



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (YAMK)

Rahtilaivojen orgaanisten jätteiden hyödyntäminen uusiutuvan energian lähteenä

Anniina Hiltunen

Opinnäytetyö, huhtikuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2023
Kestävän energiatalouden koulutus,
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Anniina Hiltunen

Nimeke
Rahtilaivojen orgaanisten jätejakeiden hyödyntäminen uusiutuvan energian lähteenä
Toimeksiantaja: Gasum Oy ja Baltic Sea Action Group

Tiivistelmä

Rahtilaivojen mustat ja harmaat vedet on lain mukaan mahdollista laskea edelleen mereen. Suomen satamissa rahtilaivojen tyhjennyksiä tapahtuu vähän suhteessa liikennöivien alusten määrään, pois lukien risteilijät, joiden velvollisuus on tyhjentää mustat ja harmaat vedet satamaan. Kehittämistyön tavoite on selvittää laskennallisesti, kuinka paljon rahtilaivojen mustia ja harmaita vesiä olisi mahdollisesti tyhjennettävissä Suomen satamiin vuositasona ja kuinka paljon siinä saisi energiaa. Tavoitteena on myös löytää satamille paras toimintamalli tyhjennysprosessiin.

Laskennallisessa osuudessa, selvitetään Suomessa liikennöivien rahtilaivojen mahdollinen jätevesien määrä sekä lasketaan vuotuisen kokonaismäärän mahdollinen energiahyöty esimerkiksi biokaasuntuotannossa. Laskennassa huomioidaan myös mahdollinen ravinteiden määrä tyhjennettävistä jätevesistä. Laskelmat perustuvat vuoden 2021 satamakäynteihin, rahtilaivojen edellisen- ja tulosataman välimatkoihin sekä aikoihin, jonka perusteella mahdollinen mustien ja harmaiden vesien määrä on arvioitu. Tutkimuksessa myös vertailtiin laskennallisia mustien ja harmaiden vesien tyhjennysmääriä todellisiin tyhjennysmääriin. Ravinne- ja energiamäärä laskettiin hyödyntämällä laboratoriotutkimuksia, joita oli otettu tyhjennyksiä tehneistä rahtialuksista.


Rahtilaivojen mustien ja harmaiden vesien vuotuinen tyhjennysmäärä on laskennallisesti saadun keskiarvon perusteella noin 30 000 m³, joka on noin 70 % todellisten tyhjennysmäärien keskiarvosta. Saatu energiamäärä riippuu kiintoaineen määrästä sekä kaasuntuottopotentiaaliluvusta, joilla laskelmat tehdään. Vuotuinen energiamäärä vaihtelee edellä mainittujen seikkojen perusteella noin 340–1200 MWh välillä. Mustista ja harmaista vesistä saatu laskennallinen energiamäärä ei ratkaise nykyistä energiakriisiä, mutta se edistää Suomen tavoitteita ilmastopolitiikassa ja kiertotaloudessa.

Kieli
suomi

Sivuja 58
Liitteet
Liitesivumäärä

Asiasanat

Mustat ja harmaat vedet, rahtilaivojen mustien ja harmaiden vesien tyhjennys, sataman toiminta tyhjennystilanteessa

 Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	THESIS April 2023 Master of Engineering, Sustainable energy economy Tikkarinne 9 80200 JOENSUU FINLAND + 358 13 260 600 (switchboard)
Author (s) Anniina Hiltunen	
Title Cargo ships organic waste fraction utilization source of renewable energy Commissioned by Commissioner Gasum Oy ja Baltic Sea Action Group	
Abstract According to the law, it is possible to discharge the black and gray waters of cargo ships further into the sea. In Finland cargo ships is doing empty little in relation to the number of ships in operation. The goal of the development exam was to calculate how much organic waste water from cargo ships could potentially be emptied into Finnish ports on an annual basis and how much energy could be obtained from it. The goal is also to find the best operational model for the ports for the emptying process. The calculated part is to find out the potential annual amount of wastewater from cargo ships operating in Finland. In addition, the potential energy benefit of the annual total is calculated, for example in biogas production. The calculation takes into account the possible amount of nutrients from the cargo ships wastewater. The calculations are based on cargos port visits in 2021, cargo ships distances between the previous port and the port of arrival and travel times. The study also compared the calculated amounts of black and gray water with the actual amounts. The amount of nutrients and energy was calculated from laboratory tests taken from cargo ships. The calculated average, the annual amount of black and gray water discharged from cargo ships, is about 30,000 m3, which is about 70 % of the actual amounts. The calculations amount of energy depends on the amount of solid matter and the gas production potential, which was between 340-1200 MWh. The result will not solve the current energy crisis, but it will promote Finland's goals in climate policy and the circular economy.	
Language Finnish	Pages 58 Appendices Pages of Appendices
Keywords grey and black water, discharge the black and gray water, organic waste fraction, the process of emptying cargo ships in the ports	

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Suomen tavoitteet kiertotaloudessa	6
2.1	Suomi suunnannäyttävä kiertotaloudessa	6
2.2	Agenda 2030 -tavoitteiden kattavuus rahtilaivojen mustien ja harmaiden vesien tyhjennykseen.....	7
2.3	Kasvihuonekaasut ja niiden laskentasuureet.....	8
2.4	Suomen päästötavoitteet ja niiden kehittyminen.....	8
2.5	MARPOL 73/78- kansainvälinen yleissopimus merenkulkuun.....	9
2.6	Fit For 55 -ilmastopaketti ja sen tavoitteet merenkulkuun.....	10
2.7	Fossiilisten polttoaineiden ja lannoitteiden merkitys energiakriisissä.....	11
2.8	Ravinteiden kierrätys Itämeren suojelemiseksi.....	12
3	Rahtialusten tyhjennysprosessi ja sen nykytila Itämerellä	13
3.1	Mustat ja harmaat vedet osaksi kiertotaloutta.....	13
3.2	Tyhjennysprosessi sidosryhmien yhteistyössä	14
4	Kehittämistyön tavoitteet.....	16
4.1	Satamatoiminnan kehittäminen.....	16
4.2	Energiamäärän laskeminen	16
5	Rahtilaivojen tyhjennysprosessien selvitys	17
5.1	Rahtialusten tyhjennysprosessi valituissa satamissa.....	17
5.2	HaminaKotka sataman tyhjennysprosessi	17
5.3	Turun sataman tyhjennysprosessi	20
5.4	Kokkolan satama tyhjennysprosessi.....	23
5.5	Satamien haasteet tyhjennysprosessissa.....	24
6	Energiamäärän laskennan menetelmät	26
6.1	Rahtilaivojen satamakäynnit tarkasteltavissa satamissa	26
6.2	Lähtö- ja tulosataman matka-ajan selvitys.....	26
6.3	Kehittämistyössä käytetyt arvot ja laskutavat.....	28
6.4	Laboratoriotutkimukset ja kuiva-ainepitoisuus	29
6.5	Mustien ja harmaiden vesien vuotuinen määrä.....	30
6.6	Suomen satamakäynnit ja niihin jätettävät jätevedet	31
6.7	Laivakäynnit Euroopassa.....	32
7	Energialaskelmien tulos	33
7.1	Energiantuotto vuositasonalla.....	33
7.2	Laskettujen arvojen vertaus todellisiin määriin.....	35
7.3	Päästövähennys kilometreinä.....	40
7.4	Laskennallinen ravinnepitoisuus	42
7.5	Laskelmien epävarmuustekijät.....	43
8	Satamien suositeltavat ratkaisumallit	44
8.1	Liikuteltava ratkaisu kompaktiin satamaan	44
8.2	Kiinteä ratkaisu satamaan	45
8.3	Ulkopuolisen tahon suorittama tyhjennys	46
8.4	Muu ratkaisu tyhjennykseen satamassa tai laivassa	47
8.5	Tyhjennyksen loppukäsittely	47
8.6	Laivojen tyhjennystapahtuman yleistyminen.....	48
9	Yhteenveto.....	49
10	Pohdinta.....	51
10.1	Ratkaisumallit eri satamissa	51
10.2	Laskelmien luotettavuus	54

10.3 Tyhjennysten tulevaisuus	54
Lähteet.....	58

Liitteet

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä selvitetään, kuinka paljon olisi Suomen satamissa käyneiden rahtilaivojen mustien ja harmaiden vesien määrä sekä siitä saatava energia biokaasuksi tuotettuna. Kehittämistyönä on selvittää ja laskea, kuinka paljon Suomessa vierailevien rahtilaivojen harmaiden ja mustien vesien määrä olisi ja, kuinka paljon energiaa siitä olisi mahdollista saada. Opinnäytetyössä rajataan energiamäärän tarkastelu biokaasun tuotantoon, koska harmaat ja mustat vedet on kuiva-ainepitoisuudeltaan matalia, niin mahdollista polttoa, pyrolyysiä tai vastaavaa ei oteta tässä huomioon.

Suomen ilmastopolitiikassa on monia tavoitteita kasvihuonekaasujen hillintään ja ilmaston lämpenemisen estämiseen. Suomen tavoitteena on myös edistää kiertotaloutta sekä vähentää Itämeren happamoitumista löytämällä ratkaisuja muun muassa biomassojen hyödyntämiseen ja energiantuoton lisäämiseen. Tällä hetkellä suurin osa rahtilaivoista tyhjentää edelleen mustat ja harmaat vedet mereen. Tarkoituksena on selvittää rahtilaivojen tyhjennysprosessi satamassa sekä selvittää, olisiko mustien ja harmaiden vesien satamaan jättäminen uusi kiertotalousratkaisu Suomen energiapolitiikkaan ja voisiko mustista ja harmaista vesistä saatavaa biomassaa hyödyntää energiantuotantoon.

Kiinnostus aiheeseen lähti Baltic Sea Action Groupin aloitteesta vuonna 2021, jossa haettiin yhteistyökumppaneita rahtialusten mustien ja harmaiden vesien jatkokäsittelyyn. Baltic Sea Action Group etsi muun muassa loppukäsittelylaitosta mustille ja harmaille vesille.

Satamien toimintamalleista rahtilaivojen mustien ja harmaiden vesien tyhjennys-tilanteista ei ollut kovinkaan paljon kirjallisuutta. Tästä syystä kehitystyön yhtenä osana oli sataman toimintamallin selvitys, joka tapahtui kenttätutkimuksena, satamakäynteinä ja eri tahojen haastatteluina.

Laskennallisen määrän selvittämiseksi tarkasteltiin tiettyjä satamia ja niiden laivakäyntejä, minkä perusteella laskettiin rahtilaivojen mustien ja harmaiden vesien keskiarvoinen tyhjennysmäärä satamakäyntiä kohden. Satamien väliset

etäisyydet löytyivät Searates-nimisen internetsivun kautta (Searates 2022). Etäisyys, matkan kesto ja ihmisen keskimääräisen vedenkulutuksen huomioiden saatiin vuotuinen kokonaismäärä mustille ja harmaille vesille. Saadun määrän perusteella verrattiin kiintoaineen eli kuiva-ainepitoisuuden määrää sekä kaasuntuottopotentiaalin vaikutusta energiamäärään. Kiintoainepitoisuudet saatiin Kymen veden teetättämistä laboratoriotutkimuksista.

2 Suomen tavoitteet kiertotaloudessa

2.1 Suomi suunnannäyttävä kiertotaloudessa

Valtioneuvoston 2021 antama ehdotus kiertotalouden suunnannäyttäjäksi on pohja Suomen kiertotalouden edistämiseen. Suomesta kaavaillaan suunnannäyttäjää kiertotalouden edelläkävijänä, ja tavoitteena on tuoda ratkaisuja ilmastomuutokseen, luonnonvarojen tuhlaukseen ja hiilikadon hillintään. Ongelma on ollut taloudessa vallitseva lineaarinen ”ota, valmista, hävitä” -toimintatapa, joka perustuu ylikulutukseen. Kiertotalouden määritelmä on se, että materiaaleja hyödynnetään tehokkaasti ja kestävästi ja ne pysyvät kierrossa pitkään ja turvallisesti. Kiertotalous on uusi talouden toimintatapa, joka tuottaa taloudellista hyvinvointia maapallon kantokyvyn rajoissa. Kiertotalous on keino vähentää luonnonvarojen käyttöä. (Valtioneuvosto 2021.)

Kiertotalouden strategisen ohjelman lisäksi on muitakin hallitusohjelman mukaisia strategioita, joista voisi mainita muun muassa biotalousstrategian. Biotalousstrategialla tarkoitetaan taloutta, joka käyttää uusiutuvia luonnonvaroja ravinnon, energian, tuotteiden ja palvelujen tuottamiseen. Biotalousstrategian ratkaisut tukevat kiertotaloutta silloin, kun ne auttavat vähentämään fossiilisten ja muiden rajallisten luonnonvarojen käyttöä. (Valtioneuvosto 2021.)

2.2 Agenda 2030 -tavoitteiden kattavuus rahtilaivojen mustien ja harmaiden vesien tyhjennykseen

YK:n kestävän kehityksen Agenda 2030 -toimintaohjelmassa valtiot ovat sitoutuneet muun muassa luonnonvarojen tehokkaampaan käyttöön, resurssien kiertäykseen ja kestäviin tuotanto- ja kulutustapoihin. Kestävä kehitys on yhteiskunnallinen jatkuva muutos, jolla turvataan nykyisille ja tuleville ihmisille hyvän elämisen mahdollisuudet. Kestävän kehityksen tavoitteet näkyvät parhaiten alla olevasta kuviosta 1. (Valtioneuvosto 2021.)



Kuvio 1. Kestävän kehityksen tavoitteet (Ulkoministeriö 2015).

Lopettamalla rahtilaivojen mustien ja harmaiden vesien tyhjennys mereen vastaa itsessään ainakin kolmeen tavoitteeseen.

Kohta 13. ilmastotekoja: Kiertotalouden käytännöt edistävät suoraan ja epäsuorasti ilmastomuutoksen hillitsemistä ja siihen sopeutumista.

Kohta 14. Vedenalainen elämä: Kiertotalouden toimintamallit ja muun muassa ravinteiden talteenotto vähentävät valtameriin joutuvia kuormittavia ravinteita.

Lisäksi mustien ja harmaiden vesien hyödyntämisellä ja sitä kautta kiertotalou-

della torjutaan ilmastonmuutosta ja vähennetään välillisesti merien happamoitumista.

Kohta 7. Edullista ja puhdasta energiaa. Metaanin ja ravinteiden talteenotto mustista ja harmaista vesistä edistää tavoitteiden saavuttamista uusiutuvaa energiaa hyödyntämällä sekä se edistää satamien että laivojen kiertotaloutta. (Valtioneuvosto 2021.)

2.3 Kasvihuonekaasut ja niiden laskentasuureet

Kasvihuonekaasut ovat Ilmakehän kaasuja, jotka päästävät auringonsäteilyn lävitseen, mutta absorboivat maan pinnalta saapuvaa lämpösäteilyä. Kasvihuonekaasuja ovat muun muassa vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, troposfäärin otsoni, dityppioksidi sekä F-kaasut eli fluoratut kaasut. Ihmisten toimet lisäävät hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä aiheuttaen sen, että lämpösäteily ei poistu maapalloilta, joka taas aiheuttaa ilmastonlämpenemistä. (Sitra 2022, TTP 2022.)

Kasvihuonekaasujen yhteenlaskettu määrä ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalentteina. Hiilidioksidiekvivalentti on yhteismitta, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutusta kasvihuoneilmion voimistumiseen. Hiilidioksidiekvivalentti ilmaistaan massana (kg, tonni) kun puhutaan päästöistä. (Sitra 2022, TTP 2022).

2.4 Suomen päästötavoitteet ja niiden kehittyminen

Liikenne- ja viestintäministeriö on johtanut työryhmää, jonka tehtävänä on ollut tarkastella keinoja, joilla saataisiin puolitettyä liikenteen kasvihuonepäästöt vuoteen 2030 mennessä. Liikenne aiheuttaa noin viidesosan Suomen päästöistä. Tieliikenteen osuus on noin 94 %, merenkulun päästöt n. 4 % ja lentoliikenteen osuus n. 2 %. Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen on laskettu perusennusteen mukaan vähenevän 3,2 miljoonaa tonnia vuoteen 2030 mennessä. Liikenteestä kuitenkin tavoitellaan vielä 1,55 miljoonan hiilidioksiditonniin vähennystä,

jotta päästöt puolittuisivat 2005 tasosta. EU:n yhteinen päästövähennystavoite tiukkeni 40 %:sta 55 %:iin. (Harakka 2022; Antikainen 2021.)

Päästöjen vähentämiseen on monia keinoja, muun muassa kaasukäyttöisten kuorma-auton hankintaa on edistetty hankintatuella. Biokaasulaitoksien investointeja on edistetty investointituilla. Sähköautojen yleistymistä on edistetty monin tavoin, kuten veromuutoksilla ja latausinfrastruktuurin hankintatuilla. Osaltansa myös energiakriisi on edistänyt energiatehokasta ajatusmallia. Koronavuodet ovat taas omalta osaltaan edistänyt henkilöautojen ajosuoritteiden pienenemiseen, mutta toisaalta taas aiheuttanut joukkoliikenteeseen asiakaskadon. (Harakka 2022.)

Toimenpiteet ja osin varmasti myös kriisit ovat varmastikin edesauttaneet tilannetta niin, että tieliikenteen päästöt ovat laskeneet ennakoitua nopeammin. Tutkimuskeskus VTT:n laatiman raportin mukaan kasvihuonekaasupäästöt vähenvät 40 % nykyisillä toimenpiteillä 2005–2030. Tieliikenteen osuus on ollut suurempi kuin vesi- ja raideliikenteen. Keskeisin syy on se, että sähkö- ja kaasuautojen osuus on kasvanut ja bensiini- ja dieselautojen pienentynyt. Sähköautojen osuus kasvanut merkittävimmin. Päästövähennystarvetta on siis vielä paljon ja keinoja tulisi etsiä edelleen aktiivisesti. (Harakka 2022; Antikainen 2021.)

