

# VENEIDEN MAADOITUSJÄRJESTELMÄ



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakoski, Sähkö ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

kevät, 2020

Antti Kiviranta

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Valkeakoski

---

<b>Tekijä</b>	Antti Kiviranta	<b>Vuosi</b> 2020
<b>Työn nimi</b>	Veneiden maadoitusjärjestelmä	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Raine Lehto	

---

## TIIVISTELMÄ

Työssä tarkasteltiin veneiden maadoitusjärjestelmiä ja tavoitteena oli selvittää kuinka maadoitusjärjestelmä kannattaa toteuttaa veneympäristössä. Lisäksi työn ohessa tuotettiin ohjeistus maadoitusjärjestelmän toteuttamista varten sekä mittauspöytäkirja, jolla varmistetaan laadukkaasti toteutettu maadoitusjärjestelmä. Ohjeistusta sekä mittauspöytäkirjaa ei julkaista tämän työn ohessa, vaan ne jäävät ainoastaan yrityksen sisäiseen käyttöön.

Työn tilaaja oli Boomeranger Boats Oy, joka valmistaa RIB veneitä pääasiassa viranomaiskäyttöön. Yrityksen asiakkaiden vaatimukset veneiden varustelusta on lisääntynyt, jolloin sähköjärjestelmän vaatimukset ovat myös kasvaneet. Maadoitusjärjestelmä on tärkeä osa veneen sähköjärjestelmää ja huonosti toteutettuna maadoitusjärjestelmä saattaa pahimmassa tapauksessa syövyttää veneen rungon.

Työssä perehdyttiin veneenrakennusstandardeihin, laitevalmistajien manuaaleihin ja aihetta koskeviin julkaisuihin, joista koostettiin ohjeistus toimivaan maadoitusjärjestelmään. Työssä perehdyttiin eri laitteiden toimintaperiaatteisiin teoriantasolla.

Työ onnistui odotusten mukaisesti ja selvitettiin kuinka maadoitusjärjestelmä kannattaa toteuttaa yrityksen veneissä. Myös käsitys veneiden maadoitusjärjestelmän vaatimuksista selkeytyi olennaisesti työtä tehdessä. Työn aikana laadittu ohjeistus ja mittauspöytäkirja tullaan ottamaan käyttöön tulevaisuudessa.

**Avainsanat** Maadoitus, sähköjärjestelmä, vene

**Sivut** 36 sivua, joista liitteitä 2 sivua

Electrical and Automation Engineering  
Valkeakoski

---

<b>Author</b>	Antti Kiviranta	<b>Year</b> 2020
<b>Subject</b>	Grounding system for boats	
<b>Supervisors</b>	Raine Lehto	

---

ABSTRACT

In this thesis project the grounding system of a boat was examined. The objective of this thesis project was to investigate the most practical way to implement a grounding system on boats. During this project instructions and a measurement table were made for the internal use of the company, but these were not included into this thesis.

This work was commissioned by Boomeranger Boats Oy, which is the manufacturer of RIB boats mainly for government customers. The demand for more complex equipment from the customers has been increased, so needs for an electrical system has also increased. A grounding system is a crucial part of a boat's electrical system and in the worst-case scenario a poorly designed grounding system can corrode the hull of a boat.

In this thesis building standards of boats and original equipment manufacturer installation manuals were examined. Interviews of leading professionals in different line and different publications concerning different aspects of this thesis were studied as well.

The final conclusion of this thesis was as expected. During the project was found out how to implement grounding system on the company's boats. The authors knowledge about boat grounding systems was increased during this process. The instructions and the measurement table will be taken into use in future projects of the company.

**Keywords** Boat, grounding, electrical system

**Pages** 36 pages including appendices 2 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	VENEIDEN SÄHKÖJÄRJESTELMIÄ KÄSITTELEVÄT STANDARDIT .....	2
3	VENEIDEN SÄHKÖLAITTEET .....	2
4	MAADOITUS.....	3
4.1	AC suojamaa.....	3
4.2	DC miinus.....	4
4.3	RF maa.....	4
4.4	Maasilmukka .....	6
4.5	Sähkömagneettinen yhteensopivuus.....	7
4.6	Suojautuminen sähkömagneettisilta häiriöiltä .....	8
5	SUOJAUS SÄHKÖISKULTA .....	9
5.1	Perussuojaus .....	9
5.2	Vikasuojaus.....	9
5.3	Pienoisjännitteet .....	9
5.4	Suojausluokat .....	10
6	JOHTIMET .....	11
6.1	Värit.....	11
6.2	Ominaisuudet .....	12
6.3	Häiriösuojaus.....	12
7	VIRTAPIIRIEN EROTTAMINEN .....	13
7.1	Galvaaninen erotin.....	13
7.2	Suojaerotusmuuntaja.....	15
7.2.1	Muuntaja .....	15
7.2.2	Muuntajan toimintaperiaate.....	15
7.2.3	Suojaerotusmuuntaja .....	17
7.3	Vikavirtasuojakytkin .....	18
7.3.1	Vikavirtasuojan tarkoitus.....	18
7.3.2	Vikavirtasuojan toiminta .....	18
8	KORROOSIOSUOJAUS .....	20
8.1	Suoja-anodi.....	20
8.2	Suoja-anodien koostumus ja ominaisuudet.....	21
9	SALAMASUOJAUS .....	22
9.1	Suoja-alue.....	22
9.2	Ilmaterminaali .....	23
9.3	Kaapelointi.....	23
9.4	Maadoitustermiinaali.....	23

10 LAITTEIDEN MAADOITUKSET .....	24
10.1 Antennit.....	24
10.2 Radiot .....	24
10.3 Navigointilaitteet.....	25
10.4 Metallirakenteet.....	25
10.5 Generaattori .....	26
10.5.1 Dieselgeneraattori .....	26
10.5.2 Hihnavetoinen generaattori .....	26
10.6 Invertteri.....	27
10.7 Moottorit.....	27
10.7.1 Perämoottori .....	28
10.7.2 Sisämoottorit .....	28
11 OHJEISTUS.....	28
11.1 Ohjeistuksen pohjatieto .....	29
11.2 Ohjeistus suunnittelijoille.....	29
11.3 Ohjeistus asentajalle .....	29
12 MITTAUSPÖYTÄKIRJA .....	30
13 LOPPUPÄÄTELMÄT .....	30
13.1 Johtopäätökset.....	31
13.2 Kehityskohteet .....	31
LÄHTEET .....	32
HAASTATTELUT .....	34

#### Liitteet

Liite 1	Johtimien virtataulukko
Liite 2	Maadoituskaavio

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutustua maadoitusten toteuttamiseen veneympäristössä. Työssä käsitellään maadoituksen erityisominaisuuksia eri sähköjärjestelmissä sekä otetaan huomioon veneiden erilaiset rakenteet. Maadoituksen lisäksi perehdytään galvaaniseen korroosioon, joka etenkin johtavarunkoisissa veneissä pitää ottaa huomioon maadoitusta suunniteltaessa.

Työn tavoitteena on veneiden maadoitusten laadun parantaminen. Laadun parantamiseksi tässä opinnäytetyössä laaditaan suunnittelun ja asentamisen tueksi selkeät ohjeet maadoitusten toteuttamiseen erilaisissa tapauksissa. Lisäksi työssä tehdään mittauspöytäkirja, joka toimii valmiin veneen lopputarkastuksen työkaluna. Tällä työkalulla varmennetaan maadoitusjärjestelmän laadukas toteutus. Mittauspöytäkirja sekä ohjeistus jäävät vain yrityksen sisäiseen käyttöön, eikä sitä julkaista tässä opinnäytetyössä.

Ohjeistuksen laatimiseksi tässä opinnäytetyössä kerätään tietoa niin kirjallisuudesta kuin haastattelemalla alan asiantuntijoita. Ohjeistuksen raameja työlle asettaa vahvasti alan standardit, joiden mukaan toimeksiantajayrityksen asiakkaat haluavat veneensä rakennettavan. Standardien tutkiminen ja avaaminen tässä työssä on olennainen tutkimusmenetelmä. Mittauspöytäkirjan laatimiseksi tulee tässä opinnäytetyössä selvittää, miten voidaan todentaa maadoitusjärjestelmän laadukas toteutus. Mittauspöytäkirjan tulee olla riittävän laaja, jotta kaikki asiaan olennaisesti vaikuttavat asiat tulevat huomioiduksi laadun varmistamisessa.

Työn tilaaja on Boomeranger Boats Oy, joka valmistaa veneitä pääasiassa viranomaisille. Veneitä käytetään vaativissa olosuhteissa, joka vaatii korkeatasoista luotettavuutta. Veneet valmistetaan räätälöidysti asiakkaille, joten varusteet eri veneissä voivat vaihdella huomattavasti. Erityisesti suuret radiojärjestelmät veneissä saattavat aiheuttavaa ongelmia, mikäli niiden vaatimuksia ei ole huomioitu riittävästi suunnittelussa.

Vene on vedessä kulkeva alus, joka on laivaa pienempi. Veneet jaetaan käyttövoimansa perusteella moottoriveneisiin, purjeveneisiin ja soutuveneisiin. Lisäksi veneitä jaotellaan runkojensa perusteella sekä uppoumarunkoisiin että liukuvarunkoisiin veneisiin. Uppoumarunkoiset veneet syrjäyttävät painonsa verran vettä myös täydessä nopeudessa toisin kuin liukuvarunkoinen, joka nousee veden päälle ns. plaaniin.

Boomeranger Boatsin valmistamat veneet ovat liukuvarunkoisia. Veneiden pohjan kulma on noin 22 astetta, jolla saavutetaan hyvät ajo-ominaisuudet kovassakin merenkäynnissä. Vastaavasti veneen konetehon tarvitsee olla melko suuri, jotta vene kulkee riittävällä nopeudella.

## 2 VENEIDEN SÄHKÖJÄRJESTELMIÄ KÄSITTELEVÄT STANDARDIT

Veneiden suunnittelun perusteena käytetään yleensä VTT expert services oy:n (VTT expert services oy, 2016, s. 1) laatimaa ammattiveneohjeistoa. Sähköjen osalta ohjeistus koskee sähköjärjestelmiä, joiden nimellisjännite on  $U_n \leq 50$  VDC ja  $U_n \leq 500$  VAC. Pienissä järjestelmissä tulee käyttää standardeja EN ISO 10133\_2017 standardia pienten veneiden pienjänniteisille tasavirtajärjestelmille sekä standardia EN ISO 13297 pientenveneidien vaihtovirtajärjestelmiin. Veneen sähköjärjestelmä määritetään pieneksi, jos sen pääsähkönlähteen yhteisteho on korkeintaan 2 kW tai hätäsähkönlähteen kapasiteetti on korkeintaan 3 kW. Pieni vaihtovirtajärjestelmä on sellainen, jossa vaihtovirtaa ei käytetä pääjännitteenä, vaan järjestelmä on yksivaiheinen ja pääsulakkeen koko on enintään 1 x 16 A.

Standardi EN ISO 10133\_2017 koskee alle 24 metrisiä aluksia, joiden sähköjärjestelmä on alle 50 VDC. Standardi toimii vaatimuksena aluksen suunnittelussa, valmistuksessa ja asennuksessa. (SFS-EN ISO 10133/2017, s. 5)

Standardi EN ISO 13297 Koskee alle 24 metrisiä aluksia, joissa on sähköjärjestelmänä yksivaiheinen alle 250 VAC. Standardi toimii vaatimuksena aluksen suunnittelussa, valmistuksessa ja asennuksessa. (SFS-EN ISO 13297/2015, s. 1)

Näiden lisäksi on olemassa paljon muitakin veneiden sähköjärjestelmään liittyviä standardeja, jotka eivät sinällään ole vaatimuksena, mutta joita on hyvä tuntea. ABYC (American boat and yacht council) laatii veneenrakennusstandardeja Yhdysvalloissa. ABYC:n standardi E-11 käsittelee veneen sähköjärjestelmiä. Standardi on voimassa järjestelmissä, joissa jännite on alle 300 VAC 50 – 60 Hz ja alle 60 VDC. ABYC:n standardi TE-4 käsittelee veneen salamasuojausta ja on voimassa veneissä, joissa on asennettu salamasuojaus. (ABYC E-11/2018, s. 1; ABYC TE-4/2019, s. 1)

## 3 VENEIDEN SÄHKÖLAITTEET

Veneissä käytetään normaalisti pääsähköjärjestelmänä 12 V tasavirtajärjestelmää. Sähkö varataan akustoihin. Jokaisella moottorilla on oma akustonsa ja lisäksi muulle kulutukselle on oma akustonsa. Akustojen koot määräytyvät käytössä olevien moottoreiden ja kuluttavan laitteiston vaatimusten mukaan. Moottorivalmistajat ilmoittavat akustojen koolle ja suorituskyvylle tietyt minimivaatimukset, jonka lisäksi ammattiveneohjeistus asettaa niille omat vaatimuksensa (VTT expert services oy, 2016, s. 188). Kulutusakuston kokoa määrittää se, kuinka kauan veneeseen asennettuja laitteita on pystyttävä käyttämään ilman ulkopuolista sähköä tai tarvetta käynnistää moottoreita lataamaan akustoja. GMDSS järjestelmällä tulee olla oma hätäkäyttöakku. Hätäakun koko määritetään liikenteen

turvallisuusviraston Tarfin määräyksessä alusten radiolaitteille. (TRAFI/366732/03.04.01.00/2017, 2018, s. 7)

