



Tanja Pelkonen

Materiaalivirtojen kuljetusmuotojen päästöjen laskentatyökalu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

28.3.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Tanja Pelkonen
Otsikko:	Materiaalivirtojen kuljetusmuotojen päästöjen laskentatyökalu
Sivumäärä:	39 sivua + 5 liitettä
Aika:	28.3.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Energiantuotantomenetelmät
Ohjaajat:	Lehtori Jenni Merjankari Projektitutkija Clara Rajalehto

Ympäristön huomioiminen on vahvasti esillä. Yritykset ja kuluttajat ovat entistä kiinnostuneempia omasta hiilijalanjäljestään, ja osa kuluttajista on alkanut suunnata kulutustaan mahdollisimman pienipäästöisiin tuotteisiin ja palveluihin. Yritykset ovat alkaneet nähdä vähäpäästöisyyden ja ympäristön huomioimisen kilpailuetuna rasitteen sijaan.

Tuotteiden ja palveluiden hiilijalanjäljestä iso osa syntyy logistiikasta. Pitkät kuljetusmatkat muodostavat huomattavia määriä ilmaston lämpenemistä edistäviä kasvihuonekaasupäästöjä. Kuljetukset vaikuttavat myös paikalliseen ilmanlaatuun, erityisesti vilkkailla kaupunkialueilla. Päästöjen selvittämiseksi ja vaihtoehtojen kartoittamiseksi tarvitaan helpokäyttöisiä laskentatyökaluja.

Insinööriyön aiheena oli toteuttaa päästöjen laskentatyökalu, jolla voidaan vertailla erilaisien kuljetusreittien päästöjä sekä kuljetukseen käytettävien polttoaineiden aiheuttamia päästöjä. Työ on saanut inspiraatiota ja tukea materiaalivirtojen murrosta ja Suupohjan kuljetuskäytävän potentiaalia tutkivasta MurSu-hankkeesta. Työkalun haluttiin seuraavan standardia SFS-EN 16258.

Työvaiheita olivat Suupohjan ja Kaskisten sataman alueeseen tutustuminen, tarvittaviin kuljetusmuotoihin ja niiden tulevaisuudennäkymiin perehtyminen sekä päästölaskenta standardiin, -kertoimiin ja olemassa oleviin logistiikka-alan päästölaskentatyökaluihin tutustuminen. Työvaiheet loivat pohjan oman laskentatyökalun toteuttamiselle Excel-ohjelmaa hyödyntäen.

Insinööriyön tuloksena syntyi kuljetuksien vertaamiseen soveltuva päästölaskentatyökalu, joka seuraa standardia SFS-EN 16258. Työkalua voidaan päivittää ja jatkokehittää tulevan uuden standardin ISO 14083:n mukaiseksi sekä lisätä laskentaan esimerkiksi mahdollisuus huomioida kylmäkuljetuksien aiheuttamat päästöt ja energiankulutus erikseen. Muita mahdollisia muutoksia voivat olla esimerkiksi uudet polttoaineet, päivittyvät päästö- ja energiakertoimet sekä käyttöliittymän parannukset mahdollisen käyttäjäkokemuksen perusteella.

Avainsanat: kasvihuonekaasu, GHG, päästöt, päästölaskenta, logistiikka, Excel, kuljetusmuoto

Abstract

Author: Tanja Pelkonen
Title: A Tool for Calculating Emissions from the Transport Mode of Material Flows
Number of Pages: 39 pages + 5 appendices
Date: 28. March 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and Environmental Engineering
Professional Major: Energy Production Methods
Supervisors: Clara Rajalehto, Project Researcher
Jenni Merjankari, Senior Lecturer

A number of consumers have begun to evaluate their consumption habits based on the effect it has on the environment. As such, many companies have started seeing the environmental aspects of their actions as a competitive advantage instead of a burden.

A large part of a services's or product's carbon footprint comes from logistics. The transport of goods causes a considerable amount of greenhouse gasses. The logistic vehicles also affect the quality of air in their vicinity, especially so in dense urban areas. Easy to use calculation tools are needed in order to estimate and compare the emissions of alternative transport modes.

The aim of the thesis project was to create a tool that allows the user to easily evaluate the GHG-emissions and energy consumption of different modes of logistics. The tool should enable the comparison of total emissions between road rail and sea transport modes, taking into consideration both the mode and the fuel used. It was deemed that the tool should be compatible with the the SFS-EN 16258 standard.

The thesis project was conducted by gathering information of the area of Suupohja and Kaskinen harbour, conducting research on the necessary modes of transport that are in use in Finland and the future prospects of these transport modes, becoming familiar with the standard calculation methods and the research on existing GHG-emission calculation tools.

As an outcome of the thesis project, the emission evaluation tool was successfully developed. The tool can be used to compare the emissions and energy consumption of the chosen fuel and transport mode. Updates and further development could consist of making the tool compatible with the upcoming ISO 14083 standard and the addition of reefer-transport support. Other updates could include the addition of new fuel types, updated emission and energy coefficients and improvements to the user interface based on feedback.

Keywords: GHG, emissions, calculation tool, Excel, logistics, transport

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Taustat	2
2.1	MurSu – Materiaalivirtojen muutoksen ja Suupohjan kuljetuskäytävän potentiaali	2
2.2	Tarpeellisuustekijät	3
2.2.1	Venäjän sotatoimien vaikutukset kuljetuskäytäviin Suomessa	3
2.2.2	Ilmastotavoitteet	3
2.3	Kaskisten satama	4
2.4	Suupohjan radan kunto ja tulevaisuudennäkymät	5
2.5	Huoltovarmuus	7
3	Kuljetusmuodot	7
3.1	Kuorma-autot ja ajoneuvoyhdistelmät	7
3.1.1	HCT-yhdistelmät	9
3.1.2	Polttoaineet maantiekuljetuksissa	10
3.2	Meriliikenne	13
3.3	Raideliikenne	17
3.3.1	Kalusto Suomessa	17
3.3.2	Raideliikenteen polttoaineet	20
3.4	Lämpösäädellyt kuljetukset	22
4	Laskentamenetelmät ja -perusteet	24
4.1	Huomioitavat kasvihuonekaasut	24
4.2	Logistiikan päästölaskentaa koskevat standardit	26
4.3	Päästölaskenta	27
4.4	Käytetyt kertoimet ja niiden lähteet	30
4.5	Aikaisemmin julkaistut päästölaskentatyökalut	31
5	Työkalun toteutus	33
5.1	Valitut polttoaineet	33
5.2	Työkalun laskentanäkymä	35
5.3	Työkalun tulevaisuus	37

6	Yhteenveto	38
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1: Auton ja perävaunun yhdistelmän suurin sallittu massa (§122)	
	Liite 2: Meren syvyys	
	Liite 3: Meriliikenteen alusten luokituksia	
	Liite 4: Liikennekäytössä olevat ajoneuvot	
	Liite 5: Laskentamallin käyttämät kertoimet	

Lyhenteet

- CO_{2e}: *Hiilidioksidi-ekvivalentti*. GHG-päästöt CO₂-ekvivalenttina. CO_{2e} lasketaan seuraavan yhtälön mukaa: $CO_{2e} = CO_2 + 25 \cdot CH_4 + 298 \cdot N_2O$
- DOC: *Diesel Oxidation Catalyst*. Suodatin, jonka tarkoituksena on vähentää erityisesti hiilimonoksidi päästöjä.
- dwt: *Deadweight ton, kuollut paino*. Aluksen kuljettaman painon tai uppouman mitta, aluksen kantavuus. Se on yhtä suuri kuin koko uppouma tai paino vähennettynä laivan painolla. Sisältää lastin, polttoaineen, tarvikkeet, ihmiset jne.
- E_t: polttoaineen elinkaaren aikainen energiankulutus, yksikkö MJ
- E_w: polttoaineen käyttöön liittyvä energiankulutus, yksikkö MJ
- e_t: polttoaineen elinkaaren energiakerroin
- e_w: polttoaineen käyttöön liittyvä energiakerroin
- G_t: polttoaineen elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt, yksikkö kgCO_{2e}
- G_w: polttoaineen käyttöön liittyvät kasvihuonekaasupäästöt, yksikkö kgCO_{2e}
- g_t: polttoaineen elinkaaren kasvihuonekaasupäästökerroin
- g_w: polttoaineen käyttöön liittyvä kasvihuonekaasupäästökerroin
- GHG: *Greenhouse gases*. Kasvihuonekaasut ovat ilmakehän kaasuja, jotka päästävät avaruudesta tulevan säteilyn lävitseen, mutta

absorboivat maasta tulevaa lämpösäteilyä itseensä lämmittäen siten ilmakehää.

- GLEC: *Global Logistics Emissions Council*. Yli 150 yrityksen, toimialajärjestön, yhteisön ja asiantuntijan yhteisö, joka on sitoutunut edesauttamaan läpinäkyvää ja johdonmukaista logistiikka-alan kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa sekä raportointia maailmanlaajuisesti.
- HCT: *High-Capacity Transport*. Sallittua pidempi ja/tai raskaampi ajoneuvoyhdistelmä tieliikenteessä.
- HFO: *Heavy Fuel Oil*. Raskas polttoöljy.
- ICE: *Internal combustion engine*. Polttomoottori.
- IMO: *International Maritime Organization*. Kansainvälinen merenkulkujärjestö
- ISO: *International Organization for Standardization*. Kansainvälinen standardisointijärjestö. Kehittää ja ylläpitää kansainvälisiä standardeja.
- JEC: *Joint Research Centre of the European Commission*. Tutkimusyhteistyöelin Euroopan komission tutkimuskeskuksen, Euroopan autoalan tutkimus- ja kehitysneuvoston (EUCAR) sekä Concawen välillä. Tuottaa muun muassa eurooppalaisia Well-to-Wheels tutkimuksia.
- LNG: *Liquid Natural Gas*. Maakaasu.
- Lolo: *Lift on – lift off*. Alustyyppi, joka kuormataan ja puretaan nosturilla.
- MDO: *Meridieselöljy*. Seos raskasta polttoöljyä ja kaasuöljyä merikäyttöön.
- MGO: *Merikaasuöljy*. Tunnetaan myös kauppanimellä laivapoltoneste. Korkeammalle jalostettu kuin laivoissa yleinen HVO. Rikkipitoisuus alle 0,1 prosenttia.

- MurSu: *Materiaalivirtamurroksen ja Suupohjan kuljetuskäytävän potentiaali.* Vaasan yliopiston hanke, joka tutkii Etelä-Pohjanmaan logistiikkaa.
- RoRo: *Roll on – roll off.* Alustyyppi, joka kuormataan ja puretaan ajamalla rahti alukseen ja satamaan aluksen keulasta, sivusta tai perästä.
- SFC: *Smart Freight Centre.* Kansainvälinen, voittoa tavoittelematon järjestö, jonka tavoitteena on vähentää GHG-päästöjä rahdin logistiikasta.
- SFS: *Suomen Standardisoimisliitto ry.* Suomalainen standardisoimisen keskusjärjestö, jäsenenä ISOssa.
- StoRo: *Stowable RoRo.* Alustyyppi, joka lastataan kuin RoRo, mutta kuorma siirretään aluksessa kuljetuskalustosta pois ja kiinnitetään kuin irtolasti. Tehostaa aluksen kapasiteetin hyödyntämistä.
- TEN-T: *Trans-European Transport Network.* Euroopan laajuinen liikenneverkko, koostuu merenkulun, tieliikenteen, rautateiden ja ilmailun tärkeimmistä väylistä.
- TEU: *20 jalan kontin kuljetuskapasiteetti.* Perusmittayksikkö konttiliikenteessä, jota voidaan käyttää esimerkiksi kertomaan konttialusten ja terminaalien kapasiteetti. 1 TEU on 6,10 m (20 jalkaa) pitkä, 2,44 m (8 jalkaa) leveä ja 2,59 m (8,5 jalkaa) korkea. 40 jalan ISO-kontti = 2 TEU:ta.
- TTW: *Tank-to-Wheels.* Polttoaineen ja energian elinkaari tankista tai akusta kulkuneuvon liikuttavaksi voimaksi.
- VOS: *Vehicle Operating System.* Ajoneuvojen operointijärjestelmä ts. ajoneuvo-operaatioiden joukko.

- WBCSD: *World Business Council for Sustainable Development*. Yli 200 kansainvälisen yrityksen toimitusjohtajan johtama organisaatio, joka keskittyy liikemaailman kestävän kehityksen teemoihin.
- WTT: *Well-to-Tank*. Polttoaineen ja energian elinkaari jalostamolta tai tuotantolaitokselta kulkuneuvon tankkiin/akkuun.
- WTW: *Well-to-Wheels*. Polttoaineen ja energian elinkaari jalostamolta tai tuotantolaitokselta kulkuneuvon liikuttavaksi voimaksi.

1 Johdanto

Suomessa on viimeisen parin vuoden aikana tapahtunut merkittäviä muutoksia materiaalivirtojen reittien saralla. Ilmastonmuutos, covid-19-pandemian ja Venäjän sotatoimet Ukrainassa ovat muuttaneet logistiikan toimikenttää. Koronapandemian aikana verkkokauppa kasvoi valtavasti, ja sotatoimien myötä itärajan ylitse ei enää kulje tuotteita, vaan kuljetukset on ohjattava muita reittejä määränpäähänsä. Valtioiden ilmastotavoitteet ja ilmastonmuutoksen hidastamiseen tähtäävät sopimukset vaativat ympäristöystävällisempiä kuljetuksia. Nämä ja monet yritysten kilpailukykyyn liittyvät tekijät kannustavat etsimään uusia sekä vaihtoehtoisia kuljetuskäytäviä ja -muotoja.

Tutkittaessa ja suunniteltaessa uusia kuljetuskäytäviä on syytä ottaa huomioon logistiikan kustannukset sekä ympäristövaikutukset uusilla reiteillä. Tähän tarkoitukseen Vaasan yliopiston materiaalivirtojen muutoksia ja Suupohjan kuljetuskäytävän potentiaalia tutkivassa hankkeessa oli tarve erilaisten kuljetusmuotojen ja reittien päästöjä vertailevalle laskurille. Lisäksi hankkeessa oli tarve tutkia ja verrata erilaisten kalustojen käytön mahdollisuuksia sekä vaikutuksia päästöihin. [1.]

Insinööriyössä oli tavoitteena kerätä tietoa kuljetukseen käytettävistä polttoaineista ja niiden tulevaisuudennäkymistä sekä toteuttaa Excel-laskentatyökalu. Työkalulla olisi mahdollista työkalun käyttäjän tarpeiden pohjalta verrata eri kuljetusmuotojen ja reittien mahdollisia päästöjä. Laskuri toteutettiin niin, että sillä voidaan verrata kuljetun matkan lisäksi eri energiamuotoja hyödyntäviä vaihtoehtoja, esimerkiksi sähkö- ja dieselveturia, toisiinsa, mikä palvelee parhaiten tarkoituksia etsiä vähäpäästöisintä reittiä kuljetuksille. Lisäksi vertailuun otettiin mukaan potentiaalisia lähitulevaisuudessa käytössä yleistyviä energialähteitä, kuten vety ja etanoli. Laskuri toteutettiin niin, että sitä on mahdollista kehittää edelleen. Insinööriyössä on hyödynnetty hankkeelta käyttöön saatuja materiaaleja.

2 Taustat

Työ toteutetaan konstruktiiivisella sekä kvantitatiivisella tutkimusotteella. Työssä huomioidaan Etelä-Pohjanmaan alueelliset tarpeet ja materiaalivirtojen muutoksen ja Suupohjan kuljetuskäytävän potentiaalia tutkivan MurSu-hankkeen intressit. Tietolähteinä käytetään muun muassa tieteellisiä tietokantoja kuten Science Directiä, MurSu-hankkeen luovuttamia materiaaleja, viranomais- ja ilmastoraportteja sekä erilaisia kuljetus- ja logistiikka-alan julkaisuja sekä standardeja.

2.1 MurSu – Materiaalivirtojen muutoksen ja Suupohjan kuljetuskäytävän potentiaali

Vaasan yliopiston MurSu-hanke [1] tutkii materiaalivirtojen muutoksia sekä Suupohjan kuljetuskäytävän potentiaalia. Hankkeen tavoite on tukea teollisuuden ja kaupan kilpailukykyä, tunnistaa materiaalivirtamurroksen tarjoamia mahdollisuuksia ja jalostaa niitä eteenpäin.

MurSu koostuu neljästä toisiaan tukevasta työpaketista, joiden tuloksina muodostuvat materiaalivirta-analyysit, kustannus-hyötyanalyysit eri skenaarioille sekä alueellinen toimitusketjun kattava digitaalinen visio. MurSun työpaketti WP4 keskittyy erityisesti kuljetusmuotoihin, ja tämän innoittamana lähdettiin kehittämään mallia kuljetusmuotojen vertailuun sopivasta Excel-laskentatyökalusta, joka mahdollistaisi Etelä-Pohjanmaan vaikutusalueelle sopivien kuljetusmuotojen ja reittien mielekkään vertailun keskenään.

Hanke tutkii erityisesti Etelä-Pohjanmaan alueen kuljetuskäytävien potentiaalia, muun muassa puun ja puutuotteiden (kuten hakkeen, puupellettien, yms.), lannoitteiden, metallin, biotuotteiden sekä sellun kuljetusten osalta.

2.2 Tarpeellisuustekijät

Ilmastonmuutosta hillitsevät teemat ovat olleet tapetilla jo vuosia. Etsittäessä keinoja hillitä ilmastonmuutosta on katsottava mahdollisuuksia valita tehokkaampia, turvallisempia sekä ympäristöystävällisempiä kuljetuskäytäviä raaka-aineille sekä tuotteille. Monet teollisuuden yritykset sekä kuluttajat pyrkivät valitsemaan nykyään mahdollisimman pienihiihijalanjälkisen raaka-aineen tai tuotteen. Pienentämällä logistiikkaketjun hiihijalanjälkeä saadaan pienennettyä myös sen lopputuotteen laskennallista hiihijalanjälkeä.

2.2.1 Venäjän sotatoimien vaikutukset kuljetuskäytäviin Suomessa

Hiihijalanjälkien pienentämisen lisäksi nyt on etsittävä uusia ja vaihtoehtoisia kuljetuskäytäviä myös Venäjän 24.2.2022 aloittaman Ukrainan sodan vuoksi. Suomen ja Venäjän välinen raja on ollut lähes täysin suljettuna 29.9.2022 lähtien [2], eikä sodan alettua myöskään Saimaan kanavaa ole juurikaan käytetty, muun muassa siksi, etteivät varustamot saa vakuutuksia Venäjän kauttakulkua varten [3]. Lisäksi Venäjä on jo vuoden 2021 marraskuussa ilmoittanut puukuljetusten lopettamisesta Saimaan kanavassa [4]. Liikenteen loputtua rajan ylittämään on Suomen viennin suunniteltava kuljetuskäytävänsä uusiksi.

