

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

SOTILAAN PAIKKATIEDON SIIRTÄMINEN TIETOVERKOISSA

Pro gradu

Luutnantti  
Juha-Matti Hirvonsalo

Sotatieteiden maisterikurssi 1  
Maasotalinja

Toukokuu 2011

# MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Sotatieteiden maisterikurssi 1	Linja Maasotalinja
Tekijä Luutnantti Juha-Matti Hirvonsalo	
Tutkielman nimi SOTILAAN PAIKKATIEDON SIIRTÄMINEN TIETOVERKOISSA	
Oppiaine, johon työ liittyy Tekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika Toukokuu 2011	Tekstisivuja 69 Liitesivuja 15
<b>TIIVISTELMÄ</b> <p>Paikkatietojärjestelmän avulla voidaan seurata maastossa olevien sotilaiden sijaintia kartta-sovellukselta. Paikkatietojärjestelmien käyttäminen lisää tilannetietoisuutta ja palvelusturvallisuutta. Tutkimuksen tavoitteena on kehittää sotilaan paikkatietojärjestelmän käytettävyyttä Puolustusvoimissa. Tutkimuksessa esitellään paikkatietojärjestelmä sotilastoiminnassa ja yleiset paikantamismenetelmät. Tutkimuksessa selvitetään paikkatietojärjestelmään soveltuvat tietoverkot ja tekniikat. Tutkimuksessa esitellään paikkatietojärjestelmään kehitteillä oleva sanomanvälitysjärjestelmä.</p> <p>Tutkimuksessa esitellään ominaisuuksia ja toimintatapoja, jotka soveltuvat paikkatietojärjestelmään. Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuusanalyysia, vertailua ja teknistä testausta. Aineisto on kerätty eri tieteellisistä julkaisuista ja kirjoista. Kirjallisuusanalyysin perusteella valittiin käytettävät tekniikat. Tutkimuksessa esitellään GSM-, TETRA-, VHF-/HF-, WLAN/(Mobile Ad-hoc Network) MANET- ja satelliittipuhelinverkot. Vertailulla selvitetään tutkittavien tietoverkkojen tekniset eroavaisuudet ja käytettävyyteen liittyvät vaihtelevuudet. Teknisellä testauksella selvitetään paikkatieto sanomaformaattien kokoerot ja verkon kuormitus paikkatieto läheteistä.</p> <p>Työn tutkimusongelmana on, miten sotilaan paikkatietojärjestelmän tiedonsiirto voidaan toteuttaa eri tiedonsiirtoverkoilla ja erityyppisissä tilanteissa. Tutkimuksen keskeisinä tuloksina havaittiin eri sanomaformaattien kokoerot, yksittäisissä sanomissa ja ryhmäviesteissä. Kokoerojen perusteella arvioitiin eri tietoverkkojen käyttömahdollisuuksia paikkatietojärjestelmässä. Tutkimuksen tulosten perusteella paikkatietojärjestelmän tulee muodostua useasta eri tietoverkosta, jotka on integroitu samaan sanomanvälitysjärjestelmään. Yhtenäisellä sanomanvälitysjärjestelmällä mahdollistetaan paikkatietolähetteen välittyminen automaattisesti tietoverkoista karttasovellukseen.</p> <p>Tutkimuksen johtopäätöksissä vastataan tutkimuskysymyksiin ja pohditaan paikkatietojärjestelmän käyttömahdollisuuksia eri toimintaympäristöissä. Tutkimuksen tuloksien perusteella esitetään eri tekniikoiden soveltuvuutta paikkatietojärjestelmän tietoverkoiksi. Johtopäätöksen perusteella paikkatietojärjestelmä tulee koostua monesta erityyppisestä tietoverkosta. Tietoverkkojen tulee muodostaa yhtenäinen kokonaisuus, joka yhdistetään sanomanvälitysohjelmistolla.</p> <p>Tutkimuksen perusteella havaittiin jatkotutkimus aiheita. Kuormitusmittauksilla on selvitettävä mikä on tietoverkkojen todellinen kyky siirtää paikkatietolähetteitä. langattomien datansiirtoverkkojen soveltuvuutta paikkatietojärjestelmän runkoverkoksi tulee tutkia, jotta voidaan kehittää kattava paikkatietojärjestelmä.</p>	
<b>AVAINSANAT</b> Paikkatieto, tietoverkot, paikkatietojärjestelmä, johtamissanoma, NFFI	

# SOTILAAN PAIKKATIEDON SIIRTÄMINEN TIETOVERKOISSA

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO.....</b>	<b>1</b>
1.1	TUTKIMUKSEN TAUSTAT .....	2
1.2	TUTKIMUKSEN TAVOITE JA RAKENNE.....	2
1.3	TUTKIMUSMENETELMÄT JA RAJAUKSET .....	4
1.4	TUTKIMUKSEN LÄHDEAINEISTO JA KESKEISET MÄÄRITELMÄT .....	5
<b>2</b>	<b>PAIKKATIETOJÄRJESTELMÄ SOTILASTOIMINNASSA .....</b>	<b>7</b>
2.1	YLEISTÄ.....	7
2.2	PAIKKATIEDON VÄLITTÄMINEN .....	9
2.3	PAIKKATIETOJÄRJESTELMÄN SANOMANVÄLITYS.....	12
2.4	PAIKKATIEDON TUOTTAMAT LAITTEET .....	15
2.5	PAIKKATIETOJÄRJESTELMÄN KARTTASOVELLUKSET .....	16
<b>3</b>	<b>PAIKANNUSMENETELMÄT .....</b>	<b>17</b>
3.1	GPS .....	18
3.2	DIFFERENTIAALINEN GPS .....	20
3.3	GSM-VERKON PAIKANNUSMENETELMÄT .....	21
3.4	LÄHIVERKKOPAIKANNUS .....	23
<b>4</b>	<b>TEKNIIKAT JA PROTOKOLLAT .....</b>	<b>25</b>
4.1	FLASH-OFDM .....	25
4.2	GPRS.....	26
4.3	EDGE.....	27
4.4	INTERNET-VERKKO .....	27
4.5	SALAUSSMENETELMÄT .....	29
4.6	ANTENNIT .....	30
4.7	YHDISTELMÄ.....	31
<b>5</b>	<b>TIETOVERKOT .....</b>	<b>32</b>
5.1	GSM-VERKKO .....	32
5.2	TETRA-VERKKO .....	34
5.3	VHF-/HF-KENTTÄRADIOVERKKO .....	37
5.4	LANGATTOMAT LÄHIVERKOT .....	39
5.5	IRIDIUM-JA BGAN-SATELLIITTIPUHELINVERKOT .....	42
5.6	HÄIRINNÄN VAIKUTUS TIETOVERKKOIHIN .....	43
5.7	PAIKKATIEDON SIIRTÄMINEN TIETOVERKOISSA .....	45
<b>6</b>	<b>KUORMITUSMITTAUS JA TIETOVERKKOJEN VERTAILUT.....</b>	<b>46</b>
6.1	KUORMITUSMITTAUS .....	46
6.2	TIETOVERKKOJEN TEKNINEN VERTAILU .....	50
6.3	TIETOVERKKOJEN KÄYTETTÄVYYDEN VERTAILU .....	53
6.4	YHTEENVETO.....	55
<b>7</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET.....</b>	<b>56</b>
7.1	VERKON KUORMITTUVUUS PAIKKATIETOLÄHETTEISTÄ .....	56
7.2	SOTILAAN PAIKKATIEDON HYÖDYNTÄMINEN .....	59
7.3	SANOMAVÄLITYS PAIKKATIETOJÄRJESTELMÄSSÄ .....	60
7.4	TIETOVERKKOJEN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI.....	61
7.5	KEHITYSNÄKYMÄT PAIKKATIETOJÄRJESTELMÄSSÄ.....	66
7.6	TUTKIMUKSEN TULOSTEN ARVIOINTI .....	68

LÄHTEET

LITTEET

## KUVAT

KUVA 1: Tutkimuksen toimintakaavio	5
KUVA 2: GSM-pohjaisesta paikkatietosovellus	8
KUVA 3: Paikkatiedon välittämisen periaate	10
KUVA 4: NFFI-lähetteen sisältö	11
KUVA 5: Paikkatiedon sovellusjärjestelyt	13
KUVA 6: Paikkatiedon sanomanvälitys	14
KUVA 7: JPtrackerin paikkatieto sovellus	16
KUVA 8: Käsiteltävien menetelmien tarkkuudet	18
KUVA 9: GPS-järjestelmän rakenne	19
KUVA 10: GPS signaalien spektrit	19
KUVA 11: DGPS-tekniikan toimintaperiaate	21
KUVA 12: Aikaeropaikannusmenetelmän toimintaperiaate	22
KUVA 13: CGI + TA-menetelmän toimintaperiaate	23
KUVA 14: OSI-Malli	28
KUVA 15: Paikkatiedon siirtäminen GSM-verkossa	34
KUVA 16: Paikkatiedon siirtämien TETRA-verkossa	36
KUVA 17: Paikkatiedon siirtäminen VHF/HF -verkossa	38
KUVA 18: Paikkatiedon siirtäminen WLAN/MANET verkossa	41
KUVA 19: Paikkatiedon siirtäminen satelliittijärjestelmällä	43
KUVA 20: Paikkatiedon siirtäminen tietoverkoissa	45
KUVA 21: Testijärjestelyt	47
KUVA 22: Verkkojen soveltuvuuden arviointi	62
KUVA 23: Esimerkki paikkatietojärjestelmän verkkorakenteesta	68

## **TAULUKOT**

TAULUKKO 1: GSM järjestelmän yleiset ominaisuudet	33
TAULUKKO 2: TETRA-verkon keskeisimmät ominaisuudet	35
TAULUKKO 3: VHF/HF-verkon keskeisimmät ominaisuudet	37
TAULUKKO 4: 802.11-standardien keskeisimmät ominaisuudet	39
TAULUKKO 5: Paikkalähetteen pakettien suuruudet sekä siirtonopeudet	49
TAULUKKO 6: Tietoverkkojen tekniset ominaisuudet	50
TAULUKKO 7: Tietoverkkojen käyttösoveltuvuus	53
TAULUKKO 8: Formaattien suuruudet paikkatieto liikenteessä ja tietoverkkojen siirtonopeudet ja maksimikantamat	58
TAULUKKO 9: Tietoverkkojen paikkatietolähetteen päivitysvälit	59