Normaalissa käytössä akkuja varataan propulsiomootoreiden latureilla. Veneen ollessa rannassa tai laivassa käytetään veneeseen asennettua maasähkölaturia. Maasähkölaturi toimii yleensä 230 V vaihtovirralla, joka saadaan joko laiturista, laivasta tai se voidaan tuottaa veneessä olevalla generaattorilla. Jos veneeseen on asennettu 230 V vaihtovirtaa tuottavia laitteita, on laiteiden välille asennettava verkonvalintakytkin. Kytkimen on kyettävä katkaisemaan virtapiiri ennen uuden kytkemistä. Kytkin voi olla toiminnaltaan automaattinen tai käsikäyttöinen. Veneessä voi myös olla samanaikaisesti käytössä generaattorilla ja invertterillä tuotettua 230 VAC sähköä. Tällöin järjestelmien tulee olla sellaisia, että niitä ei pystytä yhdistämään. (SFS-EN ISO 13297/2015, ss. 5 – 12)

## 4 MAADOITUS

Maadoituksen tarkoitus on yhdistää aluksen sähköasennukset ja aluksen metalliosat samaan potentiaaliin maan kanssa. Maadoittamisella on tärkeä merkitys niin sähköturvallisuuden kuin häiriösuojauksenkin kannalta. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006, s. 264)

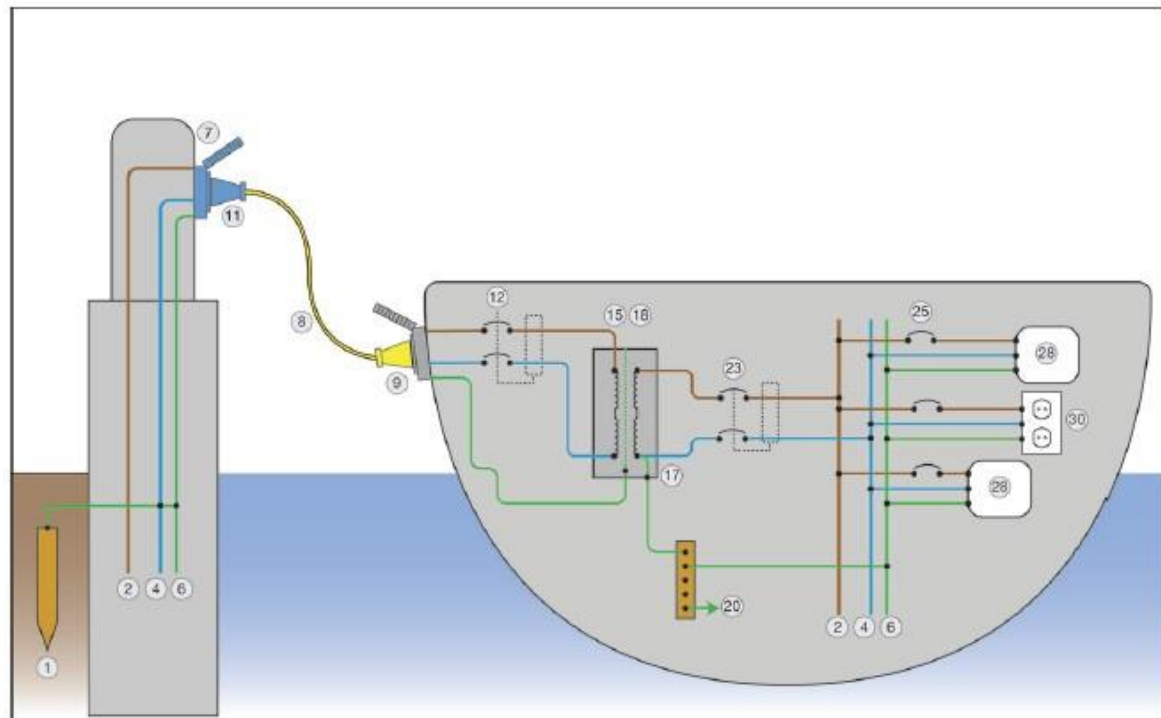
### 4.1 AC suojaamaa

Veneissä käytetään usein niin sanottua maasähköä. Tällä tarkoitetaan, että veneen ollessa laiturissa sähkö tuodaan kaapelilla laiturilta. Maasähköllä tarkoitetaan myös veneessä tuotettua 230 V vaihtovirtaa.

Suojamaan tarkoitus on tarjota vikatilanteessa sähkölle hyvä yhteys maahan. Kytkemällä jännitteelle alttiit osat sähköjohtimella veneen ulkopuolella olevaan maadoituselektrodiin, johdetaan vikatilanteessa syntyvät virrat turvallisesti maahan. (SFS-EN ISO 13297/2015, s. 5)

Kuvassa 1 esitetään esimerkki maasähköjärjestelmän kytkennästä. Kuvan numerossa 20 kytketään veneen maadoitus elektrodiin. Kuvan numero 15 esittää suojaerotusmuuntajaa, joka katkaisee galvaanisen yhteyden laiturin ja veneen väliltä.





Kuva 1. Esimerkki maasähköjärjestelmän kytkennästä (SFS-EN ISO 13297/2015, s. 22).

#### 4.2 DC miinus

Standardissa SFS-EN ISO 10133:2017 (SFS-EN ISO 10133/2017, s. 7) sanotaan, että veneen tasavirtajärjestelmän tulee olla joko täysin eristetty kaksijohdinjärjestelmä, jolloin tasavirtajärjestelmä on kelluvana irti maasta, tai maadoitettu kaksijohdinjärjestelmä, jolloin tasavirtajärjestelmän miinus on maadoitettu. Toisin kuin autoissa, veneessä veneen runkoa ei saa käyttää virtaa kuljettavana johtimena, eikä se onnistuisikaan johtamattomasta materiaalista valmistetuissa rungoissa.

Aluksissa, joissa on useita akustoja, tulee kaikilla olla yhteinen miinus, pois lukien järjestelmät, jotka ovat tarkoituksella erotettu omiin järjestelmiinsä. Tällainen erotettu järjestelmä voisi olla esimerkiksi radiojärjestelmä, jossa erottamisella pyritään vähentämään häiriöiden siirtymistä radioihin. (SFS-EN ISO 10133/2017, s. 7)

#### 4.3 RF maa

Maadoituksen tavoite on taata yhtenäinen maapotentiaali aluksen kaikille laitteille ja varmistaa että aluksen johtavissa osissa ei ole jännite-eroja. Laitteet voidaan maadoittaa kahdella eri tavalla. Tähtimallissa kaikki laitteet kytketään yhteiseen maadoituspisteeseen, joka on yhteydessä veneen rakenteisiin. Toinen vaihtoehto on luoda maataso, jolloin laitteet maadoitetaan veneen metallirakenteisiin mahdollisimman lyhyillä johtimilla. Maadoitustavan valintaa ohjaa taajuus. Alle 10 kHz taajuudet tulisi

maadoittaa tähtimallilla ja yli 100 kHz taajuuksilla tulisi käyttää maatasoa. Näiden väliin jäävät taajuudet voidaan maadoittaa kummalla tahansa tavalla. (IEC 60533/2015, s. 34)

RF-signaali kulkee johtimen pinnassa, joten johtimen pinta-ala on tärkeämpi kuin johtimen paksuus. Johtimen pinta-ala on määräävä tekijä siinä, miten hyvin RF-signaali johtimessa kulkee. Myös johtimen pituus vaikuttaa siihen, kuinka paljon se vastustaa signaalin kulkua. Kaikissa johtimissa on induktanssia ja induktiivinen reaktanssi johtimessa vaihtelee signaalin taajuuden mukaan. Induktiivinen reaktanssi  $X_L$  määritellään kaavalla 1.

$$X_L = 2\pi fL \quad (1)$$

missä

$f$  = signaalin taajuus Hz

$L$  = johtimen pituus m

Induktiivinen reaktanssi on suurimmillaan johtimien pituuksien ollessa samoja kuin  $\frac{1}{4}$  taajuuksia vastaavat aallonpituudet. Tästä johtuen  $\frac{1}{4}$ -taajuuden aallonpituisia kaapelointeja tulisi välttää, sillä silloin vastus kaapeloinnissa on suurimmillaan. Taajuuden aallonpituus  $\lambda$  lasketaan kaavalla 2.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

missä

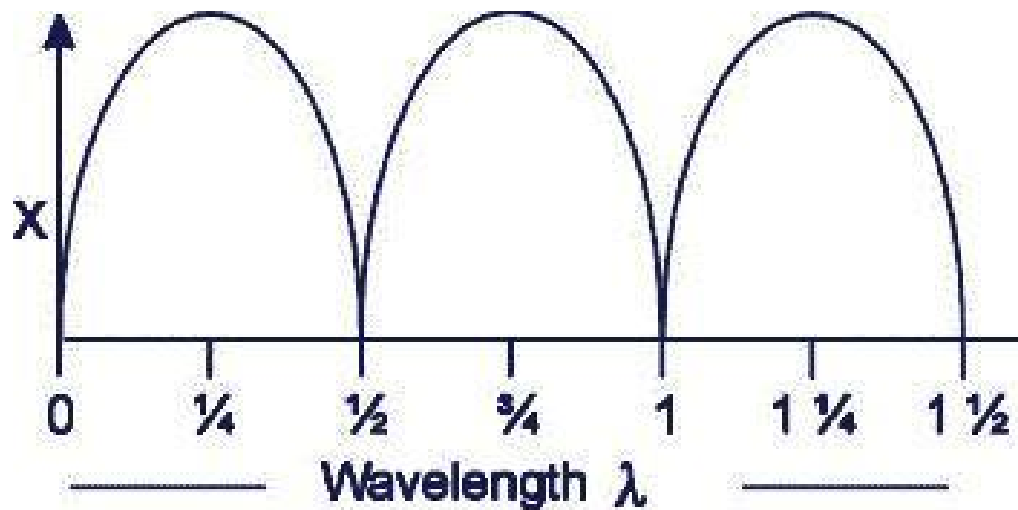
$c$  = valonnopeus tyhjiössä m/s

$f$  = signaalin taajuus Hz

Tästä kaavasta saadaan johdettua ei-toivotun kaapeloinnin pituus jakamalla taajuuden aallonpituus neljällä kaavassa 3.

$$\frac{1}{4}\lambda = \frac{c}{4f} \quad (3)$$

Veneissä käytettävissä VHF-radioissa käytetään taajuuksia 156–162 MHz. Näin ollen esimerkiksi taajuuden 156,8 MHz  $\frac{1}{4}$  aallonpituus on noin 1,9 m. (Järvinen, haastattelu 25.1.2019) Kuvassa 2 esitetään reaktanssin suhdetta aallonpituuteen. (Radio works, n.d)



**Figure 1**  
**Reactance vs Wavelength**

Kuva 2. Reaktanssin suhde aallonpituuteen (Radio works, n.d).

Antennit tarvitsevat maapotentiaalin toimiakseen tehokkaasti. Veneessä antenna ei pystytä asentamaan suoraan maahan, joten niiden alle on tehtävä maataso. Maataso on sähköä johtava taso, mutta sen ei välttämättä tarvitse olla yhtenäinen, vaan se voidaan toteuttaa useammalla johtimella, jotka ovat säteittäin antennista. Maatason pitäisi olla halkaisijaltaan vähintään neljäsosa antennin käyttämän taajuuden aallonpituudesta ja sen tulisi olla 90 asteen kulmassa antenniin nähden, jolloin antennin RF-energia on ehtinyt hävitä maatasoon. Maataso maadoitetaan maatason kulumasta veneen maadoituselektrodin kautta veteen. Jos maataso on liian pieni tai maadoitus tapahtuu liian läheltä antenna, maadoitusjohdin voi muuttua osaksi antenna. Jos antennina toimivan johtimen läheisyydessä kulkee muiden laitteiden kaapeleita, voi niihin tulla häiriösignaaleja. (Järvinen, haastattelu 25.1.2019)

Maadoituskytkentöjen tulisi olla mahdollisimman lyhyitä, jotta korkeataajuuksinen impedanssi olisi mahdollisimman pieni ja signaali johtuisi mahdollisimman hyvin maahan. Maadoituskytkennöissä tulisi myös olla pieni induktanssi ja liitäntöjen tulisi olla korroosiota ja tärinää kestäviä. (Järvinen, haastattelu 25.1.2019)

#### 4.4 Maasilmukka

Jos laite maadoittuu useammasta pieni-impedanssisesta pisteestä, maapotentiaaliin syntyy maasilmukka. Maasilmukka käyttäytyy kuin luoppiantenni, joka vastaanottaa signaaleita. Pienistäkin sähkökentistä voi induktoitua hyvin suuria virtoja. Maasilmukoiden syntyminen halutaan estää, sillä ne aiheuttavat merkittäviä häiriöitä ääni-, kuva- ja tietokonejärjestelmiin.

