

**Vedenalainen datasiirto – langallisten ja langattomien tiedonsiirtojärjestelmien nykytila ja kehitysnäkymät**

Kandidaatintutkielma

Kadettialikersantti

Ilari Lemponen

79.Merikadettikurssi

Laivastolinja

Huhtikuu 2012

Kurssi 79.Merikadettikurssi	Linja Laivasto
Tekijä Kadettialikersantti Ilari Lemponen	
Tutkielman nimi <b>Vedenalainen datasiirto – langallisten ja langattomien tiedonsiirtojärjestelmien nykytila ja kehitysnäkymät</b>	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika 21.4.2012	Tekstisivuja 22      Liitesivuja 3
<p><b>TIIVISTELMÄ</b></p> <p>Vedenalaisen datasiirron tutkimus on edennyt voimakkaasti kahden viime vuosikymmenen aikana. Vedenalaisen datasiirron tutkimuksen tavoitteena on tiedonsiirtokapasiteetin kasvattaminen ja äärimmäisen haastavan vedenalaisen signaaliympäristön hallinta.</p> <p>Vedenalainen datasiirto voidaan jakaa langalliseen ja langattomaan datasiirtoon. Langalliset tiedonsiirtoyhteydet, sensorit ja muut laitteet muodostavat langallisia tiedonsiirtojärjestelmiä.</p> <p>Langattomat tiedonsiirtojärjestelmät perustuvat tällä hetkellä akustisiin tiedonsiirtomenetelmiin. Äänen etenemiseen liittyvät rajoitteet asettavat laitteille suuria vaatimuksia ja pienentävät niiden tiedonsiirtokapasiteettia. Yhdysvallat on tutkinut ja 1990-luvulta alkaen laajamittaista akustista tiedonsiirtojärjestelmää ja sen käyttöä vedenalaiseen valvontaan.</p> <p>Tulevaisuudessa optiset langattomat tiedonsiirtojärjestelmät voivat tulla osaksi akustisia tiedonsiirtojärjestelmiä.</p>	
<p><b>AVAINSANAT</b> Akustinen modeemi, akustinen tiedonsiirto, vedenalainen tiedonsiirtojärjestelmä, langallinen, langaton</p>	

# Vedenalainen datasiirto – langallisten ja langattomien tiedonsiirtojärjestelmien nykytila ja kehitysnäkymät

## Sisällysluettelo

1. Johdanto .....	1
1.1 Yleistä .....	1
1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset.....	2
1.3 Tutkimusmenetelmä.....	2
1.4 Aineisto ja rajaus.....	3
2. Vedenalainen langallinen tiedonsiirto .....	4
2.1 Parikierretty kaapeli .....	5
2.2 Koaksiaalikaapeli .....	6
2.3 Optinen kuitu.....	6
3. Vedenalainen langaton tiedonsiirto.....	8
3.1 Akustisen tiedonsiirron rajoitteet .....	9
3.2 Akustinen modeemi .....	12
3.3 Akustiset tiedonsiirtojärjestelmät.....	13
3.3.1 Akustisten tiedonsiirtojärjestelmien rakenne .....	14
3.3.2 Seaweb .....	16
3.4 Optiset vedenalaiset tiedonsiirtomenetelmät.....	17
3.5 Muut vedenalaiset tiedonsiirtomenetelmät .....	20
4. Päätelmät.....	21
Lähteet.....	23
Liitteet	
Liite 1 OSI-Malli	
Liite 2 Seaweb-järjestelmän poijujen kuvat	
Liite 3 Esimerkki Seaweb-järjestelmän rakenteesta vuonna 2004	

## Käsitteet ja määritelmät

AUV	Itsenäinen vedenalainen ajoneuvo
Akustinen modeemi	Akustisella periaatteella toimiva tiedonsiirtolaite
Datasiirto	Pakettimuotoisen datan siirto laitteelta toiselle
Langallinen	Parikierretyn kaapelin, koaksiaalikaapelin tai valokuidun avulla toimiva tiedonsiirtoyhteys
Langaton	Ilman johdinyhteyttä toimiva tiedonsiirtoyhteys
OSI-malli	Systems Interconnection Reference Model
SNR	Signaali-kohinasuhde
UAN	Vedenalainen akustinen tiedonsiirtojärjestelmä
UCAC	Yhteiseurooppalainen tutkimushake Underwater covert acoustic communications
UUV	Miehittämätön vedenalainen ajoneuvo

# **Vedenalainen datasiirto – langallisten ja langattomien tiedonsiirtojärjestelmien nykytila ja kehitysnäkymät**

## **1. Johdanto**

### 1.1 Yleistä

Vedenalaisen tiedonsiirron kehittyminen kahden viime vuosikymmenen aikana on ollut nopeaa[2]. Maanpäällisten langattomien tiedonsiirtojärjestelmien nopea kehitys on luonut pohjaa langattomien tiedonsiirtolaitteiden viemiselle vedenpinnan alapuolelle[2][15]. Miehitämättömien vedenalaisten alusten tekninen kehitys ja yleistyminen kasvattavat edelleen tarvetta laitteiden reaaliaikaiseen langattomaan ohjaukseen ja tiedonsiirtoon[11][2].

Vedenalaista tiedonsiirtoa hyödynnetään sotilaskäytössä tällä hetkellä Suomessa vedenalaisen valvonnan tiedonsiirtoon. Langattomat tiedonsiirtojärjestelmät voivat tulevaisuudessa mahdollistaa uusien järjestelmien käytön vedenalaisessa valvonnassa[2][8]. Miehitämättömien vedenalaisten alusten (AUV,UUV) langaton ohjaaminen on jo tällä hetkellä mahdollista. Tulevaisuuden suorituskykyjä arvioitaessa vedenalaisen langattoman tiedonsiirron hyödyntäminen on mahdollista esimerkiksi miinanetsintään käytettävissä laitteissa[8].

## 1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Vedenalaista tiedonsiirtoa koskevia suomenkielisiä julkisesti saatavilla olevia tutkimuksia on saatavilla niukasti. Tutkijana kehittymisen lisäksi olen halunnut selvittää mitä mahdollisuuksia vedenalainen datasiirto tällä hetkellä tarjoaa ja mihin tiedonsiirtojärjestelmät ovat kehittymässä. Tutkimusongelmani käsittelee vedenalaista datasiirtoa, sen rajoitteita ja tulevaisuuden mahdollisuuksia tiedonsiirtojärjestelmien näkökulmasta. Tiedonsiirtojärjestelmien kuvauksessa olen jakanut järjestelmät langallisiin ja langattomiin järjestelmiin.

Tutkimuskysymykseni on: Minkälaisia vedenalaisia langallisia ja langattomia tiedonsiirtojärjestelmiä on käytössä ja miten ne tulevat lähitulevaisuudessa kehittymään?

Tutkimuksen alakysymyksiä ovat: Miten vedenalaiset tiedonsiirtojärjestelmät toimivat? Minkälaisia tiedonsiirtokapasiteetteja nykyisillä ja tulevaisuuden järjestelmillä on mahdollista saavuttaa?

## 1.3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä on käytetty kirjallisuusselvitystä. Tyypillisesti kirjallisuusselvitys on luettava esitys työn kannalta olennaisena pidettävistä asioista tai asiasta. Tyypillinen lähdeaineisto käsittää kirjallisuutta, tutkimuksia ja raportteja. Muodoltaan kirjallisuusselvitys on referaatinomainen [16]. Tutkimusmetodina on kvalitatiivinen sisällönanalyysi, jossa aihealue pyritään esittämään tiivistetysti. Tutkimukseni on luonteeltaan laadullinen. Vertailevalla tutkimusotteella on pyritty selvittämään eri tiedonsiirtojärjestelmien ominaisuuksia toisiinsa nähden.

Kirjallisuusselvityksen tulee olla lähteistetty ja lähteiden on oltava ajantasaisia. Käyttämäni lähteet ovat luotettavia. Olen valinnut lähteiksi tekstejä, joihin on viitattu useasti muiden tutkijoiden toimesta. Olen käyttänyt lähteinä vain 2000- luvulta alkaen kirjoitettuja lähteitä.

## 1.4 Aineisto ja rajaus

Aihealueesta on langallisten tiedonsiirtojärjestelmien osalta saatavilla suomenkielistä lähdekirjallisuutta. Langattoman vedenalaisen tiedonsiirron osalta suomenkielistä lähdekirjallisuutta on vähän. Työni lähteet ovat pääsääntöisesti englanninkielisiä tieteellisiä artikkeli- ja konferenssijulkaisuja. Kaikki englanninkieliset julkaisut, joihin olen viitannut, ovat tutkijan hallussa.

Sotilaallisessa käytössä olevia järjestelmiä koskevaa aineistoa on saatavilla niukasti. Englanninkielistä materiaalia on saatavilla Yhdysvaltojen Seaweb-ohjelmaan liittyen. Käyttämäni lähteet ovat julkisesti saatavilla.

Tutkielmani on rajattu käsittelemään vedenalaisen langallisen ja langattoman tiedonsiirron nykytilaa ja tulevaisuutta. Tutkimuksessa käsitellään tiedonsiirron teknisiä ratkaisuja ja niistä muodostuvia järjestelmiä. Tutkimuksesta rajataan äänen ja valon vedenalaisen etenemisen yksityiskohtainen teoreettinen tarkastelu sekä Itämeren alueen tarkka toimintaympäristön kuvaus. Itämeren aluetta toimintaympäristönä on jo käsitelty useissa tutkimuksissa (Sirkkola, Mikkola), joten lähtökohtaisesti saman tiedon toistaminen ei tuo tähän tutkimukseen lisäarvoa.

## 2. Vedenalainen langallinen tiedonsiirto

Tässä pääluvussa käsitellään vedenalaista langallista tiedonsiirtoa. Langallista tiedonsiirtoa käsitellään veden alla käytettävien johdintyyppien kautta. Kiitän komentajakapteeni Risto Riihiahoa päälukuun liittyvistä huomioista ja kommenteista.

