

Opinnäytetyö (AMK)
Elektronikka
Tietoliikennejärjestelmät
2014

Roman Osatsi

VALTAMERIEN OPTISET KAAPELIVERKOT



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikka | Tietoliikennejärjestelmät

2014 | Sivumäärä 28

Ohjaaja: Yliopettaja Juha Nikkanen

Roman Osatsi

VALTAMERIEN OPTISET KAAPELIVERKOT

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä optisten valtamerikaapeliverkkojen toimintaan. Työssä selvitettiin miten verkkoja suunnitellaan, rakennetaan ja huolletaan. Lisäksi syvennyttiin verkkojen komponentteihin ja niiden olennaisiin ominaisuuksiin. Tavoitteena oli luoda kattava selonteko merikaapelien ominaisuuksista, kehityksestä ja tulevaisuuden näkymistä.

Työn lähdemateriaalina käytettiin verkossa olevia englannin- ja venäjänkielisiä dokumentteja sekä valmistajien tietokantoja. Apuna hyödynnettiin myös aiheeseen liittyviä Internet-sivuja ja kirjoja.

Työn tuloksena syntyi perinpohjainen läpikäynti aiheesta, mitä voi jatkossa käyttää yleisenä tiedonlähteenä optisista merikaapelijärjestelmistä.

ASIASANAT:

tietoliikenneverkot, valokuitu, optinen merikaapeli

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Communication Systems

2014 | Total number of pages 28

Instructor: Juha Nikkanen, Lic.Sc.(Tech.), Principal Lecturer

Roman Osatsi

OPTICAL SUBMARINE CABLE SYSTEMS

The aim of this Bachelor's Thesis was to become acquainted with operating principle of the optical submarine cable systems. The work investigates how networks are designed, constructed and maintained. In addition, the networks were explored with components and their essential qualities. The goal was to create a comprehensive report on the characteristics, development, and prospects of submarine cables.

The source materials used in this thesis were searched by using different English-and Russian-language documents as well as manufacturers' databases. Assistance was utilized in the submarine cable related websites and books.

The result was an in-depth analysis of what in the future can be used as a general source of information on the optical submarine cable systems.

KEYWORDS:

Telecommunication networks, optical fiber, optical submarine cable.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET

1 JOHDANTO	1
2 OPTISEN TIEDONSIIRRON PERUSTEET	2
3 OPTISEN KUIDUN OMINAISUUDET JA RAKENNE	4
3.1 Kuidun toiminta	4
3.2 Kuitujen perustyytit	5
3.3 Kuitujen rakenne	6
3.4 Optiset ominaisuudet	6
4 MERIKAAPELIEN HISTORIA	8
4.1 Lennättimien aikakausi	8
4.2 Puhelinkaapeleiden aikakausi	9
4.3 Optisten kuitujen aikakausi	10
5 OPTISEN MERIKAAPELIN RAKENNE JA OMINAISUUDET	11
5.1 Rakenne ja suojaus	11
5.2 Kaapelin vaatimukset	14
5.3 Luotettavuuden ja laadun testaus	15
5.3.1 Mekaaniset testit	15
5.3.2 Luotettavuus- ja suorituskykytestit	15
6 ASENNUS JA KORJAUS	17
6.1 Reitin suunnittelu ja esivalmistelu	17
6.2 Optisen merikaapelijärjestelmän komponentit	18
6.2.1 Pääteasema	19
6.2.2 Optiset merikaapelivahvistimet	19
6.2.3 Haaroitinyksikkö	20
6.2.4 Taajuuskorjain	21
6.3 Signaali	21
6.4 Kaapelin asennus	21
6.5 Vaurioituneen kaapelin korjaus	22

7 TULEVAISUUS	25
7.1 Kehitysnäkymät	25
7.2 Itämeren tietoliikennekaapeli	25
8 YHTEENVETO	27
LÄHTEET	28

LIITTEET

Liite 1. Optiset merikaapelityypit ja niiden ominaisuudet.

KUVAT

Kuva 1. Optisen tiedonsiirron toimintaperiaate. [1]	2
Kuva 2. Snellin lain toiminta ja kriittinen kulma. [1]	4
Kuva 3. Valon eteneminen optisessa kuidussa. [1]	5
Kuva 4. Askelkuidun (a), asteittaiskuidun (b) ja yksimuotokuidun (c) toiminta. [1]	5
Kuva 5. Optisen kuidun rakenne. [2]	6
Kuva 6. Optisen merikaapelin poikkileikkaus. [6]	12
Kuva 7. Erilaisia valokaapelin suojarakenteita. [6]	13
Kuva 8. Kaapelijärjestelmä ja sen komponentit. [11]	18
Kuva 9. Vahvistimen toiminta. [12]	19
Kuva 10. Optinen merikaapelivahvistin. [12]	20
Kuva 11. EDFA-vahvistimen rakenne. [12]	20

KUVIOT

Kuvio 1. Merikaapelin vaurioitumisen syyt [3].	23
--	----

TAULUKOT

Taulukko 1. TAT-kaapeleiden kehitys	9
Taulukko 2. Merikaapelin suojaustapojen vertailu. [6]	18

KÄYTETYT LYHENTEET

BU	haaroitinyksikkö (Branching Unit)
DWDM	tiheä aallonpituuskanavointi (Dense Wavelength-Division Multiplexing)
EDFA	Erbium-rikastettu valokuituvahvistin (Erbium Doped Fiber Amplifier)
FEC	eteenpäin suuntautuva virheenkorjaus (Forward Error Correction)
GPS	satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Positioning System)
ITU	Kansainvälinen televiestintäliitto (International Telecommunication Union)
OADM	optinen kanavointilaite (Optical Add-Drop Multiplexer)
PEU	ekvalisaattori (Passive Equalizer Unit)
PMD	polarisaatiodispersio (Polarization Mode Dispersion)
ROTACS	Russian Optical Trans-Arctic Submarine Cable System
RZ	signaali palautuu nolnaan pulssien välillä (Return-to-Zero)
S/N	signaali-kohinasuhde (Signal-to-Noise ratio)
SLTE	pääteaseman laitteet (Submarine Line Terminal Equipment)
TASI	algoritmi joka säästä kapasiteettia (Time Assignment Speech Interpolation)
TAT	Atlantin valtameren ylittävä merikaapeli (Trans-Atlantic Telephone cable)
TPC	Tyynenmeren ylittävä merikaapeli (Trans-Pacific Cable)

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella optisia valtamerikaapeliverkkoja ja niiden toimintaa, käydä läpi verkon yksittäisiä komponentteja ja selvittää, miten verkkoja suunnitellaan, rakennetaan ja huolletaan. Tavoitteena on laatia selkeä ja mahdollisimman yksityiskohtainen kuvaus aiheen olennaisista asioista.

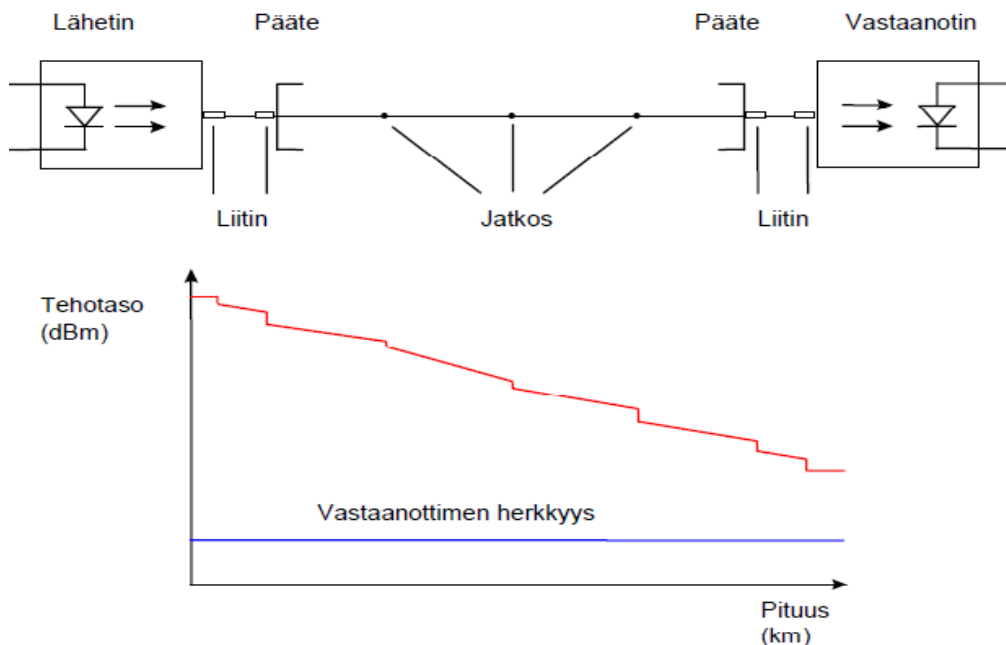
Muita täysin samaa aihetta käsitteleviä tutkimuksia ei löytynyt. Aihetta on kuitenkin sivuttu monissa optiseen tiedonsiirtoon perustuvissa töissä. Nämä ovat kuitenkin käsitelleet lähinnä maanpäällistä verkkoa. Ainoa vedenalaista verkkoa käsittelevä työ on Maanpuolustuskorkeakoulun kadettialikersantti Ilari Lemponen kandidaattitutkielma vuodelta 2012 Vedenalainen datasiirto – langallisten ja langattomien tiedonsiirtojärjestelmien nykytila ja kehitysnäkymät, jossa keskitytään enimmäkseen sotilaallisessa käytössä oleviin järjestelmiin.

