

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LUT

LUT School of Energy Systems

LUT Scientific and Expertise Publications

Tutkimusraportit – Research Reports

192

Erno Karkia, Sina Saeedi, Juha Haakana, Pasi Peltoniemi, Pertti Kauranen

Maasähkö – Lainsäädäntö ja tekniset toteutusmallit konttisatamassa

 LUT
University

**MAASÄHKÖ – LAINSÄÄDÄNTÖ JA TEKNISET TOTEUTUSMALLIT
KONTTISATAMASSA**

Erno Karkia, Sina Saeedi, Juha Haakana, Pasi Peltoniemi, Pertti Kauranen

ISSN-L 2243-3376

ISSN 2243-3376

ISBN (pdf): 978-952-412-423-2

Alkusanat

Tässä raportissa esitetään *Älykkään sähköverkon ja teollisen energiayhteisön kokeilualusta Kotkan Mussalossa* -tutkimushankkeen tuloksia koskien maasähköjärjestelmiä. Projektin ovat rahoittaneet Kymenlaakson liitto ja Euroopan unioni. Tutkimuksesta on vastannut tutkimusryhmä, johon kuuluivat professori Pertti Kauranen, professori Pasi Peltoniemi, TkT Juha Haakana, DI Sina Saeedi ja TkK Erno Karkia.

Lappeenrannassa helmikuussa 2026.

Tekijät



**Euroopan unionin
osarahoittama**

**KYMEN
LAAKSON
LIITTO**

Preface

This report presents the results of the research project *Smart Grid and Energy Community Pilot in Mussalo, Kotka* regarding Onshore Power Supply systems. The project is funded by the Regional Council of Kymenlaakso and co-funded by the European Union. The research group responsible for the study included Professor Pertti Kauranen, Professor Pasi Peltoniemi, D.Sc. Juha Haakana, M.Sc. Sina Saeedi, and B.Sc. Erno Karkia.

Lappeenranta, February 2026.

Authors



**Co-funded by
the European Union**

**REGIONAL
COUNCIL
KYMEN
LAAKSO**

Tiivistelmä

Maasähkön tarjoaminen tulee pakolliseksi EU:n satamissa yli 5000 bruttotonnin kontti- ja matkustaja-aluksille vuonna 2030. Meriliikenne on merkittävä päästönlähde maailmanlaajuisesti ja maasähkön käyttöön siirtyminen on osa EU:n laajoja päästönvähennystavoitteita. Satamassa ollessaan alukset käyttävät sähkötarpeisiin vain sähköverkkoa maasähkötä järjestelmän kautta ja apukoneita ei tarvitse pitää käynnissä satamassa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää maasähkseen liittyvä keskeinen EU- ja kansallinen lainsäädäntö sekä standardien vaatimukset maasähkötä järjestelmien suhteen. Lisäksi arvioidaan erilaisia maasähkötä järjestelmien teknisiä toteutusmalleja. Tarkastelussa keskitytään erityisesti konttisatamien ja -aluksien maasähkötä järjestelmien erityispiirteisiin. Tehtiin myös selvitys Suomen merkittävimpien konttisatamien maasähkötä järjestelmien nykytilasta ja suunnitelmista.

Tutkimuksessa havaittiin, että konttialukset asettavat vaatimuksia maasähkötä järjestelmille muun muassa ahtaiden laiturialueiden ja alustyypikohtaisten standardien osalta. Esimerkiksi konttialuksilla yleisen 60 Hz:n sähköjärjestelmän takia taajuusmuuttaja on käytännössä pakollinen osa maasähkötä järjestelmää, mikä voi jopa kaksinkertaistaa investointikustannukset. Suomessa maasähkötä järjestelmiä on jo käytössä ropax- ja roro-aluksille sekä konttialuksien maasähkötä järjestelmiä on suunnitteilla.

Avainsanat: maasähkö, konttisatama, meriliikenne, lainsäädäntö

Abstract

The use of onshore power supply (OPS) will be mandatory in EU ports for container and passenger vessels starting from 2030. The maritime sector is remarkable emission source globally and the move to the use of onshore power supplies is part of EU's targets to cut emissions. While at berth, the vessels will only use electricity through the OPS system and there is no need to run the auxiliary engines.

The aim of this study is to investigate EU and national regulations regarding onshore power supplies and the requirements of international standards. In addition, different technical implementations of OPS systems are evaluated. The focus of the study is on container ports and vessels OPS systems. Furthermore, an investigation about OPS systems and plans was conducted in other most significant container ports OPS in Finland.

It was found that the container vessels set some requirements for OPS systems including space constraints in the quayside and vessel specific standards. For example, frequency converter is often needed due to the typical 60 Hz frequency of container vessels electrical systems. This can even double the investment costs of the system. In Finland, there are already some OPS systems in use for ropax and ro-ro vessels and plans for container vessel OPS systems.

Keywords: onshore power supply, container port, marine transport, regulation

Sisällysluettelo

Alkusanat	2
Preface	3
Tiivistelmä	4
Abstract	5
1 Johdanto	7
2 Menetelmät	8
2.1 Mussalon satama	8
3 Lainsäädäntö	9
3.1 Kansainvälinen merenkulkujärjestö, IMO	9
3.2 EU:n jakeluinfrastruktuuriasetus (AFIR)	10
3.3 Fuel EU Maritime-asetus	10
3.4 EU:n päästökauppajärjestelmä	11
3.5 Kansallinen lainsäädäntö	11
4 Tekniset vaatimukset ja ratkaisut	12
4.1 Standardit	12
4.2 Tekniikka satamassa	13
4.3 Tekniikka aluksilla	20
5 Maasähkö Suomessa	23
5.1 Helsingin satama Oy – Vuosaaren satama	23
5.2 Rauman satama	24
6 Maasähkö Euroopassa	25
6.1 Hampurin satama	25
6.2 Thessalonikin satama	25
7 Tulevaisuuden näkymät	27
8 Johtopäätökset	28
Lähteet	29

1 Johdanto

Euroopan unionin alueella maasähkön tarjoaminen yli 5000 bruttotonnin kontti- ja risteilyaluksille tulee pakolliseksi vuonna 2030. Maasähkön käyttöön siirtyminen on osa EU:n laajoja päästönvähennystavoitteita ja osa laajempaa 55-valmiuspakettia. 55-valmiuspaketti on EU:n lainsäädäntökokonaisuus, jonka päätavoitteena on vähentää nettokasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2030 mennessä vähintään 55 % vuoden 1990 tasoon verrattuna (EU:n neuvosto ja Eurooppa-neuvosto, 2025). Tämän lisäksi EU:n tavoitteena on saavuttaa ilmastoneutraalius vuoteen 2050 mennessä.

Muun muassa näiden ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi EU on antanut vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin asetuksen (AFIR, Alternative Fuel Infrastructure Regulation). Asetuksen mukaan esimerkiksi konttialuksien osalta vuoteen 2030 mennessä yli 100 aluskäyntiä yli 5000 bruttotonnin aluksia vastaanottavien Euroopan laajuisen liikenneverkon (TEN-T) satamien täytyy olla kykeneviä tarjoamaan 90 prosentille laituriin kiinnittyvistä alustyyppin aluksista maasähkön syöttöä (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1804/2023).

Maailmanlaajuisesti laivaliikenteen päästöt olivat vuonna 2018 2,89 % kaikista ihmisen toiminnan aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä (IMO, 2020). Päästöttömän maasähkön käyttö apukoneiden käytön sijaan vähentäisi laivojen kokonaiskasvihuonekaasupäästöjä keskimäärin 3,7 %. Tämä tarkoittaisi esimerkiksi hiilidioksidin osalta vuosittain 5 Mt pienempiä päästöjä (Stolz et al., 2021).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää kansallisen ja EU-tason lainsäädännön vaatimukset maasähkölle sekä tarkastella maasähkölle teknisiä toteutusvaihtoehtoja ja aluksien valmiuksia vastaanottaa maasähköä. Maasähkölle käytännön toteutusta tutkitaan erityisesti Kotkan Mussalon sataman näkökulmasta, eli keskittyen konttisataman erityispiirteisiin ja vaatimuksiin. Myös aluksien maasähkölle osalta tämä tutkimus keskittyy konttialusten erityispiirteisiin.

2 Menetelmät

Tutkimus toteutettiin pääosin kirjallisuuskatsauksena, jossa perehdyttiin maasähköön liittyvään lainsäädäntöön, standardeihin ja viimeaikaisiin alan tutkimuksiin. Tutkimuksessa perehdyttiin myös erilaisiin maasähkön teknisiin toteutusvaihtoehtoihin ja näiden soveltuvuuteen Suomen satamien olosuhteissa. Alan asiantuntijoita haastateltiin osana tutkimusta. Tämän lisäksi tehtiin selvitys muiden Suomen suurimpien konttisatamien maasähkölaitteiden nykytilasta ja mahdollisista suunnitelmista koskien konttilaitteiden maasähkölaitteita. Esiteltiin myös muutama maasähkölaitteita Euroopassa vertailukohteiksi.

