



# Risteilyalusten kaapelityyppien optimointi

Ammattikorkeakoulututkinto opinnäytetyö

Konetekniikka, insinööri (AMK)

Syksy 2023

Lauri Kärppä

Konetekniikka, insinööri (AMK)

Tekijä Lauri Kärppä

Työn nimi Risteilyalusten kaapelityyppien optimointi

Ohjaaja Esa Murtola

Tiivistelmä

Vuosi 2023

---

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Meyer Turku Oy. Työn ensisijaisena tavoitteena oli yhtenäistää risteilyalusten käyttämiä kaapelityyppejä. Alusten monimutkainen sähkö- ja tietoliikenneinfrastruktuuri on riippuvainen laajasta ja tehokkaasta kaapeliverkosta, mikä tekee kaapeleiden hallinnasta kriittisen. Työn perustana oli, että risteilyalusten nykyisissä kaapelijärjestelmissä on paljon erilaisia kaapelityyppejä, mikä johtaa lisäkustannuksiin. Lisäksi kaapelilistoilta löytyy kaapeleita, jotka olivat joko vanhentuneita tai samankaltaisia ominaisuuksiltaan, mutta eri valmistajien toimittamia.

Työ rakenne jakautuu kolmeen pääosaan: Teoreettiseen taustaan, jossa käsiteltiin keskeisiä käsitteitä ja laivakaapeleiden teoriaa, kaapelityyppien kategorisointiin ja analysointiin, sekä lopuksi tehtyjen havaintojen arviointiin. Tutkimuskysymys keskittyi siihen, kuinka eri reititettäviä kaapelityyppejä voi yhtenäistää. Tässä kontekstissa reititettävillä kaapeleilla viitattiin nimenomaan niihin kaapeleihin, jotka vaativat ennakoita suunnitellun reitin ennen asennusta.

Yhtenäistäminen oli prosessi, jossa verrattiin kaapelityyppejä niiden ominaisuuksien perusteella ja tehtiin ehdotus sopivimmista kaapelityypeistä. Tämän perusteella voitaisiin vaihtaa tai korvata kaapelityyppejä, mikä vähentäisi kustannuksia.

Projektin päätteeksi laadittiin raportti toimeksiantajalle, jossa esiteltiin ehdotukset yhtenäistettävistä kaapelityypeistä sekä pohdittiin aiheen tulevaa kehitystä ja mahdollisia jatkotutkimuksen aiheita.

Avainsanat Kaapelityypit, risteilyalukset, kaapelisuunnittelu

Sivut 32 sivua

Mechanical engineering  
Author Lauri Kärppä  
Subject Optimization of cable types for cruise vessel  
Supervisors Esa Murtola

Abstract  
Year 2023

---

This thesis was commissioned by Meyer Turku Oy. The primary goal of the work was to optimize the types of cables used in a cruise vessel. The complex electrical and telecommunications infrastructure of these vessels depends on a wide and efficient cable network, making cable management critical. The foundation of the work was that the current cable systems in cruise ships consist of many different types of cables, leading to additional costs. Additionally, the cable lists included cables that were either outdated or similar in features but supplied by different manufacturers.

The structure of the work is divided into three main parts: Theoretical background, where key concepts and the theory of ship cables were discussed; categorization and analysis of cable types; and finally, the evaluation of the findings. The research question focused on how different types of routable cables could be standardized. In this context, routable cables specifically refer to those that require a pre-planned route before installation.

In the standardization process cable types were compared based on their properties, and recommendations were made for the most suitable types of cables. Based on this, cable types could be exchanged or replaced, reducing costs.

At the conclusion of the project, a report was prepared for the client, presenting the proposals for the standardization of cable types, as well as considering the future development of the topic and potential subjects for further research.

Keywords Cable types, cruise vessel, cable design  
Pages 32 pages

# Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Standardit ja vaatimukset .....	3
2.1	IEC .....	3
2.2	DNV .....	4
2.3	SOLAS .....	4
3	Kaapelityypit .....	5
3.1	Kaapelityyppien erittely .....	5
3.2	Kaapelityyppien nimeäminen .....	10
3.3	Kaapeleiden värimerkinnät .....	12
4	Kaapeleiden ominaisuudet .....	13
4.1	Materiaalit ja rakenne .....	13
4.1.1	Johdinmateriaalit .....	14
4.1.2	Ulkovaipan materiaalit .....	16
4.1.3	Suojausmateriaalit .....	16
4.1.4	Täyteaineet ja kierre .....	18
4.2	Palosuojaus .....	19
4.2.1	Palonkestävät kaapelit .....	19
4.2.2	Palonhidastavat kaapelit .....	24
4.3	Mekaaniset ominaisuudet .....	27
5	Kaapelityyppien yhtenäistäminen .....	29
5.1	Kaapelityyppien kartoitus .....	29
5.2	Kaapeleiden valinta ja luokittelu .....	30
5.3	Vertailu .....	30
6	Löydökset ja tulokset .....	31
7	Yhteenveto .....	32
	Lähteet .....	33

## Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Eri kaapelityyppien rakenteita. ....	5
Kuva 2. Ohjaus- ja virtakaapeli. ....	6
Kuva 3. Cat 7 -Datakaapeli. ....	7
Kuva 4. Kuitukaapeli. ....	8
Kuva 5. Viestintä- ja instrumentointi kaapeli. ....	8
Kuva 6. Palo- ja häiriösuojattukaapeli. ....	9
Kuva 7. Koaksiaalikaapeli. ....	10
Kuva 8. Esimerkki kaapelin merkinnöistä. ....	11
Kuva 9. Kaapelityyppien kirjainyhdistelmien merkitykset. ....	12
Kuva 10. Kaapelin rakenteita. ....	14
Kuva 11. Kuitukaapelin rakenne. ....	15
Kuva 12. Esimerkki kaapelin suojausmateriaaleista. ....	17
Kuva 13. Helkaman kaapeli, jossa on käytetty kierrettä ja tyhjiä johtimia. ....	18
Kuva 14. IEC 60331-25 -standardin mukainen testi. ....	20
Kuva 15. IEC 60331-1 -standardin mukainen testi. ....	21
Kuva 16. IEC 60331-2 -standardin mukainen testi. ....	22
Kuva 17. IEC 60331-1 ja BS 8491:n yhdistelmän mukainen testaus. ....	23
Kuva 18. IEC 60331-2 ja EN 50200 yhdistelmän mukainen testaus. ....	24
Kuva 19. IEC 60332-1 -standardin mukainen testi. ....	25

Kuva 20. IEC 60332-2 -standardin mukainen testi .....	26
Kuva 21. Esimerkki merisähkökaapelin rakenteesta. ....	27
Kuva 22. Esimerkki kaapelin vetokokeesta. Testin tuloksena saadaan voima-venymäkäyrä. Testillä mitataan, kuinka paljon kaapeli kestää vetokuormitusta.....	28
Kuva 23. Esimerkki kaapelin 3-pistetaivutuskokeesta. Testin tuloksena saadaan voima- siirtymäkäyrä. Testillä mitataan, kuinka paljon kaapeli kestää taivutuskuormitusta. ....	28
Kuva 24. Kaapelin taivutussäde.....	29

# 1 Johdanto

Kun suunnitellaan suuria tuotekokonaisuuksia, kuten risteilyaluksia, mukana on useita eri osapuolia, jotka vastaavat erilaisista osakokonaisuuksista, kuten mekaniikkasuunnittelu, kaapelisuunnittelu, sähkösuunnittelu, voimansiirto tai sisustussuunnittelu. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tiedonsiirto eri osa-alueiden kesken sisältää riskin tiedon puutteellisuudesta tai päällekkäisyyksistä.

Risteilyaluksen kaapelikomponenttien ja osakokonaisuuksien yhtenäistäminen vaatii, että laivan kaapelointi ja sähköjärjestelmät suunnitellaan ja toteutetaan yhdenmukaisesti ja järjestelmällisesti. Tämä on tärkeää, jotta laivan sähköjärjestelmät toimivat luotettavasti ja turvallisesti sekä mahdollisimman tehokkaasti. Kaapelityyppien yhtenäistäminen on osa laivan sähköjärjestelmien suunnittelua ja rakentamista, ja sen tarkoituksena on varmistaa, että laivan sähköjärjestelmät ovat turvallisia, tehokkaita ja luotettavia kaikissa olosuhteissa.

Kaapelisuunnittelu on merkittävä elementti risteilyalusten rakentamisessa. Epäyhtenäinen kaapeleiden valinta voi lisätä hankintakuluja, monimutkaistaa mekaniikkasuunnittelua ja heikentää lopullisen tuotteen laatua sekä huollettavuutta. Alle on listattu keskeisiä huomioon otettavia asioita risteilyaluksen kaapelityyppejä valittaessa:

Ennen laivan rakentamista on tärkeää tehdä huolellinen sähköjärjestelmien suunnittelu. Tämä sisältää mm. systeemien ja sähkönjakelun suunnittelun, kaapeliratojen sijoittelun, sähköpääkeskusten sijoittamisen ja kaapeleiden reitityksen suunnittelun 3D-mallissa.

Kaapeleiden on oltava korkealaatuisia ja niiden on täytettävä alan turvallisuus- ja standardivaatimukset. Laadukkaat kaapelit ovat välttämättömiä, jotta laivan sähköjärjestelmät toimivat luotettavasti.

Laivassa tulee olla tarkat sähköpiirikaaviot, jotka kuvaavat kaapeleiden ja laitteiden liittymät. Tämä helpottaa kaapeleiden reititystä sekä auttaa huoltoa ja vianetsintää.

Kaapeleiden merkinnät ja värikoodaus ovat olennaisia tekijöitä sähköasennuksissa ja laitteiden huollossa. Ne auttavat asentajia ja tekniikkoja tunnistamaan nopeasti eri kaapeleiden tarkoituksen ja reitin, mikä tekee työstä tehokkaampaa ja turvallisempaa. Tämä on erityisen tärkeää vikatilanteissa.

Monimutkaisissa risteilyaluksissa on useita erilaisia sähköjärjestelmiä, kuten voimanhallinta, valaistus, ilmastointi ja viestintäjärjestelmät. Näiden järjestelmien integrointi on tärkeää, jotta ne toimivat saumattomasti yhdessä.

Kaapelityyppien yhtenäistäminen on osa laivan sähköjärjestelmien suunnittelua ja rakentamista, ja sen tarkoituksena on varmistaa, että laivan sähköjärjestelmät ovat turvallisia, tehokkaita ja luotettavia kaikissa olosuhteissa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on yhtenäistää risteilyaluksissa käytettyjä kaapelityyppejä. Risteilyalusten sähkö- ja tietoliikenneinfrastruktuuri tarvitsee laajan kaapeliverkon, joka on välttämätön tiedonsiirron, virranjakelun ja laitteiden tehokkaan toiminnan varmistamiseksi. Käytettyjä kaapelityyppejä on paljon, mikä johtaa päällekkäisyyksiin. Kaapelilistoilla on kaapelityyppejä, jotka eivät ole enää käytössä tai usean eri valmistajan tarjoamia kaapeleita, joilla on samat ominaisuudet.

Opinnäytetyö jakaantuu kolmeen osioon: ensimmäisessä osiossa käsitellään työssä tarvittavaa teoriaa ja käsitteitä. Toisessa osiossa keskitytään kaapelityyppien jaotteluun ja analysointiin yhtenäistämisen näkökulmasta. Kolmannessa osiossa analysoidaan ja arvioidaan tehtyjä löydöksiä.

Tutkimuskysymyksenä on, miten risteilyalusten reititettävien kaapeleidentyyppien pystytään yhtenäistämään?

Risteilyaluksilla tarkoitetaan Meyer Turun valmistamia laivoja, jotka valmistetaan Turun telakalla. Reititettävillä kaapeleilla tarkoitetaan kaapeleita, jotka ovat pitkiä tai kulkevat usean eri alueen läpi. Reititettävillä kaapeleilla suunnitellaan reitti ennen, kun kaapeli vedetään laivassa. Kaapelityypeillä tarkoitetaan edellä mainituissa laivoissa käytettäviä tiedonsiirto- ja virtakaapeleita. Kaapelityyppien yhtenäistämällä tarkoitetaan eri kaapelityyppien vertailua ominaisuuksien mukaan ja kun havaitaan päällekkäisyyksiä, voidaan tehdä ehdotus sopivimmasta kaapelityypistä ja poistaa tai korvata ylimääräiset kaapelit kaapelilistalta.

Tämän työn konkreettisenä tuloksena syntyy raportti mikä sisältää ehdotuksen kaapelityyppien yhtenäistamisestä ja mahdolliset jatkokehitysehdotukset aiheeseen liittyen. Käytetyt tutkimusmenetelmät ovat tiedonhaku yrityksen tiedonhallintajärjestelmästä, niiden jaottelu valittujen kriteereiden mukaan. Työssä hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan asiantuntijahaastatteluja tiedonkeruumuotona.