Maasilmukoiden ehkäisyyn ja poistamiseen on useampia tapoja:

- maayhteyden katkaiseminen kahden laitteen väliltä
- vastuksen lisääminen laitteiden välille
- galvaanisen erottimen lisääminen laitteiden välille

Valittaessa sopivaa ratkaisua tulee ottaa huomioon piirin tarpeet ja toteutuskelpoisuus. (Robinson, n.d)

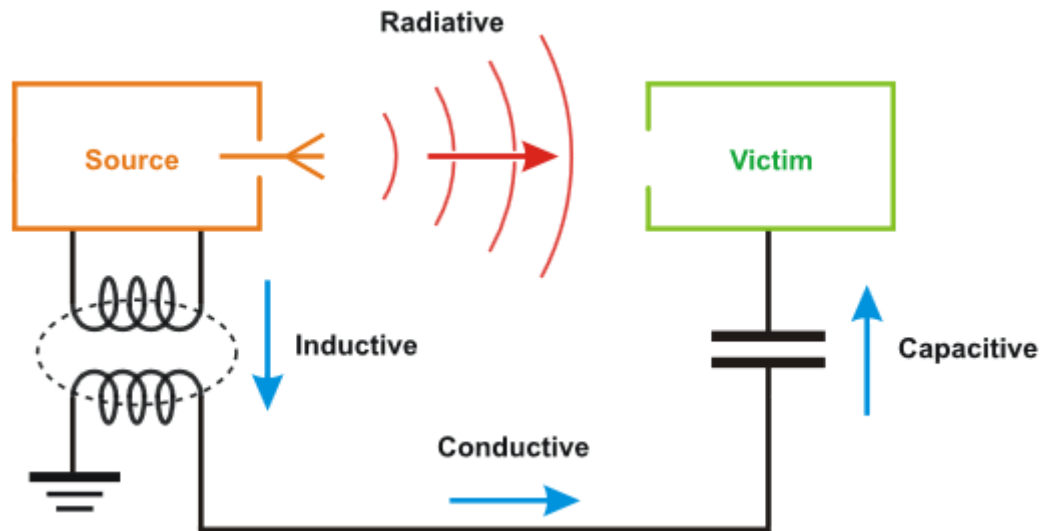
#### 4.5 Sähkömagneettinen yhteensopivuus

Kun matkapuhelin on vanhan suojaamattoman kaiuttimen läheisyydessä, saapuva puhelu induktoi häiriötä kaiuttimeen. Tätä kutsutaan sähkömagneettiseksi häiriöksi. Häiriö johtuu kaiuttimen huonosta sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta (Electromagnetic compatibility eli EMC). EMC:llä tarkoitetaan elektronisen laitteen tai järjestelmän kykyä toimia luotettavasti luonnollisessa toimintaympäristössään. Veneisiin suunnitellut elektroniset järjestelmät ja laitteet ovat yleensä jo valmiiksi suunniteltu toimimaan luotettavasti niille luonnollisessa toimintaympäristössään. Niiden valmistuksessa on huomioitu, että veneissä on kosteutta ja vesiroiskeita, tärinää ja lämpötilavaihteluita.

Häiriöiden kytkeytyminen voidaan jakaa neljään päätyyppiin niiden kytkeytymistavan mukaan:

- säteilevä kytkeytyminen
- induktiivinen kytkeytyminen
- kapasitiivinen kytkeytyminen
- johtuva kytkeytyminen

Säteilevä häiriö on lähtöisin yleensä korkeataajuuksisista antenneista, joita käytetään radioiden lähetyksiin (Ott, 2009, s. 546). Induktiivinen häiriö syntyy, kun johtimen sisällä kulkeva virta tekee nopeita muutoksia ja aikaansaa magneettikentän. Tämä magneettikenttä aiheuttaa induktiivista häiriötä. Silmukat johdotuksissa toimivat kelana, joka kerää nämä magneettikentän muutokset. (Ott, 2009, s. 52) Kapasitiivinen häiriö tapahtuu, kun suojaamattomat korkea impedanssiset johtimet ovat toistensa läheisyydessä. Ne toimivat kuin kondensaattorit lähettäen häiriötä läheisiin johtimiin sähkökentän välityksellä. (Ott, 2009, s. 45) Johtuvat häiriöt johtuvat huonosti suunnitellusta maadoituksesta tai väärin mitoitetusta johdotuksesta, sillä johtimet voivat johtaa häiriötä eteenpäin muihin laitteisiin (Ott, 2009, s. 31). Häiriöiden eri kytkeytymistavat on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Neljä eri häiriöiden kytkeytymistapaa (Sähkömagneettinen yhteensopivuus, 2020).

#### 4.6 Suojautuminen sähkömagneettisilta häiriöiltä

On kolme tapaa pienentää sähkömagneettisten häiriöiden tehoa:

- häiriön vaikutuksen lieventäminen
- suojautuminen häiriöltä
- katkaisemalla häiriön reitti

Sähkölaitteiden johdotuksella on tärkeä rooli niin kapasitiiviseen kuin induktiiviseenkin häiriöön. Monet häiriösuojaamattomat johdot reititettyinä toistensa läheisyyteen toimivat kuin kondensaattori toisilleen sallien häiriön siirtyä johtimesta toiseen. Suuret johtokiepit ovat induktiivisten häiriöiden kannalta suosiollisia. Kummastakin päästään maadoitettuja häiriösuojuuttuja kaapeleita tulisi käyttää niin usein kuin mahdollista häiriöiden minimoimiseksi, etenkin tärkeissä signaalikaapeleissa. (Ott, 2009, s. 44)

Jos laitteiden maadoitusjohtimia ei ole suunniteltu riittävän suurille kuormille, laitteiden maadoitus muodostuu heikoimmaksi lenkiksi. Hyvin suunniteltu maadoitus lepää vahvasti ammattitaitoon ja kokemukseen, koska maadoitustapoja on useita. Maadoituksen yleisimpiä ongelmia on liian pienet maadoitusjohtimet sekä huonot johtimien reititykset. Nämä johtavat usein näennäisesti satunnaisiin vikoihin laitteiden toiminnassa. (Ott, 2009, ss. 120 - 132)

Suodattimilla voidaan pienentää johtuvien häiriöiden vaikutuksia laitteisiin, jos häiriöiden taajuusalue on tiedossa. Toinen tapa pienentää häiriöitä on käyttää kondensaattoreita pienentämään virran vaihteluita transienttitapauksissa. Koteloinnilla on myös suuri merkitys häiriöiden pienentämisessä. Metallikuori voi toimia Faradayn häkkinä, joka eristää sähkökentät sisä- ja ulkopuolelleen. (Ott, 2009, ss. 174 - 179)

## 5 SUOJAUS SÄHKÖISKULTA

Sähkön tulee olla aina turvallista käyttää. Suojaus sähköiskuja vastaan vaatii sekä perussuojauksen että vikasuojauksen. Suojaus voi olla myös näiden yhdistelmä.

### 5.1 Perussuojaus

Perussuojauksella tarkoitetaan suojausta, jonka avulla estetään kosketaminen jännitteellisiin osiin sähkölaitteiden toimiessa normaalisti. Jännitteille alttiiden osien kotelointi on perussuojausta. Kotelointia käytettäessä jännitteisten osien suojaukseen tulee koteloinnin täyttää vähintään IP2X luokka kuivissa tiloissa ja IP4X luokka kosteissa tiloissa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006, ss. 77 – 78)

Perussuojausta voi olla myös se, että sähkölaitteet asennetaan pois kosketusetäisyydeltä. Esimerkiksi sähkölinjat ovat asennettu kosketusetäisyyden ulkopuolelle.

### 5.2 Vikasuojaus

Vikasuojauksella eli kosketusjännitesuojauksella tarkoitetaan suojausta, jonka avulla estetään koskettamasta vian seurauksena jännitteelliseksi tulleita johtavia osia. Vikasuojausmenetelmiä on useita, mutta yleisin käytetty menetelmä on syötön automaattinen poiskytkentä. Syötön automaattinen poiskytkentä on menetelmä, jossa estetään kosketus eristysvian aiheuttamaan korkeaan kosketusjännitteeseen niin pitkään että siitä aiheutuisi vaaraa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006, s. 81)

Jotta vikasuojaus toimisi oikein, tulee johtimille määrittää suurin sallittu pituus. Johtimien, joiden poikkileikkauspinta-ala on pienempi kuin 70 mm<sup>2</sup>, reaktanssi on niin pieni suhteessa resistanssiin, että impedanssin arvona voidaan pitää pelkästään resistanssin arvoa.

### 5.3 Pienoisjännitteet

Pienoisjännite on jännite, jonka suuruus on enintään 50 VAC tai 120 VDC. Pienoisjännitteen suojausteho perustuu siihen, että jännitteellistä osaa kosketettaessa henkilön kehossa ei kulje vaarallista virtaa. Pienen nimellisen jännitteen käyttö ei riitä, vaan on varmistuttava siitä, että järjestelmän jännite säilyy pienenä. Veneissä tämä on toteutettu käyttämällä akustoja jännitteen lähteenä. Akustot ladataan joko 12 vaihtovirtalatureilla tai maasähköllä akkulaturilla. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006, s. 69)

Pienjännitteiden kanssa tulee käyttää perussuojausta. Perussuojaus toteutetaan käyttämällä suojuksia, koteloita tai eristystä. Koteloinnin tulee estää jännitteellisiin osiin koskemisen sormella, eli täyttää IPXXB:n mukainen suojaus. IP2X täyttää tämän vaatimuksen. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006, s. 73)

Pienoisjännitteelle tarkoitettujen pistotulppien tulee olla sellaisia, että ne eivät sovi muiden jännitejärjestelmien pistorasioihin. Pistorasioiden tulee olla sellaisia, että ne eivät sovi muiden jännitejärjestelmien pistotulppiin.

Pienoisjännitejärjestelmiä on kolmea erityyppistä: SELV, PELV ja FELV. SELV-järjestelmien sähköiskulta suojaavat ominaisuudet perustuvat pienoisjännitteeseen sekä suojaeristykseen muista suurjännite-, pienjännite- ja FELV-piireistä. SELV-piirin jännite ei saa ylittää pienoisjännitteen arvoa normaalikäytössä eikä vikatilanteessa. SELV-järjestelmä on yhteydessä muihin sähköjärjestelmiin ainoastaan suojajännitemuuntajan välityksellä. Veneen sähköjärjestelmää voi pitää SELV-järjestelmänä, jos veneen sähköjärjestelmää ei maadoiteta. (Sähköinfo OY, 2019, s. 2)

PELV-järjestelmän sähköiskulta suojaavat ominaisuudet perustuvat pienoisjännitteeseen sekä suojaeristykseen muista suurjännite-, pienjännite- ja FELV-piireistä. PELV-piirin jännite ei saa ylittää pienoisjännitteen arvoa normaalikäytössä eikä vikatilanteessa. PELV-järjestelmän jännite saattaa nousta pienoisjännitteen raja-arvojen yläpuolelle muiden laitteiden maavikojen aikana. PELV-järjestelmä voidaan maadoittaa tarvittaessa. Tämä voidaan tehdä maadoittamalla jännitelähde suojajohtimella. Veneen sähköjärjestelmä on PELV, maasähköjärjestelmää lukuun ottamatta. (Sähköinfo OY, 2019, s. 4)

FELV-järjestelmää voidaan käyttää, jos ei tarvita pienoisjännitteen perustai vikasuojaa, vaan pienoisjännitettä tarvitaan ainoastaan toiminnallisista syistä. (Sähköinfo OY, 2019, s. 7)

#### 5.4 Suojausluokat

Sähkölaitteiden suojausluokkia on viisi ja ne on merkitty tunnuksilla 0, 0I, I, II ja III. 0-luokan sähkölaitteet ovat peruseristettyjä ja niiden verkkoliitäntäjohtossa on kaksi johdinta. 0-suojausluokanlaite on tarkoitettu käytettäväksi kuivassa sisätilassa. Mikäli laite on varustettu sähköä johtavalla kuorella, voi laite vikaantuessaan olla hengenvaarallinen. (Sähköinfo Oy, 2019, s. 108)

I-luokan sähkölaitteet ovat peruseristettyjä ja suojamaadoitettuja. Peruseristys estää koskettamisen jännitteellisiin osiin ja maadoitus suojaa laitteen vikaantuessa. I-luokan laitteet tulee kytkeä suojamaadoitettuun pistorasiaan ja niitä valmistetaan sisä- ja ulkokäyttöön. (Sähköinfo Oy, 2019, s. 109)

II-luokan sähkölaitteet ovat kaksoiseristettyjä tai vahvistetulla eristyksellä varustettuja. Laitteen sähköiset osat ovat suojattu peruseristyksellä ja niissä on lisäeristys, joka antaa suojaa peruseristyksen rikkoontuessa. Tämä voidaan toteuttaa muun muassa valamalla laite sähköä johtamattomaan aineeseen. II-luokan laitteet eivät tarvitse maadoitettua pistorasiaa ja niitä valmistetaan sekä ulko- että sisäkäyttöön. (Sähköinfo Oy, 2019, s. 110)

III-luokan sähkölaitteet ovat pienoisjännitteellä toimivia. Luokan sähkölaitteet toimivat joko muuntajan avulla tai ovat akkukäyttöisiä. Jos pienoisjännitejärjestelmä on SELV niin silloin laitetta ei saa maadoittaa, PELViä käytettäessä laite voidaan maadoittaa tarvittaessa. (Sähköinfo Oy, 2019, s. 111)

## 6 JOHTIMET

Johtimet kuljettavat virtaa ja signaaleja laitteelta toiselle. Eri laitteiden ominaisuudet asettavat omat vaatimuksensa johtimille. Johtimien eristeen ominaisuuksiin vaikuttaa muun muassa käytettävä jännite ja asennusympäristö.

### 6.1 Värit

Standardeissa SFS-EN ISO 10133:2017 (SFS-EN ISO 10133/2017, ss. 10 – 11) ja SFS-EN ISO 13297 (SFS-EN ISO 13297/2015, ss. 9 – 10) määritetään johtimien värit. Jos veneessä käytetään ainoastaan tasavirtajärjestelmää, miinusjohtimen värinä voidaan käyttää joko keltaista tai mustaa. Vaihtovirtajärjestelmässä vaihejohtimen väri on joko musta tai ruskea ja nollajohtimen väri on valkoinen tai vaaleansininen. Kun käytössä on sekä tasavirta-että vaihtovirtajärjestelmä, on tasavirtapuolella käytettävä keltaista johdinta miinusjohtimena. Suojajohtimen värinä tulee käyttää joko vihreää tai keltavihreää. Missään tapauksessa vihreää tai keltavihreää johdinta ei saa käyttää virtaa kuljettavana johtimena.

Standardissa ei ole määritelty tasavirtajärjestelmän plusjohtimen väriä, mutta veneissä yleisesti on käytetty plusjohtimena punaista johdinta. Standardin mukaan se voi kuitenkin olla merkitty myös jollakin mulla menetelmällä kuin värillä, jos se on selvästi merkitty aluksen johdotuskaavioon. Tällaisia merkintätapoja voi olla esimerkiksi johtimien numerointi. Tulen mahdollisen vianetsinnän kannalta on kuitenkin suositeltavaa, että käytetään plusjohtimen värinä punaista ja että se on yksilöllisesti merkitty sekä kaapeliin että johdotuskaavioon esimerkiksi numerolla.



