

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennetekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tuomas Miskala

**SUOMALAIS-IRLANTILAISEN PATALJOONAN  
TIETOLIIKENNEJÄRJESTELMÄ**

Insinöörityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi insinöörin  
tutkintoa varten Tampereella 04.05.2009.

Työn valvoja:  
Työn ohjaaja:

Yliopettaja Mauri Inha  
Yliopettaja Mauri Inha

<b>Tekijä:</b>	Tuomas Miskala
<b>Työn nimi:</b>	Suomalais-irlantilaisen pataljoonan tietoliikennejärjestelmä
<b>Päivämäärä:</b>	4.5.2009
<b>Sivumäärä:</b>	32 sivua ja 2 liitesivua
<b>Hakusanat:</b>	Ku-taajuuskaista, satelliittilaajakaista, EutelSat Sesat, PSK, virheenkorjaus, Access Node, tähtitopologia
<b>Koulutusohjelma:</b>	Tietotekniikka
<b>Suuntautumisvaihtoehto:</b>	Tietoliikennetekniikka
<b>Työn valvoja:</b>	Yliopettaja Mauri Inha
<b>Työn ohjaaja:</b>	Yliopettaja Mauri Inha
<p>Suomalais-irlantilainen pataljoona oli operatiivisena osana YK:n UNIFIL-operaatiota Libanonissa vuoden 2006 marraskuun alusta vuoden 2007 lokakuun viimeiseen päivään asti.</p> <p>Tässä työssä tehtiin selvitys tarvittavasta tietoliikennejärjestelmästä, sen toteutuksesta, ylläpidosta ja rakenteesta sotilasorganisaatiolle, joka toimi kriisinhallinta-alueella vuoden verran.</p> <p>Lähtökohtana oli, että tarvittava operatiiviseen käyttöön tarkoitettu tietoliikenneyhteys tuli Suomesta monen tuhannen kilometrin päästä. Suomalais-irlantilaisen pataljoonan tietoliikennejärjestelmän rakentaminen aloitettiin satelliittilaajakaistayhteydestä, jonka ominaisuudet poikkesivat huomattavasti normaalista laajakaistayhteydestä. Satelliittilaajakaistayhteys vaatii satelliitin, jonka kautta signaali kulki lähetys- ja vastaanottoaseman välillä. Työssä käsiteltiin käytettävän satelliitin ja pataljoonan satelliittilautasen lisäksi signaalin kulkua lähetysasemalta vastaanottoasemalle ja signaalin ominaisuuksia. Signaalin ominaisuuksia ovat esimerkiksi käytettävä taajuuskaista, välitaajuus, signaalin vaihehavainnus, virheenkorjaus sekä salaus.</p> <p>Työssä tehtiin myös selvitys pataljoonan lähiverkon rakenteesta, joka rakennettiin pataljoonan tukikohtaan Camp Idaan Etelä-Libanonissa. Lähiverkko vaati toimiakseen liityntälaitteen, pataljoonan rakenteelle sopivan verkkotopologian, palvelimet sekä välityspalvelimen.</p>	

<b>Author:</b>	Tuomas Miskala
<b>Title:</b>	The telecommunication system of the Finnish-Irish Battalion
<b>Date:</b>	4.5.2009
<b>Number of pages:</b>	32 pages and 2 appendix pages
<b>Key words:</b>	Ku-Band, Satellite Internet Access, EutelSat Sesat, PSK, Forward Error Correction, Access Node, Star Network
<b>Program:</b>	Computer Systems Engineering
<b>Specialisation:</b>	Telecommunication Engineering
<b>Supervisor:</b>	Senior Lecturer Mauri Inha
<b>Instructor:</b>	Senior Lecturer Mauri Inha
<p>The Finnish-Irish battalion acted as an operative unit of UN's UNIFIL operation from the first day of November 2006 till the last day of October 2007.</p> <p>This thesis is a briefing of a needed telecommunication system, its implementation, maintenance and a structure to a military organization that operated one year in a crisis management territory.</p> <p>The basis was that a needed telecommunication link meant for an operative usage came from Finland over thousands of kilometers away. Implementing of the telecommunication system of the Finnish-Irish battalion was started by choosing a satellite Internet access which quality differed notably from a normal broadband connection. The satellite Internet access needs a satellite that can bypass the signal between a broadcasting station and a receiving station. In this thesis, it is briefed the available satellite and the used satellite dish of the battalion in addition how the signal went from a broadcasting station to a receiving station and qualities of the signal. The qualities of the signal are for example available frequency band, intermediate frequency, phase shift keying, forward error correction and encryption.</p> <p>In this thesis, it is briefed also the structure of the local area network of the battalion which was created in the battalion's base called Camp Ida in South Lebanon. The local area network needed an access node, a suitable network topology for the battalion, servers and a proxy server to be a functional.</p>	

## ALKUSANAT

Tietoliikennejärjestelmä rakennettiin YK:n kriisinhallintaoperaatioon vuosina 2006 ja 2007 ja järjestelmästä tehtiin tutkintotyö vuosien 2008 ja 2009 aikana.

Kiitän Suomen puolustusvoimia mahdollisuudesta toteuttaa tutkintotyöni. Kiitän perhettäni saamastani tuesta palvelukseni aikana sekä yliopettaja Mauri Inhaa ohjauksesta tutkintotyötä tehdessä. Tahdon vielä kiittää Janne Sormusta, TeliaSonera Oyj:ltä Jukka Liinavirtaa, Suomen puolustusvoimilta yliluutnantti Veli-Matti Pesolaa ja luutnantti Ari Vanhataloa.

Tampereella 4.5.2009

---

Tuomas Miskala

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ .....	i
ABSTRACT .....	ii
ALKUSANAT .....	iii
SISÄLLYSLUETTELO .....	iv
KÄYTETYT MERKINNÄT JA TERMIT .....	v
1 JOHDANTO .....	1
2 PATALJOONAN TYÖYMPÄRISTÖ JA RAKENNE .....	2
2.1 Työnteko ja eläminen kriisinhallintaoperaatiossa .....	2
2.2 Pataljoonan rakenne tietoliikennejärjestelmän kannalta .....	3
3 TIETOLIIKENNEJÄRJESTELMÄN RAKENNE .....	5
3.1 Satelliittilaajakaista .....	6
3.2 Satelliiti EutelSat SESAT 1 :: 36° East .....	8
3.3 Satelliittilautanen .....	11
3.4 $K_u$ -taajuuskaista .....	13
3.5 L-taajuuskaistan IF-taajuus .....	18
3.6 Vaiheavainnus .....	20
3.7 Virheenkorjaus .....	23
3.8 Salaus .....	24
4 LÄHIVERKON RAKENNE .....	24
4.1 Access Node –liityntälaite .....	24
4.2 Ethernet-verkkotopologia .....	25
4.3 Palvelin-struktuuri .....	27
4.4 Välityspalvelin .....	28
5 TYÖTEHTÄVÄT .....	29
6 YHTEENVETO .....	30
LÄHDELUETTELO	
LIITELUETTELO	

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA TERMIT

Absorptio	Aineen tai energian imeytyminen väliaineen sisälle, vaimennus.
AD	Active Directory, käyttäjätietokanta ja hakemisto.
Apogeumi	Maata kiertävän satelliitin radan piste, josta on suurin etäisyys maapallon keskipisteeseen.
Atsimuuttikulma	Ilmaisee ilmansuunnan, jossa kohde näkyy ja se ilmoitetaan asteina. Atsimuutti saa arvoja väliltä $-180^\circ$ , $+180^\circ$ .
BW	Bandwidth, kaistanleveys.
CID	Caller Identification, yhteystunniste.
Cimic	Civil Military Cooperation, siviilien ja sotilaiden välinen yhteistyö.
DL	Downlink, satelliittin maayhteys tai laskeva siirtotie.
DNS	Domain Name System, nimipalvelu.
EIRP	Equivalent Isotropic Radiation Power, ekvivalenttinen isotrooppinen säteilyteho.
Elevaatiokulma	Korotuskulma, joka on tavallisesti rajattu välille $-\pi / 2 < \theta < \pi / 2$ (tai $-90^\circ < \theta < 90^\circ$ ) yksikäsitteisyyden saavuttamiseksi.
EMP	Electromagnetic Pulse, elektromagneettinen pulssi.
EOD	Explosive Ordnance Disposal, räjähderaivaus.
FEC	Forward Error Correction, virheenkorjaus.
FTP	File Transmission Protocol, TCP-protokollaa käyttävä tiedonsiirtomenetelmä.
GSM	Global System for Mobile communications.
HF	High Frequency, HF-alueen radiotaajuus.
HTTP	Hypertext Transfer Protocol, hypertekstin siirtoprotokolla.
IAF	Israeli Air Forces, Israelin ilmavoimat.
IDF	Israeli Defence Forces, Israelin puolustusvoimat.
IF	Intermediate Frequency, välitaajuus.
IP	Internet Protocol, TCP/IP-mallin Internet-kerroksen protokolla.

ITU	International Telegraph Union, Kansainvälinen televiestintäliitto.
LAF	Lebanese Armed Forces, Libanonin armeija.
NSE	National Support Element, kansallinen huoltoyksikkö.
OU	Organizational Unit, Active Directoryn objektien, kuten käyttäjien, ryhmien ja tulostimien sijoituspaikka.
Perigeumi	Maata kiertävän satelliitin radan piste, josta on pienin etäisyys maapallon keskipisteeseen.
PSK	Phase Shift Keying, vaiheavainnus.
PSTN	Public Switched Telephone Network, yleinen kytkentäinen tai valintainen puhelinverkko.
PVAH	Puolustusvoimien asiakirjahallinta.
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying, nelivaiheinen vaiheavainnus.
RX	Receive tai receiver, vastaanotin.
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung Aktiengesellschaft; ohjelmistokonserni, jonka tietojärjestelmäohjelmiston nimi on sama kuin konsernin nimi.
SCPC/PSK	Singel Channel Per Carrier / Phase Shift Keying, signaalin kanavointitapa, jossa yksi kanava kantoaallolla.
SHF	Super High Frequency, SHF-alueen radiotaajuus (3 - 30 GHz).
SRV	Service Record.
TCP	Transmission Control Protocol, tietoliikenneprotokolla.
TOC	Tactical Operation Center, tilannekeskus.
UNIFIL	United Nations Interim Force in Lebanon, Yhdistyneiden kansakuntien kriisinhallintaoperaatio Libanonissa.
UXO	Unexploded Ordnance, räjähtämätön ammus.
UL	Uplink, maan ja satelliitin välinen yhteys tai nouseva siirtotie.
VHF	Very High Frequency, VHF-alueen radiotaajuus (30 - 300 MHz).
YK	Yhdistyneet Kansakunnat.

## 1 JOHDANTO

Yhdistyneiden Kansakuntien Turvallisuusneuvosto päätti vahventaa United Nations Interim Force in Lebanon -operaatiota, joka on toiminut Etelä-Libanonissa jo vuodesta 1978 lähtien. YK:n turvallisuusneuvosto antoi 11.8.2006 päätöslauselma 1701:n, jonka mukaan UNIFIL-operaatiota kasvatetaan lähes 15 000 sotilaaseen. Samalla ensimmäistä kertaa sitten vuoden 1978 myös Libanonin armeija, LAF, siirtyi Etelä-Libanoniin valvomaan tilannetta ja turvaamaan rauhaa yhdessä UNIFILin kanssa. / 1 /

UNIFIL-operaatio on jaettu itäiseen ja läntiseen sektoriin. / 2 / Suomalais-irlantilainen pataljoona toimi itäisellä sektorilla osana espanjalaisjohtoista prikaatia Marjayounin kaupungin läheisyydessä Blaten kylässä. Suomalais-irlantilaisen pataljoonan tukikohta Camp Ida 7-3 sijaitsi espanjalaisen tukikohdan, Base Cervantes 7-2, vieressä. Base Cervantes -tukikohdassa sijaitsi itäisen sektorin esikunta ja siellä majoittui noin 2 000 espanjalaissoilasta.