2.1 Mussalon satama

Mussalo on Suomenlahden pohjoisrannikolla sijaitseva saari, joka on osa Kotkan kaupunkia. HaminaKotka satamaan kuuluvan Mussalon sataman konttiterminali on yksi Itämeren vilkkaimmista 1,5 miljoonan TEU-yksikön vuosikapasiteetillaan (HaminaKotka Satama Oy, n.d.). Vuonna 2024 HaminaKotka sataman kautta kuljetettiin 571 097 TEU-yksikköä kontteja (HaminaKotka Satama Oy, 2025). Valtaosa koko Suomen vienti- ja transitokonteista käsitellään Mussalon satamassa. Satama-alue käsittää kokonaisuudessaan 500 hehtaarin maa-alueen, josta 170 hehtaaria on logistiikka- ja teollisuusaluetta (HaminaKotka Satama Oy, n.d. .)

3 Lainsäädäntö

Maasähköjärjestelmien käyttöönotto on yleisesti ottaen ollut tähän mennessä melko hidasta, koska eri kokoisten ja tyyppisten aluksien sähköjärjestelmät ovat hyvin erilaisia ja maasähköjärjestelmien laiteinvestoinnit ovat suuria. Lähitulevaisuudessa kuitenkin EU-lainsäädäntö tekee maasähkön tarjoamisesta ja käyttämisestä pakollista osalle satamista sekä aluksista. Tässä luvussa esitellään tarkemmin keskeisimmät maasähkön käyttöönottoa ohjaavat kansainväliset ohjeet, EU-lainsäädäntö ja kansallinen lainsäädäntö.

3.1 Kansainvälinen merenkulkujärjestö, IMO

Kansainvälisen merenkulkujärjestön (IMO, International Maritime Organization) MARPOL-yleissopimus on yksi keskeisimpiä kansainvälisiä sopimuksia meriliikenteen aiheuttaman meren pilaantumisen ehkäisemiseksi (Ympäristöministeriö, n.d.). MARPOL-yleissopimuksen liite VI käsittelee alusten aiheuttamien ilmansaasteiden ehkäisemistä (IMO, n.d.). IMO on julkaissut erillisen strategian laivojen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi, jossa maasähkö on esitetty päästönvähennyskeinona. Strategian päätavoitteena on vähentää kansainvälisten merikuljetusten hiilidioksidipäästöjä 40 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 2008 tasoon verrattuna. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi strategiassa ehdotettujen toimien joukossa ohjeistetaan myös harkitsemaan ja analysoimaan mahdollisuuksia ottaa käyttöön uusiutuvalla energialla toimiva maasähköjärjestelmä (IMO, 2023b.)

Kansainvälinen merenkulkujärjestö on myös koonnut työpajapaketin satamayhtiöille maasähköjärjestelmien käytöstä päästönvähennyksiin satamissa. Materiaalin tarkoituksena on tukea satamayhtiöitä ja näiden sidosryhmiä tutustumaan maasähköjärjestelmiin, niiden suunnitteluun sekä arvioimaan maasähköjärjestelmien mahdollisia ongelmia. (IMO, 2023a)

Lisäksi kansainvälisen merenkulkujärjestön meriturvallisuuskomitea on hyväksynyt vuonna 2023 väliaikaisen ohjepaketin maasähköjärjestelmien turvalliseen käyttöön. Ohjeiden tarkoituksena on estää maasähköjärjestelmien vääränlaisesta käytöstä aiheutuvia onnettomuuksia, kun maasähköjärjestelmien käyttö alkaa yleistyä satamissa. (DNV, 2023)

3.2 EU:n jakeluinfrastruktuuriasetus (AFIR)

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1804/2023 vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta, eli niin sanottu jakeluinfrastruktuuriasetus asettaa vähimmäisvaatimukset vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelu, lataus- sekä maasähköinfrastruktuurin käyttöönotolle EU:ssa. Jakeluinfra-asetuksen yhdeksännen artiklan mukaan kaikkien TEN-T verkon merisatamien, joissa on vuosittain yli 100 aluskäyntiä yli 5000 bruttotonnin konttialuksien osalta, tulee tarjota vähintään 90 prosentille näistä laituriin kiinnittyvistä aluksista maasähköä. Vastaavasti tulee maasähköä tarjota myös 90 prosentille vierailevista yli 5000 bruttotonnin roro-matkustaja-aluksista, jos vierailuja on vuosittain yli 40. Matkustaja-aluksille on myös erillinen vaatimus, jonka mukaan yli 5000 bruttotonnin alusten vuosittaisten vierailujen määrän ollessa satamassa yli 25 täytyy 90 prosentille tällaisista aluksista tarjota maasähköä.

3.3 Fuel EU Maritime-asetus

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1805/2023 uusiutuvien ja vähähiilisten polttoaineiden käytöstä meriliikenteessä, joka tunnetaan myös Fuel EU Maritime-asetuksena asettaa satamaan saapuvien, siellä olevien tai sieltä lähtevien aluksien käyttämän energian kasvihuonekaasuintensiteetin maksimiarvon ja velvoittaa alukset käyttämään maasähköä tai päästötöntä sähköntuotantoteknologiaa satamissa. Asetusta sovelletaan aluksen lippuvaltiosta riippumatta yli 5000 tonnin bruttovetoisuuden aluksiin. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2023/1805)

Laituriin kiinnittyvien aluksien tulee vuodesta 2030 alkaen kytkeytyä maasähköön ja käyttää sitä kaikkeen sähkötehon tarpeeseensa. Vaatimukselle on kuitenkin joitakin poikkeuksia, kuten alle 2 tunnin vierailut satamassa sekä ennakoimattomat olosuhteet turvallisuuteen tai ihmishengen pelastamiseen merellä liittyvistä syistä. Lisäksi on Fuel EU Maritime-asetuksen liitteessä 3 määritetty päästöttömiksi maasähkön korvaaviksi teknologioiksi laivan satamassaoloajan sähköntarpeen täyttämiseksi polttokennot, sähköenergian varastointi aluksella sekä tuuli- ja aurinkoenergiaperäinen sähköntuotanto aluksella. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2023/1805)

Fuel EU Maritime-asetuksen 23. artiklassa on säädetty myös seuraamusmaksu, jos maasähköä tai päästötöntä energiaa ei käytetä satamassa. Seuraamusmaksu on 1,5 € kerrottuna aluksen vahvistetulla kokonaissähkötehotarpeella kilowatteina ja laiturissa oloajalla, joka on pyöristetty tunnin tarkkuuteen. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2023/1805)

3.4 EU:n päästökauppajärjestelmä

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/959 liittää meriliikenteen osaksi EU:n päästökauppajärjestelmää asteittain vuoden 2024 alusta alkaen. Päästökauppaa sovelletaan 50 prosenttiin päästöistä, kun alus tekee matkan jäsenvaltion sataman ja jäsenvaltion lainkäyttövaltaan kuulumattoman valtion välillä ja 100 prosenttiin päästöistä, jos alus matkaa kahden jäsenvaltion sataman välillä. Päästökaupan piiriin kuuluvat myös kaikki alusten EU-jäsenvaltioiden satamissa ollessa tuotetut päästöt. Meriliikenteen päästökauppa otetaan käyttöön asteittain niin, että vuoden 2024 osalta 40 % raportoiduista sovellettavista päästöistä on tullut palauttaa päästöoikeuksina, 70 % vuonna 2025 ja 100 % alkaen vuodesta 2026 (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2023/959).) Näin ollen päästökauppa vaikuttaa suoraan myös maasähkön kannattavuuteen tehden siitä houkuttelevamman vaihtoehdon, sillä myös alusten apukoneiden päästöt satamassa ollessa ovat osana päästökauppaa.

3.5 Kansallinen lainsäädäntö

Suomen kansallinen lainsäädäntö ei aseta lisävaatimuksia maasähköjärjestelmien käyttöönotolle tai käytölle, vaan täsmentää tarvittavilta osin EU:n asetuksia. Esimerkiksi laki liikenteessä käytettävien vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluinfrastruktuurista 5.7.2024/475 täsmentää EU:n jakeluinfra-asetuksen 2023/1804 kansallista soveltamista muun muassa määräten velvoitteiden toteutumisen valvonnan Liikenne- ja viestintäviraston tehtäväksi.

Eräs kansallisen lainsäädännön piiriin kuuluva maasähkön käyttöä edistävä toimi olisi anoa poikkeus EU:lta maasähkön verotuksen alentamiseksi. Tällaista alennettua verokantaa maasähkölle käytetään jo muun muassa Ruotsissa, Saksassa ja Tanskassa (Suomen Satamat ry, 2025). Esimerkiksi Euroopan komission ehdotuksessa energiaverodirektiivin uudistuksesta (COM(2021) 563 final) mainitaan mahdollinen poikkeus maasähkön osalta, jotta maasähkön käyttöä saataisiin lisättyä.