2.2.2 Ilmastotavoitteet

Ilmastonmuutoksen hillinnästä on puhuttu jo vuosia. Euroopan unioni on ilmoittanut vuonna 2018 pyrkivänsä saavuttamaan ilmastoneutraaliuden EU:n alueella vuoteen 2050 saavuttaessa, ja tähän liittyen liikenteen päästöjä tulisi vähentää 90 %. Suomi EU:n jäsenvaltiona on sitoutunut näihin päästöjen vähennystavoitteisiin. Vuoden 2019 tietojen perusteella liikennesektori on yksi viimeisistä talouden sektoreista, jonka päästöt ylittävät edelleen vuoden 1990 päästöjen tason. Liikennesektorin kasvihuonekaasuista ylivoimaisesti suurin osa, yli 70 % vuonna 2019, aiheutuivat tieliikenteestä. [5.]

2.3 Kaskisten satama

Kaskisten satama on suojaisa syvänmeren satama länsirannikolla noin 110 km:n päässä Seinäjoesta. Satama on yksi Suomen tärkeimpiä sahatavaran ja sellun vientisatamia. Se on lisäksi erikoistunut kemianteollisuuden tuotteiden sekä irtolastin käsittelyyn, ja sataman kautta on alettu toimittamaan tuulivoimaloita. Satama käsittelee noin 1,3 milj. tonnia tavaraa vuodessa, ja sen läheisyydessä oleva teollisuusalue on varattu tulevia laajennuksia sekä tarjonnan monipuolistamista varten. Päivässä satama voi käsitellä jopa 15 000 tonnia rahtia. Kaskisten satama kehittää alueen infrastruktuuria sekä palveluita jatkuvasti palvelemaan monipuolistuvaa asiakaskuntaa. Kaskisten satama on osa Euroopan TEN-T (Trans-European Transport Network) -verkostoa. [6.]

Taulukko 1 Kaskisten sataman avainluvut [6.]

Kaskisten satama-alue	16 ha
Väyläsyvyys	syväsatama 9 m
Laivauskoot	1 000–45 000 dwt
Kääntöpaikka	sisäinen 270 m, ulkoinen 350 m
Laiturit	yht. 10 kpl, Lolo/Bulk 7 kpl, RoRo 2kpl, NesteBulk 1 kpl
Varastotilat	kappaletavaralle 38 000 m ² , kuiva bulk 15 000 m ² + 53 500 m ² , neste bulk 49 000 m ³

Sataman pinta-ala on 16 ha, sen syväväylä on 9 m syvä ja sillä on yhteensä 10 laituripaikkaa, kuten taulukossa 1 on esitetty. Syväväylän lisäksi pohjoisempaan ulkosatamaan johtaa 7,2 m:n syvyinen väylä (kuva 1). Ulkosatamassa käsitellään vain irtorahtia, kun taas pääsataman alueella käsitellään kaikkea lannoitteista, nesteistä ja viljoista aina kierrätysmateriaaleihin ja metsäteollisuuden tuotteisiin. [6.]



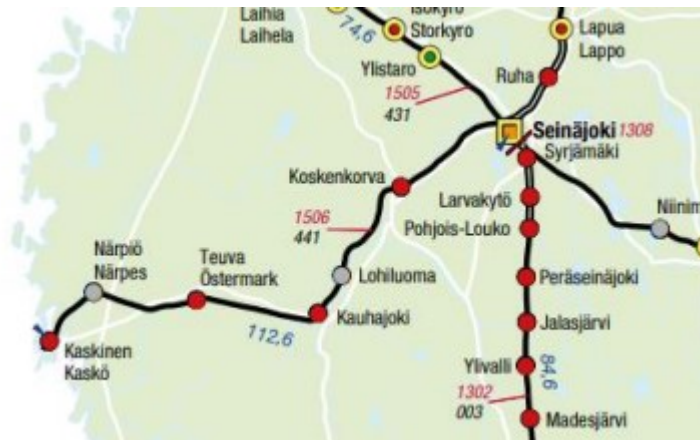
Kuva 1 Kaskisten satama-alueen toiminnot [6].

Pohjoisen suunnasta satamaan tulee junarata, jota Kaskisen satama operoi itse. Sataman alueella on kaksiraiteinen, 1,2 km pitkä kaksivaiheinen rata, joka mahdollistaa kahden 24-vaunuisen junan yhtäaikaisen käsittelyn. Kaskisen satama pyrkii lisäämään raideliikennettä osana päästöjen vähennystoimiaan. Maanteitse liikenne satamaan tulee ruuhkatonta päätietä 67 pitkin. Valtatie E8 on vain 14 km:n päässä satamasta, ja tiellä voidaan kuljettaa myös erikoiskuljetuksia ilman suuria erityisvalmisteluita, mikä helpottaa esimerkiksi satamaan saapuvien tuulivoimaloiden kuljetuksien organisointia. [6.]

2.4 Suupohjan radan kunto ja tulevaisuudennäkymät

Suupohjan rata eli Seinäjoki–Kaskinen-rataosuus (kuva 2) on yksiraiteinen ja sähköistämätön, noin 113 km pitkä käyttöikänsä lopussa oleva rata, joka on sulkemisuhan alainen. Väyläviraston rataosuuden peruskorjausta tarkastelevan raportin mukaan radan tekninen kunto on huono ja sen 157 tasoristeyksen turvallisuusarvio on huono. Suurin sallittu nopeus on rajattu 40–50 km/h tavarajunilla, henkilöjunia ei osuudella kulje. Tavarajunat kuljettavat lähes yksinomaan raaka-putta. Vuonna 2020 rahtia on radalla kulkenut 250 000 tonnia, ja määrän on arvioitu selvityksessä kasvavan noin 450 000 tonniin lähivuosina. [7.] Koska maailman tilanne on selvityksien jälkeen muuttunut merkittävästi, olisi ennustetta

rahdin määrän kasvusta tarkasteltava uudelleen paremman tilannekuvan saamiseksi radan tulevaisuutta suunniteltaessa.



Kuva 2 Seinäjoki-Kaskinen-rata liikennepaikkoineen [7].

Väyläviraston selvityksen mukaan Kaskisten sataman kuljetuksista pääosa hoidetaan maanteitse satama-alueella olevasta 1,2 km pitkstä kaksoisraiteesta huolimatta, eikä selvitys näe satamalla olevan merkittäviä mahdollisuuksia lisätä ”sellaisia vienti- tai tuontikuljetuksia, jotka kannattaisi hoitaa rautateitse” [7, s. 19]. Raideliikenteen lisääminen on kuitenkin yksi merkittävimpiä sataman tavoitteita [6].

Mikäli kyetään osoittamaan, että rautatielle riittää tulevaisuudessa käyttöä ja sen käyttäminen tuottaa merkittävää hyötyä, sen mahdollisuudet saada peruskorjaukseen tarvittava rahoitus ovat paremmat. Onkin syytä huomioida, että selvitykset ratayhteydestä ovat ajalta ennen Venäjän hyökkäyssotaa Ukrainaan, joka on muuttanut logistiikan tarvitsemia kuljetuskäytäviä Suomessa. Lisäksi Metsä Board on syyskuussa 2022 ilmoittanut käynnistävänsä esisuunnittelun uuden taivekartonkitehtaan sijoittamisesta Kaskisiin. Yhtiön uuden tehtaan suunnittelun lähtökohtina mainitaan fossiiliton tuotanto ja hiilijalanjälkeä vähentävä konsepti, mikä tarvittavan logistiikan näkökulmasta suosisi rautatiekuljetuksia. [8.]

Toteutuessaan tehdas tuottaisi alueen elinkeinoelämälle selkeän taloudellisen nosteen ja lisäisi materiaali- sekä tuotekuljetuksia alueella. Etelä-Pohjanmaan rautatieyhdistyksen mukaan toteutuessaan kartonkitehdas turvaisi Suupohjan radan tulevaisuuden [9].

2.5 Huoltovarmuus

Valtioneuvoston säädös 1048/2018 huoltovarmuudesta huomioi, että häiriö- ja poikkeustilanteissa yhteiskunnan toimintojen kannalta tärkeät logistiset palvelut sekä saatavuus varmistetaan yhteistoimin elinkeinoelämän sekä viranomaisten varautumisyhteistyöllä. Logistiikan kannalta kriittisesti tarvitseman infrastruktuurin käytettävyys turvataan. Infrastruktuurin turvaaminen on erityisen tärkeää maassa, jossa kuljettavat etäisyydet ovat huomattavan pitkiä. [10.] Huoltovarmuusnäkökulma yritysten suunnitellessa kuljetusreittejään on noussut vaikuttamaan reittivalintoihin merkittävästi Suomen itärajan sulkeuduttua liikenteeltä. Uusia reittejä Suomeen ja maailmalle tarvitaan, mikä avaa Suupohjan radalle ja Kaskisten satamalle uudenlaisia mahdollisuuksia.

3 Kuljetusmuodot

Tässä työssä tarkastellaan kuljetusreittejä, joilla käytetään ensisijaisesti kuorma-autoja ja ajoneuvoyhdistelmiä, tavarajunia ja rahtialuksia. Lentoreitit on rajattu työn ulkopuolelle. Seuraavaksi käydään lävitse kalustoa ja niiden käytössä olevia polttoaineita sekä potentiaalisia tulevaisuudennäkymiä.

3.1 Kuorma-autot ja ajoneuvoyhdistelmät

Tavaran- ja rahdinkuljetuksiin käytetään Suomessa yleisimmin paketti- ja kuorma-autoja tai ajoneuvoyhdistelmiä. Ajoneuvoyhdistelmät muodostuvat vetoautosta ja perävaunusta tai -vaunuista. Kaskisten satamaan suurin osa kuljetuksista saapuu ja lähtee toistaiseksi maantiekuljetuksina. Kuvassa 3 on esitetty esimerkkejä kuorma-autoista ja mahdollisista ajoneuvoyhdistelmistä.



Kuva 3 Havainnepiirroksia kuorma-autoista ja yhdistelmäajoneuvoista [11].

Vetoautosta tai kuorma-autosta käytetään usein nimitystä veturi. Veturiin voidaan yhdistää yksi tai useampia perävaunuja eli trailereita, joiden varustus sekä rakenne vaihtelevat. Käytössä on laidallisia ja laidattomia trailereita, liukupeite-, verho- ja kaappitrailereita sekä erilaisia säiliöitä ja erikoiskuljetuksille soveltuvaa kalustoa. Tyypillisesti traileri painaa 6 700–7 300 kg ja sen tilavuus on noin 90 m³. [11] Suomessa on säädetty tieliikennelain (729/2918) [12] 122.§:ssä ajoneuvoyhdistelmien suurimmista sallituista massoista (liite 1). Kuvassa 4 on esitettyä 7-akselisen veturin ja varsinaisen perävaunun yhdistelmä sekä 8-akselinen veturin ja kahden puoliperävaunun yhdistelmä maksimimassoineen.



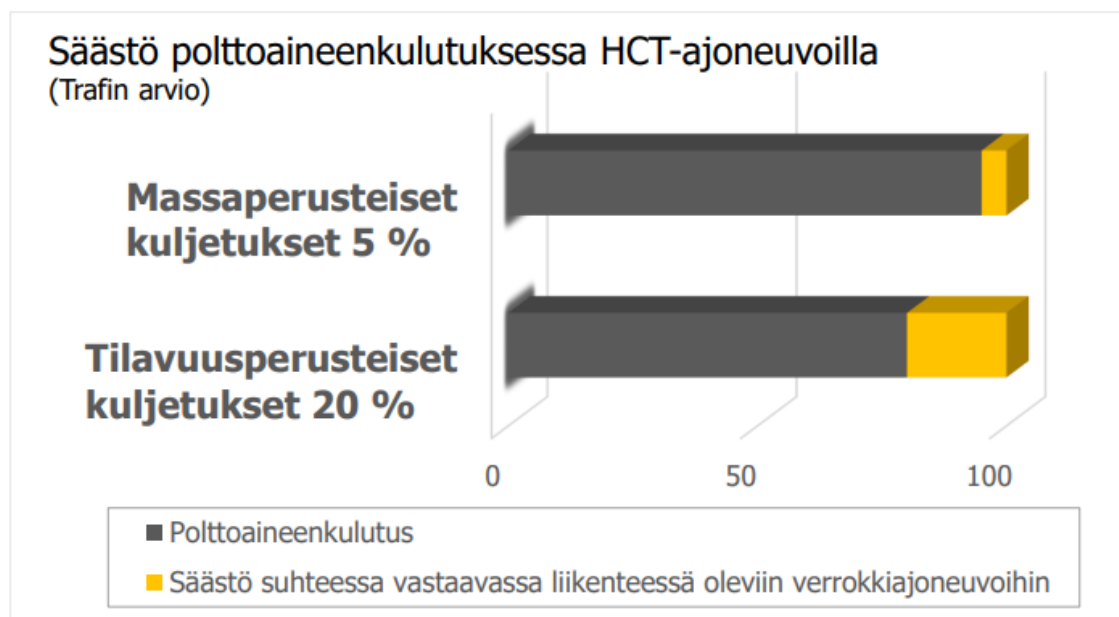
Kuva 4 Esimerkkejä yhdistelmien suurimmista sallituista massoista [11].

Yhdelle akselille kohdistuva massa ei saa ylittää, mitä tieliikennelain (729/2918) 166.§:n liitteessä 6.1 on esitetty. Vetävään akseliin saa kohdistua massaa maksimissaan 11,5 tonnia ja muulle akselille 10 tonnia. Massan lisäksi laissa säädetään ajoneuvojen ja yhdistelmien maksimileveydestä, -korkeudesta ja -pituudesta. Suurin sallittu korkeus on 4,4 m. Maantiekuljetuksiin käytettävän auton sekä yli 22 m pitkän lämpöeristetyin ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu leveys on 2,6 m. [12.]

3.1.1 HCT-yhdistelmät

Kuvassa 4 esitetty 8-akselinen yhdistelmä veturista ja kahdesta puoliperävau-nusta on esimerkki mahdollisesta HCT-rekan yhdistelmän kokoonpanosta. Yh-distelmällä voi olla pituutta jopa 32,25 m ja massaa yli 76 t. Lyhenne tulee sa-noista High Capacity Transport, mikä on kansainvälisesti vakiintunut termi, joka viittaa sallittua pidempiin tai raskaampiin yhdistelmiin tieliikenteessä. HCT-kulje-tuksia ei pidetä erikoiskuljetuksina, sillä kuljetusten suurempi massa tai mitta syntyy rahdin määrästä toisin kuin erikoiskuljetuksissa, joissa kyseessä on poik-keuksellisen mittaisen tai massaisen yksittäisen kappaleen kuljettamisesta. Suomessa on kokeiltu HCT-kuljetuksia poikkeusluvalla vuodesta 2013 lähtien ja vuonna 2020 liikenteessä oli 21 kpl yli 76 tonnin massalla liikennöiviä ja enin-tään 76 tonnin massalla liikennöiviä yhdistelmiä alle 10 kpl. [13.]

Väyläviraston esittämän ja Trafín tekemän arvion mukaan HCT-ajoneuvoilla syntyy merkittäviä polttoainesäästöjä (kuva 5) ja sitä kautta vuotuisia CO₂-pääs-tösäästöjä jopa 77 000 tonnia. HCT-kuljetuksien yleistyminen vähentäisi ras-kasta liikennettä maanteilla arviolta 9–12 %. [14.]

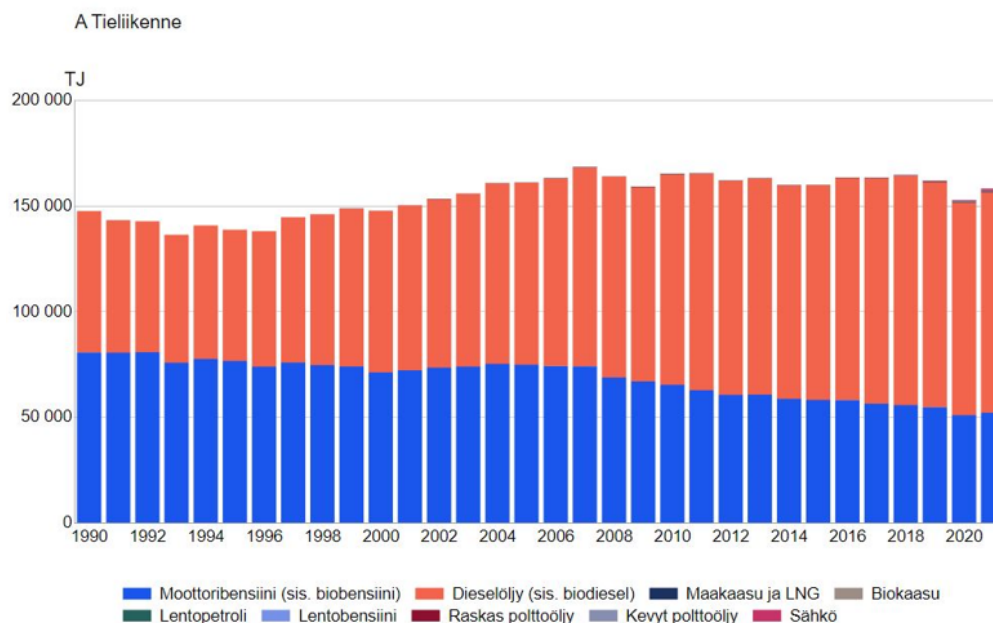


Kuva 5 Arvio polttoaineenkulutuksen säästöistä HCT-ajoneuvoilla suoritetuissa kuljetuksissa [14].

Väyläviraston esityksistä ei käy ilmi, millä polttoaineilla kulutuksen muutosta on tutkittu, mutta erityisesti tilavuusperusteisissa kuljetuksissa HCT-kuljetusten tuomat säästöt ovat hyvin selkeät. Poikkeuksellisen pitkien kuljetusten yleistyminen kuitenkin haastaa nykyistä tieverkostoa, sillä liittymät ja liikenneympyrät on rakennettu vanhemmat säädökset huomioiden. Viraston selvityksien mukaan HCT-kuljetuksille ongelmallisten liittymien korjauskustannukset olisivat arviolta noin 75 M€. [14.]