2.5 MARPOL 73/78- kansainvälinen yleissopimus merenkulkuun

Kansainvälisen merenkulkujärjestössä IMO:ssa tehty vuonna 1973 kansainvälinen yleissopimus on tullut voimaan Suomen osalta vuonna 1983 ja sitä on muutettu lukuisia kertoja voimaan tulon jälkeen. Hallituksen esitys eduskunnalle perustuen MARPOL 73/78- kansainvälisen yleissopimuksen määräykseen, jolla pyritään vähentämään alusten tavanomaisesta käytöstä johtuvia vaarallisia ja haitallisia päästöjä veteen ja ilmakehään. Yleissopimuksessa on nykyisin kuusi liitettä.

I Liite sisältää öljyä koskevat määräykset

II Liite haitallisten nestemäisten aineiden kuljettamisesta irtolastina

- III Liite haitallisten aineiden kuljettamisesta pakattuna
- IV Liite käymälävesiä koskevat määräykset
- V Liite kiinteitä jätteitä koskevat määräykset
- VI Aluksista ilmaan meneviä päästöjä koskevat määräykset (MARPOL 2018.)

Itämeren suurin ongelma on rehevöityminen ja MARPOL-yleissopimus velvoittaa, että kaikkien toimijoiden tulee vähentää rehevöitymistä aiheuttavaa ravintekuormitusta. Tällaisia ravinteita ovat typpi ja fosfori. Vaikka merenkulun typpipäästöt Itämereen ovat esimerkiksi maatalouteen verrattuna pienet, on niiden alueellinen ja ajallinen vaikutus suuri. Laivat liikennöivät pääasiassa samoja väyliä, joten päästöt kohdistuvat samoille alueille. (MARPOL 2018.)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kohtaa IV, jossa haetaan parempia ratkaisuja siihen, että rahtialuksista edelleen saa laskea käymäläjätevedet veteen. Sallittua oli laskea jätevedet kolmen meripeninkulman päähän maasta, mikäli käymäläjäte lasketaan desinfioidun, hienontavan laitteiston läpi tai mikäli laitteistoa ei ole matka on 12 meripeninkulmaa lähimmästä maasta (MARPOL 2018).

2.6 Fit For 55 -ilmastopaketti ja sen tavoitteet merenkulkuun

Euroopan komissio on julkaissut 2021 ilmastopaketin, jonka tavoitteena on eurooppalaiseen ilmastolakiin kirjattujen tavoitteiden aloitteiden saavuttaminen. EU:n tavoitteena on nettopäästöjen vähentäminen vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä, vuoteen 1990 verrattuna. Ilmastopaketissa on useita merenkulkuun liittyviä aloitteita muun muassa merenkulun sisällyttäminen EU:n päästökauppaan, FuelEU Maritime vaihtoehdoisen ja uusiutuvien polttoaineiden käytön lisääminen ja Energiaverodirektiivin uudistus. (Björkendahl 2022.)

Merenkulun suurimmat päästöt ovat hiilidioksidipäästöt, jotka halutaan sisällyttää päästökauppaan. Tämä tarkoittaisi sitä, että varustamo tai liikennöinnistä vastaava taho joutuisi ostamaan ja luovuttamaan päästöoikeuksia luovuttamansa hiilidioksidipäästömäärän mukaan. FuelEU Maritimen tavoitteena olisi edis-

tää vaihtoehtoisten tai uusiutuvien polttoaineiden käyttöä meriliikenteessä. Tämä tarkoittaisi sitä, että kaikille aluksille laskettaisiin kasvihuonekaasuintensiteetti-indeksi arvo aluksen käyttämän energian mukaan. Kasvihuonekaasuintensiteetti raja lasketaan viiden vuoden välein, mikä tarkoittaa sitä, että viiden vuoden välein suurempi osa aluksen käyttämästä fossiilisesta polttoaineesta korvataan uusiutuvalla energialla. Energiaverodirektiivin uudistus tarkoittaisi sitä, että merenkulun polttoaineet asettuisivat veronalaisiksi. Vähimmäisverokannat perustuisivat polttoaineen energiasisältöön (euroa/gigajoule). (Björkendahl 2022.)

2.7 Fossiilisten polttoaineiden ja lannoitteiden merkitys energiakriisissä

Energiakriisin myötä Suomessa on noussut huoli energiasta ja lannoitteiden saatavuudesta. Tilastokeskuksen tietojen mukaan 2021 Venäläisen energian osuus Suomen kokonaiskulutuksesta on ollut ennakkotietojen mukaan 34 %, josta prosentuaalisesti suurin osuus oli maakaasu (Sandberg 2022).

Biokaasu vastaa kemiallisilta ominaisuuksiltaan täysin maakaasua, joten biokaasulla voidaan korvata maakaasua.

Merkittävä osa Suomessa käytetyistä lannoitteista tai niiden raaka-aineista on peräisin Venäjältä. Suomalaisten tulevaisuustalo Sitra on koonnut asiantuntijaryhmän ratkaisemaan tuontilannoitteiden korvautuvuutta. Toimenpiteillä parannetaan omavaraisuutta, huoltovarmuutta sekä sillä vähennetään riippuvuutta fossiilisilla energialla sidotuista mineraalilannoitteista. Keskeisimmät ehdotukset liittyivät jätevesilietteeseen, vaikka ongelmana onkin, että niiden haitta-aineiden vaikutuksista ei ole riittävästi tutkimusta peltoekosysteemissä. (Lindel ym.2022.)

Eurooppa ja Suomi mukaan lukien ovat olleet energiakriisin myötä pakotettuja etsimään ratkaisuja korvaamaan Venäjältä tulevaa energiaa. Monet maat ovatkin lähteneet vauhdikkaammin edistämään uusiutuvia energialähteitä. Biokaasu on uusiutuvaa energiaa, mutta sen määrä on rajallinen. Opinnäytetyössä käsitellään täysin uutta biomassaa, joka syntyy meriliikenteessä ja jota voitaisiin hyödyntää biokaasuntuotannossa ja näin edesauttaa uusiutuvien polttoaineiden määrän lisäämistä.

2.8 Ravinteiden kierrätys Itämeren suojelemiseksi

Yksi osa Agenda 2030 tavoitetta on suojella vesistöjä ja meriä. Itämeren tilan parantamista ja kierrätyksen edistämistä varten on tehty ravinteiden kierrätys- eli Raki-ohjelma (kuvio 2). Ympäristöministeriön koordinoima ohjelma rahoittaa hanketta, jossa hyödynnettäisiin ravinnerikkaita biomassoja ja tuotettaisiin kierrätysravinteita sekä uusiutuvaa energiaa. Kierrätysravinteilla halutaan korvata epäorgaanisten lannoitteiden käyttöä ja uusiutuvalla energialla korvata fossiilisia polttoaineita. Alla Raki-ohjelman vaiheet.



Kuvio 2. Ympäristöministeriö Raki-vaiheet (Malila 2022).

Suomen hallitus sitoutui itämerihuippukokouksessaan (2010) tehot toimiin Saaristomeren hyvän tilan saavuttamiseksi 2020 mennessä. Suomesta luvattiin vielä ravinteiden kierrätyksen esimerkkialue, jossa esitettiin toimia ravinteiden kierrättämiseksi ja Saaristomeren hyvän tilan saavuttamiseksi. Ravinteiden kierrätysohjelma (Raki) laadittiin tämän pohjalta. (Malila 2022.)

3 Rahtialusten tyhjennysprosessi ja sen nykytila Itämerellä

3.1 Mustat ja harmaat vedet osaksi kiertotaloutta

Rahtilaivojen on nykytilainsäädännön puitteissa mahdollista tyhjentää mustat ja harmaat vedet mereen. Käsittelemätöntä käymälävettä voi purkaa noin 22 kilometrin etäisyydellä rannasta ja käsitellyn käymäläveden voi purkaa vielä lähempänä. Harmaat vedet käsittävät rahtialusten pesuvesiä keittiöistä, pesutiloista tulevia vesiä ja mustat vedet WC:ssä syntyviä jätevesiä ja kiinteää ruokajätettä. Rahtialusten on mahdollista jättää halutessaan harmaat ja mustat vedet satamaan, maksamatta siitä ylimääräistä maksua. Kuitenkin vain 4 % rahtilaivoista jätti mustat ja harmaat vedet satamiin. Baltic Sea Action Group on jakanut tietoisuutta tyhjennysmahdollisuudesta, jakamalla muun muassa Baltic Sea Waste tietopakettia rahtilaivoille, missä kerrotaan mitä jätelajeja jätemaksu kattaa. (BSAG 2022b ja c).

Miksi rahtilaivat eivät tyhjennä mustia ja harmaita vesiä satamaan? Syitä on monia, joista yksi isoimmista on mahdollisesti satamassa vietetty aika, jota ei haluta pidentää tyhjennysoperaatioilla, koska se on todella arvokasta laivoille. Toinen mahdollinen syy on totuttu toimintatapa, jolla laivat tyhjentävät harmaat ja mustat vedet mereen. Rahtilaivan satamatyhjennykseen tarkoitetut luukut ovat mahdollisesti ruostuneet tai jumiutuneet käytön puutteesta tai laivassa ei ole ihmistä, joka vastaisi tyhjennysprosessista laivassa tai tuntisi toimintatavat satamassa tyhjennysprosessia tehtäessä. Osassa rahtilaivoista myös biojätteet johdetaan samaan paikkaan mustien ja harmaiden vesien kanssa, josta ne tyhjenetään mereen.

Tyhjennysprosessin toimintaan osallistuu useampi eri taho ennen kuin saatu jätevesi päättyy mahdolliseksi energiahyödyksi. Satamassa itse tyhjennyksen hoitaa ulkopuolinen liikennöitsijä tai satama itse, mikäli tarvittava tyhjennyskalusto tai infrastruktuuri tyhjennykselle on satamaan rakennettu. Tyhjentävä osapuoli huolehtii, että mustat ja harmaat vedet kulkeutuvat linjastoa pitkin tai kuljetetaan kuljetuskalustolla jätevedenpuhdistamolle tai biokaasulaitokselle. Jäte-

vedenpuhdistamolta liete jatkaa matkaa yleisimmin biokaasulaitokselle tai vastaavaan loppukäsittelypaikkaan.

Autolautat ja reittiliikenne alukset jättävät jo nyt kaikki mustat ja harmaat vedet maihin. Rahtialuksia kuitenkin liikennöi huomattavasti enemmän noin 95 % meriliikenteestä ja niiden on laillista laskea harmaat ja mustat vedet Itämereen. Baltic Sea Action Group on jakanut tietoisuutta Itämerellä liikennöiville aluksille muun muassa satamissa käytössä olevasta *No Special Fee* -maksujärjestelmästä, jossa jokainen laiva maksaa jätemaksun riippumatta siitä, jättääkö se jätteitä satamaan vai ei. (BSAG 2022a).

Baltic Sea Action Groupin, jonka nimestä jatkossa käytetään selkeyden vuoksi nimeä BSAG:n, tavoitteena on palauttaa Itämeren ekologinen tasapaino. Ekologinen tasapaino on ympäristön tila, jossa eliöiden väliset suhteet ovat vakaat tai muuttuvat tasaisesti ja jossa muutokset johtuvat luonnonprosessista. BSAG käynnisti hankkeen, Ship Waste Action, jonka tarkoitus oli kasvattaa satamiin purettavien jätteiden määrää ja ohjata niitä kiertotalouden piiriin. BSAG on saatanut eri toimijoita yhteen ja lähtenyt hakemaan aktiivisesti ratkaisuja Itämeren rehevöitymisen vähentämiseksi. (BSAG 2022a ja b), (TTP 2022).

Rahtilaivojen tyhjennyksen tapahtuessa edelleen mereen, mustat ja harmaat vedet olivat kiinnostava kohde ja hyödyntämätön potentiaali uutena biomassana, josta saisi energian hyötykäyttöön ja näin edistettyä Suomen kiertotaloutta.

3.2 Tyhjennysprosessi sidosryhmien yhteistyössä

Monessa satamassa liikennöitsijä hoitaa satamassa rahtilaivojen ja risteilijöiden mustien ja harmaiden vesien tyhjennyksiä. Liikennöitsijä suorittaa itse tyhjennyksen imuautolla ja toimittaa sen jäteveden puhdistuslaitokselle tai muulle loppukäsittelijälle. Tyhjennyksen voi suorittaa myös satama, mikäli heillä on jätevesijärjestelmän tyhjennysmahdollisuus ja tai tarvittava kalusto tyhjennykseen esimerkiksi säiliöauto. Tyhjennettävät jätevedet kulkeutuvat molemmilla tavoilla

pääasiallisesti loppukäsittelijälle: jätevedenpuhdistuslaitokselle tai biokaasulaitokselle.

Jätevedenpuhdistamolta käsitelty liete kuljetetaan usein vielä biokaasulaitokselle tai kompostointiin. Biokaasulaitokselta lietteestä saadaan vielä talteen metaani eli biokaasu. Biokaasulaitoksella on mahdollista käsitellä molempia jätejättejä, suoraan toimitettuja harmaita ja tai mustia vesiä sekä puhdistamolta tullutta kiinteämpää lietettä, jonka kuiva-ainepitoisuus on noin 20 % luokkaa. Biokaasulaitoksen märkäprosessissa kuiva-ainepitoisuus tulisi olla noin 10 % eli myös kuiva-ainepitoisuudeltaan alhaisemmat soveltuvat prosessiin, mutta loppuvaiheessa ylimääräistä nestettä joudutaan linkoamaan huomattavasti enemmän pois nestemäisemmästä lietteestä. Biokaasuprosessissa kuiva-ainepitoisuudeltaan alhaisemmat lietteet (noin 1–2 % kuiva-ainepitoisuus), kuten mustat ja harmaat vedet, voivat toimia myös laimennusvetenä. Biokaasuprosessissa saatetaan tarvita laimennusvettä, mikäli saapuneet biomassat ovat kuiva-ainepitoisuudeltaan suurempia kuin 15 % (Kymäläinen, M. & Pakarinen O. 2015). Mikäli biokaasulaitoksen prosessissa on laimennustarvetta, ei tällöin tarvitsisi käyttää lainkaan esimerkiksi puhdasta vettä laimennuksessa.

4 Kehittämistyön tavoitteet

4.1 Satamatoiminnan kehittäminen

Satamien toimintamalleista tyhjennystilanteessa ei löytynyt juurikaan kirjallisuutta ja siksi yhtenä kehittämistyön tavoitteena on selvittää rahtialusten nykyinen tyhjennysprosessi ja toimintamallit eri satamissa sekä löytää satamille mahdollisesti yhteneväisiä ratkaisumalleja toiminnan kehittämiseksi.

Toisena tavoitteena on edesauttaa Suomen kestävän kehityksen edistämistä löytämällä uusia ratkaisuja kiertotalouteen ja uusiutuvien polttoaineiden lisäämiseen ja kierrätyslannoitteiden tuotantoon.

4.2 Energiamäärän laskeminen

Suomen kestävän kehityksen tavoitteiden mukaisesti kiertotaloutta pyritään kasvattamaan eri osa-alueilla sekä edesauttamaan Itämeren tilan parantumista. Suomen satamissa vierailevien rahtialusten mustien ja harmaiden vesien kokonaisuuden laskennalla on tavoitteena löytää uusi hyödyntämätön biomassa biokaasulaitokselle uusiutuvan energian hyötykäytön lisäämiseksi. Opinnäytetyö selvittää rahtialuksista saatavan mustien ja harmaiden vesien laskennallisen energian- sekä ravinteiden määrän. Rahtialusten mustien ja harmaiden vesien uusi hyötykäyttö edistäisi myös ravinteiden kierrätystä sekä auttaisi Itämeren tilan paranemista.

5 Rahtilaivojen tyhjennysprosessien selvitys

5.1 Rahtialusten tyhjennysprosessi valituissa satamissa

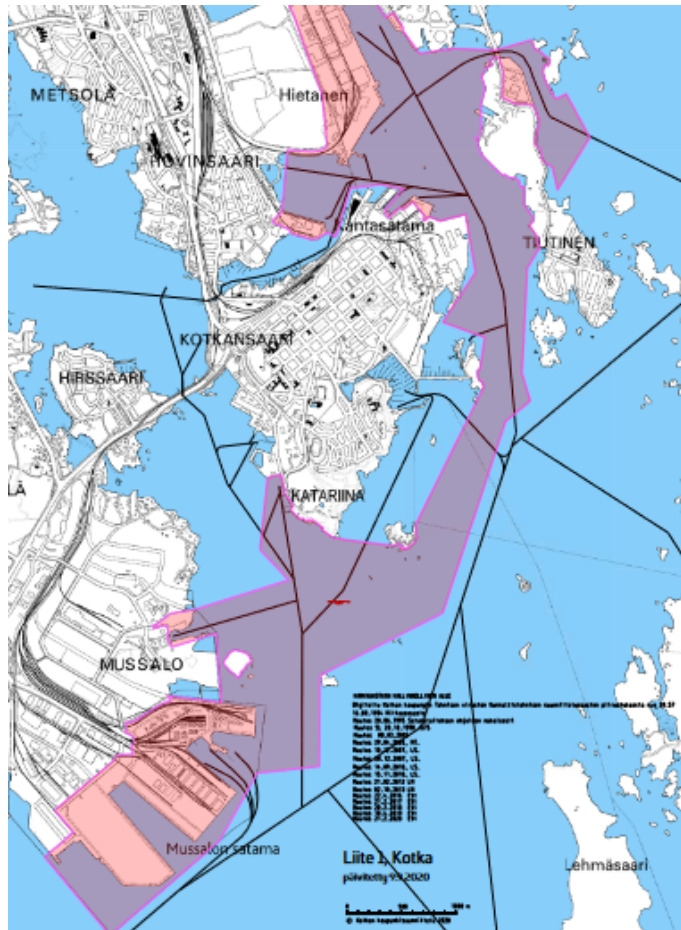
Satamien tyhjennysprosessista löytyi vähän kirjallisuutta, joten eri satamien toimintaperiaatetta tarkastellaan eri satamissa haastatteluin ja tutustumiskäyntein. Kyseiset satamat valikoituivat sijainnin ja laivakäyntien sekä tyhjennystapojen perusteella. HaminaKotkan satama on yksi suurimmista satamista laivakäynneiltään. Kokkolan satamaan pääsee taas 14 m syvää syväväylää pitkin, joten sinne on mahdollista tulla täydemmillä ja isommilla rahtilaivoilla. Turun satama oli taas ottanut käyttöön liikuteltavan säiliön, joten se valikoitui tutustumiskohteeksi sen takia.