Valmisteluosasto, johon kuului, siirtyi operaatioalueelle Libanoniin 19.10.2006. Palvelin suomalais-irlantilaisessa pataljoonassa aina 31.10.2007 asti, jolloin pataljoona lakkasi olemasta operatiivinen osa UNIFILia. Rotaation vaihtuessa keväällä 2007 siirryin esikunta- ja huoltokomppanian komentojoukkueen viestiryhmään ja tehtävänäni oli toimia tietoliikennealiupseerina. Samalla toimin myös pataljoonan esikunnan S6-toimiston ATK-upseerin apuna ja hänen ollessa palvelusvapailta, toimin hänen sijaisenaan.

Henkilöstömuutosten vuoksi palvelukseni viimeisinä kuukausina toimin S6-toimistossa ATK-upseerina. Tämä tarkoitti sitä, että minut ylennettiin aliupseerista upseeriksi ja palvelusarvoni muuttui alikersantista sotilasvirkamies toiseen luokkaan. Sotilasvirkamies toinen luokka vastaa luutnantin arvoa ja sotilasvirkamieheksi ylennetään, mikäli virkaan nimetyllä henkilöllä ei ole tehtävään liittyvää reservin sotilasarvoa. Tämä menettely on hyvin yleistä kriisinhallintajoukoissa. Sotilasvirkamiehen arvoluokka määräytyy siviilikoulutuksen ja palvelusuhteen perusteella. Sotilasvirkamies, jolla on ylempi korkeakoulututkinto, ni-



mitetään kolmanteen luokkaan. Alemman korkeakoulututkinnon tai ammattikorkeakoulututkinnon suorittanut sotilasvirkamies nimitetään toiseen luokkaan ja ensimmäiseen luokkaan kuuluvat muut. / 3 /

## 2 PATALJOONAN TYÖYMPÄRISTÖ JA RAKENNE

Työympäristö ja työnteko Etelä-Libanonissa olivat haastavia ja hyvin erilaista verrattuna Suomessa työskentelemiseen. Elinympäristö toi omat haasteensa esimerkiksi tieto- ja radioliikenteelle Libanonin maan monimuotoisuuden takia, sillä katvealueita tieto- ja radioliikenteessä oli hyvin paljon. Vuoriston läheisyys aiheutti myös kostean ja sateisen ilmaston varsinkin talviaikaan, mikä osaltaan vaikutti hyvin paljon radiosignaalien laatuun.

Pataljoonan rakenteesta on kerrottava, jotta voidaan ymmärtää, millaiselle sotilasorganisaatiolle satelliittiyhteys luotiin ja signaalin vastaanottoasemalla lähiverkko rakennettiin. Tietoliikennejärjestelmä ei koskettanut koko pataljoonaa, vaan yhteydet keskitettiin tietyille pataljoonan osille. Nämä tietyt osat olivat niitä, jotka tarvitsivat tietoliikenneyhteyksiä päivittäisessä työnteossa.

### 2.1 Työnteko ja eläminen kriisinhallintaoperaatioissa

Vuoden kestäneen palvelukseni alkuvaiheessa uhkakuvina olivat maahan jääneet räjähtämättömät ammuksot, UXO:t, sekä mahdollinen uusi sota Hizbollahin ja Israelin välillä, sillä taistelujen taukoamisesta ja aselevosta ei ollut kulunut kuin kaksi kuukautta. Tilanne oli edelleen hyvin jännittynyt osapuolien välillä. Työskentely kriisinhallintaoperaatioissa Libanonissa lähellä Israelin rajaa toi myös uhkakuvan Hizbollahin mahdollisista raketti-iskuista Israelin puolelle. Raketti-iskut saattoivat aiheuttaa sen, että Israelin puolustusvoimat mahdollisesti vastaisivat raketti-iskuihin tekemällä ilmaiskuja Libanoniin. Yksi Hizbollah-taistelijoiden taistelutaktiikoista on ollut käydä tekemässä raketti-iskuja läheltä YK-tukikohtia, jolloin Israelin vastatoimenpiteet vaikeutuvat mahdollisten UNIFILiin kohdistuvien sivuvaikutusten vuoksi. Kesältä 2006 on kuitenkin muistissa isku YK:n sotilastarkkailijoiden tukikohtaan Khiamissa, jossa yksi suomalainen ja kolme muuta sotilastarkkailijaa menehtyi Israelin tekemässä ilmaiskussa. Palvelukseni edetessä uhkakuviksi sittemmin muodostuivat mahdol-

linen sisällissota syyriamielisten ja syyriavastaisten välillä, tienvarsipommit sekä edelleen UXOt.

Palvelukseni aikana myös terroristijärjestöiksi luettavat organisaatiot aiheuttivat oman uhkansa päivittäiselle työnteolle ja elämiselle. 24.6.2007 suoritettiin tuhoisa autopommi-isku noin kahden kilometrin päässä suomalais-irlantilaisen pataljoonan tukikohdasta. Iskussa menehtyi kuusi espanjalaista UNIFILin rauhanturvaajaa ja kaksi muuta espanjalaista UNIFIL-rauhanturvaajaa haavoittui. Mikään järjestö tai terroristisolu ei palvelukseni aikana ottanut iskusta vastuuta, mikä kertoo osaltaan uhanlaadusta. Terroristitekoihin saattoivat syyllistyä jopa yksittäiset henkilöt ilman minkään järjestön tukea.

Radiokuuntelu oli myös mahdollista molemmille osapuolille, Israelille ja Hizbollahille, sillä YK:n radioliikenne ei saanut olla missään määrin salattua. Tällä pyrittiin siihen, että kumpikaan osapuoli ei voinut vedota siihen, että UNIFIL auttaisi toista osapuolta salaa.

Israelilaisten läsnäolo oli havaittavissa, vaikka Libanonin valtion määperällä oltiin, sillä Israelin ilmavoimat suoritti paljon ylilentöjä Libanonin puolelle ja varsin usein suomalais-irlantilaisen tukikohdan ylitse sen maantieteellisen sijainnin takia.

## 2.2 Pataljoonan rakenne tietoliikennejärjestelmän kannalta

Suomalais-irlantilainen pataljoona koostui suomalaisesta vahvennetusta pioneerikomppaniasta, irlantilaisesta mekanisoidusta jalkaväkikomppaniasta, suomalais-irlantilaisesta esikunta- ja huoltokomppaniasta sekä suomalais-irlantilaisesta esikunnasta.

Sotilasorganisaatio ei kykene toimimaan ilman, että jokin tietty osa tekee paperityöt, päättää päivittäisistä asioista ja säännöistä sekä takaa komppanioille puitteet ja mahdollisuuden keskittyä omaan työhönsä. Tätä varten pataljoonassa oli esikunta, joka koostui kuudesta erilaisesta toimistosta, joilla kaikilla oli oma toimintasektorinsa. S-toimistot yhdessä pataljoonan komentajan ja varakomenta-

jan kanssa olivat pataljoonan osa-alue, jolle tietoliikennejärjestelmän rakentaminen ja ylläpito oli tärkeintä. Tärkein työtehtävä viestiryhmän osalta oli siis taata S-toimistoille toimiva ja katkeamaton tietoliikennejärjestelmä 24 tuntia vuorokaudessa.

Esikunta koostui kuudesta S-toimistosta, joiden vetovastuu oli jaettu suomalaisten ja irlantilaisten kesken. S1-, S2- ja S3-toimistot olivat irlantilaisten johtamia ja S4-, S5- ja S6-toimistot olivat puolestaan suomalaisten johtamia.

S1-toimisto oli henkilöstötoimisto, joka vastasi sotilasorganisaation henkilöstö- ja hallintoasioista. S2-toimisto oli tiedustelutoimisto, jonka toimintasektori oli tehdä tiedustelua osapuolista ja tutkia sekä selvittää mahdollisia uhkia. S3-toimisto oli operatiivisesta toiminnasta vastaava toimisto, joka ylläpiti esimerkiksi tilannekeskusta, TOC, joka oli yksi pataljoonan keskeisimpiä yksiköjä. TOC oli yhteydessä sekä prikaatin esikuntaan että UNIFILin esikuntaan niin puhelinvaihteen, radion kuin Lotus Notes -työryhmäohjelmiston asiakirjahallinnan ja sähköpostin välityksellä. Tilannekeskuksesta käsin pidettiin yllä liikkumisen seuranta tukikohdan ulkopuolella VHF-radioiden, satelliittipuhelimien sekä matkapuhelimien välityksellä.

S4-toimisto oli huoltoalan toimisto, jonka toiminta-alueeseen kuului järjestää puitteet, työkalut ja tarvikkeet pataljoonan huollon osille, tarjoten pataljoonan jokapäiväisen elämän pyörimisen tukikohdassa. S5-toimisto oli siviilien ja sotilaiden yhteistyötoimisto, CIMIC-toimisto. S5-toimisto toimi siis sotilasorganisaation ja paikallisten yhteiskunnallisten vaikuttajien sekä LAF:n välillä linkkinä. S6-toimisto, johon itse loppuajasta kuuluin, vastasi pataljoonan radio-, viesti- ja tietoliikenneyhteyksistä sekä lähiverkon toiminnasta ja rakentamisesta yhdessä esikunta- ja huoltokomppaniaan kuuluvan komentojoukkueen viestiryhmän kanssa.

Esikunta- ja huoltokomppania, EHK, oli pioneeritoimintaa tukeva yksikkö, joka huolsi pataljoonaa ja ylläpiti sen toimintaa yhdessä pataljoonan esikunnan kanssa. Pataljoonan toimivuuden kannalta EHK oli esikunnasta seuraava hierarkkinen taso sotilasorganisaatorakenteessa. Yksi sen tärkeimmistä osista oli kompani-

an toimisto, jossa hoidettiin komppanian hallinnollisia asioita yhdessä esikunnan S1-toimiston kanssa. Myös komppanianpäällikön toimisto, varasto, keittiö, kuljetustoimisto, hankkijoiden toimisto, irlantilaisten kansallinen huoltotoimisto NSE, korjaamo, postitoimisto, matkatoimisto ja lääkintä kuuluivat tietoliikennejärjestelmän piiriin esikunta- ja huoltokomppaniassa.

Pioneerikomppania, PionK, oli pataljoonan operatiivinen yksikkö yhdessä irlantilaisen mekanisoidun jalkaväkikomppanian kanssa, ja se tarvitsi myös toimivaa tietoliikennejärjestelmää. PionK:n osalta tietoliikennejärjestelmä ei ollut niin laajasti toteutettu kuin esikunnan ja EHK:n osalta. PionK:n toimistossa hoidettiin komppanian hallinnolliset asiat yhdessä esikunnan S1-toimiston kanssa. PionK:n päällystö, pysty- ja vaakarakentamisen suunnitteluryhmä, sähköryhmän johto ja joukkueenjohtajat (kevytkonejoukkue, raskaskonejoukkue, rakennusjoukkue ja räjähderaivausjoukkue eli EOD-joukkue) tarvitsivat myös toimivaa tietoliikennejärjestelmää.

Näille edellä esitellyille pataljoonan osille rakennettiin tietoliikennejärjestelmä ja lähiverkko.