## 2 Standardit ja vaatimukset

Laivanrakennuksen sähkösuunnittelussa noudatettavat säädökset ja standardit ovat keskeisiä tekijöitä, jotka varmistavat laivojen sähköjärjestelmien turvallisuuden ja suorituskyvyn. Tärkeimpiä säädöksiä ja standardeja ovat IEC-standardit, DNV-säännöt ja SOLAS-vaatimukset. Nämä standardit ja vaatimukset on otettava huomioon myös kaapelityyppejä valittaessa.

### 2.1 IEC

IEC-standardeja (International Electrotechnical Commission) käytetään laajasti sähkötekniikan ja elektroniikan aloilla ympäri maailmaa. Nämä standardit määrittelevät yhteiset tekniset vaatimukset ja ohjeet sähkölaitteiden, -järjestelmien ja elektroniikan suunnittelulle, valmistukselle ja testaukselle. IEC-standardeja sovelletaan monilla eri aloilla, kuten energiatekniikassa, tieto- ja viestintäteknikassa, lääketieteellisissä laitteissa, teollisuusautomaatiossa ja myös laivanrakennuksen sähköjärjestelmissä.

Laivanrakennuksessa käytetään IEC 60092 standardia. Näiden standardien tarkoituksena on edistää turvallisuutta, suorituskykyä, yhteensopivuutta ja laadunvarmistusta eri sähkötuotteissa ja -järjestelmissä, ja ne ovat olennainen osa alan ammattilaisten työtä varmistaessaan, että sähkölaitteet ja -järjestelmät toimivat luotettavasti ja turvallisesti maailmanlaajuisesti. (IEC, 2023)

IEC 60092 on kansainvälisen sähkötekniikan komission (IEC) julkaisema standardisarja, joka kattaa sähköjärjestelmien asennukset laivoissa ja merirakennelmilla. Tämä standardi määrittelee vaatimukset merikäyttöön tarkoitetuille sähköjärjestelmille, mukaan lukien kaapelit. IEC 60092 -standardisarja sisältää useita osia, joista jokainen osa keskittyy tiettyyn laivan sähköjärjestelmän aspektiin. (IEC, 2022)

IEC 60092 -standardin kaapeleita käsitteleviä osia

- IEC 60092-350: Laivasähkökaapelit - Yleiset tekniset vaatimukset ja testausmenetelmät.
- IEC 60092-351: Kaapelien eristysmateriaalit.
- IEC 60092-352: Täyte- ja peitemateriaalit kaapeleille.
- IEC 60092-353: Yksittäiskierrehdinta ja yksittäiskierrehdintaista kaapelia kiinteille asennuksille.
- IEC 60092-354: Kolmiyhteensäätökaapelit kiinteille asennuksille.
- IEC 60092-359: Elastomeeristen eristeisten kaapelien tekniset vaatimukset.

## 2.2 DNV

DNV (Det Norske Veritas) on merenkulkuun liittyvä sertifiointi- ja tarkastuslaitos. DNV:n laatimat säännöt ja ohjeet liittyvät laivanrakennukseen ja merenkulun turvallisuuteen. Nämä säännöt ja ohjeet määrittelevät tarkat tekniset vaatimukset ja standardit, joita on noudatettava laivojen suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä. (DNV, n.d.)

DNV:n säännöt kattavat laajasti erilaiset laivanrakennuksen näkökohdat, kuten runkorakenteet, konejärjestelmät, sähköjärjestelmät, turvallisuusvarusteet ja ympäristövaatimukset. Nämä säännöt ovat tärkeitä varmistaessaan, että laivat ovat turvallisia ja että ne täyttävät kansainväliset standardit ja määräykset. (DNV, n.d.)

DNV-säännöt päivittyvät säännöllisesti, jotta ne pysyvät ajan tasalla uusimpien teknologisten kehitysten ja turvallisuusvaatimusten suhteen. Telakat ja varustamot luottavat DNV:n sääntöihin varmistaakseen, että laivat ovat korkealaatuisia ja täyttävät kansainväliset vaatimukset. (DNV, n.d.)

## 2.3 SOLAS

SOLAS, eli International Convention for the Safety of Life at Sea (Merenkulun turvallisuutta koskeva kansainvälinen yleissopimus), on merenkulun turvallisuutta sääntelevä kansainvälinen sopimus. SOLAS-vaatimukset asettavat tarkat säännöt ja standardit laivojen turvallisuudelle ja elämänsuojelulle merellä. (IMO, 2019)

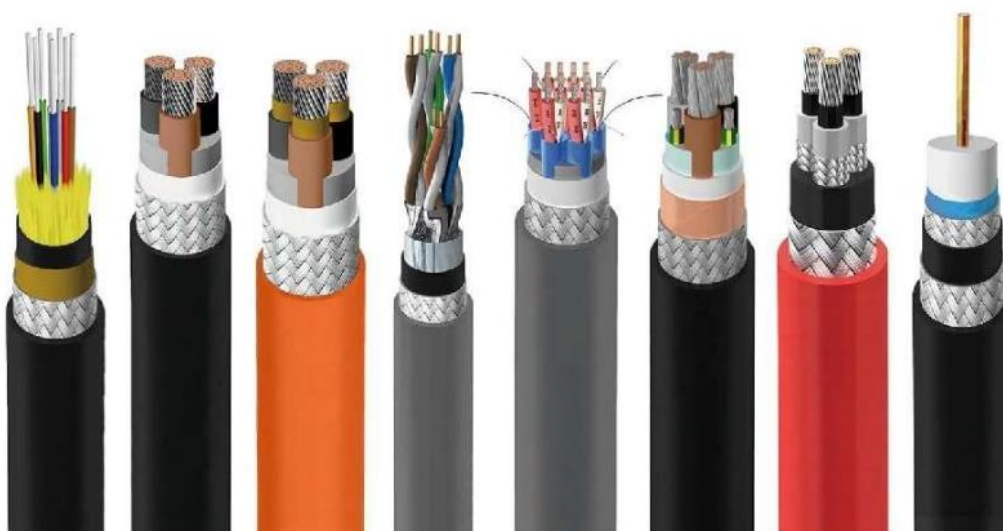
SOLAS-vaatimukset kattavat monia eri näkökohtia, kuten laivan rakenteen ja vakauden, paloturvallisuuden, hätävarusteet, hätävalaistuksen, pelastusveneiden ja -laitteiden sekä miehistön koulutuksen. Yleinen tavoite on varmistaa, että laivat ovat suunniteltu ja varustettu siten, että ne voivat torjua hätätilanteita merellä ja suojella ihmishenkiä. (IMO, 2019)

SOLAS-vaatimukset ovat sitovia kaikille SOLAS-yleissopimukseen kuuluvien valtioiden rekisteröimille ja käyttämille laivoille. Vaatimukset ovat olennainen osa kansainvälistä merenkulkualaa ja niiden noudattaminen on keskeinen tekijä merenkulun turvallisuuden takaamisessa maailmanlaajuisesti. (IMO, 2019)

### 3 Kaapelityypit

Risteilyaluksen kaapelityypit voivat vaihdella suuresti riippuen aluksen koosta, käyttötarkoituksesta ja vaatimuksista. Jokaisella kaapelityypillä on oma roolinsa aluksen toiminnassa, ja niiden tulee olla laadukkaita ja kestäviä. Risteilyaluksissa käytetään useita eri kaapelityyppejä. Kaapelityyppien oikeat valinnat ovat tärkeitä systeemien oikean toiminnan ja turvallisuuden takaamiseksi. Yleisimmät kaapelityypit voidaan karkeasti jaotella kuuluviksi ohjaus-, virta-, data-, viestintä-, instrumentointi-, suojattuihin, palosuojattuihin- ja koaksiaalikaapeleihin. Eri kaapelityyppejä yhdessä risteilyaluksessa sen koon mukaan on noin 100–200. Kuvasta 1 voidaan havaita, että kaapeleilla on monia erilaisia rakenteita. (Grand ocean, 2023)

Kuva 1. Eri kaapelityyppien rakenteita (Grand ocean, 2023).



#### 3.1 Kaapelityyppien erittely

Tässä luvussa esitellään yleisimpiä risteilyaluksilla käytettäviä kaapelityyppejä. Nämä kaapelityypit muodostavat olennaisen osan alusten toiminnallisesta infrastruktuurista, ja niiden tehtävänä on varmistaa järjestelmien ja laitteiden moitteeton toiminta. Risteilyaluksilla käytettävien kaapelityyppien kirjo on laaja, ja niiden valinta riippuu useista tekijöistä, esimerkiksi aluksen tarkoituksesta ja ympäristöolosuhteista.

Ohjauskaapelit ja virtakaapelit välittävät signaaleja laitteiden ja järjestelmien ohjaukseen. Niiden avulla voidaan määrittää laitteiden toiminnot, kuten käynnistys ja sammutus.

Virtakaapeleiden päätehtävä on siirtää sähkövirtaa aluksen eri osiin, jotta erilaiset laitteet ja järjestelmät saavat tarvittavan virran toimintaansa varten. Kaapelin ytimet ovat yleensä kuparia ja ytimet ovat yhteen kierrettyjä mahdollisten täyteaineiden tai tyhjäydinten kanssa symmetrisen ja pyöreän rakenteen aikaansaamiseksi kuten kuvasta 2 voimme nähdä. (Helkama Bica, 2023, s.8)

Kuva 2. Ohjaus- ja virtakaapeli (Helkama Bica, 2023, s.8).



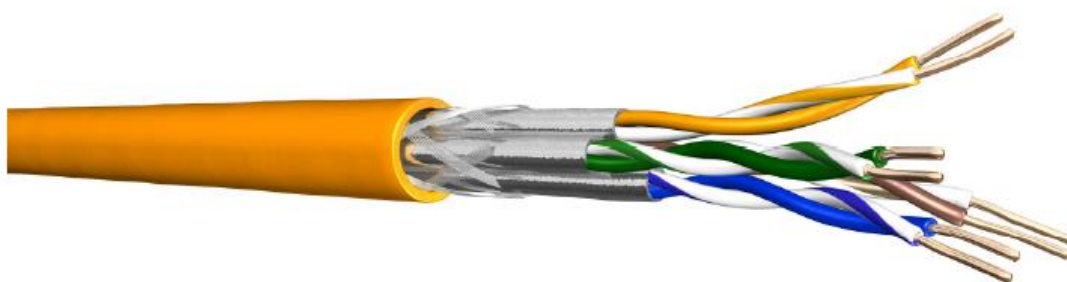
Datakaapelit välittävät tietoja järjestelmien ja laitteiden välillä, ja ovat olennaisia aluksen automaatiojärjestelmissä. Yleisimpiä datakaapelityyppejä ovat Ethernet- ja kuitukaapelit. Yleisimmin laivoissa käytetty datakaapeli on Cat.7 Ethernet kaapeli. Kuvassa 3 esimerkki kyseisestä datakaapelista. CAT 7 -datakaapelia käytetään korkean suorituskyvyn tietokoneverkoissa, jotka on suunniteltu yli 1 Gbps nopeuksiin. CAT 7 -kaapeli määritellään ISO/IEC 11801:2002-standardissa. CAT 7 -kaapeli sisältää neljä suojattua kierrettyä kupariparia ja kokonaiskaapelin suojauksen kuten kuvassa 3. (STL, 2022)

Kuva 3. Cat 7 -Datakaapeli (Prysmian Group, 2023).



**UC900 HS23 Cat.7 LSHF-FR C<sub>ca</sub>**

**S/FTP AWG23/1**



Kuitukaapelit ovat toinen yleinen datakaapelityyppi. Kuvasta 4 näemme, kuinka kuitukaapeli koostuu viidestä pääosasta: ytimestä, suoja-innoitteesta, päällysteestä, vahvistavista kuiduista ja kaapelikuoresta. Ydin on korkean puhtausasteen omaava lasi- tai muovisäie, jonka tehtävänä on kuljettaa optisia signaaleja. Ytimen halkaisija mitataan mikroneissa. Suurempi ydin mahdollistaa enemmän valon kantamista ja siten korkeamman datansiirtonopeuden. Suoja-innoite on ohut kerros ytimen päällä, joka pitää valo-aallot sisällään ja mahdollistaa datan kulkemisen kuitua pitkin. Päällyste on muovinen kerros suoja-innoitteen päällä, joka vahvistaa ydintä ja tarjoaa lisäsuojaa liiallisia taipumisia vastaan. Vahvistavat kuidut, kuten aramidi tai geelitäytteiset vaipat, suojaavat ydintä puristukselta ja liialliselta jännitteeltä asennuksen aikana. (Urban, 2013)

Kuva 4. Kuitukaapeli (Helkama Bica, 2023, s.92).