5.2 HaminaKotka sataman tyhjennysprosessi

HaminaKotkan satama valikoitui tarkastelun kohteeksi, koska se on laivakäynneiltään yksi isoimmista Suomen satamista. Vuonna 2021 HaminaKotkan satamassa oli lähes 2400 laivakäyntiä, joka on toiseksi suurin satama Helsingin jälkeen satamakäynneiltään. HaminaKotkan satamassa tyhjennyksen hoitaa yhteistyökumppani imuautolla, joka vie mustat ja harmaat vedet suoraan läheiselle jätevedenpuhdistamolle, josta lingotut lietteet kulkeutuivat edelleen biokaasulaitokselle.

HaminaKotkan satama-alue on laaja ja satama koostuu eri osista muun muassa tyhjentävien laivojen tyyppien perusteella. Esimerkiksi konttialukset tyhjentävät kontit laituriin, jossa on konttien keräilyyn soveltuva kalusto esimerkiksi liikuteltavat ”lukit”.

Alla olevasta kuvasta 1 näkyy hyvin HaminaKotkan satama-alueen laajuus sekä satamien väliset etäisyydet. Rantamatkaa kertyykin siellä jopa 130 kilometriä.



Kuva 1. HaminaKotkan satama-alue. (HaminaKotka satama Oy 2021).

HaminaKotkan satamassa ei ole kiinteää tyhjennysmahdollisuutta suoraan viemäriverkostoon vaan tyhjennyksessä käytetään imuautoa, joka kuljettaa tyhjenetyt vedet jätevedenpuhdistamolle. Rahtilaivojen ei ole pakollista tyhjentää harmaita ja mustia vesiä, joten meni muutama viikko ennen kuin sellainen laiva, joka tyhjennyksen halusi tehdä, saapui satamaan. Tyhjennystä tuli tekemään keskikokoinen rahtilaiva Mussalon satamaan. Laiva oli lähtenyt Rotterdamista 2.8.2022 ja jatkoi matkaa 5.8.2022 paikkaan Wilhelmshaven. HaminaKotkan satama oli saanut ennakkotiedon laivan tyhjennyksestä edellisenä päivänä. Paikalle oli tilattu 3.8.2022 HaminaKotkan sataman sopimuskumppani Autoyhtymä Vuorinen Oy tyhjennystä suorittamaan tarpeeseen sopivalla imuautolla. Vuorinen oli paikalla kello 8.00. Ajoneuvoon tarvittiin kaksi henkilöä, koska toisen oli oltava laivassa ja toisen ajoneuvon luona. Alla olevasta kuvasta 2 näkyy tyhjennystilanne ja kahden henkilön tarpeellisuus tyhjennystilanteessa. Toinen operoi käynnissä olevaa autoa, joka imee alipaineella tyhjennettäviä mustia ja

harmaita vesiä. Toinen henkilö on laivassa huolehtimassa liittimien kiinnityksestä. Laivan omalla henkilökunnalla on tietty henkilö tai henkilöt, jotka vastaavat tyhjennysprosessista ja valvovat sitä. Suurin aika meni odotellessa heitä mahdollisesti toisista tehtävistä ja liittämään letkua laivan omaan tyhjennysventtiiliin.



Kuva 2. HaminaKotkan satama. rahtilaivan tyhjennys imuautolla. (Kuva: Anniina Hiltunen).

Esimerkkilaivasta tyhjennettiin mustat vedet, jota tuli noin $8,5 \text{ m}^3$. Ajallisesti tyhjennysprosessi kesti kokonaisuudessaan noin kaksi tuntia. Liittimen kiinnityksessä ja laivahenkilökunnan odottelussa meni isoin osa ajasta. Laivan henkilökunnassa on määritetty tietyt henkilöt tyhjennystä valvomaan ja/tai kiinnittämään liittimiä. Itse tyhjennys, kun liittimet olivat kiinnitetty kesti arviolta vain noin 10 minuuttia. Jätevedet imettiin imuautoon ja sen jälkeen auto suuntasi kohti Mussalon jätevedenpuhdistamoja säiliöauton tyhjennystä suorittamaan. Matkaa jätevedenpuhdistamolle ei ollut Mussalon satamasta kuin alle kilometri. Tyhjennysmäärä laivoista, jotka tyhjennystä ovat tehneet, on tavallisesti noin $8 - 12 \text{ m}^3$, poikkeuksena risteilijät, joiden määrät saattavat olla jopa 400 m^3 kerrallaan. Isoja määriä tyhjentäessä paikalla on joko useampi auto, tai tyhjennys

tehdään niin, että paikalla oleva auto käy tyhjentämässä välillä ja sen jälkeen tulee jatkamaan.

Käymäläjätevedet hinnoitellaan HaminaKotkan satamaassa aluksen nettovetoisuuden yksikön perustella, joka on HaminaKotkan satamassa 0,02 €/nettotonni, kertoi HaminaKotkan sataman Operations Manager Suvi-Tuuli Lappalainen. Esimerkkilaivan nettovetoisuus oli noin 17 000 tonni ja silloin sataman jätemaksu kyseisestä laivasta on noin 340 € (HaminaKotkan satama 2022). HaminaKotkan satamalla on oma sopimus kuljetusyrityksen kanssa, joka veloittaa sopimuksen mukaisesti tyhjennyksessä käytetyn ajan ja määrän perusteella.

5.3 Turun sataman tyhjennysprosessi

Turun satama valikoitui tarkastelun kohteeksi sen perusteella, että sinne oli hankittu kesäkuussa 2022 liikuteltava säiliö tyhjennyksiä varten, lisäksi siellä on vielä kiinteä tyhjennysmahdollisuus suoraan kaupungin jätevesiverkkoon. Turku on myös yksi isoimmista Suomen satamista laivakäynneiltään. Alla olevasta kuvasta 3 näkyy myös Turun sataman laajuus ja maantieteellinen hajanaisuus. Eri satamien etäisyys on tietä pitkin useampi kilometri. Laivapaikkoja löytyy Kantasataman alueelta ja Pansion sataman alueelta. Turun sataman laiturialueista kertyy matkaa yhteensä viisi kilometriä.



Kuva 3. Turun satama-alue. (Turun satama Oy 2022).

Turun satamassa on kaksi kiinteää jätevedentyhjennyspistettä, joista mustat ja/tai harmaat vedet saadaan suoraan ohjattua kiinteään jätevesijärjestelmään. Alla olevasta kuvasta 4 näkyy kiinteän ratkaisun tyhjennyspiste. Kuvassa näkyy keltainen tyhjennyspiste ja kuvan nuoli osoittaa laiturin reunaa kiertävää tyhjennysletkua. Kyseisen tyhjennysletkun pituus oli silmämääräisen arvion mukaan ainakin noin 100 m, mikä on varmasti omalta osaltaan haastava tyhjennyksen ja käsiteltävyyden kannalta. Lisäksi tässä tyhjennyspisteessä letku on jouduttu johtamaan laiturin reunaa pitkin, mikä saattaa hankaloittaa tyhjennystä ja muuta sataman liikennettä. Kiinteästä tyhjennyspisteestä huolimatta laiturissa oli sillä hetkellä pienemmän laivan mustien ja harmaiden vesien tyhjennystä suorittamassa imuauto, koska laivan omassa järjestelmässä ei ollut riittävästi painetta tyhjennysprosessiin.



Kuva 4. Turun sataman kiinteä tyhjennys. (Kuva: Anniina Hiltunen).

Liikuteltavan säiliön on tarkoitus palvella alueita ja niitä laituri paikkoja, joissa ei ole kiinteää tyhjennyspistettä. Satama alueella sijaitsee säiliön tyhjennyspiste suoraan jätevesiverkostoon, joten matka ei ole pitkä tyhjennyksen suorittamiseen. Liikuteltavaa säiliötä operoi Turun oma satamahenkilökunta. Liikuteltavassa säiliössä on pumppu, jolla saa imettyä mustat ja tai harmaat vedet alipainaisesti, mutta prosessi nopeutuu, jos laivan omaa paineilmaa hyödynnetään

tyhjennyksessä. Letku ja säiliö ovat mahdollista huuhdella imaisemalla lopuksi esimerkiksi merivettä. Liikuteltavan säiliön hinta oli arviolta noin 40 000 € ja se tarvitsi erinäisiä lupia muun muassa ELY-keskukselta. Tyhjennysprosessiin tarvitaan tässä järjestelmässä vai yksi ihminen ja liittimet olivat tehty vain kyseiselle traktorille. Säiliön vetoisuus on noin 20 m³ eli risteilijöille tai muille vastaaville, mistä tulee kerrallaan useampi sata kuutiota, joutuisi tällä ratkaisulla tyhjennyksiä tekemään monta kierrosta. Tyhjennysyksikön liikuteltavuus mahdollistaa myös varajärjestelmän kiinteiden tyhjennyspisteiden lisäksi, mikäli letku- tai liittinrikkoja tulee. Alla olevasta kuvasta 5 selviää Turun sataman ratkaisu liikuteltavalle yksikölle.



Kuva 5. Turun sataman liikuteltava tyhjennysyksikkö. (kuva: Anniina Hiltunen).

Turun satamassa oli erillinen lava eri tyhjennysletkuille ja liittimille (kuva 6), joiden liikutteluun tarvitaan kunnollinen kuljetuskalusto. Mitä paksuseinäisempiä letkut ovat, sitä kestävämpiä ne ovat, mutta sitä raskaampi niitä on käsitellä.



Kuva 6. Rahtilaivojen mustien ja harmaiden vesien tyhjennysletkuja lavalla Turun satamassa. (kuva: Anniina Hiltunen).

Tyhjennysletkuissa ja niiden käsittelyssä on haasteena rikkoutumisvaara. Letkurikon osalta satamalla olisi hyvä olla suunnitelma mahdollisesti niin käydessä. Turun satamassa liikuteltava tyhjennysyksikkö toimi varasuunnitelmana mahdollisten letkurikkojen osalta.

5.4 Kokkolan satama tyhjennysprosessi

Kokkolan satamassa tyhjennys tapahtui myös erikseen tilattavalla imuautolla, kiinteitä tyhjennyspisteitä ei ole. Tyhjennyksiä oli tehty vuonna 2020 kuusi kappaletta ja tyhjennysmäärä oli ollut kokonaisuudessaan 61 m³. 2021 tyhjennysten lukumäärä oli ollut viisi kappaletta ja tyhjennettävä määrä 49 m³. 2022 tyhjennysten lukumäärä oli jo 19.9.2022 mennessä kahdeksan kappaletta ja tyhjennettävä määrä oli ollut 126 m³. Tyhjennystä suorittavien rahtilaivojen määrä on edellisvuoteen verrattuna selkeässä kasvussa. Kokkolan satamassa on kolme erillistä satama-aluetta ja niiden etäisyydet toisiinsa nähden ovat myös kohtuullisen pitkät (kuva 7). (Mikkola 2022).



Kuva 7. Kokkolan satama-alue. (Kokkolan satama 2022).

Kokkolassa on 2020 valmistunut syväväylä, jonka 14 metrin syvyinen syväväylä mahdollistaa liikennöinnin Panamax - ja Cape size -kokoluokan laivoilla. Tämä tarkoittaa sitä, että Kokkolan satamaan on mahdollista tulla suuremmalla ja tai täydemmällä rahtilaivalla. (Mikkola 2022.)

5.5 Satamien haasteet tyhjennysprosessissa

Satamien kiinteiden tyhjennyspisteiden ehdottomasti yksi haastavin osa-alue ovat letkut ja niiden käsittely sekä kiinnitys. Laivojen koon mukaan, letkujen pitää olla pitkiä, mikä hankaloittaa niiden käsittelyä. Letkujen kestävyys kannalta letkun vahvuus tulisi olla mahdollisimman paksu, mutta vahvuuden kasvaessa käsittely vaikeutuu painon lisääntyessä. Ohutseinäisempää letkua olisi helpompi käsitellä, mutta silloin letkujen rikkoutumisvaara lisääntyy. Letkun halkaisijalla on myös merkitystä tyhjennyksen keston, mikäli letku on halkaisijaltaan kapea, niin silloin läpivirtaus ei ole niin suuri ja tyhjennysprosessin kesto saattaa jopa tuplautua. Satamassa tulee olla myös monia erilaisia liittimiä, millä kytketään tyhjennysletku laivan (kuva 9) ja tyhjennyspisteen tai kaluston välille. Kuvassa 8 on muutama esimerkki erilaisista liittimistä.



Kuva 8. Erilaisia liittimiä mustien ja harmaiden vesien tyhjennyksessä. Liittimet ovat esimerkiksi lokaliitin käytössä olevia, kuten Valducci, Perrot, Bauer, Tykoflex (Kuva: Anniina Hiltunen).



Kuva 9. Tyhjennysletkun kiinnitys liittimellä laivassa. (Kuva: Anniina Hiltunen).

Rahtilaivassa on vastuullinen henkilö tai henkilöt huolehtimassa laivan ja tyhjennysauton välisestä kiinnityksestä.

6 Energiamäärän laskennan menetelmät

6.1 Rahtilaivojen satamakäynnit tarkasteltavissa satamissa

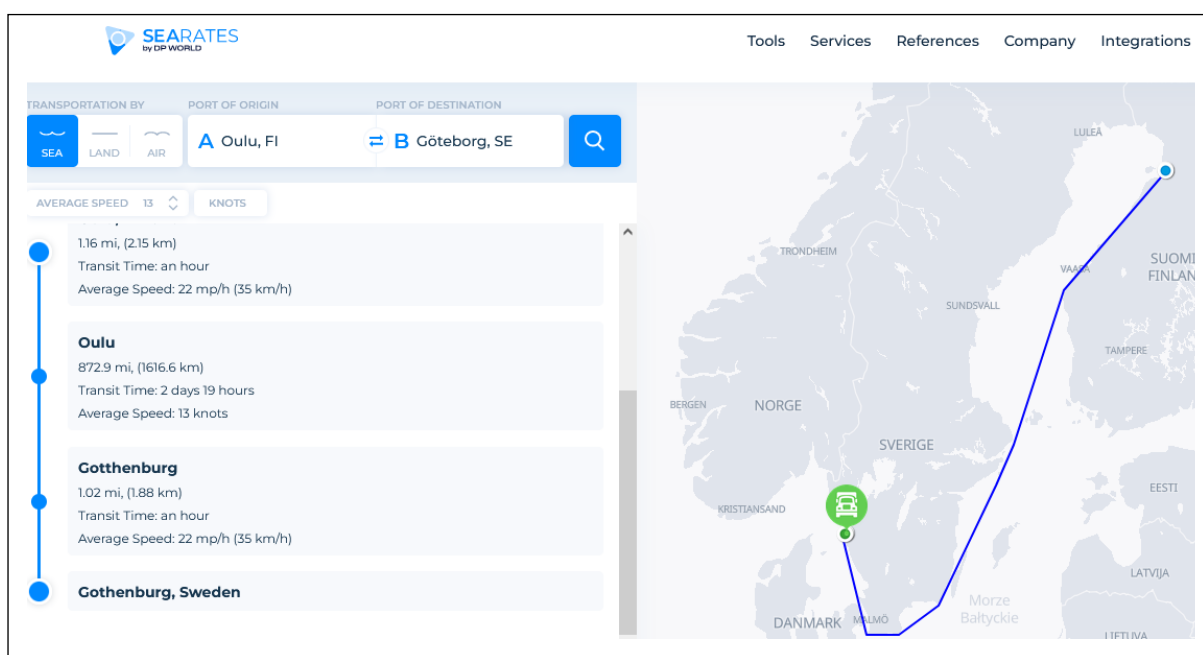
Mustien ja harmaiden vesien kokonaismäärän laskemiseksi selvitettiin ensin kaikki laivakäynnit tarkastelun kohteena olevista satamista, HaminaKotkasta, Kokkolasta ja Oulusta. Satamien laivakäynnit selvisivät PortNet- taulukosta, joka on Liikenne ja Viestintäviraston ylläpitämä satamaliikenteen tietojärjestelmästä tuotettu taulukko vuodelta 2021 (Mikkolainen 2022). Taulukosta selviää kaikki vuonna 2021 rahtilaivojen käynnit Suomen eri satamissa sekä valittujen tulosatamien lähtösatamat. Valitut tulosatamat määräytyivät laivakäyntien ja maantieteellisen sijainnin perusteella.

6.2 Lähtö- ja tulosataman matka-ajan selvitys

Satamien välinen etäisyys selvisi Searates.com-ohjelmalla, josta sai matka-ajan lähtösataman ja tulosataman perusteella. Searates.com lanseerattiin vuonna 2005 ja se on digitaalinen alusta, jonka avulla rahteja voi kuljettaa maailmanlaajuisesti. Searates on osa DP World -yhtiötä, joka tukee huolitsijoita liiketoiminnan digitalisaatiolla. (Searates 2022).