Langallinen vedenalainen tiedonsiirto on hyvin samankaltaista kuin maalla tapahtuva tiedonsiirto. Merikaapelit eroavat rakenteellisesti maakaapeleista johtimen ytimen suojaamisen osalta. Merikaapeleissa johtimen sisälle päässyt vesi voi aiheuttaa sen rikkoutumisen. Tärkeimmät siirtojärjestelmät perustuvat kuparijohtimen tai optisen kuidun käyttöön [9]. Yleisesti käytössä olevat kaapelointiratkaisut ovat parikierretyt johtimet, koaksiaalikaapeli ja optinen kuitu [17]. Optinen kuitu on vähitellen syrjäyttämässä muut kaapelointiratkaisut. Sotilaskäytössä galvaanisilla yhteyksillä on edelleen useita käyttösovelluksia, koska ne mahdollistavat tehonsyötön laitteelle tai sensorille.

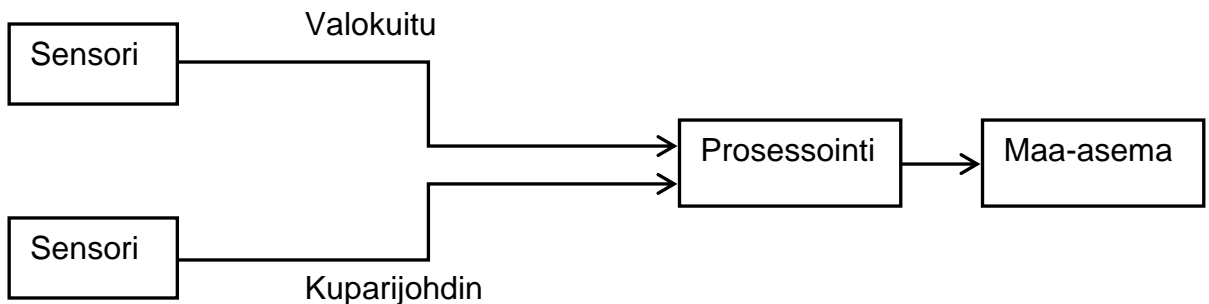
Langallisessa järjestelmässä vedenalainen sensori, esimerkiksi hydrofoni, on kytketty fyysisesti galvaanisella kaapelilla tai optisella kuidulla maa-asemaan tai aluslavettiin. Kaapelit voivat vioittua tai katketa esimerkiksi aluksen ankkurin noston yhteydessä tai tuholais toiminnan seurauksena. Siirrettävien järjestelmien haasteena voidaan katsoa olevan kaapeleiden suuri yhteispituus ja sitä kautta massa. Kaapeloinnin etuna on kuitenkin korkea tiedonsiirtokapasiteetti, hyvä häiriönsietokyky ja niiden halvempi hinta verrattuna langattomiin järjestelmiin. Langalliset järjestelmät voidaan tiedustella sukeltajatoiminnalla tai kaapeloinnin rakennustöitä seuraamalla. Kaapeleiden tarkan paikan selvittäminen on kuitenkin tiedustelijan näkökulmasta vaikeaa kaapeliverkon laajuuden vuoksi.

Parikierretyt kaapelit ja koaksiaalikaapelit mahdollistavat tiedonsiirron lisäksi virransyötön käytettävään sensoriin tai laitteeseen. Galvaanisten kaapeleiden suurin haaste vedenalaisen käytettävyyden kannalta aiheutuu niiden suuresta massasta. Pitkäaikaisessa käytössä galvaaninen yhteys on kuitenkin edelleen toimiva tiedonsiirtoratkaisu.



Vedenalaisessa valvonnassa käytetään tällä hetkellä yleisesti johdollisia kaapelointiratkaisuja etenkin kiinteässä valvonnassa. Siirrettävän uravalvonnan johdinratkaisuna voidaan käyttää optista kuitua sen kuparijohdinta pienemmän massan vuoksi. Optisten kuitujen kestävyysominaisuudet voivat kuitenkin olla huonommat kuin galvaanisten johtojen ominaisuudet [17]. Toisaalta optiset kuidut ovat melko häiriövapaita ja niissä kulkeva signaali ei vaimene nopeasti.

Vedenalaisen sensorin informaatio siirretään lähetin- vastaanotinyksikön kautta johtimelle. Siirretty informaatio otetaan vastaan lähetin- vastaanotinyksikössä. Informaation prosessoinnin jälkeen se voidaan esittää tiedon käyttäjälle. Kuvassa 1 esitetään johdollinen tiedonsiirto sensorilta maa-asemalle.



Kuva 1: Langallinen tiedonsiirto sensorilta maa-asemalle.

## 2.1 Parikierretty kaapeli

Parikierrettyä kaapelia käytettiin aluksi puhelinverkkojen tiedonsiirtotienä. Parikierretyn kaapelin laajamittainen käyttö perustuu sen halpaan hintaan verrattuna esimerkiksi optiseen kuituun. Parikaapelissa signaalihohtimen kiertämisellä vähennetään elektromagneettisia häiriöitä. Parikaapelit on jaettu standardoinnin mukaan eri luokkiin käytettävän taajuuden ja tiedonsiirtokapasiteetin mukaan [17]. Vedenalaisissa sovelluksissa parikierretyn kaapelin käyttö ei juuri eroa maalla käytettävistä ratkaisuista.

## 2.2 Koaksiaalikaapeli

Koaksiaalikaapeleissa signaalijohdin ja paluujohdin ovat eristetty toisistaan. Toinen johtimista suojaa ja keskittää sisäjohtimen. Koaksiaalikaapelin elektromagneettisten häiriöiden sietokyky on hyvä ja sillä on suuri kaistanleveys. Koaksiaalikaapeleilla toteutettava tiedonsiirto jaetaan kantataajuussiirtoon ja laajakaistasiirtoon. Kantataajuussiirto on digitaalista ja käyttää kanttiaaltoa. Kantataajuussiirrossa kaapelin koko kaistanleveys on kanavan käytössä. Laajakaistasiirrossa kaapeliin voidaan sekoittaa useampi kanava, jotka erotellaan kaistanpäästösuodatuksella. [9]

Koaksiaalikaapeleita käytetään edelleen lähiverkoissa ja nopeiden oheislaitteiden yhdistämiseen. Koaksiaalikaapelien yleinen häiriötilanne on ulkojohtimen joutuminen kosketuksiin suoraan suojamaadoitettuun esineeseen. Tämän vuoksi koaksiaalikaapelien jatkoliitokset tulisi eristää, jos kosketusriski on olemassa [17].

## 2.3 Optinen kuitu

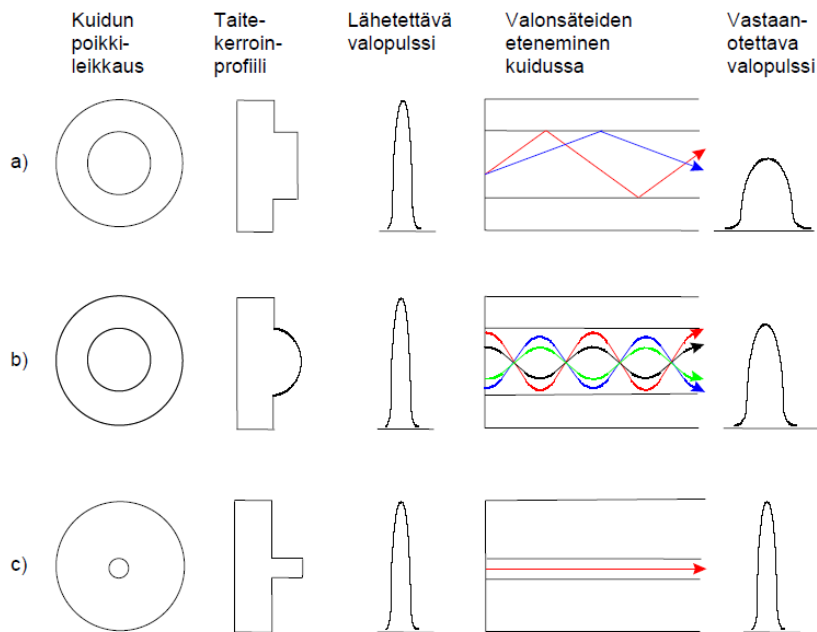
Optisessa kuidussa digitaalinen informaatio siirretään valopulssin avulla lähettimeltä vastaanottimelle. Lähetin muuntaa siirrettävän informaation valon muotoon ja sovittaa sen optiseen kuituun. Lähettimenä voidaan käyttää LED- tai laserlähettimiä[9]. Vastaanotin muuntaa valopulssin sähköiseksi informaatioksi. Valopulssin kulkiessa siirtotiessä se vaimenee. Optisen kuidun kokonaisvaimennus on summa itse kuidun aiheuttamasta vaimennuksesta sekä liitosten aiheuttamasta vaimennuksesta. Signaalin vaimennus kuitukilometriä kohden on yksimuotokuidulla noin 0,5 dB[9].

Optisen kuidun toiminta perustuu valon taittumiseen ja heijastumiseen kahden eri aineen rajapinnassa. Optisen tiedonsiirron aallonpituusalueet määräytyvät kaapelissa ydinjohtona käytettävän lasin ominaisuuksien mukaan. Nämä kolme taajuusalueetta ovat 825–875 nm, 1270–1340 nm ja 1525–1575 nm [9].

Laajamittainen optisten kuitujen käyttö perustuu niiden suureen kaistanleveyteen ja sitä kautta suureen tiedonsiirtokapasiteettiin. Optisissa kuiduissa kaistanleveys on maksimissaan 25000–30000 GHz. Yksimuotokuiduilla on mahdollista saavuttaa Gbit/s kapasiteetti yli sadan kilometrin etäisyydelle ilman välivahvistimia. Asteittaistaitekertomisella kuidulla kapasiteetti on vastaavasti noin Gbit/s yhden kilometrin etäisyydellä[17].

Galvaanisille kaapeleille tyypilliset elektromagneettiset häiriöt eivät vaikuta optisiin kuituihin, koska niissä käytettävä lasi on eriste. Tällöin ylijännite tai kaapelin maadoitus eivät muodosta tiedonsiirron kannalta ongelmia [9].

Optiset kuidut jaetaan rakenteen perusteella yksimuoto- ja monimuotokuituihin. Monimuotokuidut jaetaan vielä kahteen alaryhmään askel- ja asteittaistaitekeroimisiin kuituihin. Monimuotokuiduista käytetään nykyään lähinnä asteittaistaitekertomista monimuotokuitua. Yksimuotokuitua käytetään pitkillä etäisyyksillä runkokaapelointiin ja monimuotokuitua lähinnä liitosjohtoina ja runkoyhteyksillä lyhyillä etäisyyksillä [9]. Kuvassa 2 esitetään optisten kuitujen rakenne.