3.1.2 Polttoaineet maantiekuljetuksissa

Suurin osa kuorma-autoista ja yhdistelmäajoneuvoista liikkuu edelleen dieselillä, mikä näkyy tieliikenteen energiankulutuksessa, sillä noin 70 % tieliikenteessä käytettävästä dieselistä kulutetaan linja-, paketti- ja kuorma-autoliikenteessä [15]. Dieselin käyttöä helpottaa kattava tankkausasemien verkosto. Lisäksi olemassa oleva kalusto on dieselmoottorivoittoista ja usein kylmäkuljetuksissa kylmälaitteet tarvitsevat myös toimiakseen dieselpolttoainetta, joka on mahdollista ottaa samasta tankista kuin ajoneuvon liikuttamiseksi tarvittava polttoaine.



Kuva 6 Tieliikenteen energiankulutus 1990–2021 [16]

Tilastokeskuksen tiedoista (kuva 6) ei käy ilmi, kuinka suuri osa raskaanliikenteen polttoaineen kulutuksesta on biopolttoaineita. Taulukossa 2 on esitettyä tieliikenteen energiankulutus polttoainelajeittain vuosina 2018–2021. Tilastoista nähdään, että selkeästi suurinta on dieselöljyn käyttö. Vaikka biodieselin kulutus on selkeästi nousussa, on se vain reilun viidenneksen vuotuisesta dieselöljyn kulutuksesta. Kulutustiedoista huomataan covid-19-pandemian vaikutukset energiankulutuksen laskiessa vuonna 2020 vuoteen 2019 verrattuna noin 9 300 TJ.

Taulukko 2 Liikenteen energiankulutus (TJ) 2018–2021 [17]

Polttoaine	2018	2019	2020	2021
Moottoribensiini ¹⁾	55 803	54 779	51 016	52 096
- josta biobensiini ²⁾	3453	3620	3797	4579
Dieselöljy ¹⁾	108 487	106 548	100 547	104 465
- josta biodiesel	11 775	14 178	12 621	23 212

LNG, Maakaasu	135	238	353	400
Biokaasu ⁴⁾	168	250	400	505
Sähköautot	166	261	453	850
Yhteensä	164 759	162 076	152 770	158 315

1) Sisältää polttonesteeseen sekoitetut bio-osuudet

2) Sisältää bioetanolin ja biobensiinin lisäksi lisäaineiden bio-osuudet

3) Liikennekäyttöön myyty biokaasu

Kuorma-autojen ja yhdistelmäajoneuvojen aiheuttamien päästöjen vähentämiseksi olisi kehitettävä uusia ratkaisuja. Toistaiseksi tulevaisuus vaikuttaa poltomoottoreita suosivalta. Jotta raskas liikenne saataisiin siirtymään käyttämään pääenergianlähteenä dieselin sijaan vaihtoehtoisia polttoaineita, tarvittaisiin niille koko maan kattavat jakeluverkostot.

Lähes jokaisella rekkojen valmistajalla on katalogissaan täyssähköinen malli, mutta Suomessa täyssähköisiä kuorma-autoja on ollut liikenteessä vain 25 kpl vuoden 2021 lopussa (liite 4). Tutkimusten mukaan 300 km:n matkaan ajoneuvoyhdistelmä tarvitsisi noin 700 kWh:n akun, jonka lisämassa ei ole dieselvoiman käyttöön nähden merkittävä, sillä kannattavuudesta menetettäisiin vain 11 % verrattuna dieselrekkaan. Megawatin lataustehon tarjoavalla laturilla tällaisen ajoneuvon lataisi 45 minuutin kuljettajalle kuuluvan lakisääteisen tauon aikana. Sähkön siirtoverkko pystyisi teknologian tutkimuskeskus VTT:n mukaan hoitamaan megawattitason latausinfraan vaatiman energian siirron. Paikallisverkoissa saattaisi kuitenkin olla tarve älykkäille latausratkaisuille sekä erilaisille energiavarastoille kysynnän ja kulutuksen vaihdellessa latausasemilla suuresti. Energiavarastot myös tukisivat sähköntuotantoa kysynnän kasvaessa suureksi. [18.]

Täyssähköisille raskaan liikenteen ajoneuvoille EU suunnittelee sallivansa nykyisiä säädöksiä suuremman kokonaismassan. Tällöin 40 t:n kokoluokassa täyssähköinen ajoneuvo pystyisi kilpailemaan kannattavuudessa nykyisten poltomoottoriajoneuvojen kanssa. Suuremmissa HCT-luokan kuljetuksissa täyssähköinen ajoneuvoyhdistelmä ei olisi nykyisillä akkuteknologioilla

kilpailukykyinen. VTT näkisi näihin noin 76 t:n kuljetuksiin paremmin soveltuvan muiden vaihtoehtojen, kuten biokaasun ja vetypolttokeinojen käyttämisen energialähteenä. [18.]

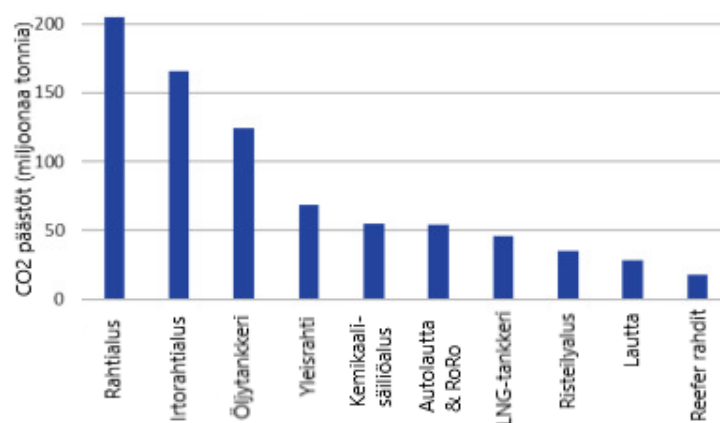
Aikaisemmin julkisessa keskustelussa on puhuttu runsaasti kaasun käyttämisestä raskaiden ajoneuvojen polttoaineina. Esimerkiksi biokaasun asemaa ja mahdollisuuksia pidettiin Suomessa ja Ruotsissa hyvinä vielä ennen Venäjän hyökkäystä Ukrainaan. Sodan seurauksena metaania tarvitaan nyt enemmän muualla kuin tieliikenteen käytössä. Tampereen yliopiston uusiutuvan liikenteen professori Heikki Liimataisen mukaan on mahdollista, että kun suuret markkinat eivät pidä kaasuja potentiaalisina polttoaineina raskaassa liikenteessä, on todennäköistä, että vain ruotsalaiset Volvo ja Scania tarjoavat ajoneuvoja, jotka voivat hyödyntää nestemäistä kaasua käyttövoimana. Myös latausasemien vähyys vaikuttaa ajoneuvojen yleistymiseen. Suomen kaikki 14 raskaan liikenteen käyttöön tarkoitettua nestemäisen kaasun tankkausasemaa sijaitsevat suurten kaupunkien läheisyydessä. Kaasun lisäksi vetypolttoaineita pidetään mahdollisena, joskin kaukaisemman tulevaisuuden mahdollisena ratkaisuna. Suurin painotus on tällä hetkellä raskaan liikenteen sähköistämisessä. [18.]

3.2 Meriliikenne

Merirahtiliikenne on hyvin monipuolista ja Suomen liikenteen tyypillisimmät rahatialukset ovat lastaustavoiltaan RoRo (roll on – roll off), StoRo (stowable RoRo) tai LoLo (lift on – lift off) -aluksia, konttialuksia sekä matkustaja-autolauttoja (liite 3). Kaskisten satamassa kykenee vierailemaan suurehko Handymax-luokan alus, sillä satamassa kyetään laivaamaan kantokyvyltään 45 000 dwt:n aluksia (taulukko 1). Vertailun vuoksi esimerkiksi Kokkolan satamassa kykenee syväväylän syvennyksen myötä vierailemaan Panamax-luokan aluksella [19].

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO (International Maritime Organization) arvioi, että laivaliikenteen päästöt ovat 2,8 % vuosittaisista maailmanlaajuisista päästöistä [20]. Päästöt syntyvät pääosin valtamerialuksista kuten konttialuksista, irtolastialuksista ja öljytankkereista (kuva 7). Näin suurten kokoluokkien

aluksia Pohjoisen Selkämeren, Merenkurkun ja Perämeren alueella olevissa satamissa harvoin vieraillee, sillä meri on paikoitellen erittäin matala (liite 2), mikä asettaa rajoitteita alusten koolle. Suomen kolmanneksi vilkkaimpaan rahtisatamaan Kokkolassa johtaa 14 m syvyinen syväväylä [19], Kaskisten satamaan puolestaan 9 m syvyinen [6]. Tyypillisesti kansainvälinen rahti kuljetetaan Suomen satamista ensiksi Saksan satamiin, jossa se siirretään valtamerialuksiin tai rautateille matkalle kohti lopullista määränpäättä.



Kuva 7 CO₂-päästöt kansainvälisestä merirahdistä alustyypeittäin jaettuna (kuvan teksti suomennettu) [21, muokattu].

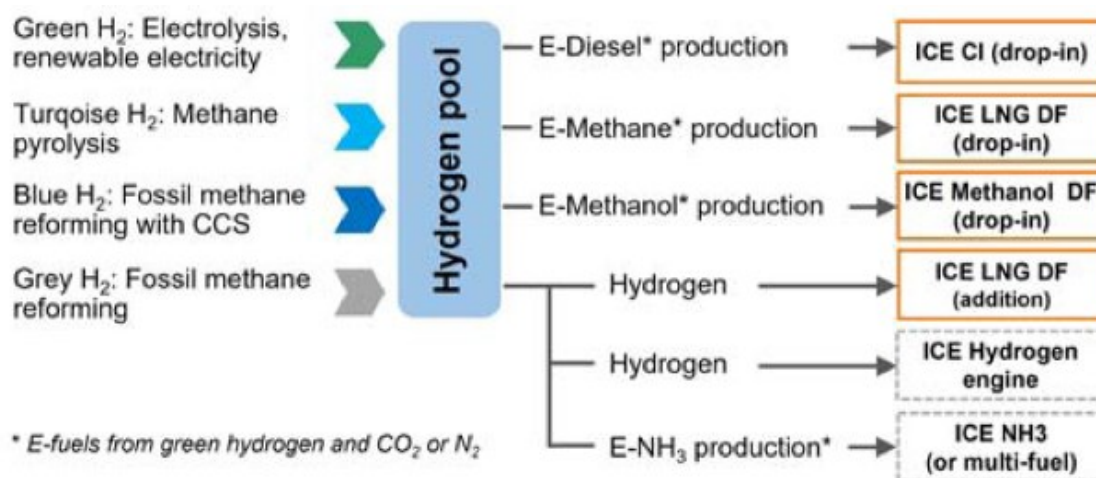
Alukset saavat voimansa tyypillisesti dieselmoottoreista, jotka ovat samankaltaisia kuin ajoneuvojen moottorit, mutta huomattavasti suurempia ja tehokkaampia. Hidaskäyntiset kaksitahtimoottorit ovat lämpötehokkaita ja mahdollistavat suoran akseliliitoksen, mikä minimoi vaihteistohäviöitä. Lisäksi ne sietävät hyvin korkean viskositeetin polttoaineita kuten HFO:ta (raskasta polttoöljyä). HFO:n käyttäminen polttoaineena osaltaan selittää suurien alusten suuria GHG-päästöjä. [21.] Suuret kaksitahtimoottorit ovat käytössä valtamerilaivoissa, jotka on suunniteltu kulkemaan pitkiä matkoja tasaisella nopeudella. Pieniin ja keskisuurisiin aluksiin, joita käytetään esimerkiksi rannikkokuljetuksiin, voimaa tuottaa tyypillisesti nelitahtimoottori. Nelitahtimoottorit tarvitsevat jalostetumpaa ja matalamman viskositeetin omaavaa polttoainetta, kuten meriliikenteen dieseliä. [22.]

Tankkialukset ovat käyttäneet polttoaineenaan LNG:tä (nesteytettyä maakaasua) jo 1970-luvulta. Suurimpia etuja LNG:n käytössä on sen erittäin pieni rikkipitoisuus, mikä madaltaa laivaliikenteen SO_x-päästöjä merkittävästi, jopa 90 %, ja matalamman palamislämpötilansa myötä NO_x-päästöjä jopa 80 % verrattuna HFO:n käyttöön polttoaineena. Nykyään LNG:tä käytetään paljon muissakin aluksissa kuin tankkialuksissa. On kuitenkin syytä huomioida, että LNG:n GHG-päästön (greenhouse gas, kasvihuonekaasu) kokonaismäärä riippuu pitkälti metaanivuodoista käytön sekä polttoaineen toimitusketjun aikana. Vuodot voivat nostaa päästömäärää uusimpien tutkimusten mukaan merkittävästi. Vaikka LNG on halvempaa polttoainetta kuin useat fossiiliset polttoaineet, uudet LNG-alukset ovat jopa 25 % kalliimpia hankkia kuin vastaavat öljyä kuluttavat alukset. Myös LNG-tankkausasemien rakentaminen satamiin voi olla hyvin kallista. [21.]

Meriliikenteeltä puuttuivat pitkään selkeät päästöjen vähennystavoitteet ja rajoitukset käytettävien polttoaineiden laadun sekä ominaisuuksien suhteen, mutta kansainvälisiä säädöksiä on nyt kehitteillä. Kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n tutkimien skenaarioiden mukaan kansainvälisestä merilogistiikasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt voisivat kasvaa jopa 250 % vuoteen 2050 vuoden 2008 tasosta. Järjestö onkin asettanut tavoitteeksi leikata CO₂-päästöjä vuoden 2008 tasosta 40 % vuoteen 2030 ja 70 % vuoteen 2050 mennessä. Kaikkiaan kasvihuonekaasupäästöjen leikkaustavoite on vähintään 50 % vuoteen 2050 vuoden 2008 tasosta. [23.]

Näihin tavoitteisiin pyritään pitkälti etsimällä vaihtoehtoisia polttoaineita nykyisten tilalle. Synteettiset polttoaineet ja biodieselit ovat potentiaalisia vaihtoehtoja perinteisille polttoaineille, sillä ne vaativat vain vähän muutoksia nykyisiin moottoreihin ollakseen käyttökelpoisia. Moottoreita, jotka voivat käyttää polttoaineenaan metaania, MGO:ta (marine gas oil) tai ammoniakkaa, on kehitteillä Wärtsilässä, ja useat yhtiöt tutkivat vedyn mahdollisuuksia. Täysin uudenlaisten, uusia vähäpäästöisiä polttoaineita kuluttavien moottoreiden lisäksi Wärtsilä on kehittämässä tekniikkaa päivittää nykyisiä moottoreita käyttämään yrityksen Tri-Fuel-

teknologiaa, jolloin moottoreissa voitaisiin polttaa kolmen polttoaineen (MGO/HFO/CH₃OH) yhdistelmää päästöjen pienentämiseksi. [21; 24.]



Kuva 8 Polttomoottoreiden vetypolkuihin sisältyvät e-polttoaineet, jotka soveltuvat hyödynnettäväksi nykyisissä diesel- ja kaasumoottoreissa [25].

Vetyä voidaan potentiaalisesti käyttää tulevaisuudessa suoraan polttoaineena tai sitä voidaan hyödyntää e-polttoaineiden tuotannossa. Kuvasta 8 nähdään, että useat e-polttoaineet voidaan ottaa käyttöön nykyisiin moottoreihin, mutta puhtaasti vedyllä ja ammoniakilla toimivat moottorit ovat vielä kehityksen alla. Vety-polttoaineiden kokonaispäästöihin vaikuttaa suuresti se, miten vety on tuotettu. Puhtaimmat vedyt ovat ns. vihreä ja pinkki vety. Vihreää vetyä tuotetaan uusiutuvien energialähteiden, kuten tuuli- ja aurinkoenergian, avulla elektrolyysillä. Pinkin vedyn tuotannossa hyödynnetään ydinvoimaa. [25; 26.]

Kuten maantieliikenteessäkin, laivaliikenteessä uusien polttoaineiden käyttöönottoa hidastaa niiden jakeluverkoston puuttuminen. Laivayhtiöille ei riitä investointi pelkästään uusinta teknologiaa hyödyntävään alukseen vaan se joutuu huomioimaan uuteen alukseensa sopivan polttoaineen saatavuuden satamista.

3.3 Raideliikenne

Suomalainen raideliikenne on uniikkia. Rautatiet poikkeavat leveydeltään muusta Euroopasta, eikä kotimainen kalusto pysty kulkemaan naapurimaiden raiteilla. Suomesta toistaiseksi ainoa käytettävissä oleva raideyhteys Eurooppaan kulkee Tornioista Haaparantaan. Haaparannan puolella oleva rataosuus on varustettu sekä suomalaisella 1 542 mm leveällä raideosuudella, että eurooppalaisella 1 435 mm leveällä raideosuudella. Näin Haaparannassa voidaan Suomesta saapuva rahtijuna uudelleen lastata eurooppalaisen leveyden raiteilla kulkevaan kalustoon. Raideleveyden asettaman haasteen lisäksi suurin osa rataverkostosta on yksiraiteista ja vajaa puolet verkostosta on sähköistämättömiä rataosuuksia. Talvisin haastavat ilmasto-olosuhteet tuovat myös omat haasteensa raideliikenteeseen Suomessa. [27; 28.]

Kuitenkin maailman laajuisesti tavoitellaan logistiikan kuljetuksien siirtämistä maanteiltä raiteille osana kuljetuksien aiheuttamien päästöjen vähentämiseen tähtääviä toimenpiteitä. Tavarajunan kyydissä voidaan kuljettaa monipuolisesti erilaisia tuotteita, materiaaleja, tukkeja, nesteitä ja kaasuja kuhunkin rahtiin sopivan vaunun kyydissä.

