



## **TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Sähkötekniikka**

**Automaatio ja Elektroniikka**

## **INSINÖÖRITYÖ**

**MERENKULKULAITOKSEN TUKIASEMAYMPÄRISTÖSSÄ ESIINTYVIÄ LANGATTOMAN TIEDONSIIRRON HÄIRIÖLÄHTEITÄ JA –MEKANISMEJA SEKÄ MAHDOLLISUUKSIA NIILTÄ SUOJAUTUMISEEN**

**Työn tekijä: Lasse Villanen  
Työn valvoja: yliopettaja  
Esa Häkkinen  
Työn ohjaaja: dipl.ins.  
Kaisu Heikonen**

**Työ hyväksytty: 26.10. 2009**

**Esa Häkkinen  
yliopettaja**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinööriyössä on käsitelty Merenkululaitoksen langattoman tiedonsiirron häiriölähteitä. Haluan kiittää diplomi-insinööri Kaisu Heikosta Merenkululaitokselta ja järjestelmäasiantuntija Kari Haikalaa Suomen Erillisverkot Oy:stä sekä yliopettaja Esa Häkkistä Metropolia Ammattikorkeakoulusta avusta ja ohjauksesta, jota olen saanut työni eri vaiheissa.

Helsingissä 2.9.2009

Lasse Villanen

## TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä:</b> Lasse Villanen	
<b>Työn nimi:</b> Merenkululaitoksen tukiasemaympäristössä esiintyviä langattoman tiedonsiirron häiriölähteitä ja –mekanismeja sekä mahdollisuuksia niiltä suojautumiseen	
<b>Päivämäärä:</b> 2.9.2009	<b>Sivumäärä:</b> 29 s.
<b>Koulutusohjelma:</b> Sähkötekniikka	<b>Suuntautumisvaihtoehto:</b> Automaatio ja Elektroniikka
<b>Työn ohjaaja:</b> dipl.ins. Kaisu Heikonen <b>Työn valvoja:</b> yliopettaja Esa Häkkinen	
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin Merenkululaitoksen käytössä olevia langattoman tiedonsiirron mahdollisuuksia sekä niiden häiriökäyttäytymistä maaston vaikutuksesta ja modulaation osalta. Tavoitteena oli selvittää, millä tavoin olisi luotettavinta hoitaa Merenkululaitoksen turvalaite- ja sensorijärjestelmiin liittyvä langaton tiedonsiirto kohteissa, joihin ei ole mahdollista saada datayhteyttä lankalinjaa käyttäen. Lisäksi selvitettiin, miten häiriöihin voisi varautua ja mahdollisuuksia niiden estämiseksi tai minimoimiseksi.</p> <p>Tutkimuksessa esiteltiin neljä eri langatonta tiedonsiirtotekniikkaa, @450-verkko, GPRS-verkko, 3G-verkko sekä TETRA-verkko. Järjestelmistä tutkittiin maaston ja ilmaston vaikutuksia häiriöiden syntyyn sekä vaikutuksia informaation kulkuun siirtotiellä. Lisäksi tutustuttiin modulaatioiden ominaisuuksiin ja häiriöalttiuteen. Lopuksi tutkittiin tarkemmin erilaisia häiriöitä ja niiden vaikutustapoja. Häiriöinä käsiteltiin vaimenemista, häipymistä, monitie-etenemistä ja bittivirhesuhdetta (BER).</p> <p>Tutkittujen järjestelmien välillä ei havaittu tiedonsiirron luotettavuudessa oleellisia eroja. Kun vaaditaan korkeaa tiedonsiirron luotettavuutta, tulee käyttää varmentavia tekniikoita ja useita tiedonsiirtojärjestelmiä.</p> <p>Työssä tutkittiin vain edellä mainittuja tiedonsiirtotekniikoita ja niiden ominaisuuksia. Mahdollisia kustannustekijöitä ei käsitelty.</p>	
<b>Avainsanat:</b> langaton tiedonsiirto, @450-verkko, GPRS-verkko, 3G-verkko, TETRA-verkko, modulointi	

## ABSTRACT

**Name:** Lasse Villanen

**Title:** Wireless Communications in Finnish Maritime Administration Base Station Network – Preventing the Network from Interference

**Date:** 2 September 2009

**Number of pages:** 29

**Department:** Electrical Engineering

**Study Programme:** Electronics and Automation

**Instructor:** Kaisu Heikonen, M.Sc.

**Supervisor:** Esa Häkkinen, Principal Lecturer

This study examines the Finnish Maritime Administration's (FMA) possibilities to use wireless communication systems. One objective was to study interference sources affecting the system caused in particular by terrain and the effect of interference on modulation. The main purpose was to find out the most reliable way to use wireless communication systems. However, the cost factor was not included in this study.

The FMA uses safety device and sensor data transfer when there are no means to use wired connections. One important objective of this study was to find ways to predict interference and solutions for minimizing it.

This study presents four different wireless technologies @450, GPRS, 3G, and TETRA. The work focuses on studying in what way terrain and climate cause interference to the systems as well as the effects of interference on the information on bearer channel. The modulation features and their vulnerabilities were also studied.

This study shows that there is no significant difference between the different data transmission technologies studied. The interferences and possibilities to minimize them were very similar regardless of the technology.

**Keywords:** @450, GPRS, 3G, TETRA, wireless communications

## SISÄLLYS

### ALKULAUSE

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

## SISÄLLYS

### KÄSITTEET JA LYHENTEET

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>@450-JÄRJESTELMÄ</b>	<b>2</b>
2.1	Maaston aiheuttamat häiriöt	4
2.2	Moduloinnin aiheuttamat häiriöt	6
<b>3</b>	<b>GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE)</b>	<b>7</b>
3.1	Maaston aiheuttamat häiriöt	8
3.2	Modulaation aiheuttamat häiriöt ja haitat	9
<b>4</b>	<b>3G (THIRD GENERATION)</b>	<b>12</b>
4.1	Maaston aiheuttamat häiriöt	14
4.2	Moduloinnin aiheuttamat häiriöt	14
<b>5</b>	<b>TETRA (TERRESTRIAL TRUNKED RADIO)</b>	<b>18</b>
5.1	Maaston aiheuttamat häiriöt	21
5.2	Modulaation aiheuttamat häiriöt	22
<b>6</b>	<b>HÄIRIÖT YLEISESTI</b>	<b>23</b>
6.1	Vaimeneminen	23
6.2	Häipyminen	24
6.3	Monitie-eteneminen	25
6.4	Bittivirhesuhde (BER)	25
<b>7</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTAA</b>	<b>26</b>
	<b>LÄHTEET</b>	<b>29</b>

## KÄSITTEET JA LYHENTEET

@450	Digitan ylläpitämä langaton verkko
3G	Third generation; kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia
BER	Bit Error Rate; bittivirhesuhde
CCIR	Comité consultatif international pour la radio; kansainvälinen neuvonantavan radiokomitea
CDMA	Code Division Multiple Access; koodijakokanavointi
CS-1 - CS-4	GPRS:n kanavakoodausluokat
FDM	Frequency Division Multiplexing; taajuuteen perustuvan kanavanvaraustekniikka
Flash-OFDM	Fast Low-latency Access with Seamless Handoff; Orthogonal Frequency Division Multiplexing; OFDM-modulointiin perustuva teknologia
GPRS	General Packet Radio Service; GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu
GSM	Global System for Mobile Communications; matkapuhelinjärjestelmä
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing; langattomaan tiedonsiirtoon suunniteltu järjestelmä
SDCCH	Stand alone Dedicated Control Channel; GSM:n merkinantokanava
TETRA	TErrestrial Trunked Radio; digitaalinen matkapuhelinjärjestelmä
TDMA	Time Division Multiple Access; aikajakokanavointi
UMTS	Mobile Telecommunications System; yksi kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologian edustajista
VIRVE	viranomaisverkko
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access; UMTS-verkoissa käytettävä radio-rajapinta

## 1 JOHDANTO

Tässä insinööriyössä tutkitaan erilaisia langattoman tiedonsiirron mahdollisuuksia, sekä niiden häiriökäyttäytymistä maaston vaikutuksesta ja modulaation osalta. Työssä ei käsitellä paikallisia kahden pisteen välisiä radiolinkkiyhteyksiä vaan rajoitutaan ulkopuolisen operaattorin tarjoamiin laajempiin langattomiin tiedonsiirtoverkkoihin. Tavoitteena on selvittää, millä tavoin olisi luotettavinta hoitaa Merenkululaitoksen turvalaite- ja sensorijärjestelmien langaton tiedonsiirto kohteissa, joihin ei ole mahdollista saada datayhteyttä lankalinjaa pitkin tai josta operaattorin tarjoama lankayhteys on poistumassa. Lisäksi selvitetään, miten mahdollisiin häiriöihin voisi varautua sekä mahdollisuuksia niiden estämiseksi tai minimoimiseksi.

Työssä tutustutaan neljään eri langattomaan tiedonsiirtotekniikkaan. Niitä ovat @450-verkko, GPRS-verkko, 3G-verkko sekä TETRA-verkko. @450-verkko on Digitan ylläpitämä langaton verkko. Suomen alueella toimiva TETRA-verkko on viranomaiskäytössä ja tunnetaan paremmin nimellä VIRVE.

Työssä tutkitaan aluksi eri järjestelmien ominaisuuksia ja toimintaa. Sen jälkeen tarkastellaan maaston ja ilmaston vaikutuksia häiriöiden syntyyn ja miten ne vaikuttavat informaation kulkuun siirtotiellä. Tämän jälkeen tutustaan eri modulaatiotekniikoiden ominaisuuksiin, ja mille häiriöille ne ovat alttiita. Lopuksi tutkitaan tarkemmin erilaisia häiriölähteitä ja niiden vaikutustapoja.

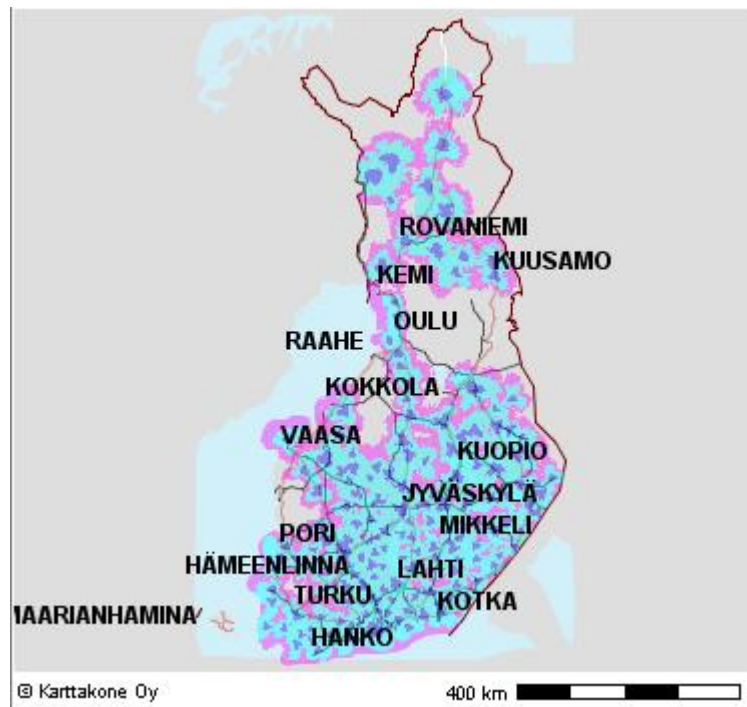
Suurin osa Merenkululaitoksen turvalaite- ja sensoriasemista ovat kaapeli- ja kuituverkon saavutettavissa. Osa kohteista on kuitenkin langattoman laajakaistan tai linkkiyhteyden varassa. Tämän seurauksena langattoman tiedonsiirron aiheuttamat epävarmuudet on otettava huomioon palvelutason määrittämisessä. Ajankohtaisuuden aiheeseen tuo myös Soneran päätös lopettaa lankaliittymiä haja-asutusalueilla. Tästä johtuen Merenkululaitoksen pitää tietyillä alueilla siirtyä nykyisin lankalinjaa pitkin tapahtuvasta tiedonsiirrosta langattomaan tiedonsiirtoon.