Viestintäkaapelit ja instrumentointikaapelit välittävät signaaleja mittauslaitteilta ohjausjärjestelmiin, mikä mahdollistaa aluksen toimintojen seurannan ja säädön. Kaapeleissa on kierretyt kuparijohtimet. Tämä tarkoittaa, että johtimet ovat monisäikeisiä, mikä mahdollistaa paremman joustavuuden ja sähkönjohtavuuden. Kuvasta 5 näemme, kuinka kaapelissa on kaksi eristettyä johtoa, jotka ovat kierretty yhteen muodostaen parin. Kierretyt parit vähentävät sähköistä häiriöitä ja parantavat signaalin laatua. (Helkama Bica, 2023, s.68)

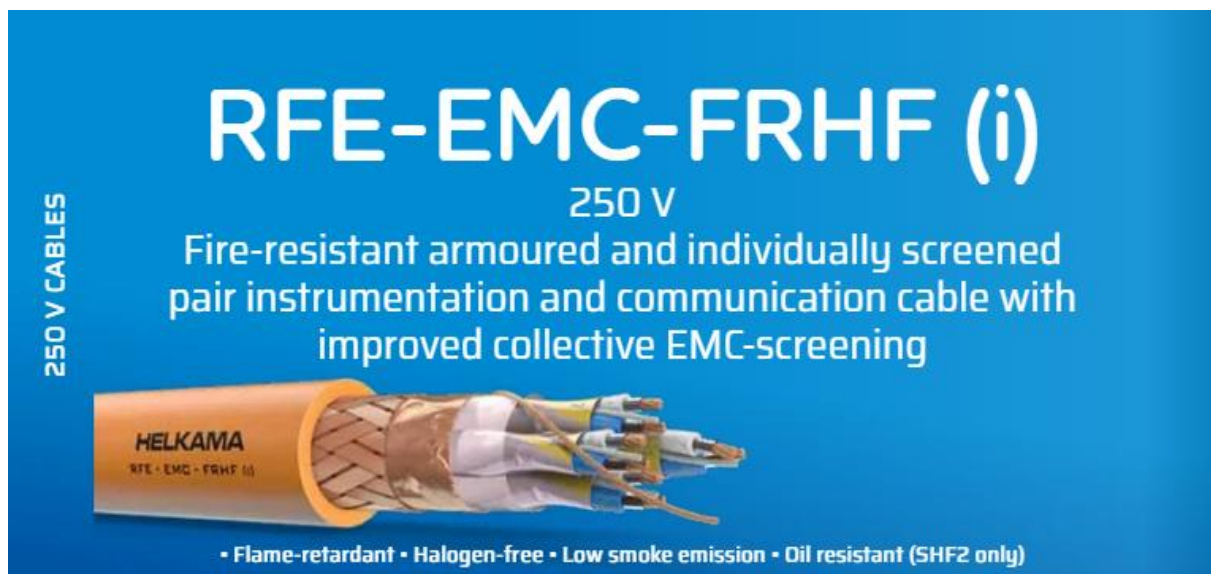
Kuva 5. Viestintä- ja instrumentointi kaapeli (Helkama Bica, 2023, s.68).



Suojatut kaapelit on varustettu suojakerroksella, joka estää ulkoisia häiriöitä vaikuttamasta signaaleihin, mikä on tärkeää signaalien luotettavuuden kannalta. Suojauksen tarkoituksena on suojata herkkiä signaaleja ulkoisilta elektromagneettisilta signaaleilta tai estää vahvempien signaalien vuotaminen ja niiden aiheuttama häirintä ympäröiville elektroniikkalaitteille. Tätä kutsutaan EMC- suojaukseksi. EMC-suojauksessa voidaan käyttää metallista suojaa, joka imee ilman kautta kulkevat elektromagneettiset häiriöt. Käytetyt materiaalit ja tekniikat riippuvat elektroniikan tyypistä ja taajuuksista. Esimerkkejä materiaaleista ovat metallifolio tai punos, jotka suojaavat kaapeleita. Kuvassa 6 kaapelissa on käytetty häiriösuojaukseen kuparipunosta ja -teippiä, lisäksi jokainen johdin pari on suojattu erikseen. (Moore, 2019)

Palosuojatut kaapelit on suunniteltu kestämaan tulipaloja, mikä on kriittistä aluksen turvallisuuden kannalta. Palosuojattujen kaapeleiden johtimien materiaalina käytetään yleensä kuparia koska se kestää korkeita lämpötiloja ilman sulamista. Kuparin sulamispiste on yli 1000 °C, mikä tekee siitä sopivan materiaalin palosuojattuihin kaapeleihin. Kuvassa 6 esimerkki palo- ja häiriösuojatusta kaapelista. Palosuojattujen kaapeleiden rakenne ja materiaalivalinnat varmistavat, että ne säilyttävät toimintakykynsä ja turvaavat kriittiset järjestelmät tulipalotilanteessa. (Chuangqi Cable, 2021)

Kuva 6. Palo- ja häiriösuojattukaapeli (Helkama Bica, 2023, s.78)



Koaksiaalikaapeleita käytetään signaalin siirtoon korkeilla taajuuksilla, kuten radio- ja televisiosignaalien välityksessä. Kuvassa 7 esimerkki koaksiaalikaapelista. Kaapelin keskellä on johdin, joka on yleensä valmistettu kuparista. Johdin voi olla joko kiinteä tai monisäikeinen. Keskusjohtimen ympärillä on dielektrinen eriste, joka eristää keskusjohtimen muista kaapelin osista. Eriste voi olla valmistettu erilaisista materiaaleista, kuten



polyeteenistä tai vaahtopolyeteenistä. Eristeen tarkoituksena on pitää keskusjohdin keskitettynä ja estää sähkövirran vuotaminen. Eristeen päällä on suojakerros, joka usein on metallista punosta tai foliota. Tämä kerros suojaa signaalia ulkoisilta sähkömagneettisilta häiriöiltä ja toimii myös kaapelin toisena johtimena. Tämä kerros on tärkeä signaalin laadun ja kaapelin suorituskyvyn kannalta. (Wilson Amplifiers, 2023)

Kuva 7. Koaksiaalikaapeli (Tameson, 2023)



Kaapelien valinta ja asennus on suoritettava huolellisesti ottaen huomioon aluksen erityisvaatimukset sekä kansainväliset ja paikalliset standardit. Tämä takaa laivan tehokkaan ja turvallisen toiminnan.

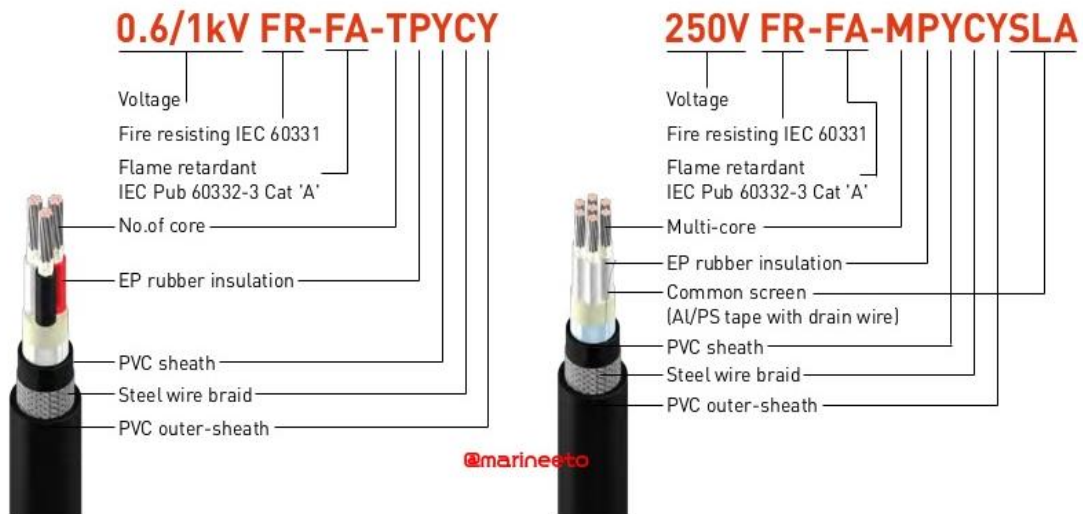
### 3.2 Kaapelityyppien nimeäminen

Laivakaapeleiden nimeäminen on olennainen osa merenkulun sähkötekniistä suunnittelua ja asennusta. Standardointiorganisaatiot, kuten Japanin teollisuusstandardit (JIS), ovat kehittäneet tarkkoja ohjeistuksia laivakaapeleiden nimeämistä varten, perustuen niiden rakenteellisiin ominaisuuksiin, materiaaleihin ja käyttötarkoituksiin. (Manikandan, 2020)

Esimerkiksi, kaapelin merkinnästä 0.6/1 kV FR-FA-TPYCY selviää useita tärkeitä tietoja. 0.6/1 kV kertoo kaapelin jännitetason. FR-FA ilmaisee liekin- ja tulenkestävyyden. T tarkoittaa kolmea ydintä. P tarkoittaa EPR-eristystä. Ensimmäinen Y tarkoittaa PVC-kuorta. C merkitsee galvanoitua teräslankakudosta. Viimeinen Y viittaa PVC-ulkovaippaan. Kuvassa 8 on havainnollistettu tyypillisiä kaapeleiden merkintöjä. (Manikandan, 2020)

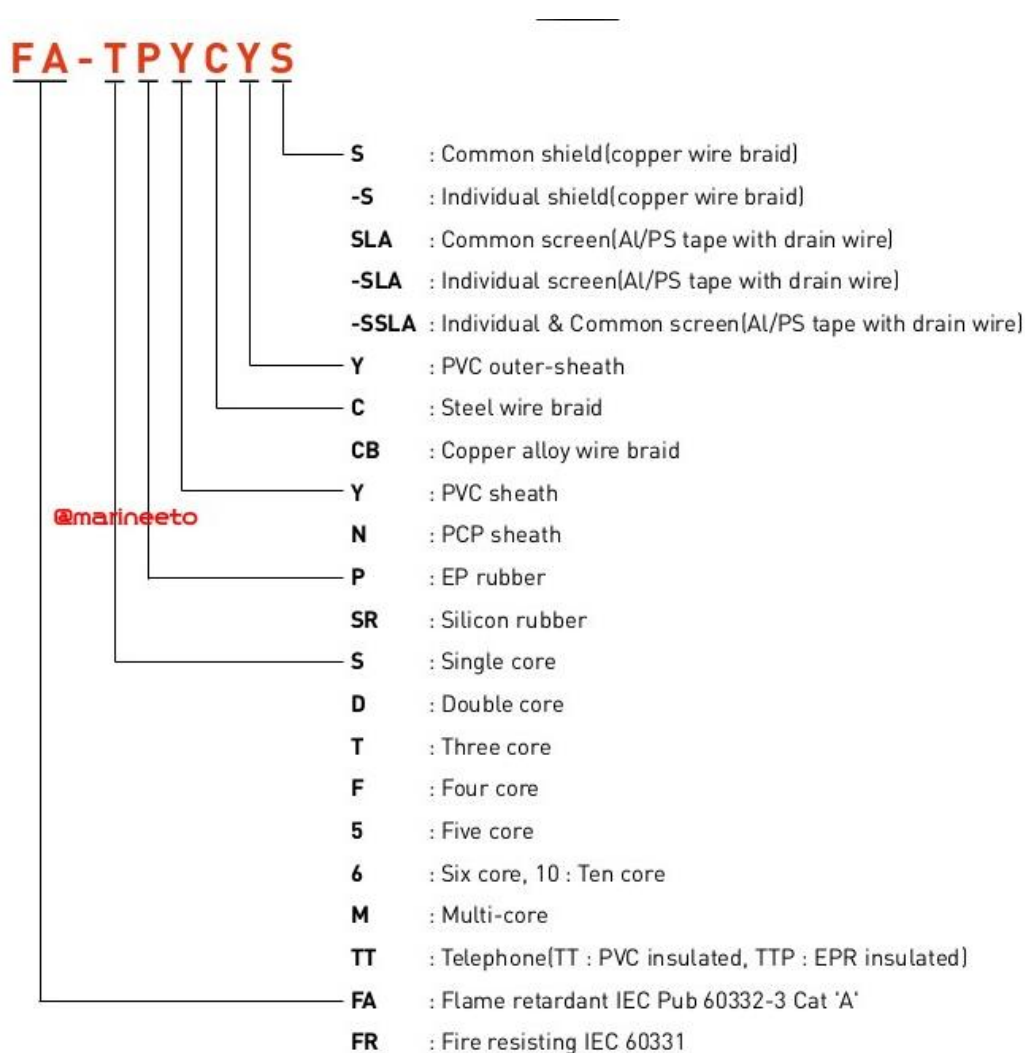


Kuva 8. Esimerkki kaapelin merkinnöistä (METO, 2020).