## **KAAVIOT**

KAAVIO 1: Verkon kuormitus JOSA- ja NFFI-formaateissa	48
KAAVIO 2: JOSA- ja NFFI-formaattien sanomapakettien suuruudet	49

## LYHENTEET

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
AGPS	Assisted Global Position System
BGAN	Broadband Global Area Network
BFT	Blue Force tracking
BGAN	Broadband Global Aerial Network
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Sub-system
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CGI	Cell Global Identity
COTS	Commercial Off The Shelf
DGPS	Differential Global position system
ECSD	Enhanced Circuit Switched Data
EGPRS	Enhanced GPRS
E-OTD	Enhanced Observed Time Difference
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FINACCIS	Finnish Army Combat Communications and information System
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GIS	Geographic Information System
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Position System
GSM	Global System for Mobile Communications
HF	High Frequency
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISDN	Integrated Services Digital Network
JOSA	Johtamissanoma
LDAP	Light Directory Address Protocol
LEO	Low Earth Orbit
LMU	Location Measurement Units
MANET	Mobile ad-hoc Network

MCCH	Main Control Channel
MICS	Multi Interfaces Communication Software
MS	Mobile Station
NFFI	Nato Friendly Force Information
NMEA183	National Marine Electronics Association
NSS	Network Switching System
OSS	Operations Sub-System
PDO	Packet Data Optimized
SIM	Subscriber Identification Module
SMS	Short Message Service
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
STANAG	Standardization Agreement
TA	Time Advance
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TRX	Transceiver
TTF	Time To First Fix
TTS	Tactical Tracking Software
UDP	User Datagram Protocol
WEP	Wired Equivalent Privacy
VHF	Very High Frequency
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WPA	Wi-Fi Protected Access
XLM	eXtensible Markup Language

# SOTILAAN PAIKKATIEDON SIIRTÄMINEN TIETOVERKOISSA

## 1 JOHDANTO

Tilannetietoisuuden rooli on korostunut nykyaikaisessa sotilastoiminnassa, koska tilannetietoisuuden hyödyntäminen tuo ratkaisevan edun vastustajaan nähden. Osapuolella, jolla on parempi tilannetietoisuus taistelukentän tilanteesta, voi käyttää joukkojaan tehokkaammin. Nykyaikainen sodankäynti on muuttunut entistä liikkuvammaksi ja epäsymmetriseksi. Haasteeseen on vastattu kehittämällä sotilaan paikkatietojärjestelmä. Paikkatietojärjestelmä parantaa joukon turvallisuutta ja edistää tilannetietoisuutta esikunnissa, joista voidaan seurata taistelukentän tilannetta lähes reaaliaikaisesti. Omien joukkojen tunnistaminen ja niiden sijainnin tietäminen taistelukentällä on nykyaikaisessa sodankäynnissä ensiarvoisen tärkeää. [17] Paikkatietojärjestelmien käyttäminen monikansallisissa operaatioissa on korostunut koska seurattaviin joukkoihin kuuluu monia eri kansallisuuksia.

Sotilaan paikkatietojärjestelmä näyttää sotilaiden sijainnin taistelukentällä. Sijainnin merkitys parantaa tietoisuutta taistelukentän tilanteesta.[59] Kattavalla kuvalla taistelukentän tilanteesta pystytään tekemään perusteltuja ja johdonmukiasia suunnitelmia, joilla vaikutetaan joukon menestykseen taisteluissa[16].

Tiedon reaaliaikaisuus ja luotettavuus sekä omien joukkojen tunnistaminen taistelukentällä ovat ominaisuuksia, joita vaaditaan sotilaan paikkatietojärjestelmältä. Paikkatietojärjestelmät koostuvat useasta eri elementistä. Paikkatietoa siirrettäessä tietoverkon ominaisuudet ja käytettävyys korostuvat. Sotilastoiminta asettakin erityisvaatimuksia tiedonsiirtoverkolle, jossa paikkatieto siirretään.[17]



## 1.1 Tutkimuksen taustat

Puolustusvoimat on kehittämässä taistelunjohtojärjestelmää kriisinhallintaoperaatioihin ja koitimaan olosuhteisiin. [9] ”Sotilaallisen kriisinhallinnan vaativuuden edelleen kasvaessa, kriisinhallintaoperaatioiden turvallinen toteuttaminen edellyttää varautumista myös epäsymmetriisiin uhkiin.” – sanoo Kenraali Ari puheloinen. Puolustusvoimien komentajan ajatuksien hengessä, puolustusvoimat jatkaa joukkojen turvallisuuden parantamista kriisinhallintaoperaatioissa. Sotilaan paikkatietojärjestelmän kehittäminen on tärkeä osa projektia.[9]

Finnish Army Combat Communications and information System 1 (FINACCIS 1) on projekti, jonka tavoitteena on kehittää paikkatietojärjestelmää kriisinhallintaoperaatioihin. Projektissa kehitetään paikkatietojärjestelmää, jolla voidaan seurata ajoneuvojen paikkatietoa komento- paikoilta ja välittää tarvittaessa tietoa myös Suomeen. FINACCIS 1 laajentuu FINACCIS2:ksi vuonna 2012.[9] FINACCIS2 järjestelmässä voidaan lähettää tietoja vihollisjoukoista ja taistelukentän tarkemmasta tilanteesta.

Puolustusvoimien kansallinen taistelunjohtojärjestelmä hanke on nimetty MATI TSTJJ:ksi. Hankkeella parannetaan taistelunkentän tilannetietoisuutta. Tuotteella kyetään seuraamaan sotilaiden sijaintia karttasovelluksesta. MATI TSTJJ on projekti, jossa kehitetään taistelunjohtojärjestelmää ja paikkatietojärjestelmä on hyvin olennainen osa projektia.

## 1.2 Tutkimuksen tavoite ja rakenne

Tutkimuksessa esitellään sotilaan paikkatiedon siirtotapoja tietoverkoissa ja selvitetään paikkatietojärjestelmän sanomanvälitysjärjestelyitä. Tutkimuksessa kartoitetaan, millä tavoin paikkatieto saadaan siirrettyä lähettimistä tiedonsiirtoverkkoon ja sitä kautta karttasovellukselle. Tutkimuksessa vertaillaan tietoverkkojen soveltuvuutta kriisinhallintaympäristöön, suomalaiseen metsämaastoon ja kaupunkiympäristöön. Tutkimuksessa esitetään tapoja, joilla voidaan lisätä paikkatietolähetteen informatiivisuutta, lisäämällä siihen tieto sotilaan taistelukyvyistä ja tilannetiedosta.

Tutkielmassa esitellään viisi erityyppistä tiedonsiirtoverkkoa ja vertaillaan niiden soveltuvuutta paikkatiedon lähettämiseen. Vertailtavat verkot ovat GSM-verkko, TETRA-verkko, VHF/HF-verkko, WLAN/MANET-verkko sekä satelliittipuhelimet BGAN ja iridium.

Työn tutkimusongelma on, miten sotilaan paikkatietojärjestelmän tiedonsiirto voidaan toteuttaa eri tiedonsiirtoverkoilla ja erityyppisissä tilanteissa.

Tutkimuksen keskeisimmät kysymykset ovat:

- Kuinka paljon paikkatietolähteet kuormittavat tietoverkkoa ja miten se vaikuttaa tietoverkkojen käytettävyyteen?
- Kuinka sotilaan paikkatietoa voidaan hyödyntää päätöksenteossa?
- Miten sanomanvälitys toteutetaan paikkatietojärjestelmässä?
- Mikä on tutkittavien tietoverkkojen soveltuvuus eri ympäristöissä?
- Mikä on paikkatietojärjestelmien tulevaisuus sotilastoiminnassa?

Tutkimuksen sivukysymykset ovat:

- Miten paikkatietojärjestelmän tiedonsiirto tulee toteuttaa, ryhmän, joukkueen ja komppanian tasolla?
- Mitä muita tietoja paikkatietolähteeseen voidaan lisätä ja mikä on niiden hyödynnettävyys?
- Mikä on tietoverkkojen käytettävyys paikkatietojärjestelmässä?

Tutkimuksen tavoitteena on tutkia kirjallisuusanalyysin, kuormitustestien ja tietoverkkojen vertailun avulla sotilaan paikkatiedon siirtotapoja tietoverkoissa sekä selvittää paikkatietojärjestelmän sanomanvälitysjärjestelyitä. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää soveltuvimmat tietoverkot paikkatiedon siirtämiseen eri toimintaympäristöissä ja esitellä käyttöön otettava sanomanvälitysjärjestelmä. Tutkimuksen tavoitteita ohjaavat Puolustusvoimissa käynnissä olevien taistelunjohtojärjestelmien ja paikkatietojärjestelmien projektien kehityssuunnat.

Tutkimuksen toisessa luvussa esitellään paikkatiedon järjestelmä sotilastoiminnassa ja kartoitetaan elementit, joista paikkatietojärjestelmä koostuu. Luvun pääsisältönä on esitellä uusi sanomanvälitysjärjestelmä, joka otetaan käyttöön vuoden 2011 aikana. Luvussa esitellään paikkatiedon tuottavia laitteita ja paikkatietojärjestelmän karttasovellus.

Tutkimuksen kolmannessa luvussa tutkitaan erityyppisiä paikannusmenetelmiä. Luvussa esitellään satelliittipaikannus-, verkkopaikannus- ja lähiverkkopaikannusmenetelmät. Satelliittipaikannusmenetelmistä luvussa käsitellään ainoastaan GPS-järjestelmää, joka on yleisin käytössä oleva paikannusjärjestelmä. Luvussa esitellään GSM-verkon paikannusmenetelmät, joita voidaan käyttää varmentavana paikannusmenetelmänä. Viimeisessä alaluvussa esitellään lähiverkkopaikannusmenetelmä ja sen käyttömahdollisuuksia sotilastoiminnassa.