## 6.2 Ominaisuudet

Johtimien ominaisuuksista standardit määrittävät, että on käytettävä säikeisiä kuparijohtimia. Suojaavan johtimen poikkileikkauspinta-alan tulee olla vähintään yhtä iso kuin virtaa kuljettavan johtimen aina 16 mm<sup>2</sup> asti. 50 prosenttia 16 mm<sup>2</sup> ylittävän johtimen poikkileikkauspinta-alasta, kuitenkin suojajohtimen tulee olla vähintään 16 mm<sup>2</sup>. Johtimien tulee olla eristettyjä ja eristeen tulee olla paloa levittämätöntä. Veneen konehuoneessa kulkevien johtimien ja kaapelien eristekerroksen tulee kestää öljyä ja niiden lämpötilaluokka tulee olla vähintään + 70 °C. (SFS-EN ISO 10133/2017, ss. 10 – 11; SFS-EN ISO 13297/2015, ss. 9 – 10)

Johtimien poikkileikkauspinta-ala tulee olla riittävä kuljettamaan virtaa sisällään. Johtimien mitoitus on suoritettava siten, että yli 10 % jännitteenalenemaa ei pääse syntymään normaaleilla sähkölaitteilla. Standardissa on erikseen määritetty, että veneiden tietyillä laiteilla tai laiteryhmillä jännitteenalenema ei saa ylittää kolmea prosenttia. Pilssipumput, navigointivalot ja keskuksien syöttöjohdot ovat tällaisia laitteita. Jännitteenalenema voidaan laskea seuraavalla kaavalla 4.

$$E = \frac{0,0164 \times I \times l}{S} \quad (4)$$

missä:

E = jännitteenalenema

I = johtimessa kulkeva virta

l = johtimen pituus virtalähteestä laitteeseen ja takaisin

S = johtimen poikkipinta-ala neliömillimetreinä

Liitteessä 1 on esitetty johtimen maksimivirtamäärä johtimen eri lämpötilaluokan mukaan sekä johtimen säikeiden minimimäärä.

## 6.3 Häiriösuojaus

Kaapelissa kulkevat varaukset voivat aiheuttaa häiriöitä ympäröiville laitteille tai ympäröivät laitteet voivat aiheuttaa häiriöitä kaapelissa kulkevaan signaaliin. Kaapeli voidaan varustaa häiriönpoistopunoksella tai alumiinifoliolla. Kuvassa 4 näkyy kaapeli, jossa on kaksi erilaista häiriönsuojaa: alla on alumiinifolio, jonka päällä on tinatusta kuparista valmistettu punos. (Shielded Cable: When To Use, 2013)



Kuva 4. Häiriösuojattu kaapeli (Shielded Cable: When To Use, 2013).

Punomalla valmistettu suoja on helppo jatkaa liittimeen ja se kestää hyvin taivuttamista. Punoksen käyttäminen kuitenkin lisää kaapelin hintaa ja nostaa kaapelin painoa. Punoksessa olevat aukot päästävät pienellä aallonpituudella varustetut signaalit lävitseen, joten se ei sovellu korkeataajuuksisten häiriösignaalien torjuntaan. Punotulla sukalla päästä noin 90% suojaustasoon. Punoksia voi olla useampia päällekkäin, jolloin niiden peittoalue kasvaa. (Shielded Cable: When To Use, 2013)

Foliosta valmistettu suoja on yhtenäinen, joten se antaa kaapelille 100 % suojan häiriöitä vastaan. Folion käyttäminen häiriösuojauksessa ei lisää kaapelin painoa tai hintaa yhtä paljon kuin punottu suoja. Ohuen folion liittäminen liittimeen on haastavaa ja kaapelin taipuessa paljon voi ohut foliokerros repeytyä. (Shielded Cable: When To Use, 2013)

Kaapelin sisällä voi olla sisäistä häiriösuojauksia, esimerkiksi parikierrettyjen johtimien ympärillä voi olla oma häiriösuojauksensa. Tällä pyritään estämään kaapelin sisäisiä johtimia häiritsemästä toisiaan. Kaapelissa voi myös olla sekä ohut folio, jonka päällä on punos. Kuvassa 5 on kaapeli monella eri suojauskerroksella. (Shielded Cable: When To Use, 2013)



Kuva 5. Häiriösuojattukaapeli (Twentsche Kabelfabriek, n.d.).

## 7 VIRTAPIIRIEN EROTTAMINEN

Virtapiirejä on syytä erottaa toisistaan useastakin eri syystä, niitä voi olla häiriöiden lievittäminen tai toisistaan poikkeavat jännitteet. Virtapiirien erottamiseen on monta erilaista tapaa, joista tulee valita tarpeeseen sopiva.

### 7.1 Galvaaninen erotin

Galvaanista erotinta käytetään erottamaan eri piirit sähköisesti toisistaan. Yleisin tapa tämän toteuttamiseen on käyttää muuntajaa. Jos muuntajan ensiö- ja toisiopuoli eivät ole galvaanisesti yhteydessä toisiinsa, saadaan aikaan galvaaninen erotus. Toinen mahdollinen tapa on käyttää kondensaattoreita. Kondensaattori pysäyttää tasavirran, mutta laskee

vaihtovirran lävitseen. Kondensaattoreilla voidaan toteuttaa galvaaninen erotus muun muassa antennijärjestelmissä, joissa on korkeataajuuksisia signaaleita. Optoerotin on yksi tapa erottaa signaaleita galvaanisesti toisistaan. Optoerottimessa signaali kulkee optisesti piiristä toiseen. (All about circuits, 2016)

Radioiden antennikaapeleihin asennettavat galvaaniset erottimet erottavat antennin maapotentiaalin radion maapotentiaalista. Galvaanisilla erottimilla voidaan estää galvaanista korroosiota, joka johtuu vuotovirroista, sekä estää maasilmukoista johtuvia häiriöitä. Eri tilanteissa galvaanisen erottimen sisäiset komponentit ovat erilaisia. Kuvassa 6 on antennikaapeleihin liitettävä galvaaninen erotin. (Järvinen, haastattelu 25.1.2019)



Kuva 6. Antennin galvaaninen erotin (Promarine, 2019).

Maasähköjärjestelmässä galvaaninen eristin tulee asentaa tarvittaessa ensimmäiseksi komponentiksi maasähköpistorasialta tulevaan maadoitusjohtimeen. Galvaaninen eristin suojaa vuotovirtojen aiheuttamalta korroosiolta. Se asennetaan sarjaan suojamaajohdon kanssa. Tällaista galvaanista eristintä kutsutaan zinc saveriksi. Zinc saver on rakenteeltaan kaksi vastakkaisiin suuntiin asetettu diodia, jolloin virta pääsee kulkemaan kumpaankin suuntaan, mutta diodin kynnyksjännite estää pienten jännitteiden kulun. Galvaanisen eristimen tulee olla rakenteeltaan sellainen, että vikaantuessaan se ei saa estää virran kulkua lävitseen (SFS-EN ISO 13297/2015, s. 5). Kuvassa 7 on Victron Energyn valmistama galvaaninen eristin. (Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus STEK ry, 2019, s. 35)



Kuva 7. Galvaaninen eristin. (Victron Energy, 2020).

## 7.2 Suojaerotusmuuntaja

### 7.2.1 Muuntaja

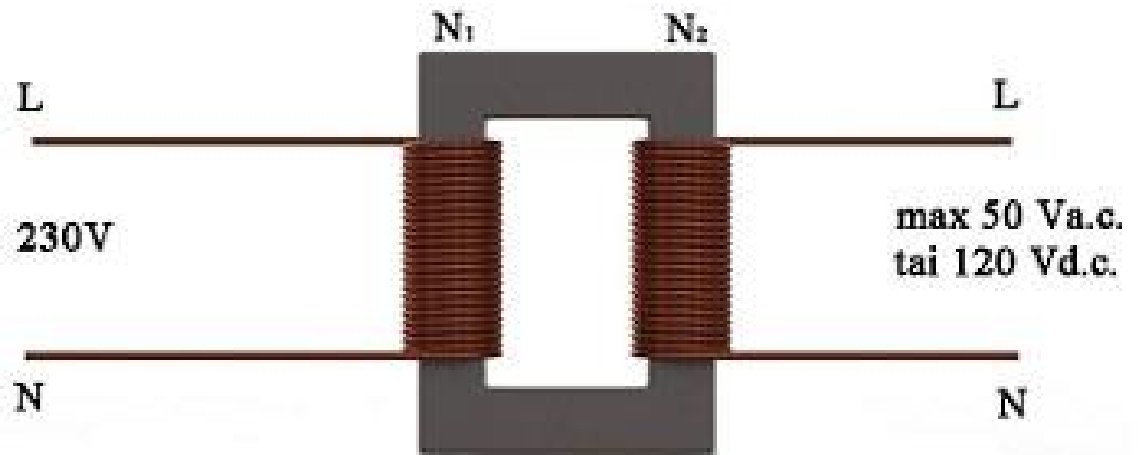
Muuntaja on vaihtosähköllä toimiva sähkökone, jolla on hyvin yksinkertainen rakenne. Se koostuu ensiö- ja toisiokäämeistä, jotka on asennettu samalle rautasydämelle. Muuntajassa ei ole lainkaan liikkuvia osia. (Aura & Tonteri, 1996, s. 7)

Muuntajat voidaan jakaa tehtäviensä perusteella kolmeen eri ryhmään: voima-, mitta- ja suojamuuntajiin. Voimamuuntajia käytetään sähköenergian siirron tarpeisiin, muuntamaan jännite  $U_1$  jännitteeksi  $U_2$ . Mittamuuntajien, jotka jaetaan jännite- ja virtamuuntajiin, tehtävänä on muuntaa jännite tai virta mittalaitteille tai releille sopivaksi. Suojamuuntajan tehtävä on eristää sähkölaite yleisestä sähköverkosta. (Aura & Tonteri, 1996, s. 7)

### 7.2.2 Muuntajan toimintaperiaate

Muuntajalla pystytään muodostamaan induktiivinen kytkentä kahden virtapiirin välille. Kuvassa 8 nähdään yksivaiheisen muuntajan rakenne. Se koostuu ensiö- ja toisiokäämistä, jotka on asennettu samalle rautasydämelle. Teho siirtyy käämistä toiseen keskinäisinduktanssin ansiosta lähes häviöttömästi. Kun ensiökäämille tuodaan virta  $I_1$ , synnyttää se rautasydämeen muuttuvan magneettivuon  $\Phi$ . Tämän seurauksesta toisiokäämiin indusoituu jännite  $U_2$ , joka synnyttää toisiopiiriin virran  $I_2$ . Toisiokäämiin siirtynyt teho on yhtä suuri kuin ensiökäämiin syötetty teho, jos oletetaan,

että muuntajan tehohäviöt ovat mitättömän pienet. (Aura & Tonteri, 2009, s. 269)



Kuva 8. Muuntaja rakennekuva (Intertrafo Oy, n.d.a).

Muuntajan ensiökäämiin indusoituvan jännitteen tehollisarvo sinimuotoiselle jännitteelle on määritetty kaavassa 5.

$$E_1 = \frac{\hat{e}_1}{\sqrt{2}} = \frac{\omega N_1 \hat{\Psi}_m}{\sqrt{2}} = \frac{2 \times \pi \times f \times N_1 \times \hat{\Psi}_m}{\sqrt{2}} = 4,44 \times f \times N_1 \times \hat{\Psi}_m \quad (5)$$

missä

$\hat{e}_1$  = jännitteen huippuarvo

$\omega$  = kulmanopeus

$N_1$  = ensiökäämin kierrosten lukumäärä

$\hat{\Psi}_m$  = käämivuo

$f$  = vuon taajuus

Muuttuva vuo lävistää toisiokäämiin, jolloin siihen indusoituu oma jännite. Indusoituvan jännitteen tehollisarvo on kaavan 6 mukainen.

$$E_2 = \frac{\hat{e}_2}{\sqrt{2}} = \frac{\omega N_2 \hat{\Psi}_m}{\sqrt{2}} = \frac{2 \times \pi \times f \times N_2 \times \hat{\Psi}_m}{\sqrt{2}} = 4,44 \times f \times N_2 \times \hat{\Psi}_m \quad (6)$$

Ensiö- ja toisiojännitteiden kaavojen perusteella voidaan laskea jännitteen muuntosuhde kaavalla 7.

$$\mu = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4,44 \times f \times N_1 \times \hat{\Psi}_m}{4,44 \times f \times N_2 \times \hat{\Psi}_m} = \frac{N_1}{N_2} \quad (7)$$

Täten muuntajan muuntosuhde määräytyy käämien kierroslukujen perusteella. (Hietalahti, 2011, s. 13)

Muuntajan avulla voidaan syötetyn jännitteen huippuarvoa säätää pienemmäksi tai suuremmaksi. Muutetun jännitteen taajuus pysyy samana. Muuntajan muuntosuhde  $\mu$  ilmaisee ensiö- ja toisiokäämien jännitteiden suhdetta, ja se on yhtä suuri kuin johdinkierrosten lukumäärien suhde. (Suvanto & Laajalehto, 2011, s. 339)

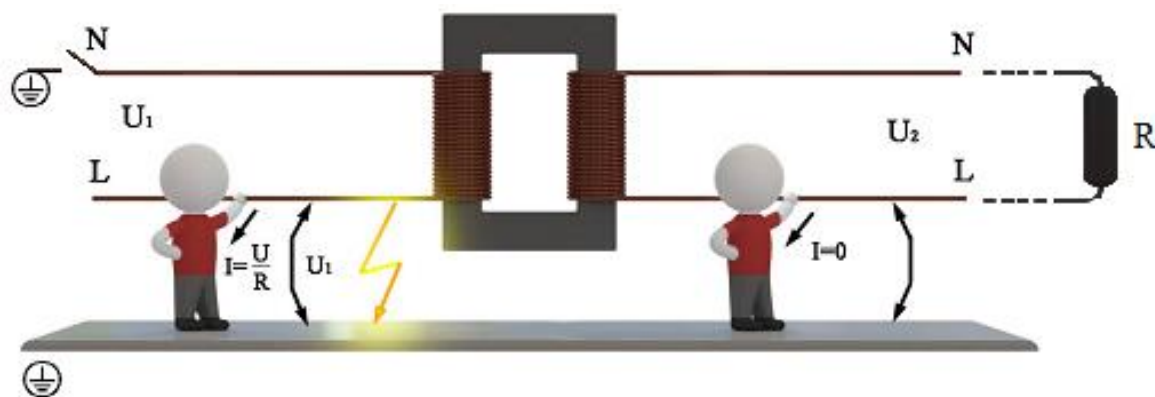
### 7.2.3 Suojaerotusmuuntaja

Suojaerotusmuuntaja on samanlainen kuin mikä tahansa tehomuuntaja, mutta se toimii 1:1 muuntosuhteella. Sen ensiö- ja toisiokäämit on galvaanisesti erotettu toisistaan. Peruseristysten lisäksi käämien välillä on lisäsuoja, jolla luodaan tarvittava eristystaso.

