,3 MJ/kg, põlevkiviõli 30 MJ/kg ja maagaasi 45 MJ/kg. Arvutamise teostamiseks kasutati CO₂-heite arvutamise näide (Lisa 7).

Tabel 12. Laevadelt eralduvad CO₂ kogused raskekütteõli põlemisel

Laeva mootori võimsus (MW)	Kütuse kulu (t/h)	Kütuse kulu (TJ/h)	Eralduv CO ₂ (Gg/h)	Eralduv CO ₂ (t/h)
1,3 MW	0,267 t/h	0,011 TJ/h	0,0008 Gg/h	0,8525 t/h
2,2 MW	0,451 t/h	0,019 TJ/h	0,0014 Gg/h	1,4400 t/h
5,7 MW	1,169 t/h	0,048 TJ/h	0,0037 Gg/h	3,7325 t/h
7,35MW	1,507 t/h	0,062 TJ/h	0,0048 Gg/h	4,8117 t/h
24,5 MW	5,023 t/h	0,207 TJ/h	0,0160 Gg/h	16,0380 t/h
40,6MW	8,323 t/h	0,344 TJ/h	0,0266 Gg/h	26,5747 t/h
96MW	19,68 t/h	0,813 TJ/h	0,0628 Gg/h	62,8367 t/h

Allikas: Autori koostatud

Tabel 13. Laevadelt eralduvad CO₂ kogused põlevkiviõli põletamisel

Laeva mootori võimsus (MW)	Kütuse kulu (t/h)	Kütuse kulu (TJ/h)	Eralduv CO₂ (Gg/h)	Eralduv CO₂ (t/h)
1,3 MW	0,267 t/h	0,011 TJ/h	0,0006 Gg/h	0,6192 t/h
2,2MW	0,451 t/h	0,019 TJ/h	0,001 Gg/h	1,046 t/h
5,7 MW	1,169 t/h	0,048 TJ/h	0,0027 Gg/h	2,7112 t/h
7,35MW	1,507 t/h	0,062 TJ/h	0,0035 Gg/h	3,4952 t/h
24,5 MW	5,023 t/h	0,207 TJ/h	0,0117 Gg/h	11,65 t/h
40,6MW	8,323 t/h	0,344 TJ/h	0,0193 Gg/h	19,3036 t/h
96MW	19,68 t/h	0,813 TJ/h	0,0456 Gg/h	45,644 t/h

Allikas: Autori koostatud

Tabel 14. Laevadelt eralduvad CO₂ kogused maagaasi põletamisel

Laeva mootori võimsus (MW)	Kütuse kulu (t/h)	Kütuse kulu (TJ/h)	Eralduv CO₂ (Gg/h)	Eralduv CO₂ (t/h)
1,3 MW	0,267 t/h	0,011 TJ/h	0,0007 Gg/h	0,6736 t/h
2,2 MW	0,451 t/h	0,019 TJ/h	0,0011 Gg/h	1,1378 t/h
5,7 MW	1,169 t/h	0,048 TJ/h	0,0029 Gg/h	2,9489 t/h
7,35 MW	1,507 t/h	0,062 TJ/h	0,0038 Gg/h	3,8017 t/h
24,5 MW	5,023 t/h	0,207 TJ/h	0,0127 Gg/h	12,6713 t/h
40,6 MW	8,323 t/h	0,344 TJ/h	0,0209 Gg/h	20,9961 t/h
96 MW	19,68 t/h	0,813 TJ/h	0,0496 Gg/h	49,646 t/h

Allikas: Autori koostatud

9 HEITKOGUSTE ARVUTUSE ANALÜÜS

Vedelkütuste puhul esmase prioriteetsusega on nendes sisalduv väävli sisaldus. Kuna väävli eemaldamine kütustest on tehnoloogiliselt keerukas ja majanduslikult kulukas, siis on välja töötatud terve rida väävli ja selle ühendite eemaldamise tehnoloogiaid kütuste põletamisel tekkivatest heitgaasidest.

Laeva peamootori võimsusel nt. 1,3 MW on majanduslikult probleemne heitgaaside puhastussüsteemide väljaarendamine ja juurutamine. Antud peamootori võimsusel on vedelkütustest otstarbekam eemaldada väävel.

Peamootorite võimsuste kasvamisel suureneb saasteainete emissioon välisõhku. Siin on juba tegemist optimeerimisülesandega:

- kas eemaldada kütustest väävel;
- kasutada madala väävlisisaldusega kütuseid;
- arendada välja ja juurutada erinevaid heitgaaside puhastustehnoloogiaid.

Laevade peamootorite võimsuste suurenemisel saavad määravaks ka naftatoodete hinnad. Naftatoodete hindade prognoosimiseks vajavad analüütikud mitte ainult põhjalikke teadmisi nõudluse ja pakkumise olukorra kohta suures hulgas sadamates, vaid ka sügavaid teadmisi naftatööstusest ja sellega seotud ettevõtlusest. Naftatoodete hindu määravad iga konkreetse toote pakkumise ja nõudluse faktorid, samuti asendustoodete hind ja kättesaadavus. Näiteks mõjutavad masuutide hindu peale energianõudluse ja energia tootmisvõimsuste ka mittefossiilsete kütuste allikaid nt maagaasi hinnad. Konkreetse naftatoote puhul võivad mõjuriteks olla mitmed faktorid: majandustingimused, ilmastikumõjud ning naftatootjate riikide poliitiline stabiilsus. Sama kehtib kütustele esitatavate ja välisõhku emiteeruvate saasteainete alaste keskkonnanõuete kohta, et meretranspordis olla konkurentsivõimeline.

Mida suuremad laevad, seda lihtsam on dimensioneerida laevamootorite heitgaaside puhastusseadmeid. Siin mõjutab oluliselt kasutatavat heitgaaside puhastustehnoloogiat saasteainete puhastusselektiivsus, heitgaaside puhastusseadmete universaalsus, seadmete maksumus, puhastusaste, jne. Samuti on olulise tähtsusega erinevate puhastustehnoloogiate kasutamisel heitgaasides olevate saasteainete transformatsioon, tekkivate reoainete sisaldused vees, tekkivad jäätmed jne.