Neljäs luku käsittelee erityyppisiä tekniikoita ja protokollia, jotka liittyvät paikkatietojärjestelmän kokonaisuuteen. Luvussa esitellään muutamia datansiirtoverkkoja ja avataan lyhyesti internet-verkon protokollia ja ominaisuuksia. Luvussa esitellään lyhyesti myös salausmenetelmät ja antenniratkaisut.

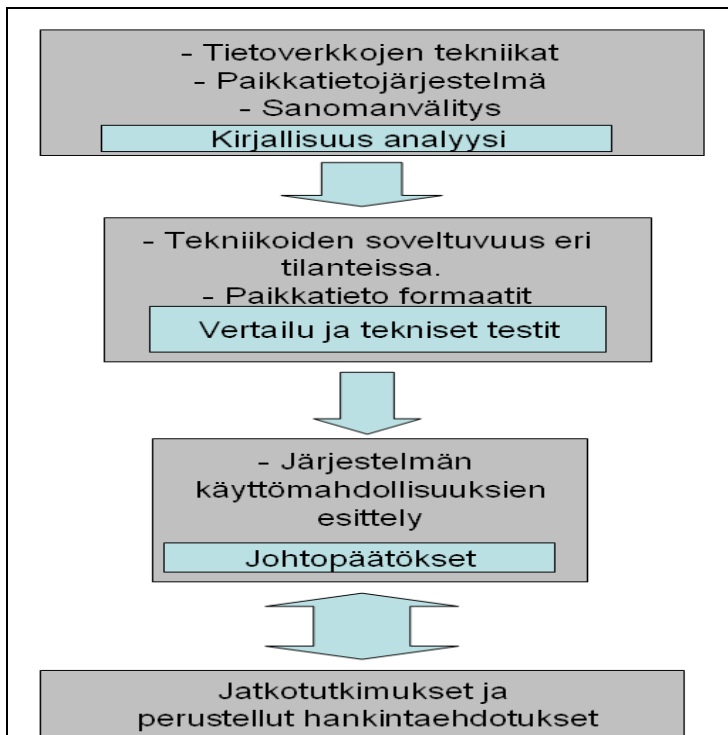
Viides luku käsittelee vertailtavia tietoverkkoja. Luvussa esitellään viiden eri tietoverkon ominaisuuksia ja teknisiä ratkaisuja. Luvussa selvitetään paikkatiedonsiirtomenetelmiä ja häirinnän vaikutusta tietoverkkojen toimintaan.

Kuudes luku koostuu kahdesta kokonaisuudesta, kuormitustestistä ja tietoverkkojen vertailusta. Kuormitustestissä mitattiin kahden sanomaformaatin kokoa ja verkon kuormittavuutta. Testin tuloksia ja niiden vaikuttavuutta on pohdittu seitsemännessä luvussa. Tietoverkkojen vertailusta on koostettu kaksi taulukkoa. Toisessa taulukossa on esitelty keskeisimmät tekniset ominaisuudet ja toisessa taulukossa on keskitytty käytettävyyden vertailuun.

Viimeisessä luvussa vastataan tutkimuksen keskeisiin kysymyksiin ja pohditaan vertailun ja testien tuloksia. Luvussa pohditaan tutkielman tulosten käytettävyyttä ja pohditaan tulevaisuuden näkymiä paikkatietojärjestelmän osalta.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät ja rajaukset

Tutkimusmenetelmänä on käytetty kirjallisuusanalyysia[60]. Tutkimuksessa kartoitetaan lähteaineistosta tekniikat, jotka soveltuvat tiedonsiirtoon tutkittavassa tilanteessa. Kirjallisuusanalyysin tulosten perusteella on tehty valituista tietoverkoista vertailu, jossa vertaillaan tietoverkkojen teknistä soveltuvuutta ja käytettävyyttä eri tilanteissa[60]. Tutkimusmenetelmänä on käytetty myös teknistä testausta[60], jolla mitattiin kahden eri sanomaformaatin (JOSA ja NFFI) kuormittavuutta ja läheteiden kokoa.



Kuva 1: Tutkimuksen toimintakaavio.

Yllä olevassa kuvassa on esitetty tutkimuksen toimintakaavio. Tutkimuksessa tarkastellaan paikkatietojärjestelmää ja sen käyttämiä tietoverkkoja. Tiedonsiirtoverkot on valittu yleisen käytettävyyden perusteella. Tutkielmassa tarkastellaan paikkatietojärjestelmää ja sitä koskevia tekniikoita sekä protokollia. Käsite ”tilannetietoisuus” tarkoittaa vain omien joukkojen paikkatietoa ja toimintaa. Vihollisen joukkoja ja niiden toimintaan liittyviä seikkoja ei käsitellä tutkimuksessa.

Osa tekniikoista on esitelty varsin yleisesti, järjestelmän kannalta tärkeät osa-alueet on esitelty laajemmin. Osa aiheista on käsitelty yleisellä tasolla menemättä yksityiskohtiin, jotta työn tietoturvaluokka on pysynyt julkisena.

#### 1.4 Tutkimuksen lähdeaineisto ja keskeiset määritelmät

Tutkimuksessa pääasiallisina lähteinä on käytetty teknillistä kirjallisuutta, IEEE.org-tietokannan tieteellisiä vertaisarvioituja julkaisuja ja aiheeseen liittyviä tutkimuksia. Tutkimuksessa ei ole varsinaista päälähdettä, vaan tieto on kerätty monesta eri lähteestä. IEEE.org-tietokannan teknisistä julkaisuista lähteinä käytetään saman aihealueen julkaisuja ja näin varmistettiin tiedon soveltuvuus tutkimuksen lähteeksi. Tutkimuksessa on huomioitu kansainväliset paikkatietojärjestelmää käsittelevät tutkimukset.

Toisessa luvussa lähteinä on käytetty tieteellisiä artikkeleita ja väitöskirjoja. Tieto on koostettu eri tieteellisistä julkaisuista, koska kirjaksi julkaistua tietoa ei ollut saatavilla aiheen uutuu- den vuoksi. Lähteinä on käytetty Naton standardeja ja eri valmistajien esitteitä. Paikkatietoa käsittelevä luku on koostettu kirjoista ja muista julkaisuista. Luvun päälähteenä on käytetty *Satelliittipaikannusjärjestelmät* -kirjaa, Puolustusvoimien teknillinen tutkimuskeskus, *Julkai- susarja 12*. Neljännen luvun päälähteenä on käytetty *Jouko Vankan Maavoimien taktisen ver- kon tekniikat ja standardit* -kirjaa. Viidennessä ja kuudennessa luvuissa päälähteinä on käytet- ty teknillistä kirjallisuutta ja aiheeseen liittyviä tutkimuksia.

Lähteinä on käytetty tieteellisiä julkaisuja, koska tekninen kirjallisuus vanhenee nopeasti. Läh- teiden tieto on varmistettu aina vähintään kahdesta lähteestä ja näin on pyritty varmistamaan tiedon oikeellisuus ja ajankohtaisuus.

Tutkimuksen keskeiset määritelmät ovat:

#### *Paikkatieto*

Paikkatiedolla tarkoitetaan tietoa kohteesta, jonka sijainti maastossa tunnetaan.

#### *Tietoverkko*

Tutkimuksessa tietoverkolla tarkoitetaan paikkatietojärjestelmän tiedonsiirtoverkkoa. Tutki- muksessa tietoverkko määritelmää käytetään GSM-, TETRA-, VHF/HF-, WLAN/MANET-, ja Satelliittipuhelinverkoista.

#### *Paikkatietojärjestelmä*

Paikkatietojärjestelmä on järjestelmä, joka käsittelee sotilaan paikkatietoa. Paikkatietojärjes- telmään liittyviä komponentteja ovat, tiedon keruuseen, tiedon hallintaan, tiedonsiirtoon ja tie- don jakeluun.

#### *Multi interfaces communication software (MICS)*

MICS on sanomanvälitys sovellus, joka on tarkoitettu sanomanvälitykseen eri tietoverkoissa. MICS välittää ja vastaanottaa sanomia. MICS toimii kaikkien taktisten verkkojen tiedonsiirto alustana.

#### *Tactical Tracking Software(TTS)*

TTS on suomalainen ohjelmisto paikkatietosanomien välitykseen ja suodatukseen. Ohjelma välittää sanomia karttasovellukselle ja lähettää sanomia muihin tietoverkkoihin.

## 2 PAIKKATIETOJÄRJESTELMÄ SOTILASTOIMINNASSA

Johtamissodankäynti on operatiivis-taktisen tasan sodankäynnin muoto. Johtamissodankäynnin tavoitteena on kyetä operoimaan käytettävissä olevilla joukoilla, oikeassa paikassa mahdollisimman tehokkaasti. Tämän avulla pyritään saavuttamaan informaatioylivoima vastustajaan nähden. Tällöin vihollinen ei kykene reagoimaan tapahtumiin ennen kuin oma toiminta on edennyt ratkaisevasti ja vihollisen reagointi perustuu vanhaan tietoon. Informaatioylivoiman tärkein yksittäinen tekijä on tilannetietoisuus. Tilannetietoisuus käsittää tietoisuuden omista ja vihollisen joukoista sekä niiden sijainnista, tilanteesta, aikeista, taistelukyvyistä ja taisteluympäristöstä. [37, 17]