4 Tekniset vaatimukset ja ratkaisut

Maasähköjärjestelmien teknisten toteutuksien lähtökohtana voidaan yleisesti pitää maasähköön liittyviä kansainvälisiä standardeja. Alustyyppi asettaa monissa tapauksissa olennaisia rajoitteita maasähköjärjestelmän teknisille toteutusvaihtoehdoille. Maasähköstandardeissa onkin erikseen liitteinä erityisvaatimuksia eri alustyyppien maasähköjärjestelmille. Myös jokaisen sataman ominaispiirteet, kuten fyysinen tila laiturialueella ja sataman sähköverkko, asettavat rajoitteita maasähköjärjestelmille.

4.1 Standardit

Yhtenäisen maasähköverkon teknistä toteutusta ohjaamaan on tehty kansainvälisiä standardeja, joista keskeisimpiä ovat muun muassa IEC/IEEE 80005 *Utility connections in port-standardisarja*:

- IEC/IEEE 80005-1 High voltage shore connection (HVSC) systems – General requirements
- IEC/IEEE 80005-2 High and low voltage shore connection systems – Data communication for monitoring and control
- IEC/PAS 80005-3 Low voltage shore connection (LVSC) systems – General requirements

sekä

- IEC 62 613-1 Plugs, socket-outlets and ship couplers for high voltage shore connection (HVSC) systems – General requirements.

IEC/IEEE 80005-1 standardi asettaa yleiset tekniset vaatimukset keskijännitteisille maasähköjärjestelmille, jotka toimivat 6,6 kV tai 11 kV vaihtojännitteellä. Keskijännitestandardi on tehty olettaen, että alukset ottavat maasähköjärjestelmältä yli 1 MVA tehoa. Standardissa ohjeistetaan maasähköjärjestelmän rakentaminen kaikilta osin, eli esiteltynä on sataman puolen tekniikan, varsinaisen liityntäpisteen ja aluksen puolen tekniikan vaatimukset. Tämän lisäksi standardi sisältää järjestelmän ohjaukseen, monitorointiin ja

testaukseen liittyviä vaatimuksia. Standardissa on myös eri alustyyppisiä koskevat liitteet, joissa määritetään alustyyppikohtaisia erityisvaatimuksia. (IEC/IEEE 80005-1, 2019)

Keskijännitemaasähköstandardin (IEC/IEEE 80005-1, 2019) liite D käsittelee konttialuksien erityisvaatimuksia. Konttialuksien maasähkölaitteet tulee toteuttaa 6,6 kV jännitteellä ja 7,5 MVA suurimmalla liitäntäteholla. Standardi ei määrittele erikseen järjestelmän taajuutta. Konttialuksien maasähkölaitteissa liityntäkaapeli tulisi standardin mukaan olla sijoitettu aluksen puolelle.

IEC/IEEE 80005-2 standardi käsittelee maasähkölaitteiston laiturin liityntäpisteen ja aluksen maasähkölaitteiston välistä järjestelmän seurantaa ja ohjausta varten tarvittavan tietoliikenteen vaatimuksia, pois lukien hätätilanteisiin liittyvä tietoliikenne. Kommunikaation vaatimusten osalta standardi kattaa sekä keskijännitteiset että pienjännitteiset maasähkölaitteet. (IEC/IEEE 80005-2, 2016)

IEC/PAS 80005-3 standardi asettaa ehdot pienjännitteisen maasähkölaitteiston suunnittelulle, asennukselle ja testaukselle. Standardi koskee maasähkölaitteita, jotka toimivat 400 V, 440 V tai 690 V vaihtojännitteellä ja alle 1 MVA teholla (EMSA, 2022). Myös pienjännitstandardi käsittelee sataman sekä aluksen puolen tekniikan (IEC/PAS 80005-3, 2014).

IEC 62 613-1 standardi on luotu pääasiassa kattamaan keskijännitemaasähköstandardin IEC/IEEE 80005-1 tarpeet tarvittavien pistokkeiden, pistorasioiden ja muiden liittimien osalta. Standardi määrittää siis keskijännitteisen ja kolmivaiheisen maasähkön liittämiseen käytettävien komponenttien vaatimukset. Pienjännitteisten maasähkölaitteiden pistokkeet ja pistorasiat sen sijaan tulee toteuttaa lähtökohtaisesti standardin IEC 60309 mukaisesti. (IEC 62613-1, 2019)

4.2 Tekniikka satamassa

Maasähkölaitteiston tekniseen toteutukseen on lukuisia vaihtoehtoja ja yksi järjestelmiä rakenteellisesti erottava ominaisuus on se, että liityntäpiste voi olla kiinteä tai liikuteltava eli mobiili. Toinen keskeinen maasähkölaitteita erottava tekijä on järjestelmän toteutusmalli, joka tavallisesti luokitellaan kolmeen eri tyyppiin perustuen jännitteen ja taajuuden muuntamisen sähkötekniseen toteutusmalliin: keskitetty, hajautettu ja tasasähkö. (EMSA, 2022)

Konttilaiturille rakennettava maasähköjärjestelmä täytyy lähes poikkeuksetta rakentaa syöttämään 60 Hz taajuudella, sillä esimerkiksi yli 140 metrisistä konttialuksista jopa 94 % on varustettu 60 Hz sähköjärjestelmällä (Ericsson & Fazlagic, 2008). Tällöin maasähköjärjestelmä tarvitsee 50 Hz:n sähköjärjestelmää käyttävissä maissa myös taajuusmuuttajan ja järjestelmän investointikustannukset ovat näin suuremmat kuin vain 50 Hz syötöllä varustetun maasähköjärjestelmän.

Kuvassa 1 nähdään mobiili maasähköjärjestelmä, joka perustuu liikkuvaan liityntäpisteeseen ja koko laiturin mitalle ulottuvaan kaapeliketjuun. Näin ollen liityntäpiste voidaan aina siirtää sopivaan kohtaan riippuen aluksen kiinnityskohdasta ja aluksen maasähkökaapelin sijainnista. Esimerkiksi Saksassa Hampurin sataman konttiterminaalissa on käytössä vastaava kaapeliketjuun perustuva maasähköjärjestelmä (Iigus, 2025a).



Kuva 1. Iigus readychain® iMSPO mobiili maasähköjärjestelmä (Iigus, 2025b).

Maasähköjärjestelmien yhteydessä voidaan joissain tapauksissa käyttää jatkokelaa, jolloin esimerkiksi kiinteiden liityntäpisteiden määrää voidaan vähentää. Kuvassa 2 nähdään esimerkki maasähköjärjestelmille suunnitellusta jatkokelasta, jolla liityntäpistettä voidaan siirtää akkukäyttöisellä alustalla ja näin varmistaa kaapelin ulottuvuus liitännän muodostamiseksi.

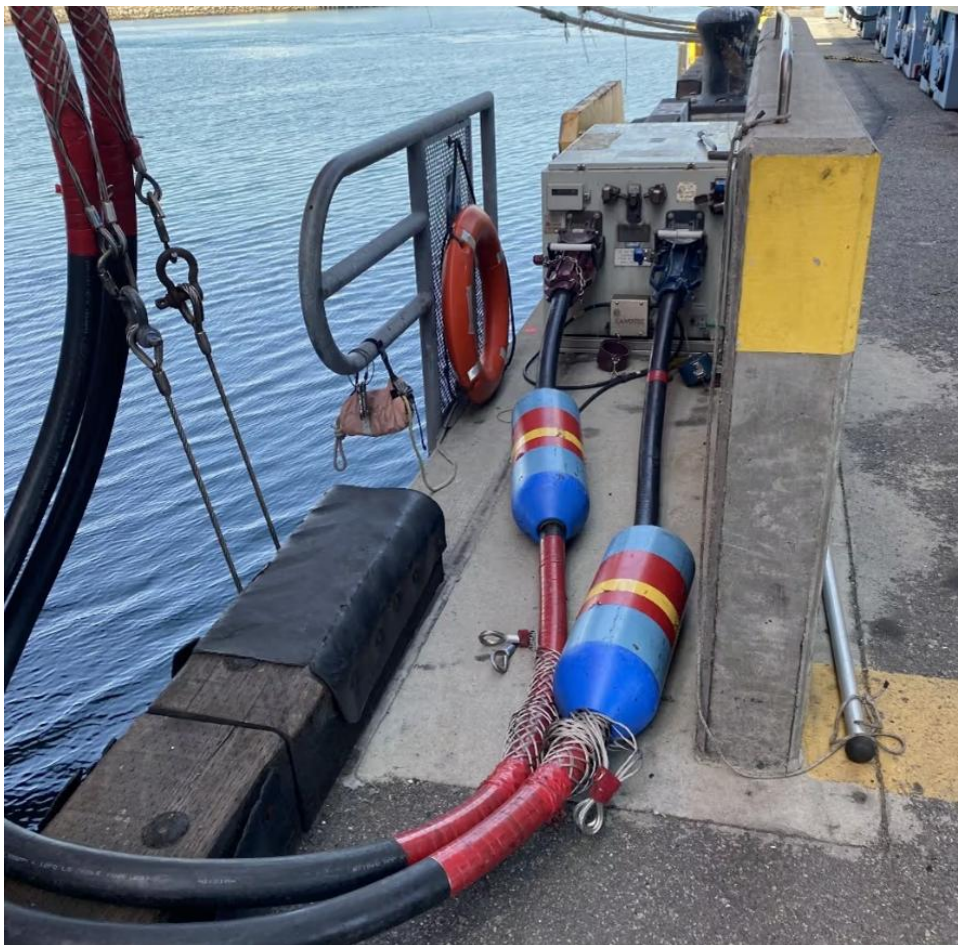


Kuva 2. Mobiili akkukäyttöinen ajettava jatkokela Cavotec PowerExtend (Cavotec Group AB, 2025).