Matka-ajan selvittämiseksi Searates-ohjelmaan kirjoitettiin lähtösatama ja tulosatama (kuva 10). Ohjelma laski kokonaismatkan ja ajan, syötetyn edellisen sataman ja määränpään välillä. Nopeudeksi Searates-ohjelma oli arvioinut 13 solmua laivatyyppistä riippumatta. Mikäli jotakin paikkakuntaa ei löytynyt, on sen etäisyys arvioitu maantieteellisen etäisyyden perusteella Searates-ohjelmassa lähimmästä satamasta ja mikäli lähtöpaikaksi oli ilmoitettu esimerkiksi Eurajoki, jossa ei ole omaa satamaa, lähtösatama on katsottu tällöin lähteväksi ko. paikkakuntaa lähinnä olevasta satamasta eli tässä tapauksessa se olisi Rauma, jonka mukaan merimatka siis määräytyi.

PortNet-taulukosta löytyi myös tieto, jossa oli määritelty miehistön määrä alustyyteittäin. Miehistön määräärvio perustuu BSAG:n tekemään kyselytutkimukseen, jonka he olivat tehneet laivoille ja jota oli täydennetty Portnet-tilastoilla sekä varustamojen haastatteluilla. Laskelmissa on käytetty ihmisen keskimääräistä vedenkulutusta päivässä, joka on noin 120 litraa vuorokaudessa (Motiva 2022). Tällä laskutavalla, Searates-ohjelmalla selvitetty aika ja kulutus verrattuna esimerkilaivaan ja miehistön määrään, on laskettu arvio mustien ja harmaiden vesien määrästä.



Kuva 10. Kuva Searates-ohjelmasta, jolla saatiin muun muassa matka-aika. (Searates 2022).

Kuvassa 10 havainnollistaan Searates-ohjelmaa ja sitä kautta saatua matkaa sekä aikaa satamien välillä. Kaikkien rahtilaivojen nopeudeksi ohjelma arvioi 13 solmua.

6.3 Kehittämistyössä käytetyt arvot ja laskutavat

Rahtilaivojen mustien ja harmaiden vesien määrän laskennassa verrattiin kolmen eri sataman rahtiliikenteen matkoja, joista saatiin jäteveden keskiarvo. Keskiarvossa huomioitiin miehistön määrä ja matka-aika. Energiämäärän laskennassa käytettiin vertailun vuoksi kahta eri metaanintuottopotentialin arvoa, koska sianlietteen metaanintuottopotentiali on suurempi kuin yhdyskuntalietteen. Sianlietteen arvoa käytettiin sen takia, koska osa laivoista laittaa myös biojätteen mustien ja harmaiden vesien sekaan, jolloin kaasuntuottopotentiali kasvaa. Metaanintuottopotentiali on syötteen orgaanisen aineen metaanintuottopotentiali (Luke 2022).

Metaanintuottopotentiali on yhdyskuntalietteessä $250 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{t VS}$ ja syötteen orgaanisen aineen pitoisuus syötteessä prosentteina kuiva-aineesta 60 %. Sianlietteen metaanintuottopotentiali on $320 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{t VS}$ ja syötteen orgaanisen aineen pitoisuus syötteessä prosentteina kuiva-aineesta on 82 %. Jatkossa näistä käytetään nimitystä korkeampi kaasuntuottopotentiali (sianliete) ja alhaisempi kaasuntuottopotentiali (yhdyskuntaliete).

TS= (Total Solids) Kuiva-aine

VS= (Volatile Solids) Orgaaninen aines

Kaasun lämpöarvona on käytetty maakaasunlämpöarvoa 50 MJ/kg

Metaanin energiasisältö on $10 \text{ kWh}/(\text{m}^3\text{CH}_4) = 36 \text{ MJ}/(\text{m}^3\text{CH}_4)^{-1}$

(Luke 2022; Kymäläinen & Pakarinen 2015)

Energiantuotto E_1 on laskettu kertomalla saatu kokonaistonnimäärä M_{kok} kuiva-ainepitoisuudella (K) (%), kertomalla se orgaanisen aineen pitoisuudella O (%) ja kertomalla nämä metaanintuottopotentialilla M (m^3CH_4), jolloin on saatu Energiantuotto MWh vuodessa on laskettu yhtälöllä 1.

$$E_1 = M_{\text{kok}} \times K \times O \times M \quad (1)$$

Polttoaineluokituksissa on ilmoitettu ominaispäästöt yksikössä CO_2/TJ ja laskuissa on käytetty Dieselöljyn arvoa $54,6 \text{ CO}_2/\text{TJ}$ (Motiva 2022). Vertailussa

dieselin hiilidioksidipäästöt on saatu kertomalla vuotuinen kokonaisenergian-
tuottomäärä dieselin oletuspäästökertoimella.

Kaasukuorma-auton kulutus on omakohtaisen kyselyn perusteella noin 30
kg/100 km, tämä kulutus voisi vastata esimerkiksi pakkaavan roska-auton kulu-
tusta. Kilometrimäärä on saatu muuntamalla maakaasun lämpöarvo ensin
MWh/kg ja sen jälkeen laskettu kuinka monta kilogrammaa saadulla energian-
tuotolla tulisi. Tämän jälkeen laskettu kilometrimäärä energiantuotosta oletta-
muksella pakkaavan ajoneuvon kulutuksen olevan 30 kg/100 km.

6.4 Laboratoriotutkimukset ja kuiva-ainepitoisuus

Jätevedenpuhdistamo Kymen vesi oli teetättänyt rahtilaivojen tyhjennyksistä
jätevesitutkimukset Kymen ympäristölaboratoriossa. Näytteet oli otettu kuudesta
eri aluksesta HaminaKotkan satamassa 22.12.2021-30.5.2022 välisellä ajalla
(taulukko 1). Näiden kuuden rahtialuksen kiintoainepitoisuuden painotettukes-
kiarvo oli noin 0,73 %. Painotettua keskiarvoa käytettiin sen takia, koska toimitte-
tuissa jätevesi määrissä oli isoja eroja, alle kuutiosta peräti 14 kuution. Myös
kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat melko paljon, noin 1,5 %-0,16 % välillä, tämä
selviää taulukosta 1.

Kymen Ympäristölaboratorion Jätevesitutkimukset, Kymen Vesi Oy								
Aika		22.12.2021	10.1.2022	11.1.2022	8.2.2022	11.2.2022	30.5.2022	
Mitatut aineet		Rahtialus 1	Rahtialus 2	Rahtialus 3	Rahtialus 4	Rahtialus 5	Rahtialus 6	Painotettu keskiarvo
Kiintoaine	mg/l	160	470	1200	1500	350	568	734,3
Typpi	mg N/l	68	100	680	450	140	83	258,2
Fosfori	mg P/l	8,8	15	93	66	14	11	35,0
Määrä	m ³	12	0,6	7	14	14,1	9,1	11,8

Taulukko 1. Kymen veden teetättämät tutkimustulokset rahtilaivoista (Kymen
Vesi 2021).

Kuiva-aineesta päätellen osassa aluksista saattaa siis olla harmaat ja mustat
vedet samassa säiliössä tai osassa saattoi olla myös biojätteet samassa tai pel-
kät harmaat vedet laskettu mereen. Kaikki näytteet olivat eri rahtialuksista. Las-

kelmissä on hyödynnetty laboratoriotulosten todellisten tulosten perusteella laskettua painotettua keskiarvoa.

6.5 Mustien ja harmaiden vesien vuotuinen määrä

Vuotuisen kokonaismäärän selvittämiseksi tarkasteltiin HaminaKotkan, Kokkolan ja Oulun satamien mustien ja harmaiden vesien mahdollisia toimitusmääriä Searates-ohjelmalla ja lähtösatamien perusteella. PortNet-tilustusta saatiin 2021 satamakäyntien satamakohtaiset (tulosatama) käynnit, jossa näkyivät kaikkien satamassa käyneiden rahtialusten lähtösatamat. Satamakäyntejä HaminiaKotkassa oli 2377 kappaletta, Kokkolassa 637 kappaletta Oulussa 469 kappaletta. Searates-ohjelmalla selvitettiin lähtösataman ja tulosataman välinen matka-aika. Laskennassa käytettiin ihmisen päiväkohtaista keskiarvoa vedenkulutuksesta, joka oli 120 litraa (Motiva 2022). PortNet-tilustusta saatiin tieto alustyyppien perusteella miehistönmäärästä, jonka perusteella laskettiin mustien ja harmaiden vesien määrä laivakäyntiä kohden. Laskelmissa ei otettu huomioon muiden Suomen satamien laivakäyntejä sekä matkustaja-aluksia, koska niiden on jo jätettävä harmaat ja mustat vedet satamaan. Laskelmista jäivät pois myös hinaajat, sekä ”muut alukset”, jotka ovat esimerkiksi jäämurta-
jia. ”Muut alukset” jätettiin pois, koska lähtösatama saattoi olla sama kuin tulosatama, joten tyhjennettävä määrä oli käytetyillä työkaluilla mahdotonta selvittää.

Kolmen sataman tuloksien perusteella mustien ja harmaiden vesien määrä olisi noin 2,57 m³ per laivakäynti (taulukko 2). Kokkolan sataman keskiarvotyhjennys laivakäynnille oli suurempi kuin vertailusatamissa. Kokkolassa keskiarvo oli noin 3 m³, kun taas Oulussa määrä oli noin 2 m³. Kokkolan ja Oulun sataman välistä eroa selittää osin se, että Kokkolaan johtaa 14 m syväväylä, kun taas Ouluun väylän syvyys on 12,5 m. Tämä tarkoittaa sitä, että Kokkolaan voidaan tulla suuremmalla rahtialuksella ja tai täydemmällä lastilla, jolloin alus vaatii syvemmän väylän. Näiden vertailevien satamien mustien ja harmaiden vesien määrät selviävät alla olevasta taulukosta 2.

Mustien ja harmaiden vesien kertatyhjennysmäärä /satamakäynti:	m ³
Oulu keskiarvo tonnia/käynti	2,23
Kokkola keskiarvo tonnia/käynti	3,07
HaminaKotka keskiarvo tonnia/käynti	2,41
Keskiarvo/satamakäynti	2,57

Taulukko 2. Satamakäynnin mustien ja harmaiden vesien keskiarvo (m³) laivaa kohden.

Harmaiden ja mustien vesien keskiarvot satamakäyntiä kohden olivat suhteellisen vähäisiä. Vähäinen laskennallinen määrä selittyy osin edellisen sataman etäisyydellä eli jos rahtilaiva tulee esimerkiksi Ruotsista, niin mustia ja harmaita vesiä ei ehdi kertyä kovinkaan paljoa. Saatua mustien ja harmaiden vesien keskiarvoa käytettiin kokonaismäärän laskennassa, kerrottaessa sillä kaikkien Suomen satamien käynnit, saaden näin vuotuisen kokonaismäärän, joka oli noin 31 000 tonnia.

6.6 Suomen satamakäynnit ja niihin jätettävät jätevedet

Suomen satamissa on käynyt vuoden 2021 aikana 12 029 rahtilaivaa. Tässä luvussa ei ole mukana matkustaja-aluksia eikä hinaajia eikä ”muita aluksia”, koska ne jätettiin pois laskelmista. Matkustaja alukset jätettiin pois sen takia, koska ne ovat joutuneet jo tyhjentämään mustat ja harmaat vedet satamiin. Hinaajat ja muut alukset jätettiin pois laskelmista, koska niiden lähtösatama oli sama satama ja siksi tyhjennettävää määrää oli vaikea arvioida, lisäksi kyseiset alukset operoivat pääosin satama-alueella, joten tyhjennykset saatetaan jo suorittaa satamaan.

Suomen satamiin tulevien rahtilaivojen vuotuisen määrän sekä niistä saatavan mustien ja harmaiden vesien laskennallisen keskiarvon perusteella Suomen satamiin tyhjennettäisi vuodessa siis 31 000 tonnia mustia ja harmaita vesiä. olettaen, että jokainen rahtialus tyhjentäisi mustat ja harmaat vedet ja, että tyh-

jennys on tehty edellisessä satamassa. Laskelmissa ei ole huomioitu rahtialuksen laiturissa käytettyä aikaa, koska sen selvittämiseen ei ollut järkeviä työkaluja isossa mittakaavassa. Laiva on kuitenkin saattanut olla useamman päivän satamassa, mikä lisää osaltaan virhemarginaalin määrää.

Mustien ja harmaiden vesien keskiarvoa laskiessa on huomioitava, että esimerkiksi HaminKotkan, Oulun ja Kokkolan satamakäynneistä vain noin 150 laivaa oli matkannut enemmän kuin 100 tuntia edellisestä satamasta. Laivakäyntejä näissä satamissa oli kuitenkin noin 3500 kappaletta vuonna 2021. Suuruusluokkaa vielä havainnollistaakseen, niin noin 100 tunnin matkan ajalta mustien ja harmaiden vesien määrä olisi noin 5 m^3 - 10 m^3 riippuen miehistön määrästä. Loput 3350 laivakäyntiä ovat jätevesien määrältä siis alle 5 m^3 - 10 m^3 . Käytännössä siis jätevesientyhjennys ei todennäköisesti aina tapahdu edellisessä satamassa vaan kyseisellä laivalla saattaa olla takanaan useampi pysähdys eri satamissa ennen kuin alus tyhjentää säiliöt. Itämeren kannalta on kuitenkin tärkeää huomioida, että 69 % laivoista saapuu Suomeen Itämeren toisesta satamasta (BSAG c). Tyhjennys siis tehdään suurella todennäköisyydellä Itämeren alueella.

6.7 Laivakäynnit Euroopassa

Kokonaisuuden ja määrän kannalta on hyvä tarkastella vielä Euroopan laivakäyntejä. Euroopassa laivakäyntejä oli 2021 noin 2 191 000 kappaletta ja jos niistä otetaan pois matkustaja-alukset, saadaan satamakäyntien määräksi noin 622 000 kappaletta (UNCTADSTAT 2022). Tämä tarkoittaa sitä, jos käytetään mustien ja harmaiden vesien laskennallista keskiarvoa laivakäyntiä kohden saadaan Euroopan kokonaistyhjennysmääräksi pelkästään rahtialuksien osalta noin 1 600 000 tonnia mustia ja harmaita vesiä.

7 Energialaskelmien tulos

7.1 Energiantuotto vuositasolla

Energiamäärää laskiessa ensin laskettiin rahtilaivojen kiinto- eli kuiva-aineen määrä Kymen Ympäristölaboratorion ottamien näytteiden perusteella. Kiintoaineen määrä poikkesi jonkun verran laivakohtaisesti. Vaihteluväli oli 0,16 % -1,5 %. Vaihteluväli kuulostaa vähäiseltä, mutta sen merkitys kaasuntuottoon on merkittävä. Myös toimitettujen mustien ja harmaiden vesien kokonaismäärä vaihteli 0,6 m³:sta yli 14 m³: Suurien vaihteluvälien takia ja tulosten paremman vertailukelpoisuuden vuoksi laskettiin toimitettujen näytteiden määrien perusteella kiintoaineen painotettu keskiarvo, jonka suuruudeksi saatiin 0,73 %. Kiintoaineen vaikutuksen vertailemiseksi otettiin näytteiden painotetun keskiarvon lisäksi vielä suurin kiintoainepitoisuus arvo, joka oli 1,5 %.

Energian tuottoa laskiessa vertailtiin laskutoimituksissa korkeampaa kaasuntuottopotentiaalia ja alhaisempaa kaasuntuottopotentiaalia. Korkeamman kaasuntuottopotentiaalin vertailuluku valittiin sen takia, koska osa laivoista laittaa myös biojätteet mustien ja tai harmaiden vesien joukkoon, tällöin metaanintuottopotentiaali on korkeampi. Alla olevalla yhtälöllä 2 laskiessa käy ilmi, että alhaisempaan kaasuntuottopotentiaaliin verrattuna energiantuotto olisi 341 MWh ja korkeampaan kaasuntuottopotentiaaliin verrattuna tuotto olisi 596 MWh (taulukko 3).

E_1 = Mustien ja harmaiden vesien kokonaisenergianmäärä vuodessa

M_{kok} = Mustien ja harmaiden vesien kokonaismäärä (t/a)

K = Kuiva-ainepitoisuus TS % (painotetulla keskiarvolla/ maksimiarvolla)

O = Orgaanisen aineen pitoisuus syötteessä (60 %/82 %)

M = Metaanintuottopotentiaali (Alhaisempi/Korkeampi kaasuntuotto M³CH₄)

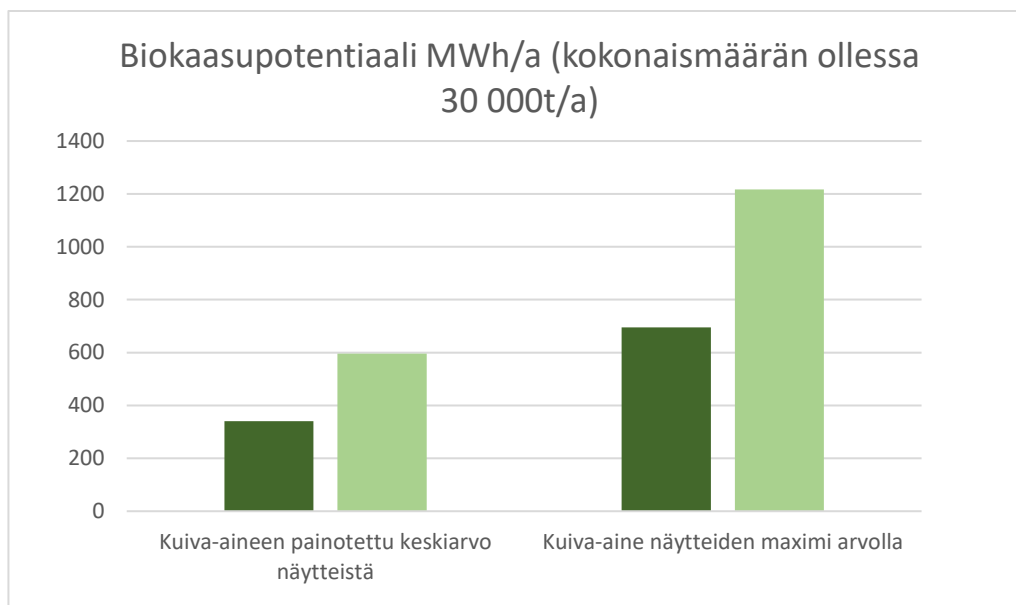
$$E_1 = M_{\text{kok}} \times K \times O \times M \quad (2)$$

Alla olevasta taululukosta 3 näkyvät lasketut arvot ja tulokset.