### 3 TIETOLIIKENNEJÄRJESTELMÄN RAKENNE

Tietoliikennejärjestelmän rakentaminen, kun lähetysasema on monen tuhannen kilometrin päässä vastaanottoasemalta, vaatii monen eri tekijän ottamista huomioon. Tarvitaan sopiva satelliittilaajakaistapalvelu palveluntarjoajalta, jolla on mahdollisuus lähettää signaalia sellaiselle satelliitille, jolla signaali voidaan toimittaa vastaanottoasemalle ja vastaanottaa lähetysasemalta lähetetty signaali. Käytettävän signaalin korkea taajuuskaista tuo omat haasteensa, sillä ilmakehän absorptio ja sateen vaikutus heikentävät signaalia huomattavasti. / 23 /

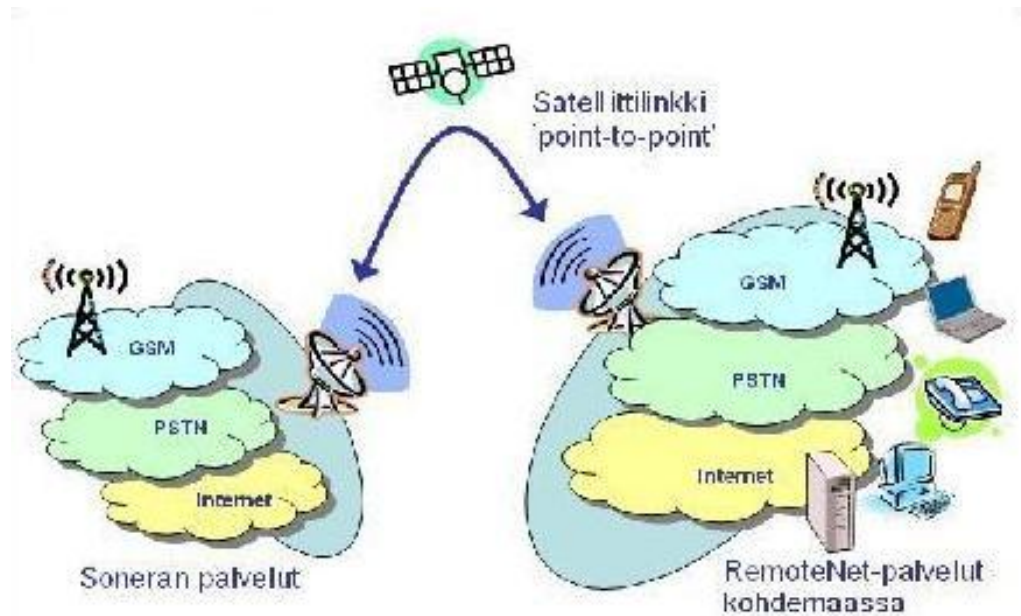
Vastaanottoasemalla vastaanotetusta moduloidusta signaalista täytyy myös saada eroteltua haluttu informaatio-signaali. Tällöin signaalin modulaatio- ja kanavoitimenetelmät pitää olla tiedossa ja niiden toiminta pitää ymmärtää. Satelliittiyhteyden viiveen ollessa hyvinkin pitkä pitkän välimatkan vuoksi, on käytettä-

vä myös virheenkorjausta, että voidaan välttää ylimääräistä datan uudelleenlähettämistä.

### 3.1 Satelliittilaajakaista

Satelliittilaajakaistan käytössä oli huomioitava sen ominaisuuksia verrattuna normaaliin laajakaistayhteyteen. Satelliittiyhteyden viive on hyvinkin pitkä verrattuna maanpäällisiin yhteyksiin. Yhteyden viive ja laatu vaihtelevat paljon ja yhteys katkeilee aina välillä. Vastaanottoaseman lähetyksenopeus on myös paljon pienempi kuin vastaanottonopeus. Satelliittiyhteydessä signaalia huonontavia tekijöitä ovat sääolosuhteet (voimakas sade, kova sumu tai usva ja räntäsade) niin lähetyksen- kuin vastaanottoasemalla, koska sääolosuhteet vaimentavat sähkömagneettista säteilyä niin paljon, että yhteys saattaa katketa. Tämä selittyy sillä, että korkea taajuus,  $K_u$ -taajuuskaista, tuo mukanaan suuren vapaan tilan vaimennuksen, joka kasvaa nopeasti sääolosuhteiden huonontuessa. Myös satelliitin sijainti taivaalla on signaaliin vaikuttava tekijä, joka saattaa vaikuttaa jopa 500 ms vasteaikaan käyttäjältä satelliitille. Tietoliikenneprotokollassa saattavat paketit myös kadota matkalla, jolloin TCP-protokolla pienentää ikkunaa aiheuttaen, että yhteyden nopeus laskee. Kun huomataan, että paketteja on kadonnut, joudutaan kaikki virheellisen paketin jälkeen lähetetyt paketit lähettämään uudelleen. Kadonneesta kuittauspaketista seuraa aikakatkaisun mittainen lähetyksen toisto. / 4 /

Pataljoonan tietoliikennejärjestelmän rakentaminen aloitettiin tekemällä sopimus yrityksen kanssa, joka pystyi toimittamaan satelliittilaajakaistan Suomesta Etelä-Libanoniin. Satelliittilaajakaistaksi valittiin RemoteNet-palvelu TeliaSonera Finland Oyj:ltä.



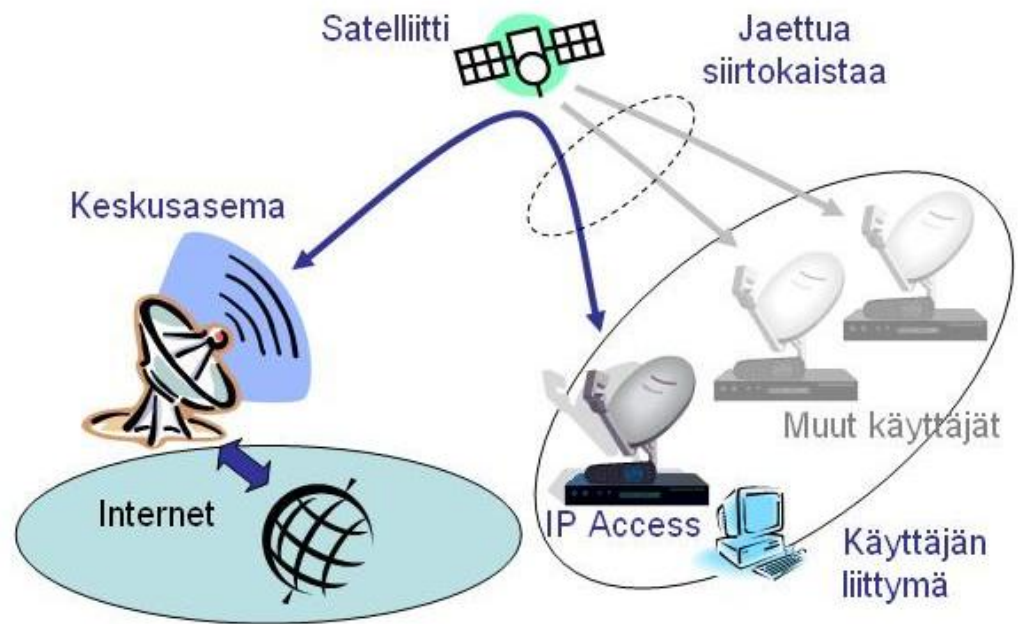
Kuva 1 TeliaSonera Finland Oyj:n RemoteNet-palvelun periaatekuvaus / 5 /

RemoteNet-palvelu tarjosi kahta erilaista satelliitti TCP/IP-mallin Internet-kerroksen protokollapalvelua: IP Access ja IP Connect. Pataljoonan järjestelmässä käytössä oli IP Access -palvelu, joka on asiakaskohtainen Internet-liittymä satelliitin kautta. IP Accessin siirtonopeudet olivat maksimissaan seuraavat:

Taulukko 1 IP Accessin siirtonopeudet / 5 /

	UL / kbit/s	DL / kbit/s
lk 1	128	256
lk 2	512	1024
lk 3	1024	2048

Siirtokaista jaettiin kymmenen eri toimijan kesken. Siirtonopeudeksi valittiin luokka 3, jonka siirtonopeudet olivat 1024/2048 kbit/s, maa-satelliittiyhteys, UL ensin mainittuna.



Kuva 2 IP Access / 5 /

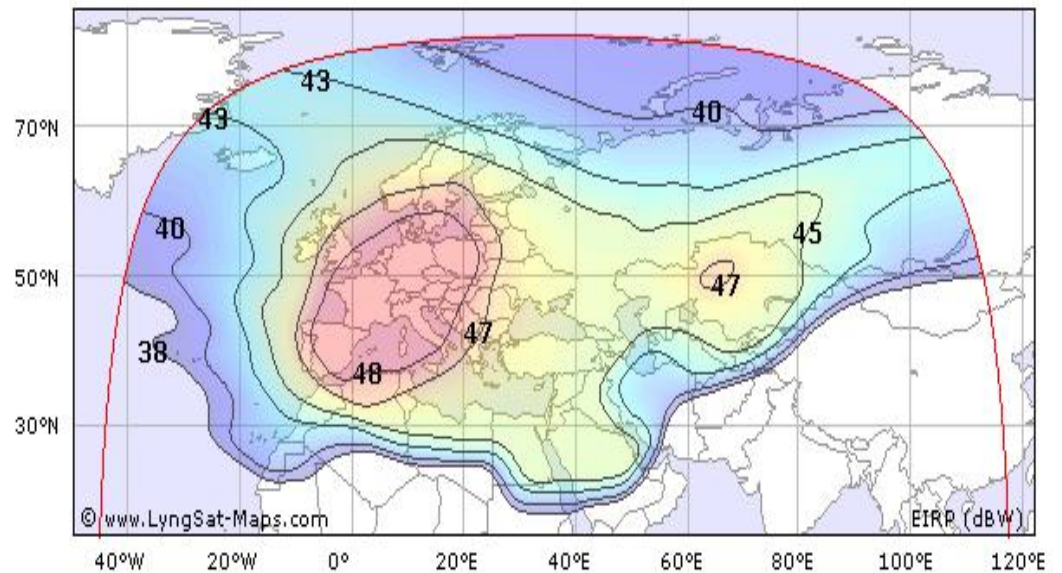
Käytössä olleen satelliittilaajakaistan palvelutaso oli kaksisuuntainen jaettu satelliitti-internet-yhteys. Tämä kyseinen palvelutaso valittiin sen takia, että pataljoonan tietoliikennejärjestelmän ei näin tarvinnut olla kytkeytyneenä maanpäälliseen verkkoon Libanonissa, kun paluukanava lähetettiin suoraan takaisin satelliitille. Kaksisuuntaisen palvelutason heikkoudet ovat laitekustannukset sekä yhteysviive, joka on noin 500 ms edestakaisin käyttäjältä satelliitin kautta Suomeen. / 6 /

Helsingistä TeliaSonera Oyj:n lähettämä signaali käytti  $K_u$ -taajuuskaistaa, jonka taajuusalue on 12 - 18 GHz. Se siis sijoittuu Super High Frequency -taajuusalueelle (SHF). / 7 /

### 3.2 Satelliitti Eutelsat SESAT 1 :: 36° East

Satelliittina käytössä oli geosynkroninen, eli maahan nähden paikallaan pysyvä Eutelsat SESAT 1 :: 36° East -satelliitti, jonka omistaa Eutelsat Communications. SESAT tulee englanninkielisistä sanoista Siberia - Europe SATellite ja satelliitin on rakentanut NPO-PM. Satelliitti on laukaistu kiertoradalle 18.4.2000 ja sen sijainti Maata kiertävällä kiertoradalla on Afrikan sarven läheisyydessä. Satelliitin suunniteltu elinikä on kymmenen vuotta. / 8 /

Eutelsat SESAT 1 :: 36° East -satelliitti tarjoaa laajan valikoiman tietoliikennepalveluja laajalle maantieteelliselle alueelle Atlantin valtamereltä Siperiaan asti ja se jakaa Eutelsat W4 -satelliitin kanssa 36° -pituusasteen. / 8 /



Kuva 3 Eutelsat Sesat :: 36° East -satelliitin kiinteä peittoalue / 9 /

Satelliitissa on käytössä 18 transponderia eli lähettinvastaanotinta. Yhden lähettinvastaanottimen kaistanleveys ( $BW$ ) on 72 MHz, joten satelliitin kokonaiskaistanleveydeksi ( $BW_{kok}$ ) saadaan 1,296 GHz. / 10 /

Kokonaiskaistanleveys:

$$BW_{kok} = 18 \cdot 72 \text{ MHz}$$

$$BW_{kok} = 1296 \text{ MHz}$$

$$BW_{kok} = 1,296 \text{ GHz}$$

Satelliitin suurin vahvistuksen ja kohinalämpötilan suhde ( $G/T_{max}$ ) on +4 dB/K ja ekvivalenttinen isotrooppinen säteilyteho ( $EIRP$ ) on 47 dBW, joka vastaa 77 dBm. / 11 /

Seuraavassa on laskettu dBW:n ja dBm:n vastaavuus:

$$10^{47/10} = 50119 \text{ W} = 50,1 \text{ kW}$$



$$10^{77/10} = 50119000mW = 50,1kW$$

*EIRP* koostuu lähettimen tehon  $P_T$  ja antennivahvistuksen  $G_a$  summasta, josta vähennetään kaapelivaimennus  $L_C$ .

$$EIRP = P_T + G_a - L_C$$

*EIRP* ei kuitenkaan tarkoita yhden lähetin vastaanottimen lähetysteho, vaan yhden lähetin vastaanottimen lähetysteho  $P$  on 84 W enimmillään. / 11 /

$$P_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_w}{1mW}\right)$$

$$P_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{84W}{1mW}\right)$$

$$P_{dB} \approx 49dBm$$

Eutelsat Sesat 1 :: 36° East -satelliitin suomalais-irlantilaiselle pataljoonalle varattu DL-taajuus oli 12 591,578 MHz ja UL-taajuus 14 113,580 MHz F3-lähetin vastaanottimelta.