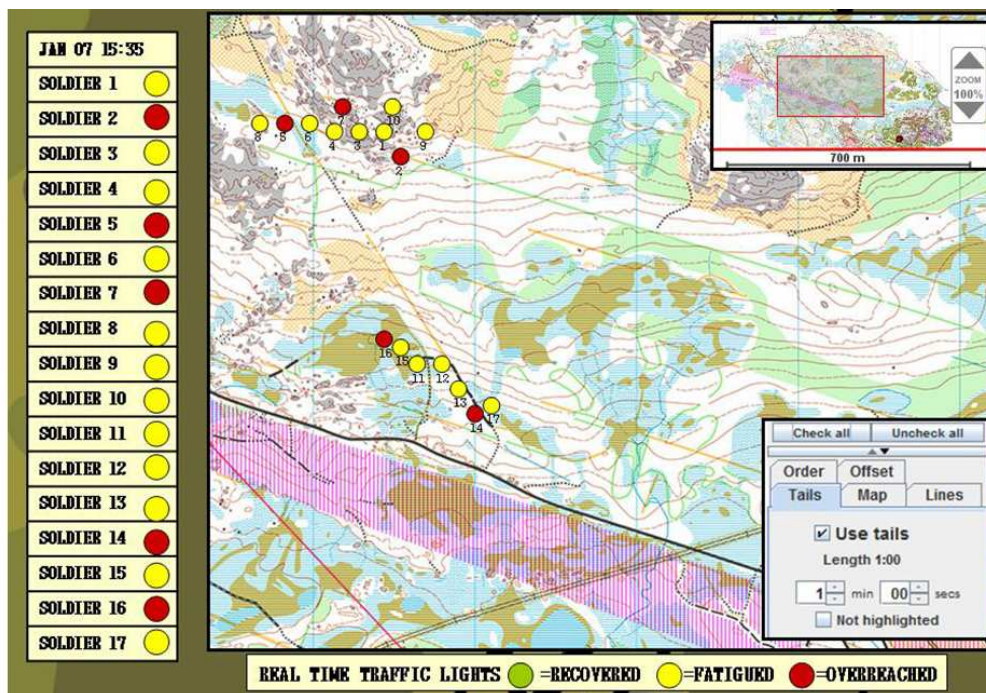
Tilannetietoisuuden kannalta on tärkeää tietää joukkojen paikka, status ja taistelukyky. Nykyaikainen taistelukenttä kulminoituu reaaliaikaiseen ja luotettavaan tilannekuvan luomiseen sekä sen jakamiseen muille joukoille[16]. Tilannetietoisuudella tarkoitetaan reaaliaikaista tilannekuvaa, joka luodaan eri lähteistä saadulla informaatiolla. Tilannekuvasta luodaan kooste, jota voidaan jakaa reaaliaikaisesti niille, jotka sitä tarvitsevat. Paikkatietojärjestelmän avulla voidaan saavuttaa hyvä tilannetietoisuus, koska paikkatietojärjestelmä tuottaa sotilaiden paikan, statuksen ja taistelukyvyn/sykedatan reaaliaikaisesti.[37, 5] Paikkatiedon tehokkaalla hyödyntämisellä voidaan saavuttaa etulyöntiasema eli paikkatietoylivoima.[31]

### 2.1 Yleistä

Omien joukkojen paikkatietojärjestelmä Blue Force Tracking (BFT) on automaattinen sotilaan sijaintia seuraava järjestelmä. BFT-järjestelmä päivittää automaattisesti sotilaan sijainnin sovelluksessa olevalle karttapohjalle[5]. BFT-järjestelmällä seurataan omien sotilaiden sijaintia taistelukentällä. BFT-järjestelmien käyttäminen on yleistynyt. Monella maalla, joka toimivat kansainvälisessä kriisinhallintaoperaatiossa, on oma BFT-järjestelmä. Puolustusvoimissa kansainvälisessä käytössä olevaa BFT-järjestelmää nimitetään FINACCIS1:ksi [9].

BFT-järjestelmä on kehitetty tuottamaan tietoa päätöksenteon tueksi, mutta se ei varsinaisesti ole taistelunjohtojärjestelmä vaan looginen osa sitä. Taistelunjohtojärjestelmä Command and Control (C2) koostuu useasta eri toiminnosta, jolla parannetaan taistelukentästä saatavaa tilannekuvaa. C2-järjestelmä sisältää muun muassa sanoman välityksen ja lähettämisen, paikkatiedon seurannan, puhevälityksen sekä tiedostojen jakamisen[5]. C2-järjestelmän merkittävin eroavaisuus BFT-järjestelmään on paikkatiedon päivittämistapa. C2 järjestelmässä käyttäjä päivittää itse omaa sijaintiaan kartalle, BFT-järjestelmässä paikkatiedon päivitys tapahtuu automaattisesti. [59] BFT-järjestelmässä on vain omat joukot kun C2-järjestelmä sisältää vihollistietoa ja muita tietoja taistelukentän tilanteesta.

BFT-järjestelmässä, kartalle päivittyvä sotilaan sijainti ja mahdollisesti tieto sotilaan taistelukykyä sekä tilanteesta. Paikkatietojärjestelmän avulla saadaan taistelukentän tilanteesta tarkempi näkemys, kun yksittäisen sotilaan paikkatieto ja status on reaaliaikaisesti tiedossa[59]. Paikkatiedon lisäksi muiden elintärkeiden tietojen automaattinen päivittymien karttasovellukselle parantaa tilannetietoisuutta merkittävästi.



Kuva 2: GSM-pohjainen paikkatietosovellus, jossa näkyy paikkatieto ja sotilaiden rasitustasot [64].

Kuvassa on siviilisovellus sotilaan paikkatietojärjestelmästä. Järjestelmän avulla nähdään yksittäisen sotilaan paikkatieto, taistelukyky ja status. Paikkatietojärjestelmä koostuu monesta osasta. Kokonaisuuteen kuuluvat paikkatietolähetin, tarvittaessa sykellähetin, sanomavälitysovellus, karttasovellus, palvelin ja tiedonsiirtoverkko.[30]

GPS-pohjaisessa järjestelmässä paikkatietolähetin vastaanottaa GPS-signaalin ja lähettää paikkatiedon eteenpäin tukiasemalle. Tukiasemasta viesti reitittyy runkoverkkoa pitkin palvelimelle. Palvelimelta tieto kootaan ja sitä käsitellään karttasovelluksessa. Karttasovelluksessa esitetään sotilaan paikkatieto karttapohjalla.[30] Tällä tavoin muodostuu kokonaisuus, jossa esimerkiksi esikunnassa pystytään seuraamaan yksittäisen sotilaan paikkatietoa ja taistelukykyä.

Sotilaan paikkatieto kertoo sotilaan sijainnin maastossa. Paikkatieto koostuu koordinaateista, jotka lähetetään paikkatietosanomassa. Paikkatietosanomaan on sisällytetty lähettimen ID tieto ja lähettimen paikkatieto koordinaatteina. Paikkatietoon voidaan lisätä statustieto, joka ilmaisee sotilaan sen hetkisen statuksen. Statustieto voi olla erityyppisiä sovittuja tilanneviestejä. Yhdistämällä saadut tiedot toisiinsa, parannetaan tilannetietoisuutta merkittävästi.[17] Jotkut statustiedot voivat olla kriittisiä, näiden statustietojen eteenpäin lähetys voidaan määrittellä kiireelliseksi.

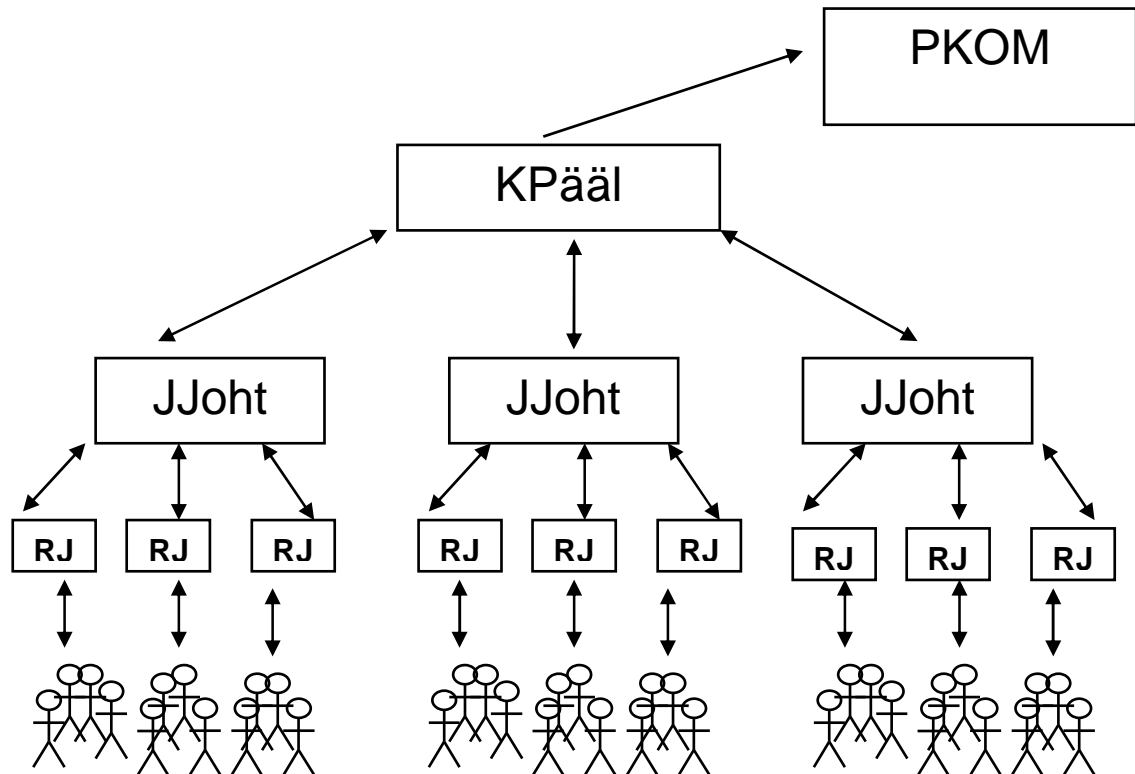
## 2.2 Paikkatiedon välittäminen

BFT-järjestelmä on luotu käytettäväksi erityyppisissä organisaatioissa. Järjestelmä soveltuu hyvin erikoisjoukkojen käyttöön operaatioon, jossa sotilaiden määrä on vähäinen, mutta etäisyydet ja joukkojen liikkuvuus on suuri. Järjestelmä soveltuu myös käytettäväksi kompaniataason joukkojen toiminnassa. Tällöin paikkatietojen välittäminen tapahtuu aina organisaatiossa ylemmälle olevalle lähettimelle, josta tieto välittyy eteenpäin. Näin muodostuu hierarkkinen tietoverkko, jossa tieto välittyy molempiin suuntiin.[53] Paikkatiedon välitys voi perustua myös maantieteelliseen sijaintiin, jolloin paikkatieto lähetetään halutulla etäisyydellä oleviin lähettämiin.[38]

BFT-järjestelmä on sotilasorganisaation tapaan hierarkkinen kokonaisuus, jossa alimmalla tasolla olevien seurattavien kohteiden tieto koostetaan ylemmälle tasolle. Alimman tason kohteet toimivat sensoreina, joiden tieto välittyy ryhmänjohtajatasolle. Ryhmänjohtajatasosta tieto lähetetään koosteena joukkueenjohtajatasolle. Näin muodostuu joukkueenjohtajataso paikkatietokuva. Joukkueenjohtajatasolta tieto lähetetään vastaavasti koosteena kompanianpäällikötasolle. Tällä järjestelyllä muodostetaan kompaniantason paikkatietokuva[53]. Tarvittaessa kompanianpäällikön tasalta lähetetään kooste pataljoonankomentajan tasolle, näin saadaan muodostettua prikaatitason paikkatietokuva.