Suomenkielistä lähdekirjallisuutta on aiheesta niukasti. Lähteinä on käytetty verkossa olevia englannin- ja venäjänkielisiä dokumentteja ja valmistajien tietokantoja. Apuna on myös käytetty aiheeseen liittyviä Internet-sivuja ja kirjoja.

Työn alussa käsitellään optisen tiedonsiirron perusteet, kuitujen ominaisuudet ja merikaapelien historiaa. Sen jälkeen keskitytään optisen merikaapelin rakenteisiin ja ominaisuuksiin, ja selvitetään kaapelin asennusta ja korjausta. Opinnäytetyön lopussa käydään läpi tulevaisuuden kehitystä ja näkymiä.

2 OPTISEN TIEDONSIIRRON PERUSTEET

Optisessa tiedonsiirrossa signaali siirretään valon muodossa optista kuitua pitkin lähettimestä vastaanottiin. Lähettimessä sähköinen signaali muutetaan valon muotoon ja lähetetään kuitua pitkin vastaanottiin. Vastaanottimessa valosignaali muutetaan takaisin sähköiseen muotoon. Siirtyessään optista kuitua pitkin valosignaali menettää tehoa. Tehon menetystä eli vaimennusta aiheuttavat myös kuituyhteydessä olevat jatkokset, liittimet ja päätteet. Optisen tiedonsiirron toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1. [1]



Kuva 1. Optisen tiedonsiirron toimintaperiaate. [1]

Siirtoyhteyden kannalta olennaiset tekijät ovat kokonaisvaimennus ja kaistanleveys. Kokonaisvaimennus koostuu kuidun, jatkoksien ja liittimien aiheuttavasta vaimennuksesta. Tämän vaimennuksen on oltava riittävän pieni, jotta vastaanotin tunnistaisi signaalin. Kaistanleveys puolestaan määrää linkin suurimman siirtonopeuden. [1]

Optinen tiedonsiirto on ominaisuuksiltaan ylivoimainen verrattuna sähköisen tiedonsiirtoon. Etuja on sekä tekniikan, että muiden valokaapelin ominaisuuksien johdosta. Edut ovat seuraavat. [1]:

- Optisessa valokuidussa on suuri tiedonsiirtokyky pienen vaimennuksen ja suuren kaistanleveyden vuoksi. Tämä korostuu varsinkin nykyaikaisissa pitkissä ja nopeutta vaativissa siirtoteissä.
- Materiaaliltaan kuitu on sähköeriste. Tämän ansiosta optinen tiedonsiirto on kokonaan altistumaton sähkömagneettisille häiriöille eikä myöskään aiheuta niitä. Lisäksi ylijännite ja maadoitusongelmat eivät vaikuta kuidun toimintaan.
- Kuitukaapeleiden kevyen rakenteen ansiosta sen käsittely ja asentaminen on helppoa.
- Suotuisan hintakehityksen ja elektroniikan vähäisyyden vuoksi optiset siirtojärjestelmät ovat taloudellisia ja luotettavia.
- Valokuiduilla on erittäin hyvä tietoturvallisuus.

Kuidun materiaali ja koko aiheuttavat myös ongelmia. Materiaaliominaisuuksiltaan ohut ja lähes joustamaton kuitu vaati tarkkaa ja huolellista käsittelyä. Liikaa taivutettuna se katkeaa ja muuttuu käyttökelvottomaksi. [1]

3 OPTISEN KUIDUN OMINAISUUDET JA RAKENNE

3.1 Kuidun toiminta

Kuidun toiminta perustuu kahden aineen rajapinnassa tapahtuvan valon taittumis- ja heijastumislakeihin. Kohdatessaan kahden taitekertoimeltaan erisuuruisen aineen rajapinnan valonsäde taittuu Snellin lakia noudattaen. [1]

Snellin laki on $n_1 \sin\varphi_1 = n_2 \sin\varphi_2$,

missä n_1 = väliaineen 1 taitekerroin

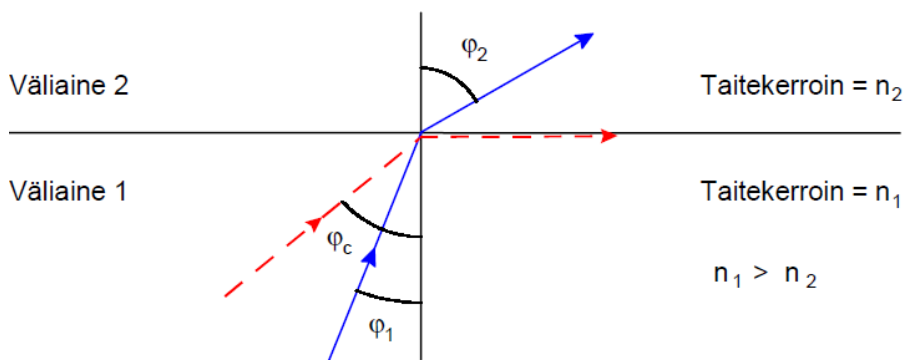
n_2 = väliaineen 2 taitekerroin

φ_1 = valosäteen tulokulma

φ_2 = valosäteen lähtökulma.

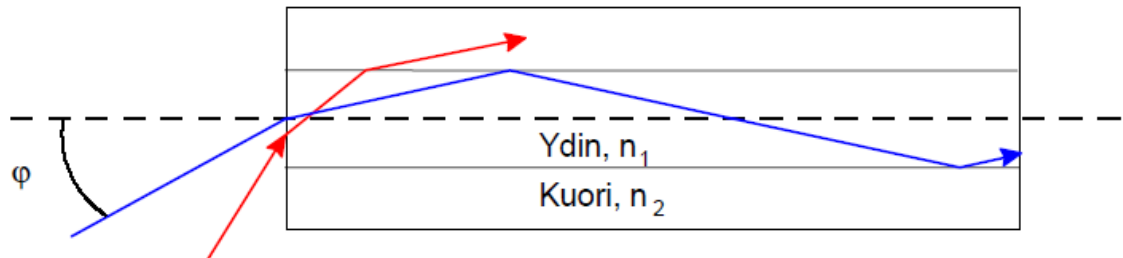
Tulokulman kasvaessa riittävän suuruiseksi taittuu valo rajapinnan suuntaiseksi. Kulman kehittyessä tätä suuremmaksi valo heijastuu rajapinnasta takaisin tulokulman suuruisena. Tätä ilmiötä kutsutaan kokonaisheijastukseksi ja kulmaa kriittiseksi. [1] (Kuva 2.)

Kriittinen kulma on $\varphi_c = \arcsin(n_2/n_1)$.