Horizontal Uplink	Horizontal Downlink	Transponder	Vertical Downlink	Vertical Uplink	Uplink beam	Downlink beam
	12.54167	F1		14.04167	Fixed or steerable	Fixed
14.04167		F2	12.54167		Fixed or steerable	Fixed
	12.62500	F3		14.12500	Fixed	Fixed
14.12500		F4	12.62500		Fixed	Fixed
	12.70833	F5		14.20833	Fixed	Fixed
14.20833		F6	12.70833		Fixed	Fixed

Kuva 4 Eutelsat Sesat 1 :: 36° East -satelliitin lähetin vastaanotin F3 / 11 /

Satelliitti sijaitsee siis geosynkronisella, toiselta nimeltään geostationarisella radalla, joka on ekvaattoritasossa eli päiväntasaajaalla oleva ympyrärata, jolloin yksi kierros maan ympäri kestää yhden vuorokauden. Satelliitin etäisyys maanpinnasta vaihtelee, ja sen perigeumi on 35 770 - 35 780 kilometrissä ja apogeumi vastaavasti on 35 810 - 35 820 kilometrissä. / 12 / Radalla kiertävä satelliitti kiertää Maata samalla kulmanopeudella kuin Maa pyörii. Geostationarisella radalla kiertävälle satelliitille voidaan näin ollen johtaa sen ratanopeus.

Vapaassa pudotusliikkeessä ympyräradalla keskipakovoima ja keskuskappaleen vetovoima kumoavat toisensa ja Newtonin toisen lain mukaan voimat ovat muotoa ”massa kertaa kiihtyvyys”:

$$m_{sat} \cdot a_g = m_{sat} \cdot a_c$$

Satelliitin massa kumoutuu, joten rata on siitä riippumaton. Keskipakovoiman kiihtyvyys on  $|a_c = \omega^2 \cdot r|$ , jossa kulmanopeus  $\omega$  ja radan säde  $r$  mitattuna keskuskappaleen keskipisteestä.

Keskuskappaleen gravitaation vetovoima on:  $|a_g| = \frac{M_e \cdot G}{r^2}$ , jossa  $M_e$  on Maan massa ja  $G$  gravitaatiovakio. Korvataan  $M_e \cdot G$  kertoimella  $\mu$  ja täten saadaan:

$$r^3 = \frac{\mu}{\omega^2}$$
$$r = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\omega^2}}$$

Maan kulmanopeus  $\omega$  on toisaalta matka ( $360^\circ = 2\pi rad$ ) jaettuna Maan periodilla, joka on 86 164 sekuntia.

Täten saadaan  $\omega = \frac{2\pi}{86164} = 7,29 \times 10^{-5} rad \cdot s^{-1}$ . Säde on Maan keskipisteestä 42 164 km, joten ratanopeus saadaan laskettua seuraavasti:

$$v = \omega \cdot r = 7,29 \times 10^{-5} rad \cdot s^{-1} \cdot 42164 km = 3,07 km \cdot 3600 s = \underline{11052 km / h}.$$

### 3.3 Satelliittilautanen

Signaalin vastaanottoasemalla suomalais-irlantilaisen pataljoonan tukikohdassa Etelä-Libanonissa oli käytössä TeliaSonera Oyj:n satelliittilautanen, jonka halkaisija oli 180 senttimetriä ja lähettimen teho oli 16 W, joka vastaa 42 dBm:ä.

Tämä voidaan todeta muuntamalla teho wateista desibeleihin seuraavalla kaavalla:

$$P_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_w}{1mW}\right)$$

$$P_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{16W}{1mW}\right)$$

$$P_{dB} = 42dBm$$

Satelliittilautasen atsimuutti eli suuntakulma oli  $176,3^\circ$ . Atsimuutti siis ilmaisee ilmansuunnan, jossa satelliitti näkyy. Käytössä oli kompassiasteet  $0 - 360^\circ$ , jossa  $180^\circ$  vastaa etelää, joten satelliittilautanen oli suunnattu pataljoonan tukikohdassa noin  $4^\circ$  etelästä itäänpäin.

Satelliittilautasen elevaatiokulma oli  $48,3^\circ$ . Elevaatiokulma voi vaihdella  $0 - 90^\circ$  välillä, jolloin  $90^\circ$  on suunnattu zeniittiin eli suoraan ylöspäin.

Satelliittilautasen huollosta ja säätämisestä vastasi TeliaSonera Oyj.



Kuva 5 TeliaSonera Oyj:n satelliittilautanen / 13 /

### 3.4 $K_u$ -taajuuskaista

$K_u$ -taajuuskaistaa käytetään pääasiassa satelliittitelevisiolähetysiin eikä niinkään satelliittilaajakaistaratkaisuihin.  $K_u$ -taajuuskaistan taajuusalue on jaettu useampaan maantieteelliseen lohkokon Kansainvälisen televiestintäliiton, ITU:n, toimesta. ITU on maailmanlaajuinen telealan määräyksistä huolehtiva organisaatio, joka kuuluu YK:iin. ITU:n jakamia päävyöhykkeitä on kolme: ITU-region 1, ITU-region 2 ja ITU-region 3. Pataljoonan tukikohta sijaitsee ITU-region 1:llä, johon kuuluvat Lähi-idän lisäksi Afrikka sekä Eurooppa. ITU-region 1 on varattu kiinteälle satelliittiliikenteelle ja sen taajuusalueeksi on määritetty DL-suuntaan 12,2 - 12,7 GHz ja 12,5 - 12,75 GHz sekä UL-suuntaan 14,0 - 14,5 GHz. / 7 /

$K_u$ -taajuuskaistaa käytettäessä ilmakehän absorptiolla ja sateen vaikutuksella on ensisijainen merkitys radioyhteyden suunnittelussa. Radioaaltojen eteneminen ilmakehän läpi yli 10 GHz:n taajuuksilla tuo mukanaan vapaan tilan vaimennuksen ja sironnan lisäksi muita merkittäviä vaimennustekijöitä. Näitä ovat esimerkiksi sateen, sumun, usvan, pölypilvien, savun sekä ilman suolahiukkas-

ten ja kaasujen vaikutustekijät. Tästä syystä taajuusalueet ovat käyttökelvottomia monille sovelluksille. / 23 /

Vapaan tilan vaimennuksen kaava  $L_{dB} = 32,4 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log D_{km}$  voidaan kirjoittaa SHF-taajuusalueella seuraavaan muotoon:

$$L_{dB} = 92,45 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log D_{km} + a + b + c + d + e, \text{ jossa}$$

$a$  = vesihöyryn aiheuttama lisävaimennus

$b$  = usvan ja sumun aiheuttama lisävaimennus

$c$  = hapen ( $O_2$ ) aiheuttama lisävaimennus

$d$  = muiden kaasujen aiheuttama absorptio

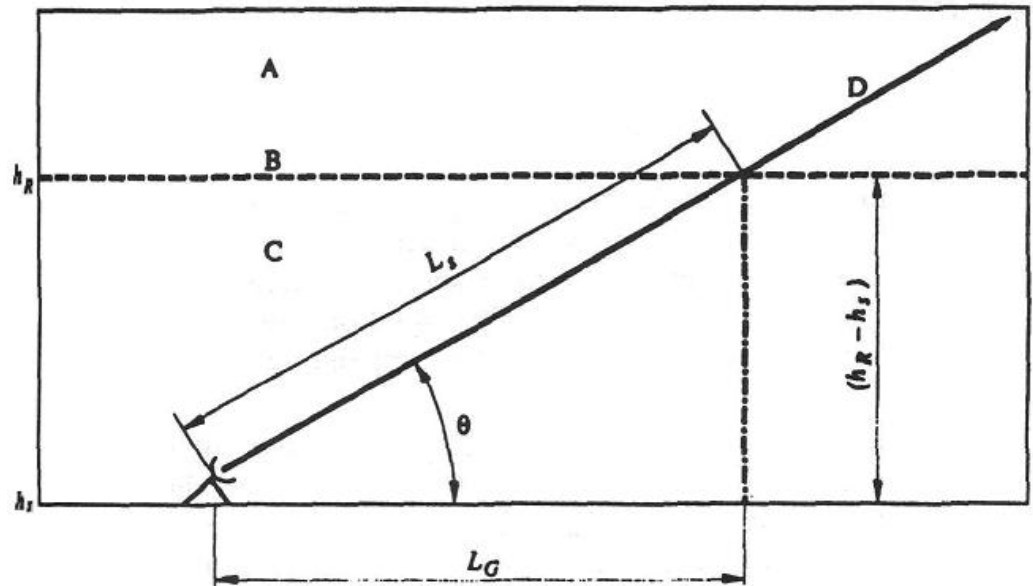
$e$  = sateen aiheuttama lisävaimennus

Niin sateen ja pilven tiheydet kuin sadepisaroiden sekä sumun ja usvan vesihiukkasten kokokin vaikuttavat edellä mainitun vapaan tilan vaimennuksen kaavan  $b$ - ja  $e$ -termeihin. Laskemista vaikeuttaa se, että näissä tapauksissa ilmakehää ei voida mieltää homogeeniseksi. Vesipisaran halkaisijan ollessa pienempi kuin 0,01 cm, mielletään se sumuksi tai usvaksi. Vesipisaran halkaisijan ollessa puolestaan suurempi kuin 0,01 cm, mielletään se sateeksi. / 23 /

Termejä  $a$  ja  $c$  kutsutaan yleensä yhteisellä nimityksellä ilmakehän vaimennukseksi.

Ilmastotekijöiden vaimennuksista sateen aiheuttama lisävaimennus oli yksi merkittävimmistä syistä yhteyden katkeamiseen lähetysaseman (Helsinki) ja vastaanottoaseman (Camp Ida) välillä.

Seuraavassa tarkastellaan sateen vaikutusta satelliittiyhteyteen, kun käytössä oli  $K_u$ -taajuuskaista ja lasketaan sateen aiheuttama lisävaimennus.



Kuva 6 Maa-avaruusreitit / 23 /

- $A$  = jäätyneen sateen sadealue
- $B$  = sateen korkeus
- $C$  = nestemäisen sateen sadealue
- $D$  = maa-avaruusreitti

$h_s$  = lautasen keskimääräinen korkeus merenpinnasta

$h_R$  = todellinen sateenkorkeus

$\theta$  = satelliittilautasen elevaatiokulma

$\phi$  = absoluuttisen leveyspiirin arvo

Ensimmäisenä lasketaan todellinen sateenkorkeus  $h_R$  leveyspiirin  $\phi$  arvon avulla. Käytössähän oli Eutelsat SESAT 1 :: 36° East -satelliitti, joten  $\phi$  on 36°.