Alhaisempi kaasuntuottopotentiali	
Mustien ja harmaiden vesien laskennallinen määrä	
vuodessa t/a	30 920
TS (%)/kuiva-aine %	0,73 %
Orgaanisen aineen pitoisuus syötteestä prosentteina kuiva-aineesta	60,0 %
Metaanintuottopotentiali m ³ CH ₄ /tVS	250
Kaasuntuotto m ³ CH ₄	34 057
Energianmäärä (MWh/a)	341
Korkeampi kaasuntuottopotentiali	
orgaanisen aineen pitoisuus syötteestä prosentteina kuiva-aineesta	82 %
Metaanintuottopotentiali m ³ CH ₄ /tVS	320
Kaasuntuotto m ³ CH ₄	59577
Energianmäärä (MWh/a)	596

Taulukko 3. Suomen satamiin jätettävistä mustista ja harmaista vesistä saataisi laskennalliseksi energianmääräksi (MWh/a) vuodessa. Laskennassa käytetty arvoja, joita on verrattu alhaisempaan metaanintuottoon (250 m³CH₄) sekä korkeampaan metaanintuotto arvoon (350 m³CH₄), kuiva-aineen ollessa 0,73 %.

Kuiva-aine pitoisuudella on myös merkittävä vaikutus kaasuntuottoon ja mikäli kuiva-aine pitoisuus olisi korkeampi esimerkiksi aikaisemmin mainittu näytteiden suurin kuiva-ainepitoisuus eli 1,5 %, silloin kaasuntuotto käytännössä tuplaantuisi. Alla olevassa kuviossa 3 on vertailtu kuinka suuri vaikutus kuiva-aineella ja kaasuntuottopotentialilla on tuotettuun energiamäärään.



Kuvio 3. Laskennallinen kaasuntuotto MWh/a kokonaismäärästä (30 000 t/a) alhaisemmalla $250 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{tVS}$ (tumman vihreä) sekä korkeammalla metaanintuotto arvolla $320 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{tVS}$ (vaalean vihreä).

Alhaisemman metaanintuottoarvoja käyttäen kaasuntuotto olisi kuiva-aineen painotetulla keskiarvolla 696 MWh ja korkeampiin metaanintuotto arvoihin verrattuna kaasuntuotto olisi kuiva-aineen maksimiarvolla 1217 MWh.

7.2 Laskettujen arvojen vertaus todellisiin määriin

Todellisia määriä vertaillessa laskennallisiin, otettiin huomioon Kymen ympäristölaboratorion näytteet. Tyhjennysmäärä löytyi raportista ja edellinen lähtösatama haettiin Porttrafficista (kuva 13). Todellisten määrien keskiarvoa verrattiin laskennalliseen määrään (Porttraffic 2022), mikä ei tässä vertailussa poikennut paljoakaan laskennallisesta määrästä.

HaminaKotka, FIKTK					
Aluksen nimi		Saapumisaika		Portnet -numero	
Venta Maersk		08.02.2022 05:30		0/665363	
Edellinen satama:	GBFXT	Saapumisajan antaja:	Edustaja	Purkaa:	purkaa koko lastin
Saapumisaika:	08.02.2022 05:30	Saapumisajan tyyppi:	Lopullinen	-	
Seuraava satama:	PLGDN	Lähtöajan antaja:	Edustaja	Lastaa:	Kyllä
Lähtöaika:	11.02.2022 22:45	Lähtöajan tyyppi:	Lopullinen	-	
Laituri:	MUSC?	Sataman osa:	MUSSALO (KONTTI)	Kotimaan liikenteessä:	Ei

Kuva 13. Esimerkki työvaiheesta, jossa Porttraffik- ohjelmasta saatiin selville edellisen sataman satamakoodi sekä laivatyyppi sataman osan perusteella (Porttraffic 2022).

Todellinen määrä oli neljän eri laivan keskiarvon perusteella $6,3 \text{ m}^3$ ja laskennallinen määrä samoista laivoista oli $6,27 \text{ m}^3$. Kahta laivaa ei löytynyt jostain syystä Porttraffistä, joten ne jätettiin pois kokonaan vertailevista laskuista, koska tällöin lähtösatamaa ei pystytty selvittämään. Tässä vertailussa esimerkkilaivojen yksittäisissä toimitusmäärissä oli hiukan eroja suuntaan jos toiseen, mutta keskiarvoltaan laskennalliset määrät asettuivat lähes samoiksi.

Autoyhtymä Vuorinen Oy on suorittanut HaminaKotkan satamassa rahtilaivojen tyhjennyksiä vuodesta 2021 alkaen. Tyhjennyskertojen lukumäärän maksimimiseksi laskelmissa otettiin huomioon tyhjennyskerrat myös kuluvalta vuodelta 25.10.2022 asti. Vertailua tehdessä listauksesta on jätetty risteilijät sekä ne rahtilaitavat pois, joiden nimeä ei löytynyt Porttraffistä, koska lähtösatama kohdennettiin laivan nimen perusteella (Porttraffic 2022).

Satamakäyntien listauksesta sekä lähtösataman matka-ajan sekä arvioidun alustyyppin mukaisen miehistön määrän perusteella on saatu todellinen tyhjennysmäärä. Osaa laivoista ei löytynyt listauksesta, joten ne on jätetty pois laskelmista mahdollisen virheellisen tulkinnan takia. Vertailutietoihin jäi siis 18 laivaa, joista tyhjennys oli tehty ja joista löytyi lähtösatama. Laivatyyppin arvioinnissa on lähdetty olettamuksesta, että Mussalossa tyhjenetään konttialukset ja nesteitä toimittavat rahtialukset. Hietasessa tyhjentävät rorot (roll on roll off) ja Haminassa säiliöalukset. Roro alukset tarkoittavat laivoja, joiden tyhjennys ta-

pahtuu rullaten perästä, sivusta tai keulasta eli lastaukseen ei tarvita nosturia. (Vuorinen 2022). Edellisen lähtösataman satamakoodi selvitettiin seabaycargo-ohjelmasta (kuva 14) (Seabaycargo 2022).

Felixstowe (GBFXT)

Port Code	GBFXT	City	Felixstowe
Port Name	Felixstowe	Country/Region	United Kingdom
Category	Port City	Route	EUROPEAN MAIN PORT
Nearby Main Port		Inland Transport	
Official Website		Port Type	Main Port

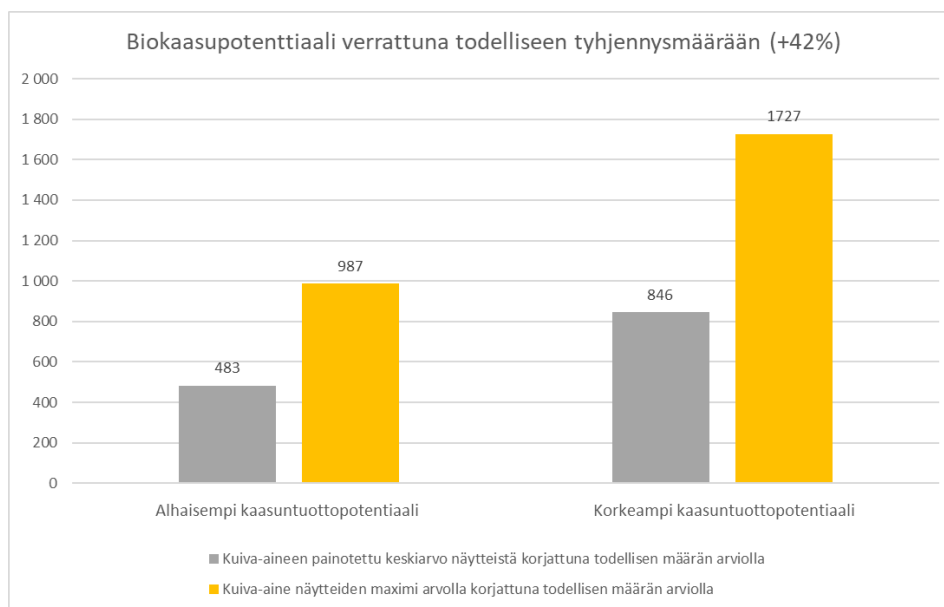
Kuva 14. Esimerkki työvaiheesta, jossa selvitettiin Seabaycargo-ohjelmasta, aikaisemmassa työvaiheessa saadun satamalyhenteen perusteella lähtösatama. (Seabaycargo 2022).

Todellisten tyhjennysmäärien vaihteluväli oli melko suuri noin 31 m³:sta yhteen kuutioon ja keskiarvoksi saatiin 8,8 m³/per laiva. Todellista määrää laivakäyntiä kohden verrattiin samojen laivojen laskennalliseen määrään ja niiden laivojen osalta laskennalliseksi keskiarvoksi saatiin 6,2 m³/laiva. Laskennallisten määrien vaihtelu oli vähäisempää noin 0,6 m³:sta 8,6 kuutioon. Laskennallinen määrä olisi näillä vertailulaskelmilla noin 70 % todellisesta määrästä. Tämä tarkoittaa, että todellinen määrä olisi noin 42 % enemmän kuin laskennallinen määrä. Kokonaismäärä olisi tällöin 43 886 tonnia vuodessa (taulukko 4).

Biokaasupotentiaali	Laskennallinen määrä		Korjattu + 42 % todellisilla määrillä	
	Kuiva-aineen painotettu keskiarvo näytteistä	Kuiva-aineen maximi arvo näytteistä	Kuiva-aineen painotettu keskiarvo näytteistä	Kuiva-aineen maximi arvo näytteistä
Määrä vuodessa t/a	30 920	30 920	43 886	43 886
TS (%)/kuiva-aine %	0,73 %	1,50 %	0,73 %	1,50 %
Orgaanisen aineen pitoisuus syötteestä prosentteina kuiva-aineesta	60,0 %	60,0 %	60,0 %	60,0 %
Metaanintuottopotentiaali m ³ CH ₄ /tVS	250	250	250	250
Kaasuntuotto m ³ CH ₄	34057	69570	48339	98745
Energiantuotto verrattuna alhaisempaan kaasuntuottopotentiaaliin (MWh/a)	341	696	483	987

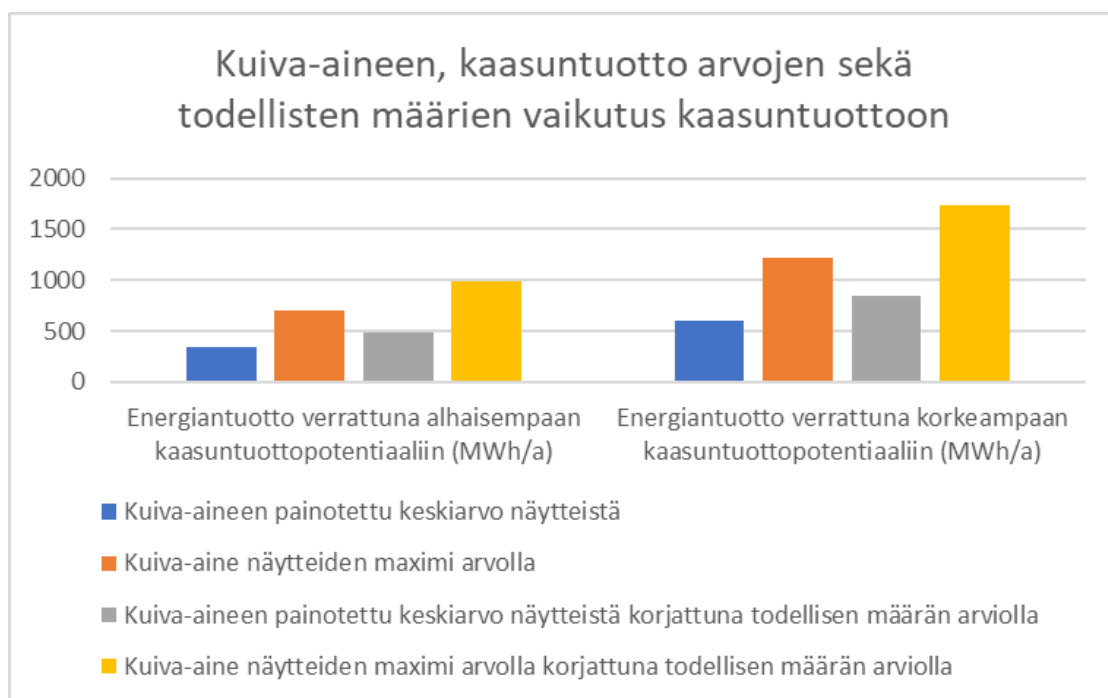
Taulukko 4. Mustien ja harmaiden vesien vuotuinen laskennallinen määrä sekä siihen lisätty 42 %, joka vastaisi mustien ja harmaiden vesien todellisen tyhjennysmäärien lisäystä. Todellisia määriä verrattu kuiva-aineen painotettuun keskiarvoon ja maksimiarvoon.

Alhaisempaa ja korkeampaa kaasuntuottopotentiaalia sekä kuiva-aineen painotettua keskiarvoa ja maksimiarvoa verrattaessa todelliseen määrään, kaasuntuotto muuttuisi seuraavasti (kuvio 4). Mustia ja harmaita vesiä tulisi tällöin noin 44 000 tonnia ja kaasuntuotto olisi tällöin riippuen kuiva-aineen määrästä 483 MWh/a ja 987 MWh/a, tai alhaisemmalla kaasuntuottopotentiaalilla 846 MWh/a ja 1727 MWh/a korkeammalla kaasuntuottopotentiaalilla.



Kuvio 4. Kaasuntuottovertailu huomioon otettuna 42 % lisäys laskennalliseen määrään. Vertailu matalammalla kaasuntuottoarvolla (250 m³CH₄/tVS harmaa) ja korkeammalla kaasuntuottoarvolla (320 m³CH₄/tVS keltainen) sekä keskinäinen vertailu painotetulla keskiarvolla sekä maksimiarvolla.

Kuiva-aineen painotetun keskiarvon ja maksimiarvon sekä alhaisemman, että korkeamman energiantuottopotentiaalın vaikutus laskennallisiin, ja korjauskerroimella laskettuihin todellisiin määriin, havainnollistetaan alla olevassa kuviossa 5.



Kuvio 5. Energiantuotannon vertaus kuiva-aineen painotetulla keskiarvolla 0,73 % ja maksimiarvolla 1,5 %, huomioiden kaasuntuottopotentiaalin vaikutuksen sekä vertailun laskennallisen ja todellisen määrään välillä.

Kaasuntuottoon vaikuttaa siis merkittävästi kaasuntuottopotentiaali sekä kuiva-ainepitoisuus. Kaasuntuotannon kokonaismäärä vuotuisella tasolla ei kuitenkaan ole kaiken kaikkiaan kovin iso, sillä mustat ja harmaat vedet sisältävät loppujen lopuksi hyvin vähän kiintoainetta, joka on siis se osuus, josta biokaasua muodostuu.

Havainnollistaakseen tuotettua vuotuista energiamäärää, niin esimerkiksi bio-kaasulla toimivalla kuorma-autolla, ajaisi noin 80 000 km painotetulla keskiarvolla laskettuna ja alhaisemmalla kaasuntuottopotentiaalilla laskettuna. Korkeammalla kaasuntuottopotentiaalilla ja maksimi kuiva-ainepitoisuudella laskettuna vastaavalla energiamäärällä ajaisi noin 290 000 kilometriä. Laskelmat esitetään tarkemmin sivulla 40 ja kuviossa 5 havainnollistetaan kaasuntuottopotentiaalin ja kuiva-ainepitoisuuksien vaikutusta kilometreihin.