Aiemmin esitelty, kuvassa 1 nähtävä kaapeliketju-mallinen järjestelmä ei todennäköisesti toimisi Mussalon satamassa rajallisen laiturilan vuoksi. Myös Suomen talvien sääolosuhteet ja lumi voisivat haitata mobiilin maasähköratkaisun toimintaa. Vastaavan mobiilin ratkaisun hinta voisi myös olla jopa kymmenkertainen yksittäiseen kiinteään liityntäpisteeseen verrattuna. (HaminaKotka Satama Oy:n edustajat, 2025.) Esimerkiksi kuvissa 3 ja 4 nähtävät laiturin laidalle asennettavat liityntäpistetyypit voisivat siis olla Suomen sääolosuhteisiin ja ahtaille konttilaitureille sopivampia vaihtoehtoja. Konttilaitureilla konttinosturit liikkuvat koko laiturin matkalla, mikä voi rajoittaa liityntäpisteen toteutusta.



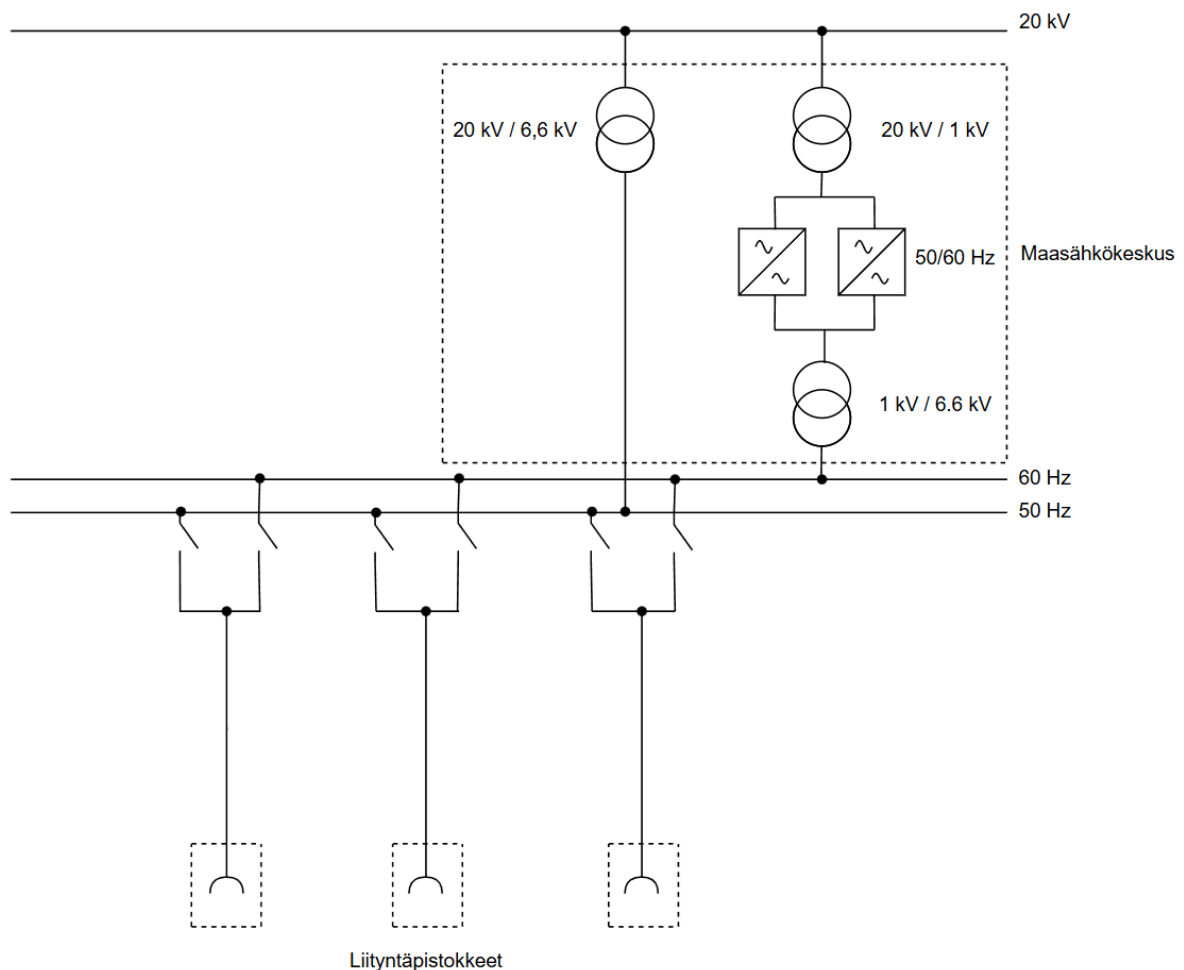
Kuva 3. Laiturirakenteisiin upotettava Cavotec PowerWrap-kaivo, jossa maasähköliittymispiste (Cavotec Group AB, 2025).



Kuva 4. Kiinteä laiturin reunalle asennettu Cavotec PowerFeed maasähköliityntäpiste ja siihen kytkettyjä maasähkökaapeleita (Cavotec Group AB, 2025).

Mussalon satamassa konttialuksien maasähköjärjestelmä aiotaan toteuttaa maasähkön keskijännitestandardin IEC/IEEE 80005-1 mukaan, eli järjestelmän jännite tulee olemaan 6,6 kV. Keskijännitemaasähköstandardin konttialuksien maasähkön maksimitehontarve 7,5 MW ei sen sijaan ole realistinen suhteessa Mussalon satamassa vierailevien konttialuksien kokoluokkaan. Sataman maasähköliitännät mitoitetaan aluksi 4 MW:n maksimiteholle perustuen laivavarustamoille tehtyihin kyselyihin alusten tehotarpeista. Mussalon sataman sähköjakelusta vastaa Kymenlaakson sähköverkko ja sataman tämänhetkiset sähkönsyöttöratkaisut mahdollistavat maasähköjärjestelmän kehittämisen. (HaminaKotka Satama Oy:n edustajat, 2025.) Suurimmat Mussalon satamassa vierailevat alukset ovat noin 35 000 bruttotonnin aluksia. Esimerkiksi 25 000 – 49 999 bruttotonnin konttialuksien keskimääräiseksi tehontarpeeksi on arvioitu noin 864 kW (DNV, 2017). Yleisesti ottaen 4 MW:n maksimitehoa voidaan tähän keskiarvon arvioon suhteutettuna pitää riittävänä, vaikka todelliset tehotarpeet toki vaihtelevat aina aluksista ja niiden tekniikasta riippuen.

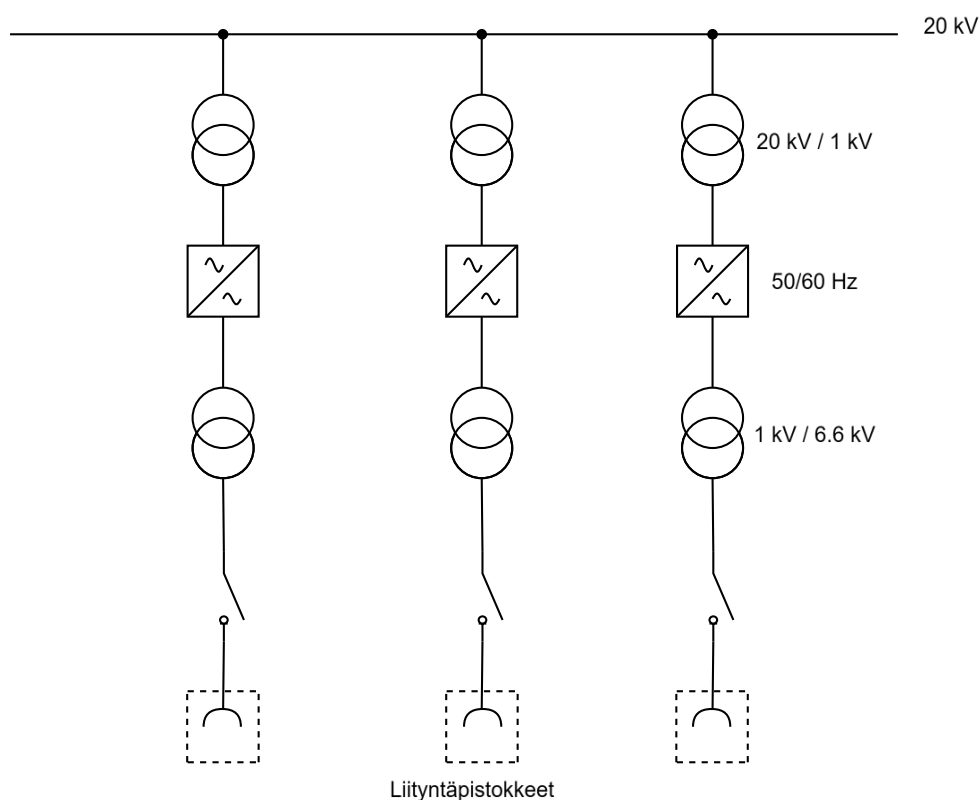
Kuvassa 5 nähdään yksinkertaistettu keskitetyn maasähkölaitteiston periaattellinen kaavio. Keskitetyssä maasähkölaitteistossa tarvittavat taajuusmuutokset suoritetaan maasähkölaitteistossa ja laiturilla tarvitaan vain liityntäpiste sekä siihen liittyvä tekniikka (Ericsson & Fazlagic, 2008). Riippuen järjestelmän siirtolinjojen jännitteestä, myös jokaiselle liityntäpisteelle voidaan tarvita erillinen muuntaja poiketen kuvan 5 esimerkistä. Keskitetyn taajuusmuuttajan etuna on nähty muun muassa se, että taajuusmuuttajalla voidaan syötää erikseen vain niitä liityntäpisteitä jotka tarvitsevat 60 Hz taajuutta. Lisäksi laiturialueella ei tarvita tilaa erillisille taajuusmuuttajille, kun taajuusmuunnos tehdään keskitetysti (Ericsson & Fazlagic, 2008.) Keskitetyn taajuusmuuttajan DC-osaan voitaisiin myös mahdollisesti helposti kytkeä akkujärjestelmä esimerkiksi verkon huipputehon pienentämiseksi.