Työssä tutkitaan vain mainittujen langattomien tiedonsiirtojärjestelmien ja niiden teknisiä ominaisuuksia. Järjestelmien hinta-laatu-suhteeseen ei työssä oteta kantaa.

## 2 @450-JÄRJESTELMÄ

@450-järjestelmän perusominaisuudet ovat seuraavat:

- taajuusalue: 450 MHz
- kaistanleveys: käytössä kaksi kanavaa, joiden kaistanleveys on 1,25 MHz
- tiedonsiirtonopeus: myötäsuntaan keskimäärin 1 Mbit/s, max. 2,7 Mbit/s vastasuunta 520 kbit/s, max. 780 kbit/s
- modulaatiotyyppi: Flash-OFDM (*Fast Low-latency Access with Seamless Handoff, Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)
- yhteyden avausaika 50 ms [1].

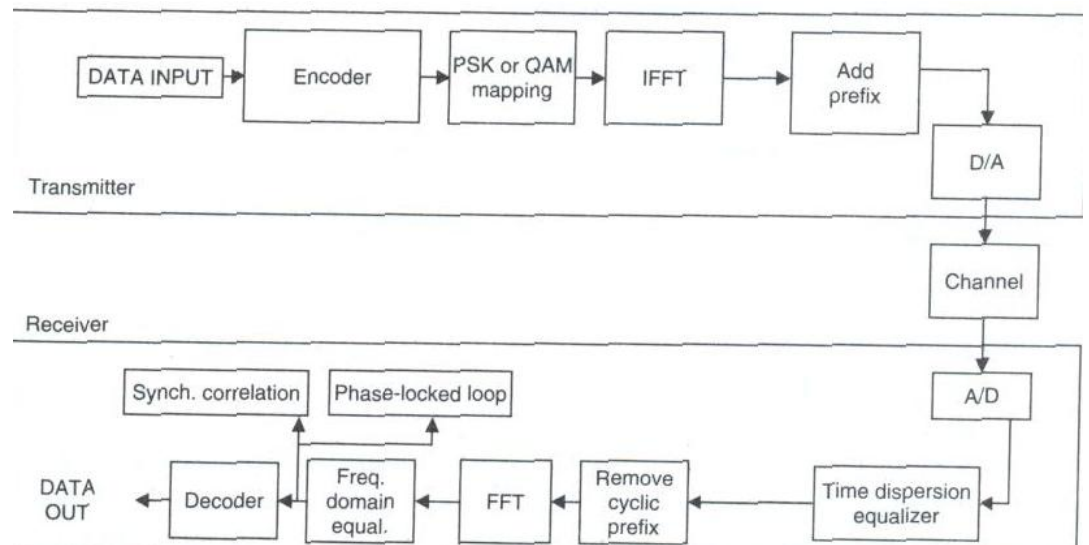


- Sisätiloissa, max 1 Mbit/s
- Ulkona, sisätiloissa ja mobiilikäytössä vaatii ulos sijoitettavan lisä-antennin, max 1 Mbit/s
- Suuntaavalla antennilla, max 1 Mbit/s

**Kuva 1.** Peittoaluetilanne 22.7.2008; Digitan tavoitteena on rakentaa valtakunnallinen peitto vuoden 2009 loppuun mennessä [1]

@450-järjestelmä hyödyntää Flarionin kehittämää Flash-OFDM-tekniikkaa (*Fast Low-latency Access with Seamless Handoff; Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), joka on paranneltu versio OFDM-tekniikasta. [1.]

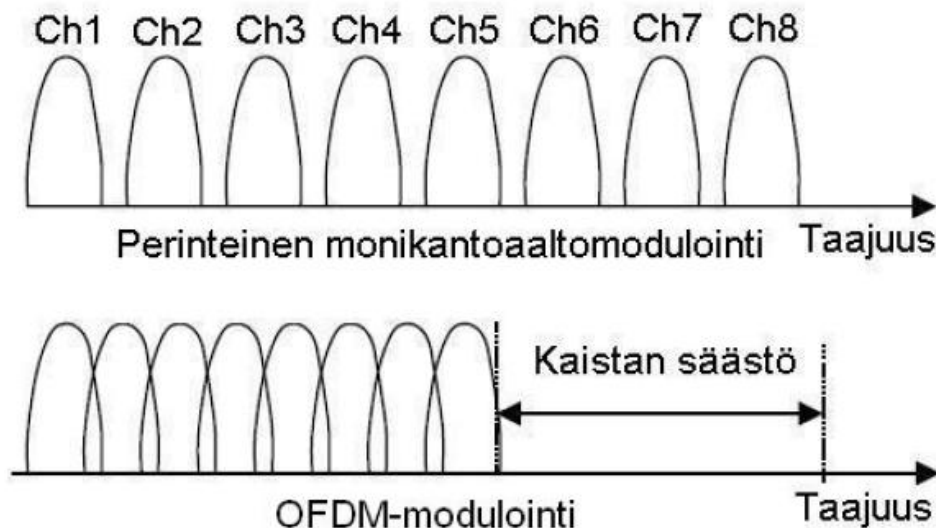




**Kuva 2. OFDM-moduloinnin rakenne [2]**

OFDM käyttää hajaspektritekniikkaa eli data on jaettu useisiin erillisiin kanta-aaltoihin, joista jokainen kantaa palan informaatiota omassa kanavassaan. Lähetyskanavien jakaminen alikanta-aaltoihin mahdollistaa sarjamuotoisen tiedon lähettämisen rinnakkain. Tämä taas mahdollistaa tiedonsiirtonopeuden kasvattamisen ilman että signaali altistuu monitie-etenemisen vaikutuksille.

Koska kanta-aallot ovat toisiinsa nähden matemaattisesti ortogonaalisia, ne eivät häiritse toisiaan. Tämä johtaa siihen, että OFDM ei tarvitse niin suurta kaistanleveyttä kuin FDM (*Frequency Division Multiplexing*).[2, s. 803 - 805.]

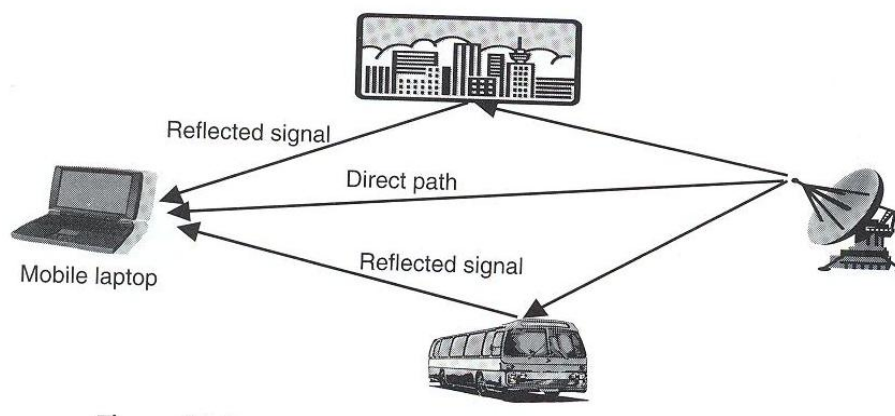


Kuva 3 FDM:n ja OFDM:n vertailu [2]

Digitan mukaan kokeillun @450-verkon maksimidatanopeus on noin 2,7Mbit/s myötäsunnassa ja noin 780 kbit/s vastasuunnassa. Suomessa @450-verkko käyttää NMT 450 -verkon entistä taajuusalueita.[1.]

## 2.1 Maaston aiheuttamat häiriöt

Yhteyden muodostamiselle verkkoon tarvitaan tukiasemalta saatu riittävän voimakas signaali. Koska @450-verkossa käytetään matalaa 450 MHz:n taajuutta radioaallot pääsevät paremmin maastoesteiden taakse kuin korkeat taajuudet. Korkeat mäet voivat vaikuttaa signaalin tasoon heikentävästi, mutta tiheilläkin metsillä ei ole suurta vaikutusta.

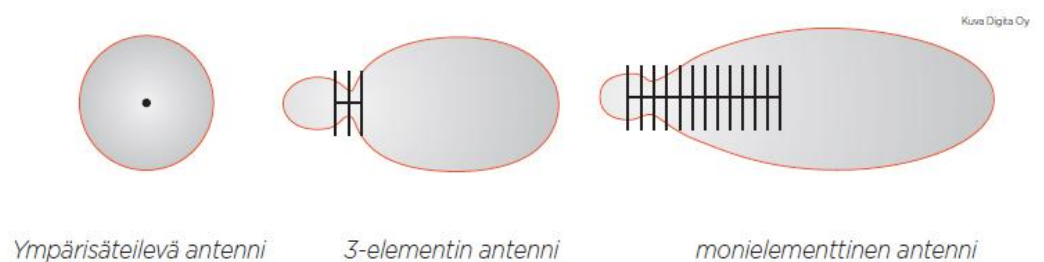


Kuva 4. Ympäristön aiheuttamat heijastukset (monitie-eteneminen) [2]

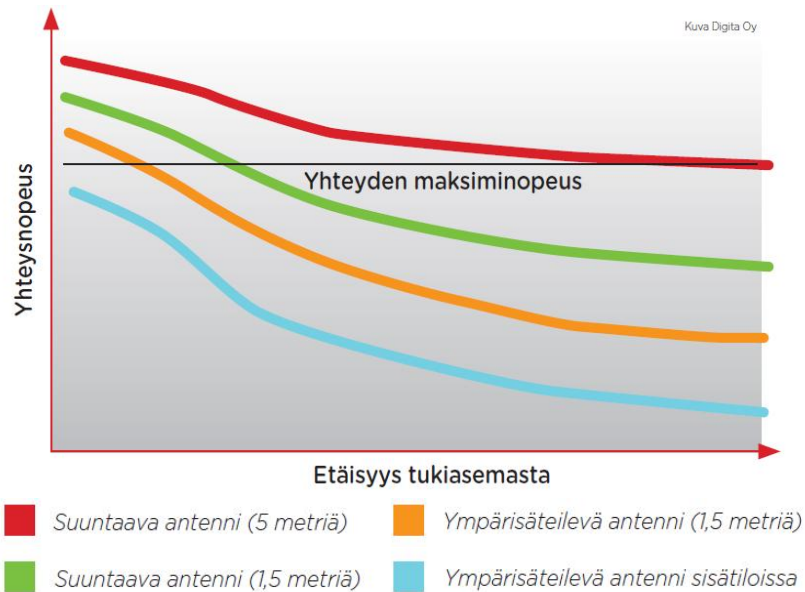
Rakennukset ovat suurin signaalin voimakkuuteen vaikuttava tekijä. Signaalin etenemiseen vaikuttavat heikentävästi päätelaitteen ja tukiaseman välillä sijaitsevat korkeat rakennukset. Rakennusten aiheuttama heikennys voi olla jopa 20 desibeliä (dB) rakennuksen sisälle sijoitetussa antennissa verrattuna ulkotiloihin sijoitettuun antenniin. Signaalin heikentymiseen vaikuttavat sisällä olevan antennin korkeus ja kulku seinien läpi.