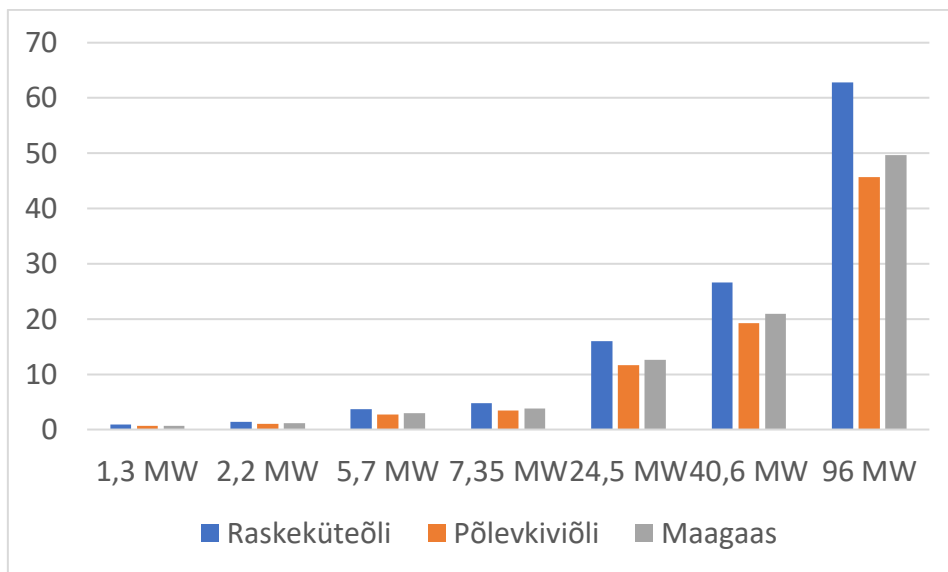
Laevajõuallikate võimsuste kasvamisel saab oluliseks ka tekkivate saasteainete kontsentratsioon heitgaasides ning heitgaaside joonkiirused puhastusseadmetes.

Suuremate laevade puhul saavad määravaks ka juba saastetasud, mis mõjutavad konkurentsi laevanduses. Näiteks skruuberite kasutamisel ning seal moodustuva reovee juhtimisel merre on raske teostada kontrolli moodustuva reovee mahu ja reovees sisalduvate reoainete osas.

Kui vaadata suurtel laevadel kütuste põletamisel moodustuvaid saasteaineid, siis mõnikord on odavam kasutada ainult selektiivseid heitgaaside puhastustehnoloogiaid ning teiste moodustuvate saasteainete osas (mitte puhastatavate saasteainete osas) tasuda saastetasusid.

Laevakütuste põlemisel tekkivates heitgaasides sisaldub kõige rohkem saasteainetest SO_x põlevkiviõli heitgaasides. Laevakütuste põlevkiviõli, raskekütteõli ja LNG tekib heitgaasides SO_x vastavalt 83,4; 55,0 ja 0,7 massi% võrreldes kõigi teiste heitgaasides sisalduvate saasteainetega. Seetõttu on laeva peamootorite heitgaaside puhastamisel esmase tähtsusega SO_x eemaldamine. Heitgaasidest saasteainete puhastamise keskkonnaalane prioriteetsuse järjekord on alljärgnev: SO_x → NO_x → osakesed (PM) → CO → raskmetallid (RM). Kuna osakeste pinnale on adsorbeerunud keskkonnaalaselt ohtlikke aineid, siis tuleb erilist tähelepanu pöörata osakeste sattumisele vee keskkonda, sh merre.

Vaadeldes põhi saasteainete (PM, NO_x, SO_x) arvutuste näitusid, saab järeldada, et kõige enim tahkeid osakesi (PM) tekib põlevkiviõli kasutamisel. Teisel kohal on vedelkütus ja siis maagaas. Lämmastikoksiidi (NO_x) kohta võib öelda, et seda tekib kõige enim vedelkütuse kasutamisel. Maagaasi kasutamisel eraldub kõige vähem NO_x heitmeid. Lämmastikoksiidi (SO_x) kogus on kõige suurem põlevkiviõli kasutamisel. Maagaasi kasutamisel laevakütusena on kõige vähem SO_x heitmeid. Sellest tuleneb, et maagaasi kasutamine on kõige keskkonna sõbralikum. Tuginedes graafiku andmetele (Joonis 2) süsinikoksiidi heitmete koguste osas võib öelda, et kõige suurem emisioon on raskekütteõli kasutamisel.



Joonis 2. Erinevate laeva peamootorite võimsustel tekkivate CO₂ emissioone välisõhku

Allikas: Tabelite 12-14 andmed, kohaldatud autori poolt

KOKKUVÕTE

Lõputöös uuriti erinevate võimsustega laevade peamootoritest eralduvate saasteainete emissioone välisõhku sõltuvalt laevapeamootorite võimsustest. Meretranspordil erinevate laevakütuste kasutamisel välisõhu emiteeruvate saasteainete koguste arvutamiseks puudub ühtne meetodika. Seetõttu on kasutatud põletusseadmetest välisõhku väljutatud saasteainete heitkoguste määramise ametlikult kinnitatud arvutuslikku meetodikat. Saasteainete koguste arvutused ametlikult kinnitatud meetodikale näitasid, et kõige keskkonnakahjulikum on raskekütteõli kasutamine laevanduses, kuna selle kasutamisel eraldub kõige rohkem saasteaineid (SO_x, NO_x, CO₂) välisõhku võrreldes teiste meretranspordis kasutatavate kütustega. Kõige enim tahkeid osakesi tekib põlevkiviõli kasutamisel laevakütusena. Lõputöös püstitatud probleemiks oli hinnangu andmine saasteainete emissioonide vähendamise võimalustele erinevat tüüpi skruuberite kaasabil ning skruuberi tehnoloogilise vee (so skruuberi vees lahustunud saasteainete) juhtimisele merre. Skruuberite dimensioone arvestades märgsüsteemiga skruuberite kasutamine on keskkonnaohtlike saasteainete vähendamise seisukohast efektiivsem.