Kuva 2. Snellin lain toiminta ja kriittinen kulma. [1]

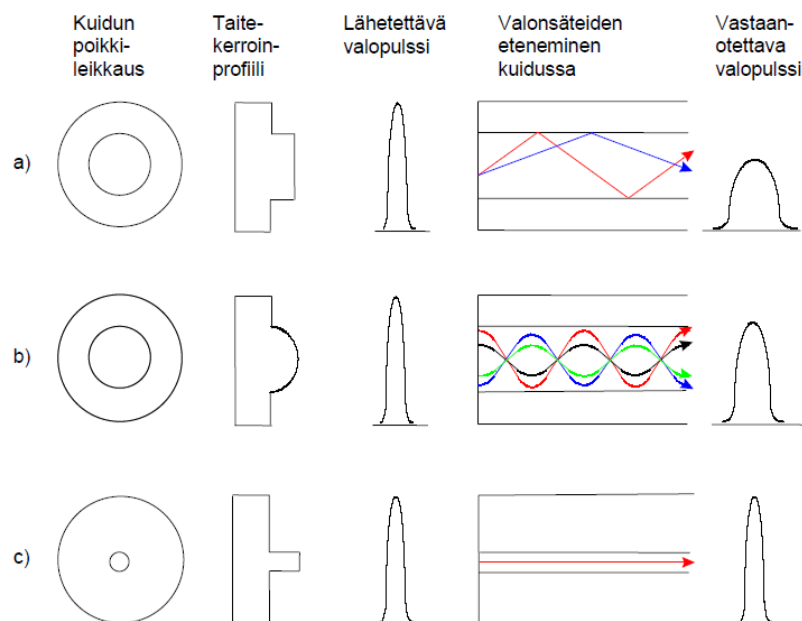
Optinen kuitu koostuu kahdesta osasta, ydin ja kuori. Ytimen taitekerroin on hieman kuorta korkeampi, tämä mahdollista valon heijastumista rajapinnasta (Kuva 3).



Kuva 3. Valon eteneminen optisessa kuidussa. [1]

3.2 Kuitujen perustyytit

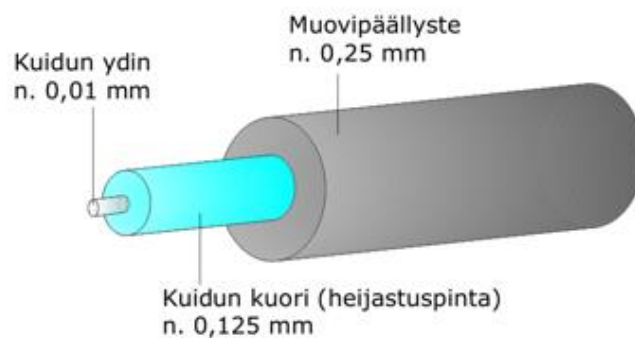
Optiset kuidut jaetaan pääasiallisesti kahteen ryhmään, yksi- ja monimuotokuituihin. Lisäksi näitä voi jakaa eri tyypeihin taitekerroinprofiilin mukaan. Yleisimmät kuitutyypit ovat askeltaitekertoiminen monimuotokuitu eli askelkuitu (Step index multimode fibre), asteittaistaitekertoiminen monimuotokuitu eli asteittaiskuitu (Graded index multimode fibre) ja yksimuotokuitu (Single mode fibre). [1] (Kuva 4.)



Kuva 4. Askelkuidun (a), asteittaiskuidun (b) ja yksimuotokuidun (c) toiminta. [1]

3.3 Kuitujen rakenne

Optisen kuidun sekä ydin että kuori valmistetaan kvartsista. Ytimen taitekerroin saadaan suurennettua lisäämällä kvartsin sekaan epäpuhtauksia, kuten germaniumoksidia (GeO_2). Lyhyillä siirtomatkoilla voidaan käyttää myös halvempia ja suuremman vaimennuksen omaavia muovisia kuituja. Halkaisijaltaan kuori on yleensä 125 μm ja ydin 3–50 μm tyypistä riippuen. Muovipäällyste suojaa kuitua kosteudelta ja vaurioilta. [1] (Kuva 5.)



Kuva 5. Optisen kuidun rakenne. [2]

3.4 Optiset ominaisuudet

Kuitujen tärkeämmät optiset ominaisuudet ovat vaimennus, kaistanleveys, dispersio, raja-aallonpituus ja valosignaalin suurimman mahdollisen tulokulman optiseen kuituun ilmoittava numeerinen aukko. [1]

Vaimennuksella tarkoitetaan kuidussa etenevän valotontehon laskemista. Yleisiä vaimennuksen aiheuttajia ovat sironta ja absorptio. Näitä syntyy kuidussa olevien epäpuhtauksien ja mikroskooppisten taitekertoimien erojen ansiosta. Vaimennuksen yksikkönä käytetään dB/km. [1]

Dispersio kuvaa valonsäteen etenemisaikaeroa. Yksimuotokuidussa esiintyy kaksi merkittävää dispersiolajia, kromaattinen- ja polarisaatiomuotodispersio eli PMD. Kromaattisessa dispersiossa valosignaalin sisältämät aallonpituudet eroavat toisistaan joihin verran ja näin etenevät kuidussa eri nopeuksilla. PMD

taas syntyy kun etenevässä valosignaalisessa kohtisuorassa suunnassa toisiinsa nähden olevat polarisaatiosuunnat etenevät eri nopeuksilla. [1]

Yksimuotokuidussa kuituyttimeen syntyy voimakas sähkömagneettinen muoto- kenttä, joka liian tehokkaana aiheuttaa epälineaarisia ilmiöitä ja muuttaa vä- liaineominaisuuksia. Epälineaaristen ilmiöiden merkitys kasvaa voimakkaasti kanavajaon tihentyessä, suuremmilla bittinopeuksilla ja suurilla kuidun pituuksil- la. [1]

Raja-aallonpituus on alin aallonpituus jolla valo etene yksimuotokuidussa yksi- muotoisesti. Tätä pienemmillä aallonpituuksilla kuitu muuttuu teoriassa moni- muotokuiduksi. [1]

Monimuotokuidun kaistanleveydellä kutsutaan kuidussa siirrettävän signaalin suurinta sallittua taajuutta tietyllä matkalla. Toisin sanoen se on siirtonopeuteen ja etäisyyteen vaikuttava tekijä. Kaistanleveys riippuu käytettävästä aallonpituu- desta ja sitä rajoittavat erilaiset dispersiot. [1]

4 MERIKAAPELIEN HISTORIA

4.1 Lennättimien aikakausi

Ensimmäinen merikaapeli laskettiin vuonna 1850 Ranskan ja Ison-Britannian välille. Se oli ohut ja rakenteeltaan heikko. Kaapeli kesti vain vähän aika kunnes murtui aaltojen ja voimakkaiden virtauksien aikaansaamana. Vuosi myöhemmin tämä korvattiin vahvemalla versiolla. Uusi kaapeli sisälsi neljä kuparijohdinta, joista jokainen oli päällystetty kaksinkertaisella kerroksella kumipuusta saatavalta guttaperkka elastomeerilla. Kumi käärittiin hamppuun, ja tämä kaikki suojattiin panssaroidulla rautalangalla. Rakenteen ansiosta kaapeli saatiin kestäväksi vuosikymmeniä. Jo vuonna 1852 kaapeleita oli asennettu Englannista Hollantiin ja Saksaan. [3]

Vuonna 1854 yhdysvaltalainen kauppias Cyrus Field ja brittiläinen tiedemies Lord Kevin saivat idean Atlantin alittavasta kaapelista. Kaapelin tarkoitus oli yhdistää Newfoundland Irlantiin. Asennusprojekti saatiin valmiiksi vuonna 1858. Kaapeli ei kuitenkaan toiminut kauan ja rikkoutui kuukauden päästä huonon eristämisen takia. Vuosien mittaan kaapelin kestävyyttä kehitettiin, ja vuonna 1866 valmistui ensimmäinen toimiva valtameren alittava kaapeliyhteys. Pituudeltaan kaapeli oli n. 3 400 km ja siirtonopeus oli tuolloin 12 sanaa/min. [3] [4]

Teknologian nopean kehityksen ansiosta vedenalainen kaapeliverkosto kasvoi voimakkaasti. Vuonna 1902 valmistuneen "All Red" – reitin avulla saatiin välitetyt uutisia maailman kaukaisiin osiin muutamassa tunnissa. Tämä reitti koostui sarjasta Tyynenmeren pohjassa olevista kaapeleista jotka yhdistivät Australian, Uuden Seelannin ja Kanadan toisiinsa. Trans-Canada kaapelia pitkin tämä oli yhteydessä Atlantiin ja Eurooppaan. 1920-luvulla siirtonopeudet nousivat 200 sanaan minuutissa.[3] [4] [5]