3.3.1 Kalusto Suomessa

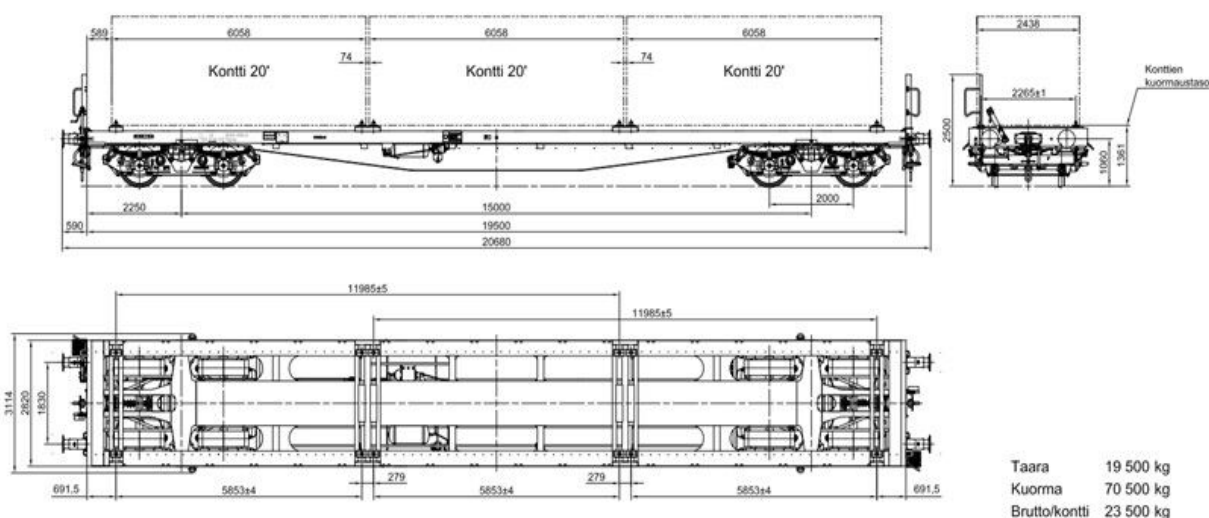
Suomessa suurin toimija rautateilla on VR Group. VR:n lisäksi tavaraliikennettä operoi vuonna 2009 perustettu Fenniarail. Fenniareilin ja VR Groupin lisäksi tulevaisuudessa kolmas operaattori voi olla Nurminen Logistics, joka tammi-kuussa 2023 ilmoitti ostavansa Viron valtion omistaman Operail Finlandin toiminnot. Suurin osa Suomen rautateiden kalustosta on VR Groupin omistuksessa.

Uusimmat VR:n tavaraliikenteen veturit Vectron ja Dr19 ovat eurooppalaisvalmisteisia. Vectron on vaihtovirtaveturi, joka kykenee vetämään noin 2 200 t kuormaa. Sen huippunopeus on 200 km/h, mikä tekee siitä myös matkustajaliikenteeseen sopivan. Veturin pituus on noin 19 m, paino noin 90 t ja sen

keulassa on lumiaura helpottamaan talviolosuhteissa kulkemista. Vectron on varustettu kahdella dieselmoottorilla esimerkiksi sähköistämättömillä kuorma-alueilla sekä ratapihoilla toimimista varten. [29.]

Dr19-dieselveturit ovat vasta aloittamassa liikennöintiä Suomessa, ja niillä tul- laan korvaamaan lähes kokonaan nykyinen dieselveturikalusto. Veturit ovat 18 m pitkiä, 88 t painavia ja varustettu kahdella 950 kW tehon tuottavalla mootto- rilla sekä DOC-suodattimilla (Diesel Oxidation Catalyst), joiden avulla saadaan vähennettyä veturin pienhiukkaspäästöjä, ja ne kuuluvatkin stage 5 -päästöluok- kaan. Veturilla voidaan vetää 2000 t painavaa tavarajunaa ja sen huippunopeu- deksi luvataan 120 km/h. VR on myös suunnitellut käyttävänsä veturia mahdolli- sesti Kolarin matkustajayöjunaliikenteessä. Dr19-veturit voivat käyttää polttoai- neenaan myös biodieseliä, ja ne on suunniteltu niin, että energianlähde voidaan tulevaisuudessa vaihtaa vähäpäästöisempään. [29.]

VR:llä on kattava valikoima erilaisia tavaravaunuja. Kotimaan liikenteeseen so- pivia avovaunujen valikoimassa on 11 erilaista vaunumallia, 1 suurkuormavau- numalli, 12 erilaista irtotavaravaunumallia, 10 katettua vaunumallia, 1 modulaa- rinen vaunumalli, 10 erilaista säiliövaunumallia sekä 2 yhdistettyjen kuljetusten kuljettamiseen räätälöityä vaunumallia. Näistä esimerkiksi kuvassa 9 on sgns- konttivaunun mitoitus. Vaunussa on kiinteät konttitapit ja kyytiin voidaan lastata 1–3 TEU:ta (20 jalan kontin kuljetuskapasiteettia). Tällaisin vaunuin voisi esi- merkiksi Kaskisten satamasta hakea konttialuksen tuoman merirahdin ja kuljet- taa sen eteenpäin sisämaahan. Yhteen vaunuun voidaan nostaa maksimissaan 70,5 t painoinen kuorma. [30.]



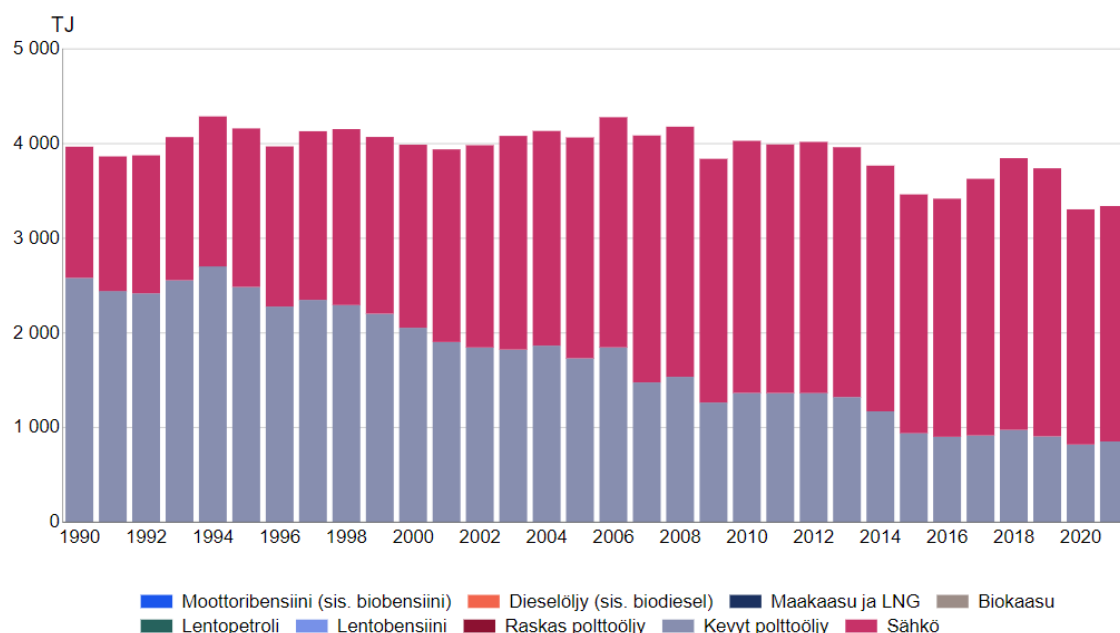
Kuva 9 Mittapiirros sgns-konttivaunusta kolmelle TEU:lle. [30]

Fenniarail Oy omistaa 6 kpl Dr18-sarjan vetureita. Ne ovat 17,4 m pitkiä ja noin 115 t painoisia dieselvetureita, jotka soveltuvat erityisen raskaaseen vaihtotyöhön sekä tavaraliikenteeseen. Vetureiden huippunopeus on 90 km/h. Tavara-vaunuina Fenniaraililla on ollut Ruotsista vuonna 2022 vuokrattuna 22 kpl neljä-akselisia Laaiis-sarjan siirtokatevaunuja, joiden suurin sallittu kuorma on 63,5 tonnia. [31.] Nurminen Logisticsin Operail Finlandin hankinnan myötä mahdollisesti omistamasta rautatieliikennekalustosta tai operoinnin jatkosta ei ole saatavilla tietoja.

Kaluston hankinta Suomeen on haasteellista leveämmän raideleveyden takia. Maailmalla käytettyjä vaunuja olisi tarjolla, mutta niiden tuominen Suomeen ei ole välttämättä kannattavaa vaadittujen muutostöiden korkeiden kustannuksien myötä. Oma raideleveys, pohjoisen haastavat talviolosuhteet ja rataverkoston yksiraiteisuus osaltaan hidastavatkin uusien rautatielogistiikan toimijoiden saapumista Suomen markkinoille, vaikka markkinat ovatkin olleet avoimet jo vuodesta 2007 alkaen. [27.]

3.3.2 Raideliikenteen polttoaineet

Suomen raideliikenteen vetureiden kerrotaan pääsääntöisesti olevan joko sähkö- tai dieselvetureita. Kun katsotaan Tilastokeskuksen tilastoja raideliikenteen energian hankinnasta ja kulutuksesta vuosilta 1990–2021, huomataan kuitenkin, että kuvassa 10 on esitettyinä vain sähkön ja kevyen polttoöljyn käyttäminen. Vetureiden käyttämä puhdas dieselöljy on hyvin samankaltaista kuin kevytpolttoöljy, jota myydään vaaleanpunaiseksi värjättyinä muun muassa maatalous- ja työkoneiden sekä lämmöntuotannon käyttöön. Kevyt polttoöljy on kevyemmin verotettua kuin liikennekäyttöön tarkoitettua dieselöljyä. [17; 32.]



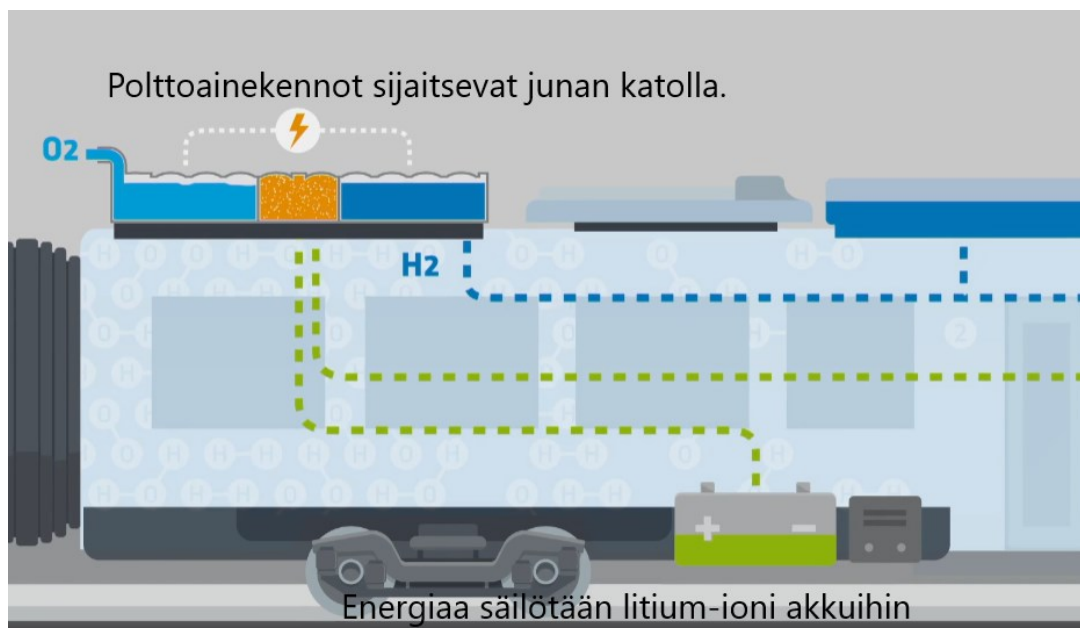
Lähde: Tilastokeskus, energian hankinta ja kulutus

Kuva 10 Tilasto raideliikenteen kuluttamasta energiasta vuosilta 1990–2021 [17].

Kun logistiikan päästöjä pyritään vähentämään ja rahtia siirtämään maanteiltä rautateille, käytetään perusteena tyypillisesti sähköisen raideliikenteen vähäpäästöisyyttä sekä junan kykyä kuljettaa kerralla suuria määriä rahtia. Suomen rataverkosta on ollut Väyläviraston [33] mukaan sähköistettynä 3 330 km vuoden 2018 lopussa, verkoston kokonaispituuden ollessa 5 926 km. Sähköistämättömillä rataosuuksilla kulkemiseen tarvitaan toistaiseksi dieselvetureita.

Uusien polttoaineiden yleistymistä tavarajunien energialähteenä saadaan vielä odottaa. VR on hankkinut Suomeen uusia DR19-dieselvetureita, joita Stadler Valencia toimittaa 60 kappaletta vuoden 2026 loppuun mennessä. Veturit on mahdollista muuntaa tulevaisuudessa käyttämään vähempipäästöistä energianlähdettä. Toistaiseksi vaihtoehtoiset energialähteet eivät ole kilpailukykyisiä perinteisempien polttomoottoreiden kanssa raidelogistiikassa. VR kuitenkin visioi rakentavansa veturista version tulevaisuudessa niin, että sen toisessa päässä olisi akusto, jonka varauksella voitaisiin hoitaa teollisuusraiteilla ja halleissa liikumisen ilman polttomoottoreita. [34.]

Vety nähdään potentiaalisena vaihtoehtona junien energianlähteeksi sähköistämättömillä raideosuuksilla erityisesti matkustajaliikenteessä. Keski-Euroopassa matkustajaliikenteessä on jo aloittanut toimintansa ensimmäinen polttoainekennoja käyttävä juna The Coradia iLinit. Vetyjuna pystyy kulkemaan 1 000 km matkan yhdellä tankkauksella, ja sen tankkaaminen kestää noin 20 minuuttia.



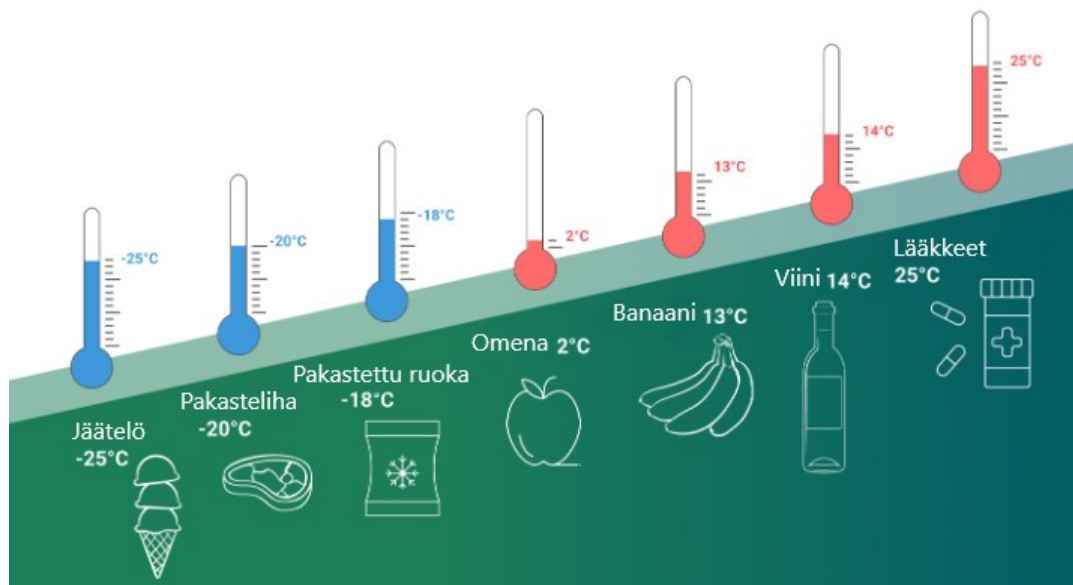
Kuva 11 Havainnekuva vetyjunan toiminnasta mukailien The Coradia iLinitin esittelymateriaalista [35].

Polttokennot sijoitetaan junan katolle (kuva 11), ja niissä syntyvä sähkö hyödynnetään liikkeelle panevana voimana sekä varastoidaan akkuihin junan

alle. Päästöinä syntyy vain vettä ja lämpöä. [35.] Teknologia ei ole kuitenkaan sellaisenaan käytettävissä tavarajunien liikuttamiseen. Vuonna 2022 julkaisussa italialaisten ja itävaltalaisien tekemässä tutkimuksessa simuloitiin dieselveturin muuntamista vetykäyttöiseksi. Tutkimuksen mukaan dieselin vaihtamisella vetyyn voitaisiin saavuttaa sama suorituskyky ja merkittäviä vuosittaisia päästövähennyksiä. Kyseessä on kuitenkin simulointi ja sen tuloksia suositetaan testattavaksi käytännössä. [36.] On todennäköistä, että lähivuosina dieselvetureiden polttoaineina yleistyvät biodieselit, joiden käytöllä saadaan aikaan kasvihuonekaasupäästövähennyksiä verrattuna perinteisempien dieselöljyjen käyttöön.

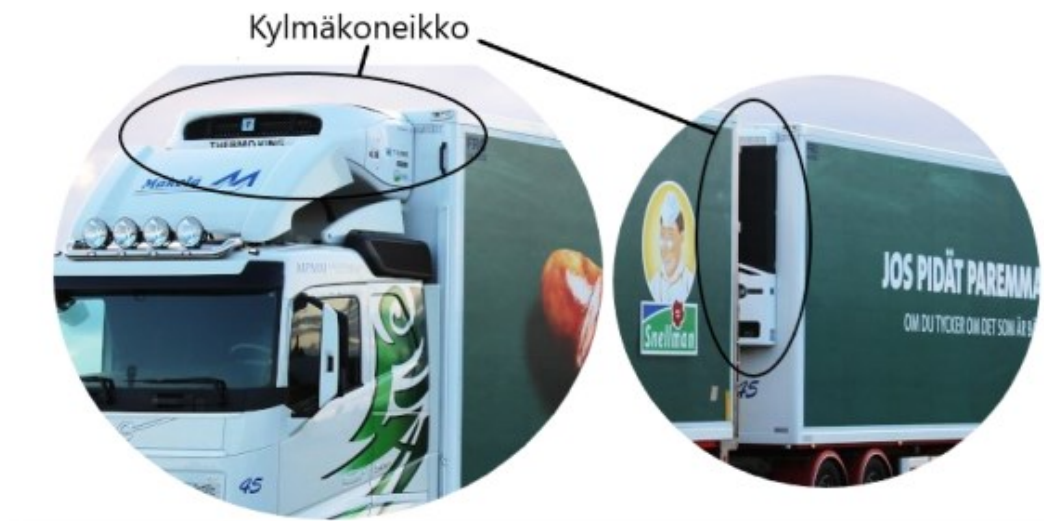
3.4 Lämpösäädellyt kuljetukset

Jotta kuljetukselle herkemmit tuoteryhmät pääsisivät käyttökelpoisina määränpäähensä, on tarpeen mahdollistaa kuljetuksen lämpötilan määrittäminen. Herkimpiä kuljetuksen aikaisille lämpötilanmuutoksille ovat pakasteina ja tasaisessa lämpötilassa säilytettävät tuotteet. Esimerkiksi jäätelöt, useimmat elintarvikkeet, viinit ja lääkkeet on kuljetettava lämpötilakontrolloiduissa olosuhteissa (kuva 12).