Ühist, universaalset laevanduses kasutatavate kütuste heitgaaside puhastussüsteemi pole võimalik välja arendada. Skruuberitega on võimalik vähendada SO_x kontsentratsioone heitgaasides 99 % ning PM kontsentratsioone kuni 90 %, kuid skruuberiga pole võimalik vähendada heitgaasides NO_x ja CO₂ kontsentratsioone. Heitgaasides NO_x kontsentratsioonide vähendamiseks kasutatakse teisi tehnoloogiaid (SCR). Laevakütuste põletamisel tekkivates heitgaasides olevate saasteainete vähendamiseks peab kasutama kombineeritud heitgaaside puhastussüsteeme, mis pole momendi seisuga leidnud laialdast kasutamist.

Käesoleval momendil pole laevanduses CO₂ kontsentratsioonide vähendamise tehnoloogiat heitgaasides välja töötatud.

Põletamisel tekkivaid keemilisi ühendeid iseloomustab suur vastupidavus füüsikalistele ja bioloogilistele teguritele. Skruuberite reovees/heitvees olevate eriti peenete ja peenete osakeste sattumisel merekeskkonda on nende osakeste võimalikud liikumistekonnad paljudel juhtudel määramatusteks.

Saastunud setetest võivad osakesed ja nendel adsorbeerunud ohtlikud ained uuesti keskkonda sattuda. Uuringu tulemusena jõudis autor järgmistele järeldustele:

1. Meretranspordil laevakütuste põletamisel tekib märkimisväärselt keskkonnaohtlike saasteaineid.
2. Laevakütuste põletamisel keskkonnaohtlike saasteainete emissioonide vähendamise enim levinud efektiivseks tehnoloogiaks on erinevat tüüpi skruuberite kasutamine.
3. Skruuberite dimensioone arvestades märgsüsteemiga skruuberite kasutamine on keskkonnaohtlike saasteainete vähendamise seisukohast efektiivsem.
4. Laevakütuste põletamisel keskkonnaohtlike saasteainete vähendamise universaalne tehnoloogia puudub.
5. Raskekütteõli kasutamisel meretranspordis tekib kõige rohkem saasteaineid.
6. Laevakütuste põletamisel tekkivates heitgaasides olevate saasteainete vähendamiseks peab kasutama kombineeritud heitgaaside puhastussüsteeme, mis pole momendi seisuga leidnud laialdast kasutamist.
7. Atmosfääriõhus heitgaaside heite vähendamisel peab arvestama veekeskkonnale ohtlike saasteainete transformatsiooniga.
8. Fossiilsete kütuste kasutamisel/põletamisel meretranspordis on märkimisväärne roll kasvuhoonegaasil CO₂, mille tekke vähendamiseks ja/või vältimiseks momendil tehnoloogiline lahendus puudub.
9. Meretranspordis kasutatavatest kütustest on esmalt keskkonnavalaselt optimaalsem LNG kasutamine, kuid mille kasutamisega kaasneb keerukas laevamootorite ekspluatatsioon ning plahvatusoht.
10. Kõige enim tahkeid osakesi tekib põlevkiviõli kasutamisel laevakütusena.

SUMMARY

In the dissertation were studied the emissions of pollutants from the main ships engines into the ambient air depending on their capacities. There is no common methodology for calculating the amount of pollutants emitted into the ambient air when using different marine fuels in maritime transport. Therefore, an officially validated calculation methodology has been used to determine the emissions of pollutants into the ambient air from combustion plants. Calculations of pollutant quantities for the officially approved methodology showed that the use of heavy fuel oil in shipping is the most environmentally harmful, as it emits the most pollutants (SO_x, NO_x, CO₂) into the ambient air compared to other fuels used in maritime transport. Most particulate matter is generated when shale oil is used as marine fuel. The problem stated in the dissertation was to assess the possibilities of reducing pollutant emissions by different types of scrubbers and the discharge of the scrubber's technological water (ie pollutants dissolved in the scrubber's water) into the sea. Considering the dimensions of scrubbers, the use of wet scrubbers is the most effective in reducing environmentally hazardous pollutants. It is not possible to develop a common, universal exhaust gas cleaning system for marine fuels. Scrubbers can reduce SO_x concentrations in exhaust gases by 99% and PM concentrations by up to 90%, but scrubbers cannot reduce NO_x and CO₂ concentrations in exhaust gases. Other technologies (SCR) are used to reduce NO_x concentrations in the exhaust gases. Combined exhaust gas cleaning systems, which are not currently widely used, should be used to reduce pollutants from the combustion of marine fuels. At present, no technology to reduce CO₂ concentrations in shipping has been developed. Chemical compounds formed during incineration are characterized by high resistance to physical and biological factors. In the case of particularly fine particles in the effluent of scrubbers entering the marine environment, the possible paths of these particles are in many cases uncertain. Contaminated sediments can re-release particles and hazardous substances adsorbed on them.

VIIDATUD ALLIKAD

Air Clim. SCR can cut ship NOx emissions. 02.06.2014

<https://www.airclim.org/acidnews/scr-can-cut-ship-nox-emissions> (20.06.2020)

Brittanaia P&I. List of jurisdictions restricting or banning scrubber wash water discharges, 27.01.2020 <https://britanniapandi.com/blog/2020/01/27/list-of-jurisdictions-restricting-or-banning-scrubber-wash-water-discharges/> (25.06.2020)

Embankment, A. (2009). Second IMO GHG. London.

Gieseke, J., Gerbrandy, G-J. (2016). Autotööstuses heitkoguste mõõtmise uurimise kohta – 2. peatükk: tehniline taust. Töödokument Nr 2, 16.12.2016

https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/plmrep/COMMITTEES/EMIS/DT/2017/02-28/1112545ET.pdf

Guo, S. (2009). The Chemistry Of Shale Oil And Its Refining. University of Petroleum, Beijing, China <https://www.eolss.net/Sample-Chapters/C08/E3-04-04-04.pdf>

Hariduskeskus. Ohtlike ainete kasutamise piirangud, trükiplaat, pindliitekomponendid ja pindliide

https://www.hariduskeskus.ee/opiobjektid/elektroonika/?RoHS_%26nbsp%3B___Ohtlike_ainete_mõju (08.05.2020)

IMO. IMO 2020 - cleaner shipping for cleaner air.