Tämä esimerkki havainnollistaa hyvin, miten jokainen merkintä antaa tärkeää tietoa kaapelin ominaisuuksista. Kaapeleiden symbolien ja tyyppien ymmärtäminen voi kuitenkin vaatia yksityiskohtaisempaa ohjeistusta ja viitemateriaaleja, sillä merkinnät saattavat vaihdella valmistajan ja kaapelin käyttötarkoituksen mukaan. Kuvassa 9 on selitetty JIS-standardin mukaiset kaapelityyppien kirjainyhdistelmät, jotka käytetään laivakaapelien nimeämisessä.

Kuva 9. Kaapelityyppien kirjainyhdistelmien merkitykset (METO, 2020)



### 3.3 Kaapeleiden värimerkinnät

Laivakaapeleiden värikoodauksella on merkittävä rooli laivojen turvallisessa ja tehokkaassa sähköjärjestelmien hallinnassa. Värikoodit auttavat tunnistamaan erityyppisiä kaapeleita ja niiden käyttötarkoituksia, mikä on välttämätöntä sekä laivojen rakennus- että huoltovaiheessa. Värikoodauksen avulla voidaan helposti tunnistaa, mitkä johdot ovat virtajohtimia, neutraalijohtimia tai maadoitusjohtimia. Tämä nopeuttaa asennusprosesseja ja vähentää virheiden riskiä. Erityyppisillä kaapeleilla, kuten virta-, ohjaus-, instrumentointi- ja datakaapeleilla, voi olla erilaiset värikoodit, ja nämä vaihtelevat myös eri valmistajien ja standardien mukaan. Laivakaapeleiden värikoodaus voidaan eritellä kaapelityypeittäin seuraavasti:

**Virtakaapelit:** Yksivaihejärjestelmässä tyypillisesti ruskea tai punainen vaihejohtimelle, sininen neutraalijohdolle ja vihreäkeltainen maadoitusjohdolle. Kolmivaihejärjestelmässä

ruskea, musta ja harmaa vaihejohtimille, sininen neutraalijohtolle ja vihreäkeltainen maadoitusjohtolle. (Electrical Technology, n.d.)

**Ohjaus- ja Instrumentointikaapelit:** Värit vaihtelevat kaapelin tyyppi- ja valmistajakohtaisesti, mutta usein käytetään erivärisiä johtimia tunnistuksen helpottamiseksi.

**Datakaapelit:** Nämä kaapelit käyttävät tyypillisesti parikaapeliin perustuvaa värikoodausta, kuten sininen/oranssi/vihreä/ruskea, jokaiselle parille. (Meridian Cable, n.d.)

**Koaksiaalikaapelit:** Ei tyypillistä värikoodausta, sillä ne koostuvat yleensä vain yhdestä keskusjohtimesta ja eristävästä kerroksesta.

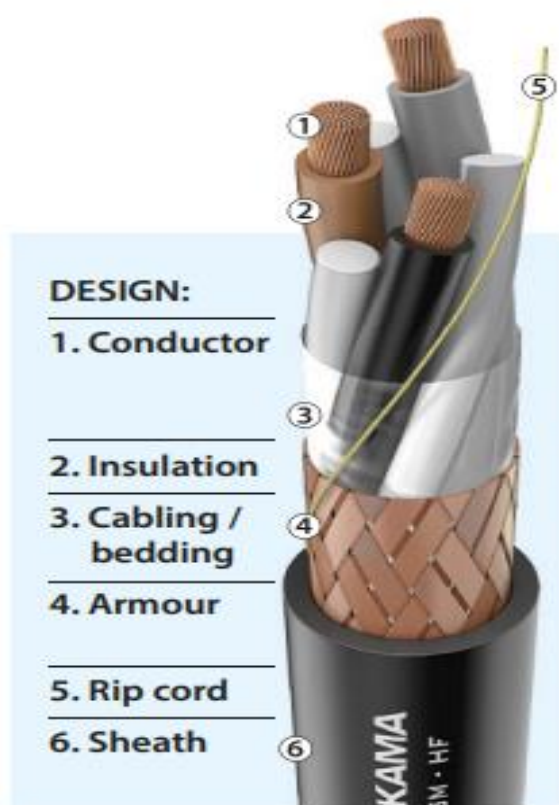
## 4 Kaapeleiden ominaisuudet

Laivakaapelit on suunniteltu kestäämään haasteellisia olosuhteita. Kaapelit valmistetaan materiaaleista, jotka kestävät kosteutta, suolavettä, kemikaaleja sekä lämpötilan vaihteluita. Laivakaapeleiden rakenteessa painotetaan erityisesti kestävyyttä ja joustavuutta, jotta ne kestävät laivan liikkeitä ja värinää. Palosuojaus on yksi laivakaapeleiden keskeisimmistä ominaisuuksista. Ne on valmistettu paloa hidastavista ja liekinkestävistä materiaaleista, mikä on tärkeää mahdollisissa tulipalotilanteissa. Lisäksi kaapelit on suunniteltu minimoimaan savun ja myrkyllisten kaasujen muodostumista. Mekaanisten ominaisuuksien osalta laivakaapeleiden on kestettävä suuria mekaanisia rasituksia, kuten venymistä, puristusta ja taivutusta. Niiden on myös oltava riittävän joustavia asennuksen helpottamiseksi ja kestääkseen laivan rakenteellisia liikkeitä. (JSHonest, 2021)

### 4.1 Materiaalit ja rakenne

Kaapeleiden oikeanlaiset materiaalit ja rakenne ovat todella tärkeitä niiden suorituskyvyn ja kestävyuden kannalta, varsinkin risteilyaluksissa, joissa vaaditaan erityisen korkeaa luotettavuutta ja turvallisuutta. Kaapelin rakenne ja käytetyt materiaalit määrittelevät sen fyysiset ja sähköiset ominaisuudet. Tämän vuoksi on tärkeää valita oikea kaapelityyppi kullekin sovellukselle ottaen huomioon sen erityisvaatimukset ja toimintaympäristö. Kuvassa 10 havainnollistettu tyypillistä kaapelin rakennetta. (Cable Source, 2023)

Kuva 10. Kaapelin rakenteita (Helkama Bica, 2017, s.10)



#### 4.1.1 Johdinmateriaalit

**Kupari (Cu):** Kupari on yleisin johdinmateriaali risteilyaluksilla käytetyissä sähkökaapeleissa. Se tarjoaa erinomaisen sähkönjohtavuuden ja kestävyuden, mikä on tärkeää sähkölaitteiden tehokkaassa toiminnassa aluksella.

**Alumiini (Al):** Alumiinia käytetään myös risteilyaluksilla erityisesti suurjännitekaapeleissa ja muissa suuritehoisissa sovelluksissa. Alumiini on kevyempi kuin kupari, mikä voi olla etu pitkien kaapeleiden asennuksessa.

**Messinki (CuZn):** Messinkiä voidaan käyttää erityisissä sovelluksissa, kuten laivojen instrumentointi- ja valvontajärjestelmissä. Se tarjoaa hyvän sähkönjohtavuuden ja korroosionkestävyyden.

**Hopea (Ag):** Hopea on erinomainen sähkönjohtaja, ja sitä voidaan käyttää erittäin herkissä elektroniikkasovelluksissa, kuten viestintälaitteissa ja mittausjärjestelmissä.

**Nikkeli (Ni):** Nikkelipäällystettyjä johdinsäikeitä voidaan käyttää erityisesti korroosionkestävissä kaapeleissa, jotka altistuvat merivedelle ja kosteudelle.

**Kulta (Au):** Kultapinnoitettuja johdinsäikeitä voidaan käyttää erityistilanteissa, kuten tarkkuusmittauksissa ja herkissä antureissa, joissa vaaditaan erittäin hyvää sähkönjohtavuutta ja korroosionkestävyyttä. (AWC, n.d.)

**Lasikuitu:** Lasikuitu on valmistettu silikasta, joka on hyvin puhdasta ja mahdollistaa datan siirron pitkiä matkoja vähäisellä signaalin menetyksellä. Lasikuitu on kuitenkin hauraampaa kuin muovi. Kuvasta 11 näemme tyypillisen kuitukaapelin rakennetta.

**Muovikuitu:** Muovikuitu on valmistettu materiaaleista kuten akrylaatista ja polyimidistä, jotka ovat joustavampia ja helpompia käsitellä, mutta eivät sovellu pitkän matkan datan siirtoon. (Noori, 2022)

Kuva 11. Kuitukaapelin rakenne (Helkama Bica, 2017, s.106).

## Optical fibre indoor/outdoor cable

Indoor/outdoor cable		5 slots	8 slots
1. Central element, glass fibre	Ø mm	1,5	3,3
2. PP slotted core	Ø mm	6,0	9,5
3. Optical fibres	Ø µm	250	250
4. Aramid binding yarn			
5. Swellable tape, rip cord			
6. UV-protected and halogen free sheath, colour orange			

Johdinmateriaalin valinta risteilyaluksilla käytetyissä kaapeleissa riippuu sovelluksen vaatimuksista, kuten sähkönjohtavuudesta, kestävydestä, painosta ja ympäristöolosuhteista. Kupari on yleisin valinta yleisten sähkökaapeleiden osalta, kun taas erikoistilanteissa ja tarkkuussovelluksissa voidaan käyttää muita materiaaleja, jotta saavutetaan tarvittavat ominaisuudet.

#### 4.1.2 Ulkovaipan materiaalit

Laivakaapeleiden ulkovaippamateriaalit valitaan niiden tarjoaman kestävyuden ja suojan perusteella. Näillä materiaaleilla on keskeinen rooli kaapelin suojaamisessa erilaisilta ympäristötekijöiltä. Alla on esitelty yleisimmät laivakaapeleiden ulkovaippamateriaalit sekä niiden keskeiset ominaisuudet:

**PVC (Polyvinyylikloridi):** PVC on yleinen valinta ulkovaipan materiaaliksi risteilyaluksilla. Se on kestävä ja suojaa kaapelia mekaanisilta vaurioilta ja ympäristötekijöiltä, kuten kosteudelta ja UV-säteilyltä. PVC-ulkovaippa on myös taloudellinen ja tarjoaa kohtuullisen hyvän sähkösuojan.

**PUR (Polyuretaani):** Polyuretaania käytetään kaapeleiden ulkovaippamateriaalina, kun tarvitaan erityistä kestävyttä öljyä, kemikaaleja ja mekaanista rasitusta vastaan. Se sopii hyvin sovelluksiin, joissa kaapeli joutuu alttiiksi ankariin olosuhteisiin. (Sick Inc., 2015)

**Halogeenittomat materiaalit:** Risteilyaluksilla noudatetaan turvallisuusvaatimuksia, jotka edellyttävät halogeenittomien ulkovaippamateriaalien käyttöä. Nämä materiaalit eivät vapauta myrkyllisiä kaasuja palon aikana ja ovat turvallisempia suljetuissa tiloissa.

**Kumi:** Kumi on joustava ja kestävä ulkovaippamateriaali, joka sopii erityisesti kaapeleihin, jotka altistuvat taivutukselle ja liikkeelle, kuten kaapelit, jotka liittyvät liikkuvien osien ohjaamiseen ja kontrollointiin risteilyaluksilla.

**Silikoni:** Silikoni on erittäin lämpötilakestävä ja säänkestävä materiaali, jota voidaan käyttää ulkovaipassa, kun kaapeli altistuu äärimmäisille lämpötiloille tai kosteudelle. (Eland Cables, n.d.)

Ulkovaipan materiaalin valinta riippuu sovelluksesta ja ympäristötekijöistä, joihin kaapeli altistuu risteilyaluksilla. Kaapelin on suojattava sisäistä rakennettaan ja sähköjohtimiaan sekä kestävä merelliset olosuhteet ja mahdolliset mekaaniset rasitukset. Turvallisuus- ja ympäristövaatimukset ovat myös tärkeitä tekijöitä materiaalin valinnassa.