Tietojen välityksessä voidaan käyttää periaatetta, jonka mukaan johtaja näkee oman alaisensa alaisen sijainnin, eli kahta organisaatiotasoa alemman paikkatiedon. Tällä järjestelyllä tieto suodattuu ja verkon kuormitus vähenee. Järjestelmän asetukset tulee suunnitella tarkasti, ettei verkko ylikuormittuisi. Verkon ylikuormittumisen vaara onkin komppaniatason paikkatieto-järjestelmässä otettava huomioon, sitä suunniteltaessa.[62]

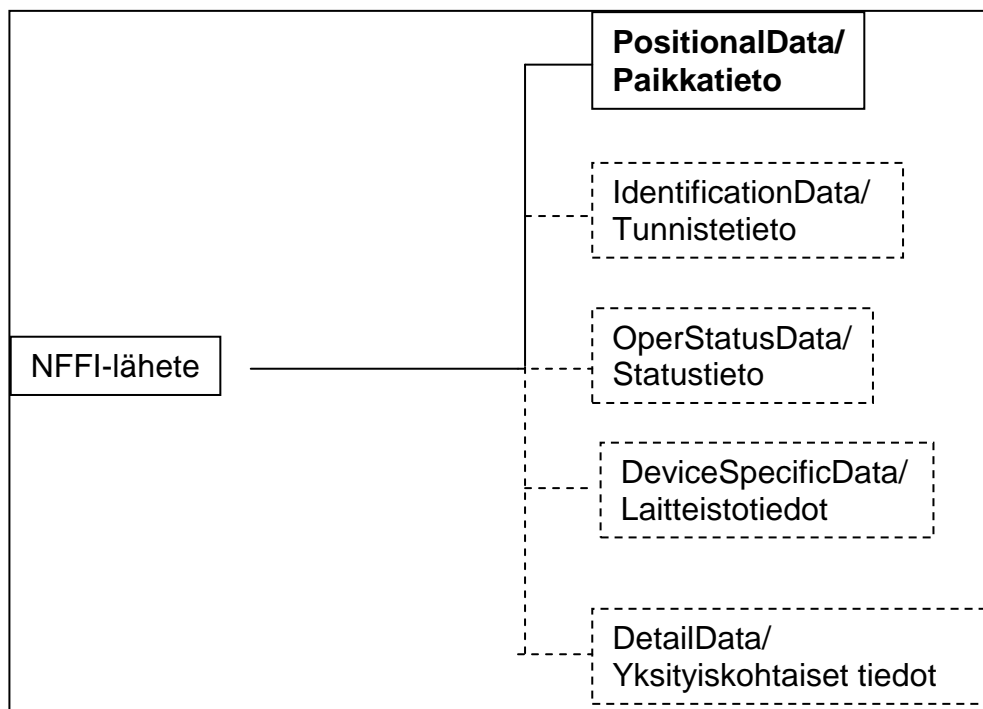


Kuva 3: Paikkatiedon välittämisen periaate.

Kuvassa on paikkatiedon välityksen periaate, jossa tieto välittyy molempiin suuntiin. Kuvassa on paikantamistasot, ja jokaisella tasalla on päätelaite, joka soveltuu parhaiten kyseiseen käyttötarkoitukseen. Yksittäisen sotilaan päätelaite on yksinkertainen lähetin, jolla välitetään paikkatieto ja muita tilannetietoja. Sotilaan päätelaite on etäseurattava, laite lähettää paikkatietoa automaattisesti, siinä ei ole näyttöä eikä käyttöliittymää. Ryhmänjohtaja tasasta ylöspäin päätelaitteet sisältävät näytön, jossa on digitaalinen karttapohja.[1]

Organisaation sisällä paikkatiedon välittämiseen käytetään eri tiedonsiirtoverkkoja. Eri tiedonsiirtoverkkojen kaistanleveydet eroavat toisistaan merkittävästi. Kun järjestelmä sisältää monia eri tiedonsiirtoverkkoja, päivitysväli on määriteltävä jokaiselle verkolle erikseen niiden suorituskyvyn mukaan. Paikkatietojärjestelmässä on samoja lainalaisuuksia, jotka rajoittavat muutakin sotilasviestintää[61]. Eli alueella jossa on eniten käyttäjiä, siellä tiedonsiirtokapasiteetti on vähäisintä. Esikunnan alueella, jossa käyttäjiä on muutamia, tiedonsiirtokapasiteetti on korkea.

Kansainvälisessä toiminnassa paikkatietolähete on standardisoitu tekstiformaatti, joka BFT-järjestelmässä perustuu Nato Friendly Forces Information (NFFI-protokollaan). Lähete on XML-pohjainen (eXtensible Markup Language) tekstilähete, jossa lähetetään paikkatieto, tunnistetieto, statustieto ja muita laitetietoja. NFFI-lähetettä siirretään järjestelmien välillä. NFFI-standardia käytetään yleisesti Nato-joukkojen paikkatietojärjestelmien siirtoprotokollana. NFFI on käytössä myös Natoon kuulumattomien maiden paikkatietojärjestelmissä, jotka toimivat Nato-johtoisessa operaatiossa. NFFI soveltuu käytettäväksi monissa erityyppisissä tietoverkoissa paikkatietolähetteenä. [42] Kuvassa on NFFI-lähetteen sisältö.



Kuva 4: NFFI-lähetteen sisältö[42].

Lähete koostuu viidestä eri osiosta, jotka kuvaavat sotilaan liiketietoja. Lähete sisältää paikkatiedon (PositionalData), tunnistetiedon (IdentificationData), statustiedon (OperstatusData), laitteistotiedot (DeviceSpecificData) ja yksityiskohtaiset tiedot (DetailData). Paikkatieto-osio on ainoa pakollinen, muita osioita voidaan lisätä tarpeen mukaan[42].

Paikkatieto-osio sisältää paikkatiedon sekä sanoman ja kohteen tunnistetiedot. Tunnistetieto-osion tiedot antavat lisää tietoa seurattavasta kohteesta paikkatieto osion tietojen lisäksi. Statustieto-osio, tarjoaa tietoa seurattavan kohteen tilanteesta. Laitteistotieto-osiossa on tieto järjestelmään liitetyistä laitteistoista tai muuta tietoa jota itse seurantajärjestelmä ei kykene tuottamaan. Yksityiskohtaiset tiedot -osio on avoin, johon voidaan tulevaisuudessa liittää sanoman mukana lähetettäväksi haluttavaa tietoa.[42] Osion soveltuvuutta esimerkiksi syketiedon siirtämiseen on tutkittava.

Puolustusvoimissa kansallisessa toiminnassa joukon ryhmitystiedot (JORYTI) lähetetään sanomana. JORYTI-sanomalla ilmoitetaan omien joukkojen ja muiden osastojen ryhmitystiedot. Sanomalla välitetään joukon paikka, joka esitetään symbolina karttapohjalla. JORYTI-sanoma soveltuu tilanteisiin, joissa tietoverkon tiedonsiirtokapasiteetti on vähäinen. Sanomalla voidaan välittää tieto joukon paikasta ja toiminnasta. Sanomaan voidaan lisätä tarvittavia lisätietoja, jolloin voidaan välittää myös tilannetietoa. JORYTI-sanomaa käytetään myös tilanneilmoituksena. Tutkimuksessa JORYTI-sanomasta käytetään nimitystä johtamissanoma (JOSA). Alla esimerkki JORYTI-sanoman rakenteesta.

```
JS/JORYTI//S//JKR/JOUKKO1/AKT/16123243Z/A60M47,802/A24M49,859/W//E//
```

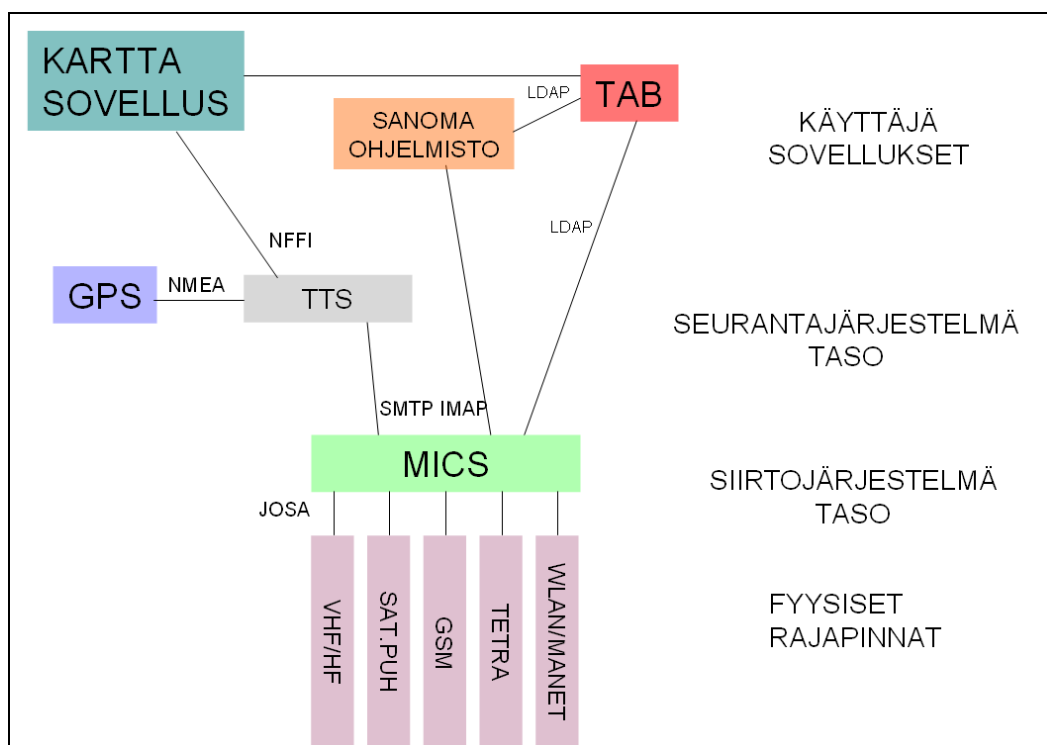
Verkkojen yhdistäminen edellyttää yhteneväistä sanomanvälitysjärjestelmää. Ilman yhtenäistä sanomanvälitysjärjestelmää jokainen eri tiedonsiirtoverkko toimii omana kokonaisuutenaan. Tällöin paikkatietoa ei pystytä välittämään kattavasti. Verkkojen yhdistäminen asettaa haasteita sanomien välitykselle, koska jokaisessa verkossa on erityyppiset tiedonsiirtotavat ja protokollat. Järjestelmässä on yleensä oma ainutlaatuinen tiedonsiirtotapa. Jotta verkot toimivat kokonaisuutena, paikkatiedon pitää välittyä tiedonsiirtoverkosta toiseen automaattisesti.[34]