4.2 Puhelinkaapeleiden aikakausi

Puhelimen keksimisen jälkeen oli vain ajan kysymys, koska sitä aletaan käyttää mantereiden välillä. Kokeet kuitenkin osoittivat, että eristeenä käytetty gutta-perkka ei sopinut radiotaajuisen signaalien siirtoon. Signaalit kantoivat vain lyhyille matkoille kunnes vääristyivät. Toimivan vedenalaisen puhelinkaapelilinjan teki mahdolliseksi vuonna 1933 kehitetty polyeteeni. Polyteenilla koteloitu koaksiaalikaapeli yhdessä toistimien kanssa pystyi kantamaan useita äänikanavia samaan aikaan. [3]

Mannertenvälinen aikakausi alkoi vuonna 1956 kun Atlantiin laskettiin kaksi koaksiaalikaapelia. Järjestelmän nimeksi annettiin TAT-1 (Trans-Atlantic Telephone cable) ja jo ensimmäisenä käyttöpäivänä sillä oli soitettu yli 700 puhelua. [3]

Taulukko 1. TAT-kaapeleiden kehitys

Cable Name	Date(s) in service	Type	Initial No. of channels	Final No. of channels	Western end	Eastern end
TAT-1	1956–1978	Galvanic	36	48	Newfoundland	United Kingdom
TAT-2	1959–1982	Galvanic	48	72	Newfoundland	France
TAT-3	1963–1986	Galvanic	138	276	New Jersey	United Kingdom
TAT-4	1965–1987	Galvanic	138	345	New Jersey	France
TAT-5	1970–1993	Galvanic	845	2,112	Rhode Island	Spain
TAT-6	1976–1994	Galvanic	4,000	10,000	Rhode Island	France
TAT-7	1978–1994	Galvanic	4,000	10,500	New Jersey	United Kingdom

Prosentuaalisesti TAT oli käyttäjämäärältään suurin järjestelmä, mutta myös muihin mannertenvälisiin yhteyksiin oli panostettu. Esimerkiksi vuonna 1964

asennettiin Havaijin ja Japanin välille 10 000 km pitkä 128-kanavainen TPC-1 (Trans-Pacific Cable) kaapeli. [3]

Tiedonsiirtovaatimusten kasvaessa 1980 – luvulla otettiin käyttöön TASI (Time Assignment Speech Interpolation)– koodaus. Tämän avulla kaapeleiden siirtokapasiteetti moninkertaistettiin ja puhekanavien lukumäärä saatiin kasvatettu pienentämällä kaistanleveys 4 kHz:stä 3 kHz:iin. [3]

4.3 Optisten kuitujen aikakausi

Optinen tiedonsiirto oli täysin ylivoimainen ominaisuuksiltaan koaksiaalikaapelin verrattuna, mutta sen menestykseen oli siihen aikaan vaikea uskoa. Vuonna 1979 vuosikymmenien kehityksen jälkeen saatiin onnistuneesti testattua ensimmäinen optinen merikaapeli. Kokeet osoittivat, että kaapeli kestää mekaanisia rasituksia menettämättä siirto-ominaisuuksiaan. Ensimmäinen kansainvälinen kuitukaapeli asennettiin vuonna 1986 Englantiin ja Belgian välille. [3]

TAT-8, maailmaan ensimmäinen valtameren alittava valokaapeli otettiin käyttöön vuonna 1988. Se kulki USA:sta Ranskan kautta Englantiin. Kaapeli sisälsi kaksi toimivaa kuituparia ja yhden varaparin. Siirtokapasiteetiltaan 280 Mbit/s kaapeli pystyi kuljettamaan 40 000 puhelinkanavaa samanaikaisesti. [3]

Uudemmat ja korkeamman kapasiteetin omaavat kaapelit ovat tarjonneet perustan internetin kasvulle. Pohjimmiltaan kaksi teknologia täydensi toisiaan; optiset kaapelit kuljettavat suuria määriä dataliikennettä nopeasti ja turvallisesti, internet taas mahdollisti tämän tiedon käyttöä erilaisiin tarkoituksiin. [3]

Nykyään valtameren asennettujen kuitukaapelien yhteispituus ylittää 1 000 000 km ja lähes kaikki mannertenvälinen tiedonsiirto tapahtuu näiden kautta. [3]

5 OPTISEN MERIKAAPELIN RAKENNE JA OMINAISUUDET

Merikaapeli on suunniteltu suojaamaan sen sisällä olevia kuituja kosteudelta, paineelta, aalloilta, virtauksilta ja muilta merenpohjalla vallitsevilta luonnonvoimilta. Sen on myös oltava tarpeeksi vahva kestämään mekaanisia rasituksia, joita aiheutuu esim. kaapelin asennuksessa. [3]

Optisten merikaapelien kehittyessä niiden siirtokapasiteetti on kasvanut mutta koko pienentynyt. Tavallisen syvillä vesillä käytetyn kaapelin halkaisija on 17–20 mm ja suojatun matalikolla käytetyn 50 mm. Tässä luvussa käydään läpi yleisempiä kaapelityyppejä ja tutustutaan niiden ominaisuuksiin. Ne on myös esitetty liitteenä 1 olevassa taulukossa. [3]

5.1 Rakenne ja suojaus

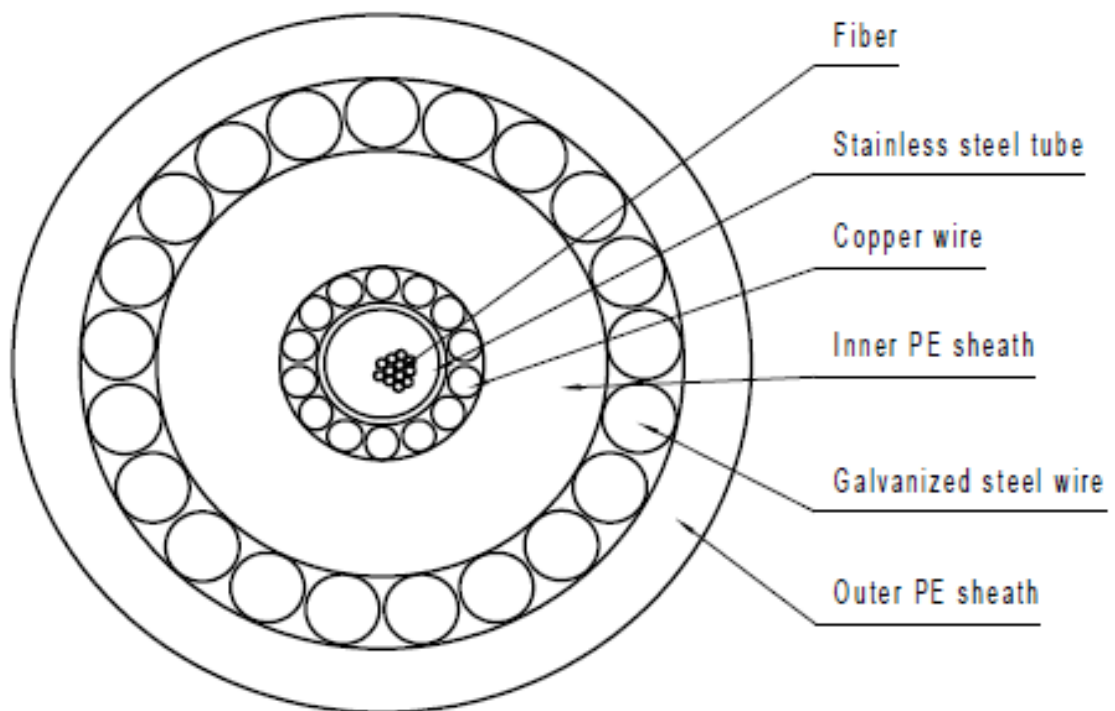
Optisissa merikaapeleissa käytetään ontelorakennetta, joka yleisesti koostuu kaapelin sydänrakenteesta, virtajohtimesta ja uloimmasta suojapinnasta. Kaapelin keskiosassa sijaitsee 4 – 12 kuitua, jotka ovat G.665 ITU-T: n ja IEC 60793-2-50 luokka B4 standardien mukaisia. Kuitujen ympäri oleva tila on täytetty hydrofobisella aineella, kuten täyterasvalla tai geelillä. Myös kaikki muut väljät kerrosrakenteet toisiopäällysteputkessa ovat yleensä täytettynä. Korruroidusta teräsnauhoituksesta tai teräslanka-armeerausta ja polyeteenistä tehty panssaroitu suojakuori suojaa kaapelin sisärakenteita ulkoisista rasitteista. Lisäksi kuparista tai alumiinista valmistettu johdin antaa vahvistimille/toistimille DC -virtaa. [1] [6] (Kuva 6.)