#### 4.1.3 Suojausmateriaalit

Laivakaapeleiden suojausmateriaalit ovat olennainen osa kaapeleiden suunnittelua, sillä ne tarjoavat suojan sähköisiltä häiriöiltä ja mekaanisilta vaurioilta. Alla on kuvaus yleisimmistä suojausmateriaaleista ja niiden ominaisuuksista:

**Metallipunos:** Metallipunos on yleinen suojausmateriaali, joka voi kattaa kaapelin ulkopinnan. Se tarjoaa suojaa sähköisiltä häiriöiltä, kuten sähkömagneettiselta interferenssiltä (EMI) ja radiohäiriöiltä (RFI). Metallikudos voi myös toimia mekaanisena suojana, estäen kaapelin vaurioitumisen. Punoksen materiaalina käytetään yleensä kuparia tai alumiinia. Kuvassa 12 merkitty numerolla yksi kaapelin metallipunos. (NCC, 2022)

**Metalliteippi:** Metalliteippi on toinen vaihtoehto sähköisen suojan tarjoamiseksi. Se voi olla yksinkertaisempi kuin metallikudos, mutta se tarjoaa silti hyvän suojan EMI- ja RFI-häiriöiltä. Useasti käytetään molempia metalliteippiä ja -punosta samaan aikaan parhaimman häiriösuojauksen saavuttamiseksi. Teipin materiaalina käytetään yleensä kuparia tai alumiinia. Kuvassa 12 merkitty numerolla kaksi kaapelin metalliteippi. (NCC, 2022)

**Muovikalvo:** Muovikalvo voi olla lisäkerros kaapelin ympärillä, joka tarjoaa suojaa kosteudelta ja mekaanisilta vaurioilta. Se voi toimia myös dielektrisenä eristyksenä. Kuvassa 12 merkitty numerolla 3 kaapelin muovikalvo. (NCC, 2022)

**XLPE (Ristisilloitettu polyeteeni):** XLPE on yleinen eristysmateriaali risteilyaluksilla käytettävissä kaapeleissa, erityisesti voimakaapeleissa. XLPE-eristys on kemiallisesti ristisilloitettua, mikä parantaa sen lämpöominaisuuksia ja sähköistä suorituskykyä. Se tarjoaa hyvän sähkösuojan ja kestää korkeita lämpötiloja. Kuvassa 12 merkitty numerolla neljä kaapelin XLPE-eristys. (Csanyi ,2014)

Kuva 12. Esimerkki kaapelin suojausmateriaaleista. (Helkama Bica, n.d.)



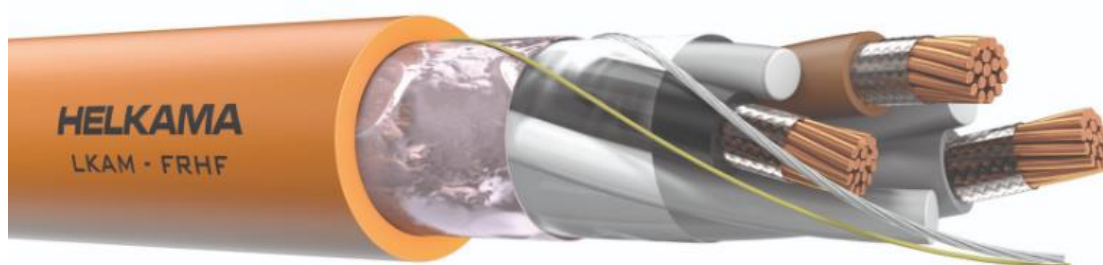
Suojausmateriaalin valinta riippuu kaapelin sovelluksesta ja altistumisesta erilaisille ympäristötekijöille. Risteilyaluksilla käytettävissä kaapeleissa on yleensä erityisiä vaatimuksia, jotka liittyvät käyttöolosuhteisiin ja turvallisuuteen, ja nämä vaatimukset ohjaavat suojausmateriaalin valintaa. On tärkeää varmistaa, että kaapeli tarjoaa riittävän suojan ja suorituskyvyn aluksen eri järjestelmiin ja laitteisiin.

#### 4.1.4 Täyteaineet ja kierre

Täyteaineet ovat materiaaleja, jotka lisätään kaapelin rakenteeseen täyteenä. Yleisimpiä täyteaineita ovat vaahtomuovit, muovit, aramidikuidut ja polyeteeni. Täyteaineet auttavat pitämään kaapelin muodon ja estävät sen litistymisen tai muodonmuutoksen. Tämä on erityisen tärkeää kaapeleissa, jotka joutuvat taipumaan ja liikkumaan, kuten ohjauskaapeleissa. Täyteaineet estävät ilmataskujen muodostumisen kaapelin sisälle, mitkä vaikuttavat kaapelin sähköiseen suorituskykyyn ja eristysominaisuuksiin. Täyteaineet auttavat estämään kosteuden pääsyn kaapelin sisälle, mikä on tärkeää kosteissa ympäristöissä, kuten merellä. Kaapeleissa käytetään usein myös niin sanottuja tyhjiä johtimia symmetrisen ja pyöreän muodon saavuttamiseksi kuten kuvasta 13 voimme nähdä. (Meridian Cable, n.d.)

Kaapelin kierre voi olla lisätty kaapelin sisälle tai ulkopuolelle, ja se koostuu yleensä kierretystä langasta tai nauhasta, joka kiertää kaapelia pitkin (kuva 13). Kierre voi parantaa kaapelin taivutusominaisuuksia ja mekaanista kestävyyttä. Se auttaa kaapelia kestämään taivutusta ja vetokuormaa. Kierre voi myös toimia suojana ulkoisia vaurioita vastaan, kuten hankautumista tai mekaanisia iskuja vastaan. (Teldor, 2021)

Kuva 13. Helkaman kaapeli, jossa on käytetty kierrettä ja tyhjiä johtimia. (Helkama Bica, n.d.)





Täyteaineet ja kierteet ovat hyödyllisiä parantamaan kaapelin suorituskykyä, luotettavuutta ja kestävyyttä erilaisissa sovelluksissa. Kaapelin suunnittelussa on otettava huomioon näiden lisäelementtien vaikutus kaapelin kokonaisrakenteeseen ja suorituskykyyn.

## 4.2 Palosuojaus

Risteilyaluksilla kaapelien paloturvallisuus on äärimmäisen tärkeää, sillä ne ovat suljettuja tiloja, joissa tulipalon syttyessä on vaarassa suuri määrä ihmisiä. Tämän vuoksi käytössä on erikoiskaapeleita, jotka on suunniteltu minimoimaan paloriskiä ja takaamaan kriittisten järjestelmien toiminnan tulipalon aikana. Risteilyaluksilla käytettävien kaapeleiden paloturvallisuusvaatimukset on määritelty kansainvälisissä standardeissa, kuten IEC 60332-3, joka on testi paloa levittäville kaapeleille eri luokissa, ja IEC 60331-sarja, joka määrittelee kaapeleiden tulenkestävyyden testausmenetelmiä ja vaatimuksia. (ZMS, 2023)

Kaikki laivakaapelit ovat ensisijaisesti halogeenittomia. Halogeenittomuus tarkoittaa, että materiaalissa ei ole halogeeneja kuten klooria tai fluoria. Tämä on tärkeää, sillä halogeenit voivat vapauttaessaan muodostaa myrkyllisiä kaasuja. IEC 60754 -standardisarja määrittelee kriteerit halogeenipitoisuudelle, materiaalin halogeenipitoisuus ei saa ylittää 0,5 % tai 5 mg/g. Lisäksi tämä standardi asettaa rajoja savukaasujen happamuudelle ja johtavuudelle. Savunmuodostusominaisuuksia säätelevät IEC 61034 -standardit, jotka keskittyvät savun näkyvyyteen tulipalossa. Parempi valonläpäisy tarkoittaa parempaa näkyvyyttä, mikä on elintärkeää evakuointitilanteissa. Savunmuodostusstandardien mukaan materiaalin tulee läpäistä testit, jotka mittaavat valonläpäisyn määrää savukammiokeessa, jossa vaaditaan vähintään 60 % valonläpäisykykyä. Näitä standardeja noudattamalla pyritään varmistamaan, että tulipalon sattuessa ihmiset voivat nähdä ja päästä turvaan. (Helkama Bica, 2023, s.114)

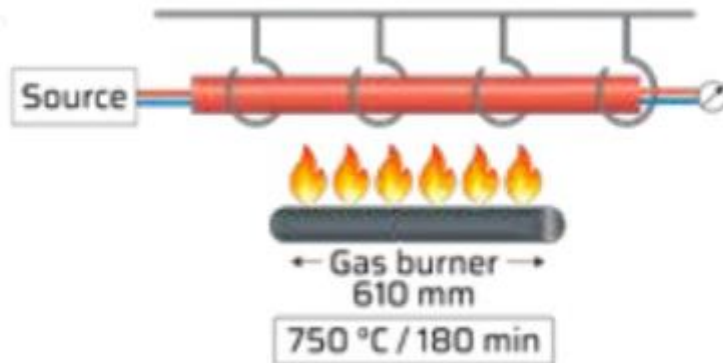
### 4.2.1 Palonkestävät kaapelit

Palonkestävät kaapelit testataan IEC 60331-standardien mukaisesti, mikä tarkoittaa, että ne on suunniteltu säilyttämään toimintakykynsä suorassa kosketuksessa tuleen ja kestäämään korkeita lämpötiloja ilman merkittävää sähköisten ominaisuuksien heikkenemistä. Seuraavaksi on esitetty erilaisia testejä, joilla määritellään kaapeleiden palonkestävyyttä. (MOTIS, 2022)

IEC 60331-25 -standardi määrittelee testimenetelmän, jossa kaapelin on kestävä 750 °C lämpötilaa 180 minuutin ajan. Kaapelin on toimittava vähintään 180 minuuttia liekin alla ja pysyttävä yhdistettynä vielä 15 minuuttia liekin sammuttamisen jälkeen (jäähdytysaika).

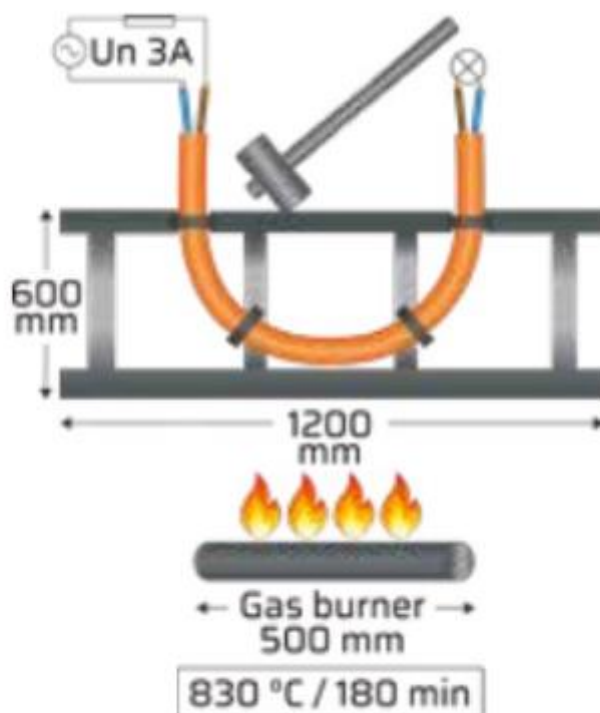
Testin aikana mitataan ja kirjataan signaalin heikkenemisen eli vaimenemisen suurin lisäys. Kuvassa 14 havainnollistettu standardin mukaista testausta. (Helkama Bica, 2023, s.115)

Kuva 14. IEC 60331-25 -standardin mukainen testi (Helkama Bica, 2023, s.115).



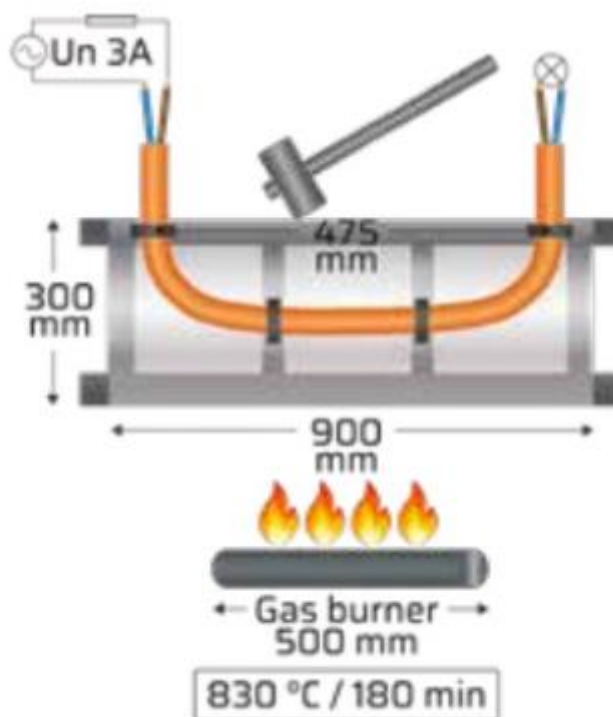
iskunkestävyyden suhteen. Testissä kaapelin on kestävä vähintään 830 °C lämpötilaa 180 minuutin ajan. Tämä testi koskee kaapeleita, joiden nimellisjännite on korkeintaan 0.6/1.0 kV ja joiden halkaisija on yli 20 millimetriä. Kuvassa 15 havainnollistettu standardin mukaista testausta. (Helkama Bica, 2023, s.115) IEC 60331-1 -standardi kuvaa testausmenetelmää, jossa kaapeleita testataan tulen ja

Kuva 15. IEC 60331-1 -standardin mukainen testi (Helkama Bica, 2023, s.115).