### 2.3 Paikkatietojärjestelmän sanomanvälitys

Paikkatietojärjestelmä sisältää monia eri tiedonsiirtoverkkoja. Tiedonsiirtoverkkojen erilaisuus asettaakin rajoituksia paikkatiedon välittämiseksi. Järjestelmän on tuotettava jonkinlainen viesti, jota jokainen siirtotie ja päätelaite ymmärtävät. Sanomien on välityttävä jokaisen siirtotien kautta päätelaitteelta päätelaitteelle, välissä olevasta siirtotiestä välittämättä. Sanomanvälityksen ei tule välittää siirtotiestä vaan käsitellä ainoastaan lähetettävää paikkatietosanomaa. Sanomanvälityksen haasteeseen on kehitetty sovellus, joka välittää siirtoteiden läpi sanomia ja peittää siirtotien sovellukselta. Sovelluksen nimi on Multi Interfaces Communications software (MICS).[33]

MICS rakentaa viestiväylän erilaisten tietoverkkojen ja järjestelmien yli, ja jokainen tutkimuksessa vertailtava tiedonsiirtoverkko kelpaa paikalliseksi tiedonsiirtoväyläksi. MICS käyttää yleisessä käytössä olevia standardeja sähköpostinlähetykseen kuten SMTP ja IMAP. MICS sovellus vastaanottaa ja lähettää sähköpostiviestejä, jotka näyttävät normaaleilta sähköposteilta. Viestin lähetys on täysin standardin mukainen sähköpostin lähetys, joka tapahtuu SMTP-protokollan mukaisesti.[58] Viestin vastaanotto tapahtuu IMAP-protokollan mukaisesti. Asiakassovellus näkee MICS:n sähköpostipalvelimena. MICS ei ota kantaa sanomien sisältöön, vaan välittää viestit eteenpäin. MICS-sovellus soveltuu kansalliseen sekä kansainväliseen käyttöön[41].

MICS tarjoaa sitä käyttäville sovelluksille osoitekirjan Tactical Address Book (TAB), jota käyttää sanomaohjelmisto. TAB sisältää tarvittavat organisaation viestitunnukset. Asiakassovellus luulee lähettävänsä ja vastaanottavansa sähköposteja IP-verkossa. MICS ottaa viestin vastaan ja etsii vastaanottavan MICS sovelluksen, pakkaa ja salaa viestin ennen lähettämistä. Vastaanottava sovellus lukee viestin vastaanottavan MICS-palvelimen saapuneet -kansioista, kuten normaalissa sähköpostissa.[33]

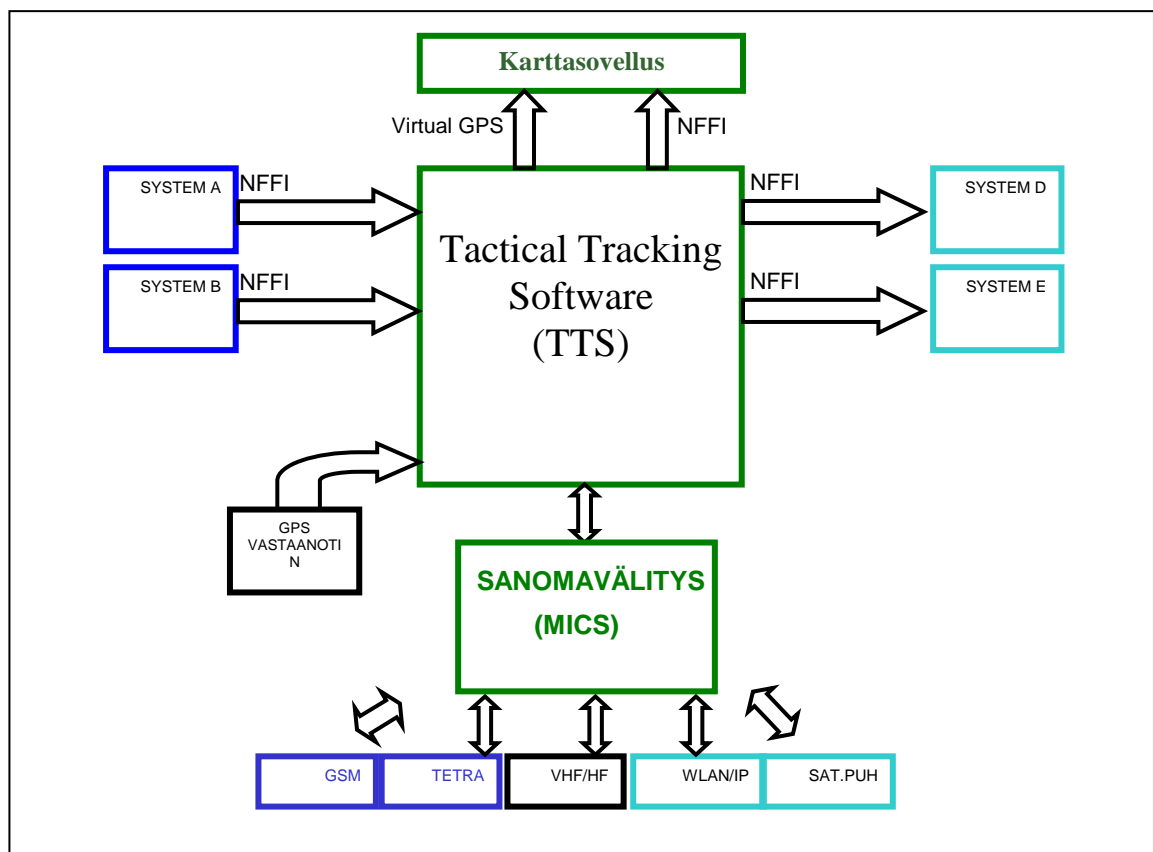


KUVA 5: Paikkatiedon sovellusjärjestelyt.

Kuvassa on paikkatietojärjestelmän sovellusjärjestelyt. Tietoverkot on liitetty ohjelmistomoduuleilla MICS sovellukseen. MICS välittää viestit TTS:lle. TTS välittää sanomat NFFI-formaatissa karttasovellukselle, johon käyttäjien sijainnit päivittyvät.

MICS mahdollistaa sanomien siirron taktisissa verkoissa, sillä se kykenee käyttämään mitä tahansa käytössä olevaa siirtotietä (GSM, TETRA, VHF/HF, WLAN, Satelliittipuhelin)[35]. MICS-sovellus tuottaa päästä päähän salauksen. MICS toimii taktisten sovelluksien tiedonsiirtoalustana, ja integroi sovellukset toisiinsa sanomatasolla[35]. MICS peittää siirtotien sovellukselta ja mahdollistaa siirtotiekohtaisten standardien protokollan käytön, kuten GSM/SMS, IP/WLAN ja STANAG 4406.[33]

Tietoverkosta muodostetaan ohjelmistomoduulin Application Programming Interfaces (API) avulla rajapinta MICS-sovellukseen[34]. Moduuli on siirtotielle optimoitu protokolla, joka soveltuu tietoverkon ominaisuuksiin.[41,34] MICS käyttää sanomien reititykseen taloudellisinta siirtotietä. MICS käyttää siirtotienä joko edullisinta tai suurimman kapasiteetin omaavaa tietoverkkoa.[33]. MICS välittää viestit TTS:lle, joka toimii paikkatietojärjestelmän keskellä.



Kuva 6: Paikkatiedon sanomavälitys[15].

Kuvassa on TTS:n toimintaperiaate. TTS toimii paikkatietosanomien välitys ja suodatus ohjelmistona. TTS liikennöi muiden järjestelmien kanssa NFFI-formaattilla. TSS ylläpitää standardisoidut rajapinnat muihin järjestelmiin. TTS-sovellukset lähettävät paikkatietosanomiam MICS-sovelluksen ja tietoverkkojen kautta toiselle TTS:lle.

TTS-sovellukseen on yhdistetty GPS-vastaanotin, jonka avulla päivitetään paikkatietoa ja asetetaan laitteen kellon. TTS-sovellus voidaan liittää mihin tahansa muuhun järjestelmään joka tukee NFFI-standardia tai kansallista JOSA-formaattia ja kykenee välittämään paikkatietolähteitä muihin järjestelmiin.[6] TTS:n käyttö keskittyy pääsääntöisesti kiinteään verkkoon.