Signaalin voimakkuuteen vaikuttavia säätilantekijöitä ovat: Vesi- ja lumisade, lumi ja sen sulaminen järven/meren jäätyminen ja jäiden lähtö, puut lehdesä tai lehdettöminä (mahlan tuotanto), havupuut lumisina märkinä tai kuivina ja sumu.

Signaalin laatuun voi vaikuttaa valitsemalla käyttötarkoitukseen sopivan antennin. Antennin valintaan vaikuttavat tukiaseman etäisyys sekä maastonmuodot. Signaalin voimakkuuteen vaikuttaa myös antennin korkeus. Antennivaihtoehtoina ovat erilaiset suuntaavat antennit, ympärisäteilevä antenni ja erilaiset sisätiloihin tarkoitetut antennit. Suuntaavilla antennilla saavutetaan parhaat tulokset, koska ne voidaan suunnata suoraan haluttuun suuntaan ja ne eivät ole niin alttiita radiokelin aiheuttamille häiriöille.[3.]



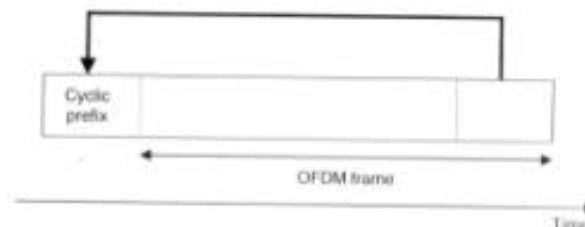
**Kuva 5. Erilaisten antennien suuntakuvioita [3]**



Kuva 6. Yhteyden nopeus verrattuna etäisyyteen tukiasemasta erilaisilla antennilla [3]

## 2.2 Moduloinnin aiheuttamat häiriöt

OFDM-modulaatiossa häipyminen ja sitä aiheuttava monitie-eteneminen ei ole niin suuri ongelma kuin muissa modulaatiotekniikoissa. Häipyminen vähäinen vaikutus johtuu siitä että häipyminen vaikuttaa vain osaan kantaalloista.



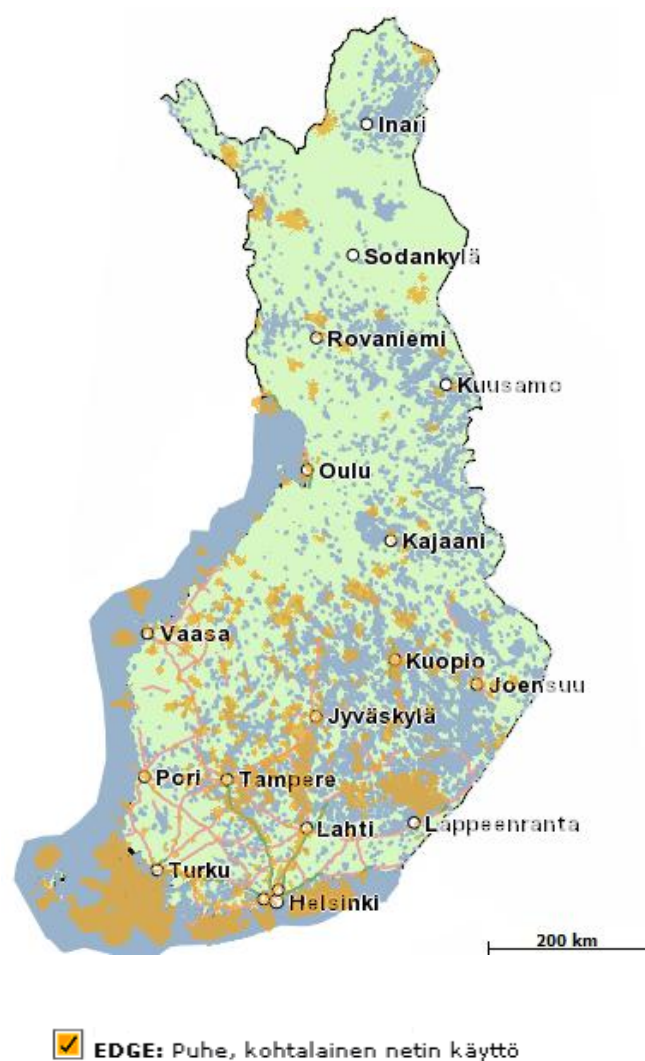
Kuva 7. OFDM-kehys; jos signaalin viive on alle OFDM-kehyksen pituinen, niin häipyminen on *flat fading* -tyylistä [1]

*Flat fading* -tyylisessä häipymisessä kaikki taajuudet vaimenevat samassa suhteessa. *Flat fading* voi johtaa vaimentumiseen kymmenillä desibeleillä, ja kyseisiä virheitä on vaikea korjata.[1.]

### 3 GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE)

GPRS-järjestelmän perusominaisuudet ovat seuraavat:

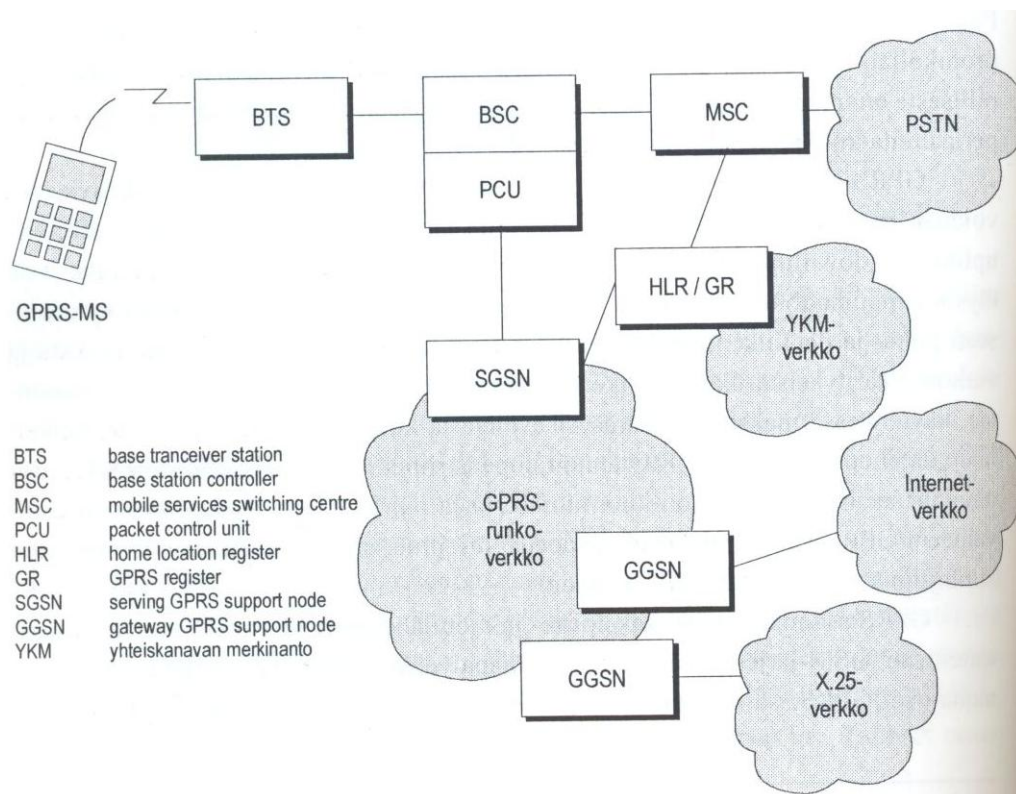
- taajuusalue: 900 MHz ja 1 800 MHz
- kaistanleveys: 200 kHz
- tiedonsiirtonopeus: Riippuu kanavakoodausluokasta  
min 56 kbit/s, max 114 kbit/s
- modulaatiotyyppi: TDMA (*Time Division Multiple Access*)
- yhteyden avausaika 1 - 2 s [4, s. 49 - 51; 5, s. 173 - 196].



**Kuva 8. GPRS-verkon peittoalueet [6]**

GPRS on GSM:n pakettikytkentäinen datapalvelu, joka on tarkoitettu puskaisen Internet-protokollan mukaiseen datan välitykseen. GPRS perustuu TDMA (*Time Division Multiple Access*) -modulointiin.

Tämän aikajakoisen tekniikan avulla voidaan dataa lähettää ja vastaanottaa kahdeksalla eri aikavälillä. Tämä tarkoittaa sitä, että yksi kanta-aaltotaajuus voidaan jakaa kahdeksan eri käyttäjän kesken. Vaikka yhteys olisi luotu päätelaitteen ja internet-yhteyden välille ei ole tarpeen varata jatkuvaa fyysistä yhteyttä. GPRS-palvelussa on mahdollista laskuttaa vain siirretystä datasta toisin kuin piirikytkentäisessä palvelussa. Siirrettävä tiedosto jaetaan pienempiin paketteihin, jotka lähetetään toisistaan erillisenä verkon kautta, ja vastaanottava laite kokoaa ne taas yhdeksi tiedostoksi.



**Kuva 9. GPRS-järjestelmän arkkitehtuurin periaate tärkeimpine elementteineen; SGSN on GPRS-operointisolu; ulkopuolisiin verkkoihin liitytään GGSN-elementin eli yhdyskäytäväsolmun kautta [4]**

GPRS-järjestelmä voi toimia kaikilla niillä taajuuksilla, jotka on määritetty GSM-järjestelmään. GPRS-verkkoon on otettu käyttöön joukko kanavia, joita tarvitaan pakettikytkentäistä palvelua varten.[ 4, s. 49 - 58; 5, s. 173 - 196.]

### 3.1 Maaston aiheuttamat häiriöt

Kasvillisuuden huomioon ottavien mallien kehittäminen on erittäin vaikeaa. Jokaiselle eri maastotyyppille pitäisi olla oma mallinsa.