<http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/34-IMO-2020-sulphur-limit.aspx> 25.05.2020

IMO. Introduction to IMO <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx> (25.05.2020)

IMO. Main events in IMO's work on limitation and reduction of greenhouse gas emissions

https://seors.unfccc.int/applications/seors/attachments/get_attachment?code=B8INKOI6CPSGSC80OYSANIOZ6KN5XQ5G (03.05.2020)

IMO. Nitrogen Oxides (NO_x) – Regulation 13.

[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)---Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)---Regulation-13.aspx) 04.06.2020

IMO. Resolution MEPC.259(68). 2015 Guidelines for exhaust gas cleaning systems.

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/MEPC.259%2868%29.pdf> 20.06.2020

IMO. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)

[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)

International Maritime Organization. Prevention of Air Pollution from Ships.

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>

Jassal, R. (2017). How to ensure Compliance with SO_x and NO_x requirements. My sea Time, 25.08.2017 <https://www.myseatime.com/blog/detail/sox-and-nox-compliance>
04.06.2020

Jurgens, R. (2013). A practical guide to achieving simultaneous SO_x and NO_x reduction. Seminar documentation, 23.01.2013

Maritime Impact. Scrubbers at a glance. <https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/Scrubbers-at-a-glance.html> (28.05.2020)

Merta, E., Hänninen, S., Laine-Ylijoki, J. (2016). Technical Study on Scrubber Waste Management. Customer Report, 11.05.2016

<http://backfromblack.eu/data/documents/Technical-Study-on-Scrubber-Waste-Management-VTT-Helsingin-satama.pdf> (10.06.2020)

Punab, H. (2003). Laevakütused. 48 lk., Eesti Mereakadeemia kirjastusgrupp.

Queensland Government. Sulfur dioxide, 27.03.2017

<https://www.qld.gov.au/environment/pollution/monitoring/air/air-pollution/pollutants/sulfur-dioxide> (08.05.2020)

Riigiteataja. 1978. aasta protokolliga muudetud 1973. aasta rahuvaheline laevade põhjustatava merereostuse vältimise konventsioon.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/13199975> (25.05.2020)

Riigiteataja. Energeetikas tekkiva CO₂-heite arvutamise näide

https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1080/3201/9006/KKM_05032019_määrus%20nr10_lisa3.pdf# (05.07.2020)

Riigiteataja. Keskkonnaministri 24. novembri 2016. a määruse nr 59 „Põletusseadmetest välisõhku väljutatavate saasteainete heidete mõõtmise ja arvutusliku määramise meetodid“ muutmine <https://www.riigiteataja.ee/akt/122032019008> (25.05.2020)

Riigiteataja. Maagaasi eriheidet heitgaaside puhastuseta põletusseadmele nimisoojusvõimsusega kuni 50 MWth

[https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1220/3201/9009/KKM_20032019_määrus%20nr7_lisa\(3\).pdf#](https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1220/3201/9009/KKM_20032019_määrus%20nr7_lisa(3).pdf#) (15.07.2020)

Riigiteataja. Põlevkivi põletamise eriheidet

[https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1220/3201/9009/KKM_20032019_määrus%20nr7_lisa\(13\).pdf#](https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1220/3201/9009/KKM_20032019_määrus%20nr7_lisa(13).pdf#) (15.07.2020)

Riigiteataja. Vedelkütuste eriheidet heitgaasi puhastuseta põletusseadmele nimisoojusvõimsusega kuni 50 MWth

[https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1220/3201/9009/KKM_20032019_määrus%20nr7_liisa\(7\).pdf#](https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1220/3201/9009/KKM_20032019_määrus%20nr7_liisa(7).pdf#) (15.07.2020)

Riigiteataja. Välisõhku väljutatava süsinikdioksiidi heite arvutusliku määramise meetodid <https://www.riigiteataja.ee/akt/108032019006> (25.06.2020)

Riigiteateja. Põletusseadmetest ja põlevkivi termilisest töötlemisest välisõhku väljutatavate saasteainete heidete mõõtmise ja arvutusliku määramise meetodid.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/122032019009> 25.06.2020

Roadmap on carcinogens. Fakte polütsükliiliste aromaatsete süsivesinike (PAH) kohta., 13.08.2018 <https://www.tooelu.ee/UserFiles/Sisulehtede-failid/Teemad/vähk%20ja%20töö/Polütsükliilised%20aromaatsed%20süsivesinikud.pdf>

Sethi, S. (2020). A Guide to scrubber system on ship. Marine Insight, 17.03.2020

<https://www.marineinsight.com/tech/scrubber-system-on-ship/> 04.06.2020

Sikk, A., Rebane, R. (2017). Põlevkivitööstusest tulevate veekeskkonnale ohtlike ainete mõju uuring. Eesti Keskkonnauuringute Keskus, 29.12.2017

https://www.envir.ee/sites/default/files/polevkivitoostusest_tulevate_veekeskkonnale_ohtlike_ainete_moju_uuring.pdf

Sotsiaalministeerium. Kemikaal maailm. Lenduvad orgaanilised ühendid

<http://kemikaalimaailm.sm.ee/kemikaalid/lenduvad-orgaanilised-uhendid.html>

(08.05.2020)

Suik, K. (2014). Raskemetallide mõju organismile ja kuidas neist vabaneda. Telegram,

18.02.2014 <https://www.telegram.ee/toit-ja-tervis/raskemetallide-moju-organismile-ja-kuidas-neist-vabaneda> (08.05.2020)

Tang, H., Kõrgmaa, V., Lavrentjev, S. (2015). Endiste militaar- ja industriaalalade jääkreostuskollete ohutuks muutmise meetodika väljatöötamine ulatuslikku keskkonnakahju põhjustavate hädaolukordade tarbeks, II etapp. Aruanne. Eesti Keskkonnauuringute Keskus. Kesklabor, 19.11.2015 http://www.klab.ee/wp-content/uploads/2015/12/aruanne_lepingle_2-6-55-2015.pdf

Veeteede Amet. Rahvusvahelised merenduskonventsioonid
<https://veeteedeamet.ee/et/ametist-ja-kontaktid/oigusaktid/rahvusvahelised-merenduskonventsioonid> (28.05.2020)

Veeteedeamet. IMO <https://veeteedeamet.ee/et/meresoiduohutus-oigusaktid/imo>
25.05.2020

Veeteedeamet. Rahvusvahelised merenduskonventsioonid.
<https://veeteedeamet.ee/et/ametist-ja-kontaktid/menuupunktid-ohus/%20rahvusvahelised-merenduskonventsioonid> 25.05.2020