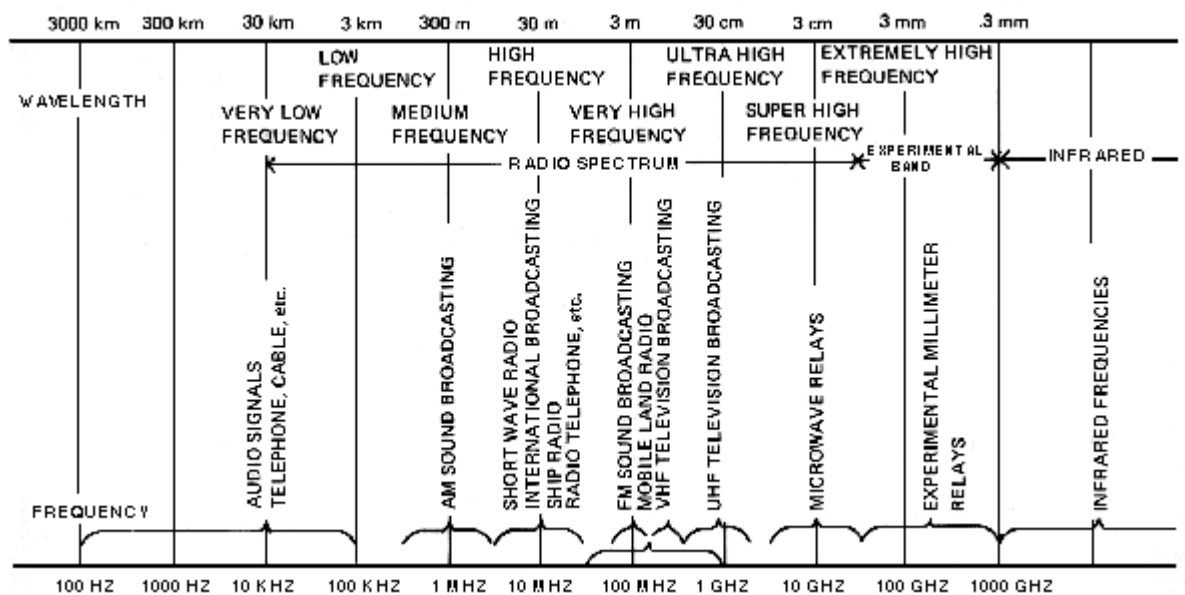
Kuva 2: Askelkuidun (a), asteittaiskuidun (b) ja yksimuotokuidun (c) rakenne [9]

Vedenalaiseen toimintaan soveltuvia optisia kuituja on saatavilla runsaasti. Esimerkiksi lankaohjattujen torpedojen kaapelointi voidaan toteuttaa optisen kuidun avulla. Kaapelien suojakerroksen ja liitoksien on oltava vahvistettuja olosuhteiden vuoksi ja niiden tulee kestää hankausta ja painetta. Etenkin rannan läheisyydessä kuitu voi rikkoutua mekaanisen rasituksen johdosta kuidun joutuessa kosketuksiin kivikkoisen maaston kanssa.

### 3. Vedenalainen langaton tiedonsiirto

Akustinen tiedonsiirto on vakiintunut päämenetelmäksi langattomissa vedenalaisissa tiedonsiirtoyhteyksissä. Radiotaajuiset aallot etenevät vedessä nopeasti vaimeten ja niiden lähetystehovaatimukset ovat suuria [4]. LF- ja VLF-taajuuksilla ja erittäin pieni tiedonsiirtokapasiteetti sekä lähetysajan kesto ja viiveet. Käytännössä erittäin matalia taajuuksia ovat käyttäneet vain sukellusveneitä operoivat valtiot. Sukellusvene voi vastaanottaa informaatiota noin 30 metrin syvyydessä. Optiset menetelmät voivat tulevaisuudessa haastaa akustisen tiedonsiirron käytettävänä menetelmänä ainakin lyhyillä etäisyyksillä.

Sähkömagneettisessa spektrissä akustiset läheteet sijoittuvat n.1-100 kHz alueelle. Ihmisen kuuloalue on noin 20 Hz- 20 kHz.



Kuva 3: Sähkömagneettinen spektri

Akustisen tiedonsiirron ensimmäiset sovellukset ovat olleet vedenalaiset puhelimet. Akustisia puhelimia käytetään edelleen osana sukellusveneiden viestijärjestelmiä. Järjestelmä on häiriöille ja kohinalle altis, mutta on edelleen käytössä sukellusveneiden ja maa-asemien välisessä tiedonsiirrossa.

Vedenalaisessa tiedonsiirrossa on pyritty siirtymään akustisten modeemien käyttöön. Yhdysvalloissa vedenalaista tiedonsiirtoa on tutkittu laajasti esimerkiksi Seaweb-ohjelman aikana. Ohjelman tavoitteena on luoda vedenalainen langaton tiedonsiirtojärjestelmä, joka on yhteydessä maa-asemiin, sukellusveneisiin ja muihin tilannekuvajärjestelmiin. Yhdysvaltojen lisäksi ainakin Kanadalla on sotilaallisia aspekteja omaava vedenalaisen tiedonsiirron hanke käynnissä. Seaweb-järjestelmään tutustutaan tarkemmin kappaleessa 3.3.2.

Akustisessa digitaalisessa tiedonsiirrossa on paljon haasteita, jotka johtuvat äänen etenemisestä vedessä[2]. Vedenalaisten olosuhteiden jatkuva muuttuminen, lähetetyn signaalin kanavoituminen, monitie-eteneminen, kohina ja signaalin vaimeneminen aiheuttavat haasteita järjestelmien ja laitteiden toiminnassa.

Akustiset tiedonsiirtolaitteet eroavat maalla käytettävistä laitteista suorituskykyvaatimusten osalta. Laitteet ovat kalliita ja ne on suojattava korroosiolta ja paineelta. Toisaalta laitteiden on oltava myös vastaanottoherkkiä. Sensorien ja laitteiden virrankulutus on yleensä melko korkea ja laitteilta vaaditaan kykyä signaalin prosessointiin. Akustiset tiedonsiirtolaitteet ovat usein joko kiinteillä virtalähteillä tai akkuparistolla varustettuja [1].

### 3.1 Akustisen tiedonsiirron rajoitteet

Vedenalaisen tiedonsiirron suurimmat haasteet liittyvät akustisen kanavan ominaisuuksiin. Suurimpina haasteina voidaan nähdä signaalin vaimeneminen, kohina, monitie-eteneminen, dopplerhajonta sekä korkea lähetteen vastaanoton viiveaika[1][2]. Näiden tekijöiden seurauksena esimerkiksi videokuvan lähettäminen reaaliaikaisena akustisia modeemeja hyödyntäen ei ole vielä mahdollista.

Akustinen tiedonsiirto voidaan jakaa vertikaaliseen ja horisontaaliseen tiedonsiirtoon[2]. Vertikaalisen ja horisontaalisen etenemisen välillä on huomattavia eroavaisuuksia. Horisontaalisessa tiedonsiirrossa olosuhteiden vaikutus on suurempi kuin vertikaalisessa tiedonsiirrossa. Vertikaalisella akustisella tiedonsiirrolla on mahdollista siirtää informaatiota sensorilta vastaanottajalle useiden kilometrien syvyydestä. Horisontaalisessa tiedonsiirrossa etäisyydet ovat suuruusluokaltaan satoja metrejä [2].

Itämeren olosuhdealueella vedenalaisen ääniaallon monitie-eteneminen on voimakasta veden kerrostuneisuudesta johtuen. Voimakkaimmillaan kerrostuneisuus on syksyllä ja keväällä veden lämpötilan muuttuessa suhteellisen nopeasti. Lämpötilasta johtuvaa kerrostuneisuutta kutsutaan termokliiniksi ja suolaisuudesta johtuvaa kerrostuneisuutta halokliiniksi. Kerroksissa etenevä ääni taittuu ja voi esimerkiksi kanavoitua tietyn kerroksen sisälle. Monitie-etenemisen voimakkuus kasvaa etäisyyden kasvaessa ja veden syvyyden pienentyessä [18].

Eri tekijät määrittävät akustisen kanavan hetkelliset ja muuttuvat olosuhteet. Jatkuvasti muuttuvat olosuhteet ja muuttujien suuri määrä ovat haasteena akustisen tiedonsiirron kehityksessä. Akustisessa kanavassa kapasiteettia rajoittavat edellä mainittujen tekijöiden lisäksi riippuvuus etäisyyden ja käytettävän taajuuden välillä [18][8]. Taulukossa 1 esitetään riippuvuus etäisyyden ja käytettävän taajuuden välillä. Etäisyyden kasvaessa aallonpituus kasvaa, joka taas johtaa mahdollisen tiedonsiirron kapasiteetin pienemiseen [2].

	Etäisyys (km)	Taajuus (kHz)
Erittäin pitkä	1000	< 1
Pitkä	10–100	2-5
Keskipitkä	1-10	10
Lyhyt	0,1-1	20–50
Erittäin lyhyt	< 0,1	> 100

Taulukko 1: Etäisyyden vaikutus käytettävään aallonpituuteen [2]

Lähetetty signaali vaimenee vedessä voimakkaammin kuin ilmassa. Edetessään vedessä osa signaalin energiasta muuttuu lämpöenergiaksi. Lähetteen energian absorboituminen kasvaa etäisyyden ja taajuuden kasvaessa. Aaltorintamalle on myös ominaista geometrinen hajonta, joka suurenee etäisyyttä kasvatettaessa. Geometrinen hajonta ei ole riippuvainen käytettävästä taajuudesta. Muita vaimenemiseen vaikuttavia tekijöitä ovat veden lämpötila, suolaisuus ja paine [7].