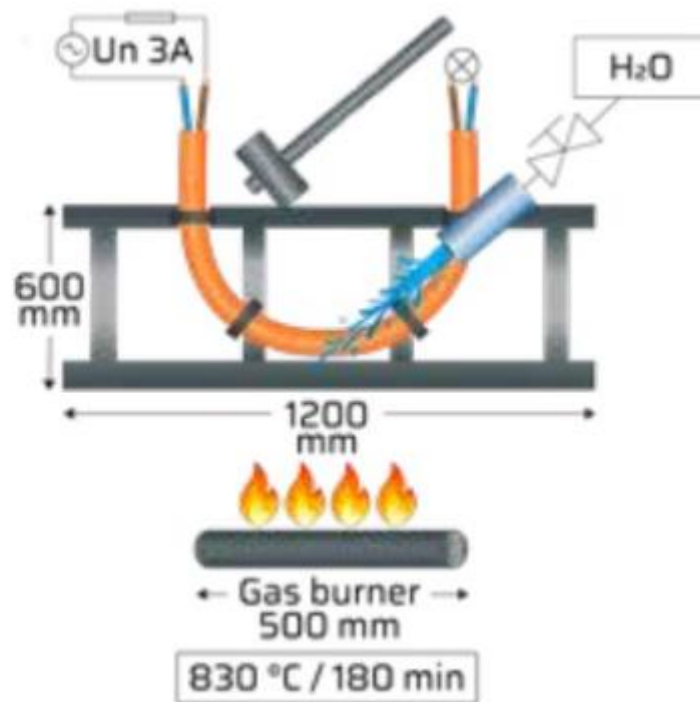
IEC 60331-2 -standardi esittää testausmenetelmän, jossa kaapelit altistetaan tulelle ja iskuille. Testissä kaapelien on kestettävä vähintään 830 °C lämpötilaa 180 minuutin ajan. Tämä menetelmä on tarkoitettu kaapeleille, joiden nimellisjännite on 0.6/1.0 kV saakka ja joiden ulkohalkaisija on alle 20 millimetriä. Kuvassa 16 havainnollistettu standardin mukaista testausta. (Helkama Bica, 2023, s.115)

Kuva 16. IEC 60331-2 -standardin mukainen testi (Helkama Bica, 2023, s.115).



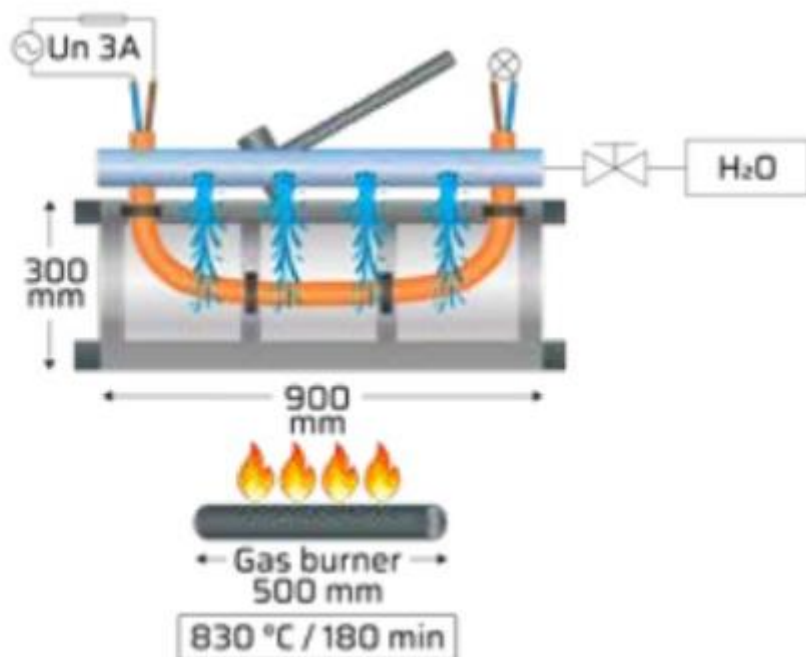
Standardien IEC 60331-1 ja BS 8491:n yhdistelmä kuvaa testausmenetelmää, jossa kaapelit altistetaan tulen ja iskujen yhdistelmälle. Testi edellyttää, että kaapelit sietävät vähintään 830 °C lämpötilaa 180 minuutin ajan ja on tarkoitettu yli 20 mm paksuisille kaapeleille. Viisi minuuttia ennen liekille altistamisen päättymistä suoritetaan vesisuihkutesti, jossa kaapelia suihkutetaan vedellä 5 sekunnin ajan. Tätä toistetaan, kunnes yhteensä viisi suihkutusta on suoritettu. Kuvassa 17 havainnollistettu testausmenetelmää. (Helkama Bica, 2023, s.115)

Kuva 17. IEC 60331-1 ja BS 8491:n yhdistelmän mukainen testaus (Helkama Bica, 2023, s.115).



Standardi IEC 60331-2 yhdistettynä standardiin EN 50200 määrittelee testausmenetelmän kaapeleille, jotka altistetaan tulelle ja iskuille. Testissä kaapeleiden on kestettävä vähintään 830 °C lämpötilaa 180 minuutin ajan, ja on tarkoitettu alle 20 mm paksuisille kaapeleille. Viisitoista minuuttia ennen testin liekille altistamisen päättymistä aktivoidaan vesisuihkut, jotka suihkuttavat vettä aina liekille altistamisen loppumiseen saakka. Kuvassa 18 havainnollistettu testausmenetelmää. (Helkama Bica, 2023, s.115)

Kuva 18. IEC 60331-2 ja EN 50200 yhdistelmän mukainen testaus (Helkama Bica, 2023, s.115).



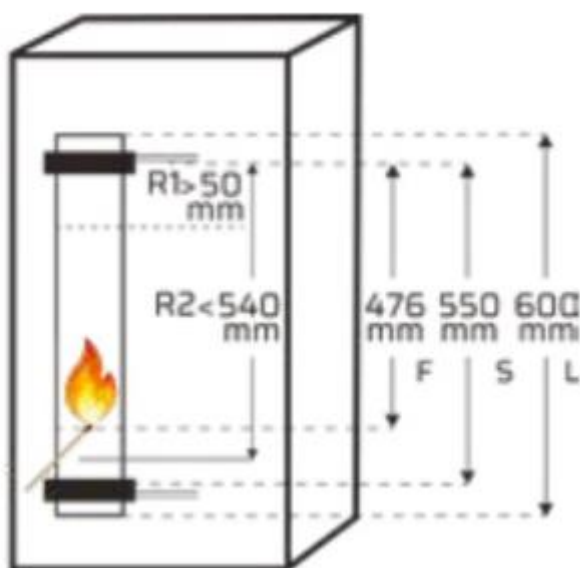
Palonkestävät kaapelit on suunniteltu säilyttämään toimintakykynsä suorassa kosketuksessa tuleen. Ne kestävät korkeita lämpötiloja ilman sähköisten ominaisuuksiensa merkittävää heikkenemistä. Nämä kaapelit ovat välttämättömiä hätäjärjestelmissä, kuten palohälytysjärjestelmissä, hätävalaistuksessa, savunpoistojärjestelmissä ja muiden turvallisuusjärjestelmien sähkösyötössä. Palonkestävien kaapeleiden eristeet ja kuoret ovat usein valmistettu erikoismateriaaleista, jotka eivät sula tai hajoa korkeissa lämpötiloissa. Nämä materiaalit voivat olla esimerkiksi silikonipohjaisia tai erilaisia mineraalipohjaisia komposiitteja. Palonkestävien kaapeleiden testaus ja sertifiointi suoritetaan tiukkojen kansainvälisten standardien mukaan, jotta kaapeleiden suorituskyky vaativissa olosuhteissa voidaan varmistaa. (MOTIS, 2022)

#### 4.2.2 Palonhidastavat kaapelit

Palonhidastavat kaapelit on suunniteltu estämään tulen leviämistä ja vähentämään savun ja myrkyllisten kaasujen muodostumista. Kaapelit testataan IEC 60332-3 ja IEC 60332-1-standardin mukaan. Nämä testit määrittelevät, miten kaapelit reagoivat tuleen ja kuinka hyvin ne estävät tulen leviämistä.

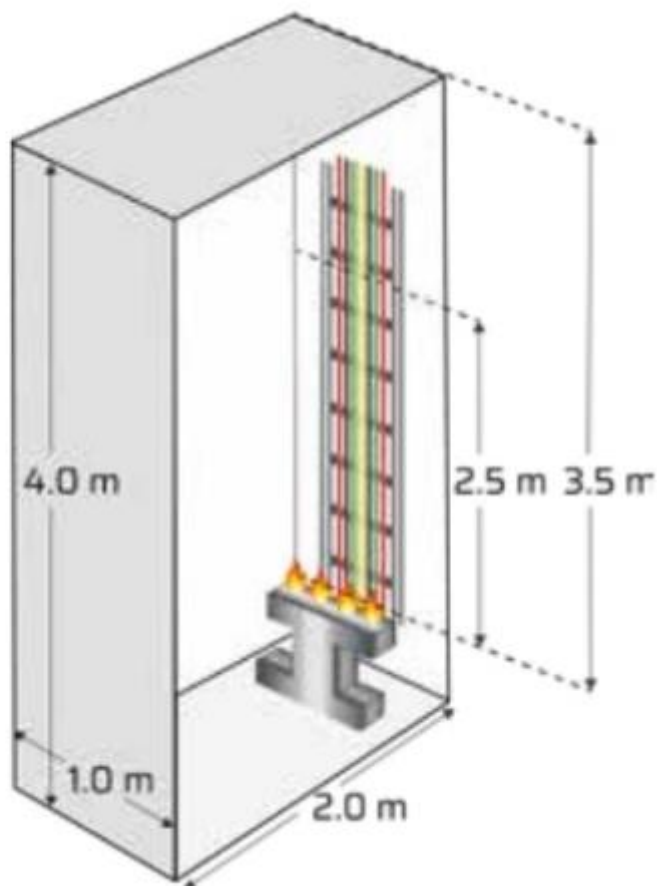
IEC 60332-1 -standardi määrittelee testausprosessin yksittäiselle kaapelille. Testin vaatimukset ovat: Kaapelista vähintään 50 millimetrin pituisen osan, joka on mitattu alkaen tukirakenteen yläpäästä, tulee kestää palamatta määritelty testiaika. Testimenetelmä havainnollistettu kuvassa 19. (Helkama Bica, 2023, s. 114).

Kuva 19. IEC 60332-1 -standardin mukainen testi (Helkama Bica, 2023, s. 114).



IEC 60332-3 standardi sisältää testausohjeet niputetuille kaapeleille kaapelit jaotellaan A-, B- ja C-luokkiin. Nämä luokat erottuvat toisistaan palavien materiaalien määrän ja sallitun palamisajan perusteella. Testattavien kaapeleiden on sammuttava itsestään ilman ulkopuolista sammutusapua, kun liekki on poistettu. Testin vaatimukset ja menettelyt on esitetty kuvassa 20. Kaapeleiden palaminen sallitaan korkeintaan 2,5 metrin etäisyydelle sytytyslähteestä annetun ajanjakson sisällä. (Helkama Bica, 2023, s.115)

Kuva 20. IEC 60332-2 -standardin mukainen testi (Helkama Bica, 2023, s.115)



Palonhidastavat kaapelit on tarkoitettu estämään liekin leviämistä ja vähentämään savun ja myrkyllisten kaasujen muodostumista. Ne eivät välttämättä säilytä toimintakykyään palossa kuten palonkestävät kaapelit, mutta ne estävät tulen leviämistä kaapelireittejä pitkin. Nämä kaapelit on valmistettu materiaaleista, jotka eivät helposti syty tai levitä tulta, ja jotka tuottavat mahdollisimman vähän savua ja haitallisia kaasuja tulipalon aikana. Palonhidastavia kaapeleita käytetään yleisesti paikoissa, joissa on paloriski, mutta joissa ei ehkä vaadita kaapeleiden toimintakyvyn säilymistä tulipalon aikana.

Risteilyaluksen kaapeloinnin suunnittelussa ja asennuksessa on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota paloturvallisuuteen, ja kaapeleiden valinta tehdään sekä aluksen erityistarpeiden että kansainvälisten turvallisuusstandardien perusteella.