## 2.4 Paikkatiedon tuottamat laitteet

Laitteet, jotka tuottavat paikkatietoa voidaan jakaa käyttäjäryhmän mukaan kolmeen kategoriiaan, jotka ovat taistelijan päätelaite, ryhmänjohtajan päätelaite ja joukkueenjohtajan päätelaite. [1] Lisäksi on PC, johon kerätään kaikki välitetyt paikkatiedot. Komppanianpäällikkö käyttää tietokonetta, ja sitä käytetään myös tilannekeskus tasalla. Päätelaitteiden tulee olla käyttäjien tarpeisiin soveltuva ja tukea käyttäjien tarvitsemia ominaisuuksia.[1]

Paikkatiedon tuottamia laitteita on markkinoilla paljon. Laitteet pääsääntöisesti pohjautuvat GPS-signaaliin. GPS-lähetteen avulla voidaan määrittää laitteen sijainti hyvinkin tarkasti. Paikkatietolaitteet sitovat paikkatiedon karttapohjalle, jolloin paikkatieto on helpompi sitoa ympärillä olevaan paikkaan. [1] Paikkatietolähttimiä on tehty moneen eri tarkoitukseen. On paikkatietolähttimiä, jotka vastaanottavat GPS- lähetteen ja sitovat paikkatiedon karttapohjalle, tämän tyyppisiä laitteita kutsutaan navigaattoreiksi. On paikantamislaitteita, jotka eivät sisällä näyttöä vaan lähettävät vastaanotetun GPS-signaalin eteenpäin verkkoon. Tämän tyyppiset laitteet eivät itsessään anna käyttäjälle sijaintia, vaan ne lähettävät GPS-signaalin eteenpäin. Yleensä laitteet käyttävät GSM-verkkoa tiedonsiirtoverkkona. Laitteet lähettävät joko SMS - tai GPRS-viestin verkkoon laitteen sijainnista. Tämän tyyppisiä laitteita kutsutaan etäseurattaviksi laitteiksi. Laitteiden ominaisuudet tulee tukea käyttäjäryhmän tarpeita.

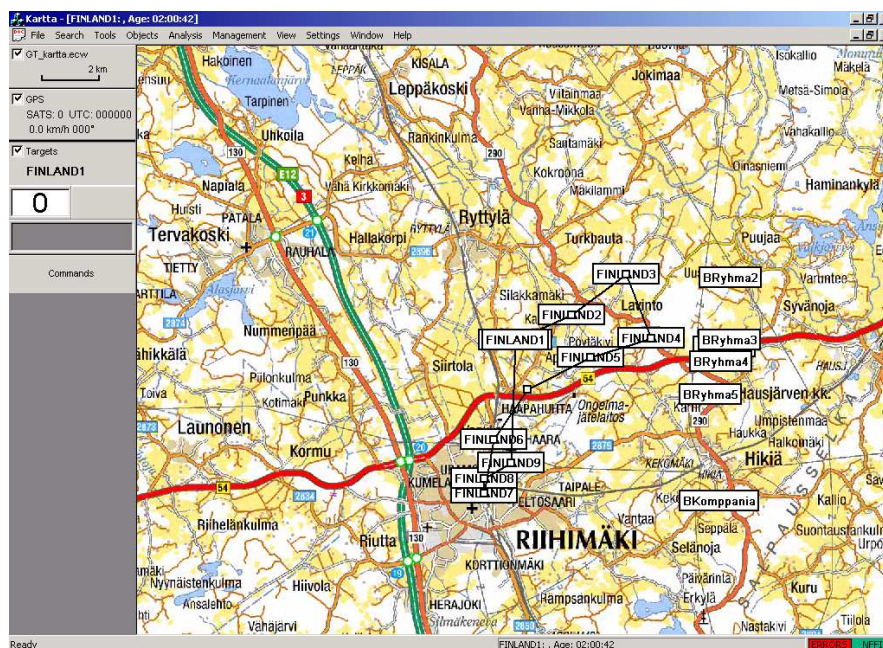
Paikkatietolähttimissä on integroitu GPS-siru, antenni, keskusyksikkö, muisti ja lähetinyksikkö. GPS-siru vastaanottaa lähetteen ja muodostaa siitä eteenpäin lähetettävän sanoman. Lähetinyksikkö lähettää signaalin tarvittaessa eteenpäin tiedonsiirtoverkkoon. Paikkatietolähttin, joka ei lähetä eteenpäin mitään, kerää paikkatietoa muistiin, jonka tiedot voidaan purkaa tietokoneelle jälkepäin. [13] Sotilastoiminnassa on toiminnallisesti järkevää käyttää paikkatietolähtintä, joka lähettää tiedon reaaliaikaisesti eteenpäin. Näin säilyy reaaliaikainen tilannekuva. Paikkatietolähttimet voivat tukea myös sykedatan lähettämistä, jolloin paikkatiedon lisäksi saadaan tietoa sotilaan taistelukyvyistä.[30]

## 2.5 Paikkatietojärjestelmän karttasovellukset

Paikkatieto-ohjelmistossa kohteet käsitellään ja esitetään päällekkäisinä karttatasoina, kuten esimerkiksi tiestö, vesistöt ja joukkojen vastuurajat. Paikkatietoanalyysillä on mahdollista tutkia kohteiden tai sotilasosastojen syy- ja seuraussuhteita ja näin saada selville tietoa osastojen liikkeistä. Paikkatiedot ja analyysien tulokset esitetään useimmiten karttasovelluksella, mikä on erinomainen keino havainnollistaa asioita sotilastoiminnassa.[38]

Karttasovelluksen tuottama paikkatieto on koordinaatteihin perustavaa (WGS-84) tekstimuotoista lähetettä. Paikkatietojärjestelmää käytetään yleisesti rasterikartalla, johon paikkatieto päivittyy vektori merkintöinä. [1]

Paikkatieto-ohjelmiston paikkatieto koostuu elementeistä. Lopullinen informaatio koostetaan tietomallien, paikkatiedon, karttojen ja metatiedon perusteella. Elementtien avulla muodostuu tieto karttapohjalle, josta on nähtävillä sotilaiden liike ja muut tarvittavat tiedot. [63] Kuvassa JPTrackerin karttasovellus, jossa on kuvattu sotilasosastojen liiketietoja.



Kuva 7: Näkymä JPTracker sovelluksesta[1G].

### 3 PAIKANNUSMENETELMÄT

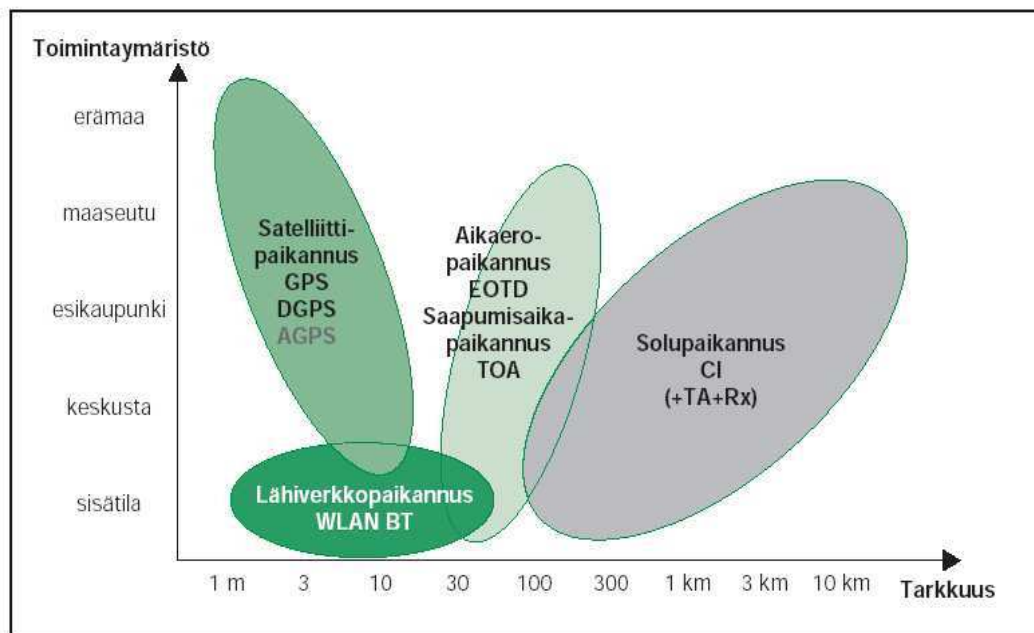
Paikannuksella tarkoitetaan henkilön, rakennuksen tai fyysisen materiaalin sijaintikoordinaatien selvittämistä.[4] Paikkatietoa tuottavia menetelmiä on useita. Yleisimmät paikannusmenetelmät perustuvat satelliittipaikannukseen. Tutkimuksessa käsitellään satelliitti-, GSM-verkko- ja lähiverkkopaikannusmenetelmiä, niiden käyttökelpoisuuden vuoksi sotilastoiminnassa.

GPS-järjestelmän käyttö sotilaspaikannuksessa on yleistä ja varsin käyttökelpoista, järjestelmän laajan levinneisyyden vuoksi. GPS-paikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa Differential GPS (DGPS) toiminnolla, jossa maa-asetat tuottavat korjaustietoja ja välittävät sen reaaliaikaisesti eteenpäin. GPS-järjestelmän käytettävyyttä on parannettu Assisted GPS (AGPS) on tekniikalla, jossa GPS-järjestelmää avustetaan matkapuhelinverkon avulla. AGPS nopeuttaa ensimmäisen paikkatiedon laskemista lähettämällä vastaanottimelle nopeasti satelliitin ratatiedot.[52]

GSM-puhelimen karkea paikannus voidaan toteuttaa hyödyntäen pelkkää matkapuhelinverkkoa. Menetelmät perustuvat signaalin kulkuajan mittaamiseen tukiasemien välillä, jolloin voidaan määrittää kohteen sijainti. GSM-paikantamismenetelmiä on useita, kuten aikaero-, solu-, saapumiskulma- ja kulkuajamittausmenetelmä [52] Paikkatiedon tarkkuuteen vaikuttavat ajan ja signaalin mittaustarkkuus.