Wankhede, A. (2019). A Guide To Marine Gas Oil and LSFO Used On Ships,
29.11.2019 <https://www.marineinsight.com/guidelines/a-guide-to-marine-gas-oil-and-lsfo-used-on-ships/> (25.05.2020)

World Shipping Council. Industry Issues. Air Emissions.
<http://www.worldshipping.org/industry-issues/environment/air-emissions> (25.05.2020)

Всемирная организация здравоохранения. Диоксины и их воздействие на здоровье людей, 04.10.2016 <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>

Всемирная организация здравоохранения. Качество атмосферного воздуха и здоровье, 02.05.2018 [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (08.05.2020)

Всемирный фонд дикой природы. Выбросы черного углерода: воздействие и смягчение последствий, 12.03.2013

https://wwf.ru/upload/iblock/1b0/02_black_carbon_emissions_twopager_final_12march_2013_rus_2.pdf

Рокед, С. (2015). Человек уставший. lk. 35

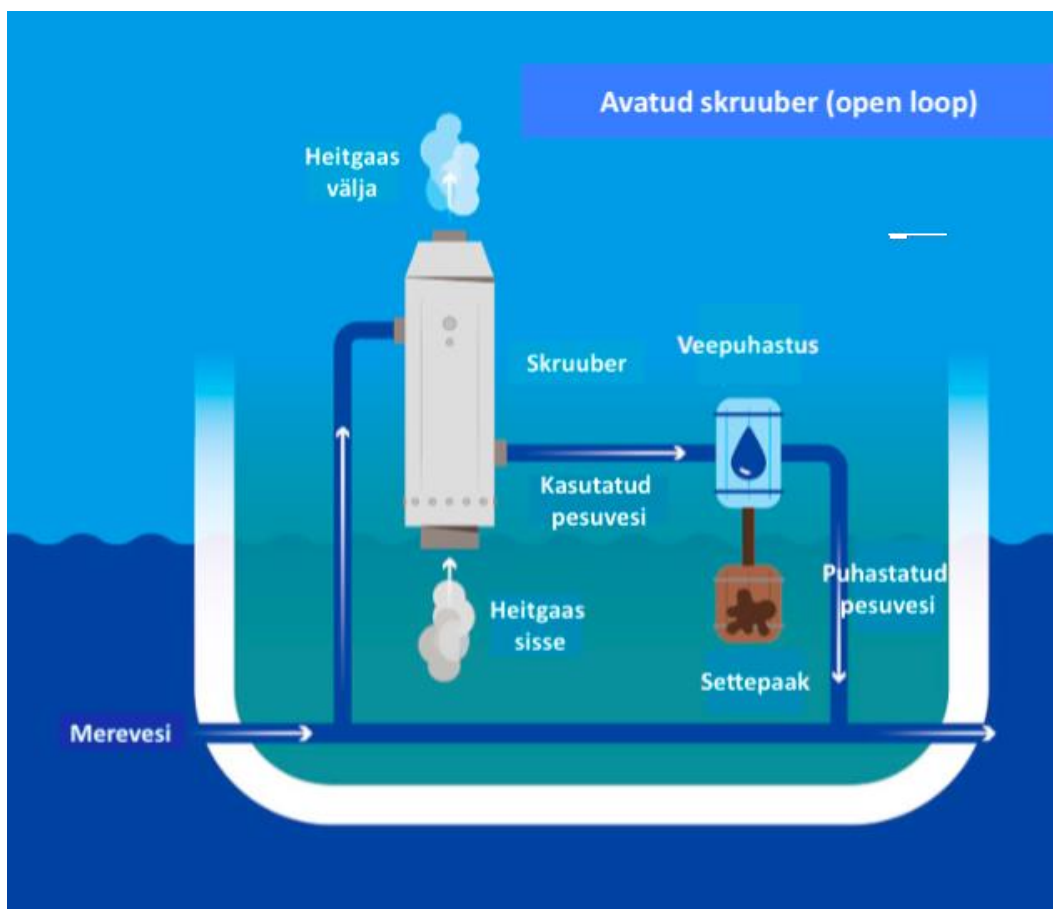
Сармулдинов А. (2013). Влияние оксидов азота на окружающую среду.

<https://studfile.net/preview/3545845/page:2/>

Хан, Е. (2019). Все про углерод: опасность CO₂ и методы нейтрализации выбросов углекислого газа. Хайтек 13.11.2019,

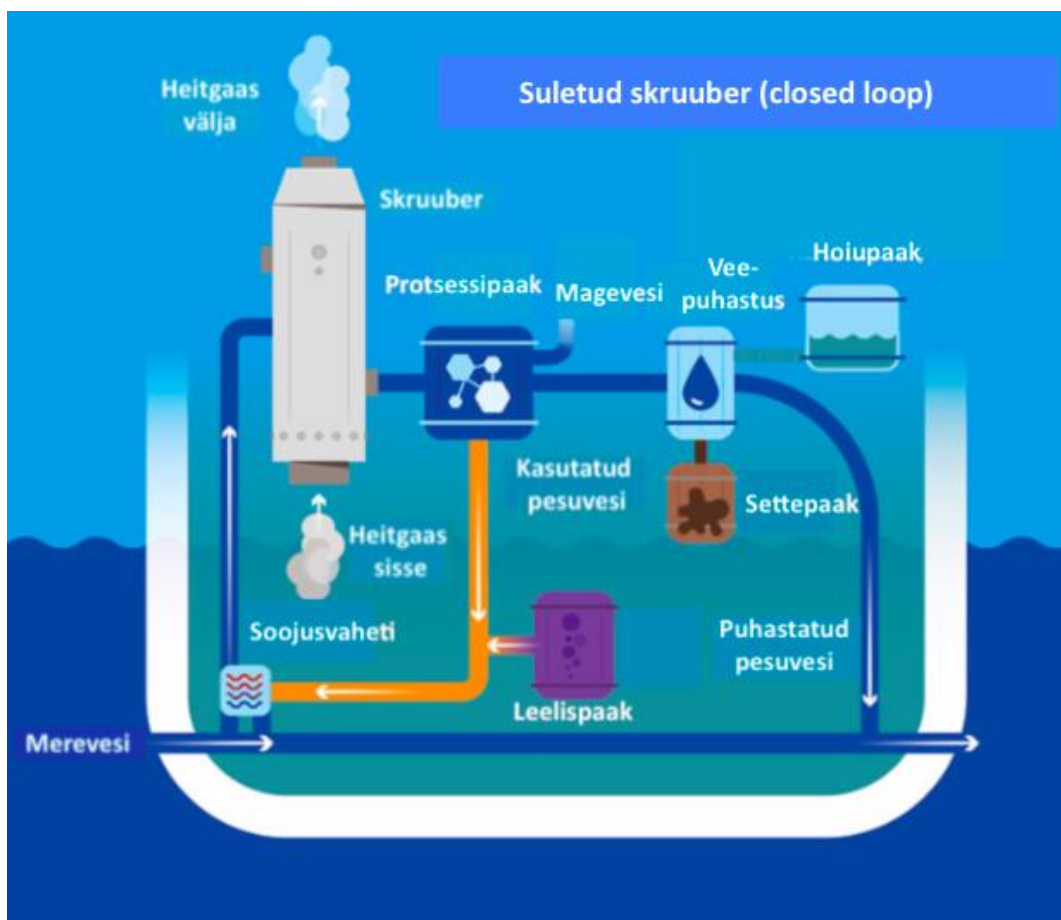
<https://hightech.fm/2019/11/13/about-co2> (08.05.2020)