Suojaerotusmuuntajan tarkoituksena on erottaa kaksi piiriä toisistaan. Niissä on symmetriset käämitykset ensiö- ja toisiopuolella, jotka mahdollistavat vaihtojännitteisen tehon syötön ilman sähköistä kytkentää. Tämä galvaaninen erotus perustuu siihen, että estetään varauksellisten partikkelien liikkuminen toiselta käämiltä toiselle, toisin sanoen suoraa virran virtausta ei tapahdu käämien välillä. Teho voidaan kuitenkin siirtää muuntajassa keskinäisinduktanssin avulla ja kytkentä tapahtuu muuttuvan magneettivuon kautta.

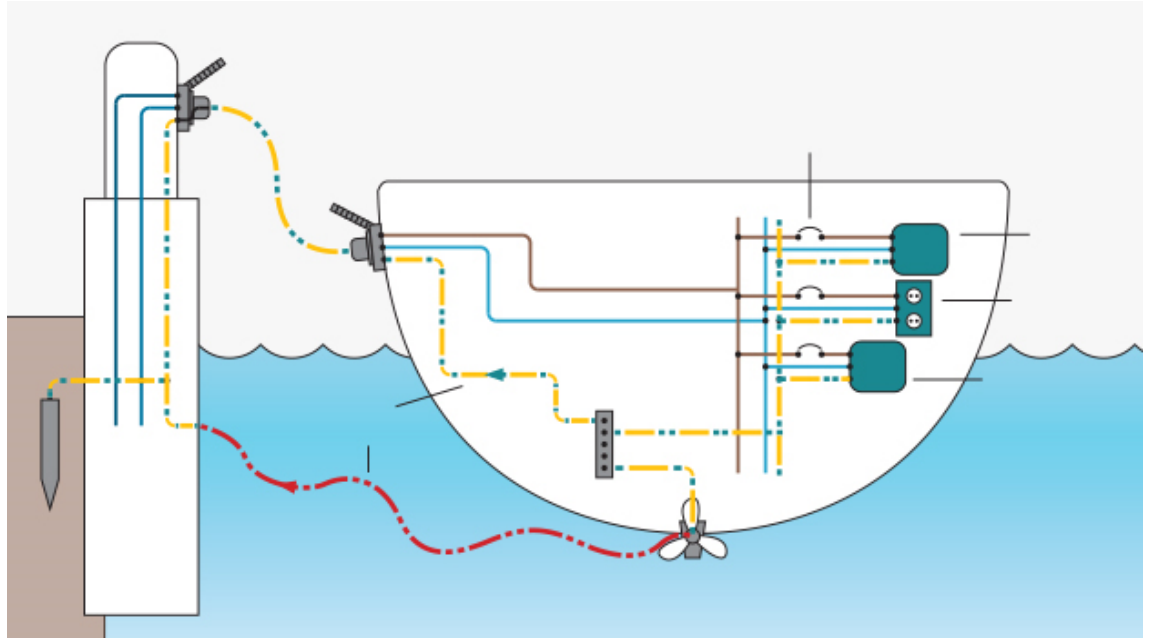
Standardi IEC 61558-2-4 (IEC 61558-2-4/2009, s. 9) käsittelee suojaerotusmuuntajiin liittyviä erityisvaatimuksia. Siinä vaaditaan, että ensiö- ja toisiopiirien välille ei saa syntyä sähköistä kytkentää muuten kuin tahallisen toiminnan kautta. Ensiö- ja toisiokäämien välisen eristysten tulee kestää vähintään nimellisen käyttöjännitteen.

Kuvassa 9 on esitetty suojaerotusmuuntajan toimintaperiaate. Kuvan vasemmalla puolella on syöttävä sähköverkko henkilön tullessa kosketuksiin jännitteeseen osaan (L), esimerkiksi vioittuneeseen sähkölaitteeseen. Henkilön ollessa samalla yhteydessä vahvaan maapisteeseen, kulkee hengenvaarallinen virta ruumiin läpi. Laitteen ollessa erotettuna sähköverkosta suojaerotusmuuntajalla, ei muuntajan toisiopuolella ole enää yhteyttä maapisteeseen. Tässä tapauksessa ei ole enää mahdollista saada sähköiskua jännitteisestä osasta (L). Täytyy kuitenkin muistaa, että jos koskettaa toisiopuolella olevia molempia johtimia (L ja N), saa yhä yhtä vaarallisen sähköiskun, koska niiden välillä vallitsee sama potentiaaliero kuin sähköverkossakin. (Intertrafo Oy, n.d.a)



Kuva 9. Suojaerotusmuuntajan toiminta (Intertrafo Oy, n.d.b).

Veneissä suojaerotusmuuntajaa käytetään muun muassa suojaamaan alusta vuotovirtojen aiheuttamalta galvaaniselta korroosiolta. Kuvassa 10 näkyy, kuinka veneen ja sataman välille voi muodostua sähköinen yhteys, joka syövyttää veneen metalliosia. Suojaerotusmuuntajalla voidaan katkaista virtapiiri sataman ja veneen väliltä. (Mastervolt, n.d.)



Kuva 10. Sähköinen yhteys veneen ja sataman välillä (Mastervolt, n.d.).

### 7.3 Vikavirtasuojakytkin

#### 7.3.1 Vikavirtasuojan tarkoitus

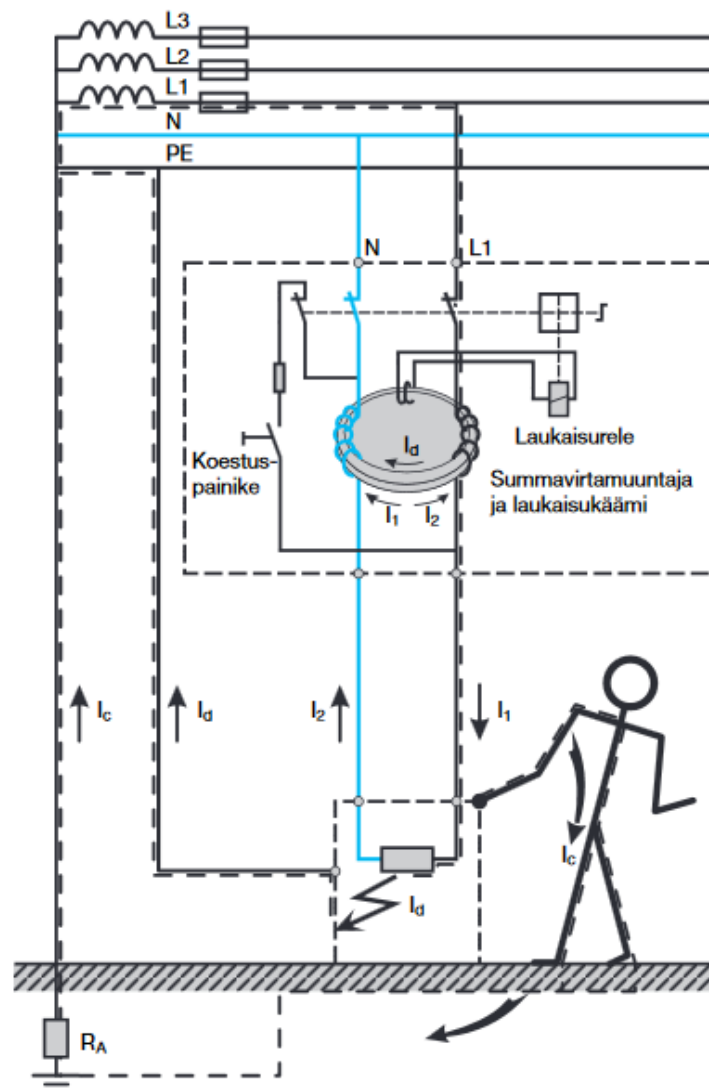
Vikavirtasuoja on kehitetty suojaamaan ihmisiä ja eläimiä jännitteisten osien suoralta ja epäsuoralta koskettamiselta. Koska näin valvotaan myös eristysvikoja, toimii vikavirtasuoja myös eräänlaisena palosuojana. Se rajoittaa maahan menevän vikavirran. Riski vaaralliseen kosketusjännitteeseen rajoitetaan automaattisella poiskytkennällä. Poiskytkentä toimii alle 0,2 sekunnissa. (UTU oy, n.d.)

Vikavirtasuojien mitoitusvirrat voivat olla 10, 30, 100, 300 tai 500 mA. Vikavirtasuojia löytyy sekä yksi- että kolmivaiheisena sekä varustettuna erikokoisilla ylivirtasuojilla.

#### 7.3.2 Vikavirtasuojan toiminta

Kuvassa 11 on esitetty vikavirtasuojan toimintaa. Vikavirtasuojassa oleva summavirtamuuntaja mittaa siihen kytkettynä olevassa virtapiirissä kuorma- ja palaavan virran summaa suuntineen. Mikäli summavirta poikkeaa mitoitusvirrasta, avautuu vikavirtasuojan koskettimet ja

suojattuna ollut ryhmä tulee jännitteettömäksi. Kuvassa viallinen sähkölaite aiheuttaa vikavirtaa  $I_d$ . Jos vikavirran määrä on suurempi kuin mitoitustointavirta, vikavirtasuoja laukeaa.



Kuva 11. Vikavirtasuojan toiminta (UTU oy, n.d.).

Vikavirtasuojan tehtävä on katkaista virta nopeasti jo pienestä vikavirrasta. Vikavirtasuojan nopea toiminta mahdollistaa sen, että sähköiskun vaikutuksesta ei ennätä syntyä hengenvaarallista vauriota ihmiselle tai eläimelle. Vikavirtasuojia havaitsee virran siirtymisen halutusta virtapiiristä, mutta se ei reagoi virran suuruuteen virtapiirin sisällä. Johdonsuojat reagoi vain virran suuruuteen suojaamassaan johtimessa riippumatta siitä kulkeeko virta halutussa virtapiirissä tai ei. (Eaton, 2017, ss. 5 – 10)

Standardissa ISO 13297:2014 (ISO 13297/2014, s. 8) sanotaan, että kaikki vaihtovirtalähteet on suojattava vikavirtasuojalla. Veneessä voi olla useita vaihtovirtalähteitä, mutta käytössä saa olla kerrallaan vain yksi. Virtalähteiden välillä on oltava verkonvalintakytkin. Vikavirtasuojan mitoitustointavirran suurin arvo saa olla 30 mA ja toiminta-aika maksimissaan



100 ms. Jos veneeseen asennetaan suojaerotusmuuntaja, on vikavirtasuojan oltava ennen ja jälkeen suojaerotusmuuntajaa.

## 8 KORROOSIOSUOJAUS

Metallien syöymistä luonnonolosuhteiden vaikutuksesta kutsutaan korroosioksi. Kun malmista pelkistetään metallia, se sitoo energiaa. Tästä syystä metallit eivät pelkisty luonnossa itsestään. Energiaa vapauttavat kemialliset reaktiot puolestaan tapahtuvat luonnossa helposti. Metallin hapettumisreaktio eli korrosio on tällainen energiaa vapauttava reaktio. Metalleja uhkaakin usein korrosio luonnonolosuhteiden vaikutuksesta. (Happonen, Heinonen & Muilu, 2012, s. 30)

Korroosiota kiihdyttää kosteus ja etenkin suolavesi toimii erinomaisena elektrolyytinä. Veneympäristössä tämä on ongelmallista, sillä veneet toimivat omassa funktiossaan ollessaan juuri vedessä ja merissä vesi on aina enemmän tai vähemmän suolaista. Veneissä on paljon tärkeitä metalliosia, jotka hapettuvat ilman asianmukaista suojausta.