Kuva 5. Keskitetty maasähkölaitteisto (mukaillen Ericsson & Fazlagic, 2008).

Keskitetyn taajuusmuutoksen haittana on yleisesti pidetty muun muassa järjestelmän haavoittuvuutta. Eli esimerkiksi tilanne, jossa taajuusmuuttujan hajotessa 60 Hz taajuudella ei voitaisi maasähköä tarjota lainkaan (Ericsson & Fazlagic, 2008.) Nykyään monet taajuusmuuttujaratkaisut ovat kuitenkin rakenteeltaan modulaarisia ja näin ollen käytettävissä yksittäisen osan rikkoutuessa ehjien osien avulla vajaateholla.

Kuvassa 6 on nähtävissä yksinkertaisen hajautetun maasähköjärjestelmän kaavio. Hajautetun maasähköjärjestelmän keskeisimpänä hyötynä taas on yleisesti pidetty sen toimintavarmuutta, sillä esimerkiksi yksittäisen taajuusmuuttujan hajoaminen ei vaikuta millään tavalla muun järjestelmän toimintaan. Samoin esimerkiksi huoltotyöt onnistuvat helpommin, sillä yksittäisen maasähkösyötön huolto ei vaikuta muihin syöttöihin. (Ericsson & Fazlagic, 2008)



Kuva 6. Hajautettu maasähköjärjestelmä (mukaiillen Ericsson & Fazlagic, 2008).

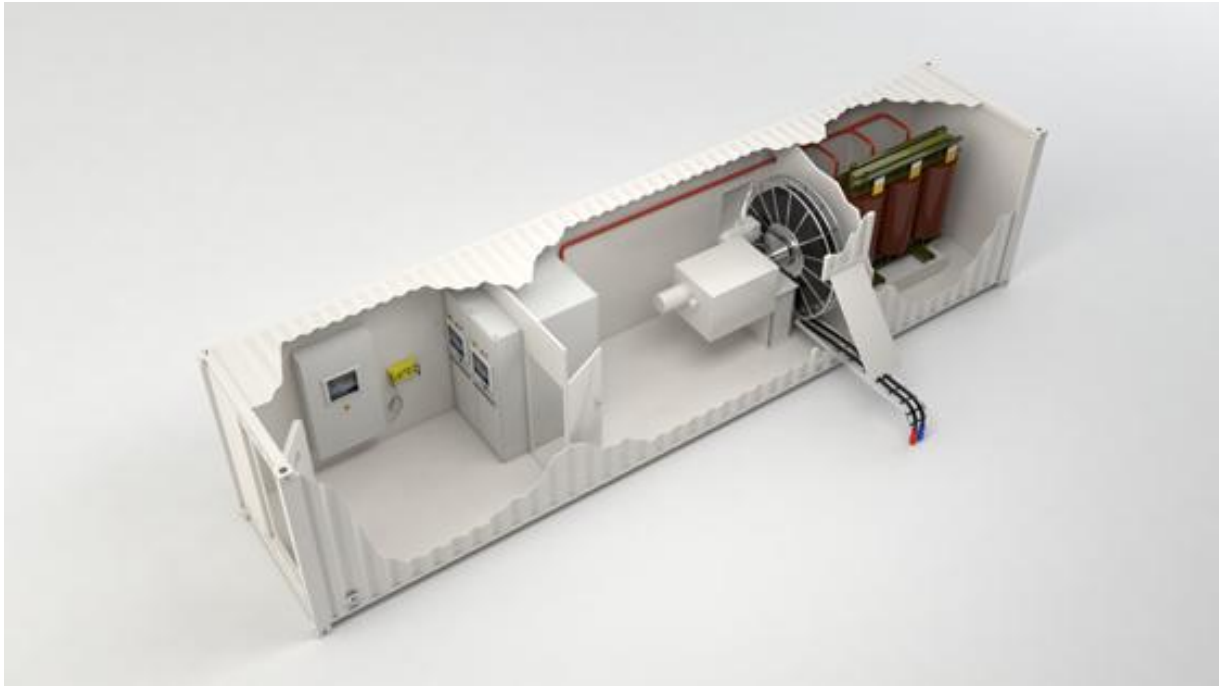
Hajautetun maasähköjärjestelmän olennaisin huono puoli on suuri tilantarve laiturialueella, sillä jokaisen liityntäpisteen taajuusmuutokseen tarvittava tekniikka on hajautetusti sijoitettu laiturialueelle. Riippuen laitteiston teknisestä toteutuksesta hajautettu järjestelmä saattaa myös

johtaa tilanteeseen, jossa myös 50 Hz taajuuden syöttö tehdään taajuusmuuttajan läpi. Tämä aiheuttaa ylimääräistä tehohäviötä. Hajautettu järjestelmä saattaa myös tarvita enemmän muuntajia verrattuna keskitettyyn järjestelmään, sillä jokaiselle taajuusmuuttajalle tarvitaan omat muuntajat (Ericsson & Fazlagic, 2008.) Erityisesti tilankäyttöä ajatellen hajautettu järjestelmä ei olisi toimiva ratkaisu konttisatamaan.

4.3 Tekniikka aluksilla

Jo olemassa oleville aluksille maasähkön käyttöönotto vaatii lähes poikkeuksetta erillisen maasähkölaitteiston rakentamista ja yleisesti ottaen uusille aluksille maasähkövalmius rakennetaan nykyään valmiiksi. Eri valmistajien mallistoissa on merikonttiin rakennettuja maasähkölaitteistoja aluksille. Merikonttitoteutus tekee maasähkölaitteiston jälkikäteisasennuksesta helppoa, sillä käytännössä kaikki tarvittava uusi laitteisto on yhdessä kontissa ja laitteistolle ei tarvita tilaa aluksen muista tiloista. Maasähkökontti voidaan asentaa alukselle ja liittää aluksen sähköjärjestelmään kätevästi esimerkiksi alusten vuosihuoltojen yhteydessä (HaminaKotka Satama Oy:n edustajat, 2025).

Alukselle maasähkölaitteisto voidaan asentaa aluksien telakkakäyntien yhteydessä aluksen koosta ja sähköjärjestelmästä riippuen 2–4 viikon aikana tai jopa tavallisten satamakäyntien aikana (Cavotec, 2025). Esimerkiksi Cavotec ja Wärtsilä markkinoivat maasähkölaitteistoja, jotka ovat valmiiksi koottu merikonttiin, kuten kuvassa 7 voidaan nähdä.



Kuva 7. Alukselle asennettava maasähkökontti (Wärtsilä, 2025).