Lisa 1. Avatud skruuberi tööskeem



Allikas: Maritime Impact, 2020 (kohaldatud autori poolt)

Lisa 2. Suletud skruuberi tööskeem



Allikas: Maritime Impact, 2020 (kohaldatud autori poolt)

Lisa 3. Suletud skruuberi tahkete jäätmete sisaldus

Kütus (S sisaldus %)	DW %	pH	Metallid (mg/kg dw)	Orgaanilised ained (mg/kg dw)	S (mg/kg dw)
1,0	11	7,2	As 7,0 Pb 31 Cd 0,11 Cu 1400 Hg <0,050 Ni 4200 V 6000 Zn 210	PAH 220; Süsivesinike üldsisaldus 77 000; PCDD/PCDF 16,2 ng / kg dw	52 000
2,2	11	7,1	As 8,4 Pb 54 Cd 0,080 Cu 1100 Hg <0,050 Ni 5 400 V 12 000 Zn 260	PAH 230; Süsivesinike üldsisaldus 111 000; PCDD/PCDF 26,3 ng/kg dw	79 000

Allikas: Merta, Hänninen, Laine-Ylijoki, 2016 (kohaldatud autori poolt)

Lisa 4. Suletud skruuberi reovee sisaldus

Kütus (S sisaldus %)	Heljeained (mg/l)	Keemiline hapnikutarve (mg/l)	Metallid (mg/kg dw)	Orgaanilised ained (mg/kg dw)	S (mg/l)	N (mg/l)
1,0	39	490	As 0,0088 Pb 0,0016 Cd <10 ⁻⁴ Cu 0,390 Hg < 10 ⁻⁴ Ni 1,3 V 6,1 Zn 0,16	PAH 0,024 Süsivesinike üldarv 21	4 800	86
2,2	25	440	As 0,0098 Pb 0,0038 Cd <10 ⁻⁴ Cu 0,860 Hg <10 ⁻⁴ Ni 3,1 V 14 Zn 0,420	PAH 0,0038 Süsivesinike üldarv 11	9 000	120

Allikas: Merta, Hänninen, Laine-Ylijoki, 2016 (kohaldatud autori poolt)

Lisa 5. Riigid ja sadamad, mis keelavad skruuberite reovett merre pumpamist

Riik	Sadam/ Merepiirkond	Kas pesuvee väljalaskmine on keelatud?	Lisainformatsioon
Austraalia	Austraalia territoriaalveed	Piiratud	Kõik skruuberit kasutavad laevad peavad AMSA-st enne esimest saabumist Austraalia sadamasse pärast 1. jaanuari 2020 teatama ja esitama nõutava teabe vastavalt mereteatisele (Marine Notice) 05/2019.
Bahreini	Bahreini sadamate piires, sealhulgas ankurdamisala.	Piiratud	Nõuded on esitatud mereteatise PMA 03 2019. See kinnitab, et Bahreini territoriaalvetes ja majandusvööndis ei ole puhastusvee välja heitmine lubatud, välja arvatud juhul, kui on võimalik tõestada, et heide vastas MEPC.259 (68). ja sellel puudub negatiivne mõju mere ökosüsteemidele.
Belgia	Kõik sadamad ja siseveed	Jah	Euroopa Komisjoni 2016 märkus puhastusvee välja pumpamise kohta keelab merre väljalaskmist sadamates ja siseveekogudes, kuid see on lubatud ranniku- ja avamerevetes, kui rannik asub vähemalt 3 meremiili kaugusel ja kui heitvesi ei kahjusta Euroopa Komisjoni Veepoliitika raamdirektiivi

			(VRD), 2000/60 /EÜ eesmarke.
Bermuda	Bermuda territoriaalveed	Jah	Nõuded on sätestatud dokumendis Keskkonnapoliitika laevade kohta, mis kinnitab, et Bermuda vetes on avatud skruuberid keelatud, samas kui suletud skruuberi kasutamiseks tuleb keskkonnaametilt küsida eelnevat luba.
Brasiilia	Teatud puistlasti terminalid	Jah	Vale S.A hallatavad puistlasti terminalid / sadamad ei luba 20. detsembri 2019. aasta avalduse kohaselt nende vetes pesuvee välja pumpamist. On soovitatav, et pesuvett pumbataks välja rannikujoonest vähemalt 24 meremiili kaugusel.
Hiina	Kõik siseveekogude jõgede ja rannikualade sadamad, sealhulgas Bohai Rimi meri	Jah	Hiina MSA õhusaaste heitkoguste suuniste täpsemad üksikasjad on esitatud dokumendis Huatai PNI2001, mis sisaldab üksikasju menetluse kohta, mida võivad läbi viia veeteede ametnikud skruuber süsteemide kontrollimisel.
Egiptus	Suessi kanali veed Egiptuse territoriaalveed ja kõik Egiptuse sadamad, sealhulgas	Jah	SCA ringkiri nr 8/2019 ja sellele järgnenud selgitav ringkiri kinnitavad, et kanalite läbimise ajal ei ole pesuvee välja pumpamine lubatud. Samuti Egiptuse territoriaalvetes ja kõigis Egiptuse sadamates, sealhulgas Aleksandrias ja