### 8.1 Suoja-anodi

Kahden metallin joutuessa kosketuksiin toistensa kanssa, niiden liitoskohta on erityisen herkkä korroosiolle. Korroosioherkkyyden aiheuttaa metallien välille syntyvä sähkökemiallinen pari, jonka seurauksena metalleista epäjalompi syöpyy. Veneissä tämä ilmiö aiheuttaa ongelmia, koska veneissä on paljon metallisia komponentteja, jotka usein ovat myös yhteydessä toisiinsa. Erityisen ongelmallisen asiasta tekee se, että veneitä käytetään vedessä, joka toimii elektrolyytinä ja näin ollen kiihdyttää korroosiota. (Happonen ym., 2012, s. 31)

Veden elektrolyyttiominaisuuden takia vedenpinnan alapuolella olevat veneen metalliset komponentit kärsivät huomattavasti paljon enemmän korroosiosta verrattaessa vedenpinnan yläpuolisiin osiin. Veneen käytön kannalta korroosion ongelmat vedenpinnan alla ovat vaikeammin sekä havaittavissa että korjattavissa. (Venealan Keskusliitto Finnboat ry, 2016) Korroosionestossa voidaan käyttää hyväksi kahden metallin erilaista reaktioherkkyyttä. Jos samassa sähköä johtavassa liuoksessa on kaksi erilaista metallia, niistä epäjalompi syöpyy eli toimii uhrimetallina. Metalliparista uhrimetalli alkaa syöpyä ja suojattava metalli säästyy näin itse hapettumiselta. (Happonen ym., 2012, s.32)

Veneessä uhrimetallia sanotaan suoja-anodiksi. Asentamalla veneeseen kuluvia suoja-anodeja suojataan veneen tärkeitä metalliosia korroosiolta. Tällaisia tärkeitä metalliosia on muun muassa veneen runko (jos se on

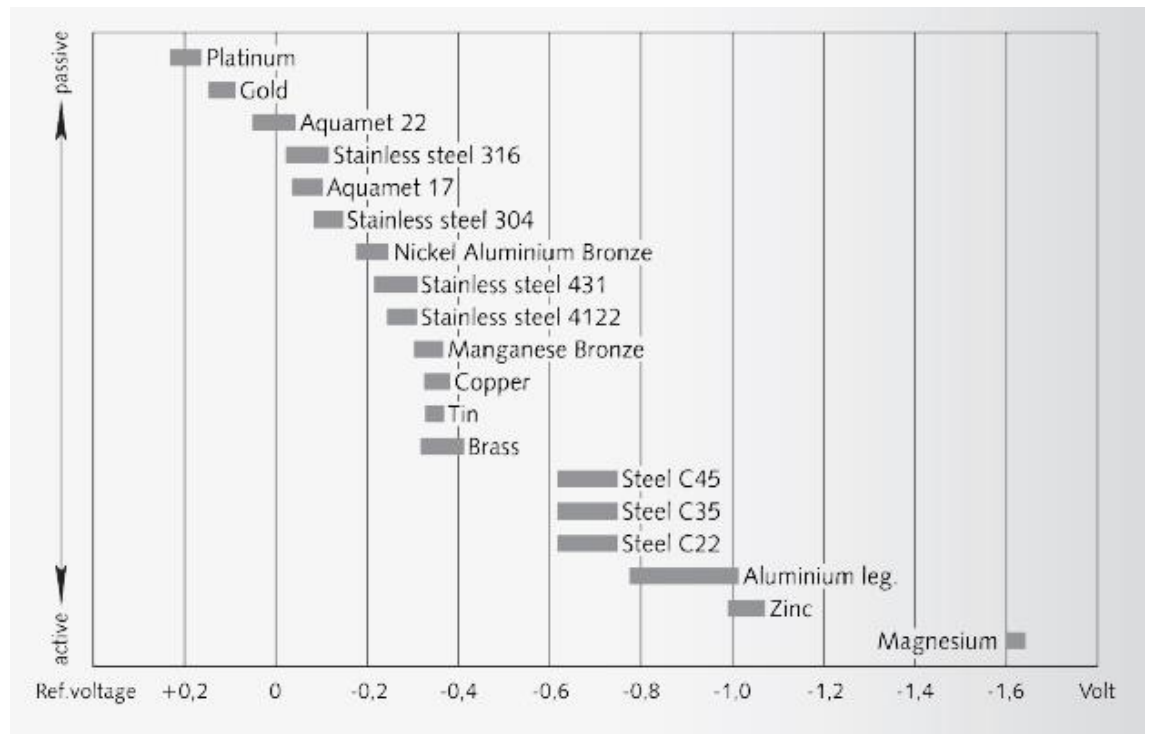
metallia) ja moottorilta tehoa veteen siirtävät vetolaitteet. Vetolaitteissa on eri metalleista valmistettuja komponentteja, kuten akseli, vetolaitteen runko ja potkuri tai impelleri, jotka veneen ollessa käytössä ovat vedessä ja vaativat suojausta korroosiolta. (Venealan Keskusliitto Finnboat ry, 2016)

## 8.2 Suoja-anodien koostumus ja ominaisuudet

Anodeja valmistetaan eri metalleista ja niiden seoksista. Anodin valintaan vaikuttavat suojattavat metallit sekä veden laatu. Merivedessä suositellaan käyttämään sinkkianodeja, murtovedessä alumiinianodeja ja makeassa vedessä magnesiumianodeja. (Venealan Keskusliitto Finnboat ry, 2016)

Veneen vetolaite sisältää itsessään erilaisia metalleja, jolloin syntyy metallipareja. Vetolaitetta suojataan korroosiolta maalaamalla sekä asentamalla suoja-anodeja. Merivesi, joka johtaa hyvin sähköä, aiheuttaa suojaamattomille metallipinnoille korroosiota. Metallista veneen runkoa on vaikea suojata täydellisesti maalaamalla, joten siihen tulee asentaa suoja-anodeja. Moottorit ottavat käytön aikana jäähtyäkseen meri-/järvivettä, joten moottoria suojataan laittamalla siihen suoja-anodeja (Venealan Keskusliitto Finnboat ry, 2016)

Metallit voidaan luetteloida niiden reagoitiherkkyiden perusteella sarjaan, jossa ilmenee eri metallien välinen jännite-ero. Jos kaksi eri metallia ovat kosketuksissa toisiinsa sähköä johtavassa liuoksessa, metallien väliltä voidaan mitata jännite. Mitä kauempana metallit ovat toisiaan metallien jännitesarjassa, sitä suurempi jännite on. Kuvassa 12 on esitetty metallien jännitesarja, jonka perusteella voidaan päätellä, että jos platina ja magnesium olisivat yhteydessä toisiinsa sähköä johtavassa liuoksessa, niin metallien välissä olisi noin 1,8 V jännite. Tällaisessa tapauksessa platina toimisi katodian ja magnesium anodina ja magnesium syöpyisi. Tätä metallien ominaisuutta käytetään hyväksi veneen tärkeiden metalliosien korroosion suojauksessa, kun veneeseen asennetaan anodeja. Anodien materiaaleja on yleensä sinkki, alumiini ja magnesium. Anodit eivät välttämättä ole puhtaita metalleja vaan ne voivat olla metalliseoksia. (GPS-Galvatest, 2010)



Kuva 12. Galvaaninen kartta (Mastervolt, n.d.).

Veneen suoja-anodiensa suojaustaso voidaan mitata veneen ollessa vedessä referenssianodia käyttäen. Referenssianodi liitetään yleismittariin ja laskeaan veteen veneen läheisyyteen. Yleismittarin toinen mittajohdin liitetään veneen sisällä olevaan metalliosaan, joka on yhteydessä veteen. Yleismittarilla mitataan jännitettä, jonka tulee olla -900 mV ja -1100 mV välillä. Jännitteen ollessa jotain muuta, vene on joko yli- tai alisuojustu. Kummatkin aiheuttavat veneen metalliosien syöpymistä. (GPS-Galvatest, 2010)

## 9 SALAMASUOJAUS

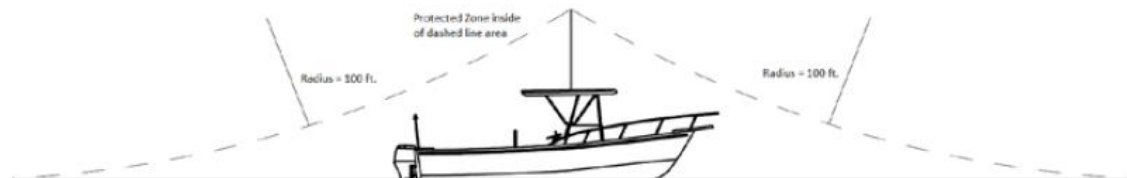
Veneen salamasuojauksen tarkoitus on suojata ensisijaisesti veneessä olevia henkilöitä. Johtamalla salaman energia hallitusti pois veneestä, vähennetään veneelle ja veneessä oleville henkilöille tapahtuvia vaurioita.

### 9.1 Suoja-alue

Veneen salamasuojaus tulee suunnitella ja toteuttaa niin, että koko vene on salamasuojajärjestelmän suoja-alueen sisällä. Kuvassa 13 on kuvattu veneen ukkossuojauksen luoma salamasuojausalue. Suojausalue lasketaan seuraavalla kaavalla 8.

$$d = \sqrt{h_1(2R - h_1)} - \sqrt{h_2(2R - h_2)} \quad (8)$$

missä  
 $d$  = horisontaalinen suojaus etäisyys  
 $h_1$  = ilmatermiinalin korkeus  
 $R = 30$  m säde  
 $h_2$  = suojattavan objektin korkeus



Kuva 13. Moottoriveneen ukkossuojausalue (ABYC TE-4, 2019, s. 8).

## 9.2 Ilmatermiinali

Salamasuojauksessa veneen korkeimmassa kohdassa tulisi olla ilmatermiinali. Ilmatermiinalin tulisi olla vähintään 9,5 mm halkaisijaltaan oleva kuparitanko tai 12,7 mm halkaisijaltaan oleva alumiinitanko. Tangon pään tulisi olla pyöreä. Ilmatermiinali tulisi asentaa veneen korkeimpaan paikkaan taatakseen mahdollisimman ison suoja-alueen. Veneeseen voidaan asentaa useampia ilmatermiinaaleja suoja-alueen laajentamiseen. (ABYC TE-4/2019, s. 2)

## 9.3 Kaapelointi

Veneen salamasuojausjärjestelmän pääkaapeloinnin tulisi olla kooltaan vähintään 21,2 mm<sup>2</sup> (AWG4) ja yksitaiten komponenttien kaapelointi tulisi olla vähintään 13,3 mm<sup>2</sup> (AWG6). Jos veneen suuret metalliosat ovat alle 1,8 metrin päässä salamansuojausjärjestelmän johtimista, tulee nämä metalliosat kytkeä salamasuojausjärjestelmään. Myös muut veneen isoimmat metalliosat tulisi yhdistää salamasuojausjärjestelmään. Jos veneen sähkölaitteet on yhdistetty akkumiinukseen alle 13,2 mm<sup>2</sup> johtimella, tulee laite liittää salamasuojausjärjestelmään vähintään 13,2 mm<sup>2</sup> johtimella. Johtimet tulee asentaa yli 15 cm vesilinjasta. (ABYC TE-4/2019, s. 3)

## 9.4 Maadoitustermiinali

Salamasuojausjärjestelmän maadoitustermiinalin tulisi olla metallia, olla yhteydessä veteen kaikissa ajotilanteissa ja olosuhteissa sekä sen pinta-alan tulee olla vähintään 0,1 m<sup>2</sup>. Maadoitustermiinali tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle mastoa, jossa ilmatermiinali sijaitsee, jotta vältetään järjestelmän pääjohtimen vaakasuuntaisilta vedoilta. (ABYC TE-4/2019, s. 4)

## 10 LAITTEIDEN MAADOITUKSET

### 10.1 Antennit

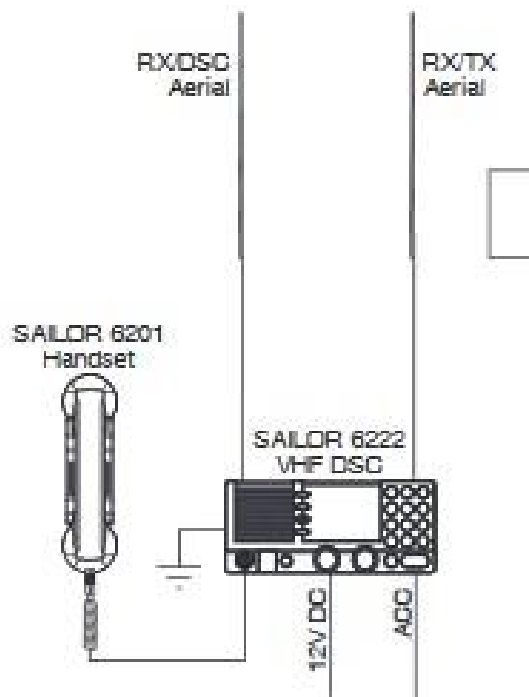
Kaikkia antennoja ei tarvitse tai niitä ei pysty maadoittamaan. Antennin maadoituksen tarve riippuu antennin mallista, rakenteesta ja tehosta. Jos antennia ei maadoiteta, saattaa antenniin varautunut staattinen varaus purkautua radion kautta. Galvaaninen erotin antennikaapelissa estää antenniin varautuneen staattisen varauksen kulkeutumasta radioon.

Maadoitettavien antennien antennikaapeliin tulisi asentaa galvaaninen erotin, joka estää maasilmukoiden muodostumisen sekä radioiden mahdollisten vuotovirtojen kulkeutumisen veneen rakenteisiin. Antennien maadoitus tapahtuu antennien jalan kautta. Maadoituspinta-ala tulisi olla mahdollisimman suuri, jotta RF-signaalit pääsevät mahdollisimman helposti kulkemaan maatasoon.

HF-antennit vaativat toimiakseen hyvän maadoituksen. Vesi toimii hyvin HF-antennin maana. Veneen pohjassa tulisi olla suuripinta-alaiset maadoituslevyt. Levyjen tulee olla vedessä veneen kaikissa kulkuasunnoissa. Antenni tulee liittää maadoituslevyihin paksuilla johtimilla tai suuripinta-alaisella metalli levyllä. Jos HF-antennia ei pystytä maadoittamaan suoraan veteen voidaan antennille luoda oma maataso. Maataso voi olla metallilevy, jonka säde on 1,5 kertaa antennin pituus. Metallilevyn sijaan maataso voi olla myös tehty maadoitusjohdoista, joita tulisi olla kahdeksasta kuuteentoista. Näiden maadoitusjohtimien pituus tulee olla 1,5 kertaa antennin pituus. (Comrod, 2005, s. 1)

### 10.2 Radiot

Radiot ovat yleensä metallirunkoisia, etenkin ammatti- ja sotilaskäytössä olevat, joten niiden rungot tulee maadoittaa. Radioiden maadoittamisessa tulee ottaa huomioon, että radion ja antennin välille ei synny maasilmukkaa. Radioiden maadoituspiste on yhteydessä antenniliittimeen. Tämän yhteyden estämiseen tulisi käyttää antennikaapelissa galvaanista erotinta. Galvaaninen erotin myös estää staattisten varauksien purkaantumisen radion kautta. Kuvassa 14 on esitetty Sailor 6222 VHF-radion maadoitus.