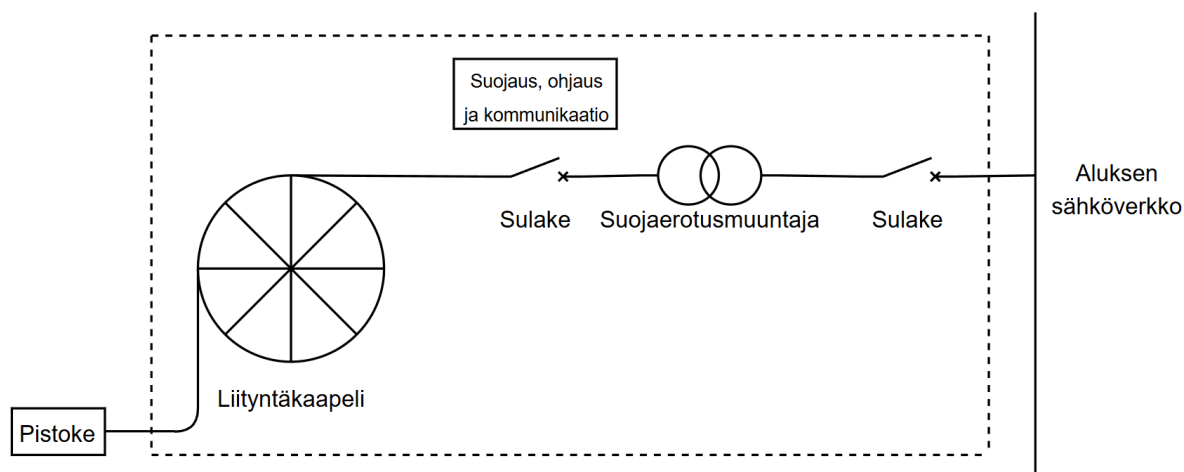
Yksi konttialusten energiankulutukseen vaikuttava ominaispiirre on mahdollisten kylmäkonttien energiankulutus, sillä yhden 40 jalan merikontin jäähdytyslaitteiston teho on keskimäärin noin 7,3 kW (Budiyanto & Shinoda, 2018). Mussalon sataman kautta kylmäkontteja kuljetetaan kuitenkin melko vähän, sillä satamassa on viime vuosina ollut enimmillään noin 20 kylmäkonttia kerralla (HaminaKotka Satama Oy:n edustajat, 2025).

Kansainvälisen IEC/IEEE 80005-maasähköstandardisarjan mukaan yli 1 MVA tehontarpeen maasähköjärjestelmät tulisi toteuttaa keskijännitesyöttönä. Konttialuksien sähköjärjestelmät ovat kuitenkin suurilta osin pienjännitteisiä, koska esimerkiksi yli 140 metristen konttialuksien sähköjärjestelmistä noin 88 % on pienjännitteisiä (Ericsson & Fazlagic, 2008). Tämä tarkoittaa sitä, että käytännössä lähes poikkeuksetta konttialuksilla täytyy myös olla muuntaja, jotta keskijännitteistä maasähköä voidaan käyttää. Toisaalta aluksen muuntajan avulla voidaan myös varmistua aluksen galvaanisesta erotuksesta sähköverkosta ja muista maasähköön liittyneistä aluksista.

Yleisesti ottaen aluksien tämänhetkiset valmiudet maasähköön kytkeytymiseen ovat vielä suhteellisen heikot. Esimerkiksi kaikista EU-jäsenvaltioiden satamissa vuonna 2024 vierailleista konttialuksista vain noin 15,5 % oli varustettu maasähkölaitteistolla (EMSA, 2025). Mussalon

satamassa vierailee sataman tämänhetkisten tietojen mukaan säännöllisesti vain kaksi maasähkölaitteistolla varustettua alusta (HaminaKotka Satama Oy:n edustajat, 2025).

Maasähkön liittymistä varten täytyy aluksella olla maasähkölaitteisto, johon kuuluu tyypillisesti ainakin sulakkeet, suojaerotus ja/tai jännitemuuntaja sekä järjestelmän suojaukseen ja ohjaukseen liittyvä tekniikka (EMSA, 2022). Kuvassa 8 voidaan nähdä yksinkertainen maasähkölaitteisto konttialukselle. Konttialuksien maasähkön liittymiskaapeli tulee keskijännitemaasähköstandardin mukaan olla sijoitettu aluksen puolelle (IEC/IEEE 80005-1, 2019).



Kuva 8. Yksinkertainen konttialuksen maasähkölaitteisto (mukaiillen EMSA, 2022).

Aluksen tarvitseman maasähkölaitteiston kustannuksia on hankala arvioida tarkkaan, sillä hintatietoja on niukasti julkisesti saatavilla. Yhden aluksen maasähkölaitteiston hinta voi olla suuruusluokaltaan esimerkiksi noin 170 000 € - 1 500 000 € riippuen muun muassa siitä, tarvitseeko alus muuntajan ja liityntäkaapelin (WPSP, 2025).

5 Maasähkö Suomessa

Suomessa maasähköjärjestelmiä on jo käytössä satamissa ja konttialuksien maasähköjärjestelmiä on suunnitteilla. Tässä tutkimuksessa selvitetään maasähköjärjestelmien nykytila ja mahdolliset suunnitelmat Helsingin satama Oy:n Vuosaaren satamassa sekä Rauman satamassa. Selvitetään lisäksi satamien sähköverkkojen nykyiset kapasiteetit ja mahdolliset tarpeet sähköverkkojen vahvistamiseksi. Nämä satamat valittiin osaksi selvitystä, koska ne ovat HaminaKotkan sataman jälkeen kaksi Suomen suurinta konttisatamaa (Suomen Satamat ry, 2025).

5.1 Helsingin satama Oy – Vuosaaren satama

Vuosaaren satama on Helsingin satama Oy:n kontti- ja roro-liikennettä sekä projektilasteihin liittyviä palveluja tarjoava tavarasatama (Port of Helsinki, n.d.). Satama sijaitsee Suomenlahdella Helsingin kaupungin itäosassa. Vuonna 2024 Helsingin sataman kautta kuljetettiin 444 000 TEU-yksikköä kontteja (Port of Helsinki, 2025).

Helsingin sataman Vuosaaren satamanosan C-laiturissa on käytössä maasähköjärjestelmä, jota hyödyntää säännöllinen ropax-alusten linjaliikenne Travemünde (Port of Helsinki, 2024). Maasähköjärjestelmässä on kaksi kaapelinostureilla varustettua 11 kV liityntäpistettä, jotka on liitetty sähköverkkoon 4 MW:n muuntajalla (Comatec Group, 2024). Järjestelmän käyttöaste on tasaisesti 20 % vuorokaudesta säännöllisen linjaliikenteen takia. Maasähkö otettiin satamassa käyttöön vuonna 2024 ja järjestelmän kustannukset ovat olleet noin 750 000 € laivapaikkaa kohden (Supponen, 2025.)

Vuosaaren sataman alustava suunnitelma on rakentaa konttialuksille pien- ja keskijännitteinen maasähköjärjestelmä. Maasähköä tulnaisiin tarjoamaan 400 V ja 6,6 kV jännitteillä sekä 50 Hz ja 60 Hz taajuuksilla. Yksittäisen liityntäpisteen maksimiteho tulisi olemaan 1,5 MVA. Liityntäpisteet pyritään sijoittamaan laiturilla niin, että tarvittaisiin vain kiinteitä liityntäpisteitä, mutta myös siirrettäviin jatkokeleihin varaudutaan. Vuosaaren satamassa on kaksi 7,5 MW sähköliittymää ja tulevaisuudessa sataman sähköverkon kapasiteettia saatetaan joutua kasvattamaan. (Supponen, 2025)

5.2 Rauman satama

Rauman satama on Suomen länsirannikolla sijaitseva yleis- ja konttisatama. Satama on ulkomaan konttiliikenteessä mitattuna Suomen kolmanneksi suurin konttisatama (Suomen satamat ry, 2025). Sen kautta kuljetettiin 202 222 TEU-yksikköä kontteja vuonna 2024 (Rauman satama Oy, 2025).

Rauman satamassa on käytössä tällä hetkellä 9 maasähköliityntäpistettä, jotka sijaitsevat RoRo-laitureilla ja Laitsaaren satamanosassa. Liityntäpisteet ovat kiinteitä Cavotec PC6 pistorasioita, jotka syöttävät 6,3 kV jännitettä 50 Hz taajuudella. Maasähköjärjestelmä on kytketty satamaan 20 kV:n keskijänniteverkkoon viidellä muuntajalla (Metsäkallas, 2025.) Yksittäisen liityntäpisteen maksimiteho on 1,25 MVA (Rauman satama Oy, n.d.). 6,3 kV jännite on kompromissi standardin maasähköjännitteen 6,6 kV ja hybridinosturien lataukseen käytettävän 6 kV jännitteen välillä. Näin ollen samaa liityntäpistettä voidaan käyttää maasähkön syöttöön ja nostureiden syöttöön. Järjestelmä ei ole vielä ollut maasähkökäytössä, mutta kiinnostusta maasähkökäytölle on ollut. Maasähköjärjestelmä on kokonaisuudessaan ollut noin 2 miljoonan euron investointi, joten liityntäpistettä kohden kustannukset ovat olleet noin 222 000 €. Sataman arvioiden mukaan järjestelmän hinta olisi vähintään kaksinkertaistunut, jos se olisi rakennettu myös 60 Hz taajuudella toimivaksi (Metsäkallas, 2025.)