Kohina voidaan jakaa taustakohinaan sekä ihmisen aiheuttamaan kohinaan. Ihmisen aiheuttamasta kohinasta suurin osa on alusten koneistomelua. Taustakohinan määrä on riippuvainen tuulen- ja virran voimakkuudesta. Taustakohinan määrä ei ole vakio vaan esimerkiksi myrskyn vallitessa se on huomattavasti suurempaa kuin tyynessä säässä[2]. Akustisen tiedonsiirtolaitteen ominaisuuksien parantamiseksi vallitseva kohinataso tulisi pystyä määrittämään ja kompensoimaan. Hyötysignaalin ja kohinan suhde ilmoitetaan signaali-kohinasuhteena (SNR)[7].

Monitie-eteneminen aiheuttaa tiedonsiirron virheitä etenkin vertikaalisessa akustisessa tiedonsiirrossa. Lähetetty signaali heijastuu useita kertoja matkalla vastaanottimelle. Heijastuneet aallot kulkevat eri nopeuksilla. Saapuessaan vastaanottimelle eri aikaan, lähetetyt bitit voivat sekoittua toisiinsa (ISI, Inter Symbol Interference)[2]. Äänen nopeuden ollessa suhteellisen pieni vapaan tilan etenemiseen verrattuna aiheutuu monitie-etenemisestä suurempi ongelma. Viivevirhettä voidaan pyrkiä korjaamaan bittien välisellä varoajalla tai luomalla vallitsevia olosuhteita hyvin simuloiva ekvalisaattori [18].

Monitie-eteneminen on riippuvaista veden syvyydestä. Syvässä vedessä lähetteen ääniaallot taipuvat muodostaen sinikäyrää muistuttavan kuvion. Matalassa vedessä ääniaallot heijastuvat sekä veden pinnalta, että meren pohjasta. Jokaisessa heijastustapahtumassa ääniaalto luovuttaa energiaa ja se vaimenee. Monitie-eteneminen on matalassa vedessä voimakkaampaa kuin syvässä vedessä. Ääniaalto voi myös kanavoitua veden tiettyyn kerrokseen.

Lähetteen taajuuden dopplersiirymä aiheuttaa yksittäisiä taajuusmuutoksia ja jatkuvaa lineaarista taajuuden muutosta. Yksittäiset muutokset voidaan laskea ja kompensoida, mutta jatkuvan muutoksen kompensoiminen on vaikeaa. Kompensaation suorittamiseksi vaaditaan laitteilta prosessointitehoa, jolloin tehonkulutus, laitteiden koko ja kustannukset kasvavat[1].

Vedessä aiheutuu huomattavaa äänen etenemisviivettä joka on n. 0,67s/km. Etenemisviive vaikuttaa tiedonsiirtokapasiteettia pienentävästi [2]. Viiveen seurauksena lähettimen on odotettava riittävän kauan lähetyksen vastaanoton varmistamiseksi. Suuri lähety sviive rajoittaa merkittävästi laitteiden mahdollista tiedonsiirtokapasiteettia.

## 3.2 Akustinen modeemi

Akustisten modeemien toimintaperiaate on samankaltainen kuin radiomodeemien toimintaperiaate. Modeemin tehtävä on moduloida tieto ja lähettää se siirtotietä pitkin toiselle modeemille. Tiedon siirtotienä toimii vesi, jonka ominaisuudet eroavat oleellisesti ilman ominaisuuksista.

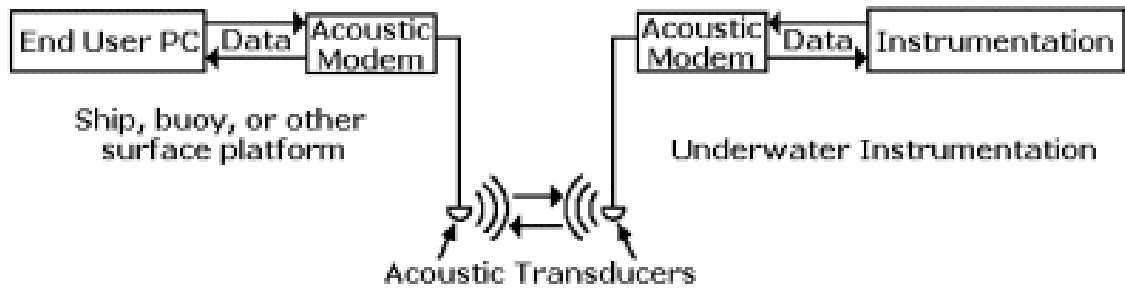
Akustisten modeemien käyttöä siviili- ja sotilassovelluksissa on tutkittu paljon viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana. Suurin osa tutkimuksesta on tehty Yhdysvalloissa. Ensimmäiset digitaaliset akustiset modeemit kehitettiin 1980-luvun alkupuolella. Ne perustuivat MFSK-modulointiin ja niillä oli mahdollista saavuttaa alle 200 bps siirtonopeuksia.

Tiedonsiirtokapasiteettia voimakkaimmin rajoittaneet tekijät olivat aluksi matala käytetty lähetystaajuus (n. 10kHz) ja pieni signaalin käsittelykapasiteetti. Laitteiden kehittymisen myötä niiden ominaisuudet ovat oleellisesti parantuneet ja niiden käyttö kaupallisesti on mahdollista. Akustisia modeemeja valmistavia yrityksiä Euroopassa ovat esimerkiksi Evologics ja Devologics. Tutkimuslaitokset ja muut valtiolliset toimijat ovat myös rakentaneet omiin tarpeisiinsa soveltuvia modeemeja.

Akustiset modeemit voidaan jakaa karkeasti koherentteihin ja inkoherentteihin modeemeihin. Inkoherentit modeemit toimivat paremmin rannikolla. Koherentteja modeemeja on kehitetty kahden viime vuosikymmenen aikana. Koherentti modeemi pyrkii ottamaan huomioon akustisen kanavan ominaisuudet ja siten parantamaan sen toimintaa[18]. Koherenteilla modeemeilla voidaan saavuttaa huomattavasti suurempi tiedonsiirtokapasiteetti kuin inkoherenteilla modeemeilla. Koherenteilla modeemeilla on saavutettu Kbps nopeuksia vertikaalisessa tiedonsiirrossa useiden kilometrien etäisyyksillä. Matalassa vedessä on vertikaalisessa tiedonsiirrossa saavutettu n. 10 Kbps nopeuksia sadan metrin etäisyydellä [18].

Lähetteen moduloinnilla on suuri merkitys modeemin toimintaan. Modulointi voidaan toteuttaa joko laitepohjaisesti (hardware) tai ohjelmistopohjaisesti (software). Tämänhetkiset kaupallisesti saatavilla olevat laitteet ovat pääsääntöisesti laitepohjaisia. Akustisten modeemien tutkimus on siirtymässä ohjelmistopohjaisiin modeemeihin. Kuvassa 4 esitetään akustisen tiedonsiirron periaate.





Kuva 4: Akustisen tiedonsiirron periaate [7]

### 3.3 Akustiset tiedonsiirtojärjestelmät

Akustiset tiedonsiirtojärjestelmät ovat kokonaisuuksia, jotka käsittävät tiedonsiirtoon ja tiedon prosessointiin tarvittavat järjestelmät. Tiedonsiirtojärjestelmiä on käytössä sekä kaupallisiin että sotilaallisiin tarkoituksiin[18]. Merentutkimuksen tarpeisiin on myös esitetty akustisia järjestelmiä. Pääsääntöisesti järjestelmien tavoitteena on mahdollistaa nopea, mahdollisesti laajakaistainen tiedonsiirto sensorilta tai alukselta (AUV, UUV) operaattorille tai tutkijalle. Tavoitetilassa esimerkiksi reaaliaikaista kuvaa tai muuta dataa voitaisiin lähettää nopeasti operaattorin käytettäväksi.

Informaatiojärjestelmät ovat tyypillisesti kerrosrakenteisia[13]. Kerrosrakenteita voidaan kuvata esimerkiksi OSI-mallilla (Open Systems Interconnection Reference Model) tai TCP/IP-mallin kautta. Kyseiset mallit ovat informaatiotekniikan standardimalleja, mutta vedenalaiseen datasiirtoon ei ole vielä olemassa yhteneviä käytäntöjä järjestelmämallia[6]. OSI- malli on ISO-standardoitu malli, joka soveltuu yleisesti kaikkien tietoliikennejärjestelmien perusrakenteeksi. OSI-mallin kaaviokuva esitetään liitteessä 1.

Vedenalaisten datasiirtojärjestelmien standardoiminen on välttämätöntä tulevaisuudessa käyttölaitteiden yhteensopivuuden kannalta. Tällä hetkellä olemassa olevat järjestelmät eivät perustu standardiin vaan yksittäisiin kokeisiin, joilla luodaan järjestelmiä[13]. Standardoinnin luomiseksi on esitetty tiekarttaohjelmaa[13].

Tiedonsiirtojärjestelmien tutkimus pohjautuu tietoliikennetekniikan nopealle kehitykselle maailmassa. Useat maalla hyväksi havaitut ratkaisut eivät kuitenkaan toimi moitteettomasti vedessä olosuhteiden vuoksi[1]. Järjestelmien tutkimus vaatii korkeaa ammattitaitoa ja laitteiden ja teorian tuntemusta. Vedenalaisen langattoman tiedonsiirron tutkimuksesta suuri osa suuntautuu tällä hetkellä optimaalisten tiedonsiirtoprotokollien löytämiseen.

Akustinen tiedonsiirtojärjestelmä ei toimi ainoastaan akustisia modeemeja hyödyntäen. Järjestelmissä jotka toimittavat tietoa maa-asemille on oltava langalliset liittynät tai radiotaajuuksilla toimiva yhteys maa-asemaan tai satelliittiin[18]. Järjestelmien rakentaminen, ylläpito ja kehittäminen on kuitenkin suhteellisen kallista.

Suomessa esitutkimusta akustisesta tiedonsiirtojärjestelmästä on toteuttanut Patria Puolustusvoimien toimeksiantona. Esitutkimuksessa pyrittiin löytämään keinoja liikuteltavien vedenalaisen valvonnan hydrofonien tiedonsiirtoon. Järjestelmän hankintakustannus olisi toteutuessaan noin 10–20 miljoonaa euroa ja vuosittaiset käyttökustannukset n. 200 000 euroa[14].