Kuva 14. Sailor 6222 VHF-radion kytkentöjen periaatekuva (Cobham, n.d., s. 2).

Jos radioille tuotetaan sähköä galvaanisesti eristetyn muuntajan kautta, jolla estetään veneen sähkönsyöttöjärjestelmästä tulevien häiriöiden pääsy radioihin, tulisi maadoituksen sijaan radiojärjestelmälle tehdä potentiaalintasaus.

### 10.3 Navigointilaitteet

Navigointilaitteet sisältävät elektroniikkaa, joten ne ovat alttiita häiriöille. Navigointilaitteiden maadoitusten toteutus on riippuvainen käytettävästä merkistä/mallista. Erään valmistajan tuotteilla ei ole laitteissaan lainkaan maadoituspistettä. Toisen valmistajan tuotteita suositellaan maadoittamaan ainoastaan siinä tapauksessa, että kosketusnäytön toiminnassa ilmenee ongelmia. Kolmannen valmistajan laitteet tulee maadoittaa laitteissa olevasta maadoituspisteestä veneen maadoitusjärjestelmään. Näissä tuotteissa on noudatettava aina valmistajan ohjeistusta.

### 10.4 Metallirakenteet

Veneen isoimmat metallirakenteet tulisi yhdistää maadoitusjärjestelmään, jotta rakenteisiin kertyvä varaus pääsee purkaantumaan turvallisesti maahan maadoituselektrodin kautta. Veneen sähköjärjestelmän ollessa kellova veneen yhteen kytketyt metalliosat luovat veneen oman maaton. Lähellä veneen pohjaa sijaitseva polttoainetankki tai muut metallitankit luovat antennille maayhteyden kapasitiivisesti veneen rungon läpi veteen.

## 10.5 Generaattori

Generaattori on sähkökone, joka syöttää tehoa verkkoon päin. Generaattoria pyöritetään ulkoisella voimalla, joka saadaan aikaiseksi käyttämällä esimerkiksi polttoaineella toimivaa voimakonetta. Generaattorin roottoria pyöritetään magneettikentässä, jolloin muodostuu vaihtojännite. Generaattorilla voidaan tuottaa käytännössä 12 V ja 24 VDC tai 230 VAC veneen tai generaattorin oman moottorin avulla riippuen generaattorisovelluksesta.

### 10.5.1 Dieselgeneraattori

Dieselgeneraattori on generaattorin ja polttomoottorin yhdistelmä yhdessä paketissa. Dieselgeneraattorilla voidaan tuottaa hyvinkin suuria määriä tehoa, mutta veneisiin asennettavat mallit ovat teholtaan luokkaa 3 – 50 kW. Pienemmät dieselgeneraattorit toimivat muuttuvalla kierrosluvulla, jolloin generaattori tarvitsee ulkoisen invertterin, joka muuttaa jännitteen 230 VAC 50 Hz. Keskikokoiset dieselgeneraattorit tuottavat kiinteällä kierrosluvulla suoraa 230 VAC 50 Hz jännitettä. Suuret laitteet tuottavat 400 V 50 Hz kolmevaihejännitettä.

Dieselgeneraattorin nollajohdin tulisi maadoittaa ainoastaan generaattorissa. Käytettäessä suojaerotusmuuntajaa tai polarisoivaa muuntajaa, voidaan nollajohtimen maadoitus tehdä maasähköjärjestelmän päämaadoituskiskossa. Mikäli veneessä käytetään suojaerotus- tai polarisoivaa muuntajaa tai veneessä ei ole maasähköpistoketta, johon voisi tuoda laiturilta sähköä, voidaan generaattorin nollajohdin jättää kelluvaksi, edellyttäen että kytkimet ja suojalaitteet ovat kaksinaisia. (SFS-EN ISO 13297/2015, s. 5)

Dieselgeneraattoria kytkettäessä tulee huomioida, että jos veneessä on useampia maasähkön lähteitä niin vain yksi saa olla käytössä kerrallaan. Veneessä tulee olla kytkin, joka kykenee katkaisemaan kaikki jännitteelliset johtimet, vaihe- ja nollajohtimen, yhtä aikaa. Kytkimen tulee avata ensin ensimmäisen lähteen virtapiiri ennen kuin kytkee toisien virtapiiriin. Kytkin voi olla joko käsikäyttöinen tai automaattinen. (SFS-EN ISO 13297/2015, s. 5)

### 10.5.2 Hihnavetoinen generaattori

Hihnavetoinen generaattori käyttää voimanlähteenään pääasiassa johonkin toiseen tehtävään tarkoitettua moottoria. Moottoreissa on yleensä vakiona generaattori (laturi) joka tuottaa tasavirtaa. Laturin tarkoitus on ladata moottorin käynnistysakkuja ja tuottaa virtaa veneen sähkölaitteille. Toimintatavaltaan laturi on vaihtovirtageneraattori, jonka tuottama vaihtovirta tasasuunnataan ja jännite säädetään vakioksi moottorin kierrosluvusta huolimatta.

Hihnavetoisella generaattorilla voidaan tuottaa veneeseen maasähköä. Generaattorin tuottama sähkö muunnetaan ohjainyksikössä 230 VAC 50 Hz jännitteeksi. Generaattorin tuottama teho on riippuvainen moottorin kierrosluvusta.

Hihnavetoisen generaattorin maadoituksessa pätee samat säännöt maadoituksen suhteen kuin dieselgeneraattorissa. Myös hihnavetoista generaattoria käytettäessä tulee ottaa huomioon, että käytössä saa olla kerrallaan vain yksi sähkönlähde. (SFS-EN ISO 13297/2015, s. 5)

## 10.6 Invertteri

Invertteri eli vaihtosuuntaaja on laite, joka muuntaa tasavirtaa vaihtovirraksi. Invertterillä veneissä tuotetaan yleensä pientä määrää maasähköä, koska virtamäärä 12 VDC puolella nousee nopeasti hyvin suureksi. Esimerkiksi jos halutaan tuottaa 16 A 230 V 50 Hz ja laitteen hyötysuhde on 92% tarvitaan noin 333 A 12 VDC. Laadukkaat invertterit tuottavat sinimuotoista vaihtovirtaa, mutta markkinoilla on olemassa myös kanttiaaltoa ja modifioitua kanttiaaltoa tuottavia inverttereitä.

Invertterin nollajohdin tulisi maadoittaa ainoastaan invertterissä. Käytettäessä suojaerotusmuuntajaa tai polarisoivaa muuntajaa voidaan nollajohtimen maadoitus tehdä maasähköjärjestelmän päämaadoituskiskossa. Mikäli veneessä käytetään suojaerotus- tai polarisoivaa muuntajaa tai veneessä ei ole maasähköpistoketta, johon voisi tuoda laiturilta sähköä, voidaan invertterin nollajohdin jättää kelluvaksi, edellyttäen että kytkimet ja suojalaitteet ovat kaksinapaisia. (SFS-EN ISO 13297/2015, s. 5)

Invertteriä kytkettäessä tulee huomioida, että jos veneessä on useampia maasähkön lähteitä niin vain yksi saa olla käytössä kerrallaan. Veneessä tulee olla kytkin, joka kykenee katkaisemaan kaikki jännitteelliset johtimet, vaihe- ja nollajohtimen, yhtä aikaa. Kytkimen tulee avata ensin ensimmäisen lähteen virtapiiri ennen kuin kytkee toisien virtapiiriin. Kytkin voi olla joko käsikäyttöinen tai automaattinen. (SFS-EN ISO 13297/2015, s. 5)

Standardissa SFS-EN ISO 10133:2017 (SFS-EN ISO 13297/2015, s. 13) määrittellään vaatimukset veneeseen asennettavalle invertterille. Invertterissä ei saa olla pyöriviä osia ja sen tehollisen jännitteen tulee olla alle 250 V ja taajuuden 50 tai 60 Hz. Invertterin runko tulee maadoittaa vähintään samankokoisella johtimella kuin DC plus johdin on. Tätä johdinta ei tule kytkeä yhteen DC miinus johtimen kanssa invertterin päästä.

## 10.7 Moottorit

Veneessä moottori liikuttaa venettä vetolaitteen välityksellä. Moottori voidaan joko asentaa veneen rungon sisäpuolelle, jolloin ne ovat sisämoottoreita, tai ulkopuolelle, jolloin ne ovat perämoottoreita. Moottorit käyttävät



polttoaineenaan yleensä joko bensiiniä tai dieseliä. Moottori käynnistyy sähkömoottorin avulla, joka on maadoitettu moottorin runkoon. Tästä syystä on DC miinus johdin kytkettävä moottorin runkoon. Moottorin runko on yhteydessä veteen vetolaitteen välityksellä, joten sen metalliosat tulee suojata korroosiolta suoja-anodeilla.

### 10.7.1 Perämoottori

Perämoottorit maadoittuvat oman rakenteensa kautta veteen. Rakenteen takia veneen DC miinus kytketään moottorin runkoon. Tästä syystä perämoottorit toimivat veneen maadoituselektrodeina. Jos veneissä on useampia maadoituselektrodeja ja niiden välillä on sähköinen yhteys, muodostuu näistä sähköinen pari, joka aiheuttaa galvaanista korroosiota.

Standardien mukaan moottorinrunkoa ei tulisi käyttää johtimena, jos moottori teho ylittää 100 kW, mutta perämoottorien osalta tämä ei yleensä täyty.

### 10.7.2 Sisämoottorit

Sisämoottoreilla on yhteys veteen vetolaitteen kautta. Yhteys ei ole yhtä vahva kuin perämoottoreissa. Usein sisämoottorit ovat muuten varustettu kaksinapaisiksi käynnistysmoottoria lukuun ottamatta. VTT:n laatimassa Ammattiveneohjeistuksessa (VTT expert services oy, 2016, s. 187) määritetään seuraavaa: "Vain alle 100 kW:n kuljetuskoneiston käynnistyssähköjärjestelmässä voidaan hyväksyä koneen rungon käyttäminen johtimena käynnistyksen aikana". Todellisuudessa myös yli 100 kW:n tehoisissa moottoreissa on käynnistysmoottori maadoitettu moottorin runkoon, joten moottorin runkoa käytetään käynnistystilanteessa miinusjohtimena.

Jotta moottori ei olisi veneen sähköjärjestelmän maadoituselektrodi, tulee moottorin olla kaksinapainen, käynnistysmoottoria lukuun ottamatta. Moottorin kaksinapaisuudella tarkoitetaan sitä, että moottorin kaikki sähkökomponentit ovat eristetty moottorin rungosta. Useat moottorit ovatkin suurimmalta osaltaan kaksinapaisia. Käynnistystilanteessa tulee käyttää joko käsikäyttöistä- tai sähköisesti toimivaa kytkintä yhdistämään moottorin runko akkumiinukseen. Kytkimen tulee kestää käynnistysmoottorin kuluttama virta.

## 11 OHJEISTUS

Veneiden maadoitusohjeistukseen kerätään tietoa, miten maadoitukset toteutetaan eri tilanteissa. Veneen varusteet, materiaali ja kohdamaa vaikuttavat osaltaan maadoitusjärjestelmään.

### 11.1 Ohjeistuksen pohjatieto

Maadoitusohjeistusta varten kävin läpi standardeja, myös sellaisia jotka eivät ole vaatimuksena Suomessa veneenrakentamiselle. Haastatteluilla hain lisää tietoa niiltä alueilta, joista oli saatavilla vähän hyvää lähdemateriaalia. Laitevalmistajien asennusohjeita tulee noudattaa, jos ne poikkeavat yleisohjeistuksesta.

### 11.2 Ohjeistus suunnittelijoille

Maadoitusten järkevä toteuttaminen on osa kokonaisuutta, johon vaikuttavat useat eri osa-alueet. Näihin tulee kiinnittää huomiota jo veneen suunnitteluvaiheessa. Laitteiden sijoittelussa tulee ottaa huomioon, että mahdolliset häiriönlähteet sijaitsisivat mahdollisimman kaukana herkistä navigointi- ja kommunikointilaitteista. Veneen maadoituselektrodin tarvetta tulee arvioida tilannekohtaisesti, asiakkaan vaatimukset huomioon ottaen. Maasähköjärjestelmään tulisi asentaa suojaerotusmuuntaja. Jos veneen maasähköjärjestelmän ainoana komponenttina on akkuvaraaja, voidaan harkita suojaerotusmuuntajan jättämistä pois.

Suunnitteluohjeistus toteutettiin lisäämällä maadoitusohjeistus osaksi olemassa olevaa suunnitteluohjeistusta. Suunnittelunohjeistuksessa otettiin kantaa yleisellä tasolla eri runkomateriaalien vaatimuksiin maadoitusjärjestelmässä. Lisäksi navigointi- ja kommunikointijärjestelmien vaatimukset saivat oman osansa ohjeessa. Suunnittelun ohjeistus on tallennettu yrityksen sisäiseen laadunhallintajärjestelmään.

Suunnittelun ohjeistus oli onnistunut lisä jo olemassa olevaan materiaaliin. Ohjeistus osaltaan lisää tietoisuutta maadoitusjärjestelmän vaatimuksista suunnitteluvaiheessa. Ohjeistuksen lisäksi laadittiin suunnittelijoille esitys veneensähköjärjestelmän maadoituksista.