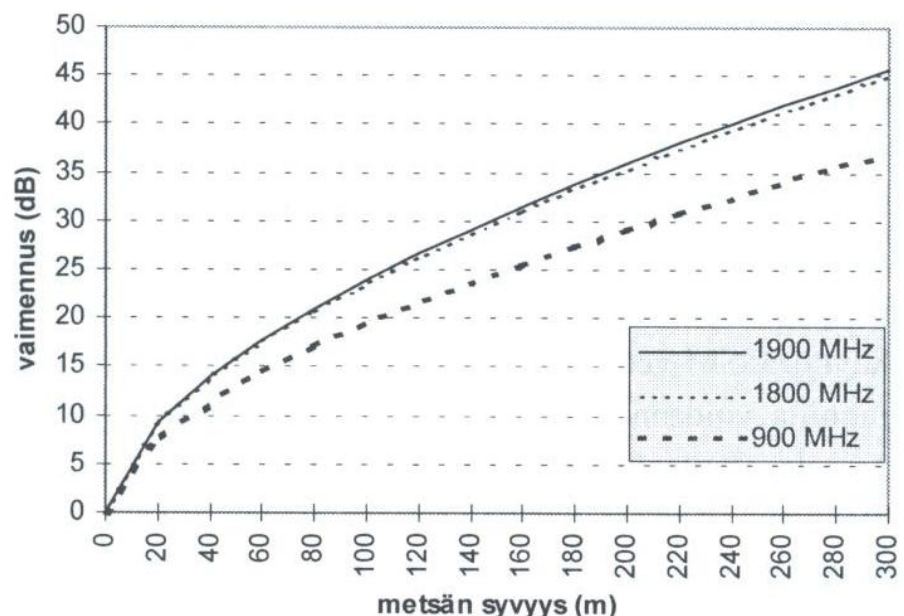
Korkeat mäet ja rakennukset heikentävät signaalin kulkua. Rakennukset saattavat aiheuttaa monitie-etenemistä.

Kasvillisuuden aiheuttama vaimennus on erilainen, riippuen kasvillisuuden laadusta, ja jopa siitä onko kasvillisuus märkää vai kuivaa. Märkä metsä vaimentaa radiosignaaleja huomattavasti enemmän kuin kuiva metsä.. Talvella puuston solurakenteen muutosten takia vaimennus on yleensä 0 - 2 dB pienempi kuin kesällä. Suomessa metsän osuus on noin 70 % maapinta-alasta, millä on vaikutusta vaimennukseen. Lehtimetsän vaimennukset ovat suuremmat kuin havumetsän.

Metsän vaimentavaa vaikutusta voidaan arvioida CCIR:n (*Comité consultatif international pour la radio*) (kansainvälinen neuvoo-antavan radiokomitea) raportissa 236-5 olevalla yhtälöllä:

$$L(dB) = 0,187(f^{0,284})(d^{0,588}),$$

missä  $f$  on taajuus MHz ja  $d$  on metsäalueen syvyys metreinä. Yhtälö pätee taajuuksilla 0,20 - 95 GHz ja suhteellisen pienille metsäalueille (syvyys < 0,5km. [4, s. 187 - 188.]



Kuva 10. Metsän aiheuttama vaimennus eri taajuuksilla [4]

### 3.2 Modulaation aiheuttamat häiriöt ja haitat

Tukiasema voi muodostaa yhden TDMA-kehiksen, ja lähettää sen radiotielle. Puhelin sieppaa sille kuuluvan jakson ja ohittaa muut jaksot. Datan ko-

koaminen jää vastaanottajalle. Laitteet tulee synkronoida samaan aikaan ja etäisyyksistä tulevat viiveet on otettava huomioon, jotta tukiasema näkee kehyksen, jossa sanomat ovat oikeissa aikaväleissä. Aikajakotekniikalla toteutetuissa järjestelmissä käytetään kaksisuuntaisia yhteyksiä,

vuorosuuntaisia yhteyksiä tai niiden välimuotoja. Kaksisuuntaisessa yhteydessä varataan lähtevälle ja tulevalle tiedolle omat kanavat. Vuorosuuntaisessa lähetetään tietty määrä sanomia, jonka jälkeen suuntaa vaihdetaan.

Luotettavuus liittyy datapakettien todennäköisyyteen hävitä, kahdentuua, mennä epäjärjestykseen tai vikaantua. GPRS-järjestelmään on määritetty kolme eri luotettavuusluokkaa. Luokka 1 soveltuu virheherkille sovelluksille, joilla ei ole virheenkorausta ja sietävät vähän virhetoleransseja. Luokka 2 soveltuu virheherkille sovelluksille, joilla on rajoitettu virheenkorauskyyky ja hyvä virhetoleranssien sietokyyky. Luokka 3 soveltuu sovelluksille, jotka eivät ole virheherkkiä, joilla on virheenkorauskyyky ja sietävät hyvin virhetoleransseja.

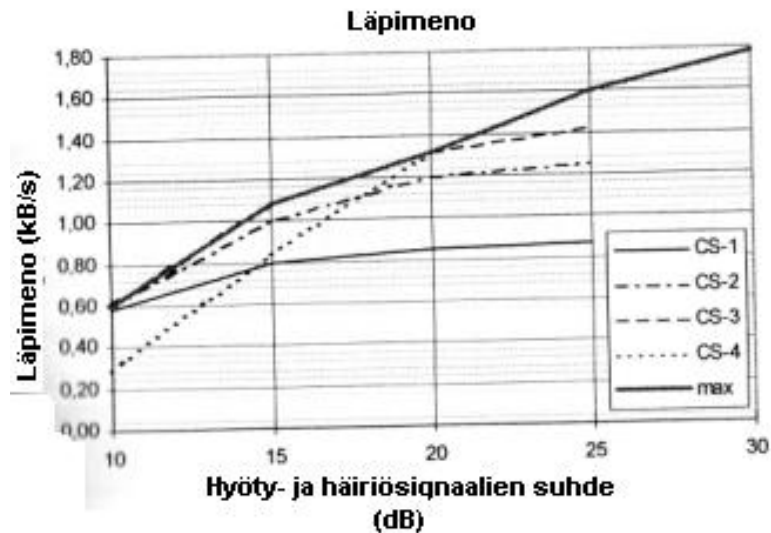
Kanavakoodaus vaikuttaa datanopeuteen ja saavutettavaan peittoalueeseen. Yhteydelle valitaan kulloinkin optimaalisin kanavakoodaus, jolloin datanopeudet ovat lähellä tukiasemaa suurimmat. Lähellä tukiasemaa kanavakoodausta voidaan keventää tai jättää käyttämättä. Tämä parantaa datanopeutta BER:n (*Bit Error Rate* s. 25) pysyessä samana.

*Taulukko 1. Kanavakoodausluokat. Kanavakoodausluokat vaikuttavat suurimmanmahdolliseen hyötykuormaan ja datanopeuteen [4]*

Luokka	Koodinopeus	Hyötykuorma	Datanopeus (kbit/s)
CS-1	1/2	181	9,05
CS-2	~2/3	268	13,4
CS-3	~3/4	312	15,6
CS-4	1	428	21,4

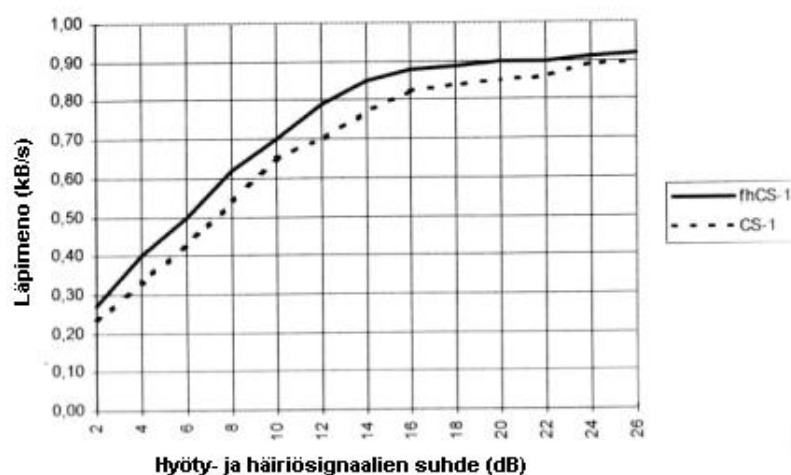


CS-1 kanavakoodauksessa käytetään samaa koodausta kuin perus-GSM:n SDCCH-kanavalla (merkinantokanava *Stand alone Dedicated Control Channel*). Luokissa CS-2 ja CS-3 käytetään lävistystä (*puncturing*), ja luokassa CS-4 ei käytetä kanavakoodausta lainkaan.[4, s. 70 - 72, 214 - 215; 5, s. 179 - 180.]



Kuva 11. GPRS-datan läpäisykyky eri kanavankoodausluokien välillä; GPRS-datasiirtonopeus riippuu hyöty- ja häiriösignaalien suhteesta [4]

Taajuushyppelystä on monenlaista hyötyä. Sen avulla voidaan pienentää esimerkiksi monitie-etenemisen vaikutuksia, sekä se parantaa verkon tietoturva. [4, s. 183 - 184.]



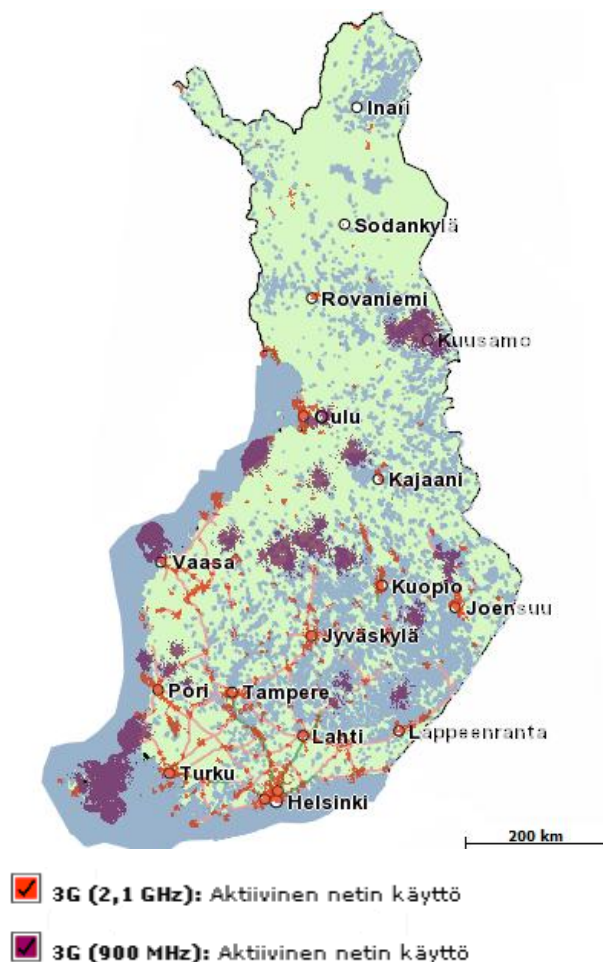
Kuva 12. GPRS – datan läpäisykyky (CS-1) taajuushyppelyllä ja ilman taajuushyppelyä; kanavankoodausluokan CS-1 osalta taajuushyppely parantaa hyöty- ja häiriösignaalien suhdetta noin 1 - 3 dB verran; taajuushyppely ei paranna kaikissa kanavankoodausluokissa suorituskykyä; CS-4:n osalta tilanne on päinvastainen; taajuushyppelystä saatava vaikutus vähenee verkon kuormituksen kasvaessa [4;5]

#### 4 3G (THIRD GENERATION)

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) on yksi kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologian edustajista. Se on yleinen 3G-standardi Euroopassa. UMTS on suunniteltu siirtämään kuvia, grafiikkaa ja videoita. Se soveltuu myös puheen ja datan siirtoon.