Yhdysvalloissa lienee tällä hetkellä kehittynein vedenalaiseen valvontaan ja akustiseen langattomaan tiedonsiirtoon pyrkivä järjestelmä, jonka nimi on Seaweb. Hanke alkoi 1990-luvun alussa tarkoituksena tutkia akustisten modeemien käyttömahdollisuuksia kiinteään vedenalaiseen valvontaan ja sukellusveneidien kommunikointiin. Järjestelmän osia on tutkittu myös yhteistyössä Kanadan kanssa arktisilla alueilla. Euroopassa vedenalaisia tiedonsiirtojärjestelmiä on tutkittu UCAC- ja UAN-hankkeiden puitteissa (Underwater Covert Acoustic Communications, Underwater Acoustic Network) [13].

### 3.3.1 Akustisten tiedonsiirtojärjestelmien rakenne

Akustiset tiedonsiirtojärjestelmät voidaan luokitella useilla eri tavoilla. Yleiseksi luokittelun perusteeksi on muodostunut järjestelmien jako laitteiden toiminnallisuuden perusteella staattisiin-, osittain liikkuviin- ja liikkuviin järjestelmiin[12]. Luokittelun perusteena voi myös olla järjestelmän kaksiulotteisuus tai kolmiulotteisuus[2]. Käyttötarkoituksen perusteella akustiset tiedonsiirtojärjestelmät voidaan luokitella sotilaallisiin-, tieteellisiin- ja teollisuuden käyttämiin järjestelmiin.

Tämänhetkisten akustisten tiedonsiirtojärjestelmien suunnittelu lähtökohta on ollut käyttötarkoitukseen perusteinen. Yleispätevien järjestelmämallien puuttuessa tiettyyn käyttötarkoitukseen on rakennettu aina oma järjestelmä.

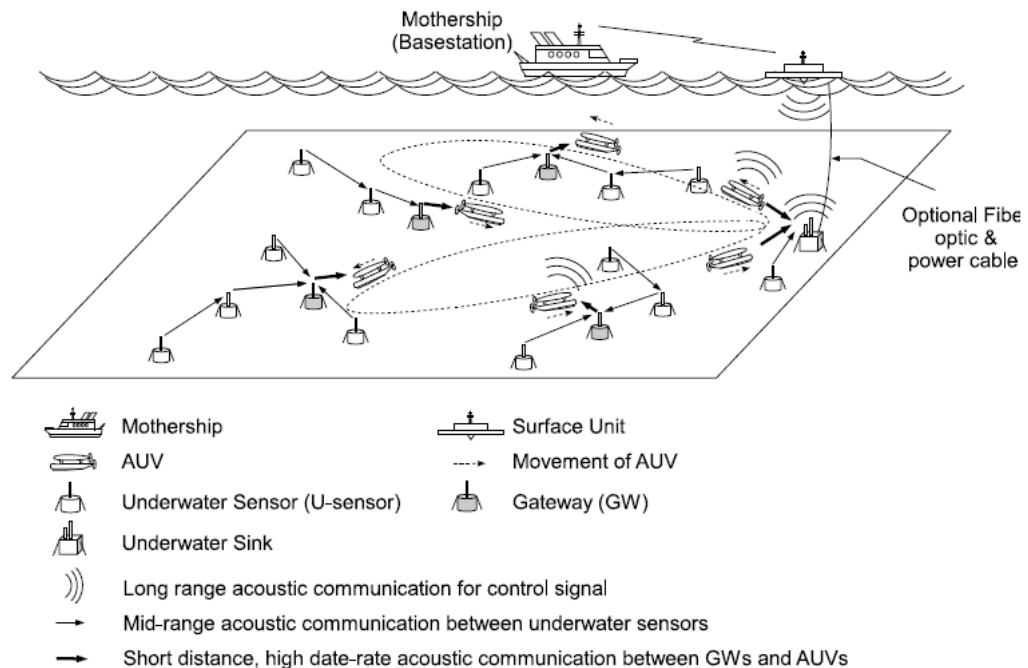
Staattiset tiedonsiirtojärjestelmät pysyvät fyysisesti paikallaan. Akustiset modeemit ja muut sensorit ovat asennettuina ankkuroituihin poijuihin tai kiinteästi merenpohjaan[12]. Staattisia järjestelmiä käytetään pitkäaikaista asennusta vaativissa järjestelmissä. Kiinteä vedenalainen valvonta on hyvä esimerkki staattisesta järjestelmästä.

Syvissä vesissä toimivat järjestelmät lähettävät sensoridatan vertikaalista kanavaa pitkin vastaanottimelle, joka on yleensä poiju tai alus. Vastaanottimessa on radiolähetin, joka välittää datan käyttäjälle. Tämänkaltaisia järjestelmiä voidaan käyttää esimerkiksi öljylähteiden valvontaan tai maankuoren liikkeiden tutkimiseen. Yhdysvalloissa esimerkiksi tsunamivaroitinjärjestelmä hyödyntää akustista tiedonsiirtoa. Varoitinjärjestelmän modeemit toimivat virransäästötilassa, jotta järjestelmän huoltotarve olisi mahdollisimman vähäinen [18].

Osittain liikkuvassa järjestelmässä akustisella modeemilla varustetut sensorit kelluvat poijun varassa ja ne lasketaan pinta-aluksesta[12]. Osittain liikkuva järjestelmä on terminä hieman harhaanjohtava, koska järjestelmä itsessään ei liiku vaan sen sensoreiden paikkaa voidaan muuttaa. Tämänkaltaisen järjestelmän käyttöönotto on nopeaa ja sensorit voidaan kuljettaa tarkasti halutulle alueelle. Poijut voidaan kerätä halutun ajan kuluttua takaisin alukseen huoltoa tai siirtoa varten. Osittain liikuteltava järjestelmä voisi muistuttaa rakenteeltaan sonopojujärjestelmää. Sonopojujen käyttöä vedenalaisessa valvonnassa on tutkinut Sirkkola (SM 200).

Liikkuvassa järjestelmässä hyödynnetään miehittämättömiä vedenalaisia ajoneuvoja (AUV,UUV) joko itse tiedonsiirtojärjestelmänä tai kiinteän järjestelmän täydentäjinä[2]. Liikkuvalla järjestelmällä voidaan saavuttaa parempi yhteyspeitto rajallisilla sensori- ja laiteresursseilla [12]. Liikkuvia järjestelmiä on tutkittu vielä melko vähän. Liikkuvien järjestelmien haasteita ovat esimerkiksi laitteiden omapaikannus ja viestiyhteyden varmentaminen[12]. Kuvassa 5 esitetään akustisen tiedonsiirtojärjestelmän rakenne. Järjestelmässä on elementtejä sekä staattisesta, että liikkuvasta järjestelmästä.

**Figure 1.** Underwater Acoustic Sensor Network with multiple AUVs.



Kuva 5: Akustisen tiedonsiirtojärjestelmän rakenne [5]

### 3.3.2 Seaweb

Yhdysvalloissa on jo 1990-luvulta alkaen kehitetty langatonta akustiseen tiedonsiirtoon perustuvaa vedenalaista järjestelmää. Seaweb-järjestelmää on koekäytetty yli viidessäkymmenessä merikokeessa ja sen järjestelmäarkkitehtuuria on esitetty tulevaisuuden vedenalaisten tiedonsiirtojärjestelmien pohjaksi [12].

Seaweb-järjestelmä on osittain liikkuva vedenalainen tiedonsiirtojärjestelmä. Seaweb on tarkoitettu pitkäkestoiseen toimintaan alueille, joissa ei voida tai haluta käyttää kiinteätä vedenalaista järjestelmää. Toiminta alueen kokoa on mahdollista varioida 100–10000 km<sup>2</sup> välillä käyttötarkoituksesta riippuen [19]. Järjestelmä on suunniteltu pitkäaikaiseen käyttöön, mutta tällä hetkellä testit ovat olleet korkeintaan viikkojen pituisia[19]. Poijuasenteisten sensorien lisäksi on tutkittu myös AUV:n ja sukellusveneen käyttöä tiedonsiirtoon onnistuneesti[19].

Seawebin käyttölaitteet ovat kaupallisesti saatavilla olevia akustisia modeemeja. Yksittäiset modeemit muodostavat järjestelmän rungon. Gateway-pojjut ovat huomattavasti suurempia ja niiden avulla mahdollistetaan yhteydet satelliitteihin ja maa-asemiin. Järjestelmässä yksittäiset akustisella modeemilla varustetut pojjut (node) välittävät tietonsa keräinpojulle (gateway). Tiedonsiirto toimii väliteperiaatteella. Sensoripojjun modeemi toistaa saamansa lähetteen seuraavalle modeemille. Selkeyttävät kuvat molemmista pojjuista esitetään liitteessä 2. Tietoverkon kaikki lähetin-vastaanotinlaitteet varmentavat verkon testaamalla yhteydet muihin laitteisiin automaattisesti[19]. Liitteessä 3 esitetään Seawebin tiedonsiirtojärjestelmän rakenne merikokeen aikana vuonna 2004.

Seaweb-järjestelmän laitteet ottavat huomioon paikalliset olosuhteet[10]. Äänikanavan ominaisuudet vaikuttavat esimerkiksi käytettävän lähetteen aallonpituuteen. Seaweb-järjestelmän akustisten modeemien tiedonsiirtokapasiteetti vaihtelee olosuhteista riippuen 140-2400b/s välillä. Matalissa vesissä järjestelmä on toiminut useissa tutkimuksissa luotettavasti 800b/s kapasiteetilla[10].