Käytetään kaavaa  $h_R = 4,0 - 0,075 \cdot (\phi - 36)$ , kun  $\phi \geq 36^\circ$

$$h_R(km) = 4,0 - 0,075 \cdot (36 - 36)$$

$$h_R = 4,0km$$

Tämän jälkeen pitää laskea maa-avaruusreitit vääristymä hyödyntäen suorakulmaisen kolmion trigonometriaa. Vastaanottoaseman satelliittilautasen korkeus

merenpinnasta  $h_s$  oli noin 680 metriä ja satelliittilautasen elevaatiokulma  $\theta$  oli  $48,3^\circ$ . Mitä matalampi satelliittilautasen kulma on, sitä pidemmän matkan signaali kulkee ilmakehässä, joten sitä kauemmin se on myös sateen vaikutusalueella.

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \cdot km$$

$$L_s = \frac{4,00 - 0,68}{0,75} \cdot km$$

$$L_s = 4,45km$$

Täten saadaan laskettua kuvassa 6 esitetty horisontaalinen ennuste  $L_G$  sateen vaikutusalueeksi.

$$L_G = L_s \cdot \cos \theta$$

$$L_G = 4,45km \cdot 0,67$$

$$L_G = 2,96km$$

Liitteestä 1 saadan selville, että vastaanottoasema sijaitsee sadevyöhykkeellä E.

Percentage of Time (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1.0	< 0.5	1	2	3	1	2	3	2	8	2	2	4	5	12	24
0.3	1	2	3	5	3	4	7	4	13	6	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

Kuva 7 Sadevyöhykkeet – sateen intensiteetti (mm/h) / 23 /

Kuvasta 7 tarkistetaan sadevyöhykkeen E sadekertymä tunnissa, kun käytetään sateen intensiteetin arvoa 0,01 %. Sadekertymä  $R_{0,01} = 22mm/h$

Sadekertymän selvittämisen jälkeen lasketaan muuntokerroin  $r_{0,01}$ .

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + \frac{L_G}{L_0}}, \text{ missä } L_0 = 35 \exp^{(-0,015 \cdot R_{0,01})}$$

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + \frac{2,96 \text{ km}}{25,16 \text{ km}}}$$

$$r_{0,01} = 0,895$$

$K_u$  -taajuuskaistaa käytettäessä satelliittin maayhteyden taajuus on välillä 12 - 15 GHz, voidaan tarkka vaimennus laskea regressiokertoimista, jotka saadaan liitteen 2 taulukosta, jotka ovat seuraavat:

$$a_h = 0,0188 \text{ ja } b_h = 1,217.$$

Seuraavaksi lasketaan todellinen vaimennus yhden kilometrin matkalla seuraavalla kaavalla:

$$A_{eff(0.01)} = a \cdot R_{0,01}^b$$

$$A_{eff(0.01)} = 0,0188 \cdot 22^{1,217}$$

$$A_{eff(0.01)} = 0,81 \text{ dB / km}$$

Tämän jälkeen lasketaan ennustettavissa oleva lisävaimennus, joka menee yli 0,01 %:n sateen intensiteetin rajan.

$$A_{eff(path0.01)} = A_{eff(0.01)} \cdot L_s \cdot r$$

$$A_{eff(path0.01)} = 0,81 \text{ dB / km} \cdot 2,96 \text{ km} \cdot 0,895$$

$$A_{eff(path0.01)} = 2,14 \text{ dB}$$

Käytettäessä 0,01 %:n sateen intensiteetin rajaa, pitää laskea vielä 0,001 % sateen intensiteetin rajan lisävaimennus. 0,001 % sateen intensiteetin rajan interpolointivakio on 2,14. / 23 /



$$A_{0.001} = 2,14dB \cdot 2,14$$

$$A_{0.001} = \underline{4,59dB}$$

Sateen aiheuttama lisävaimennus on 4,59 dB.

Ionisoimattoman ilmakehän vaikutukset on otettava huomioon kaikilla taajuuksilla, mutta kriittisiksi nämä vaikutukset tulevat yli 1 GHz:n taajuusalueilla toimittaessa. ITU-R -radioviestintäsektori on maininnut muutamia huomioitavia vaikutuksia satelliittin maayhteysreitien suunnittelussa. Niitä ovat mm. absorptio ilmakehän kaasussa, kuten pilvien ja sateen vesipisaroiden absorptio, sironta ja depolarisaatio. Satelliittilautasen antennin säteilykeilan poikkeamien aiheuttamat signaalikatkot, jotka johtuvat aallon normaalista etenemisuunnan taittumisesta ilmakehässä. Vaihedekorrelaation aiheuttama antennivahvistuksen väheneminen ja paikallisten ympäristötekijöiden (rakennukset, puut) aiheuttama vaimennus sekä ylimääräinen viive satelliittiyhteydessä. / 23 /

### 3.5 L-taajuuskaistan IF-taajuus

Tukikohdassa satelliittimodeemi oli sijoitettu tilannekeskuksen yhteydessä oleeseen elektromagneettisilta pulsseilta, EMP, suojattuun High Frequency -parakkikonttiin, jonne signaali kulki TeliaSonera Oyj:n satelliittilautaselta johdinta pitkin L-taajuuskaistan välitaajuudella.

L-taajuuskaistan taajuusalue on yleisimmin 1 - 2 GHz. Näin ollen aallonpituus on luokkaa 149 mm - 299 mm, joka saadaan laskettua kaavasta  $\lambda = \frac{v}{f}$ , missä  $\lambda$  on aallonpituus,  $f$  taajuus ja  $v$  aallon etenemisnopeus tyhjiössä, eli valonnopeus.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1\text{GHz}}$$

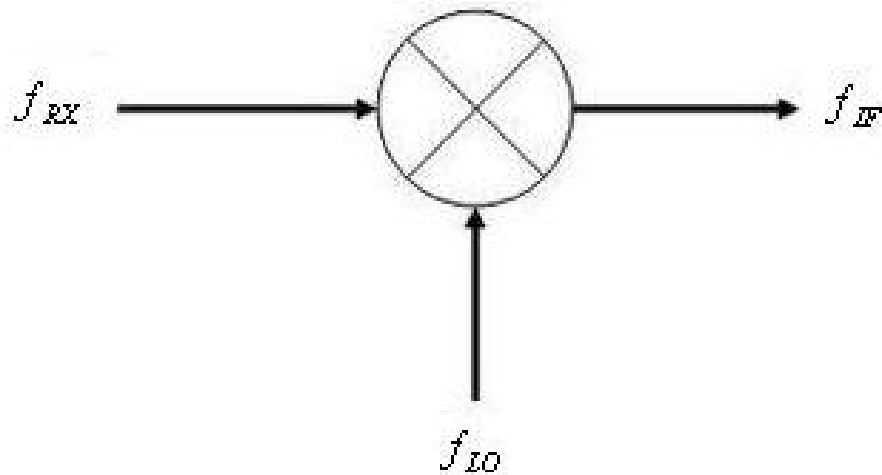
$$\lambda \approx \underline{299\text{mm}}$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2\text{GHz}}$$

$$\lambda \approx \underline{149\text{mm}}$$

Vastaanotettu signaali, RX-signaali, saatiin välitaajuudelle vastaanottimen sekoittajalla eli mixerillä. Sekoittajassa RX-signaali saadaan muutettua halutulle välitaajuudelle  $f_{IF}$  sekoittamalla tulosignaali paikallisoskillaattorisignaalin  $f_{LO}$  kanssa säilyttäen sisääntulevan RX-signaalin sisältämä informaatio muuttumattomana.

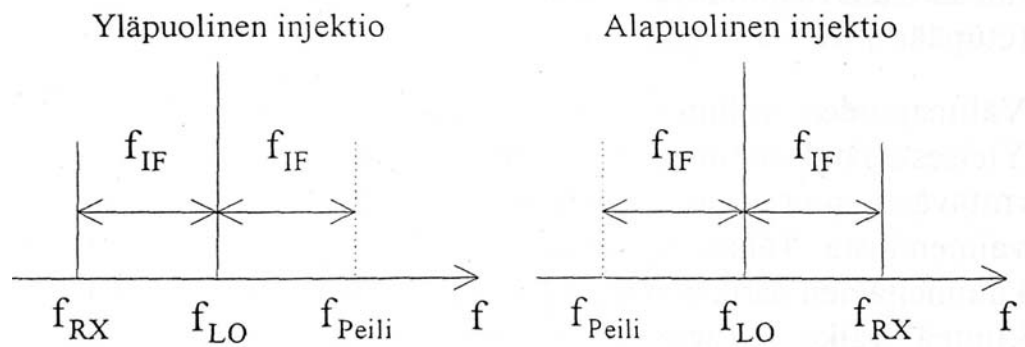


Kuva 8 Sekoittimen periaatekuva / 16 /

Sekoittimen perusyhtälö on muotoa  $f_{IF} = |m \cdot f_{RX} \pm n \cdot f_{LO}|$ , missä  $f_{IF}$  on välitaajuus,  $f_{RX}$  vastaanottotaajuus,  $f_{LO}$  paikallisoskillaattoritaaajuus,  $m$  ja  $n$  positiivisia kokonaislukuja. Normaalisti haluttu arvo  $m$ :lle ja  $n$ :lle on 1.

Sekoittimen perusyhtälöllä saadaan lasketuksi niin sanotut harhatoistotaajuudet, jotka synnyttävät myös halutun välitaajuuden,  $f_{RX1} = f_{LO} + f_{IF}$  ja  $f_{RX2} = f_{LO} - f_{IF}$ . Toinen näistä kahdesta taajuudesta on haluttu vastaanottotaajuus ja toinen peilitaajuus. Peilitaajuus sijaitsee peilisymmetrisesti paikallisoskillaattoriin nähden.

Paikallisoskillaattorisignaalin  $f_{LO}$  ollessa vastaanottotaajuuden  $f_{RX}$  yläpuolella, on kyseessä yläpuolinen injektio ja vastaavasti paikallisoskillaattorisignaalin ollessa vastaanottotaajuuden alapuolella, on kyseessä alapuolinen injektio. Pääsääntöisesti käytetään yläpuolista injektiota.



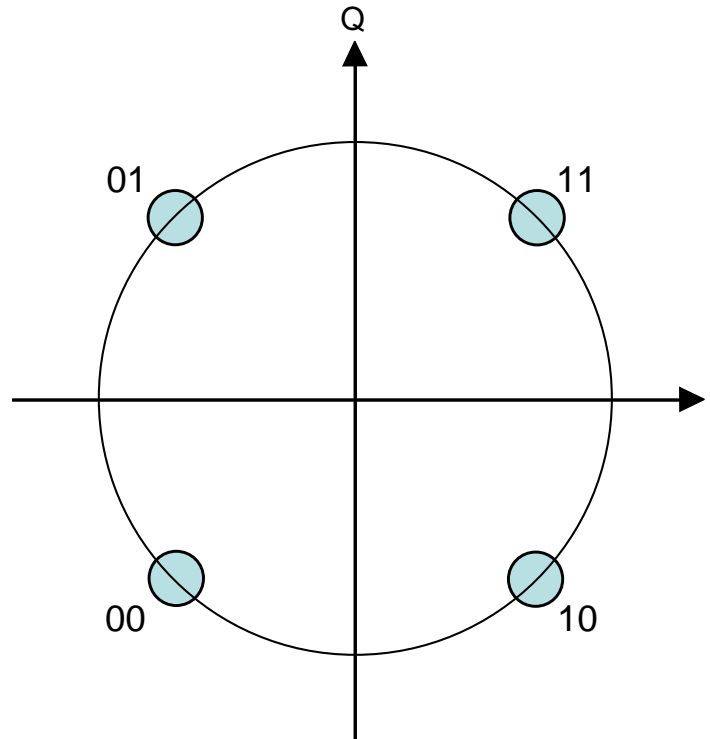
Kuva 9 Ylä- ja alapuolinen injektio / 24 /

Injektiosignaalin valinnalla, ylä- tai alapuolisella, voidaan vaikuttaa peilitaajuusalueen muodostumiseen ja sitä kautta sen vaimentamiseen etupään suodatimella. Näin ollen välitaajuuden käytön etuna on se, että kiinteälle taajuudelle voidaan helpommin rakentaa kapeakaistainen suodin, jolla häiritsevät naapurisignaalit sekä peilitaajuus saadaan tehokkaasti suodatettua.