Konttialuksien maasähkölle Rauman satamassa on vain alustavia suunnitelmia, joiden mukaan rakennettaisiin kolme liityntäpistettä niin, että yksi rakennetaan jokaiselle sataman konttilaiturille. Tämänhetkisen tiedon mukaan konttialuksien sähkötehtarpeet ovat alle 1 MVA. (Metsäkallas, 2025)

Rauman sataman sähköverkkoa hallinnoi Rauman Energia Sähköverkko Oy, jolta satama hankkii tarvittaessa liittymän. Sataman sähköverkossa on tällä hetkellä vapaata kapasiteettia noin 5 MW ja näillä näkymin sataman sähköverkko on riittävä tuleville maasähköjärjestelmille. (Metsäkallas, 2025)

6 Maasähkö Euroopassa

Maasähkön käyttöönotto Euroopan satamissa on ollut hidasta suhteessa EU:n kunnianhimoisiin päästönvähennystavoitteisiin. Esimerkiksi Transport & Environment:in (2025) tilaama tutkimus arvioi maasähkölaitteiden nykytilaa Euroopan 31:ssä eri satamassa. Tutkimuksen mukaan kaikista kyseisissä satamissa vuonna 2030 vaadittavista maasähkölaitteistista noin 21 % on olemassa tai niiden rakentamisesta on sopimus. Vastaavasti konttialuksille vaadittavista maasähkölaitteistista vain noin 11 % on valmiina tai niiden rakentaminen on sopimusvaiheessa.

6.1 Hampurin satama

Hampurin satama sijaitsee Saksassa Elbe-joen varrella noin 100 kilometriä Pohjanmeren rannikolta sisämaahan. Vuonna 2024 Hampurin sataman kautta kuljetettiin yhteensä 7,8 miljoonaa TEU-yksikköä kontteja (Port of Hamburg, 2025). Hampurin satama onkin Saksan suurin ja Euroopan kolmanneksi suurin konttisatama (Port of Hamburg, 2024). Satamassa otettiin käyttöön maasähkölaitteisto konttialuksille vuonna 2024. Tämä teki Hampurin satamasta ensimmäisen sataman Euroopassa, joka tarjoaa maasähköä sekä kontti- että risteilyaluksille (ESPO, 2024.)

Konttialuksien maasähkölaitteistoon on Hampurin sataman CTH-konttiterminaalissa investoitu noin 13 miljoonaa euroa, ja laiteisto tarjoaa 7,5 MVA liityntätehon kolmelle konttialukselle (ESPO, 2024). Laiteisto koostuu kahdesta 150 metrisestä ja yhdestä 100 metrisestä kaapeliketju-tyypin liikutettavasta liityntäpisteestä (Hamburg Port Authority, n.d.).

6.2 Thessalonikin satama

Thessalonikin satama sijaitsee Kreikassa Thermaikoslahdella, Egeanmeren rannalla. Satama käsittää 6 laiturialuetta, jotka yhdessä ovat pituudeltaan 6,2 km ja yhteensä 600 000 neliometriä varastotilaa (Markos, 2017). Thessalonikin sataman konttiterminaalien kautta kuljetettiin 566 000 TEU-yksikköä kontteja vuonna 2024 (Port of Thessaloniki, 2025).

Thessalonikin satamalle on tehty maasähkölaitteiston suunnitelma osana kannattavuustutkimusta. Suunniteltu laiteisto kattaisi 7 laituripaikkaa ja sen kokonaisteho

olisi 34 MVA. Järjestelmä olisi keskitetty ja kaikilla liityntäpaikoilla maasähkösyöttö 50 ja 60 Hz taajuudella olisi mahdollinen. Suunnitellun järjestelmän kokonaiskustannuksiksi on arvioitu noin 13 miljoonaa euroa, eli noin 1,86 miljoonaa euroa yhtä maasähköliityntää kohden. Taulukossa 1 on esitetty maasähköjärjestelmän kolme suurinta kuluerää, jotka yhdessä kattavat noin 79,1 % järjestelmän kokonaiskustannuksesta. Muita pienempiä kulueriä ovat muun muassa sulakkeet, kaapelit ja liityntäpisteet (Markos, 2017.) Vielä vuonna 2024 Thessalonikin satamassa ei ole kuitenkaan ollut yhtään maasähköliityntäpistettä käytössä pois lukien pienjännitteiset hinaajien käyttämät liityntäpisteet, eikä myöskään virallisia omia suunnitelmia maasähköjärjestelmille (DNV, 2024).

Taulukko 1. Thessalonikin sataman maasähköjärjestelmän kustannusarvion kolme suurinta kuluerää (Markos, 2017).

	Hinta, €	% Kokonaiskustannuksesta
Taajuusmuuttajat	4 400 000	33,9
Muuntajat, taajuusmuuttajien	3 360 000	25,9
Muuntajat, laitureiden sähkökeskusten	2 500 000	19,3

7 Tulevaisuuden näkymät

Seuraavan viiden vuoden kuluessa tullaan näkemään, millä tavoin EU:n tämänhetkiset asetukset tulevat toteutumaan maasähkölaitteiden käyttöönoton ja maasähkön käytön osalta. Jos maasähkön käyttöönotto sujuu asetusten mukaisesti, voidaan arvioida, että tulevaisuudessa maasähkön käyttövelvoitteet tulisivat laajenemaan kattamaan myös muita alustyyppisiä ja pienempiä aluksia.

Tulevaisuudessa jo olemassa olevien maasähkölaitteiden vaihtoehtoisten päästöttömien teknologioiden kehitys tai kokonaan uusien päästöttömien teknologioiden keksiminen voivat toisaalta muuttaa maasähkön kehityssuuntaa tai tehdä siitä kannattamattoman vaihtoehdon. Tällä hetkellä Fuel EU Maritime-asetuksen mukaan sallitut päästöttömät teknologiat sähkön tuotantoon aluksen ollessa satamassa ovat aluksella tuotettu aurinko- ja tuulivoima, polttokennot sekä akkuvarastot.

Toisaalta esimerkiksi aluksien kokonaisvaltainen sähköistyminen voisi periaatteessa myös lisätä maasähkölaitteiden tarvetta tulevaisuudessa. Jos esimerkiksi akkuvarastojen käyttö energialähteenä aluksilla lisääntyy, voidaan maasähkölaitteita käyttää akkujen lataamiseen. Tulevaisuudessa voitaisiin myös selvittää, voisiko maasähkölaitteita käyttää varavoiman syöttöön aluksilta sataman sähköverkkoon.

8 Johtopäätökset

Kokonaisuudessaan maasähköljärjestelmiin liittyvä tekniikka vaikuttaa olevan pitkälle kehittyntä ja joitakin maasähköljärjestelmiä on jo käytössä. Erilaisia teknisiä toteutusvaihtoehtoja on saatavilla aina mobiileista kehittyneistä järjestelmistä yksinkertaisiin kiinteisiin liityntäpisteisiin. Vaikka maasähköljärjestelmien tekniikka on jo sangen pitkälle kehittyntä ja kansainväliset standardit ovat olemassa, on maasähkön käyttöönotto ollut melko hidasta Euroopassa. Maasähkön käyttöönottoa hidastaa todennäköisesti järjestelmien korkeat investointikustannukset sekä mahdolliset satamien sähköverkkujen kapasiteettirajoitteet.

Konttialuksien maasähköljärjestelmien toteutusta hankaloittaa erityisesti yleisesti konttialuksilla käytössä oleva 60 Hz sähköjärjestelmä, sillä taajuusmuuttaja on täten pakollinen osa maasähköljärjestelmää. Taajuusmuuttajan hankinta aiheuttaa järjestelmästä riippuen noin 30–50 % sataman maasähkön investointikustannuksista. Taajuusmuunnos kannattaa todennäköisimmin toteuttaa keskitetysti konttisatamassa, jotta laitureiden rajallista tilaa voidaan hyödyntää paremmin. Suomen sääolosuhteissa kiinteät liityntäpisteet ovat järkevä valinta myös konttilaitureille, sillä mobiilit ratkaisut saattaisivat olla ongelmallisia talviolosuhteissa.

Selvityksen perusteella kaikissa Suomen merkittävimmissä konttisatamissa on vähintäänkin aloitettu konttialuksien maasähköljärjestelmien suunnittelu. Vuosaaren satamassa on myös jo säännöllisesti käytössä olevia maasähkölaitteita ropax-aluksille ja Rauman satamalla on valmiudet tarjota maasähkää roro-laitureilla. Euroopassa konttialuksille maasähköljärjestelmä on jo käytössä esimerkiksi Hampurin satamassa.

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää tulevien maasähköljärjestelmien suunnittelussa ja järjestelmien kehittämisessä. Lainsäädännön ja standardien keskeisimmät vaatimukset on koottu yhteen tutkimuksessa ottaen huomioon erityisesti konttisatamat. Maasähköljärjestelmien teknisiä toteutusmalleja on myös arvioitu konttisatamien ja -alusten näkökulmasta, jotta voitaisiin suunnitella kokonaisvaltaisesti parhaiten toimiva ja alustyyppin vaatimukset täyttävä järjestelmä.