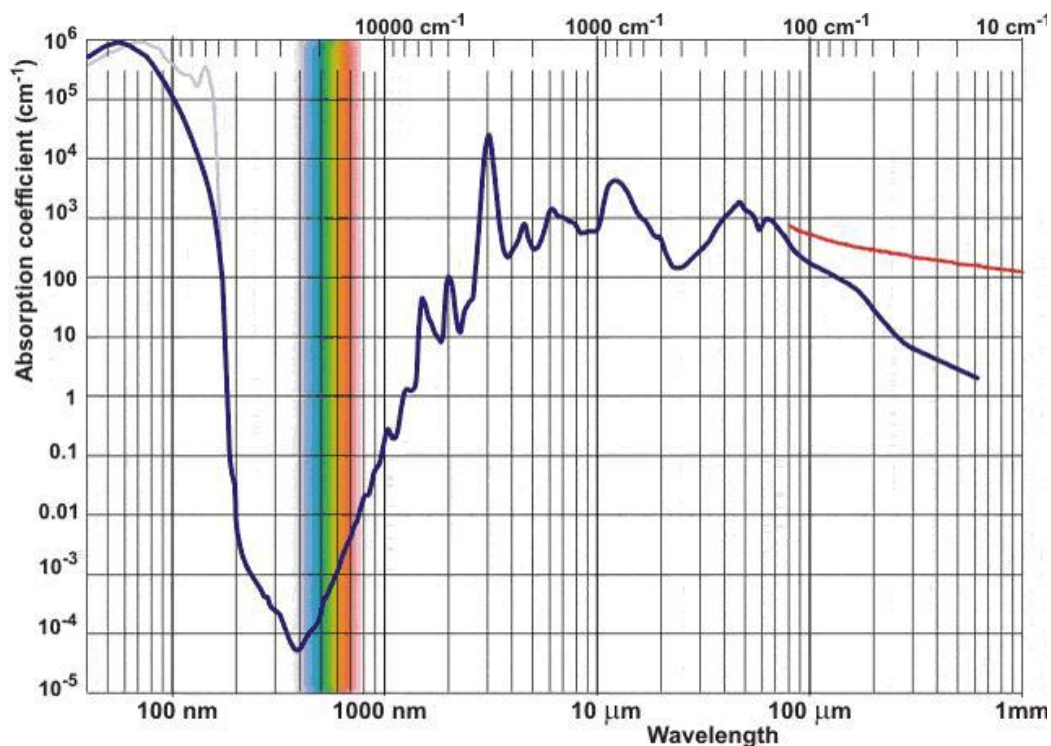
### 3.4 Optiset vedenalaiset tiedonsiirtomenetelmät

Uusimmissa tutkimuksissa on esitetty mahdollisuus laserin käyttöön langattomassa vedenalaisessa tiedonsiirrossa. Optista tiedonsiirtoa laserin avulla on tutkittu Yhdysvalloissa onnistuneesti viime vuoden aikana. Tämän tutkimuksen tekoaikana kirjallisuudesta on löydettävissä viitteitä noin 100 metrin point to point yhteyksistä[3]. Siirtoetäisyyden merkittävä kasvattaminen ei kuitenkaan liene mahdollista ainakaan tämänhetkisillä laitteilla.

Optinen tiedonsiirto tarjoaa mahdollisuuden korkeampiin tiedonsiirtokapasiteetteihin, jotka ovat suuruusluokaltaan Mb, Gb alueella. Optiset menetelmät mahdollistavat periaatteessa esimerkiksi reaaliaikaisen videokuvan lähettämisen vedenalaiselta sensorilta langattomasti vastaanottajalle. Valo etenee vedessä ääntä nopeammin, jolloin valoallon etenemisviive on ääniaaltoja pienempi[3].

Laserin ja fotodiodien käyttö mahdollistaa tulevaisuudessa paremmat vedenalaiset tiedonsiirtoyhteydet etenkin matalissa vesissä ja rannikoilla[3]. Akustisten menetelmien käyttö näillä alueilla on usein haastavaa monitie-etenemisen ja jatkuvasti muuttuvien olosuhteiden vuoksi. Optisten laitteiden komponentit ovat hinnaltaan halvempia, kooltaan pienempiä ja ne vaativat vähemmän tehoa toimiakseen[4]. Toisaalta Itämeren alueella jatkuvasti huonontuvat vedenalaiset näkyvyysolosuhteet tuskin tukevat optisten laitteiden käyttöä tiedonsiirtoon.

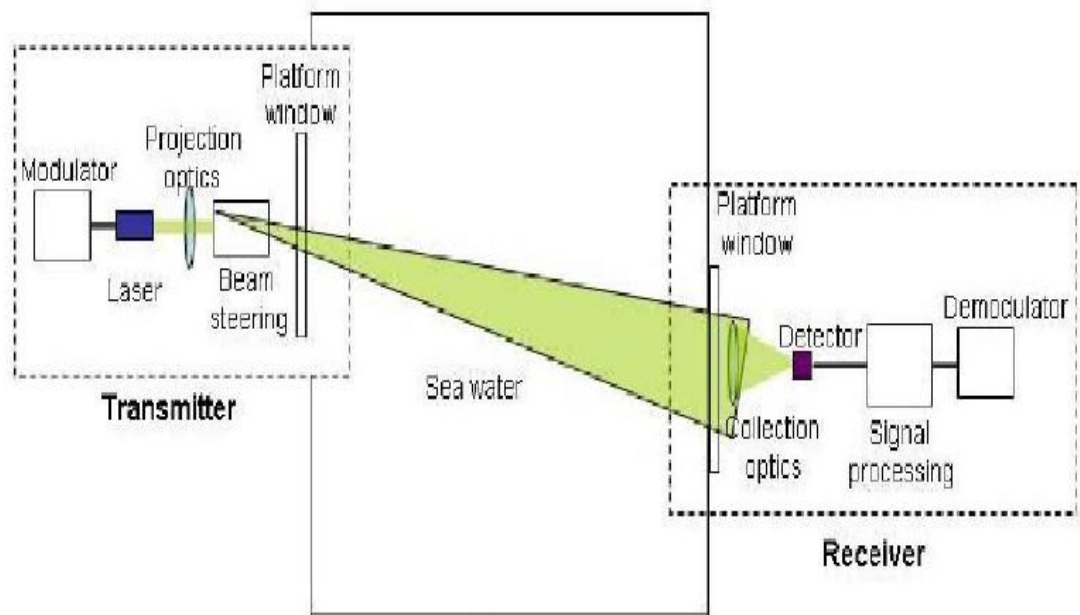
Optisten menetelmien käyttö vedessä perustuu valon etenemiseen väliaineessa. Kuvassa 3 esitetään valon absorptio vedessä suhteessa aallonpituuteen. Absorptio on pienimmillään noin 420 nm alueella. Tutkituissa lasereissa on käytetty kaksiväristä laseria, joka käyttää kahta aallonpituutta sinisen ja vihreän valon alueella[3]. Eräiden tutkimusten mukaan punaisen valon käyttö pienillä etäisyyksillä olisi tiedonsiirron kapasiteetin kannalta edullisempaa kuin sinisen ja vihreän valon käyttö.



Kuva 3: Valon absorptio vedessä [4].

Valoa ei voida käyttää luotettavasti tiedonsiirtotienä vedenpinnan läheisyydessä, koska auringonvalo voi aiheuttaa vastaanottimen saturoitumisen. Monitie-eteneminen voi myös aiheuttaa vastaanottimella bittien sekoittumista toisiinsa (ISI)[4].

Optiset järjestelmät ovat rakenteellisesti samankaltaisia kuin maalla käytettävissä teknisissä ratkaisuisissa. Laitteissa on lähettäjä, jonka tehtävä on moduloida haluttu informaatio ja lähettää se vastaanottimelle, joka demoduloi lähetteen[3]. Vastaanottimessa on oltava signaalin prosessointikykyä. Kuvassa 4 esitetään vedenalaisen optisen tiedonsiirtolaitteen rakenne. Optisten tiedonsiirtojärjestelmien rakenne vastaa periaatteiltaan maalla käytettäviä malleja (OSI, IEE, TCP/IP).



Kuva 4: Vedenalaisen optisen tiedonsiirtolaitteen rakenne [3]

On kyseenalaista onko Suomen rannikolla vallitsevissa näkyvyysolosuhteissa ylipäättään mahdollista käyttää optisia menetelmiä tiedonsiirtoon. Sameassa vedessä on paljon partikkeleita, jotka aiheuttavat absorptiota, sirontaa ja valon taittumista. Nopea tiedonsiirto esimerkiksi miehittämättömille vedenalaisille aluksille voisi kuitenkin olla mahdollista hyvin lyhyillä, alle kymmenen metrin etäisyyksillä.

Erittäin huonoissa näkyvyysolosuhteissa on kanadalaisen tutkimuksen mukaan saavutettu 1Mbps tiedonsiirtokapasiteetti 10–15 metrin etäisyydeltä [3]. Lähetteen häiritseminen ja sen havaitseminen on vaikeaa, joten tiedonsiirto on käytännössä salattua.

### 3.5 Muut vedenalaiset tiedonsiirtomenetelmät

Akustinen vedenalainen tiedonsiirto on vakiintunut vedenalaisen tiedonsiirron päämenetelmäksi. Akustisten ja optisten tiedonsiirtomenetelmien lisäksi vedenalaisen tiedonsiirron tutkimuksissa on palattu radiotaajuisten lähetteen käytettävyyden arviointiin[20][11]. Uusimmissa tutkimuksissa on käytetty lyhyille etäisyyksille korkeita taajuuksia (433 Mhz) ja VLF-taajuuksia[20].

Radioaallot kykenevät läpäisemään veden ja ilman rajapinnan ja niitä käytettäessä voidaan saavuttaa maalla noin 100 Mb/s kapasiteetteja[20]. Radioaallot vaimenevat kuitenkin vedessä taajuuden funktiona, jolloin lähetys-vastaanottoetäisyys on lyhyt[20]. Merivedessä saavutetut tiedonsiirtokapasiteetit ja etäisyydet ovat melko vaatimattomia. Taulukossa 2 esitetään kirjallisuudessa esiintyviä teoreettisia arvoja tiedonsiirtokapasiteetista.

Range	< 10 m	50 m	200 m	> 1 km
Sea water	> 8 kb/s	300 b/s	25 b/s	< 1 b/s
Fresh water	> 3 Mb/s	150 kb/s	9 kb/s	< 350 b/s
Applications	AUV docking; diver's personal network	Networks; diver conversation	AUV control; networking; diver conversation	Deep water telemetry

**Table 4.** Example data rates for potential ranges of underwater EM.

Taulukko 2: Kirjallisuudessa esiintyviä tiedonsiirtokapasiteetin arvoja [20]

Matalataajuisia magneettikenttiä tiedonsiirtoon käyttäviä laitteita on kaupallisesti saatavilla[11]. Tämänkaltaisilla laitteilla on ilmeisesti rajoitteita virrankulutuksen, lähetys-etäisyyden ja tiedonsiirtokapasiteetin osalta [11]. Laitteista ei tämän tutkimuksen tekoaikana ollut saatavilla tarkempia tietoja.