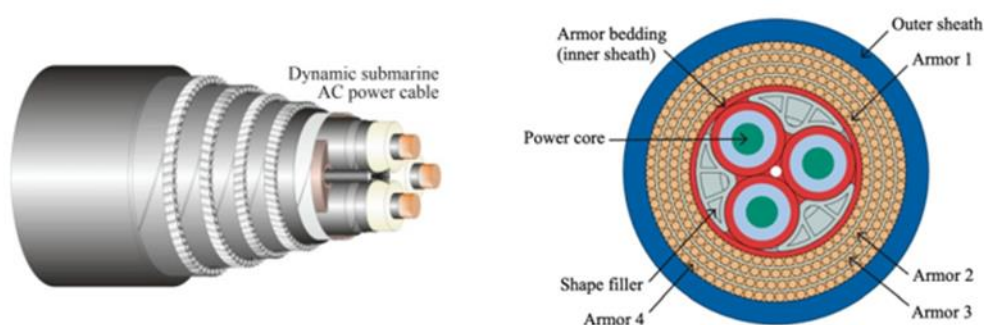


### 4.3 Mekaaniset ominaisuudet

Vaikka kaapeleiden sähköiset ominaisuudet ja – vaatimukset ovatkin oleellisia tekijöitä kaapeleiden käytölle, niiden mekaaniset ominaisuudet esimerkiksi mekaanisen kestävyuden kannalta tulee ottaa huomioon. Mekaanisilla ominaisuuksilla tarkoitetaan kaapeleiden fyysisiä piirteitä ja ominaisuuksia, jotka liittyvät niiden mekaaniseen kestävyteen, joustavuuteen, taipuisuuteen, asennettavuuteen, huoltoon, painoon ja muihin vastaaviin tekijöihin. Nämä ominaisuudet vaikuttavat kaapelin käyttöön, asennukseen, huollettavuuteen ja kestävyteen erilaisissa ympäristöissä ja sovelluksissa.

Kaapeleiden mekaanista kestävyttä pyritään parantamaan mm. erityyppisillä suojakerroksilla tai vetolangoilla. Kuvassa 21 on perinteinen merivoimakaapeli, jossa on käytetty metallisia suojakerroksia. Nämä kerrokset lisäävät kaapelin poikkileikkauksen taivutus- ja vääntöjäykkyyttä. Samoilla tavoilla voidaan lisätä myös laivakaapeleiden mekaanista kestävyttä. (Ringsberg et al, 2023)

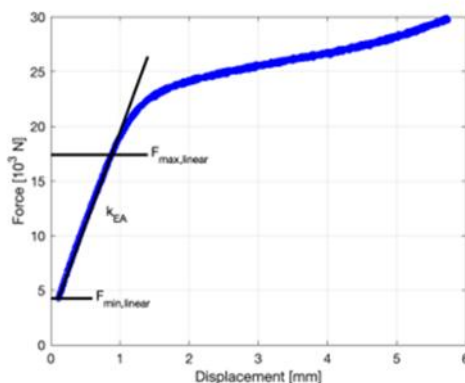
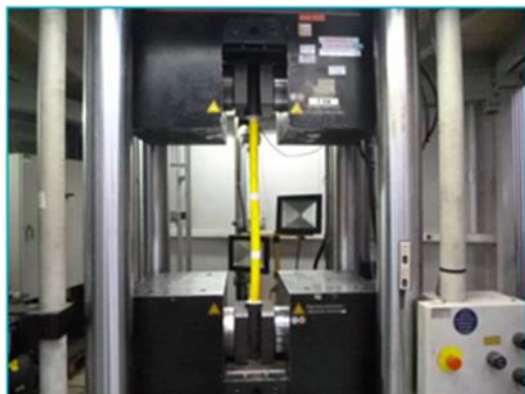
Kuva 21. Esimerkki merisähkökaapelin rakenteesta (Ringsberg et al, 2023).



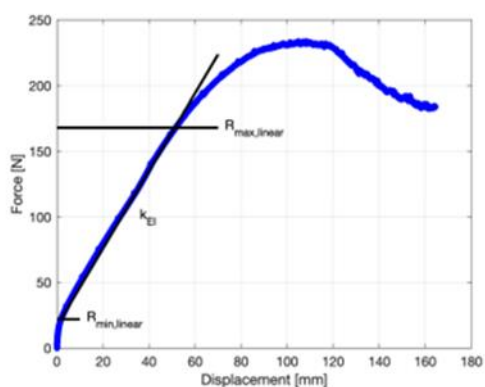
Mekaanisia ominaisuuksia voidaan selvittää erityyppisillä mekaanisilla testeillä.

Tyypillisimmät kaapeleiden mekaaniset testit ovat vetolujuutta mittaava vetotesti (kuva 22) tai taivutustesti (kuva 23).

Kuva 22. Esimerkki kaapelin vetokokeesta. Testin tuloksena saadaan voima-venymäkäyrä. Testillä mitataan, kuinka paljon kaapeli kestää vetokuormitusta. (Ringsberg et al, 2023).



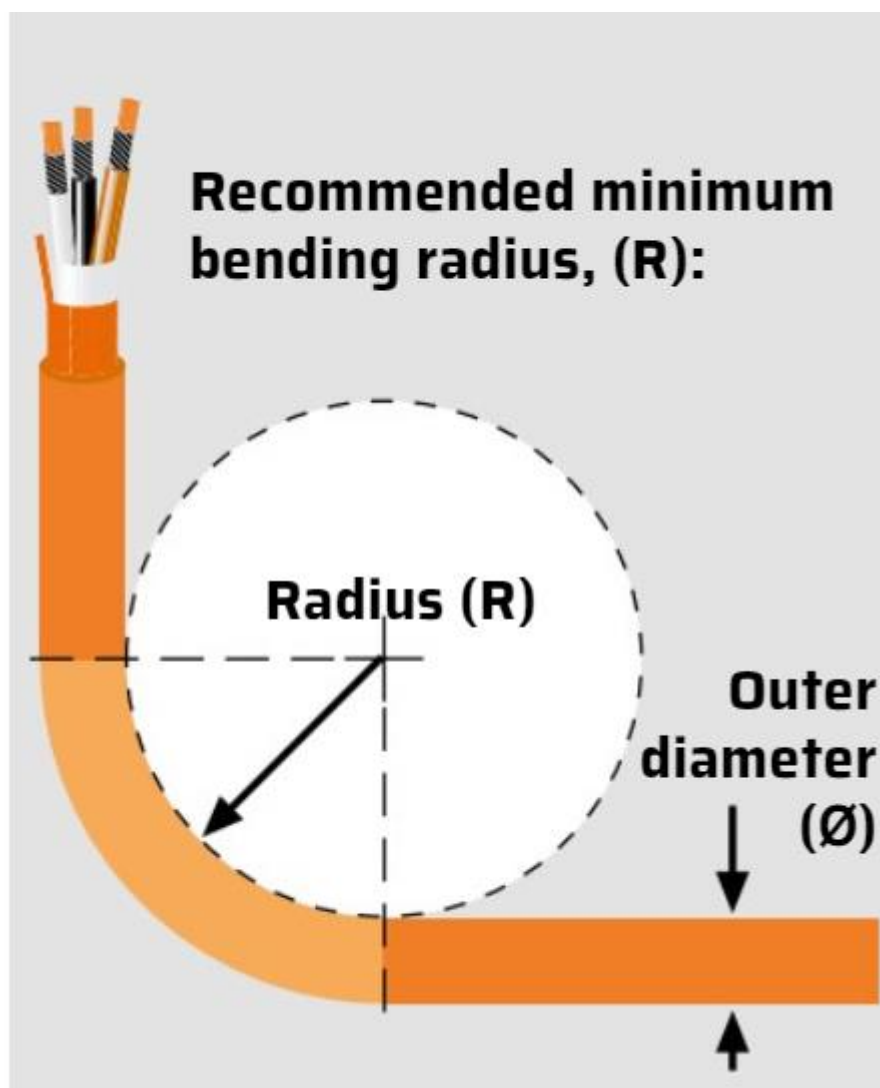
Kuva 23. Esimerkki kaapelin 3-pistetaivutuskokeesta. Testin tuloksena saadaan voima-siirtymäkäyrä. Testillä mitataan, kuinka paljon kaapeli kestää taivutuskuormitusta. (Ringsberg et al, 2023).



Muita kaapelin mekaanisia ominaisuuksia mittaavia testejä ovat lisäksi vääntötestit, pinnan kulutustestit ja väsytestit. Kaapeleita testataan myös erityyppisillä lämpötila-kosteus-suolapitoisuus- UV testimenetelmillä. Mekaanisten vaatimukset on eritelty kaapelitoimittajien valintaluetteloissa.

Taivutussäde on myös keskeinen tekijä, joka vaikuttaa kaapeleiden käyttöikään, suorituskykyyn ja asennukseen. Taivutussäteellä tarkoitetaan pienintä sädettä, jonka ympärille kaapeli voidaan taivuttaa (kuva 24) ilman, että sen suorituskyky heikkenee. Säde vaihtelee eri kaapelityyppien mukaan. Yleinen laskentakaava taivutussäteelle on kaapelin ulkohalkaisija kerrottuna kaapelin kertoimella minkä määrittelee yleensä kaapelin valmistaja. Taivutussäteen suuruuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten kaapelin koko, rakennustapa, johtimen tyyppi sekä suoja- ja eristemateriaalit. (Eland Cables, 2023)

Kuva 24. Kaapelin taivutussäde (Helkama Bica, 2023, s.116)



## 5 Kaapelityyppien yhtenäistäminen

Kaapelityyppien yhtenäistämisen prosessi aloitettiin suorittamalla kartoitus käytössä olevista kaapelityypeistä viimeisimmässä laivaprojektissa. Havaittiin, että projektissa oli käytössä paljon erilaisia kaapelityyppejä. Kartoituksen keskiössä olivat erityisesti reititetyt kaapelit ja tästä joukosta valittiin eniten käytetyt kaapelityypit metrimäärän perusteella. Näiden joukosta edelleen valittiin ne kaapelityypit, jotka aiheuttivat suurimmat kustannukset.

### 5.1 Kaapelityyppien kartoitus

Kaapelityyppien kartoitus aloitettiin keräämällä tietoa yrityksen eri tietokannoista. Aluksi selvitettiin mitä kaikkia eri kaapelityyppejä on käytössä yrityksen materiaalistandardin mukaan. Selvityksen jälkeen keskityttiin tutkimaan, mitä kaapelityyppejä oli käytetty

viimeisimmässä laivaprojektissa yrityksen tietokannasta, joka sisältää projektikohtaiset listaukset käytetyistä kaapelityypeistä. Lisäksi tietoa kerättiin projektikohtaisesta kaapelitietokannasta ja varaston tietokannasta saatiin selville kaapelityyppien metrimääräisiä hintoja. Näiden tietokantojen avulla voitiin laatia yksityiskohtainen kartoitus käytössä olevista kaapelityypeistä ja niiden hinnoista.

## **5.2 Kaapeleiden valinta ja luokittelu**

Tarkastelun kohteeksi valikoitui erityisesti reititettävät kaapelit. Eri kaapelityyppien pituustietoja kerättiin hyödyntämällä projektikohtaista tuotannonkaapelitietokantaa. Tästä tietokannasta koottiin tiedot siitä, kuinka paljon eri kaapelityyppejä oli käytetty viimeisimmässä projektissa sekä niiden kappalemäärät, kokonaismetrilukemat ja keskimääräiset pituudet. Nämä tiedot yhdistettiin yhteen Excel-taulukoon, johon lisättiin myös kaapeleiden metrimääräiset hinnat. Tämän tiedon perusteella laskettiin ja koottiin taulukoon kunkin kaapelityypin kokonaiskustannukset. Taulukon avulla pystyttiin selvittämään mitkä kaapelityypit olivat eniten käytettyjä. Eniten käytetyt kaapelityypit kerättiin omaan taulukkoonsa ja näistä kaapeleista tehtiin ominaisuuksien mukaan, luokiteltiin taas omiin taulukkoihinsa, näin saatiin kaapelityyppien vertailua helpotettua huomattavasti.

## **5.3 Vertailu**

Valittaessa vertailuun otettavia kaapelityyppejä, käytettiin systemaattista lähestymistapaa, jossa kaapelit jaettiin ryhmiin niiden yhteisten ominaisuuksien, kuten nimellisjännitteen, suojausten ja käyttötarkoituksen perusteella. Tämä jaottelu mahdollisti tarkan vertailun samankaltaisten kaapelien välillä. Vertailuprosessissa keskityttiin erityisesti suojauksiin ja hintoihin, jotka ovat keskeisiä tekijöitä kaapeleiden valinnassa. Tietolähteenä toimivat eri valmistajien kaapelikatalogit, joista saatiin arvokasta ja kattavaa tietoa eri kaapeleiden ominaisuuksista. Katalogeista saatiin tietoa kaapeleiden sähkönjohtavuudesta, palosuojauksesta ja käytettyjen materiaalien laadusta ja kestävydestä. Tämän perusteellisen vertailun avulla oli mahdollista tehdä tietoon perustuvia päätöksiä kaapelityyppien vertailussa. Vertailun päätteeksi yhtenäistettävistä ja vaihdettavissa olevista kaapelityypeistä koostettiin ehdotelma.