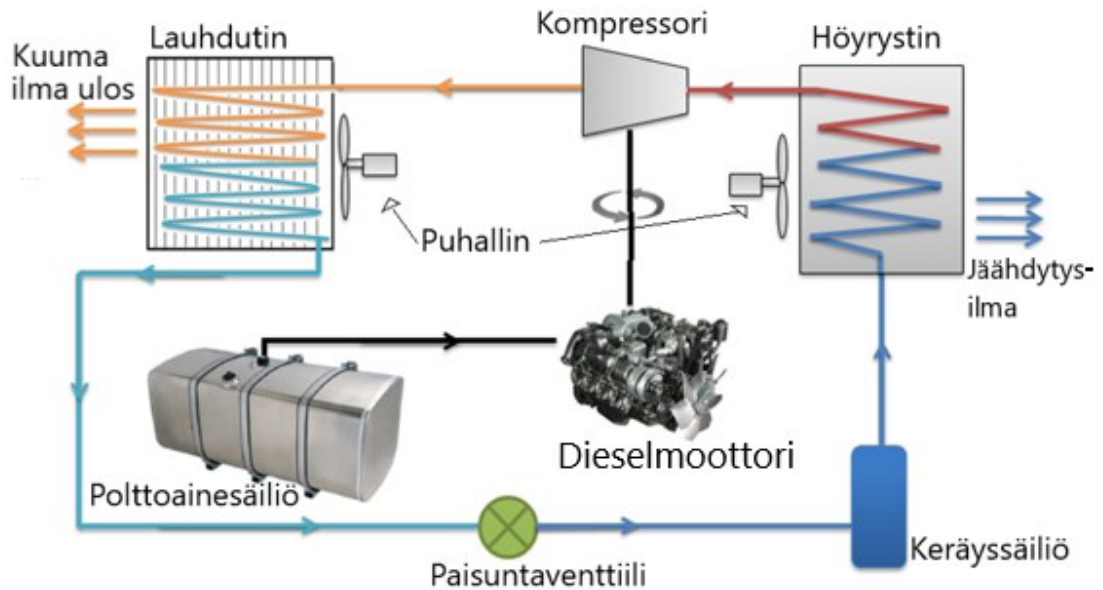
Kuva 12 Eri tuoteryhmien kuljetuslämpötiloja [37, muokattu]

Lämmönsäätelyyn sopivaa laitteistoa voidaan asentaa niin kontteihin kuin rekoihin ja perävaunuihin. Kylmäkonttia kutsutaan reeferiksi. Satamissa ja aluksilla reeferit kytketään ulkoiseen virtaan, jotta kylmäkoneet kykenevät ylläpitämään asetettua kuljetuslämpötilaa. Rekoissa kylmäkoneikot voivat ottaa tarvitsemansa polttoaineen suoraan ajoneuvon tankista. Kylmäkoneikkoja voidaan sijoittaa esimerkiksi ajoneuvon nupin yläpuolelle tai perävaunun päätyseinään kuten kuvan 13 täysperävaunuyhdistelmässä. Kuljetus voi olla täysin tai osittain lämpösäädely, jolloin osat eristetään toisistaan väliseinin.



Kuva 13 Kuvassa kylmäkoneikkoja VAK Oy:n toimittamassa täysperävaunuyhdistelmässä [38].

Kylmälaitteella on oma moottori, joka tarvitsee käyttöenergiaa. Rekan kylmälaitte voi ottaa tarvitsemansa polttoaineen suoraan rekan polttoainesäiliöstä, sillä kylmälaitteet käyttävät usein dieselmoottoria sen luotettavuuden takia. Moottori tuottaa käyttövoiman kompressorille, jolta lämmin jäähdytysneste ohjataan lauhduttimen kautta paisuntaventtiilille. Kylmä neste kulkee keräyssäiliön kautta höyrystimelle, missä se jäähdyttää ilman ja jäähdytysilmaa syötetään jäähdytettävään tilaan. Kuvassa 14 esitettynä jäähdytysprosessin työkierto.



Kuva 14 Prosessikaavio kylmäkuljetuksen jäähdytysprosessille [39, muokattu].

Kylmäkoneissa käytettävät jäähdytysnesteet ovat usein vaarallisia ympäristölle ja niillä voi olla hyvin korkeat ilmaston lämmityspotentiaalit [39]. Lisäksi järjestelmien moottorit tuottavat kasvihuonekaasupäästöjä sekä ilmansaasteita. Erilaisien lämmönsäätelyjärjestelmien kokonaisenergian kulutus sekä GHG-päästöt on mahdollista laskea erillisinä, mutta tässä työssä niitä ei oteta erikseen huomioon.

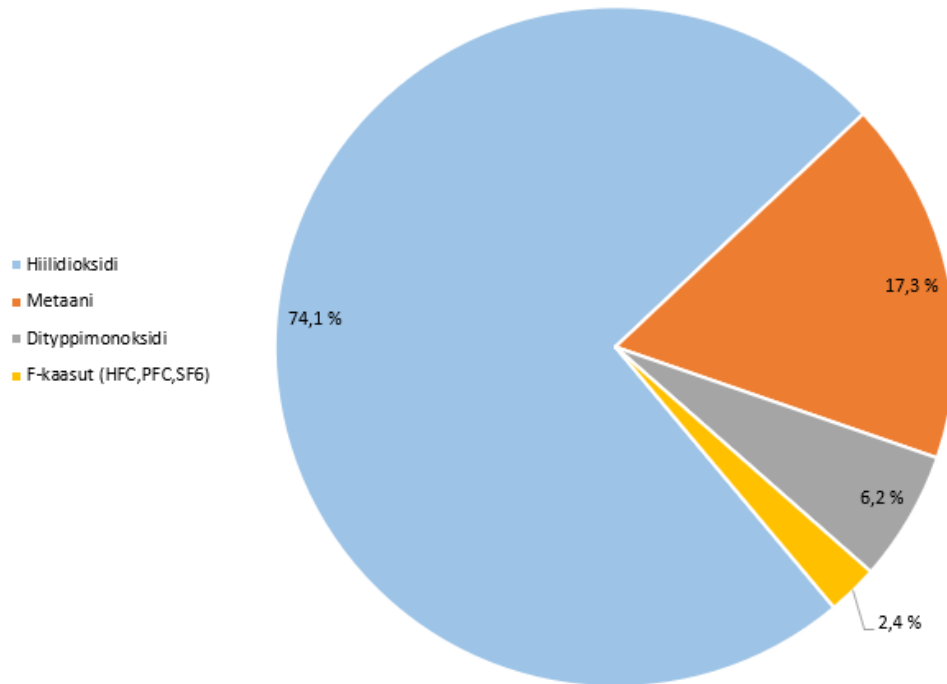
4 Laskentamenetelmät ja -perusteet

Laskentatyökalun haluttiin tuottavan toistettavaa ja vertailukelpoista dataa, jota voisi kuka tahansa hyödyntää. Koska MurSu hankkeena tutkii Suupohjan kuljetuskäytävän potentiaalia, laskentatyökalun on mielekästä seurata suurilta osin kotimaista standardisoituja kuljetuspalvelujen energiakulutuksen ja kasvihuonepäästöjen laskentamenetelmiä.

4.1 Huomioitavat kasvihuonekaasut

Kasvihuonekaasut (GHG, Greenhouse gases) ovat kaasuja, jotka voivat sitoa ylimääräistä lämpöä ilmakehään ja näin lämmittää ilmastoa. Standardin SFS-

EN 16258 ohjeistuksen mukaan päästöjen laskennassa on huomioitava seuraavat kasvihuonekaasut: hiilidioksidi CH_2 , metaani CH_4 , dityppimonoksidi N_2O ja F-kaasut (fluorihilivedyt HFC, perfluorihilivedyt PFC ja rikkiheksafluoridi SF_6). Kaasut huomioidaan laskennassa hiilidioksidiekvivalentteina (CO_2e). [40; 41, s. 4.]



Kuva 15 Globaalit kasvihuonekaasupäästöjen osuudet kaasuittain (2019) [42].

World Resources Instituten keräämän datan mukaan, vuonna 2019 GHG-päästöjä syntyi maailmassa 49,8 Gt CO_2e . Kuvassa 15 on esitettynä GHG-päästöjen jakauma kaasuittain. Kokonaismäärästä 12,6 % syntyi maantielogistiikasta, mistä 12,3 % oli CO_2 -päästöjä. [42.] Hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi on selkeästi tarvetta, ja tutkimalla kuljetuksista syntyviä päästöjä voidaan löytää mahdollisuuksia niiden vähentämiseksi.

4.2 Logistiikan päästölaskentaa koskevat standardit

Voimassa olevaksi kansalliseksi standardiksi on vahvistettu SFS-EN 16258: Kuljetuspalvelujen energiankulutuksen ja kasvihuonepäästöjen laskenta- ja ilmoitusmenetelmät (tavara- ja henkilökuljetukset). Se seuraa Well-to-Wheels (WTW) -lähestymistapaa. Se ei huomioi ajoneuvojen tuotannon tai huollon, kuljetuskäytävien rakentamisen ja huollon eikä kuljetuksiin liittyvien rakennusten kuten terminaalien, asemien tai lentokenttien aiheuttamia päästöjä. Lisäksi pois rajataan esimerkiksi ajoneuvoissa tapahtuvat vuodot, kuten kylmäainekaasun vuoto, kuljetuspalvelujen tuottajan henkilöstön työmatkat ja toimistorakennusten käyttäminen. [40.]

Standardi suosittaa laskentaa huomiomaan ajoneuvojen elinkaaren käyttövaiheen aikaiset (TTW, tank-to-wheels) kasvihuonekaasupäästöt ja energiankulutuksen sekä ajoneuvojen käyttämien polttoaineisiin liittyvien prosessien (tuotanto ja jakelu, (WTT, well-to-tank)) energiankulutuksen sekä niiden tuottamat kasvihuonekaasupäästöt. Standardin mukaisessa päästölaskennassa painotetaan kaikkien merkityksellisten päästölähteiden huomioimista, tulosten raportointia ja mahdollisuutta tulosten vertailuun. [40.]

Nykyistä standardia ollaan uudistamassa. Maailman talousfoorumin vuosikokouksessa Davosissa tammikuussa 2023 julkistettiin ohjausasiakirja tukemaan logistiikka-alan matkaa kohti päästötöntä tulevaisuutta. Tämän Smart Freight Centren ja WBCSD:n (the World Business Council for Sustainable Development) julkaiseman End-to-End GHG Reporting Guidance -ohjeen tarkoituksena on auttaa yrityksiä niiden hiilidioksidipäästöjen vähentämisstrategioiden toteuttamisessa sekä esitellä kehitteillä olevan kansainvälisen ISO 14083 -standardin hyötyjä. [43.] Kansainvälisen standardisointi järjestön ISO:n (International Organization for Standardization) mukaan tuleva standardi on ensimmäinen yleismaailmallinen standardi logistiikan päästöjen laskentaan [44]. Uutta standardia odotetaan julkaistavaksi vuoden 2023 aikana, jonka jälkeen ISO-jäsenenä Suomi tulee ratifioida se uudeksi kansalliseksi standardikseen.

4.3 Päästölaskenta

Standardin SFS-EN 16258 [40] mukaisen laskennan on tuotettava seuraavat neljä tulosta:

- polttoaineen elinkaaren aikainen energiankulutus (E_w)
- polttoaineen elinkaaren aikaiset GHG-päästöt (G_w)
- polttoaineen käyttöön liittyvä energiankulutus (E_t)
- ja polttoaineen käyttöön liittyvät GHG-päästöt (G_t).

Nämä tulokset huomioivat polttoaineen elinkaaren jalostamolta ajoneuvon tankkiin ja aina ajoneuvoa liikuttavaksi voimaksi asti. Tätä polttoaineen kiertokulkua kutsutaan englanniksi Well-to-Wheels (WTW) -termillä. WTW-periaatteen mukaisesti laskennassa ei huomioida polttoaineen tuottamiseen ja liikenteessä kuluttamiseen tarvittavien infran eikä kaluston aiheuttamia GHG-päästöjä.

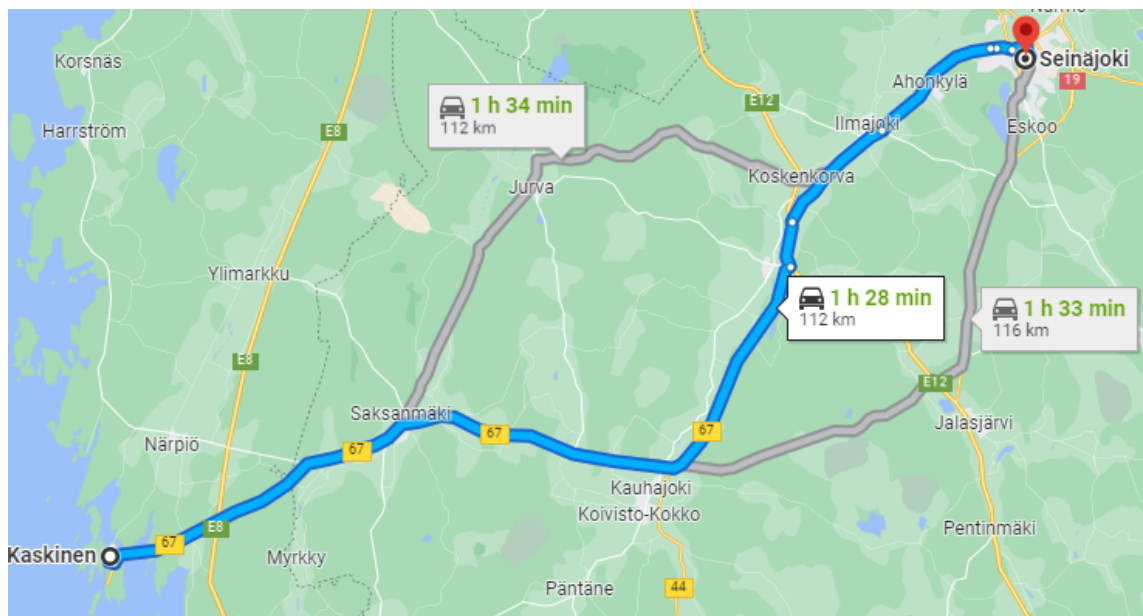
Laskennassa on huomioitava kaikki kuljetukseen osallistuvat ajoneuvot sekä matkat lastattuina ja tyhjänä. Kultakin ajoneuvolta on otettava huomioon sen kaikkien kuluttamien energialähteiden kulutukset polttoaineittain. Esimerkiksi hybridikuorma-auton osalta, joka kulkee sekä sähköllä että dieselillä, tulisi päästöt ja energiankulutus laskea erikseen dieselin kulutuksen ja sähkön kulutuksen osalta, jotta saadaan selvitettyä kuljetuksen kokonaispäästöt. [40.]

Laskentaan vaikuttavia tekijöitä ovat ajoneuvotyyppi, kuljettava matka, polttoaineen kulutus, käytetty polttoaine sekä kuorma. Laskentaa voidaan suorittaa joko oletusarvoilla tai tarjota kuljetusvälinekohtaiseen mittausdataan perustuvia tietoja. Standardi suosittaa, että tulisi pyrkiä laskemaan ensisijaisesti mitatuilla arvoilla (tarkat kulutuslukemat käytössä kuljetusvälineellä lastattuna ja ilman lastia, tarkka matka lähdöstä määränpäähän). Polttoaineiden päästökertoimien lähteet tulee raportoida tai käyttää standardissa osoitettuja kertoimia. [40.]

Laskenta suoritetaan vaiheittain. Ensimmäinen vaihe yksilöi kuljetuksen osamatkat. Toinen vaihe laskee jokaisen osamatkan GHG-päästöt sekä energiankulutuksen. Tämä vaihe on jaettu neljään osavaiheeseen, joista ensimmäisessä

määritetään osamatkan ajoneuvojen operointijärjestelmä (VOS) ja toisena lasketaan polttoaineen kokonaiskulutus kyseisessä ajoneuvojen operointijärjestelmässä. Kolmantena osavaiheena on VOS:sta aiheutuvien GHG-päästöjen ja kokonaisenergiankulutuksen laskenta, ja osavaiheessa neljä kohdennetaan kolmannen osavaiheen tulokset. Kolmannessa vaiheessa esitetään saatujen tulosten summat.

Lasketaan esimerkiksi jakeluauton matka kahvikoneiden kanssa Kaskisista Seinäjoelle ja takaisin Kaskisiin. Jakeluauton dieselpolttoaineen keskipolttokulutukseksi tiedetään 21 l/100 km. Suorin reitti Seinäjoelta Kaskisiin on 112 km pitkä (kuva 16).



Kuva 16 Google Mapsin tarjoamat vaihtoehtoiset ajoreitit Seinäjoelta Kaskisiin

Oletetaan jakeluauton kuljettavan kahvikoneet huoltoon Seinäjoelle ja takaisin Kaskisiin, ja valitaan tämä ajoneuvon operointijärjestelmäksi. Matkaa kertyy yhteensä 224 km. Määritetään kuljetussuoritteeseen tarvittava polttoaineen määrä $F(VOS)$ kaavalla 1

$$F(VOS) = \left(\frac{\text{polttoaineen kulutus}_{100\text{km}}}{100 \text{ km}} \right) * \text{kuljetusmatka} = \left(\frac{21}{100} \right) * 224 \quad (1)$$

$$F(VOS) = 47,04 \text{ l}$$

Lasketaan polttoaineen kokonaiskulutus jakeluajoneuvon operointijärjestelmässä eli polttoaineen elinkaaren aikainen energiankulutus E_w kaavasta 2,

$$E_w(VOS) = F(VOS) * e_w = 47,04 * 50,5 = 2375,52 \text{ MJ} \quad (2)$$

jossa e_w on dieselpolttoaineen elinkaarenaikainen energiakerroin yksikössä MJ/kg. Puhtaan dieselin energia- ja päästökertoimet otetaan liitteen 5 taulukosta. Seuraavaksi selvitetään polttoaineen elinkaaren aikaiset GHG-päästöt G_w kaavasta 3,

$$G_w(VOS) = F(VOS) * g_w = 47,04 * 3,9 = 183,47 \text{ kgCO}_2e \quad (3)$$

jossa g_w on polttoaineen elinkaarenaikainen kasvihuonekaasupäästökerroin yksikössä kgCO₂e/kg. Selvitetään vielä polttoaineen käytön aikaiset energiankulutus sekä GHG-päästöt kaavoilla 3 ja 4

$$E_t(VOS) = F(VOS) * e_t = 47,04 * 43,1 = 2027,42 \text{ MJ} \quad (4)$$

jossa e_t on polttoaineen käytönaikainen energiakerroin yksikössä MJ/kg.

$$G_t(VOS) = F(VOS) * g_t = 47,04 * 3,21 = 150,998 \text{ kgCO}_2e \quad (5)$$

jossa g_t on polttoaineen käytönaikainen kasvihuonekaasupäästökerroin yksikössä kgCO₂e/kg. Koska kuljetus lähtee ja palaa samaan pisteeseen, vastaa osamatkan kuljetussuorite koko jakeluauton ajoneuvon operointijärjestelmän kuljetussuoritetta. Näin voidaan todeta, että kokonaiskasvihuonekaasupäästöjä kahvikoneiden kuljetuksesta tällä jakeluautolla syntyy yhteensä 334,45 kgCO₂e ja kokonaisenergiankulutus on yhteensä 4402,94 MJ.