## 4. Päätelmät

Langalliset järjestelmät tarjoavat tällä hetkellä parhaan ja halvimman ratkaisun matalien vesien kiinteiden sensorien tiedonsiirtoon. Langallisissa järjestelmissä optinen kuitu korvaa vähitellen galvaaniset yhteydet ylivoimaisen tiedonsiirtonopeuden ja sen mahdollistaman pitkän yhteysvälin vuoksi. Langattomien järjestelmien tulee kuitenkin tulevaisuudessa korostumaan kansainvälisen trendin myötä. Tarve vedenalaisen laajakaistaiseen tiedonsiirtoon esimerkiksi videokuvan ja ohjaukskomentojen lähettämiseen ja vastaanottamiseen miehittämättömältä vedenalaiselta alukselta on olemassa.

Vedenalaisia langattomia tiedonsiirtolaitteita on mahdollista käyttää omatunnusjärjestelmän perustana. Omatusjärjestelmä voisi mahdollistaa alusyksiköiden ja sukeltajien liikehtimisen lasketussa merimiinoitteessa. Vedenalaiset tiedonsiirtojärjestelmät tuottavat sivutuotteenaan mahdollisuuden laitteilla varustettujen kohteiden paikantamiseen. Miinojen tarkat paikat voitaisiin kohtalaisella varmuudella saada selvitettyä. Paikantaminen helpottaisi miinojen etsintää ja raivausta.

Miinanetsinnän suorituskyky on osa Merivoimien tulevaisuutta. Miinanetsinnässä on jo nyt käytetty vedenalaisen tiedonsiirron menetelmiä miehittämättömien vedenalaisten ajoneuvojen reaaliaikaiseen ohjaukseen ja miinankaltaisten objektien havainnointiin etsintäalueella. Tämänhetkiset tiedonsiirtolaitteet eivät kuitenkaan mahdollista esimerkiksi miinankaltaisten objektien luokittelua.

Langattomista järjestelmistä akustiset ovat pisimmälle kehittyneitä ja suhteellisen luotettavia. Käyttöä rahoittaa kuitenkin kallis hinta ja verrattain hidas asennusprosessi. Tämänhetkiset testatut järjestelmät ovat hyvin staattisia ja lähinnä tutkimusluontoisia. Vaikka yhdysvalloissa on akustisilla modeemeilla saavutettu datayhteys sukellusveneeseen, ei se silti tarkoita muuta kuin tiedonsiirron teknisen valmiuden täyttymistä. Tutkimuksissa on kyetty osoittamaan bittien siirtyminen, mutta kokonaisen sensorijärjestelmän tiedonsiirtoa ei ole käsitelty laajasti. Tulevaisuudessa akustiset menetelmät tulevat varmasti osaksi asevoimien ja valtiollisten toimijoiden kalustoa, mutta niiden käyttö rajoittunee kiinteisiin ja osittain liikkuviin valvonta- ja tutkimusverkkoihin.

Optiset ja muut elektromagneettiset menetelmät ovat kehityksensä alkuvaiheessa ja niihin liittyviä sovelluksia ei vielä ole laajamittaisessa käytössä. Nämä menetelmät mahdollistavat kuitenkin laajakaistaisen tiedonsiirron, mutta niiden haasteena ovat tällä hetkellä suhteellisen lyhyet yhteysvälit. Tulevaisuudessa nämä järjestelmät voivat täydentää akustisia tiedonsiirtojärjestelmiä ja ne luultavasti tulevat osaksi miehittämättömien vedenalaisten alusten tiedonsiirtolaitteistoa.

Puolustusvoimissa on liikkuvan uravalvontajärjestelmän tutkimuksessa tutkittu myös vedenalaisen tiedonsiirron näkökulmia. Lähteiden mukaan vedenalaiset kommunikaatiojärjestelmät eivät toimi vain teorialähtöisesti, vaan järjestelmien ja laitteiden optimaalinen toiminta voidaan selvittää vasta vuosien kokeellisella toiminnalla. Vedenalaisen datasiirron jatkotutkimusta tulisi suunnata tarvelähtöiseen taktiseen tutkimukseen. Kysymykset, kuten ”Vedenalaisen datasiirron käyttö osana miinanetsintää” tai ”vedenalaisen valvonnan langaton tiedonsiirto” ovat vielä vailla vastausta.

## Lähteet

- [1] Akyildiz, Ian. Melodia, Tommaso. Pompili, Dario. "Underwater acoustic sensor networks: research challenges". *Ad Hoc Networks* 3. 2005, s 257-259. Saatavilla: <http://www.eee.metu.edu.tr/~ee644/References/underwater.pdf> [viitattu 10.1.2012].
- [2] Akyildiz, Ian. Melodia, Tommaso. Pompili, Dario. "State of the Art in Protocol Research for Underwater Acoustic Sensor Networks". *WUWNet 06*. 2006. Saatavilla: <http://www.eng.buffalo.edu/wnesl/people/papers/WUWNet06-Survey.pdf> [viitattu 16.1.2012].
- [3] Anguita, Davide. Brizzolara, Davide. Parodi, Giancarlo. "Optical Wireless Communication for Underwater Wireless Sensor Networks: Hardware Modules and Circuits Design and Implementation". *IEEE Oceans 2010*. S. 1-8. Materiaali tutkijan hallussa. [viitattu 11.1.2012].
- [4] Anguita, Davide. Brizzolara, Davide. Parodi, Giancarlo. "Building an Underwater Wireless Sensor Network based on Optical Communication: Research Challenges and Current Results." *IEEE Sensor technologies and applications*. 2009, S. 476-479. Saatavilla: [http://www.smartlab.dibe.unige.it/Files/publication/pdf/Building\\_a\\_n\\_UWSN.pdf](http://www.smartlab.dibe.unige.it/Files/publication/pdf/Building_a_n_UWSN.pdf). [viitattu 9.10.2011].
- [5] Azad, Abdul. Kim, Sunghwan. Yoon, Seokhoon. Oh, Hoon. "AURP: An AUV-Aided Underwater Routing Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks". *Sensors* 2012 no 2. S. 1827-1845. Helmikuu 2012. Saatavilla: <http://www.mdpi.com/1424-8220/12/2/1827/> [viitattu 24.2.2012].
- [6] Chitre, Mandar. Freitag, Lee. Shahabudeen, Shiraz. Stojanovic, Milica. "Recent Advances in Underwater Acoustic Communications & Networking". *IEEE Oceans 2008*. S. 1-10. Saatavilla: <http://www.ieeeoes.org/history/080515-164.pdf> [viitattu 5.3.2012].
- [7] Dessalermos, Spyridon. "Adaptive Reception for Underwater Communications". Väitöskirja. Naval Postgraduate School. Kesäkuu 2011. Saatavilla: [http://edocs.nps.edu/npspubs/scholarly/dissert/2011/June/11Jun\\_Dessalermos\\_PhD.pdf](http://edocs.nps.edu/npspubs/scholarly/dissert/2011/June/11Jun_Dessalermos_PhD.pdf) [viitattu 10.9.2011].
- [8] Freitag, Lee et al. "A Shallow Water Acoustic Network for Mine Countermeasures Operations with Autonomous Underwater Vehicles". *Underwater Defence*. 2005. Materiaali tutkijan hallussa. [viitattu 15.2.2012].

- [9] Granlund, Kaj. Tietoliikenne. 1. Painos. WS Bookwell. Porvoo 2003
- [10] Grimmet, Doug. "Undersea Communication Network Self-Localization during the Unet'08 Seatrial". OCEANS 2009, MTS/IEEE Biloxi - Marine Technology for Our Future: Global and Local Challenges. s. 1-7. Lokakuu 2009. Saatavilla: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA527426> [viitattu 20.3.2012]
- [11] Heard, Garry. Desharnais, Francine. Ebbeson, Gordon. Fleming, Richard. Schattschneider, George. "The use of underwater communication networks in fixed and mobile sensing systems". Defence R&D Canada –Atlantic. Saatavilla: <http://promitheas.iacm.forth.gr/uam2009/lectures/pdf/14-6.pdf> [viitattu 23.12.2011].
- [12] Heidemann, John. Stojanovic, Milica. Zorzi, Michele. "Underwater Sensor Networks: Applications, Advances and Challenges". Philosophical Transactions of the Royal Society vol 370 no 1958. s 158-175. Tammikuu 2012. Saatavilla: <http://isi.edu/~johnh/PAPERS/Heidemann11a.pdf> [viitattu 6.3.2012].
- [13] Jensrud, Trond. Otnes, Roald. Solberg, Connie. Voldhaug, Jan. "A Roadmap to Ubiquitous Underwater Acoustic Communications and Networking". Underwater Acoustic Measurements: Technologies & Results. S. 557-564. Saatavilla: <http://promitheas.iacm.forth.gr/uam2009/lectures/pdf/14-1.pdf> [viitattu 4.3.2012].
- [14] LAURA-Langaton laajakaistainen uravalvontajärjestelmä. Esiselvitys 2009. Saatavilla: [http://www.defmin.fi/files/1738/AV-Langaton\\_tiedonsiirtoseminaari\\_2009\\_LAURA.pdf](http://www.defmin.fi/files/1738/AV-Langaton_tiedonsiirtoseminaari_2009_LAURA.pdf). [viitattu 12.1.2012].
- [15] Levine, Brian. Kurose, Jim. Partan, Jim. "A Survey of Practical Issues in Underwater Networks". WUWNet '06: Proceedings of the 1st ACM international workshop on Underwater networks. S. 17-24. 2006. Saatavilla: [http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1132&context=cs\\_faculty\\_pubs](http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1132&context=cs_faculty_pubs) [viitattu 2.3.2012]
- [16] Lappalainen, Esa ja Jormakka, Jorma. Tekniset tutkimusmenetelmät maanpuolustuskorkeakoulussa. MPKK. Tekniikan laitos. Helsinki 2004.
- [17] Mustakangas, Raimo. Flash Cord 2001. Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa, 4. Painos. Helkama Bica oy. Tammer-paino OY. Tampere 2001.