7.3 Päästövähennemä kilometreinä

Päästövähennemää laskiessa käytettiin edellä laskettua energiamäärää MWh/a ja energialähteenä mustien ja harmaiden vesien vuotuista kokonaismäärää 30 920 tonnia. Päästövähennemää laskiessa verrattiin tuotettua biokaasua ajatuksella, että se käytettäisiin korvaamaan dieselikäyttöisen kuorma-auton päästöjä. Dieselin oletuspäästökerroin saatiin tilastokeskuksen taulukosta (Tilastokeskus 2022). Laskutoimitus suoritettiin seuraavasti yhtälöllä 3:

$TJ_{MWh} = 10 \text{ kWh} / (\text{m}^3 \text{CH}_4) = 36 \text{ MJ} / (\text{m}^3 \text{CH}_4)^{-1} = 0,0036 \text{ TJ/MWh}$ (Kymäläinen, M. & Pakarinen O. 2015)

E_1 = Mustien ja harmaiden vesien kokonaisenergianmäärä vuodessa

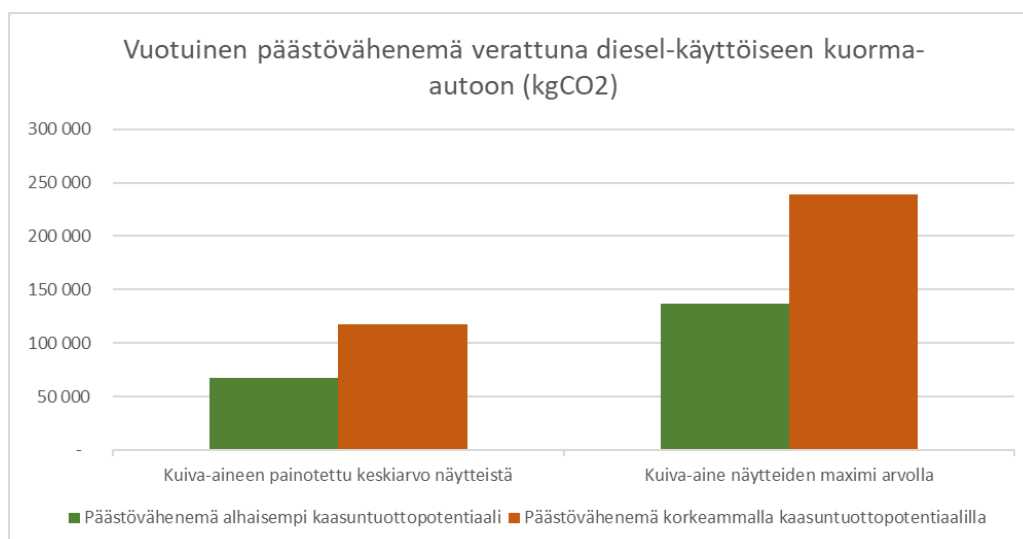
D_1 = Oletuspäästökerroin 54,6 t CO₂/TJ (Tilastokeskus 2022)

P_{TJ} = Päästövähennemä (TJ)

P_{kg} = Päästövähennemä kg CO₂

$$P_{kg} = E_1 \times TJ_{MWh} \times D_1 \quad (3)$$

CO₂ päästövähennemä olisi verrattuna alhaisempaan kaasuntuottopotentiaaliin (250 m³CH₄/tVS), painotetulla keskiarvolla kuiva-ainetta (0,73 %) laskettuna noin 67 000 kg CO₂ vuodessa. Alla olevasta kuviosta selviää minkälainen vaikutus kuiva-aineella ja kaasuntuottopotentiaalilla on päästövähennemään (kuvio 6).



Kuvio 6. Päästövähennelmä, mikäli rahtialusten jätevedet hyödynnettäisiin liikennepolttoaineena. Vuotuisella kokonaismäärällä (mustia ja harmaita vesiä) verrattuna painotettuun keskiarvoon ja maksimiarvoon sekä alhaisemmalla kaasuntuottoarvolla (vihreä), sekä korkeammalla kaasuntuottoarvolla (oranssi).

Ajoneuvon ajokilometrejä laskiessa, muutettiin ensin maakaasun lämpöarvo MJ/kg:a MWh/kg:ksi, jotta saatiin selville, kuinka monta kilogrammaa kaasua tuotetulla energialla saatiin. Tämä laskettiin oletuksella, että roska-autolla ajaisi noin 30 kg/ 100 km (0,3 kg/km). Ajokilometrit laskettiin seuraavasti yhtälöllä 4.

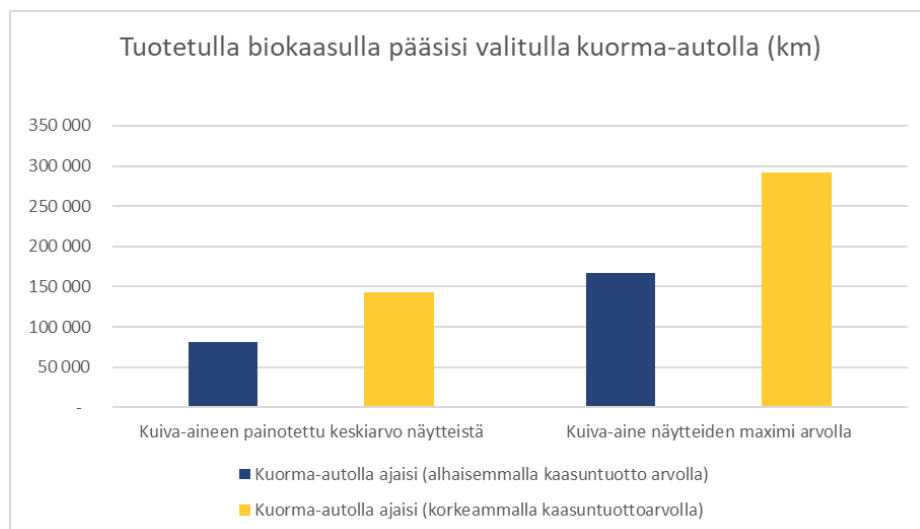
K_{kok} = Kyseisellä ajoneuvolla pääsisi kilometrejä

M = Maakaasunlämpöarvo 50 MJ/kg = 0,0139 MWh/kg

K_1 = Kaasuauton kulutus kg/km

$$K_{\text{kok}} = E_1 / M / K_1 \quad (4)$$

Esimerkiksi kuorma-autolla, jonka kulutus olisi noin 30 kg/100 km ajettaisiin alhaisemmalla kaasuntuottopotentialilla ja painotetulla keskiarvolla kuiva-ainetta (0,73%) noin 80 000 kilometriä. Alla olevassa kuvassa havainnollistetaan kaasuntuoton ja kuiva-aineen vaikutusta kilometrimäärään (kuvio 7).



Kuvio 7. Kuiva-aineen ja kaasuntuottopotentialin vaikutus tuotettuun biokaasunmäärään ja sen vaikutus esimerkki kuorma-auton ajokilometreihin.

Korkeammalla kaasuntuottopotentiaalilla ja kuiva-aine näytteiden maksimiarvol-
la ajaisi noin 290 000 kilometriä.

7.4 Laskennallinen ravinnepitoisuus

Ravinnepitoisuuden laskennassa käytettiin Kymen ympäristölaboratorion tutki-
muksia ja niiden perusteella laskettiin typen ja fosforin keskiarvo (taulukko 5).
Painotettua keskiarvoa käytettiin laskuissa myös sen takia, että tyhjennettävät
määrät sekä pitoisuudet poikkesivat paljon toisistaan. Painotetun keskiarvon
perusteella laskennallinen typen määrä olisi 258,2 kg/ m³ ja fosforin 35 kg/ m³
rahtialuksen tyhjennyskertaa kohden.

Kymen Ympäristölaboratorion Jätevesitutkimukset, Kymen Vesi Oy								
Aika		22.12.2021	10.1.2022	11.1.2022	8.2.2022	11.2.2022	30.5.2022	
Mitatut aineet		Rahtialus 1	Rahtialus 2	Rahtialus 3	Rahtialus 4	Rahtialus 5	Rahtialus 6	Painotettu keskiarvo
Kiintoaine	mg/l	160	470	1200	1500	350	568	734,3
Typpi	mg N/l	68	100	680	450	140	83	258,2
Fosfori	mg P/l	8,8	15	93	66	14	11	35,0
Määrä	m ³	12	0,6	7	14	14,1	9,1	11,8

Taulukko 5. Typen ja fosforin määrä tyhjennyskertaa kohden (Kymen Vesi
2021)

Aikaisemmin laskettu vuotuinen määrä mustia ja harmaita vesiä olisi 30
920 000 litraa vuodessa. Kokonaismäärään verraten typen laskennallinen vuo-
tuinen määrä olisi painotettu keskiarvo kerrottuna vuotuisella kokonaismäärällä
mustia ja harmaita vesiä. Laskutoimitus tehtiin yhtälöllä 5.

E_1 = Mustien ja harmaiden vesien kokonaisenergianmäärä vuodessa

M_t tai M_f = Typen (t) tai fosforin (f) painotettu keskiarvo

$M_{koko t}$ tai $M_{koko f}$ = Typen/Fosforin kokonaismäärä vuodessa kg/m³

$$M_{\text{kok}} = M_t/M_f \times E_1 \quad (5)$$

Kokonaismääräksi saadaan 7 800 kg/ m³ typpeä vuodessa ja fosforia olisi noin 1 000 kg/ m³ vuodessa.

Typen osalta määrä tarkoittaisi sitä, että sillä lannoitaisi noin 58 ha peltoa, jos lannoitustarpeeksi katsottaisiin 135 kg/ha ja fosforilla lannoitaisi noin 77 ha, jos fosfori tarpeen katsottaisi olevan 13 kg/ha. Typen ja Fosforin tarve riippuu muun muassa maaperän laadusta ja siitä mitä maassa viljellään. (Yara Suomi Oy 2022).

7.5 Laskelmien epävarmuustekijät

Laskelmien yhtenä epävarmuustekijänä on laivojen rahdin tyhjennys- tai odotusaika satamassa. Laivat saattavat olla useamman päivän satamassa ja tällöin matka/aika vääristymää voi tulla, sillä miehistö viettää satamassa oloajan laivassa ja tällöin kerryttää siellä myös mustia ja harmaita vesiä. Sama rahdin tyhjennysaika on saattanut toistua jo edellisessä satamassa, joten siksi määrä voi olla laskennallisia tuloksia suurempi.

Joidenkin arvioiden mukaan laivan todellinen miehistön määrä saattaa olla laskelmissa arvioitua suurempi, tällöin myös vaikutukset lopulliseen tulokseen olisivat kokonaismäärää kasvattavat. Oletamus, että edellinen tyhjennys olisi tehty edellisessä satamassa voi olla myös epätodennäköinen, koska tyhjennysmäärät olisivat tällöin melko vähäisiä siitäkin syystä, että suurin osa Suomeen tulevista laivoista tulee Itämeren alueelta. Lisäksi tyhjennystä ei välttämättä olisi kannattavaa tehdä jokaisessa satamassa, varsinkin, jos laiva tulee ajallisesti lyhyen matkan.

Laskelmissa on otettu huomioon rahtilaivojen matkatunnit, joista noin 3350 laivaa 3500 aluksesta on matkustanut vain alle 100 tuntia. Noin 100 tuntia matkannut rahtialus tuottaa miehistön määrän mukaan noin 5–10 m³ mustia ja

harmaita vesiä, mikä tarkoittaisi siis, että 3350 aluksessa syntyy alle 5–10 m³ mustia ja harmaita vesiä, jos tyhjennys on tehty edellisessä satamassa.

- digitaalisen lehden artikkelissa oli esitetty harmaiden vesien säännöstelyn yhteydessä, että laivoista tulevat mustat ja harmaat vedet on kuormittavampia ravinteiden osalta kuin yhdyskuntavedet, koska niissä ei ole mukana muun muassa sadevesiä. Mielenkiintoinen oli kuitenkin selvitys, että 25 henkilön rahtialuksessa syntyy harmaita vesiä 2,75 m³ / päivä ja mustia vesiä 0,63 m³, yhteensä siis 3,38 m³. (Chen W. 2021). Kappaleessa 6.5 tehtyjen laskelmien mukaan 25 henkisellä miehistöllä syntyisi mustia ja harmaita vesiä noin 3 m³ eli laskennallisten tulosten ero tämän artikkelin määriin olisi vain noin 10 % luokkaa. Tämä siis vahvistaisi laskelmien luotettavuutta.

8 Satamien suositeltavat ratkaisumallit

Satamat ovat keskenään hyvin erilaisia muun muassa maantieteellisesti sekä toiminnaltaan. Osassa satamista laivakäynnit ovat vähäisiä, osa satamista on rakenteellisesti jo hyvin vanhoja, jolloin ei ole huomioitu jätevesiasioita. Esimerkiksi HaminaKotkan satamassa sataman eri osien pitkien etäisyyksien vuoksi sinne ei sovi samat ratkaisut kuin pienempiin satamiin. Monessa muussakin satamassa on useampia sataman eri osia, joissa kaikissa tehdään tyhjennyksiä. Sataman toiminnan, sijainnin ja kokonaisuuden kannalta satamille on oltava eri vaihtoehtoja tyhjennysprosessin toteuttamiseksi ja yksi ja sama ratkaisu ei sovellu kaikkiin satamiin puhumattakaan sataman eri osista. Seuraavat ratkaisumallit ovat käytössä sekä sovellettavissa eri satamissa.

8.1 Liikuteltava ratkaisu kompaktiin satamaan

Turun saman liikuteltava ratkaisu ei palvele kaikkia sataman alueita. HaminaKotkan satamassa satamien etäisyydet ovat niin pitkiä, että yksi säiliöajoneuvo ei pystyisi välttämättä palvelemaan kaikkia sataman eri osia, varsinkaan silloin,

kun etäisyydet satamien välillä ovat niin pitkät kuin siellä. Liikuteltavan yksikön hankintahinta oli melko suuri varsinkin pienille satamille. Liikuteltava malli sopisi kohtuullisen kompaktille satamalle, jossa etäisyydet eivät olisi suuria ja tyhjennysmatka olisi lähellä. Kysymys kuitenkin lienee, onko pienempien satamien järkevä hankkia omaa kalustoa tällaiseen. Toki mikäli liikuteltava säiliö olisi isompi, voisi tyhjennysmatkan kustannuksia kompensoida säiliön vetoisuudella. Esimerkiksi lannoitteita kuljetetaan 40 kuution säiliöissä. Vastaavan kokoisen siirrettävän konttisäiliön käyttö satamassa voisi olla järkevää, mutta silloin siinä pitäisi olla kuitenkin jonkunlainen vetokalusto siirrettävyyden takia ja imutekniikka, silloin kun laivan oma paineistus ei ole riittävä.

8.2 Kiinteä ratkaisu satamaan

Kiinteä ratkaisu olisi hyvä sellaisiin satamiin, joihin se on ylipäättänsä mahdollista rakentaa laiturirakenteen tai perustusten puitteissa ja jossa viemäriverkosto ulottuu jo valmiiksi pitkälle laituriin tai sen läheisyyteen niin, että yhdysputken veto jätevesiverkoston ei olisi kovin pitkä. Kiinteä ratkaisu sopisi siis sellaisiin satamiin, missä ei jouduttaisi kovin pitkiä matkoja verkostoa rakentamaan ja tai olemassa olevia laitureita rikkomaan. Mahdollisesti ratkaisu sopii satamiin, joissa joudutaan uudistamaan laiturirakenteita. Kiinteässä ratkaisumallissa tarvitsee kuitenkin irrallisia letkuja ja sellaisissa satamissa, jossa on koneita ja jatkuvaa satamaliikennettä laiturilla, esimerkiksi kontteja keräileviä ”lukkeja”, laituria kiertävät letkut tuskin toimisivat jo ihan turvallisuus syistä. Tällaisesta satamasta hyvä esimerkki on HaminaKotkan satama, jossa lukit ajavat jatkuvasti laiturialueella. Laitureiden uudistaminen kiinteällä putkiverkolla olisi isotöinen ja kallis projekti eritoten, kun uusittavia laitureita olisi useampi ja pidemmältä matkalta. Satama, jossa sataman eri osat ovat hajallaan, se tarkoittaisi oman linjaston rakentamista jokaiseen eri sataman alueeseen, esimerkiksi HaminaKotkassa putkiverkosto tulisi rakentaa kahdeksaan sataman osaan. Tämän lisäksi laiturilla kiemurtelevat letkut tulisi toiseksi haasteeksi. Samat haasteet saattavat olla monessa muussakin satamassa, vaikkakin pienemmässä mittakaavassa. Kiinteän tyhjennyksen edellytyksenä olisi, suuren investointikustannusten kannalta ajateltuna, laivaliikenteeltään vilkas satama, jotta saatu hyöty vastaisi investoitu-

ja kuluja. Kiinteä linja pitkäaikaisena investointina on varmasti paras ratkaisu pidemmällä tähtäimellä, sillä silloin mahdollisia toimituskustannuksia ja sitä kautta suoria päästöjä ei syntyisi. Lisäksi satama olisi riippumaton muiden toiminnasta ja sitä kautta hintojen vaihtelusta. Ainoana ratkaisuna se saattaisi silti vaatia jonkunlaisen varajärjestelmän mahdollisiin ongelmatilanteihin. Toki varalla voisi toimia esimerkiksi paikallinen imuautoyrittäjä.

8.3 Ulkopuolisen tahon suorittama tyhjennys

Ulkopuolisen tahon operoima ratkaisu esimerkiksi imuauto, on varmasti yksi toimivimmista ratkaisuista monenkin sataman osalta, eritoten sellaisissa, joissa kiinteä ratkaisu on kustannuksiltaan liian suuri ja tai laivaliikenne vähäistä. Ulkopuolisen operoima ratkaisu ei tosin ole halpa sekään, mutta satamissa, joissa tyhjennystarve on muutoinkin vähäisempää, niin tyhjennyksen kustannus ei muodostu liian suureksi. HaminaKotkan sataman esimerkkilaivasta satama sai jätemaksuina noin 340 €. Nopealla arviolla, kun imuautolla meni satamassa noin 3–4 tuntia ja tyhjennysmaksu tämän päälle, niin sataman kustannus saattaa nousta vastaavissa tapauksissa äkkiä suuremmaksi kuin saatu jätemaksu-raha. Toiminta saattaa siis olla tällä hetkellä tappiollista satamalle yksittäisen tyhjennyksen osalta. Mikäli kaikki laivat suorittaisivat tyhjennyksen kustannustaso varmasti nousisi juuri tästä syystä, mikä saattaisi taas vaikuttaa haitallisesti laivojen mustien ja harmaiden vesien tyhjennyshalukkuuteen satamassa.

Ulkopuolisen tahon suorittamassa tyhjennyksessä on se etu, että se ei sido satamahenkilökuntaa eli tällöin satamalle ei tule ylimääräistä kustannusta henkilöstöstä. Sataman haasteeksi muodostuu varmasti ulkopuolisen tahon suorittamana aikataulullinen haaste, jossa alusten ennakointia kaivattaisi paremmin. Yhteistyökumppanilta ei voi aina odottaa lyhyttä vasteaikaa. Tällä hetkellä rahatialusten tyhjennystarve ilmoitukset ovat päivä tai kaksi ennen satamaan saapumista, mikä on varsin lyhyt ennakkoinnin ja sitä kautta kustannustehokkaan toiminnan kannalta. Ulkopuolisen tahon suorittama tyhjennys palvelee kuitenkin erinomaisesti varmasti helppoudellaan ja sataman sitoutumattomuudellaan useampaa eri sataa.