### 11.3 Ohjeistus asentajalle

Veneen maadoituksesta laaditaan maadoitusjärjestelmäkuvat osana veneen sähköpiirustuksia. Maadoituskaavio liitteessä 2 on esimerkki, miltä veneen maadoituskaavio voisi näyttää. Veneessä maadoitettavia komponentteja on ainakin polttoainejärjestelmän metallikomponentit. Suuret metallikomponentit tulee maadoittaa. Tällaisia komponentteja veneissä on yleensä targa, kaiteet ja bimini. Targa on veneen peräosassa oleva varusteakaari, jossa sijaitsee mm. valoja ja radioantennit. Bimini puolestaan on kuin targa, mutta se sijaitsee ohjauspulpetin yläpuolella.

Maadoitus on toteutettava annettujen ohjeiden mukaan. Jos asentaja huomaa muutostarpeita, on niistä neuvoteltava ensin suunnittelijan kanssa. Virtakaapelointi tulisi pitää mahdollisimman etäällä signaali- ja

antennikaapeloinnista. Kaapelointien risteytyessä niiden tulisi mahdollisuuksien mukaan ylittää toisensa 90° kulmassa.

Asentajille laadittu ohjeistus toteutettiin omana dokumenttinaan, jossa kiinnitettiin paljon huomiota yksittäisten komponenttien vaatimuksiin maadoitusten suhteen. Suunnittelijoille suunnatun ohjeistuksen lisäksi asentajille toteutettu ohjeistus oli onnistunut kokoanisuus, joka auttaa yhdessä mittauspöytäkirjan kanssa luomaan veneisiin luotettavasti toimivan maadoitusjärjestelmän.

## 12 MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Maadoitusjärjestelmän toiminnan varmistamiseksi laaditaan mittauspöytäkirja, joka on yleispätevä veneen varustustasosta riippumatta. Mittauspöytäkirjassa on vaiheita, joita voi tehdä veneen ollessa poissa vedestä sekä vaiheita, jotka tulee tehdä veneen ollessa vedessä. Mittauksia varten veneen sähköasennukset tulee olla täysin valmiita. Mittauksilla varmistetaan, että maadoitusjärjestelmä on toimiva sekä varmistetaan, että jännitettä ei ole väärissä paikoissa.

Maadoitusjohtimen jatkuvuus testataan maavastusmittarilla mittaamalla vastusarvoja vaiheittain koko järjestelmästä. Maavastusmittari syöttää mitattavaan piiriin 4 – 24 V jännitteen ja maksimissaan 200 mA virran. Hyväksyttävä vastusarvo riippuu mitattavan suojajohtimen pituudesta sekä poikkipinta-alasta, mutta veneeseen asennettävien johtimien pituus on niin pieni, että tulos tulisi jäädä alle 1ohm. Jos mittalaitteeseen liitetään pitkät mittajohdot, tulisi niiden vastus kompensoida pois tuloksesta joko laskeamalla tai mittalaitteessa mittajohtojen kompensointiominaisuudella.

Mittaus tulee tehdä jännitteettömässä piirissä. Akustot tulee irrottaa piiristä sekä varmistaa että generaattori ei ole päällä, myös maasähköpistoke tulee olla irrotettuna.

Mittauspöytäkirjasta on hankalaa tehdä sellaista, että se kattaisi valmiiksi joka veneen tarpeet. Luomassani mittauspöytäkirjassa on jätetty tyhjiä rivejä, joihin voidaan täyttää projektikohtaisesti tarpeellisia tietoja. Mittausvaiheessa asentajat voivat lisätä mittauskohteita tarpeen mukaan. Mittauspöytäkirjaa tullaan todennäköisesti muokkaamaan, kun sitä päästään todellisuudessa käyttämään aktiivisesti.

## 13 LOPPUPÄÄTELMÄT

Tätä opinnäytetyötä varten on kerätty paljon erilaista materiaalia, jonka pohjalta kokonaisuus on rakennettu. Tiedon keruun myötä on

tavanomaisen ja jo tiedossa olleen asian lisäksi tullut esille myös paljon täysin uutta tietoa, joka on tuonut uusia näkökulmia aiheeseen.

### 13.1 Johtopäätökset

Työtä tehdessä tultiin päätelmään, että olemassa olevassa ohjeistuksessa on puutteita. Maadoituksen toteutuksessa joudutaan priorisoimaan asioita ja tekemään kompromisseja. Tärkeimpänä on pidettävä henkilöiden suojausta sähköiskuja vastaan. Tämä saattaa aiheuttaa ongelmia joissain toisissa järjestelmissä, mutta huolellisella suunnittelulla pystytään toteuttamaan luotettavasti ja turvallisesti toimiva ympäristö erilaisille sähkölaitteille.

Kaikkien maadoitettavien laitteiden ei välttämättä tarvitse olla maadoitettu yhteen pisteeseen. Navigointi- ja radiojärjestelmillä voisi olla oma maataso, joka ei olisi yhteydessä varsinaiseen maahan. Kyseessä olisi laitteiden potentiaalinen tasaus. Tämä voisi olla toimiva tapa pienentää häiriöitä, mutta vaatii myös virransyötön tuomisen galvaanisesti erotetun muuntajan kautta.

Olemassa olevat standardit antavat hyvin paljon liikkumatilaa maadoituksen toteuttamiseen. Työssäni olen mielestäni onnistunut laatimaan yrityksen tarpeeseen sopivan tavan toteuttaa maadoitus veneen sähköjärjestelmään. Työssä laaditut ohjeistot ovat onnistuneet lisä yrityksen laadunparantamiseen, joka tukee laadukasta veneenrakentamista.

### 13.2 Kehityskohteet

Työtä tehdessäni tuli vastaan muutamia mahdollisuuksia kehitystyölle. Muovirakenteiden sisään laminoidulla kupariverkolla olisi mahdollista luoda antennille tehokkaita maatasoja. Veneen runkoon laminoituna verkko loisi suuren maapinnan, jota antennit pystyisivät käyttämään maadoituksena ilman galvaanista yhteyttä maahan. Maayhteys olisi tällaisessa toteutustavassa kapasitiivinen. Kokonaan suoraan veteen olevaa yhteyttä ei olisi järkevää poistaa koska maadoitusjärjestelmään saattaa muodostua muuten suuria määriä staattisia varauksia. Maayhteys pystyttäisiin tällaisessa sovelluksessa pitämään huomattavasti pienempänä.

Toinen sovellus laminoidulle verkolle voisi olla tehdä suoraan antennin alle maataso, jotta antennit toimisivat tehokkaammin. Komposiittirakenteinen maataso olisi kevyt, mutta se toimisi tehokkaasti.

## LÄHTEET

- ABYC E-11. (2018). *Ac and dc electrical systems on boats*. Annapolis, Maryland, Yhdysvallat: American Boat & Yacht Council.
- ABYC TE-4. (2019). *Lightning protection*. Annapolis, Maryland, Yhdysvallat: American Boat & Yacht Council.
- All about circuits. (2016). *Galvanic Isolation: Purpose and Methodologies*. Haettu 22.2.2019 osoitteesta <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/galvanic-isolation-purpose-and-methodologies/>
- Aura, L. & Tonteri, A. J. (1996). *Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet*. Helsinki: Wsoy.
- Aura, L. & Tonteri, A. J. (2009). *Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet*. Helsinki: Sanoma Pro.
- Cobham. (n.d.). *SAILOR 6222 VHF DSC Installation guide*. Dorset: Cobham.
- Comrod. (2005). *Grounding of HF antennas*. Tau: Comrod.
- Eaton. (2017). *Residual Current Devices*. Haettu 23.3.2020 osoitteesta [http://www.eaton.eu/ecm/idcplg?IdcService=GET\\_FILE&allowInterrupt=1&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&noSaveAs=0&Rendition=Primary&dDocName=PCT\\_3203220](http://www.eaton.eu/ecm/idcplg?IdcService=GET_FILE&allowInterrupt=1&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&noSaveAs=0&Rendition=Primary&dDocName=PCT_3203220)
- GPS-Galvatest. (2010). *Cathodic protection of small boats*. Haettu 12.4.2020 osoitteesta [http://www.galvatest.com/WP\\_Cathodic\\_Protection.pdf](http://www.galvatest.com/WP_Cathodic_Protection.pdf)
- Happonen, J., Heinonen, M. & Muilu, H. (2012). *Avain kemia 2*. Helsinki: Otava.
- Hietalahti, L. (2011). *Muuntajat ja sähkökoneet*. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammerteknikka.
- IEC 60533:2015 . (2015). *Electrical and electronic installations in ships*. Geneve, Sveitsi: International Electrotechnical Commission.
- IEC 61558-2-4:2009. (2009). *Safety of transformers, reactors, power supply units and similar products for supply voltages up to 1 100 V - Part 2-4: Particular requirements and tests for isolating transformers and power supply units incorporating isolating transformers*. Geneve, Sveitsi: International Electrotechnical Commission.

Intertrafo Oy. (n.d.a). Suojaerotusmuuntaja. Turku. Haettu 17.3.2019 osoitteesta <https://www.intertrafo.fi/muuntaja>

Intertrafo Oy. (n.d.b). *Tietoja muuntajista*. Haettu 17.3.2019 osoitteesta <https://www.intertrafo.fi/muuntaja/kaksikaamimuuntaja/suojaerotusmuuntaja#alku>

ISO 13297. (2014). *Small craft -- Electrical systems -- Alternating current installations*. Vernier: International Organization for Standardization.

Mastervolt. (n.d.). Preventing corrosion onboard boats. Haettu 20.3.2019 osoitteesta <https://www.mastervolt.com/preventing-corrosion-onboard-boats/>

Ott, H. W. (2009). *Electromagnetic compatibility Engineering*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Promarine. (2019). *Erotin*. Promarine. Haettu 29.1.2019 osoitteesta <http://www.promarine.fi/isolatorspage/>

Radio works. (n.d). *Rf ground systems*. Haettu 27.3.2019 osoitteesta <http://www.radioworks.com/nbgnd.html>

Robinson, L. (n.d). *About ground loops*. Haettu 31.1.2020 osoitteesta <http://midimagic.sgc-hosting.com/gndloop.htm>

SFS-EN ISO 10133. (2017). *Small craft. Electrical systems. Extra-low-voltage*. Helsinki: Suomen standardisoimiliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 13297. (2015). *Small craft. Electrical systems. Alternating current installations*. Helsinki: Suomen standardisoimiliitto SFS ry.

Wire & cable tips. (2013). *Shielded Cable: When To Use*. Haettu 13.11.2019 osoitteesta <https://www.wireandcabletips.com/importance-shielding-cabling/>

Suvanto, K. & Laajalehto, K. (2011). *Tekniikan fysiikka 2*. Helsinki: Edita.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. (2006). *Käsikirja rakennusten sähköasennuksista*. Espoo: Sähköinfo.

Sähköinfo OY. (2019). *ST 53.28*. Espoo: Sähkötieto ry.

Sähköinfo Oy. (2019). *Sähkötekniisiä taulukoita*. Espoo: Sähkötieto ry.

Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus STEK ry. (2019). *Sähkö ja vene*. Helsinki: Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus STEK ry.

TRAFI/366732/03.04.01.00/2017. (2018). *Alusten radiolaitteet*. Helsinki, Suomi: Liikenne- ja viestintävirasto. Haettu 4.11.2019 osoitteesta [https://www.finlex.fi/data/normit/43982/TRAFI\\_366732\\_03\\_04\\_01\\_00\\_2017\\_Alusten\\_radiolaitteet.pdf](https://www.finlex.fi/data/normit/43982/TRAFI_366732_03_04_01_00_2017_Alusten_radiolaitteet.pdf)

Twentsche Kabelfabriek. (n.d.). *Products*. Haettu 20.3.2019 osoitteesta <https://www.tkf.nl/en/catalogue?open=14619%7C14822%7C14824>

UTU oy. (n.d.). Tekniset tiedot vikavirtasuojat. Haettu 20.3.2019 osoitteesta <https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/vikavirtasuojat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>

Venealan Keskusliitto Finnboat ry. (2016). Haettu 2.3.2019 osoitteesta <http://www.suomiveneilee.fi/uutiset/ennen-vesillelaskua-aika-tarkistaa-sinkit>

Victron Energy. (2020). Galvanic Isolator VDI-16. Haettu 21.1.2020 osoitteesta [https://www.victronenergy.com/upload/cache/1444823680\\_upload\\_documents\\_1600\\_640-Galvanic%20Isolator%20VDI%2016\\_side.jpg](https://www.victronenergy.com/upload/cache/1444823680_upload_documents_1600_640-Galvanic%20Isolator%20VDI%2016_side.jpg)

VTT expert services oy. (2016). *Ammattiveneohjeisto Versio 2016.2*. Espoo: VTT expert services oy.

## HAASTATTELUT

Järvinen, J. (2019). Toimitusjohtaja, Promarine Oy. Haastattelu 25.1.2019.

Liite 1

Cross-sectional area mm <sup>2</sup>	Allowable maximum current, in amperes, for single conductors at insulation temperature ratings						Minimum number of strands	
	60 °C	70 °C	85 °C to 90 °C	105 °C	125 °C	200 °C	Type A	Type B
0,75	6	10	12	16	20	25	16	-
1	8	14	18	20	25	35	16	-
1,5	12	18	21	25	30	40	19	26
2,5	17	25	30	35	40	45	19	41
4	22	35	40	45	50	55	19	65
6	29	45	50	60	70	75	19	105
10	40	65	70	90	100	120	19	168
16	54	90	100	130	150	170	37	266
25	71	120	140	170	185	200	49	420
35	87	160	185	210	225	240	127	665
50	105	210	230	270	300	325	127	1064
70	135	265	285	330	360	375	127	1323
95	165	310	330	390	410	430	259	1666
120	190	360	400	450	480	520	418	2107
150	220	380	430	475	520	560	418	2107