- [18] Proarkis, John. Rice, Joseph. Sozer, Ethem. Stojanovic, Milica. "Shallow Water Acoustic Networks". IEEE Communications Magazine vol. 39 issue 11. S. 114-119. Marraskuu 2001. Materiaali tutkijan hallussa. [viitattu 13.8.2011].
- [19] Rice, Joseph. "Seaweb Acoustic Communication and Navigation Networks". Proceedings of the international conference "Underwater Acoustic Measurements: Technologies and Results". 2005. Saatavilla: <http://www.dtnrg.org/docs/papers/UAMeasurements2005Rice2.pdf> [viitattu 9.3.2012]
- [20] Xianhui, Che. "Re-Evaluation of RF Electromagnetic Communication in Underwater Sensor Networks". IEEE Communications Magazine vol. 48 issue 12. S. 143-151. Joulukuu 2010. Saatavilla: [http://www.wfs-tech.com/images/uploads/Re-Evaluation\\_of\\_RF\\_in\\_Underwater\\_Sensor\\_Networks.pdf](http://www.wfs-tech.com/images/uploads/Re-Evaluation_of_RF_in_Underwater_Sensor_Networks.pdf) [viitattu 20.3.2012]

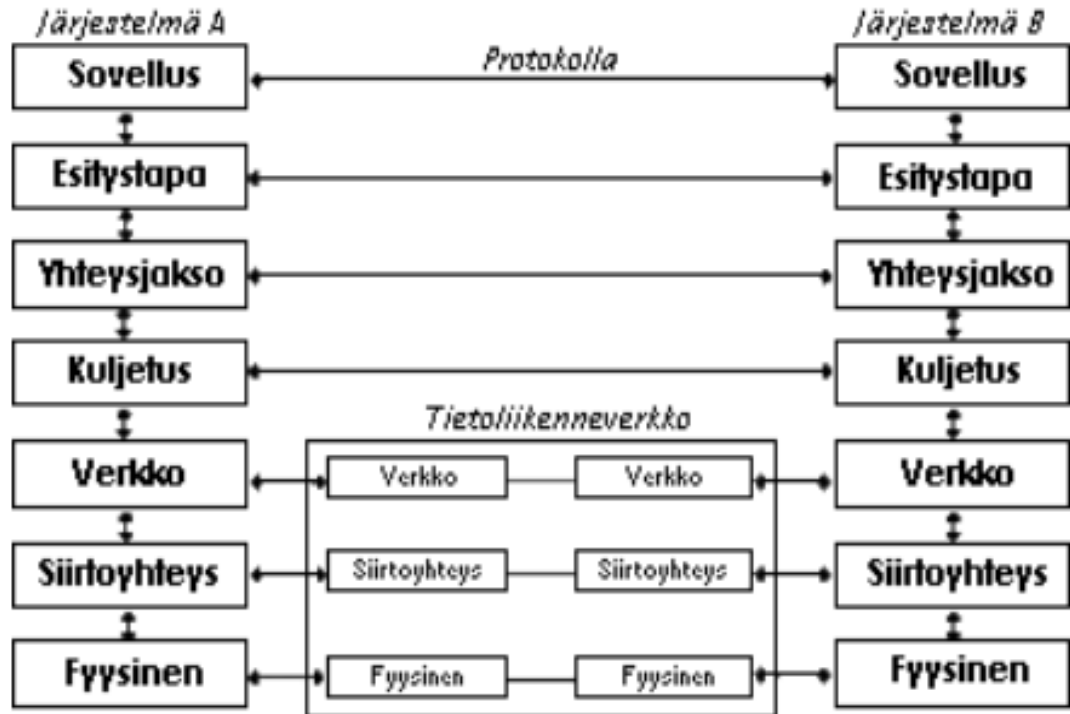
## **Liitteet**

Liite 1: OSI-Malli

Liite 2: Seaweb-järjestelmän poijujen kuvat

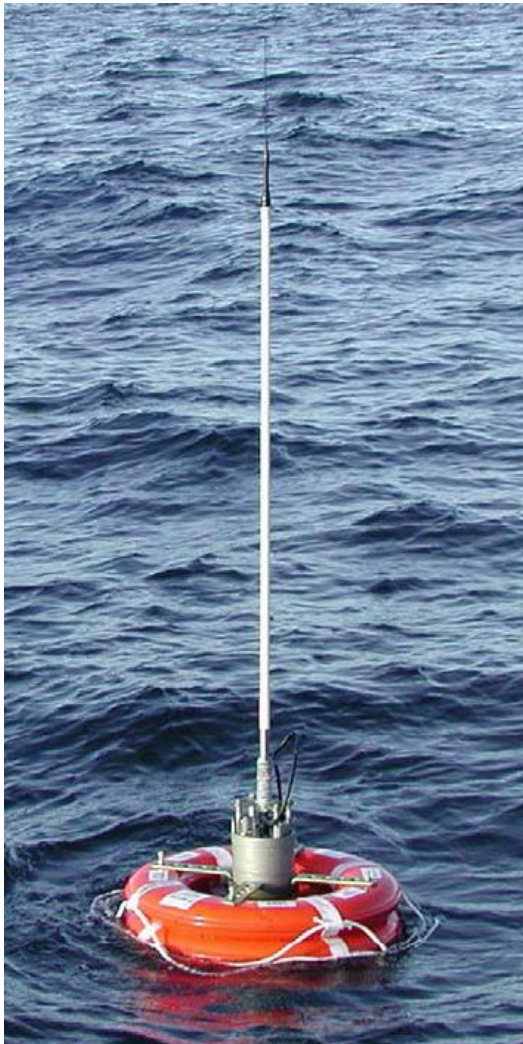
Liite 3: Esimerkki Seaweb-järjestelmän rakenteesta vuonna 2004

## Liite 1: OSI-Malli

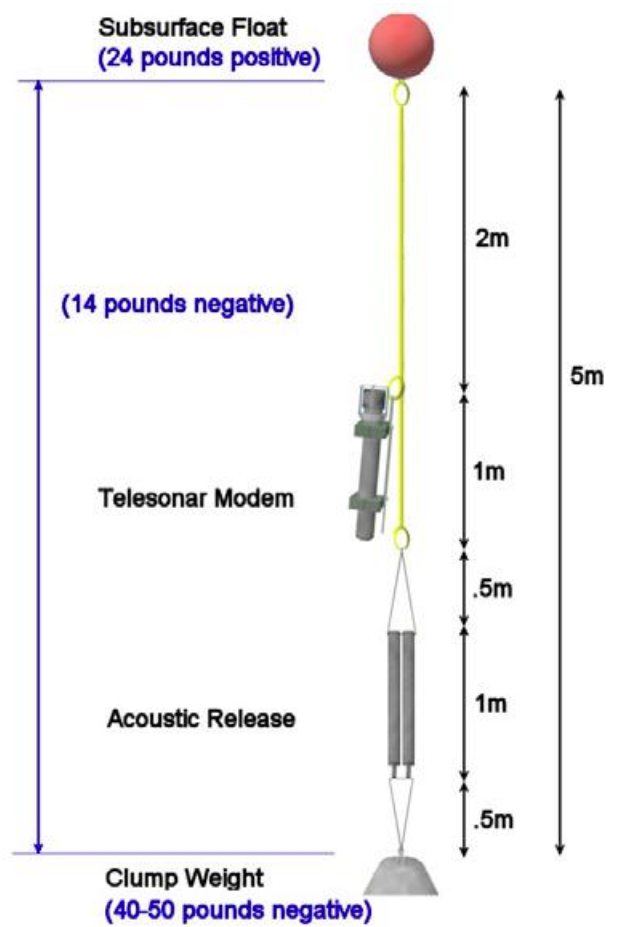


Kaaviokuva OSI-Mallin kerroksista. OSI-malli on ISO-standardi ja sitä käytetään yleisenä tiedonsiirtojärjestelmän perusrakenteena.

Liite 2: Seaweb-järjestelmän poijujen kuvat



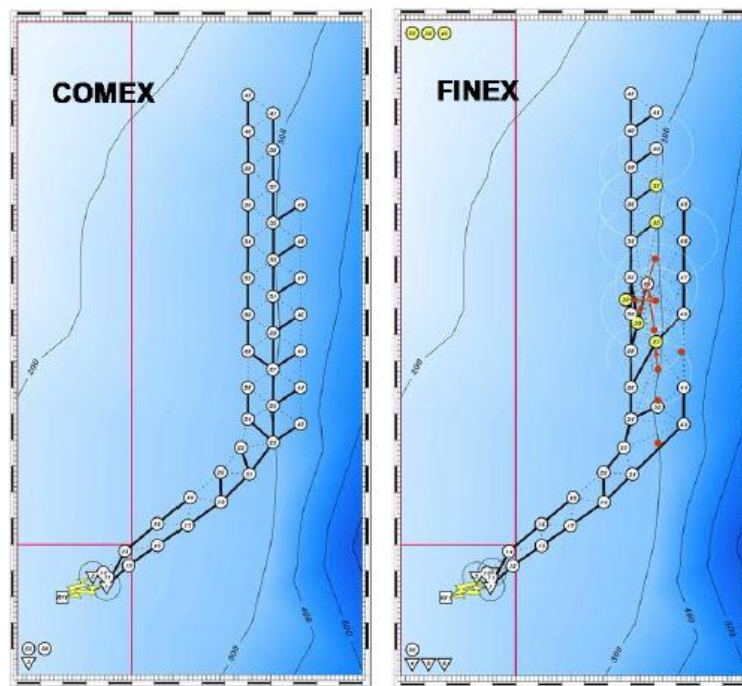
Seaweb Racom 3 Gateway-poiju



Seaweb pohja-asenteinen modeemipoiju



## Liite 3: Esimerkki Seaweb-järjestelmän rakenteesta vuonna 2004



*Fig. 7: In a 2004 experiment on the outer continental shelf, a wide-area grid of 40 Seaweb repeater nodes (circles) deployed on the seafloor provided cellular access points for an undersea vehicle. Networked communications from the cellular grid was via Racom buoys (triangles) to the shipboard command center (square). The bold connections represent Seaweb network routing. The lightning bolts (yellow) represent FreeWave line-of-sight radio communications between the moored Racom buoys and the ship. Impact by trawling (red annotations) disrupted Seaweb service and compelled operators on the ship to heal the network by remotely reconfiguring network routes.*

Esimerkki Seaweb-järjestelmän rakenteesta vuonna 2004. Kalastus häiritsi järjestelmää testin aikana. Järjestelmä rakentui akustisista modeemeista ja radiolinkkipiijista.