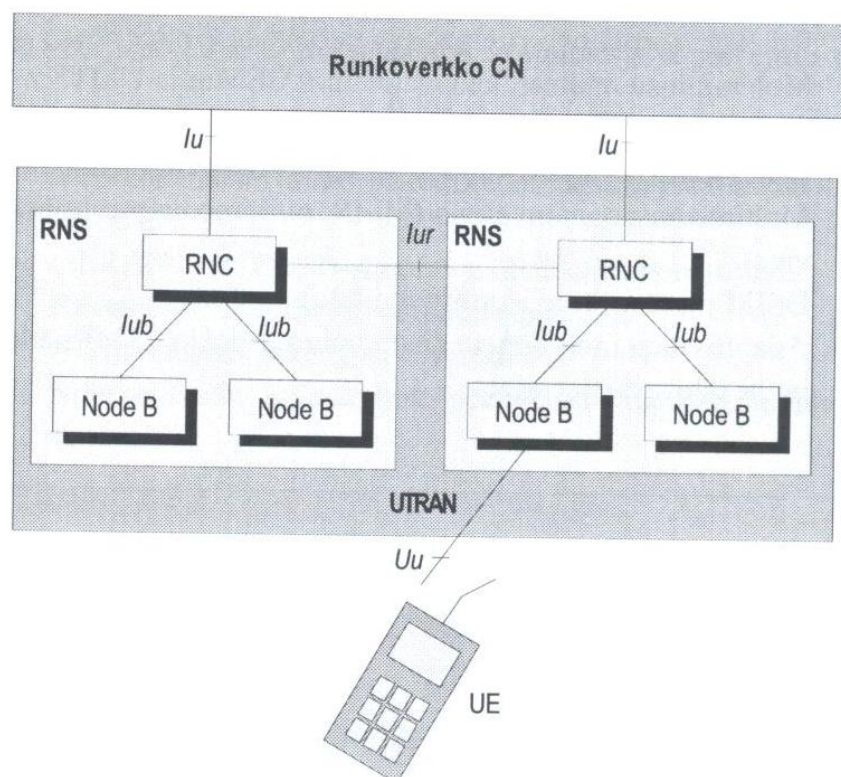
Järjestelmän perusominaisuudet ovat seuraavat:

- taajuusalue: 900 MHz sekä 2 100 MHz
- kaistanleveys: 5 MHz
- tiedonsiirtonopeus tyypillinen: 384 kbit/s, max 2 Mbit/s
- modulaatiotyyppi WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*)
- yhteyden avausaika noin 200 ms [4, s.44 - 48; 5, s. 202 - 211; 7, s. 64 - 70.]

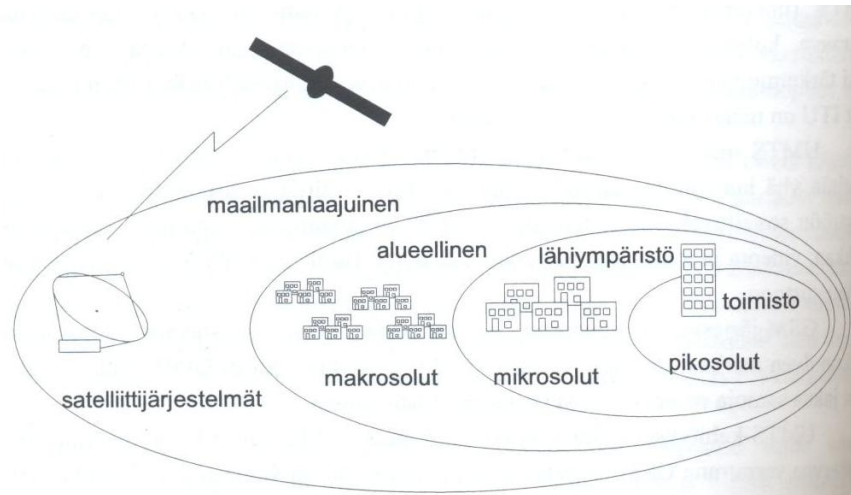


Kuva 13. 3G-verkon peittoalueet [6]

UMTS-radorajapinnasta käytetään nimitystä UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*), joka perustuu WCDMA-tekniikkaan (*Wideband Code Division Multiple Access*). WCDMA on CDMA-tekniikkaan perustuva sovellus. CDMA (*Code Division Multiple Access*) on kanavanvarausmenetelmä joka perustuu kapeakaistaisen signaalin bittiajan jakamiseen osiin (lastuihin). Jokaiselle linjalla liikennöivälle laitteelle muodostetaan bittikuvio, joka muodostuu lastuista. Datavirran bitit tunnistetaan lastuista muodostuvan koodin perusteella. WCDMA käyttää 5 MHz:n kaistanleveyttä, joka mahdollistaa entistä nopeamman tiedonsiirron. WCDMA-tekniikka sietää myös hyvin kapeakaistaista interferenssiä. [4, s.44 - 48; 5, s. 202 - 211; 7, s. 64 - 70.]



**Kuva 14.** UMTS-verkkoarkkitehtuuri UMTS radioliityntäverkko koostuu tukiasemista (Node B) niitä ohjaavista radioverkko-ohjaimista; (RNC, *Radio network controller*) UMTS radioverkko-ohjaimet voidaan liittää suoraan toisiinsa [4]



**Kuva 15. UMTS-järjestelmän suolukoot** UMTS-verkko on hierarkkinen ja jakautuu eri tasoihin: kotisolu, pikosolu (toimisto), mikrosolu (lähiympäristö), makrosolu (alueellinen) ja globaali satelliittijärjestelmä (maailmanlaajuinen); pienimmät solukoot tarjoavat suurimman mahdollisen datanopeuden [4]

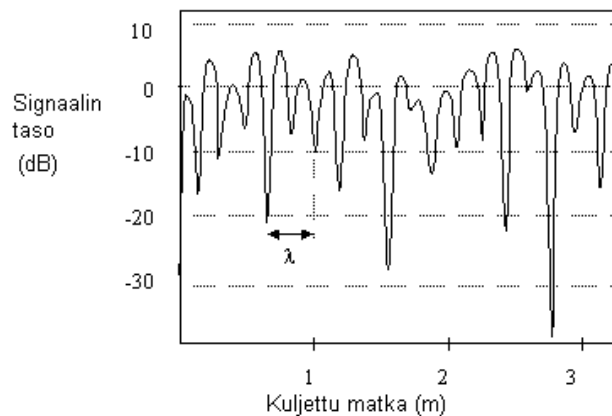
#### 4.1 Maaston aiheuttamat häiriöt

Signaalin kulkua heikentävät korkeat mäet ja rakennukset. Kasvillisuuden huomioon ottaminen on erittäin vaikeaa. Erilaisille maastotyypeille pitäisi olla oma malli.

Häiriöiden vaikutus 3G-verkkoon on samanlainen, kuin GPRS-verkoissa. Ks 3.1 Maaston aiheuttamat häiriöt GPRS-verkossa.

#### 4.2 Moduloinnin aiheuttamat häiriöt

Monitie-eteneminen aiheuttaa UMTS-järjestelmässä signaalin vääristymistä ja heikkenemistä. Monitie-eteneminen voi aiheuttaa hetkellisesti jopa yli 30 dB vaimentumista (kuva 17).[8, s. 86 - 99.]

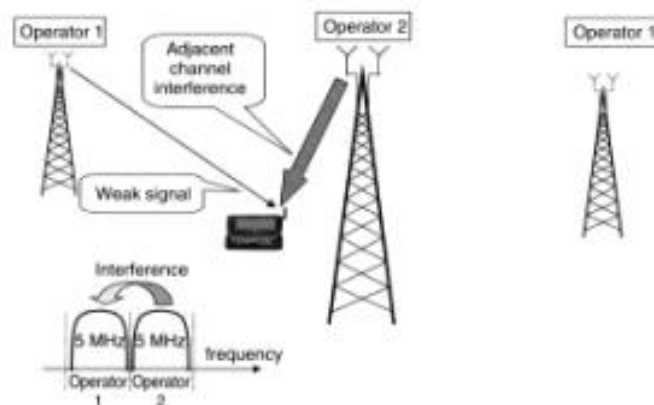


**Kuva 16. Monitie-etenemisen aiheuttama nopea Rayleigh-häipyminen; kuvassa  $\lambda$  on aallonpituus [8]**

Monitie-etenemisen aiheuttamia häiriöitä voidaan ehkäistä seuraavilla tavoilla.

1. Käyttämällä RAKE-vastaanotinta, joka kerää hajonneet signaalit yhteen. RAKE-vastaanotin sisältää useita haaroja, jotka vastaavat monitiesignaalin komponentteja, joita kutsutaan osoittimiksi. Jokainen osoitin yrittää demoduloida yhden polun yhdistetyn monitiesignaalin. RAKE-vastaanotin muuntaa hajoavan monitieprosessin tiedonsiirroksi parantamalla diversiteettitekniikkaa ja siten pienentää häipymisongelmaa langattomassa kanavassa. RAKE-vastaanotin tulee sijoittaa siihen paikkaan, missä signaalin voimakkuus on suurimmillaan.
2. Nopean tehonsäädön ja RAKE-vastaanottimen aikaansaamaa signaalien keräämistä käytetään vähentämään häipymisen vaikutuksia.
3. Hyvin tehtyä ohjelmointia, lomittamista ja protokollien uudelleenlähettämistä on käytetty lisäämään päällekkäisyyksiä ja signaalin aikajakoa, jonka avulla vastaanottajan on helpompi saada vastaanotetut bitit talteen vaikka häipymistä tapahtuu.

Rinnakkaisen kanavan aiheuttama häiriö, lämpökohina ja datan siirron määrä tulee myös ottaa huomioon.



**Kuva 17. Rinnakkaisen kanavan häiriö; puhelin on operaattori 1 yhdistettynä kaukana olevaan tukiasemaan (operaattori 1) ja samaan aikaan toinen tukiasema (operaattori 2) on lähellä puhelinta ja toimii samalla taajuudella; puhelin häiriintyy operaattori 2 signaalista ja voi pahimmassa tapauksessa häiriintyä niin paljon puhelinta, että se ei löydä operaattori 1 lähettämää signaalia [8]**

Rinnakkaisen kanavan aiheuttamat häiriöt voidaan jakaa kanavan sisäiseen -ja ulkopuoliseen häiriöön. Kanavan sisäiseen häiriöön ei voida vaikuttaa, mutta kanavan ulkopuolista häiriötä voidaan kontrolloida suotimilla.