Suojarakenteiden tehtävä on suojata optisen kaapelin sydänrakenteita

- mekaanisilta vaikutuksilta
- lämpövaikutuksilta
- kemiallisilta vaikutuksilta

- kosteudelta.

Yleisesti valokaapelin kuoren rakenteena voidaan käyttää eri materiaalia; polyeteeni, polypropeeni, polyvinyylidloridi, halogeeni-vapaa materiaali, paloturvallinen polyamidi tai termoplastinen polyuretaani. Nämä omaavat eri lämpö-, mekaanisia ja sähköisiä ominaisuuksia. Eroa on myös materiaalin vahvuudessa, kemikaalien ja kosteuden kestävydessä. [6]



Kuva 6. Optisen merikaapelin poikkileikkaus. [6]

Mekaaniselta rasitukselta suojaudutaan kaapelin sisään rakennetuilla teräsvaijereilla. Niiden määrää vaihtelee käyttöympäristön mukaan, mitä vaativammat olosuhteet sitä paremmin kaapelia on suojattavaa. [6] (Kuva 7.)

Kooltaan optiset merikaapelit ovat hyvin pieniä, suojaamaton merikaapeli on tyypillisesti läpimitaltaan 17–20 mm ja teräsvaijereilla suojattu 50 mm. Liitteessä 1 on esitelty erilaisia optisia merikaapelisuojarakenteita, niiden ominaisuuksia ja suositeltuja käyttösyvyyyksiä. [5]

Lisäksi on olemassa myös erikoistarkoituksen sopivia SPA (Special application), merikaapelirakenteita. Nämä erikoisvahvisteiset kaapelit sopivat kivisille vaurioitumisvaarallisille alueille jopa 6 500 m:in syvyyteen.



Kuva 7. Erilaisia valokaapelin suojarakenteita. [6]

Kun merikuitukaapelin käyttöympäristönä toimii vesi, on erittäin tärkeää suojata sitä kosteudelta. Kosteusongelma voidaan jakaa kahteen eri ilmiöön jotka johtavat vedyn määrään lisääntymiseen ja järjestelmän pettämiseen.

Ensimmäinen ilmiö liittyy kosteuden tiivistymiseen ytimeen kuidun ympärille ja johtaa kuidun mekaanisen väsymiseen. Seurauksena kuidun käyttöikä voi lyhentyä 7–10 vuodella. Vedyn ja kosteuden pääsy kuituun voidaan estää vesitiiviillä ensiöpäällysteellä, joka on yleisesti akrylaattia. Toinen ongelma on kuidussa olevien vetyatomien määrän kasvusta johtuva vaimennus, joka suojaamattomana voi 3–5 vuodessa nousta 0,1 dB/km. Koko verkon käyttöikä on riippuvainen kuidun tyypistä ja vedyn pitoisuudesta, koska jo pienikin vaimennuksen kasvu saattaa vaatia koko kaapelilinkin jälleenrakentamista. [2] [6]

Vedyttä voidaan suojautua käyttämällä kaapelikuoren päällä ohutta hiili- tai metallikerrosta. Lähtökohtana on, että diffuusio atomien ja molekyylien kideraken-

teen kautta on hyvin pieni. Erityisesti syvissä vesissä käytetään alumiini- tai kupariputkea. [6]

5.2 Kaapelin vaatimukset

Suojausmenetelmillä pyritään varmistamaan kaapelin optisten ominaisuuksien muuttumattomuuden käytön aikana. Jotta kaapelin luotettavuus olisi korkea, on kaapelin kokonaisuudelle täytettävä seuraaviin asioihin liittyvät vaatimukset:

- optiset ominaisuudet
- mekaaniset rasitukset
- ulkoiset rasitteet
- sähköiset ominaisuudet
- luotettavuus.

Optiset ominaisuudet kuten vaimennus, aallonpituus, kromaattinen – ja polariisaatiomuoto dispersio eivät saa paljon muuttua kaapelin eliniän aikana. Pienikin muutos aiheuttaa pudotusta tiedonsiirron kapasiteettiin ja voi johtaa kaapelin käytön lisäkustannuksiin pidentäen takaisinmaksuaikoja. [6]

Mekaanisesti kaapelin on kestävä pitkiä staattisia ja lyhyitä dynaamisia jännityksiä, sekä siedettävää veden pitkäaikaista painetta ja kosteutta. [6]

Olettaen että kaapeli varastoidaan, kuljetetaan asennuslaivalle ja tämän jälkeen asennetaan meren pohjaan, on sen oltava kestävä lämpötilan vaihteluille kaikissa olosuhteissa. Lämpötila voi kylmimmillään olla $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ tai kohota jopa $+50\text{-celsiusasteiseksi}$. [6]

Optiset kaapelit voivat sisältää sähköä johtavaa kuparijohtoa. Näissä on omat vaatimukset. Kaapelin pituus voi olla tuhansia kilometriä, joten vastus on oltava riittävän pieni ($0,5 - 1\ \Omega/\text{km}$). Myös kestävä eristys on tärkeä, koska johdossa jännite saattaa jossakin tapauksessa olla suurikin ($20\ \text{kV/DC}$ tai $10\ \text{kV/AC}$, $50\ \text{Hz}$). [6]

5.3 Luotettavuuden ja laadun testaus

Merikaapelien korkean kestävyuden ja luotettavuuden takaamiseksi Kansainvälinen televiestintäliitto (ITU) on kehittänyt testaukseen koskevat ITU-T G.976-suositukset. Testien päätarkoituksena on tarkastella kaapelin optisia ominaisuuksia ja saada selville rajat, jotka voivat vaikuttaa kaapeleiden käyttöikäen. [7]

5.3.1 Mekaaniset testit

Kaapeleiden testauksessa selvitetään käytön, asennuksen ja varastoinnin aiheuttamia mekaanisia rasituksia. Kestävyttä selvitetään erilaisissa kaapelin veto-, väsymys- ja taivutuskokeessa. Puristustestissä testataan, miten kaapeli kestää varastoinnista aiheutuva puristusta. Kaapeli puristetaan vuorotellen eri kohdista 40 kN 100 mm:n paineella 3 min:n ajan. Testi ei saa aiheuttaa yli 0,05 dB:n vaimennusta. Kaapelin iskun- ja tärinäkestävyyttä tarkastetaan pudottamalla viisi 100 kg:n painoa 40 cm:n korkeudelta 50 cm:n välein toisistaan. Tämä ei saa aiheuttaa signaaliin yli 0,05 dB vaimennusta. [7]

5.3.2 Luotettavuus- ja suorituskykytestit

Luotettavuus- ja suorituskykytestit suoritetaan kaapelin toimintaympäristön kaltaisissa olosuhteissa. Testeissä testataan kaapelirakenteiden paineen- ja lämmönsietokykyä, pintamateriaalien korroosiokestävyyttä sekä kuitujen optista vaimennusta. [7]

Lisäksi kaapeleille suoritetaan eristeen luotettavuus- ja veden tunkeutumistestejä. Eristeen kestävyttä mitataan 500 V:n tasajännitteellä, jolloin vastuksen on oltava vähintään 10 G Ω /km. Eriste on myös kestävä 5 000 V:n tasajännitettä vähintään 3 min:n ajan. Veden tunkeutumistestissä tarkastetaan kaapelirakenteiden kykyä vastustaa veden pituussuuntaista etenemistä ulkoisen mekaanisen

vaurion sattuessa. Yleisesti vesi ei saa päästä 200 m pidemmälle 14 vuorokaudessa 50 bar:n paineessa. [7]

6 ASENNUS JA KORJAUS

Uuden kaapelireitin suunnittelu on pitkä prosessi, koska huomioon on otettava monenlaisia tekijöitä. Ensimmäinen prosessin on oltava taloudellisesti kannattava ja turvallinen, sillä esimerkiksi suojatun kaapelin käyttö lisää kustannuksia ja takaisinmaksuaika. Toiseksi on haettava eri maiden rannikkovesien käyttöön vaatimat luvat ja lisenssit. [8]

Järjestelmän rakentaminen vaatii merenpohjan kartoittamista ja siihen sopivan kaapelin valmistamista. Kaapelit lastataan kaapelilaivaan, joka asentaa niitä merenpohjaan. Yleisesti koko prosessi suunnittelusta valmiiseen järjestelmään vie 12–24 kuukautta verkon laajuudesta riippuen. [9]