Ajoneuvojen operointijärjestelmä VOS ja kuljetut reitit voivat sisältää useita eri kuljetusmuotoja ja ajoneuvoja sekä polttoaineita, tai laskentaa voidaan tehdä esimerkiksi logistiikkayrityksen kaikkien rekkojen koko vuoden aikana

kuljettamista kuljetuksista. SFS-EN 16258 -standardin liitteissä D–F on esitettyä lisää esimerkkilaskentoja. [40.]

4.4 Käytetyt kertoimet ja niiden lähteet

Päästölaskentaa varten on valittu hyödynnettäväksi valmiit päästö- ja energia-kertoimet. Liitteessä 5 on esitettyä tätä laskentatyökalua varten valitut kertoimet. Valinnassa on painotettu yhdenmukaisuutta standardin metodien kanssa sekä ajantasaisuutta.

Käytettävät kertoimet on valittu SFS-EN 16258 -standardista, Joint Research Centre of the European Commission (JEC) Well-to-Wheels v5 -raportista sekä EcoTransIT World -sovelluksen metodiikkaraportista. EcoTransIT World -sovellus on akkreditoitu päästölaskentastandardin mukainen laskentaohjelma logistiikkayrittäjien tarpeisiin, joka on toteutettu standardin mukaisesti. Metodiikkaraportissa esitetyt kertoimet ovat ajantasaisia ja sieltä löytyvät kertoimet myös uudemmille polttoaineille. Koska polttoaineet ovat kehittyneet valtavasti viime vuosina ja markkinoille on tullut uusia vaihtoehtoisia energianlähteitä, on osa vuonna 2012 julkaistun standardin kertoimista jo vanhentunut tai standardista ei löydy kertoimia lainkaan. Standardin kertoimet ovat käytössä sähkölle ja MDO:lle ja JEC WTW v5 -raportista on saatu kertoimet vetypolttoaineelle. [40; 45; 46]

Liitteen 5 kuvassa on HVO-diesel- sekä biodieselpolttoaineiden elinkaaren GHG-päästökertoimet merkitty vihreällä. Nämä arvot on laskettu mukailemalla standardissa esitettyä vastaavaa dieselin kertoimen laskentaa [40]. Arvot on laskettu kaavalla 6

$$g_w(kgCO_2e) = \frac{g_w\left(\frac{gCO_2e}{MJ}\right) * e_t\left(\frac{MJ}{kg}\right)}{1000} \quad (6).$$

4.5 Aikaisemmin julkaistut päästölaskentatyökalut

Työkalun suunnittelemiseksi tutustuttiin olemassa oleviin logistiikan päästölaskentatyökaluihin. Tutkittaessa erilaisia päästölaskentaan kehitettyjä laskimia havaittiin, että usein pyydettiin antamaan suuntaa antavia arvioita ajoneuvon kuluksista ja kuljettavasta matkasta. Useissa kaupallisten toimijoiden laskureissa ei eritelty, kysytäänkö täydessä lastissa vai ilman kuormaa kulkevan kuljetusvälineen tietoja tai saatettiin yksinkertaistaa vain ajoneuvojen määrään. Massa kuitenkin vaikuttaa merkittävästi erityisesti maantie- ja rautatiekuljetuksien polttoainekulutukseen, jolloin tällaisten laskureiden antamat päästö- ja energiankulutuslukemat ovat erittäin epätarkkoja eivätkä todennäköisesti noudata standardeja.

1						
2	TASSA VALILEHDESSÄ VOIT KAYTTAA SEKA TONNIKILOMETREJÄ ETTA POLTTOAINEIDEN KULUTUSTA.					
3	Kaavio summaa tonni*kilometriperusteiset ja litrakohtaisen kulutukseen perustuvat päästöt.					
4	ÄLÄ SIIS TEE KAKSOISLASKENTAA !!					
5	Kilometrit ja kuorman koko vaikuttavat polttoaineen kulutukseen ja siten myös päästöihin.					
6	Voit käyttää sekä määrällistä, että suhteellista VE-polttoaine laskuria HUOM: Tarkoitus on, että matka*rahti -					
7	sarakkeiden osat voit korvata dieselin osuuksia VE-polttoainein (rivit 11-16) ja suoria polttoainemääriä puolestaan voit					
8	Mikäli saatte osan tai kaikki tämän osion tiedot, voitte kirjoittaa sen tähän					
9	SAAMME TIEDON KULJETUSYRITYKSELTÄMME -->>>	0	kg CO ₂ -ekv			
10	Maantiekuljetus ¹	Matka, km	Kuorma, t, huomaa max koko	CO₂-ekv. (g/ ajon	Ajosta aiheutuva suora päästö, Yht. kg CO₂-ekv.	kg polttoainetta / ajo (km ja kuormaperusteella)
11	Pakettiauto (kokonaismassa 2,7 t/täysi kuorma 1,2 t) *	0	1,2	186,4	0,000	-
12	Jakelukuorma-auto (6 t/3,5 t) **	0	3,5	297,8	0,000	-
13	Jakelukuorma-auto (15 t/9 t) *	0	9	497,0	0,000	-
14	Puoliperävaunuyhdistelmä (40 t/25 t) *	0	20	895,6	0,000	-
15	Perävaunullinen yhdistelmä (60 t/40 t) *	0	40	1205,0	0,000	-
16	Perävaunullinen yhdistelmä (76 t/51 t) *	0	51	1432,0	0,000	-
17				Summa	0	
18	KULUTUSPERUSTEINEN OSA - Käytä tätä, jos tiedät kulutustiedot	Kulutus, litraa Diesel ***	JA / TAI vaihtoehtoiset polttoaineet	Valitse tästä vaihtoehtoinen polttoaine	Polttoaineen mukaan, uusiuutuva diesel ja E85 litraa, kaasut kg, sähkö kWh	Suora päästö dieselin kulutuksesta, kg CO₂- ekv.
19	Pakettiauto (kokonaismassa 2,7 t/täysi kuorma 1,2 t) *	0	Pudotusvalikot >>>	Uusiuutuva diesel	0	0,00
20	Jakelukuorma-auto (6 t/3,5 t) **	0	Pudotusvalikot >>>	E85	0	0,00
21	Jakelukuorma-auto (15 t/9 t) *	0	Pudotusvalikot >>>	Biokaasu	0	0,00
22	Puoliperävaunuyhdistelmä (40 t/25 t) *	0	Pudotusvalikot >>>	Maakaasu	0	0,00
23	Perävaunullinen yhdistelmä (60 t/40 t) *	0	Pudotusvalikot >>>	Sähkö	0	0,00
24	Perävaunullinen yhdistelmä (76 t/51 t) *	0	Pudotusvalikot >>>	Sähkö	0	0,00
25				Summa, kg CO₂-ekv.		0,0
26						
27						
28						
29	Maantiekuljetusten päästöt ilman polttoaineen valmistusta yhteensä		0,000	kg CO ₂ -ekv.		
30	Polttoaineiden valmistamisen päästöt yhteensä		0,000	kg CO ₂ -ekv.		
31	Välisumma		0,0	kg CO ₂ -ekv.		

Kuva 17 Osakuvakaappaus Y-hiilarin kuljetusten päästölaskentaosuudesta [47].

Hyvän kotimaisen työkalun päästöjenlaskentaan tarjoaa Suomen ympäristökeskus Syke. Syken sivustolla on vapaasti ladattavissa hiilijalanjälkilaskuri Y-hiilari.

Kyseessä on Excel-työkalu, jolla voi laskea kaikki yrityksen toiminnot ja osat kattavan hiilijalanjäljen (kuva 17). Työkalusta löytyy erikseen osuus kuljetuksille. Työkalulla on mahdollista kuljetusten osalta suorittaa joko oletusarvoin laskenta tai antaa tarkkoja lukuja. Y-hiilarin on tehnyt osana diplomityötään Anniina Kontiokorpi vuonna 2013 ja Syken tutkijat ovat päivittäneet sitä vuonna 2020. [47.]

The screenshot displays the 'CALCULATION PARAMETERS' section of the EcoTransIT World web application. The interface is clean and user-friendly, with a green header bar. The main content area is white with green accents. The 'CALCULATION PARAMETERS' section is highlighted with a green background. The form includes the following elements:

- Input mode:** A dropdown menu set to 'Standard'.
- Freight:** Two input fields: 'Amount' (100) and 'Weight' (Bulk and Unit Load (Tonnes)).
- Origin:** A dropdown menu set to 'City district'.
- Destination:** A dropdown menu set to 'City district'.
- Choose transport modes:** A section with the text 'Multiple choice possible' and five icons representing different transport modes: Truck, Train, Airplane, Sea ship, and Barge.
- Buttons:** 'CALCULATE' and 'RESET' buttons at the bottom right.

Kuva 18 EcoTransIT World -päästölaskentatyökalun selainversio [45].

Parhaan mallin voimassa olevan standardin mukaisen laskentatyökalun toteuttamisesta antaa EcoTransIT World -ohjelmisto (kuva 18). Ohjelmiston selainversiota on helppo käyttää ja käyttäjä voi valita, millä tarkkuudella tietoja antaa. Ohjelmiston laskentaperiaatteet ja kertoimien valinta on hyvin dokumentoitu, ja dataa pääsee hyödyntämään kuka tahansa. Sovelluksen on akkreditoinut Smart Freight Center (SFC), ja se on todettu yhteensopivaksi GLEC-kehiksen (Global Logistics Emissions Council Framework for Emissions Methodologies) kanssa sekä seuraavan voimassa olevaa eurooppalaista standardia. EcoTransIT World -ohjelmasta on selainversion lisäksi olemassa Business Solutions -versio, ja sen voi hankkia yrityksellensä räätälöitynä. Nämä versiot mahdollistavat automatisoitujen laskentojen tekemisen suurille rahtimäärille. [45.]

5 Työkalun toteutus

Tämän insinööriyön tuottama laskentatyökalu päätettiin luoda Excel-taulukko-laskentaohjelmalla. Ohjelma on laajasti käytössä kuluttajilla, mikä mahdollistaa laskurin tarjoamisen tulevaisuudessa kenen tahansa hyödynnettäväksi web-sivujen kautta suoritettavana tiedoston latauksena. Työkalu on pyritty pitämään käyttöliittymältään yksinkertaisena ja ulkoasultaan siistinä. Työkalun yläosassa on ohjeet laskurin käyttämiseksi. Tietojen syöttämiseksi on annettava osittaisen työkirjan muokkauksen vapauttava salasana. Työkirja on suojattu ylimääräiseltä muokkaamiselta.

5.1 Valitut polttoaineet

Käytetyn polttoaineen valinta on mahdollista pudotusvalikoista kuljetusmuodotain valituista vaihtoehdoista. Valitut polttoaineet on esitettyinä taulukossa 3. Polttoaineet on valittu niin, että laskennan voi suorittaa yleisesti käytössä olevalla tai mahdollisella vaihtoehdolla. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi etsitään uusia ilmastoystävällisempiä polttoaineratkaisuja, mikä haluttiin huomioida laskurissa.

Taulukko 3 Laskennassa huomioitavat polttoaineet

Rekka	Juna	Laiva
Diesel	Diesel	MDO
Diesel (HVO)	Biodiesel	MGO
Biodiesel	Sähkö	LNG
LNG	LNG	BioLNG
Sähkö	BioLNG	Vety
Vety	Vety	Etanoli

Rekkojen osalta polttoaineiden valintaan (taulukko 3) vaikutti olemassa oleva ajoneuvokanta ja markkinoille tulleet uudet ajoneuvomallit. Suurin osa kalustosta on toistaiseksi dieselrekkoja (liite 4). Niihin olisi helposti tankattavissa vähäpäästöisempiä biodiesel- ja HVO-vaihtoehtoja, mutta hinta määrää, mitä tankkiin tankataan. Viime vuosina HVO on ollut noin kolme kertaa kalliimpaa kuin fossiilinen diesel [48]. Tehokkaita vaihtoehtoisia polttoaineita kuten LNG:tä tai sähköä hyödyntäviä ajoneuvoja on jo markkinoilla. Niiden yleistymiseksi tarvittaisiin kattavammat kaasutankkaus- ja suurteholatausasema verkostot. Lisäksi ajoneuvojen hankintahinnat ovat vielä korkealla, mikä jarruttaa niiden yleistymistä. [17;18]

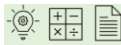
Raideliikenteen osalta yleinen tahtotila vaikuttaisi olevan lähitulevaisuuden osalta sähkön ja vedyn hyödyntämisen lisääntymisessä. Polttokennoteknologiaa kuitenkin hyödynnetään vasta matkustaja junissa ja sähköttömällä rataosuuksilla tavarajunien on kuljettava perinteisesti dieselillä. Suomeen on tulossa vähintään 60 kpl Dr19-dieselvetureita korvaamaan vanhentunutta dieselveturikantaa tämän vuosikymmenen aikana. Uusiin vetureihin voitaisiin tankata biodieseliä, mutta ei ole tiedossa, onko ratapihoilla vielä todellisuudessa mahdollisuutta tankata sitä vetureihin. Joitakin teoreettisia, simulointia hyödyntäneitä tutkimuksia sekä raportteja löytyy erilaisten polttoainevaihtoehtojen hyödyntämisestä raideliikenteessä. Deseleiden, sähkön ja vedyn lisäksi LNG ja bioLNG valittiin mahdollisiksi laskea junien polttoaineena kattavamman vertailun ja uusien näkökulmien saamiseksi (taulukko 3). [34; 35; 36.]

Meriliikenteelle laskentaan valitut polttoaineet on esitetty taulukossa 3 sarakkeessa LAIVAT. Paljon käytettyjen MDO:n ja LNG:n lisäksi vaihtoehtoina olevat vety ja etanoli ovat paljon tutkittuja, vähäpäästöisempiä vaihtoehtoja alusten polttoaineiksi, joiden päästö- ja energiakertoimet ovat helposti saatavilla. Vaihtoehtoksi olisi ollut kiinnostavaa nostaa myös ammoniakki, sillä Wärtsilässä on kehitetty uusi laivamoottori, joka hyödyntää ammoniakkia polttoaineena. Ammoniakille ei kuitenkaan ole saatavilla standardin kanssa yhteensopivia kertoimia vielä. Meriliikenteelle etsitään ehkä eniten erilaisia vaihtoehtoja korvaamaan runsaasti käytetyt polttoaineet MDO ja HVO, joka on yleisesti käytössä suurissa

valtamerialuksissa. Meriliikenteessä kiinnitetään runsaasti huomiota aluksien SOx-päästöihin sekä mustahiilipäästöihin, jotka ovat nousseet enemmän keskustelun ja tutkimuksen kohteeksi viime vuosina. Näiden voidaan olettaa vaikuttavan osaltaan siihen, millaisia polttoaineita meriliikenteen käyttöön kehitetään tulevaisuudessa. [21; 23; 25.]

5.2 Työkalan laskentänäkymä

Laskentaa varten on eritelty toisistaan kuljettavat meno- ja paluumatkat, sillä on todennäköistä, ettei kuljetusväline palaa takaisin varikolle samassa lastissa kuin se lähti. Tämä vaikuttaa erityisesti polttoaineen kulutukseen. Laskurin päätettiin mahdollistaa kerralla laskea kahden kuljetusskenaarion energiankulutus ja GHG-päästöt. Kuvassa 19 on esitettyä laskentatyökalan etusivun näkymä. Laskentatyökalu soveltuu toistaiseksi vain menopaluumatkojen ja yhdensuuntaisten matkojen päästöjen laskentaan. Useamman pysähdyksen laskenta vaatii laskentojen toistoja ja tuloksien kirjaamista ulkoiseen muistioon.



1. Valitse kulkuneuvon kuluttama polttoaine pudotusvalikosta.
2. Syötä kuljetet kilometri. Voit syöttää erikseen matkan kuorman kanssa ja tyhjällä kulkuneuvolla.
3. Syötä polttoaineen kulutus /100km tai kWh/km. Syötä kulutus tiedot erikseen tyhjälle kulkuneuvolle ja kuormatulle kulkuneuvolle.

Tarkista, että olet syöttänyt kulutus tiedot ja kuljettavat kilometrit oikeisiin sarakkeisiin. Laskenta esimerkiksi ei toteudu, mikäli syötät kuljetettavan matkan kuormattuna ja kulutus tiedot ilman kuormaa.




Skenaario 1		REKKA	JUNA	LAIVA
Meno	Pudotusvalikko >>	Diesel	Diesel	MOO <<
Kuljettavat kilometrit ilman kuormaa	km			
Kuljettavat kilometrit kuorman kanssa	km	112		
Polttoaineen kulutus ilman kuormaa	/100km tai kWh/km			
Polttoaineen kulutus kuorman kanssa	/100km tai kWh/km	21		
Polttoaineen energian kulutus	E _{net} (MJ)	2201,472	0	0
Polttoaineen GHG-päästöt	G _{net} (kgCO ₂ e)	167,2272	0	0
Skenaario 1		REKKA	JUNA	LAIVA
Paluu	Pudotusvalikko >>	Diesel	Diesel	MOO <<
Kuljettavat kilometrit ilman kuormaa	km			
Kuljettavat kilometrit kuorman kanssa	km	112		
Polttoaineen kulutus ilman kuormaa	/100km tai kWh/km			
Polttoaineen kulutus kuorman kanssa	/100km tai kWh/km	21		
Polttoaineen energian kulutus	E _{net} (MJ)	2201,472	0	0
Polttoaineen GHG-päästöt	G _{net} (kgCO ₂ e)	167,2272	0	0
Kokomatkan polttoaineen energian kulutus	E _{net} (MJ) _{tot}	4402,944	0	0
Kokomatkan polttoaineen GHG-päästöt	G _{net} (kgCO ₂ e) _{tot}	334,4544	0	0

Skenaario 2		REKKA	JUNA	LAIVA
Meno	Pudotusvalikko >>	BioDiesel	SähkÖ	BioLNG <<
Kuljettavat kilometrit ilman kuormaa	km			
Kuljettavat kilometrit kuorman kanssa	km	112		
Polttoaineen kulutus ilman kuormaa	/100km tai kWh/km			
Polttoaineen kulutus kuorman kanssa	/100km tai kWh/km	21		
Polttoaineen energian kulutus	E _{net} (MJ)	2008,608	0	0
Polttoaineen GHG-päästöt	G _{net} (kgCO ₂ e)	29,762208	0	0
Skenaario 2		REKKA	JUNA	LAIVA
Paluu	Pudotusvalikko >>	BioDiesel	SähkÖ	BioLNG <<
Kuljettavat kilometrit ilman kuormaa	km			
Kuljettavat kilometrit kuorman kanssa	km	112		
Polttoaineen kulutus ilman kuormaa	/100km tai kWh/km			
Polttoaineen kulutus kuorman kanssa	/100km tai kWh/km	21		
Polttoaineen energian kulutus	E _{net} (MJ)	2008,608	0	0
Polttoaineen GHG-päästöt	G _{net} (kgCO ₂ e)	29,762208	0	0
Kokomatkan polttoaineen energian kulutus	E _{net} (MJ) _{tot}	4017,216		
Kokomatkan polttoaineen GHG-päästöt	G _{net} (kgCO ₂ e) _{tot}	59,524416		

Kuva 19 Laskentatyökalan näkymä. Näkymään syötetään laskentaan tarvittavat arvot, ja siitä näkee laskennan tulokset.