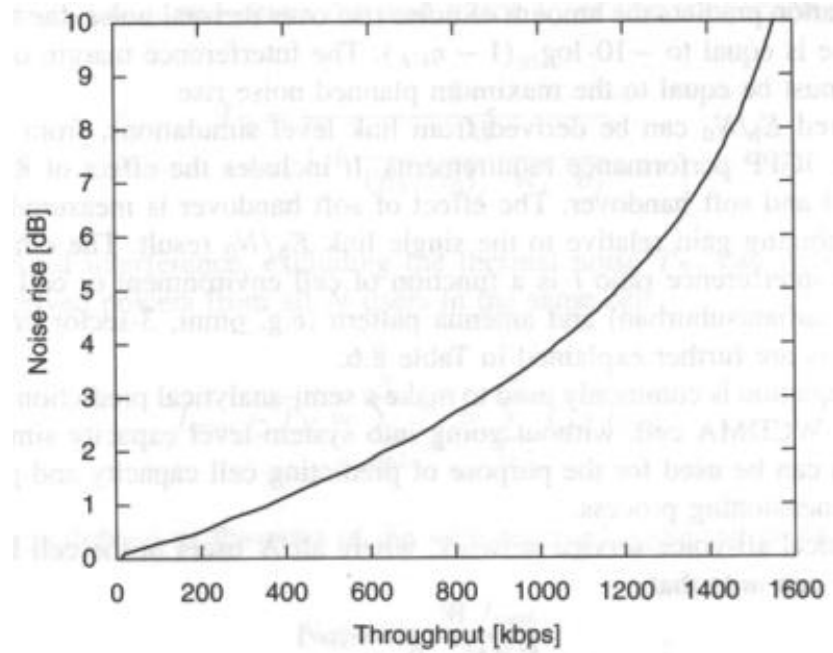
*Taulukko 2. Pahin mahdollinen rinnakkaisen kanavan aiheuttaman häiriön taso; rinnakkaisen kanavan häiriö on laskettu vähentämällä häiriön voimakkuudesta pienimmän mahdollisen häviön ja rinnakkaisen kanavan vaimennus [8]*

	Downlink	Uplink
Häiriön voimakkuus	43 dBm (Tukiasema)	21 dBm (Puhelin)
Pienin mahdollinen häviö puhelimen ja häiritsevän maston välillä	70 dB	70 dB
Rinnakkaisen kanavan vaimennus	33 dB	33 dB
Rinnakkaisen kanavan häiriö	-60 dBm	-82 dBm

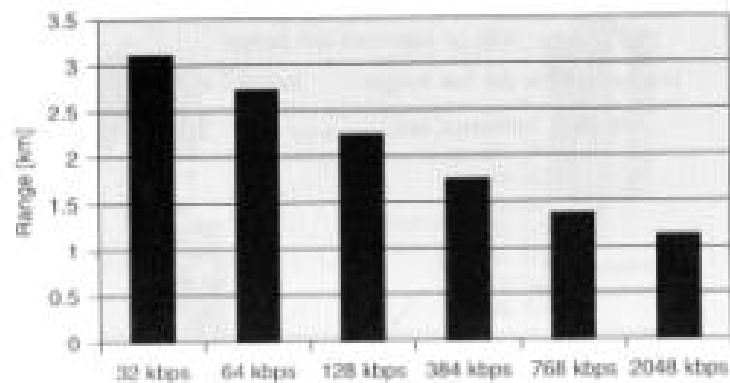
*Taulukko 3. Lämpökohinan taso vastaanottajalla; lämpökohinan taso vastaanottajalla on laskettu vähentämällä vastaanottajan kohinan kuvio lämpökohinan tasosta. [8]*

	Downlink	Uplink
Lämpökohinan taso (kTB)	-108 dBm	-108 dBm
Vastaanottajan kohinan kuvio	7 dB	4 dB
Vastaanottajan kohinan taso	-101 dBm	-104 dBm

Lämpökohina johtuu lämmön aiheuttamasta elektronien liikkeen kasvusta. Sitä esiintyy kaikissa kommunikointimedioissa, eikä sitä voida eliminoida. Lämpökohina jakautuu tasaisesti kaikille taajuuksille.[8, s. 86 - 113, 135 - 144, 169 -196.]



Kuva 18. Lähetetyn datanmäärän vaikutus häiriöiden määrään siirtotiellä [8]



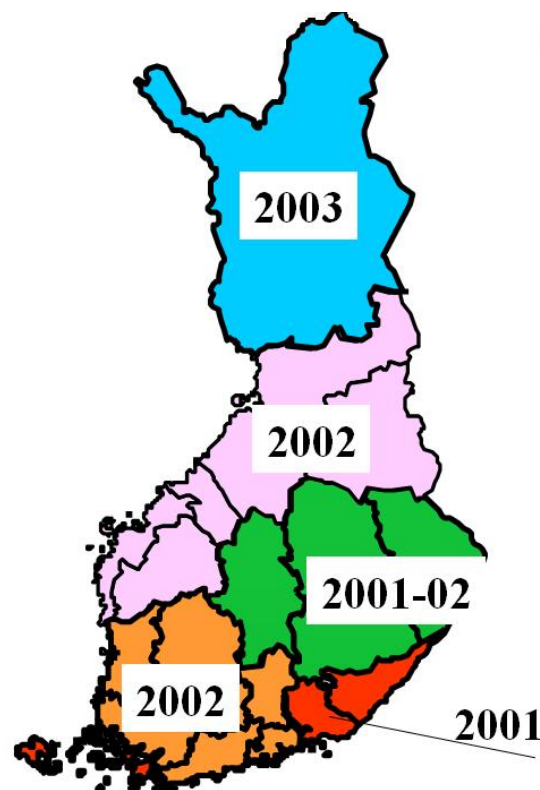
Kuva 19. Myötäsunnan kantoalue suhteessa datamäärään; lähetetyn datamäärän kasvessa signaali-kohinasuhteen määrä kasvaa, ja kantoalue pienenee [8]

## 5 TETRA (TERRESTRIAL TRUNKED RADIO)

TETRA on ammattimaiseen käyttöön tarkoitettu kansainvälinen viranomaisverkko. Suomessa TETRA-määrittelyjen mukaisesta radioverkosta käytetään nimitystä VIRVE (Viranomaisverkko). Koska kyseessä on viranomaisverkko, tarvitaan verkkoon liittymiseen lupa. [5, s. 90 - 93; 7, s. 39 - 44.]

Järjestelmän perusominaisuudet ovat seuraavat:

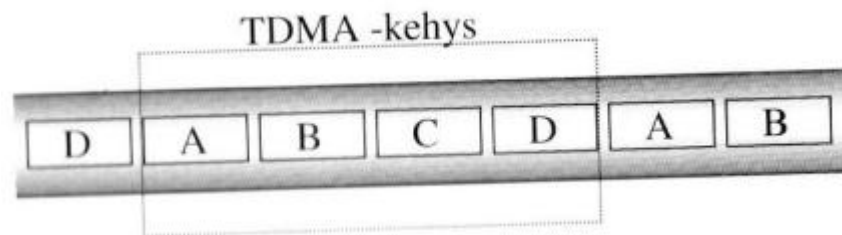
- taajuusalue: 380 MHz - 400 MHz
- kaistanleveys: 25 kHz
- tiedonsiirtonopeus tyypillinen: 2,4 - 28,8 kbit/s kaikki neljä radiokanavaa 7,2 kbit/s yhtä kanavaa kohden. Max. tiedonsiirto 36 kbit/s. tiedonsiirron nopeus riippuu aikavälien määrästä ja suojaustasosta.
- modulaatiotyyppi: TDMA (*Time Division Multiple Access*)
- yhteyden avausaika: usein alle 300 ms
- käyttöalue Suomessa: koko maan kattava verkko [9].



Kuva 20. TETRA-verkon peittoalue ja aika, jolloin TETRA-verkko on otettu käyttöön [10]

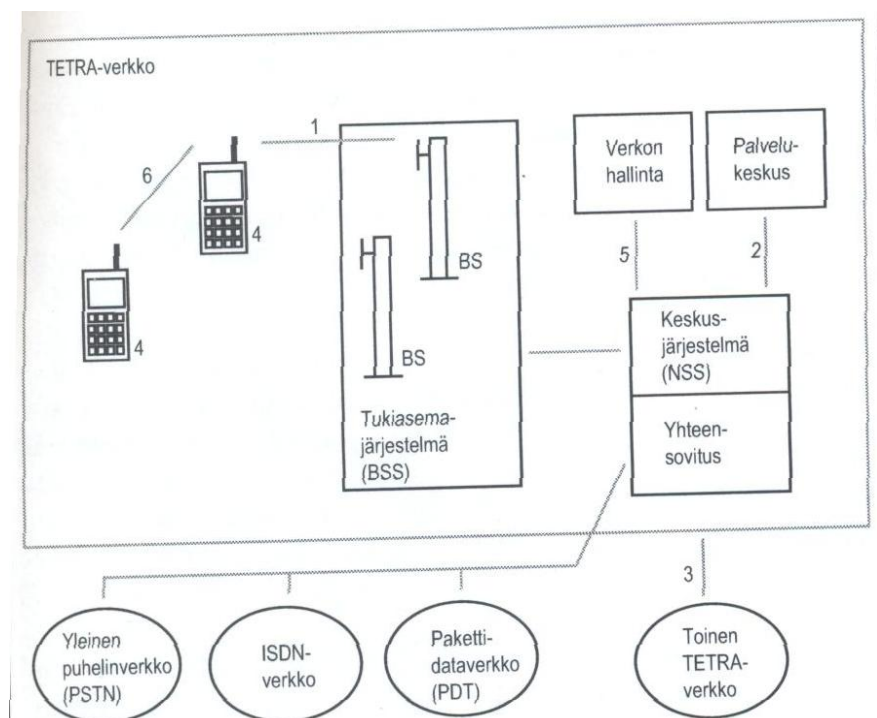


TETRA-järjestelmä perustuu TDMA-modulointiin. TDMA-moduloinnissa lähetysaika jaetaan käyttäjien kesken. TDMA käyttää neljää aikaväliä taajuutta kohden. Aikajako perustuu siihen että jokaisella kanavalla on oma lähetysvuoronsa. Kierroksen päätyttyä kierros alkaa uudestaan. Langattomassa tiedonsiirrossa käytetään yleensä synkronista aikajakoa, jolloin on kiinteä määrä aikavälejä.



**Kuva 21. TDMA-kehys; TDMA-kehyksessä on kuvattuna kaikki neljä aikaväliä; minkä jälkeen kierros alkaa uudestaan [4]**

TETRA on GSM-verkkoa muistuttava solupuhelinjärjestelmä. Salaus kattaa koko siirtotien TETRA-puhelimesta toiselle. Tunniste- ja salausalgoritmien järjestelmässä on mahdollisuus molemminpuoliseen tunnistukseen.



**Kuva 22. TETRA-verkon rakenne [4]**

Tetra-verkko jakautuu puhe -ja datapalveluihin.

Järjestelmä tukee seuraavia datapalveluita:

– **Lyhytsanomaviestit**

Tiiviit tilanneilmoitukset voidaan antaa nopeasti ja joustavasti lyhytsanomina, jolloin säästyy aikaa ja verkkokapasiteettia

– **Status- ja tilanneviestit**

Rutiini-ilmoitukset käyttäjien ja hätäkeskuksen välillä voidaan antaa statusviestein. Keskus vastaanottaa viestin viivytyksettä eikä puheluyhteyden muodostamista tarvita.

– **Automaattipaikannus**

GPS-paikannuksen avulla hätäkeskus, ryhmän jäsenet ja käyttäjä itse pysyvät tarvittaessa keskeytyksettä selvillä käyttäjän sijainnista ja kohteesta.

– **Pakettidata**

On GPRS-tyyppinen tiedonsiirtomahdollisuus koko verkon alueella. Tiedonsiirron nopeus on enintään 4,7 kbit/s

Järjestelmän tukemat puhepalvelut ovat seuraavat:

– **Ryhmäpuhelu**

Käyttäjä voi osallistua valitsemaansa ryhmäpuheluun.

– **Suojattu yksilöpuhelu**

Yksilöpuhelut mahdollistavat kahdenväliset keskustelut päätelaitteiden kesken.

– **Hätäkutsu**

Hätäkutsu voi keskeyttää muut puhelut tarvitsemaansa kanavakaistaa varten. [ 5, s. 90 - 113; 7, s. 39 - 50.]