Vuosien 2008 ja 2012 välillä uusien verkkojen rakentamiseen on käytetty lähes 10 mrd dollaria. Karkeasti laskettuna kilometrihinnaksi tulee noin 38 000 dollaria. Yksittäisen järjestelmän hintahaarukka on kymmenistä satoihin miljoonin dollariin. Rakennuskustannukset riippuvat paljon verkon ominaisuuksista, esimerkiksi yhden toistimen hinta on 100 000–500 000 dollaria ja vahvistettu optinen merikaapeli maksaa noin 20 dollaria/m. Valmis järjestelmä tarvitse kunnossapitoa, johon on vuosittain käytettävä satoja tuhansia dollareita [10]

6.1 Reitin suunnittelu ja esivalmistelu

Suunnittelu alkaa alustavan reitin analyysillä. Merenpohja kaikuluodataan ja profiloidaan, tutkitaan seisminen aktiivisuus, vedenalaisia tulivuoria ja mahdollisia maanvyörymäpaikkoja. Lisäksi tarkastetaan lähistöllä kulkevat kaapelit tai putket. Tarvittaessa pohja porataan ja otetaan sedimentin tiheysnäytteitä. Myös matalien vesien lämpötilavaihteluja selvitetään. [8]

Suunnittelussa otetaan huomioon maa-asemien sijainti, tehdään alueen meteorologinen tutkimus ja valitaan kaapelin suojaustapoja. Analyysin jälkeen kehitetään optimaalinen, turvallinen ja kannattava reitti. [8]

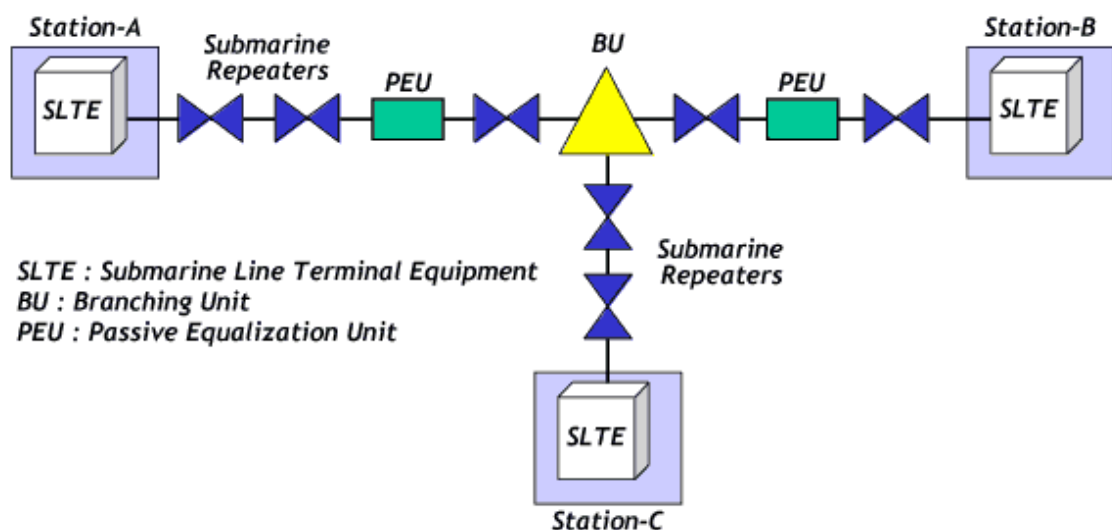
Järjestelmästä tehdään linjakaavio, jossa on esitetty linkin komponentteja, kuten kaapelityyppejä ja toistimia. Kaavion mukainen verkko kootaan tehtaalla, ja sen suorituskyky testataan ennen laivalle lastaamista. Lastauksen päätyttyä asennuslaiva siirtyy asennuspaikalle. [9]

Taulukko 2. Merikaapelin suojaustapojen vertailu. [6]

Panssaroitu	Haudattu
<ul style="list-style-type: none"> - vähemmän suojaava - helpompi huoltaa tai korjata - nopeampi ja halvempi asentaa 	<ul style="list-style-type: none"> - yleinen rannikkoseudulla ja mannerjalustalla - haavoittuvainen sedimentin liikkuvuudelle - vaati tarkempaa pohjatutkimusta

6.2 Optisen merikaapelijärjestelmän komponentit

Kuvassa 8 on esitetty optisen merikaapelijärjestelmän komponentit. Seuraavaksi käydään nämä tarkemmin läpi.



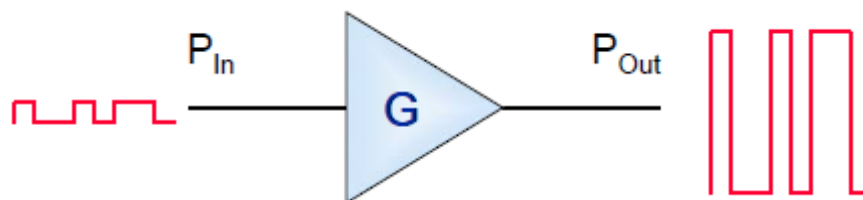
Kuva 8. Kaapelijärjestelmä ja sen komponentit. [11]

6.2.1 Pääteasema

Pääteasema toimii porttina maanpäällisen ja vedenalaisen järjestelmien välillä. Se sisältää verkon hallinta- ja valvontalaitteita, signaalin lähetys-, vastaanotto- ja synkronointilaitteita sekä järjestelmän virransyöttölaitteita. [9]

6.2.2 Optiset merikaapelivahvistimet

Vahvistimien tehtävänä on vahvistaa merikaapelin kuiduissa kulkeva valosignaalia. (Kuva 9.) Ne ovat suunniteltu toimimaan suurilla syvyyksillä sekä sisältävät joka kuidulle oman vahvistus, valvonta ja ohjaamiskomponentin. [12]



Kuva 9. Vahvistimen toiminta. [12]

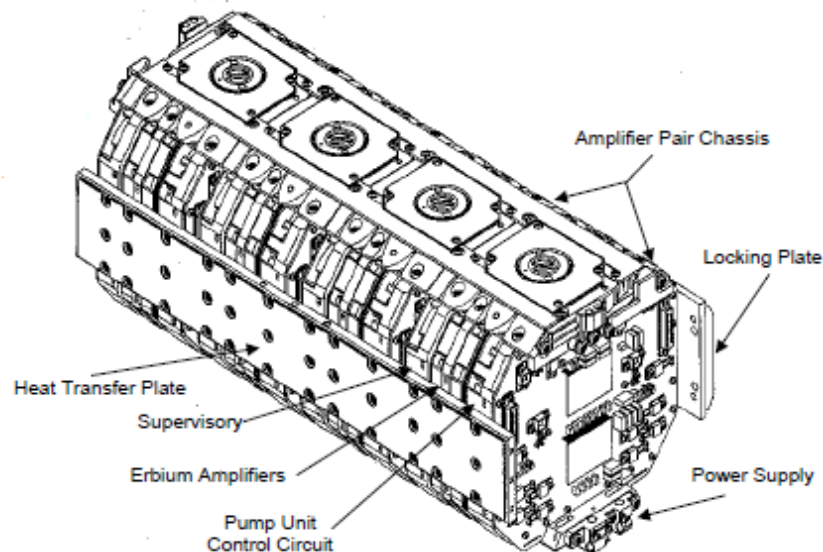
Vahvistimen toiminta-aika on vähintään 25 vuotta. Sen ulkokuorena käytetään kupari-berylliumseosta ja sisääntulosolmut eristetään. Tämän ansiosta saadaan korkea paineensietokyky ja pieni kosteuden läpäisy, joka vahvistimen toiminnan takaamiseksi saa olla enintään 20 %. Vahvistimen koko vaihtelee valmistajan ja ominaisuuksien mukaan 3 ja 6 m:n välillä. [12]

Vahvistimen sisäosan elektroniset laitteet ovat eristettyjä ja ylijännitesuojattuja. Jännitesuojana käytetään suojapiiriä, johon kuuluu kaasutäytteinen sulake, keila, vastus ja zenerdiodit. Piiri suojaa vahvistinta ± 15 kV jännitteeltä ja ± 200 A virralta. Virran vahvistimet saavat manterelta kaapelin sisäänrakennettua virtajohdinta pitkin. Tavallisesti yhden vahvistimen kulutus on 0,1–1 A, 12 kV syöttöjännitteellä. [12]