Laskentatyökalan vasemmassa yläreunassa olevien painikkeiden kautta pystyy navigoimaan välilehdeltä toiselle (kuva 20). Keskimmäinen vie laskentataulukon, josta näkee työkalun suorittamat laskelmat. Kolmas painike vie

taulukkoon, josta käy ilmi käytetyt kertoimet ja niiden lähteet (liite 5). Laskenta ja valitut kertoimet eivät ole suurimmalle osalle käyttäjiä merkityksellisiä, mutta ne on jätetty nähtäville laskennan toistamiseksi sekä tulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi.

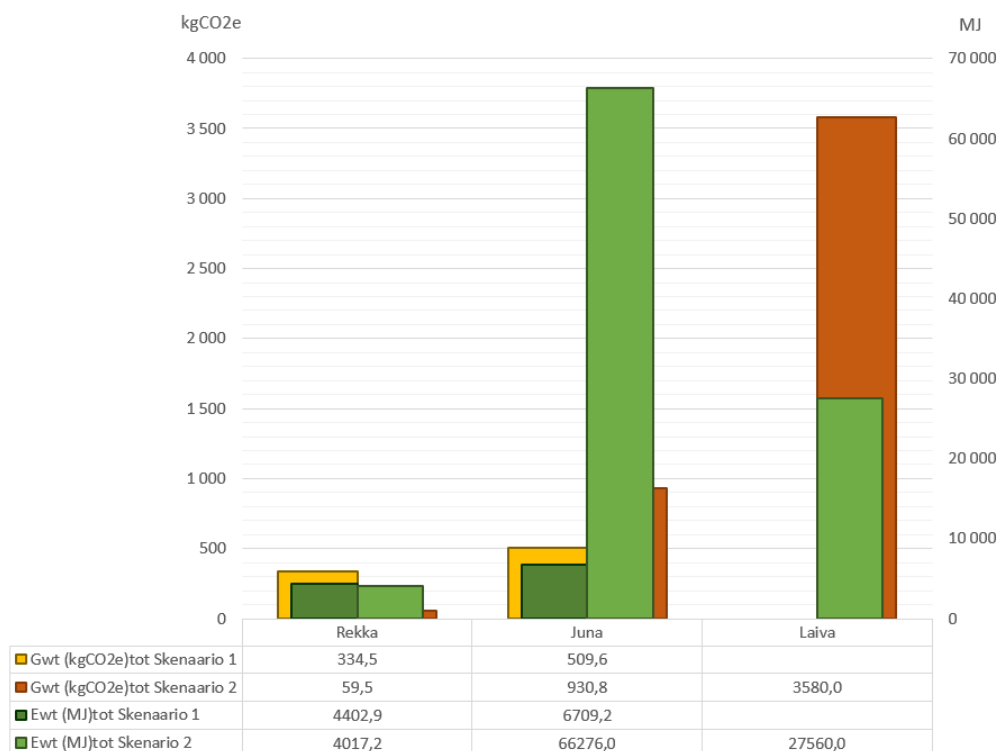




1. Valitse kulkuneuvon kuluttama polttoaine pudotusvalikosta.
2. Syötä kuljetet kilometrit. Voit syöttää erikseen matkan kuorman kanssa ja tyhjällä kulkuneuvolla.
3. Syötä polttoaineen kulutus l/100km tai kWh/km. Syötä kulutustiedot erikseen tyhjälle kulkuneuvolle ja kuormatulle kulkuneuvolle.

Tarkista, että olet syöttänyt kulutustiedon ja kuljettavat kilometrit oikeisiin sarakkeisiin. Laskenta esimerkiksi ei toteudu, mikäli syötät kuljettavan matkan kuormattuna ja kulutustiedot ilman kuormaa.

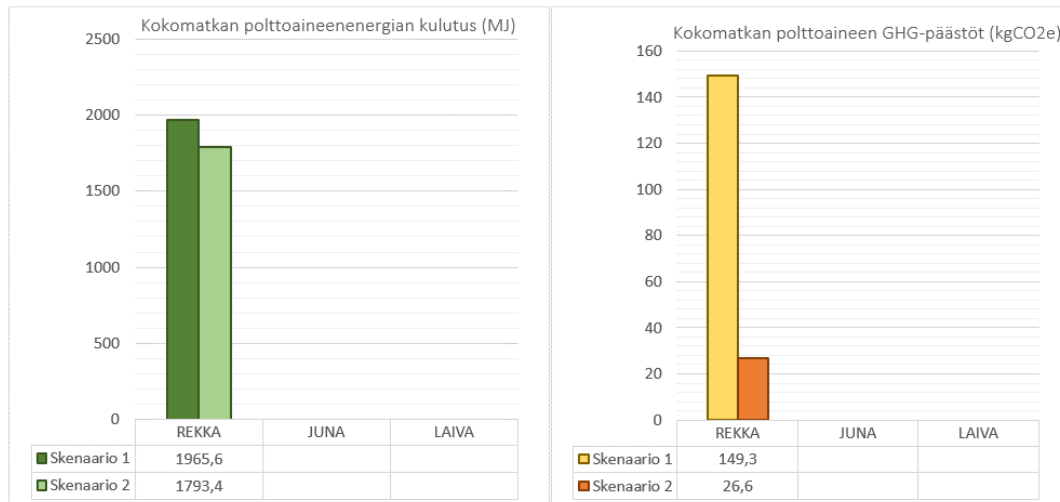
Kuva 20 Työkalun käyttöohjeet ja navigointipalkki.

Työkalu esittää laskennan tulokset pylväsdiagrammeina. Suurimmassa diagrammissa esitetään skenaarioiden 1 ja 2 GHG-päästöt sekä energiankulutus (kuva 20).



Kuva 21 Tulosdiagrammi

Tuloksista muodostetaan myös erikseen diagrammit energiankulutukselle ja GHG-päästöille. Tämä siksi, että erityisesti laivamatkatkojen tulokset ja sähköjunan energiankulutus saattavat kasvaa niin suuriksi, että se voi vaikuttaa kuvajien luettavuuteen negatiivisesti. Kuvassa 22 esitetyssä kuvassa tulokset kuvitteellisesta tilanteesta, jossa kuljettu matka on 200 km ja kulutus 21 l/100 km. Skenaario 1 ajetaan dieselrekalla ja skenaario 2 biodieselrekalla.



Kuva 22 Energiankulutus ja GHG-päästöt omissa diagrammeissaan.

Tuloksista nähdään diagrammien avulla selkeästi polttoaineen vaihtamisesta muodostuva huomattava päästöjen vähentyminen skenaariossa 2. Fossiiliseen dieseliin nähden HVO ja biodiesel ovat tuotettu uusiutuvia lähteitä hyödyntäen. Niiden aiheuttamat päästöt ovat siten alhaisemmat.

5.3 Työkalun tulevaisuus

Työkalu on toteutettu niin, että sitä on mahdollista jatkokehittää. Tavoitteena on lisätä laskimeen mahdollisuus suorittaa laskenta oletusarvoilla. Tällöin käyttäjä valitsisi kulkuneuvon ja polttoaineen, syöttäisi kuljettavan matkan ja laskuri las-kisi valitun kulkuneuvon oletuskulutuksella kuljetuksesta aiheutuvat päästöt. Myös mahdollisuus huomioida kylmäkuljetusten aiheuttama lisäkuormitus, lisätä kuljetettavan kuorman massa ja tyhjän kulkuneuvon massa ovat suunnitelmissa.

6 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli luoda päästölaskentatyökalu Excel-työkalulla, jolla voidaan vertailla erilaisien kuljetus- ja reittivaihtoehtojen potentiaalisia päästöjä toisiinsa sekä kerätä tietoa kuljetukseen käytettävistä polttoaineista ja niiden tulevaisuuden näkymistä. Tieto lähteinä käytettiin muun muassa JEC WTW v5 -raporttia, erilaisia logistiikan päästöjä käsitteleviä raportteja kuten IMO:n julkaisema Fourth IMO GHG study 2020, alan standardeja ja ohjeistuksia sekä monipuolisesti logistiikka ja liikennettä käsitteleviä tieteellisiä artikkeleita.

Laskurissa on mahdollista tuottaa kaksi skenaariota rekalle, junalle ja laivalle. Kullekin kulkuneuvolle on mahdollista määrittää käytetty polttoaine, polttoaineen kulutus ja kulkuneuvolla kuljetut kilometrit. Laskentatyökalun kehittämisen lisäksi työssä on ollut tavoitteena tutustua nykyisiin kuljetusmuotoihin sekä tulevaisuudessa mahdollisiin ratkaisuihin erityisesti logistiikan päästöjen pienentämisen näkökulmasta. Tutkimusta on tehty erityisesti Etelä-Pohjanmaan logistiikka ja kuljetusvirrat huomioiden, mutta laskuria on mahdollista hyödyntää missä päin Suomea tahansa.

Työkalua kehittäessä on pyritty seuraamaan voimassa olevan logistiikka-alan kuljetuksien päästöjen laskentaa koskevaa standardia SFS-EN 16258. Näin työkalulla on mahdollista tuottaa vertailukelpoista dataa esimerkiksi tutkimusta ja reittisuunnittelua varten. Laskentatyökaluun valitut energia- ja päästökertoimet on kerätty luotettavista oletusarvojen lähteistä: EcoTransIT World -metodiikka-raportista, JEC WTW v5 -analyysistä sekä standardista SFS-EN 16258.

Työkalun luomisessa sekä tiedonhankinnassa onnistuttiin. Käytössä on yksinkertainen Excel-työkalu (Helmi-laskuri), jolla voidaan verrata kahta kuljetusskenaariota toisiinsa. Työkalu esittää laskennan tulokset havainnollistavina pylväsdiagrammeina, mikä antaa konkreettisemmän kuvan potentiaalisten päästösäästöjen suuruudesta annetuilla parametreilla. Laskennan voi suorittaa niin käyttöön vakiintuneilla polttoaineilla kuin tulevaisuudessa mahdollisilla vähäpäästöisemmällä vaihtoehdoilla.

Laskentatyökalun jatkokehittämistä on jo suunniteltu. Materiaalivirtojen murrosta ja Suupohjan kuljetuskäytävän potentiaalia tutkivan hankkeen tutkijat ovat ehdottaneet, että laskuriin voisi lisätä esimerkiksi mahdollisuuden suorittaa laskenta täysin oletusarvoilla. Suunnitteilla on myös reefer-kuljetuksien päästöjen laskennan lisääminen.

Lähteet

- 1 MurSu - materiaalivirtamurroksen ja Suupohjan kuljetuskäytävän potentiaali. Verkkoaineisto. Vaasan yliopisto. <<https://www.uwasa.fi/fi/tutkimus/hankkeet/mursu-materiaalivirtamurroksen-ja-suupohjan-kuljetuskaytavan-potentiaali>> Luettu 16.1.2023.
- 2 De Fresnes, Tulikukka & Tikkala, Hannu. 29.9.2022. Suomen raja sulkeutuu torstaina keskiyöllä venäläisiltä lomamatkailijoita – Sisäministeri Mikkonen: “Vaikutus liikennemääriin on merkittävä.”. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/a/3-12643051>> Luettu 18.1.2023
- 3 Kauta, Jasmina & Schönberg, Kalle. 30.3.2022. Yritykset kieltäytyvät käyttämästä suoraa vesireittiä Venäjän kautta Suomeen – lannoitefirma maksaa nyt kiertotiestä, joka lisää matkaa satoja kilometrejä. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/a/3-12382599>> Luettu 19.1.2023.
- 4 Haverinen, Sirkka & Pesu, Ilona. 14.10.2021 Venäjän ilmoitus puukuljetusten lopettamisesta Saimaan kanavassa oli Suomelle yllätys – maat keskustelivat asiasta torstaina. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/a/3-12143496>> Luettu 18.1.2023.
- 5 Transport emissions. Verkkoaineisto. Euroopan unioni. <https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions_en> Luettu 12.2.2023.
- 6 Port of Kaskinen - Port handbook 2020. Verkkoaineisto. Port of Kaskinen. <<https://kaskistsatama.fi>> Luettu 10.2.2023.
- 7 Ilikkanen, P., Lapp, T. 2021. Seinäjoki-Kaskinen-radon peruskorjaus - Hankearviointi. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/182864/vj_2021-75_978-952-317-926-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Luettu 15.2.2023.
- 8 Metsä Board. 2022. Metsä Board käynnistää esisuunnittelun uudesta taivekartonkitehtaasta Kaskisissa. Verkkoaineisto. Sijoittajauutiset. <<https://www.metsagroup.com/fi/metsaboard/uutiset-ja-julkaisut/news/2022/metsa-board-kaynnistaa-esisuunnittelun-uudesta-taivekartonkitehtaasta-kaskisissa/>> Luettu 3.3.2023.
- 9 Rautanen, P. 15.9.2022. Huoltoasemaparlamentti hurrasi – Kaskisten kartonkitehdas pelastaisi Suupohjan radan. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/a/3-12625463>> Luettu 3.3.2023.
- 10 Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista. 2018. 1048/2018.

- 11 Mitat, painot ja yhdistelmätyypit. Verkkoaineisto. Logistiikanmaailma. <<https://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/maantiekuljetus/mitat-ja-painot/>> Luettu 14.2.2023.
- 12 Tieliikennelaki. 2018. 729/10.8.2018.
- 13 Pidemmät ja raskaammat HCT-rekat. 2020. Verkkoaineisto. Trafi. <<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/pidemmat-ja-raskaammat-hct-rekat>> Luettu 18.2.2023.
- 14 Nuutinen, Päivi. 12.1.2019. Uusien pidempien ajoneuvoyhdistelmien vaikutukset maantieverkolla. Verkkoaineisto. Trafi. <<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/HCT%20infravaikutukset.pdf>> Luettu 18.2.2023.
- 15 Liikenteen polttonesteiden myyntitilastot. 2023. Verkkoaineisto. Autoalan Tiedotuskeskus. <https://www.aut.fi/tilastot/liikenteen_energiankulutus/liikennepolttonesteiden_myynti> Luettu 19.2.2023.
- 16 Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus. Verkkoaineisto. ISSN=1799-795X. <<https://www.stat.fi/tilasto/ehk>> Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu: 19.3.2023.
- 17 Suomen virallinen tilasto (SVT): Liikenteen energiankulutustilastot polttoainelajeittain. Verkkoaineisto. ISSN=1799-795X. <<https://www.stat.fi/tilasto/ehk>> Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 19.3.2023.
- 18 Paakkinen, Mikko. Liikenteen sähköistymisen edellytyksenä oikein toteutettu latausinfra. Ilmansuojelu 3/2021, s. 4–9.
- 19 Kokkolan väylä. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://vayla.fi/kokkolan_vayla> Luettu 14.3.2023.
- 20 Fourth IMO greenhouse gas study 2020. 2020. Verkkoaineisto. International Maritime Organisation. <<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20Executive-Summary.pdf>> Luettu 19.3.2023.
- 21 Gray, Nathan; McDonagh, Shane; O’Shea, Richard; Smyth, Beatrix & Murphy, Jerry D. 22.1.2021. Decarbonising ships, planes and trucks: An analysis of suitable low-carbon fuels for maritime, aviation and haulage sectors. Verkkoaineisto. MaREI Centre, Environmental Research Institute, University College Cork, Ireland. <<https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100008>> Luettu 14.3.2023.

- 22 Niemi, Seppo. 2022. Diesel- ja kaasumoottorit. Luentomoniste. Vaasan yliopisto.
- 23 Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ship. 2018. Verkkoaineisto. International Maritime Organization. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Resolution%20MEPC.304%2872%29_E.pdf> Luettu 14.3.2023.
- 24 Arts, Maikel; Svensen, Tor; Richard, Guillaume; Zotti, Andrea & Cailotto, Marco. 2023. How cruise ships can succeed in smart decarbonisation. Verkkoaineisto. Wärtsilä. <<https://www.wartsila.com/insights/webinar/how-next-generation-cruise-vessels-can-succeed-in-smart-decarbonisation>> Katsottu 10.3.2023.
- 25 Aakko-Saksa, Päivi T.; Lehtoranta, Kati; Kuittinen, Niina; Järvinen, Anssi; Jalkanen, Jukka-Pekka; Johnson, Kent; Jung, Heejung; Ntziachristos, Leonidas; Gagné, Stéphanie; Takahashi, Chiori; Karjalainen, Panu; Rönkkö, Topi & Timonen, Hilikka. 24.11.2022. Reduction in greenhouse gas and other emissions from ship engines: Current trends and future options. Verkkoaineisto. Progress in Energy and Combustion Science 94. <<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2022.101055>> Luettu 25.2.2023.
- 26 The hydrogen colour spectrum. 2023. Verkkoaineisto. Nationalgrid. <<https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/hydrogen-colour-spectrum>> Luettu 5.3.2023.
- 27 Suomen rautatieliikenteen erityispiirteitä. Verkkoaineisto. VR Group. <<https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/yriyksen/toimintaymparisto/suomen-rautatieliikenteen-erityispiirteita/>> Luettu 4.3.2023.
- 28 Laurila-Tornio-Haaparanta rataosan sähköistys. 2022. Verkkoaineisto. Väylä. <https://vayla.fi/documents/25230764/35412559/Laurila-Tornio+Haaparanta+sähköistys_hankekortti.pdf/fe3a5d26-e249-61fd-95ea-b7898907d2c8/Laurila-Tornio+Haaparanta+sähköistys_hankekortti.pdf?t=1670939772889> Luettu 19.3.2023.
- 29 Veturityypit. Verkkoaineisto. VR Group. <<https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/yriyksen/liiketoiminta/junaliikennointi/veturityypit/>> Luettu 16.3.2023.
- 30 Kalusto. Verkkoaineisto. VR Transpoint. <<https://www.vrtranspoint.fi/fi/vrtranspoint/asiakkaan-opas/kalusto/>> Luettu 19.3.2023.
- 31 Fenniarail - kalusto. 2021. Verkkoaineisto. Fenniarail. <<https://www.fenniarail.fi/kalusto/>> Luettu 22.3.2023.