## – Suorakanavatoiminne

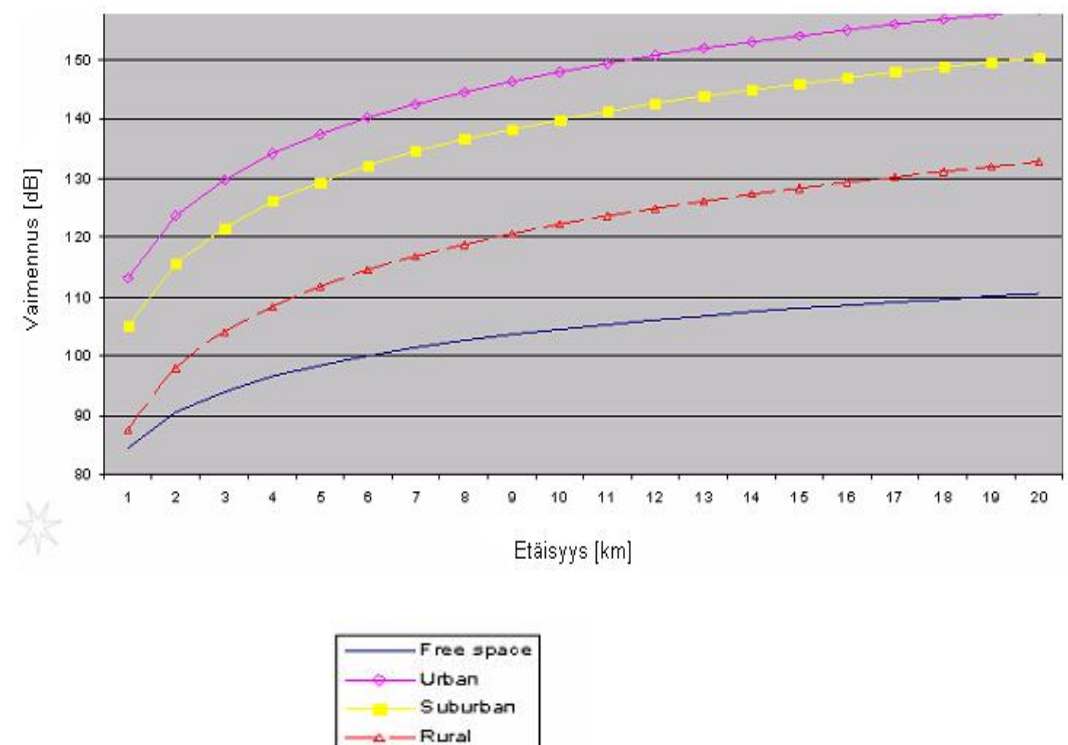
Suorakanavatoiminne mahdollistaa päätelaitteiden välisen suoran radioyhteyden. Tällöin yhteys voidaan muodostaa myös olosuhteissa, joissa verkoyhteyttä ei ole. Yleensä sitä käytetään peittoalueen laajentamiseen. Suorakanavaa ei yleensä käytetä datan siirtämiseen.

Toiminta-alue on arviolta 500 – 2 000 m, maastosta ja ympäristöstä riippuen. Käytettävät suorakanavat pitää erikseen ohjelmoida päätelaitteeseen ja ne ovat samalla taajuusalueella (380 - 385 MHz + 2 MHz ja 390 - 395 MHz + 2 MHz). Osassa päätelaitteista ei ole suorakanavatoimintaa.

### 5.1 Maaston aiheuttamat häiriöt

Kasvillisuuden vaikutukset TETRA-verkkoon ei ole kovin suuret, johtuen verkon alhaisesta taajuusalueesta. Kaupungissa rakennukset voivat aiheuttaa monitie-etenemistä. Myös muut verkot ja sähkölaitteet voivat häiritä verkkoa.

[9.]



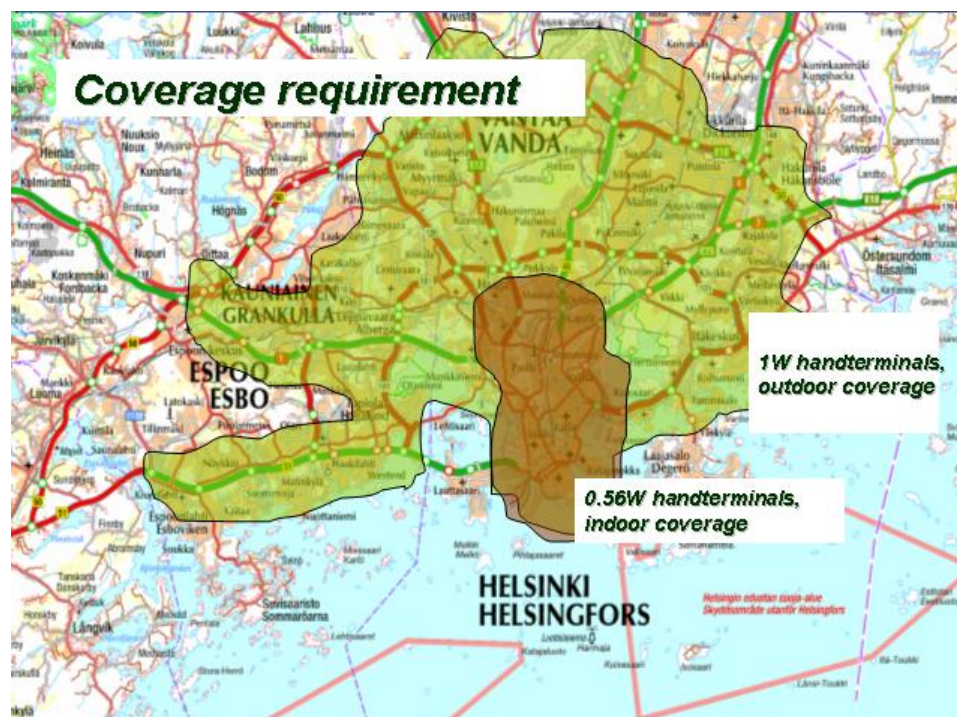
Kuva 23. Maaston vaikutus TETRA-verkkoon (400 MHz) Okumura-Hata-mallilla laskettuna [10]

## 5.2 Modulaation aiheuttamat häiriöt

Monitie-eteneminen aiheuttaa TETRA-verkolle signaalin vääristymistä. Signaalin lähellä olevat tutkat ja teollisuuslaitokset voivat huonontaa BER:ä. BER:n huonontuminen on tapauskohtaista, eikä siirtotiellä seuraavalla kerralla välttämättä ole niin paljon BER:ä alentavia tekijöitä, kuin edellisellä kerralla. TETRA-verkossa on myös havaittu saman kanavan häiriöitä. Kyseisessä tapauksessa kanava häiritsi itseään 19 dB:n verran. [9.]

*Taulukko 4. Puhelimen vaikutukset kuuluvuuteen kaupungiss;. kantoalue on tilastollinen ja on laskettavissa tietyllä todennäköisyydelle; viimeisessä sarakkeessa on kuvattuna vastaanottimen herkkyys [10]*

User equipment	Probability	Field strength requirement
<i>1 W hand terminal, indoors</i>	<i>75%</i>	<i>-74 dBm</i>
<i>1 W hand terminal, external antenna</i>	<i>90%</i>	<i>-93 dBm</i>
<i>3 W hand terminal</i>	<i>90 %</i>	<i>-94 dBm</i>



**Kuva 24. TETRA-lähtetimen kantoaalto sisä- ja ulkotilassa; vihreä väri kuvaa TETRA - puhelimen kantoaaltoa ulkotilassa ja ruskea puhelimen ollessa sisätilassa [10]**

Tetra-verkon luotettavuus on hyvä, jos datamäärät ovat pieniä ja suurta siirtonopeutta ei tarvita. [9]

<b>BANDWIDTH ON DEMAND</b>				
Number of Timeslots	1	2	3	4
No Protection	7.2	14.4	21.6	28.8
Low Protection	4.8	9.6	14.4	19.2
High Protection	2.4	4.8	7.2	9.6

Kuva 25. Suojauksen ja kanavien määrän vaikutus lähetyksenopeuteen (kbit/s); korkea suojaustaso vaikuttaa alentavasti lähetyksenopeuteen ja kanavien määrän kasvaessa lähetyksenopeus kasvaa [10]

## 6 HÄIRIÖT YLEISESTI

Radioaallot ovat liikkuvia sähkömagneettisia aaltoja. Ne siirtyvät lähetyksentennistä vastaanottajalle eri reittejä pitkin. Vastaanottimen antennissa radioaallot summautuvat jälleen yhdeksi signaaliksi. Koska summautumiseen vaikuttavat eri reittejä kulkeneiden komponenttien vaihe-erot, vastaanotetun signaalin ero lähetettyyn signaaliin riippuu siitä, kumoavatko summautuneet komponentit toisensa vai vahvistuvatko ne.

### 6.1 Vaimeneminen

Vaimenemisessa (*attenuation*) on kyse signaalin sisältämän tehon vähentymisestä. Vaimeneminen näkyy signaalin amplitudin pienentymisenä, kun etäisyys signaalilähteestä kasvaa. Vapaan tilan vaimennus ei ole tasaista. Vaimentuminen riippuu taajuudesta, mutta myös käytetystä siirtotiestä. Koska signaalin kaikki komponentit eivät vaimennu samalla tavalla, vaimentuminen aiheuttaa myös signaalin muodon vääristymistä. Sade ja kosteus kasvattavat vaimennusta.

Vapaan tilan vaimennus ( $N$ ) on suoraan verrannollinen radioaallon taajuuteen ja se voidaan määrittellä kaavalla:

$$N = 10 \log \left( \frac{4\pi \times d}{\lambda} \right)^2$$

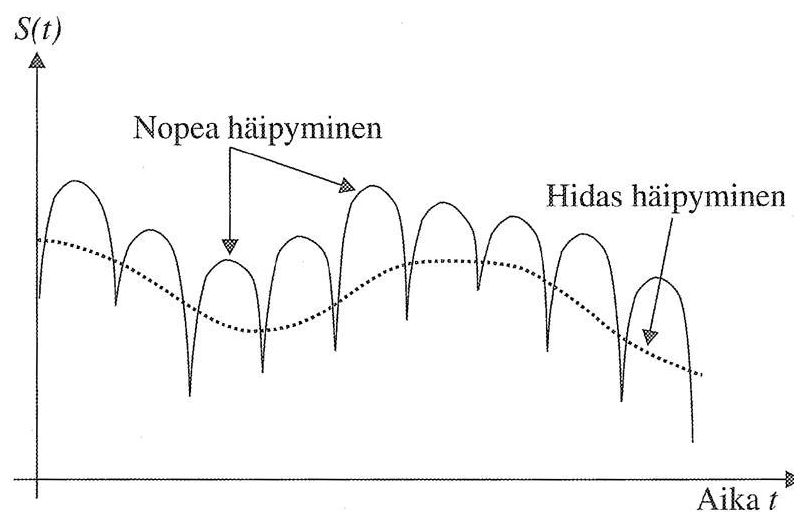
missä,  $\lambda$  = aallonpituus ja  $d$  = etäisyys [5, s. 11 - 14.]