Lähteet

Budiyanto, M. A., Shinoda, T. 2018. The effect of solar radiation on the energy consumption of refrigerated container. Case Studies in Thermal Engineering. 12. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.09.005>

Cavotec Group AB. 2025. Shore Power solutions for ports. [verkkosivut] Viitattu 28.8.2025. Saatavissa: <https://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/shore-power/shore-power-systems-for-ports>

Comatec Group. 2024. Helsingin Satama ja Comatec yhteisellä matkalla kohti hiilineutraalia satamaa. Viitattu 28.8.2025. Saatavissa: <https://www.comatec.fi/helsingin-satama-ja-comatec-yhteisella-matkalla-kohti-hiilineutraalia-satamaa/>

DNV. 2024. Electrification of European ports (EU). Status for onshore power supply in selected EU ports. European Federation for Transport and Environment A.I.S.B.L. Saatavissa: https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2025_06_27-TE-FINAL-EU-report_rev1.docx.pdf

DNV. 2023. IMO Maritime Safety Committee (MSC 107). Viitattu 21.8.2025. Saatavissa: <https://www.dnv.com/news/2023/imo-maritime-safety-committee-msc-107--244383/>

EMSA. (European Maritime Safety Agency). 2025. The EU Maritime Profile. Section 4: environment. Viitattu 29.8.2025. Saatavissa: <https://emsa.europa.eu/eumaritimeprofile/section-4-environment.html>

EMSA. (European Maritime Safety Agency). 2022. Shore-Side Electricity. Guidance to Port Authorities and Administrations. Part 2 – Planning, Operations and Safety. Version 2. Saatavissa: <https://emsa.europa.eu/electrification/sse/download/7272/4799/23.html>

Ericsson, P. & Fazlagic, I. 2008. Shore-side power supply. A feasibility study and a technical solution for an on-shore electrical infrastructure to supply vessels with electronic power while in port. Master's thesis. Chalmers university of technology, Department of Energy and Environment. Göteborg, Ruotsi. Viitattu 21.8.2025. Saatavissa: <https://webfiles.portal.chalmers.se/et/MSc/Ericsson&FazlagictMSc.pdf>

ESPO. (The European Sea Ports Organisation). 2024. The Port of Hamburg implements onshore power supply (OPS) for container ships. Saatavissa: <https://www.espo.be/practices/the-port-of-hamburg-implements-onshore-power-suppl>

EU:n neuvosto ja Eurooppa-neuvosto. 2025. 55-valmiuspaketti. Viitattu 23.11.2025. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/fit-for-55/>

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2023/1804. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1804, annettu 13 päivänä syyskuuta 2023, vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta ja direktiivin 2014/94/EU kumoamisesta. Saatavissa <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/1804/oj>

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2023/1805. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1805, annettu 13 päivänä syyskuuta 2023, uusiutuvien ja vähähiilisten polttoaineiden käytöstä meriliikenteessä sekä direktiivin 2009/16/EY muuttamisesta. Saatavissa <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/1805/oj>

Hamburg Port Authority. n.d. Shore power. [verkkosivut] Viitattu 29.8.2025. Saatavissa: <https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/shorepower>

HaminaKotka Satama Oy. n.d. Tietoa satamasta. Satamanosat. Mussalo [verkkosivut] Viitattu 18.6.2025. Saatavissa: <https://www.haminakotka.com/fi/tietoa-satamasta/satamanosat/mussalo>

HaminaKotka Satama Oy. 2025. Liikennetilasto 2024. Saatavissa: <https://www.haminakotka.com/sites/default/files/attachment/Liikennetilasto%20joulukuu%202024.pdf>

HaminaKotka Satama Oy:n edustajat. 2025. Haastattelu. 14.5.2025.

IEC/IEEE 80005-1:2019+AMD1:2022+AMD2:2023 Utility connections in port – Part 1: High voltage shore connection (HVSC) systems - General requirements. International Electrotechnical Commission.

IEC/IEEE 80005-2:2016 Utility connections in port – Part 2: High voltage and low voltage shore connection systems – Data communication for monitoring and control. International Electrotechnical Commission.

IEC/IEEE 80005-3:2025 PRV Utility connections in port – Part 3: Low voltage shore connection (LVSC) systems – General requirements. International Electrotechnical Commission.

IEC 62613-1:2019 Plugs, socket-outlets and ship couplers for high-voltage shore connection (HVSC) systems – Part 1: General requirements.

Igus. 2025a. Mobile power socket supplies container ships at the Port of Hamburg with shore power quickly and flexibly. Viitattu 29.8.2025. Saatavissa: <https://www.igus.eu/industry/shore-power/applications/mobile-shore-power-supply-at-hamburg-harbour>

Igus. 2025b. readychain® iMSPO: Mobile shore power system for container terminals. [verkkosivut] Viitattu 28.8.2025. Saatavissa: <https://www.igus.eu/shore-power/readychain-imsपो>

IMO. 2020. Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020. Saatavissa: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf>

IMO. 2023a. Onshore Power Supply package for port stakeholders now available. [verkkosivut] Viitattu 7.8.2025. Saatavissa: <https://www.imo.org/en/mediacentre/pages/whatsnew-2021.aspx>

IMO. 2023b RESOLUTION MEPC.377(80). 2023 IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS. Saatavissa: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/Resolution%20MEPC.377\(80\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/Resolution%20MEPC.377(80).pdf)

IMO. n.d. Climate action and clean air in shipping. [verkkosivut] Viitattu 5.1.2026. Saatavissa: <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/decarbonization%20and%20clean%20air%20in%20shipping.aspx#:~:text=In%201997%2C%20a%20new%20annex%20was%20added,shipping%20on%20human%20health%20and%20the%20environment.>

Markos, K. 2017. A Cold Ironing Feasibility study and Cost-Benefit Analysis. The case of Thessaloniki. Diploma Thesis. National Technical University of Athens, School of Naval Architecture and Marine Engineering. Saatavissa:

https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/45549/Diploma_Thesis_Kritikos_Orfeas_Markos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Metsäkallas, T. 2025. Tekninen johtaja. Rauman Satama Oy. Sähköpostiviesti 14.4.2025.

Port of Hamburg. 2025. Statistics. Container Throughput. Viitattu 29.8.2025. Saatavissa: <https://www.hafen-hamburg.de/en/current/statistics/container-throughput/>

Port of Hamburg. 2024. Terminals – Handling facilities to meet every need. Container terminals. [verkkosivut] Viitattu 29.8.2025. Saatavissa: <https://www.hafen-hamburg.de/en/portofhamburg/terminals/#in-page-containerterminals>

Port of Helsinki. 2025. Helsingin sataman vuosikertomus 2024. Saatavissa: https://www.portofhelsinki.fi/wp-content/uploads/2025/04/HelSaVuosikertomus_2024.pdf

Port of Helsinki. 2024. Vuosaaren sataman ensimmäinen maasähköljärjestelmä on otettu käyttöön – vähentää ilmanpäästöjä satama-alueella. Viitattu 28.8.2025. Saatavissa: <https://www.portofhelsinki.fi/tietoa-meista/helsingin-satama/ajankohtaista/vuosaaren-sataman-ensimmainen-maasahkojarjestelma-on-otettu-kayttoon-vahentaa-ilmanpaastoja-satama-alueella/>

Port of Helsinki. n.d. Vuosaaren satama. Viitattu 28.8.2025. Saatavissa: <https://www.portofhelsinki.fi/ammattilaisille/rahti-ja-matkustajasatamat/vuosaaren-satama/>

Rauman satama Oy. 2025. Liikennetilasto 1.1.-31.12.2024. Saatavissa: <https://portofrauma.com/wp-content/uploads/2025/01/Liikennetilasto-1.1.-31.12.2024.pdf>

Rauman satama Oy. n.d. Satamanpitäjän palvelut. [verkkosivut] Viitattu 15.8.2025. Saatavissa: <https://portofrauma.com/palvelut/satamanpitajan-palvelut/>

Stolz, B., Held, M., Georges, G., & Boulouchos, K. 2021. The CO2 reduction potential of shore-side electricity in Europe. Applied Energy. 285. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116425>

Suomen Satamat ry. 2025. Tilastot. [verkkosivut] Viitattu 19.6.205. Saatavissa: <https://suomensatamat.fi/tilastot/>

Supponen, S. 2025. Satamainsinööri. Helsingin Satama Oy. Sähköpostiviesti 24.3.2025.

Transport & Environment. (The European Federation for Transport and Environment) 2025. European ports unplugged: The state of shore power infrastructure. T&E Briefing. Saatavissa: https://www.transportenvironment.org/uploads/files/20250711 OPS _-Briefing_Final.pdf

WPSP (World Ports Sustainability Program). 2025. Onshore Power Supply. Investments. Viitattu 24.11.2025. Saatavissa: <https://sustainableworldports.org/ops/costs/investment>

Wärtsilä. 2025. Ship-to-shore power systems – Alternative Maritime Power. [verkkosivut] Viitattu 29.8.2025. Saatavissa: <https://www.wartsila.com/marine/products/ship-electrification-solutions/shore-power/alternative-marine-power>

Ympäristöministeriö. n.d. Kansainvälinen yhteistyö vesien- ja merensuojelussa. Viitattu 5.1.2026. Saatavissa: <https://ym.fi/kansainvalinen-yhteistyö-vesien-ja-merensuojelussa>