### 3.6 Vaiheavainnus

Signaali oli moduloitu vaiheavainnuksella, eli PSK:lla. PSK kuuluu eksponentiaalisten modulaatiomenetelmien luokkaan. Vaihemoduloinnissa moduloiva signaali muuttaa kanta-aallon vaihetta suoraan ja hetkellinen vaihe kertoo sanoman arvon. Digitaalisessa vaihemoduloinnissa on päätettävä, mitä vaihetta käytetään millekin binäärisen symbolin arvolle. / 22 / TeliaSonera Oyj:n lähettämän signaalin moduloinnissa oli käytetty joko QPSK tai 8-PSK.

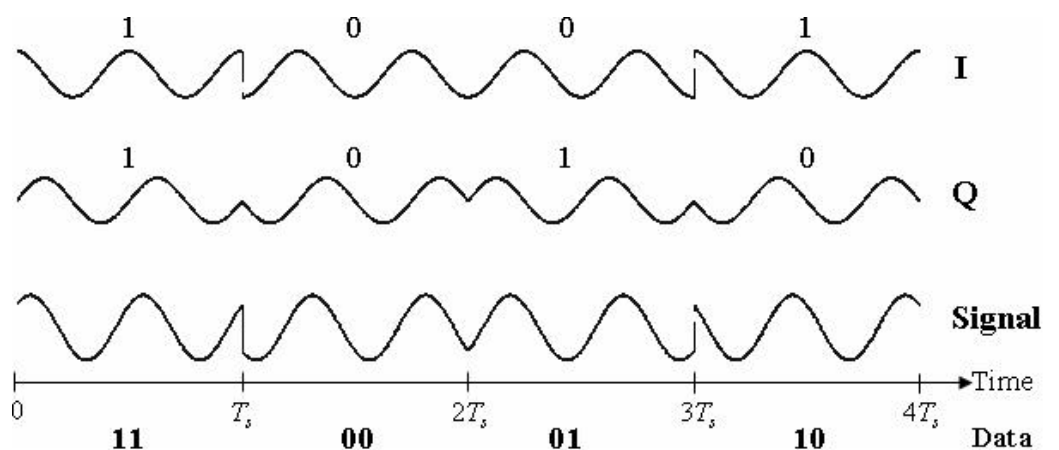
QPSK on kulmamoduloitu, vakioamplitudinen modulaatiomenetelmä. QPSK:ssa nelivaiheinen vaiheavainnus käyttää neljää kanta-aallon vaihetta, esimerkiksi  $+45^\circ$ ,  $+135^\circ$ ,  $+225^\circ$  ja  $+315^\circ$  astetta ja voi ilmaista neljä ( $2^2 = 4$ ) numeroarvoa 0 - 3. Grayn koodilla ilmaistuna bittikaksikot ovat 00, 01, 10, 11. Kanta-aaltotaajuutta ei vaihdeta, mutta vaiheen käännon aikaan esiintyy siirtymän nopeudesta riippuvan määrän verran sivunauhoja. / 22 /



Kuva 10 QPSK:n konstellatio / 14 /

Kuvassa 10 bittikaksikko 00 vastaa kanta-aallon vaihetta  $+225^\circ$ , bittikaksikko 01 vastaa  $+135^\circ$ , bittikaksikko 10 vastaa  $+315^\circ$  ja bittikaksikko 11 vastaa  $+45^\circ$ .

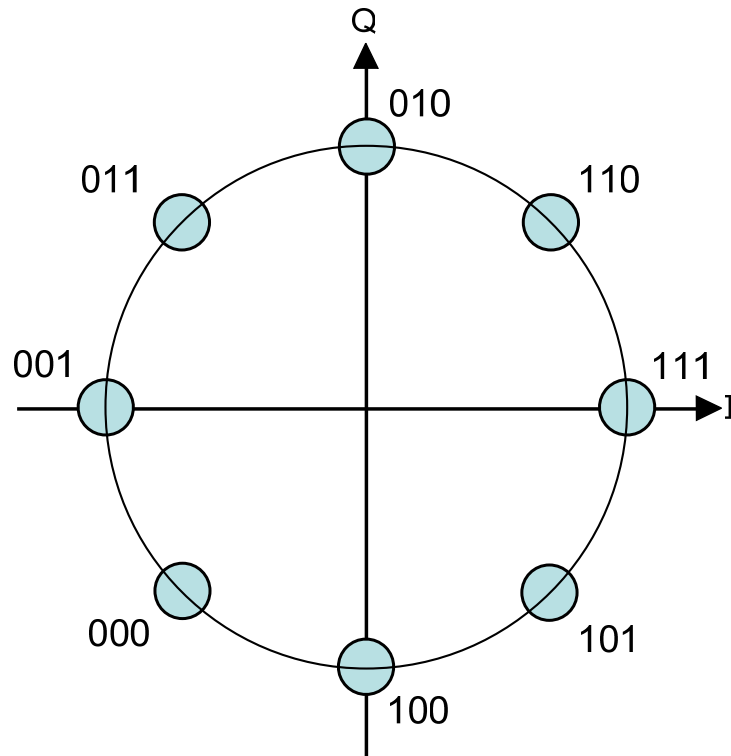
Moduloitava signaali jaetaan parillisiin ja parittomiin bitteihin, jotka koodataan yhtä aikaa. Bittivirrat  $Q$  ja  $I$  yhdistetään, jolloin saadaan varsinainen signaali.



Kuva 11 QPSK:n bittivirrat / 17 /

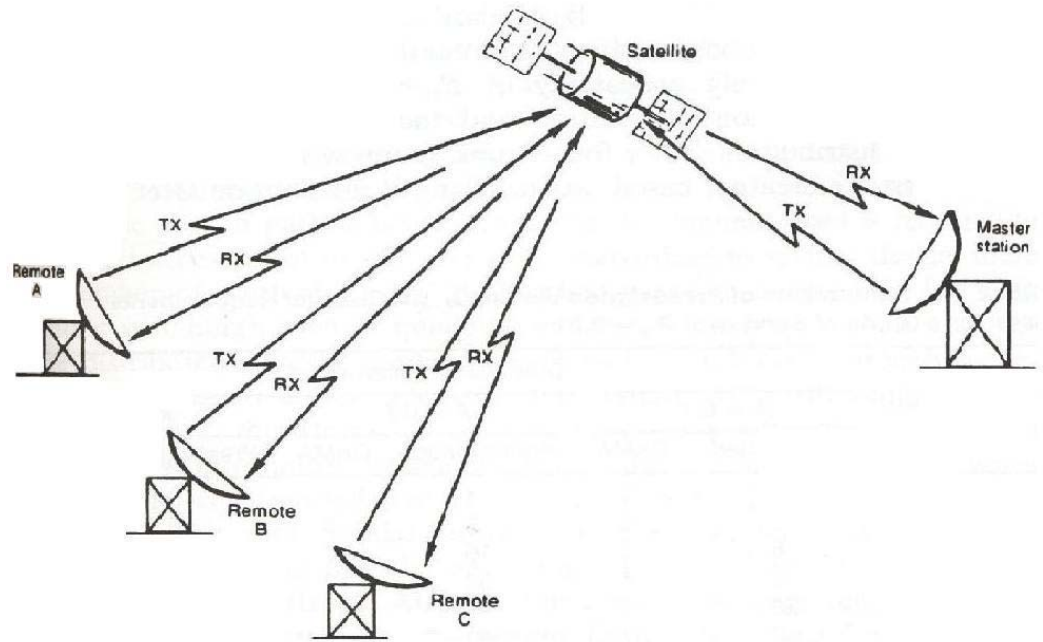
8-PSK:sta käytettäessä symbolissa on käytössä kahdeksan eri ulostulovaihetta. Kahdeksan ulostulovaiheen koodaamisessa sisääntulobitit ovat kolmen bitin

ryhmissä ja näitä kutsutaan bittikolmikoiksi ja siten voidaan ilmaista kahdeksan ( $2^3 = 8$ ) eri numeroarvoa 0 - 7. Grayn koodilla ilmaistuna bittikolmikot ovat 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111. / 22 /



Kuva 12 8-PSK:n konstellaatio / 14 /

Signaalin kanavointi toteutettiin SCPC/PSK -vaihevainnuksella, jota käytetään paljon tietoliikennesatelliiteissa. SCPC:ssa jokainen kanava lähetetään omalla kanta-aallolla ja sen tekniikka on yksinkertaista sekä luotettavaa. SCPC sallii nopean point-to-point satelliittiyhteyden muodostamisen ilman, että tarvitsee kerätä muita kanavia yhteyden muodostamiseen. Kun signaalin kanavointi toteutetaan SCPC/PSK:lla, saadaan signaalille kiinteä taajuus sekä kaistanleveys. Sen toteutus ei ole myöskään kallista, vaan se pystytään toteuttamaan halvoilla komponenteilla. Haittapuolina signaalin kanavoinnissa SCPC/PSK:lla ovat, että se tuhlaa kaistaa, mikäli dataa ei lähetetä. Jokainen kanava vaatii erillisen satelliittimodeemin vastaanottoasemalla, joka puolestaan nostaa käytettävän järjestelmän hintaa ja se vaatii vielä yleensä paikallista hallintaa. / 18 /



Kuva 13 SCPC-järjestelmän periaatekuvaus / 23 /

### 3.7 Virheenkorjaus

Virheenkorjaus, FEC, tarjoaa tekniikan, jolla voidaan parantaa digitaalista suorituskykyä radiojärjestelmissä. Virheenkorjauksessa lisätään ylimääräistä dataa, virheenkorjausbittejä, alkuperäiseen dataan ja virheenkorjauksella voidaan saavuttaa esimerkiksi jo huomattavaa 2 - 6 dB:n parannusta vahvistukseen laskettaessa linkkibudjettia. / 23 /

Virheenkorjauksena käytettiin konvoluutiokoodauksella toteutettuja 7/8 FEC ja 3/4 FEC. 7/8 FEC tarkoittaa, että signaalissa on seitsemän puhdasta bittiä ja yksi virheenkorjausbitti. 3/4 FEC tarkoittaa puolestaan, että signaalissa on kolme puhdasta bittiä ja yksi virheenkorjausbitti.

Satelliittiyhteyden viiven ollessa hyvinkin pitkä, virheenkorjauksen toteuttaminen tällä tapaa vähentää datan uudelleenlähettämistä. Vastaotin pystyy itse huomaamaan ja korjaamaan virheen tietyn aikarajan sisällä, eikä sen tarvitse kysyä ylimääräistä dataa eikä sen tarvitse kysellä tiedonsiirtoon liittyviä kuittauksia tai vastauksia paluusuuntaan vastakanavalla. / 23 / Tämä seikka oli huomiotava käytetyn satelliittiyhteyden korkeiden kustannusten takia.

### 3.8 Salaus

Satelliittilaajakaistayhteyden salaus oli toteutettu salauslaitteella, jonka toimintaperiaate on salainen.