Kuva 10. Optinen merikaapelivahvistin. [12]

Suurin osa käytetyistä merikaapelivahvistimista ovat EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) –vahvistimia, jotka perustuvat erbiium-seostettuun kuituun ja pumppulaseriin. Näissä kuidussa viritystilassa olevat elektronit vapauttavat virityksensä tulevaan signaaliin jolloin se vahvistuu. EDFA vahvistimet omaavat matalan kohinan noin 3 dB, jolloin signaalin vääristyminen on hyvin pieni. Vahvistimien välimatka on keskimäärin 30–100 km, näin olleen valtameren yli menevässä linkissä voi olla satoja vahvistimia. Kuvassa 11 on esitetty vahvistimen rakenne. [12]



Kuva 11. EDFA-vahvistimen rakenne. [12]

6.2.3 Haaroitinyksikkö

Haaroitusyksikkö salli signaalin jakamista useampaan osaan. Kehittyneimmät yksiköt ovat OADM (optical add-drop multiplexer) – haaroittimet, jotka myös mahdollistavat aallonpituusreititystä tiettyyn polkuun. [6]

6.2.4 Taajuuskorjain

Pitkän matkan ja monien vahvistimien kautta kulkeneen signaalin kanavien tasot alkavat aaltoilla. Tasoerojen korjaamisen ja kanavien vahvistuksen tasaamiseksi käytetään taajuuskorjaimia. Taajuuskorjain voi suorittaa sekä kallistusta että muodon tasausta. [9]

6.3 Signaali

Optisissa merikaapelijärjestelmissä käytetään DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing) – tiheätä aallonpituuskanavointia, jossa kuidun siirtokapasiteetti moninkertaistetaan jaottamalla kanavia eri aallonpituuksilla. [9]

Suuremmat siirtoetäisyyttä ja kapasiteettia rajoittavat tekijät ovat dispersio, epälineaariset ilmiöt sekä vahvistimien kohina. Laadukkaan signaalin saanti vääristyneillä aalloilla ja huonolla S/N (Signal-to-Noise ratio) -suhteella ratkaistaan käyttämällä erilaisia modulaatiomenetelmiä ja virheenkorjausta. Signaalin virheenkorjaus (FEC, Forward Error Correction) perustuu Reed – Solomon koodiin. Teoreettista huipputehoa kasvatetaan 3 dB:llä käyttämällä RZ (Return to Zero) – formaattia. [9]

Tämän hetken yleisin käytössä oleva bittinopeus on 10 Gb/s. On kuitenkin kehitetty myös optinen lähetin jossa hyödynnetään valon vaihetta. Näiden järjestelmien bittinopeutta on saatu nostettu jopa 100 Gb/s. [9]

Jo olemassa olevien järjestelmien siirtokapasiteettiä voidaan kasvattaa lisäämällä aallonpituuskanavien määrää. Tämä tapahtuu päivittämällä pääteaseman laitteita kuten transponderia. [9]

6.4 Kaapelin asennus

Matalassa vedessä (alle 1 500 m) kaapeli on äärimmäisen haavoittuvainen ja tarvitsee hyvän suojan. Vaarana ovat pohjatrootarit, laivojen ankkurit sekä me-

ren eläimet. Asemalta mereen kaapeli tuodaan joko kaivamalla maahan tai poraamalla noin 20 m:in syvyyteen ulottuva vaakasuora reikä. Poraus on työläämpää mutta etuna on rannan pilaamattomuus. [3]

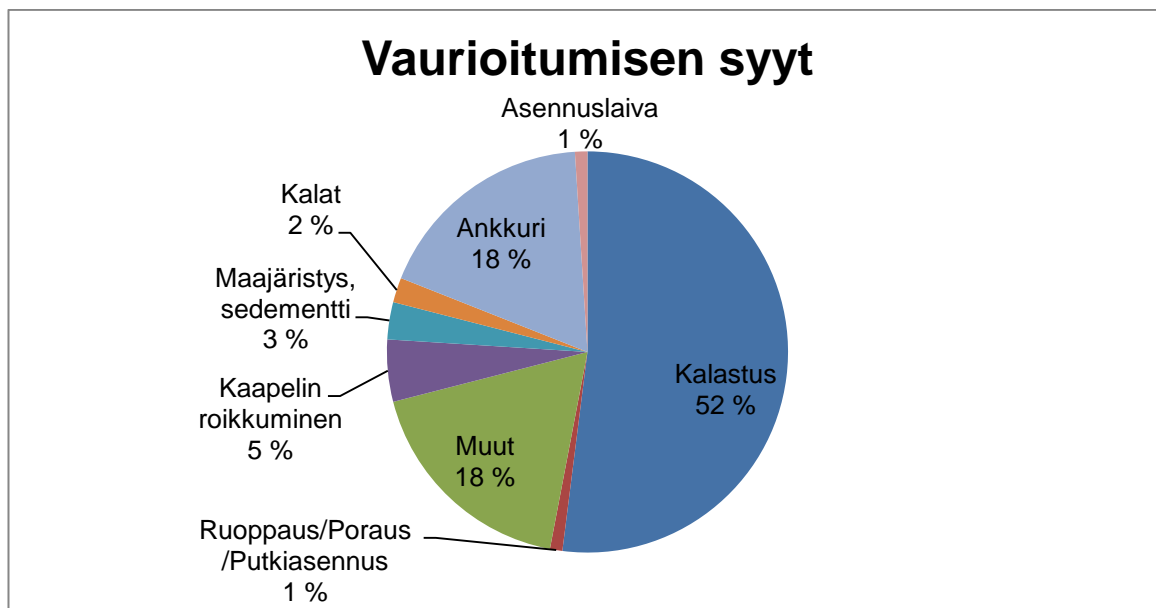
Tehokkain suojaustapa on kaapelin hautaaminen pohjaan. Tähän käytetään tarkoituksenmukaista auraa joka kiinnitetään asennuslaivaan. Laivalla oleva merikaapeli syötetään auran läpi ja sen liikkuessa kaapeli kaivautuu pohjaan määrättyyn syvyyteen. Hiekkaisessa pohjassa tai kaapeleiden risteyskohdissa kaivamiseen käytetään vesisuihkua. Auraussyvyyttä ja kaapelin optisia ominaisuuksia seurataan laivasta. Asennuksen jälkeen työn laatu tarkastetaan sukeltajilla tai kauko-ohjatulla ajoneuvolla. [3]

Merenkululle hiljaisissa paikoissa voidaan käyttää panssaroitua kaapelia. Tällöin kaapelin kaivaminen pohjaan vältetään. [3]

Syvässä vedessä (yli 1 500 m) kaapeli suojataan pohjan muotojen ja aktiivisuuden perusteella. Syvemmälle mentäessä riittää kevyt suojaamaton kaapeli. Laivalla oleva asennusmekanismi kontrolloi kaapelin asennusnopeutta ja kireyttä. Huomioon on otettava että kaapeli asettuu pohjalle kilometrejä laivan perässä. [3]

6.5 Vaurioituneen kaapelin korjaus

Yli 75 % kaikista kaapelien vaurioista on ihmisten aikaansaamia. Näistä suurin osa on pohjatroulareiden aiheuttamia. (Kuvio 1.) Vaurioitumista voidaan pienentää merkittävästi jo suunnitteluvaiheessa välttämällä riskialueita ja suojaamalla merikaapelia. [3]



Kuvio 1. Merikaapelin vaurioitumisen syyt [3].

Epäkunnossa oleva kaapeli tai toistin vaatii korjaustoimenpiteitä. Optisen kaapelin korjausta voidaan suorittaa vain kuivissa olosuhteissa, jolloin se on nostettava pinnalle. Tähän käytetään asennuslaivaa joka suorittaa seuraavia vaiheita [13]:

1. Vikakohta paikannetaan verkon valvontalaitteilla, jolloin saadaan tarkka GPS-sijainti.
2. Kaapeli katkaistaan ja yksi pää nostetaan pinnalle joko roboteilla tai kaapelikouralla.
3. Kaapelipään ja pääteaseman välille suoritetaan sähköisiä ja optisia testejä ja varmistetaan sen toimivuus. Jos vika edelleen ilmenee, katkaistaan lisää kaapelia, kunnes sen toimivuus on varmistettu. Kaapelin pää vesieristetään ja kiinnitetään poijuun.
4. Asennuslaiva nostaa toiseen pään ja suorittaa samoja toimenpiteitä.
5. Kaapelipäiden välille hitsataan samantyyppinen pidempi kuitukaapeli.
6. Linkin toimivuus tarkistetaan pääteasemien välillä ja kaapeli lasketaan takaisin pohjaan.