## 6 Löydökset ja tulokset

Löydöksistä toimitettiin toimeksiantajalle yksityiskohtaisempi raportti mikä sisälsi tarkemmat tiedot työn tuloksista ja kehitysehdotuksista. Seuraavaksi on esitelty työn löydökset ja tulokset yleisellä tasolla.

Vertailussa havaittiin, että datakaapelit kuten luvussa 3.1 aiheuttivat merkittävimmät kustannukset nykyaikaisissa, automatiikkaa paljon hyödyntävissä aluksissa. Datakaapeleita käytettiin myös muita kaapelityyppejä enemmän metrimääräisesti, mikä lisäsi niiden taloudellista vaikutusta. Seuraavaksi suurimmat kustannukset tuottivat paksut virtakaapelit. Vaikka niitä ei käytetty yhtä paljon kuin datakaapeleita, niiden kustannukset olivat korkeat paksujen kuparijohtimien vuoksi. Ohjaus- ja virtakaapelit kuten luvussa 3.1 olivat myös huomattava kustannuserä niiden suuren käyttömäärän takia. Kaapelityyppien yhdenmukaistamisen osalta ehdotettiin, että erilaisia datakaapelityyppejä voitaisiin korvata monipuolisemmilla ja laadukkaammilla, mutta kalliimmilla kaapeleilla. Tämä tarkoittaisi, että valittaisiin yksi parhailla ominaisuuksilla varustettu datakaapelityyppi ja käytettäisiin sitä myös niissä järjestelmissä, joissa korkealaatuisia kaapeleita ei välttämättä tarvita. Tällöin yhden kaapelityypin tilausmäärät kasvaisivat, mikä mahdollistaisi hinnan neuvottelun alaspäin. Paksujen virtakaapeleiden osalta tällaista vaihtoa tai yhdenmukaistamista ei kuitenkaan pidetty mahdollisena, koska ne ovat kriittisiä aluksen toiminnalle. Toisaalta ohjaus- ja virtakaapeleiden kohdalla voitaisiin tehdä samankaltaisia muutoksia kuin datakaapeleiden kanssa. Voittaisiin valita kaapelityyppejä, joilla on samanlaiset tekniset ominaisuudet mutta parempi suojaus. Tämä mahdollistaisi jälleen kerran suurempien tilausmäärien saavuttamisen ja hinnan neuvottelun alemmas, mikä toisi taloudellista hyötyä pitkällä aikavälillä.

## 7 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli pyrkiä yhtenäistämään risteilyaluksissa käytettyjä kaapelityyppejä. Risteilyaluksilla käytetyillä kaapeleilla on merkittävä rooli aluksen toiminnassa, ja niiden tulee olla laadukkaita ja kestäviä. Työn aihe oli laaja mutta se onnistuttiin koostamaan sopivaksi kokonaisuudeksi. Tutkimusmenetelmien käyttö onnistui hyvin, tietokantojen ja asiantuntija haastatteluiden perusteella saatiin laadittua ehdotus yhtenäistettävistä kaapelityypeistä.

Seuraavana vaiheena olisi selvittää, miten kaapelityyppien muutokset vaikuttavat kokonaiskustannuksiin yhteistyössä hankintatiimin kanssa. Lisäksi aiheen jatkotutkimuksena olisi tärkeää tutkia, kuinka kaapelityyppien yhtenäistäminen vaikuttaa erityisesti asennustarvikkeiden valintaan, kaapeliläpivienteihin sekä kaapelipäätteisiin, mikä auttaisi ymmärtämään muutoksen laajempia vaikutuksia aluksen sähköjärjestelmien asennukseen ja ylläpitoon.

## Lähteet

- AWC (n.d.). Common Conductor Materials for Wire and Cable. Haettu 15.10.2023.  
<https://www.awcwire.com/customersupport/techinfo/conductor-materials>
- Cable Source, (2023). Everything You Need To Know About Manufacturing Marine Cables. Haettu 17.11.2023. <https://cablesource.com.sg/everything-you-need-to-know-about-manufacturing-marine-cables/>
- Chuangqi Cable (2021). How to choose fire-resistant cable materials. Haettu 25.10.2023  
<https://www.chqcable.com/news/how-to-choose-fire-resistant-cable-materials.html>
- Csanyi, E. (12.11.2014) Characteristics of XLPE insulated cables. EPP. Haettu 10.10.2023  
<https://electrical-engineering-portal.com/characteristics-of-xlpe-insulated-cables-with-reference-to-the-uk-standards>
- DNV (n.d.) About DNV Haettu 23.08.2023 <https://www.dnv.com/about/index.html>
- Eland Cables (n.d.). What are the benefits of Rubber insulated cables? Haettu 05.11.2023  
<https://www.elandcables.com/the-cable-lab/faqs/faq-what-are-the-benefits-of-rubber-insulated-cables>
- Eland Cables, (2023). How is the minimum bending radius determined for cables? Haettu 19.11.2023. <https://www.elandcables.com/the-cable-lab/faqs/faq-how-is-the-minimum-bending-radius-determined-for-cables#:~:text=The%20cable%20bending%20radius%20is,a%20factor%20of%20the>
- Electrical Technology (n.d.). Electrical Wiring Color Codes for AC & DC – NEC & IEC. Haettu 03.11.2023. <https://www.electricaltechnology.org/2020/07/electrical-wiring-color-codes-nec-iec.html>
- Grand Ocean Marine (2023) Types of Marine Electrical Cables: A Comprehensive Guide Haettu 02.11.2023 <https://www.grandoceanmarine.com/types-of-marine-electrical-cables/>
- Grand Ocean Marine. (2023). Eri kaapelityyppejä [kuva] Haettu 05.10.2023  
<https://www.grandoceanmarine.com/types-of-marine-electrical-cables/>
- Helkama Bica, (2017). Kuitukaapelin rakenne [kuva]. Kaapelikatalogi 2017. Haettu 13.09.2023.<https://www.helkamabica.com/catalogues/HelkamaBicaMarineAndOffshoreCablesEN/files/assets/common/downloads/Helkama%20Bica%20Marine%20and%20Offshore%20Cables.pdf>
- Helkama Bica, (2017). Ohjaus- ja virtakaapelin rakenne [kuva]. Kaapelikatalogi 2017. Haettu 23.10.2023.<https://www.helkamabica.com/catalogues/HelkamaBicaMarineAndOffshoreCablesEN/files/assets/common/downloads/Helkama%20Bica%20Marine%20and%20Offshore%20Cables.pdf>
- Helkama Bica, (2023). General information. Kaapelikatalogi. Haettu 23.10.2023.  
<https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/114/>

Helkama Bica, (2023). IEC 60331-1 ja BS 8491:n yhdistelmän mukainen testaus [kuva].  
Kaapelikatalogi 2023. Haettu 23.10.2023.  
<https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/114/>

Helkama Bica, (2023). IEC 60331-1 -standardin mukainen testi [kuva]. Kaapelikatalogi 2023.  
Haettu 23.10.2023. <https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/114/>

Helkama Bica, (2023). IEC 60331-2 ja EN 50200 yhdistelmän mukainen testaus [kuva].  
Haettu 23.10.2023. Kaapelikatalogi 2023.  
<https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/114/>

Helkama Bica, (2023). IEC 60331-2 -standardin mukainen testi [kuva]. Kaapelikatalogi 2023.  
Haettu 23.10.2023. <https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/114/>

Helkama Bica, (2023). IEC 60331-25 -standardin mukainen testi [kuva]. Kaapelikatalogi  
2023. Haettu 23.10.2023. <https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/114/>

Helkama Bica, (2023). IEC 60332-1 -standardin mukainen testi [kuva]. Kaapelikatalogi 2023.  
Haettu 23.10.2023. <https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/114/>

Helkama Bica, (2023). IEC 60332-2 -standardin mukainen testi [kuva]. Kaapelikatalogi 2023.  
Haettu 23.10.2023. <https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/114/>

Helkama Bica, (2023). Kaapelin taivutussäde [kuva]. Kaapelikatalogi 2023. Haettu  
23.10.2023. <https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/116/>

Helkama Bica, (n.d.). Esimerkki kaapelin suojausmateriaaleista [kuva]. Haettu 23.10.2023.  
<https://helkamabica.com/fi/product/rfe-emc-frhfi/>

Helkama Bica, (n.d.). Kaapelissa on käytetty kierrettä ja tyhjiä johtimia [kuva]. Haettu  
23.10.2023. <https://helkamabica.com/fi/product/lkam-frhf/>

Helkama Bica. (2023). Kuitukaapeli [kuva]. Kaapelikatalogi 2023. Haettu 23.10.2023.  
<https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/92/>

Helkama Bica. (2023). Ohjaus- ja virtakaapeli [kuva]. Kaapelikatalogi 2023. Haettu  
23.10.2023. <https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/8/>

Helkama Bica. (2023). Palo- ja häiriösuojattukaapeli [kuva]. Kaapelikatalogi 2023. Haettu  
23.10.2023. <https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/78/>

Helkama Bica. (2023). Viestintä- ja instrumentointikaapeli [kuva]. Kaapelikatalogi 2023.  
Haettu 23.10.2023. <https://catalogues.helkamabica.com/view/774150808/68/>

IEC (2023) About us <https://iec.ch/about-us> Haettu 12.09.2023

IMO (2019) International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) Haettu  
13.09.2023. [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)

Journal of Marine Science and Engineering (2023). Jonas W. Ringsberg, Lamine Dieng,  
Zhiyuan Li ja Ingvar Hagman; Characterization of the Mechanical Properties of Low  
Stiffness Marine Power Cables through Tension, Bending, Torsion, and Fatigue  
Testing.



- JSHonest, (2021). Marine Grade Cable – The Ultimate FAQ Guide. Haettu 28.10.2023  
<https://www.honestcable.com/marine-grade-cable>
- Manikandan, B. (04.04.2020) >How do you specify marine cable. ETO. Haettu 23.10.2023  
<https://www.electrotechnicalofficer.com/2020/05/how-do-you-specify-marine-cable-order.html>
- Meridian Cable (n.d.). The Ultimate Guide to Different Cable Colors and Their Purposes. Haettu 13.11.2023. <https://www.meridiancableassemblies.com/ultimate-guide-to-different-cable-colors-and-their-purposes/>
- Meridian Cable, (n.d.). What Are the Types of Filler Materials for Custom Cables? Haettu 23.10.2023. <https://www.meridiancableassemblies.com/filler-materials-custom-cables/>
- METO. (2020). Esimerkki kaapelin merkinnöistä [kuva] Haettu 13.10.2023.  
<http://www.marineeto.we.bs/2020/05/26/marine-cable-complete-guide/>
- METO. (2020). Kaapelityyppien kirjainyhdistelmien merkitykset [kuva] Haettu 24.10.2023.  
<http://www.marineeto.we.bs/2020/05/26/marine-cable-complete-guide/>
- Moore, N. (18.12.2019) EMC/EMI Shielding Explained. Harwin. Haettu 08.11.2023.  
<https://www.harwin.com/blog/emc-emi-shielding-explained/>
- MOTIS, (2023). Cable Fire Resistant Test EN 50200, IEC 60331, BS 6387. Haettu 17.11.2023. <https://www.motistech.com/solution/cable-fire-resistant-test>
- NCC, (2022). Types of wire and cable shielding explained: foil vs. braid vs. tape. Haettu 23.10.2023. <https://nassaunationalcable.com/blogs/blog/types-of-wire-and-cable-shielding-explained-foil-vs-braid-vs-tape>
- Noori, R. (11.05.2022) What Materials Are Fiber Optic Cables Made Of. The Network Installers. Haettu 23.10.2023. <https://thenetworkinstallers.com/blog/what-materials-are-fiber-optic-cables-made-of/>
- Prysmian Group. (2023). Datakaapeli [kuva]. Haettu 25.11.2023.  
[https://www.prysmiangroup.com/en/en\\_multimedia\\_UC900\\_HS23\\_Cat.7\\_S-FTP\\_Cca](https://www.prysmiangroup.com/en/en_multimedia_UC900_HS23_Cat.7_S-FTP_Cca)
- Sick Inc, (2015) How to Choose Between PVC Cables and PUR Cables. Haettu 23.10.2023.  
<https://sickusablog.com/pur-cables-pvc-cables/>
- STL (04.08.2022) What are Cat7 Cables? STL Tech. Haettu 12.10.2023.  
<https://stl.tech/blog/what-are-cat7-cables/>
- Tameson. (2023). Koaksiaalikaapeli [kuva]. Haettu 26.10.2023.  
<https://tameson.com/products/draka-rg59-b-u-coaxial-cable-113811la-1000-pieces-e2nu8>
- Teldor, (2021). Cable Armoring and Jacketing Materials for Cable Flexibility & Strength. Haettu 05.11.2023. <https://teldor.com/cable-armoring-and-jacketing-materials-for-cable-flexibility->