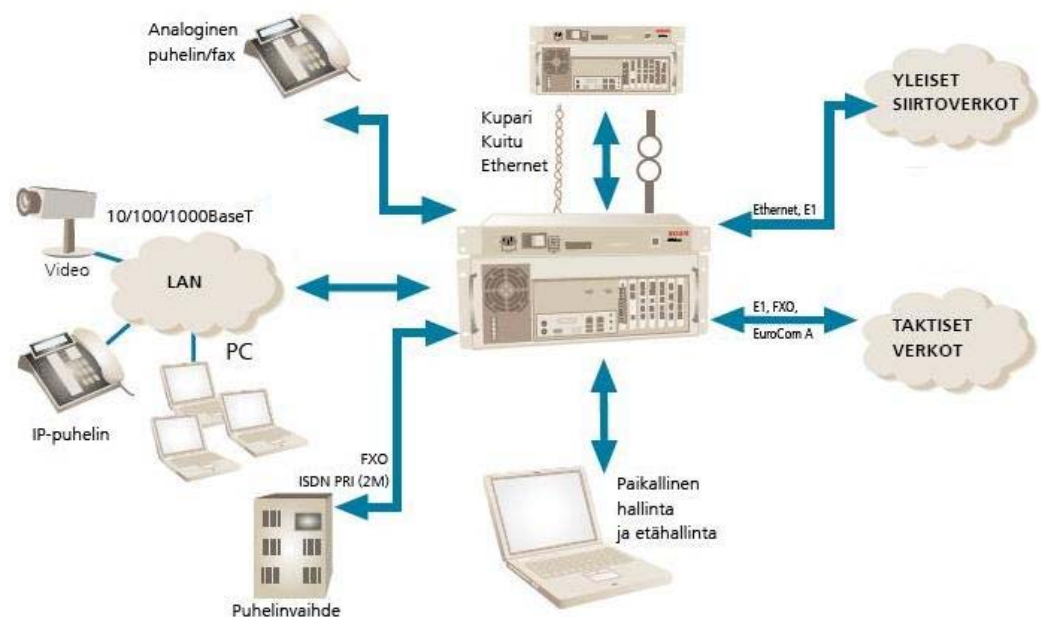
## 4 LÄHIVERKON RAKENNE

Satelliittilaajakaistayhteyden kautta saatu signaali jaettiin tukikohdassa lähiverkkoon. Lähiverkkoa varten tarvittiin muun muassa liityntälaitte, pääte- ja välityspalvelimet, kaapelointi sekä päätelaitteet.

### 4.1 Access Node –liityntälaitte

Salauksen jälkeen käytössä oli Ascomin valmistama Access Node -liityntälaitte, joka on kompakti järjestelmä. Sen liitettävyyden, kapasiteetin ja ominaisuuksien ansiosta se on skaalautuva ja tehokas ratkaisu vaativiin datansiirto- ja tietopalvelutarpeisiin. / 19 /

Käytössä olleessa Access Node -liityntälaitteessa oli useita päällekkäisiä verkkoja, kuten puhelinverkko sekä datan reititys- ja välitysverkko. Dataliikenteen lisäksi liityntälaitteen kautta kulki myös ääniliikenne, kuten UNIFIL-vaihde, GSM-gateway, IP- sekä analoginen puhelinliikenne. / 19 /



Kuva 14 Ascom Access Node –liityntälaitteen periaatekuva / 19 /

UNIFIL-vaihteella oltiin yhteydessä UNIFILin muihin pataljooniin ja prikaateihin analogisten puhelinten välityksellä. GSM-gateway puolestaan mahdollisti halvemmat puhelut matkapuhelimesta matkapuhelimeen kalliimpien kiinteästä lankapuhelimesta matkapuhelimeen puhelujen sijaan. GSM-gateway voidaan liittää esimerkiksi puhelinvaihteeseen, jolloin kaikki puhelut solukkoverkkoihin (matkapuhelimiin) reititetään yleisen kytkentäisen puhelinverkon, PSTN, sijaan GSM-gatewayn kautta. Haittapuolina GSM-gatewayta käytettäessä useimmiten puhelun vastaanottaja ei näe soittajan identiteettiä, CID:iä, ja puhelujen laatu saattaa olla välillä hyvinkin huono.

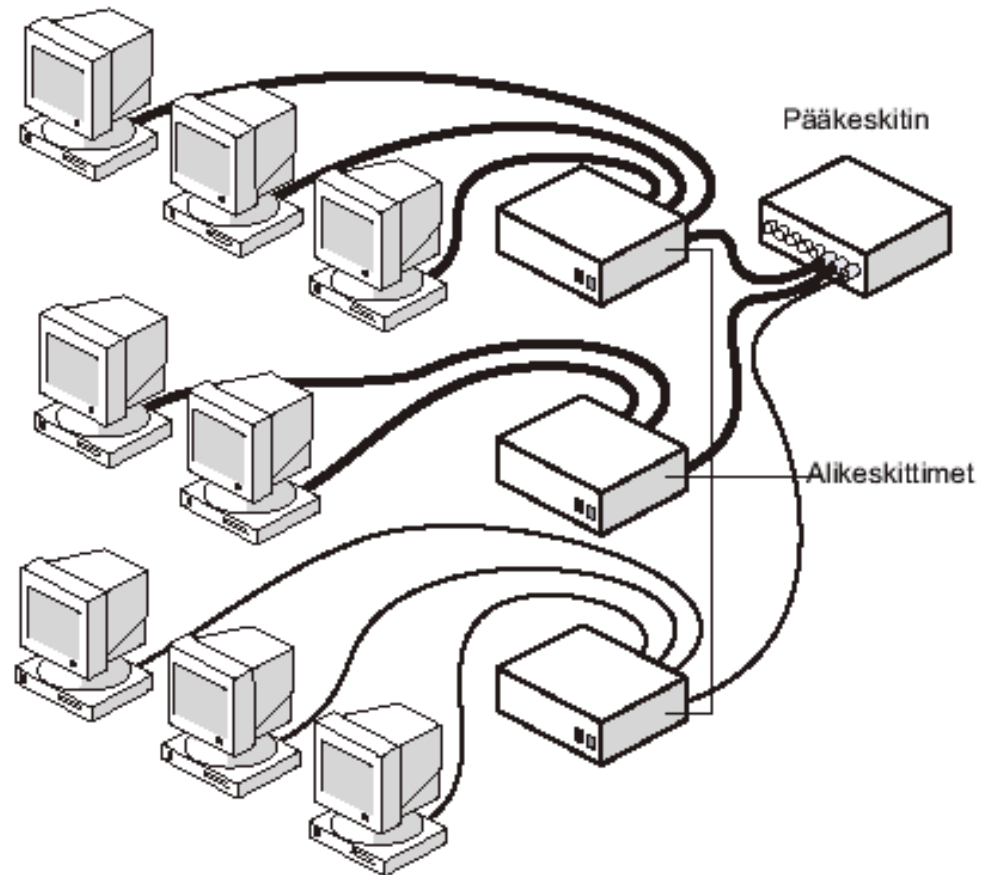
Liityntälaitteen kautta linkitettiin myös IP-puhelinliikenne. IP-puhelimia pataljoonan tukikohdassa oli käytössä hieman päälle kahdeksankymmentä. IP-puhelimilla onnistuivat niin sisäiset puhelut pataljoonan tukikohdassa kuin puhelut pataljoonan tukikohdasta Suomeen kiinteisiin lankapuhelimiin sekä matkapuhelimiin. Puhelun vastaanottajalle Suomessa soittajan puhelinnumero näkyi Helsingin suuntanumerolla alkanavana puhelinnumerona, kun pataljoona tukikohdassa sisäinen puhelu näkyi IP-puhelimen omana nelinumeroisena ID:nä, joka oli sisäisen puhelinverkon puhelinnumero. Esimerkiksi puhelinnumero 7001 oli pataljoonan komentajan puhelinnumero.

Liityntälaitteen kautta vastaanottoasemalla, pataljoonan tukikohdassa Camp Idassa, käytössä ollut lähiverkko liitettiin myös Suomen puolustusvoimien verkkoon. Näin esimerkiksi esikunnan toimistoilta oli pääsy Suomen puolustusvoimien asiakirjahallintaan, PVAH:aan. Liityntälaitteen kautta oli pääsy myös tietojärjestelmäohjelmistoon, SAP:iin, EHK:n varastolta sekä S4-toimistolta. PVAH- ja SAP-palvelimet sijaitsevat Suomessa ja liityntälaitteen kautta pystyttiin kyseisiä ohjelmistoja käyttämään vaivatta.

## 4.2 Ethernet-verkkotopologia

Lähiverkon Ethernet-verkkotopologiana käytössä oli tähtitopologia. Verkkotopologialla tarkoitetaan tietokoneverkon perusrakennetta, jolla verkon eri laitteet on liitetty toisiinsa. Tähtitopologiassa on pääkeskitin, yleensä kytkin tai reititin, johon verkkolaitteet on kytketty.





Kuva 15 Tähtitopologian periaatekuva / 17 /

Lähiverkon kaikki tietoliikenne kulki yhden keskuspuisteen kautta ja kytkin oli yleensä kytketty joko toiseen kytkimeen tai Cison reitittimeen, josta yhteys jatkui toiselle kytkimelle tai verkkolaitteille. Reitittimet eivät tehneet reitityksen ohella yleensä mitään muuta.

Kytkimen mallista riippuen sillä voitiin liittää verkkoon joko kaksitoista tai kaksikymmentäneljä verkkolaitetta, kuten työasemia, verkkotulostimia, hubeja ja IP-puhelimia. Kytkin ohjaa tähtitopologiassa datan vain siihen osoitteeseen, minne se on tarkoitettu. Tällä saavutettiin hyöty, ettei verkko ruuhkautunut datapakettien törmäyksistä. Huomattavia etuja tähtitopologian rakenteessa olivat, että esimerkiksi viruksesta saastunut tai verkkoa häiritsevä työasema saatiin helposti eristettyä verkosta ja ettei yhden kaapelin rikkoutuminen vaikuttanut muun verkon käyttöön tai toimintaan.

Lähiverkon kaapeleina käytettiin pääasiassa kategoria 5 kaapeliluokan kierrettyä parikaapelia ja liittiminä RJ-45. Muutamiin kohteisiin data kulki valokuitua pitkin tukikohdan pitkien etäisyyksien takia, koska verkkolaitteiden suurin etäisyys keskittimestä on 100 metriä käytettäessä kategoria 5 kaapeliluokan kierrettyä parikaapelia.

### 4.3 Palvelin-struktuuri

Palvelimien täydellistä struktuuria en luottamuksellisten tietojen vuoksi voi kertoa.

Pataljoonan lähiverkko toimi kahdella palvelimella. Palvelimet toteutettiin Windows Server 2003 –palvelinkäyttöjärjestelmäohjelmistoilla. Pataljoonan lähiverkon palvelimelle keskitettiin Microsoft Server 2003:n hakemistopalvelussa oleva Microsoft Active Directory, lyhyemmin AD. Tämä on käyttäjätietokanta, joka voi sisältää useampia domaineja sekä alidomaineja. AD sisältää myös tietoa käyttäjistä, tietokoneista sekä verkon resursseista. Se mahdollisti keskitetyn resurssien jakamisen käyttäjille ja sovelluksille. AD myös tarjosi tavan nimetä, kuvata, hallita, suojata ja paikallistaa käytössä olevia verkon resursseja ja siihen oli integroitu DNS sekä TCP/IP. / 20 /

Toimiakseen täysin, AD tarvitsi DNS-palvelun. DNS-palvelusta täytyy löytyä SRV Resource Record -palvelutietueita, joilla kerrotaan AD:ssa domain-DNS:n sekä domain-kontrollerin nimi. OU-rakenne luotiin komppanioittain, eli esikunta, EHK ja PionK olivat omissa OU:aan. Esikunta oli jaettu vielä S-toimistoittain. Käytössämme olleen AD:n rakenne oli tavanomainen pienen organisaation ja vähäisen palvelinmäärän AD.

Samalla palvelimella sijaitsivat F-Secure Policy Manager Server sekä F-Secure Policy Manager Web Reporting. F-Secure Policy Manager sisälsi kaikki uudet tietoturvasovellukset ja päivitykset pataljoonan määriteltyjen turvamenetelmien mukaan. Latauspaketit purettiin ja asennettiin automaattisesti. Se oli helppokäyttöinen hallintajärjestelmä, jonka avulla pystyttiin valvomaan tietoturvaa keskitetysti. F-Secure Policy Manager Serverin avulla oli kätevää hallita virustorjunnan

lisäksi myös tärkeitä verkko- ja sisällönsuojausratkaisuja kaikilla verkon tasoilla. F-Secure Policy Manager Web Reporting sisälsi yli 40 valmiiksi määriteltyä graafista raporttia. / 21 / Näin niiden avulla oli helppoa ja nopeaa tunnistaa suojaamattomat työasemat sekä tarkistaa tietoturva-asetukset. Internet-selauksen turvallisuus lankesi Anti-Virus Client Security Web Reporting -komponenteille.