## 6.2 Häipyminen

Häipyminen (*fading*) jakautuu hitaaseen -ja nopeaan häipymiseen. Hidas häipyminen tarkoittaa vastaanotetun signaalin keskiarvon muuttumista, jonka aiheuttavat maaston muutokset ja näköesteet. Nopea häipyminen aiheutuu satunnaisesti välillä  $0 - 2\pi$  jakautuneiden osasignaalien summautumisesta vastaanottajalla. Nopea häipyminen johtuu lähettimen liikkeestä ja monitie-etenemisestä.

Dataliikenteessä häipyminen on nopeaa jos siirtotien symbolinopeus on pienempi kuin häipymisen taajuus. Häipyminen on hidasta, jos symbolinopeus on suurempi kuin häipymisen taajuus. Nopea häipyminen aiheuttaa

moduloidun pulssin leviämistä. Pulssin leviämistä voidaan estää jos symbolinopeus on 100 - 200-kertainen häipymän taajuuteen verrattuna.



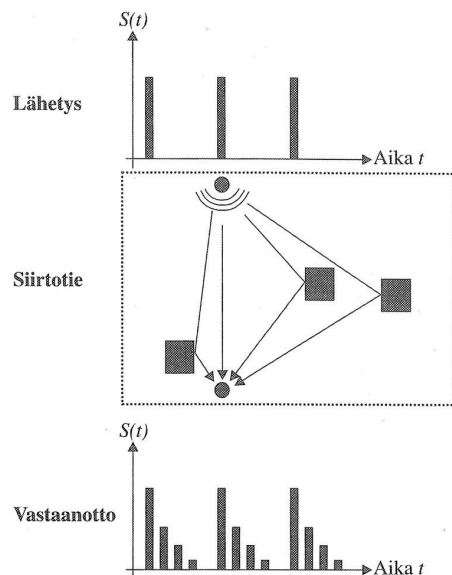
Kuva 26. Nopea -ja hidas häipyminen

### 6.3 Monitie-eteneminen

Monitie-eteneminen on ilmiö, joka muistuttaa optisissa kuiduissa tapahtuvaa pulssin leviämistä. Monitie-eteneminen aiheutuu rakennusten, esineiden, maastokohteiden, veden, jään, vuorien tai vastaavan heijastuksista ja sironnasta.

Radiosignaali saattaa heijastua useitakin kertoja eri kohteista matkallaan lähetin antennista vastaanotin antenniin. Osa signaalista saattaa kulkea jopa kaksinkertaisen matkan lyhyimpään reittiin verrattuna (kuva 27). Heijastuneet signaalit tulevat siis perille eri aikaan kuin suoraan edennyt signaali, ja ovat menettäneet osan energiastaan heijastusten takia. Signaalin heijastumiseen vaikuttavat aallonpituus ja aine, jonka signaali kohtaa.

Monitie-eteneminen aiheuttaa vastaanotetun signaalin vääristymistä eri reittiä kulkeneiden signaalien summautuessa jälleen yhteen vastaanotin antennissa. Eri matkan kulkeneilla signaalien osilla on keskenään kulkuaikaan verrannollinen vaihe-ero, joka vaikeuttaa vastaanottajan tehtävää tulkita signaalista oikein sen eri elementit. [5, s. 14 - 16.]



Kuva 27. Monitie-eteneminen [5]

### 6.4 Bittivirhesuhde (BER)

Siirtotien ongelmista voi seurata että tieto vääristyy, eikä vastaanottaja pysty tulkitsemaan sitä oikein. Mitä enemmän siirtotiellä on häiriöitä, sitä enemmän

signaali vääristyy. Virheellisten bittien lukumäärästä suhteessa siirrettyjen bittien kokonaismäärään käytetään nimitystä bittivirhesuhde tai BER (Bit Error Rate). BER kuvastaa todennäköisyyttä että yksi bitti tuhoutuu. BER kasvaa kun kasvatetaan linjannopeutta. Kaistanleveyden kasvattaminen tai linjannopeuden laskeminen laskee BER-arvoa. [5, s. 19.]

Todennäköisyys sille että yksikään bitti ei vääristy on:

$(1-p_b)$ , jossa  $p_b$  =siirtotien BER - arvo

Todennäköisyys sille että, siirretty sanoma sisältää yhden tai useamman virheen ( $p_m$ ) on :

$$p_m = 1 - (1 - p_b)^{8M},$$

jossa M = lähetettävän sanoman pituus. Lähetyskertojen määrän (k) voi laskea seuraavan kaavan avulla:

$$k = \frac{1}{1 - p_m} \quad [5, s. 19].$$

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTAA

Työssä tutkittujen eri langattomien tiedonsiirtotekniikoiden häiriintymistavat ovat samantapaisia. Maaston vaikutukset ovat hyvin samanlaisia, koska niihin vaikuttavat järjestelmän käyttämä taajuusalue. Mataliin taajuuksiin maasto ei vaikuta niin paljon kuin korkeisiin taajuuksiin. Signaalin vahvuuteen vaikuttavat metsät, mäet ja ilmasto. Signaalin vahvuuteen voi myös vaikuttaa jokin lähellä oleva tehdas. Teollisuuslaitosten aiheuttamat vääristymät eivät ole välttämättä tasaisia.

Suurimmat erot häiriintymisen kannalta johtui eri modulaatiotavoista. OFDM-modulaatio on ainoa, johon monitie-eteneminen ei vaikuta huomattavasti. Muiden kohdalla monitie-eteneminen aiheuttaa häiriintymistä. Monitie-etenemisen aiheuttamiin häiriöihin voi vaikuttaa esimerkiksi käyttämällä RAKE-vastaanotinta. Myös erilaisten suotimien käyttö vähentää myös häiriöitä.

Langattomissa verkoissa ei ole tilannetta, ettei tulisi häiriöitä. Häiriöitä voidaan vaimentaa, mutta niiden poistaminen kokonaan on vaikeaa. Langallinen verkko on paljon luotettavampi, ja se ei häiriinny niin helposti.



Datan siirrossa luotettavuuteen vaikuttavat siirrettävän datan määrä ja suojaustaso. Korkea suojaustaso hidastaa datan siirtoa. Nopea datan siirto aiheuttaa enemmän datan hukkumista ja vääristymistä.

Signaalin voimakkuuteen vaikuttavista tekijöistä merkittävin on antennin sijoittelu ja oikea suuntaaminen. Sen avulla voidaan huomattavasti parantaa signaalia. Antennin sijoittelussa tulisi ottaa huomioon, että lähellä olevat tutkan ja muut radiolaitteet saattavat häiritä antennia.

Antennin malliin pitää myös kiinnittää huomiota ja miettiä, minkätyyppinen antenni on paras vaihtoehto. Suuntaavia antennia voidaan käyttää suorilla yhteysväleillä. Ne eivät ole niin alttiita häiriöille. Antennin valintaan vaikuttaa myös datan kulkema matka. Lyhyillä yhteysväleillä antennin valinnalla on vähäisempi merkitys kuin pitkällä yhteysväleillä. Antennin tehokkuuteen vaikuttaa antennin korkeus.

Ulkona oleva antenni on sisäantennia huomattavasti tehokkaampi, koska sen tiellä on vähemmän vaimennusta aiheuttavia seiniä.

Sisäkäyttöön on suunniteltu erilaisia antennia, jotka ovat tehokkaampia kuin ulos sijoitettavat antennit.

Tiedonsiirtotavan valinnassa tulee arvioida, mikä on tiedon laatuvaatimus. Jos hyväksytään virheitä eli tarkkuus- ja oikeellisuusvaatimus ei ole suuri, ei ole juuri väliä minkä siirtotavan valitsee. Kun tiedonsiirrossa hyväksytään vain vähän virheitä ja oikeellisuusvaatimus on suuri, pitää arvioida sopivin tiedonsiirtotapa. Pitää arvioida, mikä sopii parhaiten kyseiselle välimatkalle, riittääkö modulaation oma, virheenkorjaus vai pitääkö sanoma lähettää mahdollisesti useamman kerran. Vaativin tapaus on tiedonsiirto, jossa ei käytännössä hyväksytä virheitä ja oikeellisuusvaatimus on ehdoton voi vain yhden langattoman datasiirtomenetelmän käyttö olla riittämätön. Tulee miettiä, onko langaton datansiirto paras mahdollinen vaihtoehto, ja löytyykö joi-tain muita järkeviä vaihtoehtoja datan siirrolle. Usean datasiirtomenetelmän käytöllä voidaan varmentaa toimintaa.

Kaikki verkot ovat suojattavissa. Suojaustekniikat ovat järjestelmäkohtaisia. TETRA-verkolla on selvästi paras ja luotettavin suojaustekniikka tunniste- ja salausalgoritmien vuoksi. TETRA-verkko on myös ainoa, joka nykyisin kat-taa koko maan.

Tutkimuksen perusteella ei voida asettaa mitään järjestelmää Merenkulkulaitoksen langattomaan tiedonsiirtoon selkeästi soveltuvimmaksi. Niiden käyttö on arvioitava järjestelmä- ja olosuhdekohtaisesti. Tarvittaessa tiedonsiirron varmentamiseksi on käytettävä useita järjestelmiä. Tiedonsiirron tukena on suositeltavaa käyttää tarkoituksenmukaisia häiriöväistö ja -korjaustekniikoita. Tulevaisuudessa on hyvä tutkia ainakin 4G-verkon soveltuvuutta Merenkulkulaitoksen langattomaan tiedonsiirtoon.

**LÄHTEET**

- [1] Digita tiedotteet. [www-sivu Viitattu 23.3.2009] Saatavissa: <http://www.450laajakaista.fi/Press/9039/9847/9074>
- [2] Fette, Bruce .[et al.], Amsterdam 2008: RF & wireless technologies
- [3] Soneran antenni opas. [Verkkodokumentti Viitattu 25.4.2009] Saatavissa: [http://www.sonera.fi/files/Sonera.fi/Yksityisille/Laajakaista/Nettiin%20langattomasti/Laajakaista%20Langaton/Langaton\\_Antenni\\_OPAS291107.pdf?LinkType=Static%20File](http://www.sonera.fi/files/Sonera.fi/Yksityisille/Laajakaista/Nettiin%20langattomasti/Laajakaista%20Langaton/Langaton_Antenni_OPAS291107.pdf?LinkType=Static%20File)
- [4] Penttinen, Jyrki, Vantaa 2001: GPRS-tekniikka Verkon rakenne, toiminta ja mitoitus
- [5] Granlund, Kaj, Porvoo 2001: Langaton tiedonsiirto
- [6] Soneran kuuluvuuskartta. [www-sivu viitattu 13.10.2009] Saatavissa: [www.sonera.fi/Asiakastuki/Matkapuhelin/Kuuluvuuskartta](http://www.sonera.fi/Asiakastuki/Matkapuhelin/Kuuluvuuskartta)
- [7] Penttinen, Jyrki, 2006: Tietoliikennetekniikka 3G ja erityisverkot
- [8] Holma, Harri, Toskala, Antti, West Sussex 2002: WCDMA for UMTS
- [9] Järjestemäasiantuntija Haikala, Kari, Suomen Erillisverkot Oy. Haastattelu 8.5.2009.
- [10] TETRA world congress 19-21.6.2001, 10-14.12.2001, 24-27.11.2003 Power-point esitykset