	Aleksandria ja Damietta		Damiettas, on igat tüüpi skruuberite kasutamine keelatud, kuni Egiptus ratifitseerib MARPOLi VI lisa.
Eesti	Kõik sadamad	Piiratud	Eesti Veeteede Ameti ringkiri nr 4 sätestab reovee merre pumpamise üksikasjalikud nõuded, sealhulgas vajaduse sadama eelneva loa saamiseks juhul, kui pesuvesi lastakse sadamaaladele.
Soome	Porvoo sadam (Neste Refinery Terminal)	Jah	Pesuvee merre pumpamine Neste rafineerimistehases on keelatud, kuid ametlikku teadet ega muid sarnaseid keelde sadamas pole.
Prantsusmaa	Bordeaux, Port Jérôme-sur-Seine, Seine'i jõgi ja Le Havre	Jah	Pesuvee merre pumpamine on loetletud sadamates keelatud, kuna võimaliku loa saamise protseduur muudaks ebarealseks laeva nõidumise saamise aja sadamas; ametlikku teadet pole siiski saadaval.
Saksamaa	Üldiseks liikluseks mõeldud siseveeteed, sealhulgas Rein, välja arvatud Rheinfeldenist ülesvoolu kulgev osa.	Jah	Pesuvee merre pumpamine Reinil ja muudel siseveeteedel ei ole lubatud vastavalt navigatsiooni käigus tekkivate jäätmete kogumise, hoiustamise ja vastuvõtmise konventsiooni CDNI alusel.
Gibraltar	Gibraltari veed	Jah	Gibraltari vetes on lubatud suletud režiimis töötavad ka hübriidskruuberid ning ajutise ettevaatusabinõuna ei ole avatud skruuberid lubatud seni, kuni

			Gibraltari valitsus jõuab lõpliku poliitilise otsuseni (ainult) avatud skruuberite osas.
Hongkong	Hongkongi veed	Piiratud	Reovee merre pumpamise keeldu pole kehtestatud. Igasuguste puhastusvahendite või muude samaväärsete vahendite kasutamine 2020. aasta madala väävlisisalduse nõuete täitmiseks nõuab siiski erandit, nagu on täpsustatud Õhureostuse Kontrolli (laevade kütus) Määruses L.N. 135 2018. aasta.
Iirimaa	Dublini, Waterfordi ja Corki sadamad	Jah	Reovee merre pumpamine on keelatud vastavalt järgmistele teatistele: Dublini sadam NtM nr. 2018. aasta 37 Waterfordi sadama mereteatis, 2. jaanuar 2019 Corki sadam NtM nr. 2018. aasta 15
Läti	Läti territoriaal- ja sadamaveed	Jah	Pesuvee välja pumpamine ei ole lubatud Läti territoriaal- ja sadamaveses, sealhulgas Riias, Ventspilsis ja Liepajas.
Leedu	Kõik sadamad	Jah	Vastavalt EÜ 2016. aasta teatisele puhastusvee merre pumpamise kohta ei ole reovee välja pumpamine sadama veeladel lubatud, ehkki samas dokumendis märgitakse, et see on arutusel.
Malaisia	Malaisia territoriaalveed	Jah	Malaisia mereosakonna ringkiri MSN 07 / 2019 kinnitab, et avatud skruuberite reovee välja pumpamine

			on keelatud 12 nm kaugusel lähimast maismaast, aga laevad, mis läbivad Malacca väina ja mis ei sõida ühegi Malaisia sadama juurde, ei kohaldata seda keeldu vastavalt MSN 08/2019.
Norra	Tunnustatud maailmapärandi fjordid, mis koosnevad Geirangerfjordi ja Nærøyfjordi aladest	Jah	Vastavalt Norra Merendusameti 30. mai 2012. aasta eeskirjade nr 488 laevade ja liikuvate avamererajatiste keskkonnaohutuse kohta paragrahvi 14b punktile 14 on Norra maailmapärandi fjordides keelatud avatud skruuberite kasutamine.
Pakistan	Karachi	Jah	Pakistani valitsuse merendusministeeriumi (sadamad ja laevaliiklus) ringkiri nr 001/2020 kinnitab, et sadamas (Karachi) on keelatud pesuvett välja pumbata avatud skruuberitest. Sadamas peavad hübriid skruuberiga varustatud laevad minema suletud režiimi. Avatud skruuberid peaksid selle asemel vahetama nõuetele vastava kütuse. Soovitav on ümberlülitamine teodtada aegsasti enne laeva saabumist sadama vetesse.
Panama	Panama kanali veed	Jah	Panama kanali asutuse NT teatis laevandusele nr N1 2020 Jaotis 28 kinnitab, et avatud skruuberite heitvee välja pumpamine ei ole lubatud, kuid suletud süsteemide kasutamine on lubatud.

Katar	Katari territoriaalveed	Jah	Qatar Petroleum on teatanud, et vastavalt Katari keskkonnaseadustele on Qatari vetes rangelt keelatud heitvee välja pumpamine, mis sisaldavad laevade kemikaale või metalle. Ametlikku teadet pole siiski saadaval.
Singapur	Singapuri sada	Jah	Singapuri mere- ja sadamaameti 2019. aasta sadama mereringkiri nr 19 kinnitab, et alates 1. jaanuarist 2020 on Singapuri sadama piires keelatud pesuvee välja pumpamine.
Rootsi	Brofjordeni, Gävle, Norrköpingi, Uumaja, Sundsvalli, Skellefteå, Stockholmi sadamad	Jah	Loetletud sadamates pole pesuvee välja pumpamine lubatud, kuid ametlikku teadet pole saadaval.
Araabia Ühendemiraadid	Fujairah	Jah	Fujairahi sadama teade meremeestele nr 252 kinnitab, et sadama akvatooriumides on keelatud kasutada avatud skruuberid.
Ameerika Ühendriigid	California	Piiratud	California Air Resource Board (CARB) määrused keelavad skruuberite kasutamise. Ainult eksperimentaalse või teadustööstusega seotud erandi tegemise korral on lubatud kasutada skruubereid. Nõuete meeldetuletus

			väljastati 21. jaanuaril 20 aadressil CARB MN 2020-1.
Ameerika Ühendriigid	Connecticut	Jah	Connecticut - 2013. aasta laeva üldise loa punkt 6.5.9 kinnitab, et pesemisvee pumpamine Connecticuti vetesse laevadelt on keelatud.
Ameerika Ühendriigid	Hawaii	Piiratud	Hawaii vette on lubatud skruuberite pesuvett pumbata, kui järgitakse teatavaid tingimusi