Pataljoonan lähiverkon palvelimella sijaitsi myös Microsoft Exchange Server 2003 -sähköpostipalvelu. Käyttäjillä oli näin käytössä Microsoft Outlook -sähköpostiohjelmisto, jolla pystyttiin lähettämään sähköpostia sekä lähiverkon sisällä, että lähiverkosta ulos. Palvelimelta pystyttiin hallitsemaan käyttäjätileihin liitettyjä sähköposteja hyvin vaivatta, ja esimerkiksi lukita sähköpostipalvelu pois tietyltä käyttäjätunnukselta tarpeen vaatiessa.

Toisen palvelin toimi tiedostopalvelimena, jonne keskitettiin pataljoonan data, jota käyttäjät pystyivät käyttämään verkkolevyjaon kautta. Samalla palvelimella jaettiin myös verkkotulostimet lähiverkon käyttöön.

#### 4.4 Välityspalvelin

Signaali kulki välityspalvelimelta liityntälaitteen kautta salauslaitteelle ja päinvastoin. Käytössä oli ensin TeliaSonera Oyj:n Bluecoat välityspalvelin, joka oli määritelty välityspalvelin. Bluecoat kuitenkin korvattiin myöhemmin toisella välityspalvelimella.

Uusi välityspalvelin luotiin toimimaan Linux Ubuntu -käyttöjärjestelmän päälle, Squid-välityspalveluohjelman ja Apachen HTTP server -palvelinohjelman avulla. Välityspalvelimen tarkoituksena oli varastoida ja ennen kaikkea suodattaa verkossa siirrettäviä tiedostoja FTP-tiedostonsiirtomenetelmässä sekä suodattaa www-sivuja. Juurikin FTP-tiedostonsiirtomenetelmässä TeliaSonera Oyj:n Bluecoat-välityspalvelimessa oli ongelmia, jonka vuoksi uusi välityspalvelin otettiin käyttöön.

Lähiverkossa välityspalvelinta käytettiin Internet-yhteyksien luomiseen yhdessä F-Securen palomuurin kanssa. TeliaSonera Oyj:n Bluecoatissa oli myös anti-

virus -komponentti, mutta virustorjunta oli toteutettu Anti-Virus Client Security Web Reporting -komponenteilla, kuten edellä tuli todettua. Internet-yhteyden muodostamisessa määritettiin käytettävä välityspalvelin, jolloin HTTP-liikenne muutoin kuin välityspalvelimen kautta oli estetty. Kaikki liikenne siis välittyi välityspalvelimen kautta ennen päätymistään selaimen ja sivut ladattiin suoraan sen muistista. Välityspalvelin piilotti käyttäjän ”henkilöllisyyden”, jolloin sivustot, joilla käytiin, näkivät vain välityspalvelimen osoitteen tapahtumarekistereissä. Kyseessä oli siis anonyymiyhteys, joka peitti käyttäjien tiedot. / 21 / Käytössämme ollut välityspalvelinta ei näin ollen voitu käyttää lähiverkkomme ulkopuolelta.

## 5 TYÖTEHTÄVÄT

Työtehtäväni tietoliikennealiupseerina ja ATK-upseerina vaihtelivat päivittäin, ja työtehtäviä oli hyvin paljon erilaisia. Kriisinhallintaoperaatiossa ollaan 24 tuntia seitsemänä päivänä viikossa töissä, joten ei ollut kovinkaan outo tilanne, että tilannekeskuksen yöpäivystyksen (22.00 - 06.00) jälkeen joutui jonkin tyyppistä tietoteknistä ongelmaa ratkaisemaan.

Tietoliikennejärjestelmän rakentamisen ja pystyttämisen jälkeen työtehtävät olivat pääasiassa ylläpitoa, hallintaa sekä ongelmanratkaisua. Ongelmia saattoi olla yksittäisessä päätelaitteessa, kuten verkkotulostimessa tai työasemassa. Myös verkossa saattoi esiintyä ongelmia ja yksi esimerkkiongelmatilanne tällaisesta saattoi olla, että reitittimen jokin tietty portti oli ”tippunut” alas, jolloin reititintä täytyi konfiguroida.

Ongelmia saattoi esiintyä myös signaalissa ja monesti vikatilanne johtuikin huonoista sääolosuhteista Helsingissä. Huonot sääolosuhteethan, kuten kova sade ja ukkoskuurot vaikuttivat huomattavan paljon huonontavasti signaalinlaatuun. Tällaisissa tilanteissa ensimmäinen tehtävä oli selvittää, että vika ei ollut paljoojan järjestelmässä. Mikäli vikaa ei vikatilaselvityksessä löytynyt, oltiin yhteydessä Suomeen ja selvitettiin oliko vika mahdollisesti lähetysasemalla.

Päivittäisiin työtehtäviin kuuluivat myös Microsoft Active Directoryn ja F-Secure Policy Manager:n käyttäminen, valvonta ja hallinta, samoin kuin palvelimien hallinta ja ylläpito. Myös erilaiset asiantuntijatehtävät, palaverien ja kokousten tietotekniikkapuolen valmistelu, käyttäjien opastus ja tietoturvakoulutuksen järjestäminen sekä pitäminen, päätelaiteasennukset sekä niiden konfiguroinnit kuuluivat työtehtäviini.

Operaation purkuvaiheessa päätehtäväksi muodostui edellä mainittujen työtehtävien ohella alkusyksystä ATK-puolen alasajon suunnittelua ja purkamisen järjestäminen yhdessä S6-toimiston ja viestiryhmän kanssa. Tärkeimpiin työtehtäviin kuului hallita tietoliikenneyhteyksiä ja tarjota toimiva lähiverkko pataljoonalle sekä valvoa sen käyttöä.

## 6 YHTEENVETO

Tässä työssä selvitettiin suomalais-irlantilaisen pataljoonan tietoliikennejärjestelmän ja lähiverkon rakenteet, niiden toteutus ja niiden tärkeimpiä ylläpitoon liittyviä seikkoja, mikä olikin tavoite.

Suomalais-irlantilaisen pataljoonan tietoliikennejärjestelmä koostui monesta huomioon otettavasta seikasta. TeliaSonera Oyj:n tarjoaman IP Access -palvelun siirtonopeudet olivat suhteessa siirrettävään datan määrään välillä liian pienet, jolloin satelliittiyhteys ei toiminut aina optimaalisesti. Tämän lisäksi vielä satelliittiyhteyden viiveen ja laadun vaihdellessa paljon, siirtonopeus lähetys- ja vastaanottoaseman välillä oli huono. Yhteyden hitautta ja viiveitä suurempi haittatekijä oli kuitenkin yhteyden katkeaminen, joka yleisimmin johtui rankkasateista sekä ukkoskuuroista niin lähetys- kuin vastaanottoasemalla. Korkea lämpötila vaikutti myös pataljoonan tukikohdassa Etelä-Libanonissa sijainneeseen satelliittilautaseen. Korkea lämpötila aiheutti myös satelliittilautasen taipumiseen, joka johtui lämpölaajenemisesta. Sääolosuhteisiin ei kuitenkaan pystytty vaikuttamaan, joten asia oli vain hyväksyttävä. Näistä edellä mainituista seikoista huolimatta voidaan kuitenkin sanoa, että yhteys oli pääosin toiminnassa ja riittävä suomalais-irlantilaisen pataljoonan kokoiselle organisaatiolle.

## LÄHDELUETTELO

### Painamattomat lähteet

- 1 Yhdistyneet Kansakunnat [www-sivu] [viitattu 07.02.2008]  
<http://unifil.unmissions.org/Default.aspx?tabid=1519>
- 2 Suomen puolustusvoimat [www-sivu] [viitattu 05.02.2008]  
<http://www.mil.fi/rauhanturvaaja/operaatiot/libanon.dsp>
- 3 Wikipedia [www-sivu] [viitattu 07.02.2008]  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Sotilasvirkamies>
- 4 Wikipedia [www-sivu] [viitattu 06.04.2009]  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Satelliittilaajakaista>
- 5 TeliaSonera Oyj [www-sivu] [viitattu 04.02.2008]  
<http://www.sonera.fi/Yrityksille/Tuotteet/Satelliitti>
- 6 Laajakaistainfo [www-sivu] [04.02.2009]  
[http://www.laajakaistainfo.fi/ajankohtaista/satelliittiraportti\\_final.pdf](http://www.laajakaistainfo.fi/ajankohtaista/satelliittiraportti_final.pdf)
- 7 Wikipedia [www-sivu] [06.04.2009]  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Ku\\_band](http://en.wikipedia.org/wiki/Ku_band)
- 8 Eutelsat Communications [www-sivu] [viitattu 17.04.2009]  
<http://www.eutelsat.com/satellites/36sesat.html>
- 9 CET Teleport [www-sivu] [viitattu 17.04.2009]  
<http://www.cetteleport.com/coverage-and-connectivity/satellites/sesat.aspx>
- 10 Eutelsat Communications [www-sivu] [viitattu 17.04.2009]  
[http://www.eutelsat.com/news/media\\_library/brochures/SESAT\\_1.pdf](http://www.eutelsat.com/news/media_library/brochures/SESAT_1.pdf)
- 11 The Satellite Encyclopedia [www-sivu] [viitattu 17.04.2009]  
[http://www.tbs-satellite.com/tse/online/sat\\_eutelsat\\_sesat\\_1.html](http://www.tbs-satellite.com/tse/online/sat_eutelsat_sesat_1.html)
- 12 Real Time Satellite Tracking [www-sivu] [viitattu 06.04.2009]  
<http://www.n2yo.com/satellite/?s=28134>
- 13 Kuvaaja Sormunen, Janne [viitattu 05.02.2008]
- 14 Wikipedia [www-sivu] [viitattu 15.03.2009]  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift\\_keying](http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying)
- 15 Oulun seudun ammattiopisto [www-sivu] [viitattu 15.03.2009]  
[http://www.okol.org/verkkokurssit/datanomi/tietojarjestelmien\\_kaytto\\_ja\\_kehittaminen/lahiverkko\\_internet/lanjaint/johdanto\\_verkkotekniikkaan/johdanto3.htm](http://www.okol.org/verkkokurssit/datanomi/tietojarjestelmien_kaytto_ja_kehittaminen/lahiverkko_internet/lanjaint/johdanto_verkkotekniikkaan/johdanto3.htm)

- 16 Wikipedia [www-sivu] [viitattu 25.03.2009]  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency\\_mixer](http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency_mixer)
- 17 Lappeenrannan teknillinen yliopisto [www-sivu] [viitattu 06.04.2009]  
<http://www.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento05.pdf>
- 18 Atrexx [www-sivu] [viitattu 07.04.2009]  
<http://scpc-single-channel-per-carrier.atrexx.com>
- 19 Ascom [www-sivu] [viitattu 05.02.2008]  
<http://www.ascom.com/en/ascommilconceptbrochurebattleproofsignaling.pdf>
- 20 Microsoft TechNet [www-sivu] [viitattu 08.02.2009]  
<http://technet.microsoft.com/en-us/windowsserver/bb429524.aspx#EMG>
- 21 F-Secure [www-sivu] [viitattu 08.02.2008]  
[http://www.f-secure.com/en\\_EMEA/products/business/centralized-management/policy-manager/](http://www.f-secure.com/en_EMEA/products/business/centralized-management/policy-manager/)
- 22 Wikipedia [www-sivu] [viitattu 12.04.2009]  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/PSK>

#### Painetut lähteet

- 23 Freeman, Roger L.: Telecommunications Transmission Handbook. John Wiley & Sons, Inc. USA 1998.
- 24 Rantala, Ari : Tietoliikennetekniikka, tiedonsiirto. Suomi 1999.

#### LIITELUETTELO

- Liite 1 Euroopan ja Afrikan sadevyöhykkeet
- Liite 2 Regressiokertoimet





Frequency (GHz)	$a_h$	$a_v$	$b_h$	$b_v$
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
18	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744
120	1.18	1.13	0.731	0.732
150	1.31	1.27	0.710	0.711
200	1.45	1.42	0.689	0.690
300	1.36	1.35	0.688	0.689
400	1.32	1.31	0.683	0.684