Kaapelin olleessa haudattu se on ensin kaivettava ylös. Tähän voidaan käyttää vesitykillä varustettua robottia. [13]

Kaapelipalojen yhdistämiseen käytetään jatkoskoteloita. Jatkoskotelot ovat pienikokoisia, ruostumattomasta teräksestä valmistettuja ja kestävät sekä paine- että vetokuormitusta. Ne ovat myös suunniteltuja yhdistämään eri valmistajien ja erityyppisiä kaapeleita, kuten suojattua ja suojaamatonta. Kaapelia jatketaan jatkoskotelolla asennuslaivan kannella, kuidut hitsataan ja kotelo tiivistetään vedenkestäväksi. [6]

7 TULEVAISUUS

7.1 Kehitysnäkymät

Merikaapelin suunnittelu ja toiminta kehittyvät jatkuvasti. Uudet järjestelmät ovat luotettavampia, sisältävät enemmän kapasiteettia ja joustavuutta. Siirtokapasiteetin lisäämiseksi 40 Gbit/s järjestelmiä kaupallistetaan, 100 Gbit/s suunnitellaan ja vanhempia toiminnassa olevia kaapeleita päivitetään. Kehitteellä on myös monitasoisia modulaatio- ja kanavointiteknologioita. [14]

Lisääntyvä dataliikenne ja videolähetysten määrää ovat nopeuttaneet optisen tiedonsiirron kehitystä ja vedenalaisten kaapeleiden kysyntää. Maailmanlaajuisesti ennustetaan valokaapeleiden yhteispituudeksi vuoteen 2018 mennessä 2 milj.km. Täällä hetkellä jo lähes 100 % Internet-liikenteestä välitetään vedenalaisia kaapeleita pitkin sekä 95 % puhelinliikenteestä. [14]

Vaikka Euroopan maat ja Yhdysvallat ovat olleet eturintamassa merikaapelijärjestelmien kehittämisessä, tuleva kasvu tapahtuu kehittyvillä markkinoilla, kuten Kiinassa, Intiassa, Brasiliassa ja Afrikassa. Näistä Afrikka jo edustaa nopeimmin kasvavia merikaapelireittejä maailmanlaajuisesti. [14]

7.2 Itämeren tietoliikennekaapeli

Nykyään kaikki Suomen tietoliikenne ulkomaille kulkee yhtä reittiä Ruotsin kautta ja vikatilanteessa syntyisi ongelmia. Ratkaisuksi suunnitellaan suoraa yhteyttä Manner-Eurooppaan, joka kulkisi Itämeren pitkiin. [15]

Alustavan suunnitelman mukaan kaapelissa kulkisi 8 kuituparia, joiden yhteiskapasiteetti on 8x10 Tbit/s. Tarvittaessa yhteys voidaan päivittää nopeampaan. Rakentaminen vie 2 vuotta ja toiminta-ajaksi odotetaan 25 vuotta. [15]

Jatkossa kyseinen kaapeli voidaan kytkeä Venäjällä suunnitteilla olevaan RO-TACS-hankeeseen, jolloin Euroopan ja Aasian välinen tiedonsiirron etäisyys ja viiveet lyhentyisivät. [15]

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä selvitettiin optisen merikaapeliverkon toimintaa ja kehitystä. Käytiin läpi verkon yksittäisiä komponentteja sekä niiden rakennetta ja ominaisuuksia. Perehdyttiin suunnittelu-, asennus- ja korjausvaiheisiin.

Työ osoitti tekniikan nopeata kehitystä, joka mahdollisti merikaapelien siirtokapasiteettien tuhatkertaistumiseen 20 vuoden aikana. Optiset merikaapelit edistivät myös internetin nopean kasvuun. Nykyään lähes kaikki tietoliikenneyhteydet rakennetaan optisia kuituja käyttäen ja pitkään käytetyt satelliittiyhteydet ovat enää käytössä vain syrjäisemmissä kolkissa.

Tulevaisuudessa lisääntyvä data ja korkealaatuisten videolähetyksien määrän kasvu nopeuttavat vedenalaisen optisen tiedonsiirron kehitystä ja lisäävät sen kysyntää.

Tämä työ sisältää laajan tietopaketin optisista valtamerikaapeleista, jota voidaan jatkossa hyödyntää aiheen tiedonlähteenä.

LÄHTEET

- [1] Helkamabica. 2004. Flash Cord Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://helkamabica.fi/pdf/FlashCord-fi.pdf>. (Luettu 4.6.2013)
- [2] Kuitu.net. [online]. Saatavilla: <http://www.kuitu.net>. (Luettu 4.6.2013)
- [3] Submarine cables and the oceans: connecting the world. [www-dokumentti.] Saatavilla: www.iscpc.org/publications/ICPC-UNEP_Report.pdf. (Luettu 14.6.2013)
- [4] Landing of the Transatlantic Cable. [www-dokumentti.] Saatavilla: http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Milestones:Landing_of_the_Transatlantic_Cable%2C_1866 (Luettu 24.8.2013)
- [5] International Cable Protection Committee. [online]. Saatavilla: <http://www.iscpc.org>. (Luettu 24.8.2013)
- [6] Podvodnye optovolokonnye linii svjazi. [www-dokumentti.] Saatavilla: http://www.ntoire-polus.ru/Submarine_Telecommunication_-_Short_Overview.pdf. (Luettu 12.9.2013)
- [7] Recommendation G.976. [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.976-201007-I/en>. (Luettu 20.9.2013)
- [8] R. Rapp, M. Lawrence, D. Borwick, T. Kuwabara. Marine Survey & Cable Routing.[www-dokumentti.] Saatavilla: <http://suboptic.org/Uploads/Files/TuMoB1a.pdf> (Luettu 21.9.2013)
- [9] NEC Technical Journal (2006 – 2013). [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://www.nec.com/en/global/techrep/journal/index.html>. (Luettu 7.10.2013)
- [10] Submarine Cable Industry Report [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://www.subtelforum.com/articles/wp-content/IndustryReport-2013.pdf>. (Luettu 23.1.2014)
- [11] Mitsubishi Electric. [online]. Saatavilla: <http://www.mitsubishielectric.com> (Luettu 6.10.2013)
- [12] S. Harasawa, M. Sumitani, K. Ohta. Reliability Technology for Submarine Repeaters. . [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://www.fujitsu.com/downloads/MAG/vol44-2/paper03.pdf> (Luettu 21.9.2013)
- [13] Optical Submarine Cable Repair Method. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.kkcs.co.jp/english/solutionRepairingMethod.html>. (Luettu 6.10.2013)
- [14] Growing Demand for Bandwidth Spurs Growth in Submarine Optical Fiber Cables Market. [www-artikkeli.] Saatavilla: http://www.prweb.com/releases/optical_fiber_cable/submarine_cable/prweb11088288.htm. (Luettu 7.11.2013)
- [15] Itämeren tietoliikennekaapeli. [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://www.lvm.fi/lvm-mahtiportlet/download?did=98835>. (Luettu 7.11.2013)

Kaapelityyppi	Ominaisuudet	Käyttösyvyys (m)
LW (Light weight)	Kevyt syvävesikaapeli. Sopii alueille joissa ei ole merkittävä vahinkovaara.	<8000
LWP (Light weight protected)	Kevyesti suojattu mekaanisilta vaurioilta. Sopii karkealle merenpohjalle	<3500
SLA (Single armour light)	Kevyesti suojattu. Sopii merenpohjaan haudauttamiseen.	<1500
SA (Single armour)	Suojattu. Sopii alueille jolla kaapelin haudautaminen on rajoitettu tai osittainen.	<1500
DA (Double armour)	Vahvasti suojattu. Käytetään rannikkoalueilla, joissa kaapelin haudautaminen on mahdotonta ja alueilla joilla on suuri vaurioitumisvaaraa (esim. kalastus)	<500
RA (Rock armour)	Ominaisuuksiltaan vastaa DA –kaapelia. Joustavampi Sopii kiviselle pohjalle ja vilkkaille kalastusalueille.	<200