Allikas: Britannia P&I, 2020 (kohaldatud autori poolt)

Lisa 6. Selgitus heitgaasipuhastussüsteemide kasutamise kohta Eesti merealadel

Ringkiri nr 4 ver 01



VEETEED E AMET

RINGKIRI nr 4

21.10.2019 nr 5-1-7/4

Selgitus heitgaasipuhastussüsteemide kasutamise kohta Eesti merealadel

Keskonnaministeerium koostöös Veeteede Ametiga on koostanud ringkirja heitgaasipuhastussüsteemide kasutamise kohta Eesti merealadel, millega selgitatakse merre pumbatava vee kvaliteedi nõudeid ja vastavust siseriiklikule seadusele ning rahvusvahelistele regulatsioonidele. Vastavalt rahvusvahelise merereostuse vältimise konventsiooni (MARPOL 73/78) lisa VI regulatsioonile 14 peavad laevad kasutama kütust, mille väävlisisaldus ei ületa regulatsioonides 14.1 või 14.4 sätestatud norme. Regulatsioon 4 lubab kasutada alternatiivseid lahendusi.

Keskonnaministri määruse nr 73 „Vedelkütuste kohta esitatavad keskkonnanõuded, biokütuste säästlikkuse kriteeriumid, vedelkütuste keskkonnanõuetele vastavuse seire ja aruandmise kord ning biokütuste ja vedelate biokütuste kasutamisest tuleneva kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemise määramise meetodika“ § 7 lõike 6 punkt 3 sätestab, et heitevähendusmeetodeid võib kasutada, kui on täidetud lisas 9 sätestatud kriteeriumid. Nende kohaselt:

„Kemikaale, lisaaineid, valmistisi ja kohapeal valmistatud asjakohaseid keemilisi ühendeid kasutavate heitgaaside puhastussüsteemide pesuvett, millele osutatakse resolutsiooni MEPC.184 (59) punktis 10.1.6.1, ei tohi lasta merre, sealhulgas suletud sadamatesse ja jõesuudmetesse, välja arvatud juhul, kui reeder tõendab, et sellise pesuvee merre laskmine ei avalda märkimisväärset kahjulikku mõju ega ohusta inimese tervist ega keskkonda. Kui kasutatav keemiline ühend on naatriumhüdrosiid, piisab sellest, et pesuvesi vastab resolutsioonis MEPC.184 (59) esitatud kriteeriumitele ja selle pH ei ole kõrgem kui 8,0.“

Lisaks reguleerivad valdkonda 01.10.2019 jõustunud veeseaduse § 143 lõike 3 punktid 3 ja 4, mis ei käsitle laevadelt pärinevat pesuvett saasteainete merre heitmise keelu rikkumisena, kui täidetakse rahvusvahelisest merereostuse vältimise konventsioonist tulenevaid pesuvee nõudeid.

Kui laevaomanik suudab tõendada, et heitgaasipuhastussüsteemide pesuvesi vastab rahvusvahelistele nõuetele, on selle merre laskmine lubatud. Sadama akvatooriumil heitgaasipuhastussüsteemide pesuvee merre heitmiseks peab olema sadama luba.

Suletud heitgaasipuhastussüsteemide kasutamine on lubatud Eesti merealadel juhul, kui see täidab vastavad nõuded ja on sertifitseeritud. Suletud süsteemide puhul ei ole heitvee merre laskmine lubatud.

(allkirjastatud digitaalselt)

Marek Rauk
meresõiduohutuse teenistuse juhataja -
peadirektori asetäitja

Valge 4 / 11413 Tallinn / 620 5500 / eva@vta.ee / www.veeteedeamet.ee
Registrikood 70002414

Allikas: Veeteede Amet, (kohaldatud autori poolt)

Lisa 7. Energeetikas tekkiva CO₂-heite arvutamise näide

ENERGEETIKAS TEKKIVA CO₂-HEITE ARVUTAMISE NÄIDE

KÜTUS			A	B	C	D	E	F	G	
			Kütuse- kulu aastas B ¹ (TJ)	Süsiniku eriheide q _e (tC/TJ)	Kütuse süsiniku- sisaldus C _r (tC)	Süsiniku- sisaldus C _r (GgC)	Kütuse oksüdatsioonitegur K _c	Tegelik süsiniku- heide M _c (GgC)	Tegelik CO ₂ - heide M _{CO₂} (GgCO ₂)	
				vt lisa 2 ja §-de 4, 5 ja 6 valemid	$C = A \times B$	$D = C \times 10^{-3}$	vt § 8	$F = D \times E$	$G = F \times 3,664$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Vedelad orgaanilised kütused	Primaarsed kütused	Toomafta								
		Vedelgaas								
	Sekundaarsed kütused	(Auto) bensiin								
		Lennuki petrool								
		Diislikütus								
		Küttepetrool								
		Raske kütteõli								
		Põlevkiviõli								
Muud kütused										
Vedelad orgaanilised kütused kokku										
Tahked orgaanilised kütused	Primaarsed kütused	Süsi								
		Põlevkivi								
		Kütteturvas								
	Sekundaarsed kütused	Turbabrikett								
Koks										
Tahked orgaanilised kütused kokku										
Gaas		Maagaas								
Sekundaarsed gaasid		Muud gaasid								
ORGAANILISED KÜTUSED KOKKU										
Biokütused (sh biomass) ¹		Küttepuud								
		Puidujäätmed								
		Hakkepuu								
		Muud								
BIOKÜTUSED KOKKU										

¹ Biokütuste põlemisel tekkiv CO₂ loetakse nulliks.

Allikas: Riigiteataja, 2020