8.4 Muu ratkaisu tyhjennykseen satamassa tai laivassa

Vaihtoehtoja tarkasteltaessa olisi hyvä ottaa huomioon myös mahdollisesti täysin muut toimintatavat, joka tehdäänkin esimerkiksi jo laivassa. Osassa laivoissa onkin jo pienpuhdistamoja, mutta ongelmaksi muodostuu kuitenkin siitä syntyvä kiintoaine, joka tulisi poistaa pumppaamalla mereen tai tyhjentämällä satamaan, jolloin taas täytyisi ratkaista satamatyhjennys. Toki puhdistusprosessin jälkeen kuormitus olisi varmastikin vähäisempi, mutta tällöin energiahäyöty jäisi saamatta. Lisäksi järjestelmän operointi saattaa olla haastavaa laivassa ja sitoa henkilökuntaa sekä kasvattaa koulutustarvetta. Mahdollisen painon lisääntyessä laivan polttoainekustannukset myös kasvaisivat.

Toinen vaihtoehto voisi olla esimerkiksi liikuteltava jätekatos, jossa olisi keräiltävien jätteiden lisäksi myös oma tyhjennysmahdollisuus mustille ja harmaille vesille. Jätekatos tai liikuteltava jäteasema siirrettäisi saapuneen aluksen kohdalle laituriin, jossa voisi tehdä muiden lajiteltavien bio-, seka-, paperi-, ynnä muiden jätteiden lisäksi jätevedentyhjennyksen. Jätekatoksessa tai asemassa olisi vaikka oma aurinkosähkömoottorilla toimiva pumppuyksikkö, jonka teho riittäisi myös imemään jätevedet. Aseman yhteydessä olisi iso säiliö jätevesille ja tyhjennyksessä tarvittavat liittimet. Toki tällainen ratkaisu ei olisi varmasti halpa, mutta ratkaisisi jätteenkeräyksen myös samalla. Tämän tyyppinen ratkaisumalli edellyttäisi sataman omalta henkilökunnalta kapasiteetin liikutteluun ja tyhjennykseen ja toki olisi investointinakin varmasti mittava.

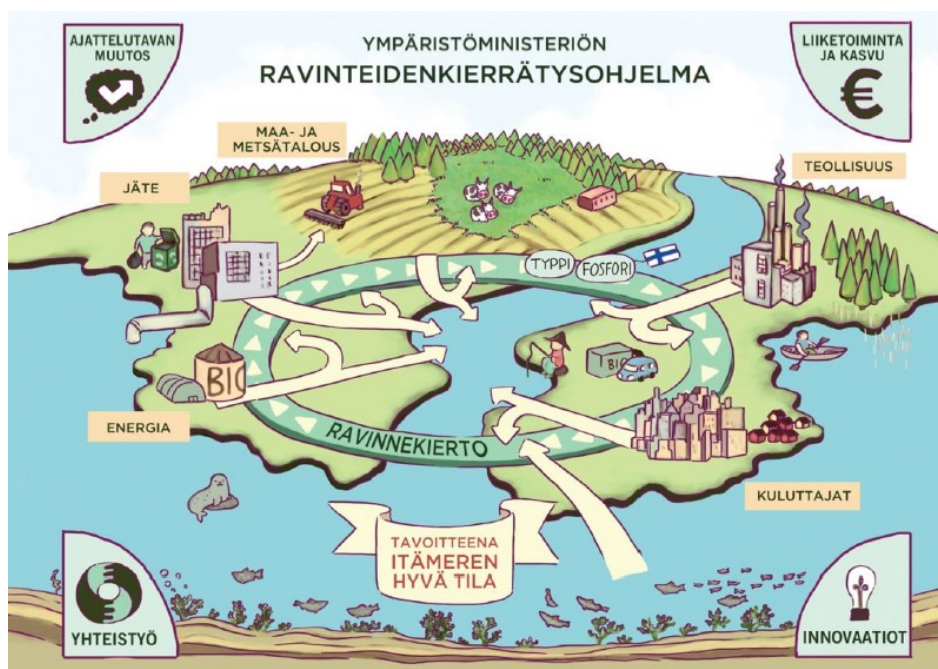
8.5 Tyhjennyksen loppukäsittely

Tyhjennyksen loppukäsittelypaikan ja kaasuntuoton kannalta ei ole merkityksellistä käsitelläkö mustat ja harmaat vedet jätevedenpuhdistamolla vai suoraan biokaasulaitoksella. Laskelmien oletuksena on, että kiintoaine pysyy kuitenkin likipitäen samana, joten kaasuntuottolaskelmiin sillä ei ole merkittävää vaikutusta. Biokaasulaitoksen kannalta vähäinen kuiva-aine pitoisuus voi olla positiivinen asia, koska se voi toimia myös laimennusvetenä prosessissa. Toki mikäli

kiintoainetta ei ole, ei kaasukaan synny ja tällöin biomassana se ei ole ehkä biokaasulaitokselle kiinnostavin biomassa. Kustannusten ja kokonaisuuden kannalta paras ratkaisu olisi, jos tyhjennys suoritettaisiin mahdollisimman lähellä jätteen syntyäpaikkaa. Tällöin logistiset kustannukset eivät kasvavaisi turhan suuriksi ja ei tarvitsisi kuljettaa pitkiä matkoja lähes pelkkää vettä. Järkevintä olisi hyödyntää sijainnin mukaan molempia ratkaisuja.

8.6 Laivojen tyhjennystapahtuman yleistyminen

Suomen kestävän kehityksen tavoitteet ja sitä kautta eri työryhmien ponnistelut ravinteiden kierrättämiseen, kiertotalouteen, Itämeren hyvinvointiin sekä lukuisiin muihin toimiin, johtavat varmasti ennen pitkään siihen, että Suomessa laivojen mustat ja harmaat vedet tulevat ennemmin tai myöhemmin jäämään sata-miin. Suomen tulee olla tässäkin asiassa edelläkävijä, vaikka energiamäärän kannalta se ei olisi niin merkittävä valinta. Suomen tavoitteita ja eritoten rahtilai-vojen mustien ja harmaiden vesien tulevaisuutta kuvaa mielestäni erittäin hyvin Ympäristöministeriön Ravinteiden kierrätysohjelman piirros kiertotaloudesta (kuva 11).



Kuva 11. Raki ravinnekierto-ohjelma. (Malila 2022).

Tässä kuvataan erittäin hyvin asiat, jotka tulee ottaa huomioon myös satamien ja laivojen kiertotaloudessa. Kiertotalouden tavoitteena on tietysti aina tuoda jollain ajanjaksolla kannattavuutta, mutta tyhjennysten yleistyessä hintatasokin varmasti asettuu tasaisemmin. Mustien ja harmaiden vesien satamaan jättämisestä saatu hyöty, ei vielä korreloi menetettyä aikaa, panosta sekä mahdollisia kustannuksia, ympäristöystävällisyydestä puhumattakaan. Kysymys ei tässä tapauksessa ole kuitenkaan pelkästään saadusta hyödystä vaan toimintatapojen muutoksesta sekä Suomen suunnan näyttämisestä ja teknologian kehityksestä. Lisäksi toki kaivataan vielä näiden lisäksi paljon uusia Innovaatioita ja globaalia ajattelutavan muutosta. Ratkaisevat innovaatiot ovat ehkä vielä keksimättä, mutta sitä ennen tarvitaan tahtotila ja tarve, joka syntyy ajattelutavan muutoksella.

9 Yhteenveto

Ilmaston muutoksen ja Itämeren ekologisen tasapainon kannalta on ensiarvoisen tärkeää saada mustat ja harmaat vedet pois Itämerestä, vaikka ravinnemäärät olisivat Suomeen tulleiden laivojen osalta vähäisiä. Isommassa mittakaavassa maailmanlaajuisesti tilanne kuitenkin muuttuu ja Suomen tulee olla edelläkävijä tässäkin asiassa. Kiertotalouden kannalta ajateltuna mustien ja harmaiden vesien talteenotto, jossa haitalliset ja rehevöittävät biomassat otettaisi jatkossa hyötykäyttöön, ja niistä tehtäisiin biokaasua sekä korvattaisi fossiilisia lannoitteita kierrätysravinteilla, olisi paras mahdollinen kiertotalousratkaisu. Tällä hetkellä laskennallisesta vuotuisesta määrästä mustista ja harmaista vesistä saatu energiahyöty ei luultavasti kattaisi tyhjennysprosessissa tai toimitusmatkassa kuluvaa energiantarvetta tai syntyviä logistiikan päästöjä.

Satamien tyhjennyksien ratkaisumallit poikkeavat toisistaan. Sataman valitsema ratkaisumalli riippuu monesta eri osa-alueesta muun muassa sataman eri osien laajuudesta ja tulevista investointi tarpeista sekä ylipäätänsä mahdollisuuksista investoida. Osaltaan myös sataman laivaliikenteen määrä vaikuttaa asiaan.

Kaasuntuotannollisesti, vaikka vertailussa olisi korkeampi kaasuntuottopotentiaali ja suurempi kiintoainepitoisuus, vuotuinen rahtilaivoista saatava mustien ja harmaiden vesien tuotannollinen energiamäärä ei ole niin suuri, että se olisi kannattavaa eikä sillä ratkaistaisi nykyistä energiakriisiä.

Vuotuista kaasuntuottomäärää havainnollistaa paremmin muutama esimerkki, mitä mustien ja harmaiden vesien vuosittaisella energiamäärällä voisi hankkia. Aikaisemmin todettiin, että kaasun määrä riippuu kiintoainepitoisuudesta ja kaasuntuotokertoimesta, joten se takia seuraavat määrät ovat laskettu huomioiden alhaisin ja korkein kaasuntuottopotentiaali sekä pienempi ja suurempi kuiva-aine pitoisuus. Mikäli määrä jalostettaisiin kokonaisuudessaan uusiutuviin polttoaineisiin, niin esimerkiksi biokaasukäyttöisellä kuorma-autolla ajaisi noin 80 000–300 000 kilometrin verran. Kaukolämmön hinta Helenin hinnastossa oli marraskuussa 2022 86,65 €/MWh, tällä määrällä biokaasua tuotettuna suoraan kaukolämmöksi saisi siis noin 26 000–130 000 Euroa tai sillä lämmittäisi 200–1000 ihmisen kerrostaloasunnon. Edellä mainituissa esimerkeissä ei ole kuitenkaan otettu huomioon tuotannonkustannuksia tai tyhjennysprosessin kustannuksia.

Määrällisesti kaasuntuotanto ei olisi siis ratkaiseva, mutta mikäli Suomi ottaisi edelläkävijänä roolin, esimerkiksi yhdessä pohjoismaiden kanssa, että kaikki harmaat ja mustat vedet on tyhjennettävä satamaan, oli tyhjennettävää tai ei, niin sillä saattaisi olla iso merkitys jo pelkästään maailmanlaajuisen ajatusmallin muuttamisessa meren roskaamisessa ja muussa saastuttamisessa.

Ravinteiden osalta tilanne on sama kuin kaasun osalta, koska kiintoainetta on vähän, niin merkittävää ravinteiden kuormitusta ei tule. Vaikka biokaasun ja ravinteiden hyötykäyttöllinen määrä ei ole niin iso, niin mustien ja harmaiden vesien pois saaminen jatkossa merestä on jo pelkästään asennemuutoksen kanalta merkityksellistä.

10 Pohdinta

10.1 Ratkaisumallit eri satamissa

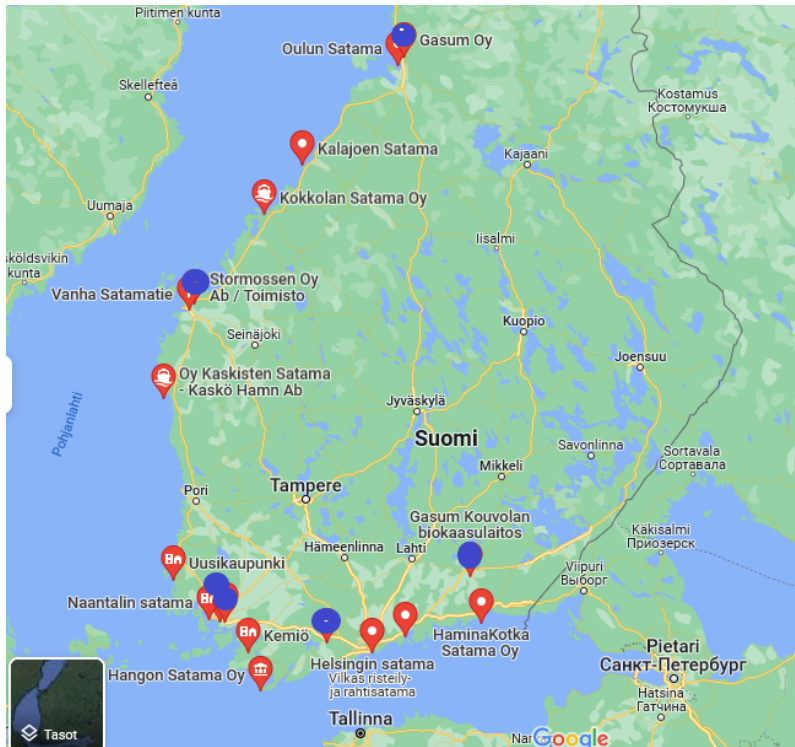
Sataman kannalta olisi tällä hetkellä haastavaa, että kaikki laivat jättäisivät mustat ja harmaat vedet satamaan. Moni satama joutuisi tekemään rakenteellisia muutoksia, joita tosin osa on jo tehnytkin. Kiinteä tyhjennysratkaisu saattaa olla monelle satamalle liian kallis ja niin kuin aikaisemmin todettiin osalle satamista se ei ole mahdollista, koska satama-alue tulee olla esteetön satama liikenteelle ja vanhat laiturirakenteet tulisi purkaa putkitöitä tehtäessä. Satamilla tulisi olla selkeä prosessi, miten tyhjennys hoidetaan ja mahdollisesti oma tai ulkopuolinen tyhjennyskalusto, joka olisi käytettävissä lyhyelläkin varoitusajalla. Vasteajan pituus tulee varmasti osassa satamissa olemaan haaste, sillä saattaa olla vaikea löytää ulkopuolinen toimija esimerkiksi niinkin lyhyellä kuin vuorokauden vasteajalla, joka on tällä hetkellä ilmeisesti hyvinkin tyypillinen tyhjennystarpeen ilmoitusaika. On kuitenkin oletettavaa, että alukset oppisivat ilmoittamaan tyhjennystarpeesta hiukan aikaisemmin, kun tyhjennys muuttuisi osaksi rutiinitoimintoja. Tyhjennysprosessin ennalta arvaamaton tuloaika ja tyhjennettävä määrä voi osoittautua hankalaksi mitoittaa arvioidun tyhjennysajan ja kapasiteetin suhteen. Saattaa tosin olla mahdollista, että alukset eivät välttämättä itsekään tiedä kuinka paljon tyhjennettäviä mustia ja tai harmaita vesiä on. Pidemmällä tähtäimellä myös laivahenkilökunta tulisi kouluttaa ja luoda tietty prosessi tyhjennykseen, jotta se sujuisi tulevaisuudessa joutuisasti ja olisi osa rutiinitoimintoja.

Tyhjennysprosessi sitoo joka tapauksessa ihmisen tai ihmisiä ja haasteena on varmasti vielä ratkaista se, että kumpi osapuoli, satama vai rahtialus, ottaa konkreettisesta tekemisestä vastuun. Sataman toiveena on, että laivahenkilökunta pystyisi hoitamaan esimerkiksi kiinteän tyhjennyksen niin, että satamahenkilökunta vain toimittaa letkut paikalle. Laivahenkilöstön toive taas varmasti olisi päinvastainen, että satama ottaisi vastuun koko tyhjennyksestä. Yhteisten pelisääntöjen löytyminen ei kuitenkaan saa olla este ja eri satamien toimintamallit tulevat jatkossa poikkeamaan varmasti jonkun verran toisistaan, koska

satamat itsessään ovat melko yksilöllisiä ja ratkaisut riippuvat pitkälti jo pelkäs-
tään jätevesi infrastruktuurin läheisyydestä. Sellaisille alueille, joille on mahdol-
lista rakentaa vähäisellä kustannuksella kiinteä viemäröinti, se olisi varmasti
kannattavin vaihtoehto, vaikkakin investointikustannukset saattavat olla isot.
Satamat, joissa kiinteä verkosto on kaukana tai rakenteellisesti haastava toteut-
taa tai kallista rakentaa suhteessa laivamääriin, niin vaihtoehtoja joutuu pohti-
maan tarkemmin. Sataman tulee ottaa huomioon muun muassa matka tyhjen-
nyspaikalle ja tyhjennysmäärä, joka kerrallaan mahtuu säiliöön. Saman sata-
man eri osien välimatkoista sekä tyhjennyspaikan läheisyydestä riippuu se,
kannattaako tyhjentävä ajoneuvo olla traktorivetoinen vai kuorma-autolla ajetta-
va. Ajoneuvolla olisi hyvä olla myös muuta hyötykäyttöä kannattavuutta ajatel-
len. Tulevaisuuden ratkaisuna voikin olla, että osassa satamista mustien ja
harmaiden vesien tyhjennyksiä ei tehdä lainkaan, vaan ne keskitetään vain suu-
rempiin satamiin.