- 32 Polttoainetutkimukset. Verkkoaineisto. Tulli. <<https://tulli.fi/web/tullilaboratorio/tullitekniset-tutkimukset/polttoainetutkimukset>> 12.3.2023.
- 33 Rataverkko. 2021. Verkkoaineisto. Vaylä. <<https://vayla.fi/vaylista/rataverkko>> Luettu 8.2.2023.
- 34 Uusi Dr19 tuo radoille vähäpäästöistä tehokkuutta. 2022. Verkkoaineisto. VR Transpoint. <<https://www.vrtranspoint.fi/fi/vr-transpoint/linked/artikkeli/uusi-dieselveturi-dr19-tuo-radoille-vahapaastoista-tehokkuutta-240520221007/>> Luettu 17.2.2023.
- 35 Alstom the Coradia iLint. 2023. Verkkoaineisto. Alstom. <<https://www.alstom.com/solutions/rolling-stock/alstom-coradia-ilint-worlds-1st-hydrogen-powered-train>> Luettu 10.2.2023.
- 36 Bartolucci, L.; Cordiner, S.; Mulone, V.; Paqualini, F. & Wancura, H.; A H2 based retrofit of diesel locomotives for CO2 emission reductions: Design and control issues. 2022. Verkkoaineisto. Elsevier Ltd. <<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.07.143>> Luettu 23.2.2023.
- 37 What is reefer container? 2022. Verkkoaineisto. Container XChange. <<https://www.container-xchange.com/blog/reefer-containers-meaning-and-how-they-work/>> Luettu 22.3.2023.
- 38 VAK Oy. 2018. Verkkoaineisto <<https://vak.fi/fi/tuotteet/taysperavaunut/>> Luettu 24.3.2023.
- 39 Rai, Ashika; Savvas, A.Tassou. Environmental impacts of vapour compression and cryogenic transport refrigeration technologies for temperature controlled food distribution. Verkkojulkaisu. Institute of Energy Futures, Brunel University London. <<https://dx.doi.org/10.1016/j.enconmon.2017.08.024>> Luettu 15.3.2023.
- 40 SFS-EN 16258: Kuljetuspalvelujen energiankulutuksen ja kasvihuonepäästöjen laskenta- ja ilmoitusmenetelmät (tavara- ja henkilökuljetukset). 2013. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 41 Kuo, Jeff. 2018. Air Pollution Control Engineering for Environmental Engineers. California, USA: CRC Press. s.4–10
- 42 World Greenhouse Gas Emissions: 2019. 2022. Verkkoaineisto. World Resources Institute. <<https://www.wri.org/data/world-greenhouse-gas-emissions-2019>> Luettu 6.2.2023.
- 43 End-to-End GHG Reporting Guidance. 2023. Smart Freight Centre, WBCSD.

- 44 Gloud, Rick. Towards a net-zero logistics sector. 20.1.2023. Verkkoaineisto. ISO. <<https://www.iso.org/contents/news/2023/01/a-net-zero-logistics-sector.html>> Luettu 20.2.2023.
- 45 Environmental Methodology and Data Update 2022. 2022. Verkkoaineisto. EcoTransitIT World Initiative (EWI). <https://www.ecotransit.org/wordpress/wp-content/uploads/20220908_Methodology_Report_Update_2022_Website.pdf> Luettu 12.3.2023
- 46 Prussi, M.; Yugo, M.; De Prada, L.; Padella, M. & Edwards, R. 2020. JEC well-to-wheels analysis v5. Verkkoaineisto. Euroopan unioni. <DOI: 10.2760/100379> Luxemburg: EUR 30284 EN, Publications Office of the European Union. Luettu 4.2.2023
- 47 Y-Hiilari hiilijalanjälkityökalu. 2022. Verkkoaineisto. Syke. <https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/YHiilari> Luettu 5.2.2023.
- 48 Millä energialla kuljetamme? Raskaan liikenteen käyttövoimasiirtymän tilanne kuva. 19.1.2023. Verkkoaineisto. SKAL. <https://www.epressi.com/media/userfiles/155681/1670486921/raportti-kayttovoimasiirtymasta_milla-energialla-kuljetamme.pdf> Luettu 26.3.2023
- 49 Kallio, Tuomas; Malinen, Rauno; Rönkä, Olli; Bonn, Christine; Salminen, Pekka; Jutila, Henri & Lindberg, Walter. 1.4.2019. Merialuesuunnittelu - Pohjoisen Selkämeren, Merenkurkun ja Perämeren suunnittelualueen ominaispiirteet. Verkkoaineisto. Merisuunnittelu. <<https://www.merialuesuunnittelu.fi/wp-content/uploads/2019/12/Kallio-T.-et-al.-2019.-Merialuesuunnittelu---Pohjoisen-Selkämeren-Merenkurkun-ja-Perämeren-suunnittelualueen-ominaispiirteet.pdf>> Luettu 5.3.2023
- 50 Liikennekäytössä olevat ajoneuvot. 2022. Verkkoaineisto. Trafi. <<https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot?toggle=Käyttövoimat>> Luettu 25.2.2023
- 51 Alustyytit. 2023. Verkkoaineisto. Logistiikanmaailma. <<https://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/merikuljetus/alustyytit>> Luettu 8.3.2023
- 52 Vessel classification. 2023. Verkkoaineisto. Atoz World Business. <<https://www.atozworldbusiness.com/resources/ocean-transport/vessel-classifications>> Luettu 8.3.2023

Auton ja perävaunun yhdistelmän suurin sallittu massa (122 §)*Liite 6.6(8.5.2020/360)*

Auton ja perävaunun yhdistelmän suurin sallittu massa (122 §)

	Yhdistelmä	tonnia
a	Auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmä	50
b	Auton ja puoliperävaunun, auton ja varsinaisen perävaunun tai auton ja useamman perävaunun yhdistelmä	
b.1	- neliakselisena	36
b.2	- viisiakselisena	44
b.3	- kuusiakselisena	53
b.4	- seitsemänakselisena	60
b.5	- kahdeksanakselisena	64
b.6	- kahdeksanakselisena, jos vähintään 65 prosenttia perävaunun massasta tai perävaunujen massasta yhteensä kohdistuu akseleille, jotka on varustettu paripyörin	68
b.7	- yhdeksänakselisena	69
b.8	- vähintään yhdeksänakselisena, jos vähintään 65 prosenttia perävaunun massasta tai perävaunujen massasta yhteensä kohdistuu akseleille, jotka on varustettu paripyörin	76
b.9	- 10-akselisena	74
b.10	- vähintään 11-akselisena	76

Akselien lukumäärää laskettaessa ei kuusi- tai useampiakselisissa yhdistelmissä oteta huomioon ilmaan nostettua akselia eikä akselia, jolle sallittu massa on pienempi kuin viisi tonnia. Vetävän ajoneuvon takimmaiselle telille ja perävaunun etummaiselle telille kohdistuvien massojen summa ei kuitenkaan saa ylittää määrää, joka saadaan lisäämällä 20 000 kilogrammaan 350 kilogrammaa jokaiselta 0,10 metriltä, jonka telien äärimmäisten akselien välinen etäisyys ylittää 1,80 metriä.

Auton ja siihen kytketyn perävaunun tai kytkettyjen perävaunujen muodostaman massaltaan yli 44 tonnin ajoneuvoyhdistelmän massa ei kuitenkaan saa ylittää määrää, joka saadaan lisäämällä 20 000 kilogammaan 320 kg jokaiselta 0,10 metriltä, jonka ajoneuvon tai ajoneuvoyhdistelmän äärimmäisten akselien väli ylittää 1,80 metriä. Tätä sovelletaan myös taulukon b kohdassa tarkoitetun yhdistelmän osana olevaan auton ja puoliperävaunun ajoneuvoyhdistelmään, jos sen massa on suurempi kuin 44 tonnia. Ajoneuvoyhdistelmässä, jonka massa on suurempi kuin 40 tonnia, auton takimmaisena ja kytkentämassaltaan yli 10 tonnin perävaunun etummaisena akselin väliin tulee olla vähintään 3,00 metriä.

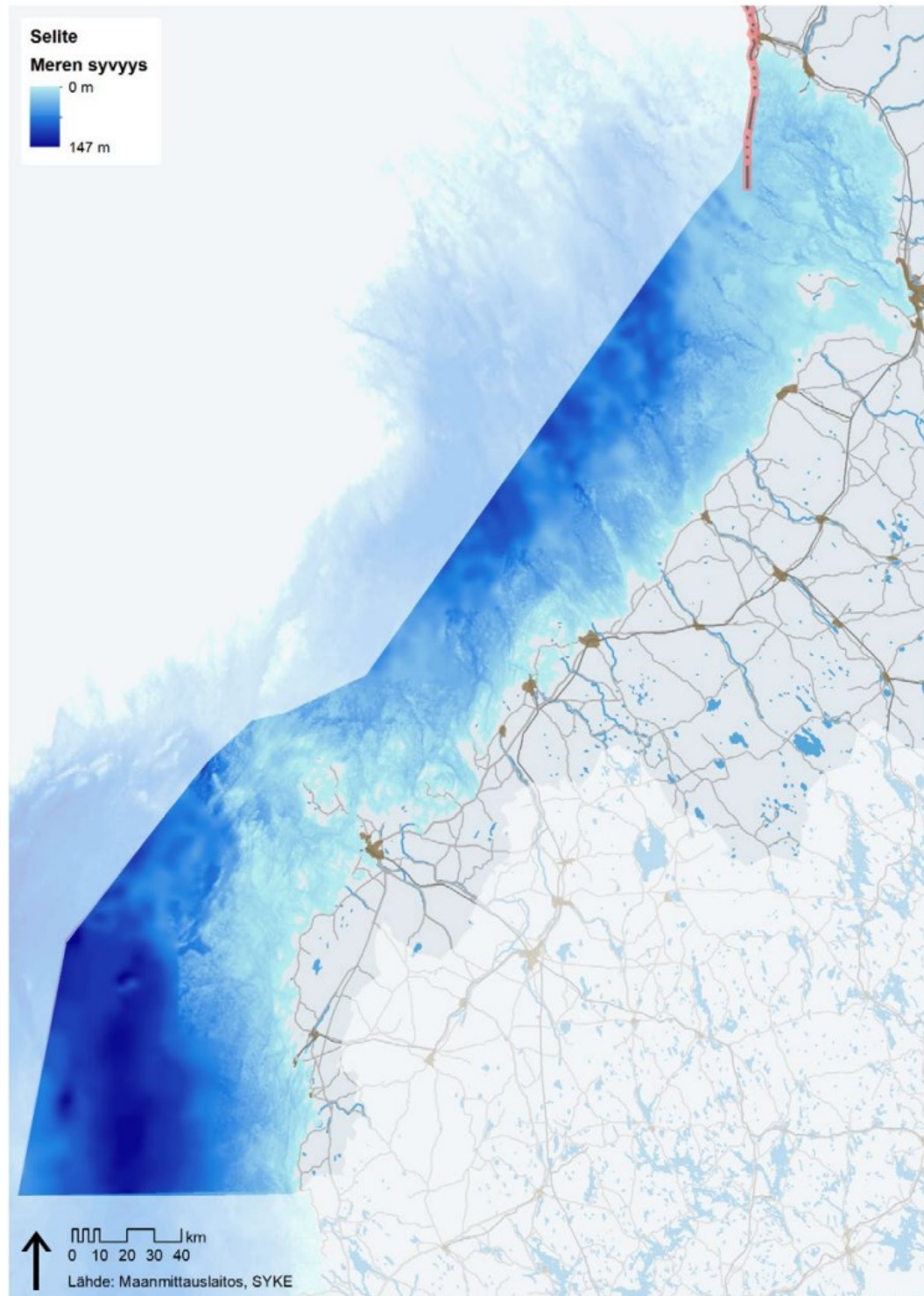
Auton ja yhden tai useamman perävaunun yhdistelmän vetäville akseleille tulee kohdistua vähintään 15 prosenttia ajoneuvoyhdistelmän massasta. Jos ajoneuvoyhdistelmän massa on yli 68 tonnia, tulee ajoneuvoyhdistelmän massasta kuitenkin vähintään 20 prosenttia kohdistua vetäville akseleille ja vähintään 9 prosenttia vetoauton ohjaaville akseleille. Edellä säädettyjä, akselimassoja koskevia raja-arvoja ei sovelleta kuorman purkuun eikä lastaukseen liittyvissä lyhyissä siirtoajoissa silloin, kun ajoradan kitkaominaisuuksista ei muodostu riskiä liikenneturvallisuudelle eikä kuljetuksen suorittamiselle. Liikenne- ja viestintävirasto antaa tarvittaessa määräyksiä siitä, minkälaista akselia pidetään tässä tarkoitettuna vetävänä akselina.

Massaltaan yli 44 tonnin ajoneuvoyhdistelmässä tehon on oltava vähintään 5 kilowattia jokaista yhdistelmämassan tonnia kohden. Liikenne- ja viestintävirasto antaa tarvittaessa määräyksiä vaihtoehtoisista tavoista osoittaa ajoneuvoyhdistelmän riittävä suorituskyky.

Vaihtoehtoisia käyttövoimia käyttävän ajoneuvoyhdistelmän massa saa olla liitteen 6.6 taulukossa säädettyä suurinta sallittua arvoa suurempi siltä osin kuin valmistaja osoittaa, että massan kasvu johtuu vaihtoehtoisen käyttövoiman edellyttämästä lisäpainosta. Lisäystä saa olla enintään 1000 kilogrammaa. Liikenne- ja viestintävirasto antaa tarvittaessa tarkempia määräyksiä siitä, minkälaisia teknisiä toteutuksia voidaan pitää tässä tarkoitettuina ajoneuvoyhdistelmän vaihtoehtoisina käyttövoimina.

Meren syvyys

Meren syvyys Pohjoisen Selkämeren, Merenkurkun ja Perämeren alueella [49]



Meriliikenteen alusten luokittelut

Suomen ulkomaan- ja kotimaanliikenteen yleisimmät alustyyppit	
RoRo (roll on - roll off) -lastinkäsittelyä käyttävät lastilautat	
StoRo (stowable RoRo) -alukset	
RoPax (RoRo cargo and passenger) - alukset	
LoLo (lift on - loft off) -lastinkäsittelyä käyttävät alukset	
Konttialukset	
Matkustaja-autolautat, erilaiset yhdistelmä alukset	
Alusten luokittelu rahdin mukaan	
Oil tanker (öljy tankkeri)	Suuniteltu kuljettamaan raakaöljyä.
Bulk carrier (irtolastialus)	Suuniteltu kuljettamaan irtotavarana kiinteitä aineita, kuten jyviä, lannoitteita, malmeja, sekä irtotavarana nesteitä kuten jalostettuja öljytuotteita, kemikaaleja tai appelsiinimehua.
General cargo ships (yleisrahtialus)	Suuniteltu kuljettamaan irtotavaraa.
Containership (rahtialus)	Suuniteltu kuljettamaan standardi kokoisia merirahti kontteja.
Muita aluksia	LNG kuljetusalus, kemikaali tankkeri, lautat ja matkustajalaivat, erikoistyö alukset (esim. jäänmurtaajat)
Alusten luokittelu tyyppin mukaan	
Handysize	Nämä ovat pieniä irtolastialuksia, jotka muodostavat suurimman osan maailman lyhyen matkan laivastosta. Handysize voi viitata joko irtolastialukseen tai säiliöalukseen. Kapasiteetti: 10 000-30 000 dwt
Handymax	Suurempi versio Handysize-aluksista. Suosittuja sekä irtolasti- että raakaöljy kuljetuksissa. Kapasiteetti: 30 000-50 000 dwt
Panamax	Suurin alus, joka voi kulkea Panaman kanavan lävitse. Aluksen mitat ovat: pituus 290 m, syväys 12,04 m, säde 32,3 m. Kapasiteetti: 50 000-80 000 dwt
Capesize	Suuri alus, joka ei mahdu Panaman tai Suezin kanavista kulkemaan. Alus tyyppi joutuu kiertämään Cape of Good Hopen Etelä-Afrikassa tai Cape Hornin Etelä-Amerikassa. Täysi lastaus vaatii syvänmeren sataman. Kapasiteetti: 80 000-199 000 dwt
Suezmax	Suurin alus, joka voi kulkea Suezin kanavan läpi. Kapasiteetti: 120 000-150 000 dwt
VLCC (Very Large Crude Carrier)	Suuria raakaöljyn kuljetus aluksia. Kykenee kulkemaan erityistilanteessa Suezin kanavan läpi. Kapasiteetti: 150 000 - 320 000 dwt
ULCC (Ultra Large Crude Carrier)	Maailman suurimpia rahtialuksia. Kulkevat erittäin pitkiä matkoja, tyyppillisesti Persianlahdelta Eurooppaan, Amerikkaan ja Aasiaan. Vaativat kustomoituja terminaaleja ja satamia. Kapasiteetti: 320 000 dwt < . Toistaiseksi suurimman aluksen kapasiteetti on 564 939 dwt.
Lähteet: Logistiikan Maailma (https://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/merikuljetus/alustyyppit/), AtoZ World Business (https://www.atozworldbusiness.com/resources/ocean-transport/vessel-classifications.html)	

Liikennekäytössä olevat ajoneuvot

Tilasto ladattavissa Traficomin sivustolta. Esitettynä taulukossa tilasto vain kuorma-autojen osalta.

Taulukko 4 Liikennekäytössä olevat kuorma-autot polttoaineittain [50, muokattu]

Polttoaine	Liikennekäytössä olevat kuorma-autot 31.12.2022
Bensiini	2248 kpl
Diesel	89691 kpl
Maakaasu	269 kpl
Sähkö	25 kpl
Nestekaasu	1 kpl
Moottoripetroli	1 kpl
Bensiini/puu	10 kpl
Bensiini/maakaasu (CNG)	101 kpl
Diesel/sähkö	0 kpl
Bensiini/sähkö	0 kpl
Bensiini/LPG	4 kpl
Bensiini/etanoli	120 kpl
Muu käyttövoima	163 kpl