Tutkimustuloksissa ja saaduissa raporteissa ilmenee, että tyhjennettävä määrä
harmaita ja tai mustia vesiä on useampi kuutio kerrallaan, mutta kiintoainepitoi-
suuksiltaan määrä on vähäinen, noin yhden prosentin luokkaa. Tämä tarkoittaa
sitä, että kaasuntuottopotentiaali on vähäinen suhteutettuna kokonaistyhjen-
nysmäärään. Mikäli toimitukset tapahtuisivat suoraan biokaasulaitokselle, jäte-
vesi olisi todennäköisesti pidemmän päälle liian nestepitoinen, sillä biokaasulai-
toksen kannalta optimi kuiva-aine pitoisuus tulisi olla noin 10–15 % luokkaa.
Sellaisille biokaasulaitoksille, joilla pääasialliset biomassatoimitukset ovat koos-
tumukseltaan kiinteämpiä, kuiva-aine pitoisuuksiltaan siis yli 10 % luokkaa, lai-
mennusvedestä olisi suurempi hyöty.

Satamien etäisyydet biokaasulaitoksista ovat usealla paikkakunnalla melko pit-
kiä. Alla olevasta kartasta näkyy satamien etäisyydet lähimmälle biokaasulai-
tokselle (kuva 12). Sinisellä merkityt ovat satamia lähimpänä olevia biokaasulai-
toksia. Käytännössä siis biokaasulaitoksia sijaitsee kohtuullisen lähellä vain Ou-
lun, Turun, Naantalın ja Vaasan satamaa.



Kuva 12. Biokaasulaitokset satamien lähellä. Siniset merkit biokaasulaitoksia, punaiset merkit satamia. (Googlemaps 2022).

Laivojen mustien ja harmaiden vesien ensisijainen toimituspaikka olisi monelta osin järkevin olla siis jätevedenpuhdistamo. Jätevedenpuhdistamot sijaitsevat pääsääntöisesti sataman läheisyydessä sekä siellä kiintoaine saadaan eroteltua nesteestä ja tällöin biokaasulaitoksille ei kuljetettaisi pitkiä matkoja lähes pelkkää vettä.

Jätevedenpuhdistamoilla poistetaan typpeä ja fosforia mekaanisilla, kemiallisilla ja biologisilla menetelmillä. Jätevedenpuhdistamolle toimitettujen mustien ja harmaiden vesien osalta ravinnepitoisuudet tosin muuttuvat puhdistamolla. Ravinteet eivät siis sellaisenaan seuraa lietemassaa, joka päätyisi jätevedenpuhdistusprosessin jälkeen biokaasulaitokselle.

10.2 Laskelmien luotettavuus

Laskennallisten tulosten varmistamiseksi ja mahdollisen virhemarginaalin arvioimiseksi verrattiin laskennallisia tuloksia todellisiin tyhjennysmääriin. Todellisia tyhjennysmääriä oli mahdollista saada Autoyhtymä Vuoriselta ja Kymen ympäristölaboratorion tehdyistä tutkimuksista sekä vierailun yhteydessä tyhjennystä suorittaneen aluksen osalta.

Todelliset tyhjennysmäärät osoittavat, että laskennalliset määrät olisivat noin 70 % todellisista määristä. Aikaisemmissa laskelmissa, kappaleessa 7.2, todettiin numeerisesti, että laskemat korjattuna todellisilla määrillä, eivät vaikuta kokonaisenergianmäärään ratkaisevasti. Laskelmien epävarmuustekijät eivät niin ikään tuo merkittävää muutosta kokonaisuuteen.

10.3 Tyhjennysten tulevaisuus

Energiakriisi ja Ukrainan sota ovat osaltaan muuttaneet muun muassa kierrätysravinteiden kysyntää. Eero Jalava (johtava asiantuntija Sitra) toi esityksessään Biotalouspäivillä 20.9.2022 esille, että "Asiantuntijaryhmän nostot keväällä 2022: Jätevesien ravinteet turvaamaan ruuantuotantoa energiakriisissä". Näin ajateltuna mustien ja harmaiden vesien satamaan tyhjennyksessä olisi täysin uusia biomassoja, joita voisi hyödyntää käyttämällä niitä sekä biokaasuntuotantoon, että kierrätysravinteina.

Biokaasulaitoksen kannalta ne laitokset, minne tulee sellaisia syötteitä, joita olisi tarvetta laimentaa, harmaat ja mustat vedet olisivat sellaisenaan tervetulleita. Tosin sellaiset jätevedet, minkä kuiva-aine pitoisuus on pieni, on myös kaasuntuottopotentiaali vähäinen. Kaasuntuotto onkin suoraan verrannollinen kuiva-ainepitoisuuteen. Monelta osin siis paras ratkaisu olisi, että laivoista toimitettavat nesteet menisivät jätevedenpuhdistamon kautta, jossa se sakeutetaan tai tiivistetään tai kuivataan ennen poisvientä jätevesilaitokselta. Jätevedenpuhdistuslaitoksen käsittelyn jälkeen liete kulkeutuisi biokaasulaitokselle, jotta energia

saataisiin hyödynnettyä huomioiden myös järkevä kuljetusmuoto. Tällä toimintamallilla vältettäisiin turha ja kallis veden kuljetus.

Sataman kannalta paras ratkaisu olisi, että laiva itse hoitaa tyhjennyksen niin, että se ei sido satamahenkilökuntaa. Prosessin pitäisi olla niin yksinkertainen, että se ei vaatisi erityistä asiantuntemusta. Käytännön toteutus voi osoittautua kuitenkin haasteelliseksi, sillä paikalle pitäisi joka tapauksessa toimittaa mahdollisesti kiinteään letkuun liittimet, liikuteltavayksikkö tai erikseen tilattu imuauto. Tyhjennysmäärä olisi järkevintä olla alle 15 m³, jotta se mahtuisi samaan autoon tai säiliöön kerrallaan ja tällöin kuljetus tai siirto olisi kustannustehokain. Käytännössä pieniä tyhjennysmääriä, ei kannattaisi laivasta edes tyhjentää heti, vaan tyhjennys olisi järkevä tehdä silloin, kun säiliöön on kertynyt mustia ja harmaita vesiä suurin piirtein 15 m³.

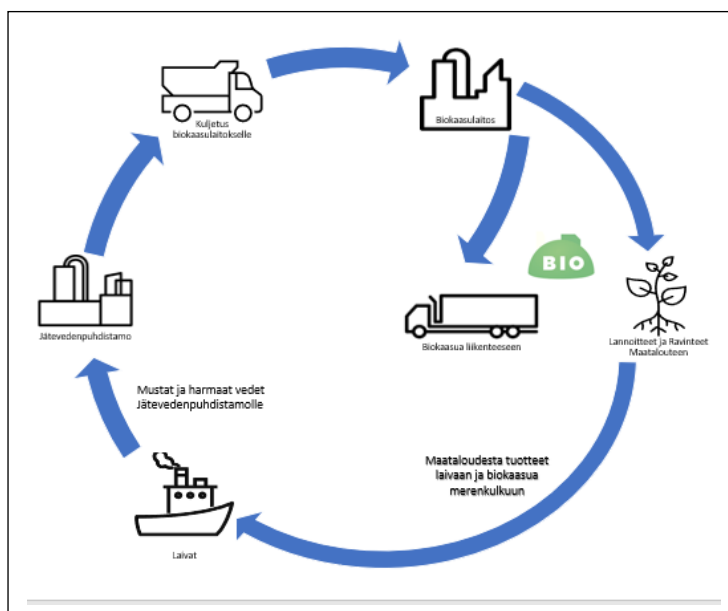
Jätevesiverkoston rakentaminen satamaan maksaa paljon ja näyttääkin siltä, että useampien satamien osalta erikseen tilattava imuauto saattaisi olla paras ratkaisu, ainakin toistaiseksi. Satama tilaa imuauton ja tällöin tyhjennysprosessi ei sido sataman omaa henkilökuntaa tai kalustoa, ja tyhjennys tulee tehtyä heti jätevedenpuhdistamolle. Liittimiä sataman olisi hyvä järjestää paikkaan, jonne tyhjennystä hoitavalla sopimuskumppanilla olisi tarvittaessa pääsy. Tämä olisi sataman järkevä hoitaa, koska jos liitin olisikin väärä, niin imuauton ei tarvitsisi sitä lähteä hakemaan pidemmältä. Imuauton etu on myös se, että mikäli mahdollinen letkurikko tulee, niin imuautolla alue on mahdollista pudistaa ja heillä on prosessi siihen jo valmiina.

Joissain satamissa kiinteä ratkaisu ja tai erillinen tyhjennyspiste voi olla pidemmän päälle kustannustehokkaampi, mikäli sataman rakenteen perusteella sellainen on mahdollista tehdä. Kiinteä ratkaisu saattaisi onnistua muissakin satamissa samalla tavalla kuin Turussa, että osassa satamapaikoista on kiinteä ratkaisu ja osassa jokin muu ratkaisu. Kiinteän pisteen riski on se, että jos ja kun letkurikko sattuu, niin satamalla tulisi olla valmiina ainakin yksi hyvä sopimuskumppani tai soveltuva kalusto tällaisiin tilanteisiin.

Rahtialusten satamassa vietetty aika on kallista ja myös satamien etuna on, että alukset pääsisivät liikkeelle mahdollisimman pian, jotta laituripaikka vapautuisi uudelle alukselle. Satamien ja rahtialusten kokonaisuuden sekä kiertotalouden kannattavuuden kannalta ihanteellisin ratkaisu olisi, että tyhjennystapahtuma olisi siis mahdollisimman nopea ja vaivaton. Mustien tai harmaiden vesien toimitusmatka tulisi olla lyhin mahdollinen, jätevedenpuhdistamolle tai biokaasulaitokselle.

Laskelmien valossa loppusijoituspaikalla ei ole suurta merkitystä. Laskelmissa huomioitiin mustien ja harmaiden vesien kiintoaine ja sen kaasuntuottopotentiaali, joten laskelmien osalta ei ole vaikutusta sillä, tuleeko toimitukset suoraan biokaasulaitokselle vai jätevedenpuhdistamon kautta, koska kiintoaine pysyy lähes samana. Toki on mahdollista, että kaasuntuottoon saattaa jonkun verran vaikuttaa se, että kiintoaine on ensin käsitelty jätevedenpuhdistamolla. Mustien ja harmaiden laskennallisella tai todellisella määrällä korjattuna kaasuntuottopotentiaali oli kokonaisuudessaan vähäinen, joten tuotetulla energiamäärällä, riippumatta kumpia arvoja käytetään, ei ole ratkaisevaa merkitystä kokonaiskuvan kannalta.

Alla olevalla kiertotalouskuvalla havainnollistetaan vielä koko ketjun toimintaperiaatetta ja toteuttamista kiertotalouden näkökulmasta (kuvio 8).



Kuvio 8. Kiertotalouskuva mustien ja harmaiden vesien hyötykäytöstä.

Vähäisestä tuotannosta huolimatta tämä olisi Suomen tavoitteiden mukainen edistysaskel Itämeren suojelemiseksi sekä se lisäisi Suomen kiertotalous tavoitteita. Mustien ja harmaiden vesien tyhjentämisellä satamaan olisi kuitenkin moninkertainen vaikutus, kun tarkastellaan isommassa mittakaavassa. Esimerkiksi verrattaessa Suomen laivakäyntejä Euroopan laivakäynteihin, joita oli noin 622 000 kappaletta, niin pelkästään Euroopan laivakäynneillä olisi valtava merkitys Itämereen laskettavien mustien ja harmaiden vesien määrällä.

Lähteet

- Aaltonen, T. 2022. Satamamestari. Haastattelu Turun satama 26.8.2022.
- Antikainen, P. 2021, Ennuste: Tieliikenteen päästöt laskevat hieman ennakoitua nopeammin- syynä sähköautojen yleistymisen. Liikenne ja viestintäministeriön tiedote. [https://www.lvm.fi/-/ennuste-tieliikenteen-paastot-laskevat-hieman-ennakoitua-nopeammin-syyna-sahkoautojen-yleistyminen-15099170900908f805aa7b9\(2\).pdf](https://www.lvm.fi/-/ennuste-tieliikenteen-paastot-laskevat-hieman-ennakoitua-nopeammin-syyna-sahkoautojen-yleistyminen-15099170900908f805aa7b9(2).pdf) 20.9.2021.
- Björkendahl, M. 2022. Fit for 55 ilmastopaketti ja vaikutukset merenkulkuun. Suomen Varustamot. <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/ilmastosuojelu-ja-ilmastonmuutos/merenkulun-hiilidioksidipaastot/fit-for-55-ilmastopaketti-ja-vaikutukset-merenkulkuun/> 21.11.2022
- BSAG 2022a. Baltic Sea Action infopaketti. <https://www.bsag.fi/fi/balticseawastefeeinfo/> 7.9.2022
- BSAG 2022b toiminta <https://www.bsag.fi/fi/toiminta/harmaat-vedet-meriliikenteessa/> 7.9.2022
- BSAG 2022c Uutinen vastuullinen merenkulku 20.10.2020. <https://www.bsag.fi/ajankohtaista/laivakyselyn-alustavat-tulokset/>
- Googlemaps 2022 <https://www.google.com/maps> 12.12.2022
- Chen, W. & Beavis M. & Jost. O & von Bredew F & Joswig M. 2021 The Maritime Executive. <https://maritime-executive.com/corporate/regulating-grey-water-a-necessity> 31.1.2023
- HaminaKotkan Satama Oy 2022. Aluksen jätehuollosta veloitetaan käyntikerralta seuraavat maksut. https://www.haminakotka.com/sites/default/files/attachment/Alusten_jatehuoltomaksu_2022.pdf 19.9.2022.
- HaminaKotkan Satama Oy 2021. HaminaKotkan sataman satamajärjestys. https://www.haminakotka.com/sites/default/files/attachment/HKS_Satamajarjestys_2021_02022021.pdf 8.12.2022
- Harakka, T. 2020. Liikenteen päästöt puoleen 2030 mennessä- tarvitaan laaja

- keinovalikoima. Liikenne ja Viestintäministeriö. [Liikenteen päästöt puoleen 2030 mennessä – tarvitaan laaja keinovalikoima \(valtioneuvosto.fi\)](#) 27.9.2022
- Kokkolan Satama 2022. Kokkolan suurteollisuusalue-alue. <https://portofkokkola.fi/wp-content/uploads/2019/05/Turvaopaskartta-KIP.pdf> 8.12.2022
- Kymen Vesi 2021. Jätevesitutkimus. Kymen Ympäristölaboratorio.
- Kymäläinen, M. & Pakarinen O. 2015. Biokaasuteknologia Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen biokaasuyhdistys Ry. 2015. HAMK:in julkaisu 17/2015.
- Lindel, P. & Luostarinen S. & Pantsar M. & Pietola L. Seppälä T. 2022. Asiantuntijaryhmä: Jätevesien ravinteet turvaamaan ruuantuotantoa lannoitekriisissä. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkosivu. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Asiantuntijaryhma_Jatevesien_ravinteet_t\(63183\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Asiantuntijaryhma_Jatevesien_ravinteet_t(63183)) 17.11.2022
- Luke 2022. Biokaasulaskuri. <https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/biogas> 7.9.2022
- Malila, R. 2022 Ympäristöministeriö. [Ravinteiden kierrätyksen ohjelma - Ympäristöministeriö](#) 27.9.2022
- MARPOL 2018. Hallituksen esitys LVM/2018/28. <https://valtioneuvosto.fi/delegate/file/39293> 21.11.2022
- Mikkola, T. 2022. Satamakapteeni. Puhelinhaastattelu Kokkolan sataman mustien ja harmaiden vesien tyhjennysprosessi. 19.9.2022.
- Motiva 2022. Vedenkulutus. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus 7.9.2022
- Porttraffic 2022. Satamien aikataulut. Liikenne ja viestintäministeriö Traficom [Traficom: PortTraffic](#) 7.9.2022
- Sandberg, A. 2022. Venäjältä tuodun energian osuus 34 % energian kokonaiskulutuksesta 2021. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/julkaisu/cl1xmekvw1pp80buvn1cznxmy> 22.9.2022
- Searates 2022, DB Word- family in 2020. Merietäisyys.

- <https://www.searates.com/services/distances-time/> 1.9.2022
- Seabaycargo 2022. Satamalyhenteet. Seabay International Freight Forwarding Ltd. [Felixstowe Port | Seaport Code: GBFXT | United Kingdom | Felixstowe United-Kingdom \(seabaycargo.com\)](#) 7.9.2022
- Sitra 2022. Suomen itsenäisyyden Juhlarahasto Sitra, tulevaisuussanasto. <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/kasvihuonekaasu/> 27.9.2022
- Tilastokeskus 2022. Polttoaineen päästövähennemä. https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/edelliset_luokitukset.pdf 26.9.2022
- TTP 2022. Tieteen kansallinen termipankki. [Ympäristötieteet:ekologinen tasapaino – Tieteen termipankki](#) 23.11.2022
- Turun satama Oy 2022. <https://www.portofturku.fi/rahtiliikenne/satama-alueet/>
- Ulkoministeriö 2015. Kestävän kehityksen tavoitteet. <https://um.fi/agenda-2030-kestavan-kehityksen-tavoitteet> 23.11.2022
- UNCTADSTAT 2022. Maailman laivakäynnit, United Nations Conference on Trade and Development. <https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=194889> 17.11.2022
- Valtioneuvosto 2021, Uusi Suunta, Ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi 2021:1 Valtioneuvosto Helsinki 2021. [Uusi suunta : Ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi - Valto \(valtioneuvosto.fi\)](#) 21.9.2021
- Yara Suomi Oy 2022. Lannoiteopas 2020-2021. https://www.yara.fi/contentassets/933fda523d41435ca01181ddb46f4b1/yara_lannoiteopas_2020_fi_0409.pdf/ 12.12.2022

Kymen Ympäristölaboratorion jätevesitutkimus
Tekstiä täydentävät lisäykset

Laivakäynnit EXEL