Paikannus sisätiloissa satelliittipaikannuksella tai GSM-verkkopaikannuksella on todella haastavaa tai jopa mahdotonta. Nykytekniikalla toteutettu verkkopaikannuksen tarkkuus ei ole riittävä ja satelliittipaikannuksen signaalin tehokkuus ei riitä sisätiloissa. Lähipaikannus voidaan toteuttaa monella eri menetelmällä, jotka perustuvat signaalin mittaukseen[7]. Menetelmistä lähiverkkopaikannus on potentiaalisin paikannusmenetelmä. Lähiverkkopaikannus perustuu verkon signaalikentän voimakkuuden mittausten avulla tuotettuun malliin.[45]



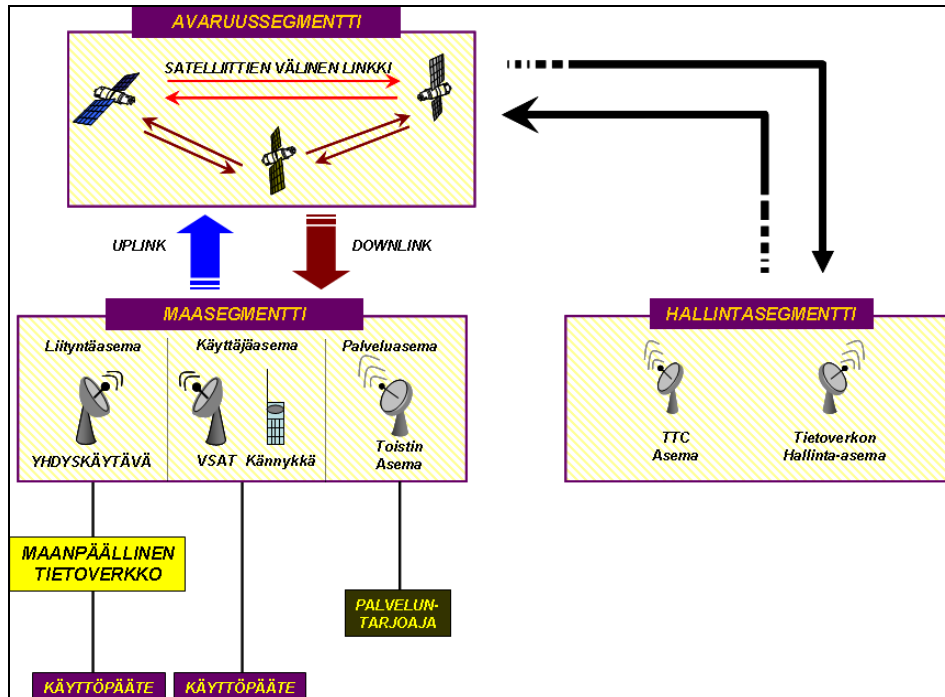


Kuva 8: Käsiteltävien menetelmien tarkkuudet[43].

Sotilaiden laajasta toimintaympäristöstä johtuen, tulee paikantamismenetelmiä olla useita ja niiden tulee tukea toisiaan. Kuvassa on esitelty käsiteltävien menetelmien tarkkuudet erityyppisissä ympäristöissä. Sotilaiden paikantamisessa 5–15 metrin tarkkuutta voidaan pitää riittävänä. Paikannusmenetelmiä yhdistämällä päästään tarkkoihin sekä luotettavampiin tuloksiin kuin yhtä järjestelmää käyttämällä.[52]

### 3.1 GPS

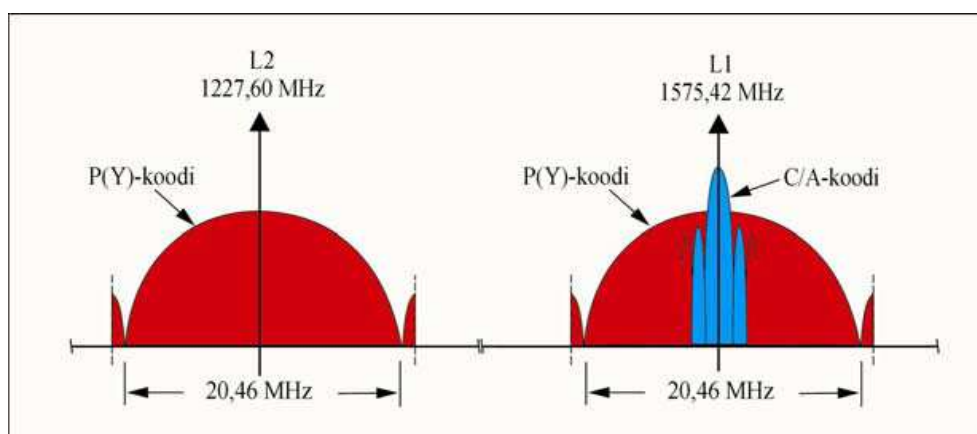
Yhdysvaltain puolustushallinnon ylläpitämään Global positioning System (GPS)-järjestelmään kuuluu 24 satelliittia, jotka kiertävät maata 20200 kilometrin korkeudessa. Satelliittien kiertoradat on suunniteltu siten, että maapallon jokaisesta kohdasta nähdään aina vähintään neljä satelliittia, jos esteetöntä taivasta on näkyvissä 60 prosenttia.[12] GPS-järjestelmä on kolmiosainen. Järjestelmä koostuu: satelliitti-, kontrolli- ja käyttäjäosista. Alla olevassa kuvassa on esitelty GPS-järjestelmän rakenne.



Kuva 9: GPS-järjestelmän rakenne[61].

Satelliittiosalla tarkoitetaan avaruudessa kiertäviä satelliitteja, joiden tilaa, ratoja ja toimintaa tarkkaillaan jatkuvasti kontrolliverkon avulla. Kontrolliverkko koostuu päävalvonta-asemasta ja useista tarkkailuasemista. Ne tarkkailevat jatkuvasti satelliittien tilaa, päivittävät niiden käyttäjille lähettämiä tietoja, sekä määrittävät paikannuksessa tarvittavia satelliittien rataelementtejä ja kellovirheitä. Käyttäjäsasema on puolestaan GPS-vastaanotin järjestelmä tai yksittäinen laite, joka hyödyntää GPS:n antamaa sijaintia, nopeutta sekä tarkkaa aikaa.[50]

GPS-järjestelmän käyttäjät on jaettu kahteen osaan; sotilaiden ja siviilien. Sotilaiden järjestelmät käyttävät P-koodia, jolla päästään muutaman metrin tarkkuuksiin. Siviileiltä P-koodin käyttö on salattu, joten siviileiden C/A-koodilla päästään kymmenien metrien tarkkuuksiin.[50]



Kuva 10: GPS signaalien spektrit [55].

Kuvassa satelliittien kantaallot ja moduloidut P(Y) ja C/A koodit. Kukin satelliitti lähettää kantaaltoa kahdella taajuudella, L1 1575.42MHz ja L2 1227.6 MHz. Kantaaltoon on moduloitu kaksi pseudosatunnaista signaalia, C/A-, P-Koodit ja satelliittien lentoradat. [50]

GPS-järjestelmän hajaspektritekniikka suojaa häiriöitä vastaan, on satelliittipaikantimet silti hyvin herkkiä taajuuskaistallaan oleville häiriösignaaleille. GPS-järjestelmässä C/A-signaalin hajaspektrisignaalista saatava prosessointivahvistus on maksimissaan 43 dB ja vastaavasti P(Y)-signaalin tapauksessa 53 dB. Signaalin modulaatio- ja koodivalinnat ovat monilta osin julkista tietoa. Erityisen haavoittuvia ovat signaalit, jotka käyttävät lyhyttä salaamatonta koodia, kuten GPS:n C/A-koodia.[55]

Vaikka itse GPS-standardi ei olekaan muuttunut, ovat siviilikäyttöön tarkoitetut vastaanottimet kehittyneet niin vastaanottotekniikaltaan kuin palveluiltaankin. Uusimmat GPS-laitteet pystyvät seuraamaan kaikkia kahtatoista samanaikaisesti näkyvässä olevaa satelliittia. Niiden vastaanottimet ovat herkempiä, ja piirien virrankulutus on pienempi[55]. GPS-laitteet käyttävät liikennöintiin National Marine Electronics Association -prokollassa (NMEA) määritettyjä lähetteitä[44]. Lähetteet on kuvattu liitteessä 8

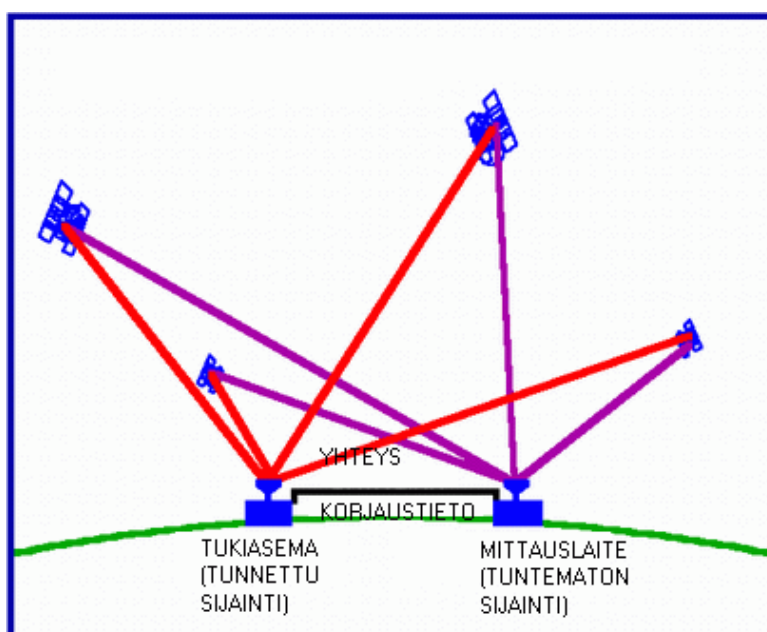
GPS:n tarkkuutta ja luotettavuutta voidaan kuitenkin parantaa erilaisilla lisäjärjestelmillä. Assisted GPS (AGPS) on tekniikka, jossa GPS-järjestelmää avustetaan matkapuhelinverkon avulla. AGPS nopeuttaa ensimmäisen paikkatiedon laskemista lähettämällä vastaanottimelle nopeasti satelliitin ratatiedot. Tätä kutsutaan termillä, Time to first fix (TTFF), joka normaalisti kestää 30–60 sekuntia.[52] AGPS:ssä satelliittitiedot lähetetään käyttäen nopeampaa tiedonsiirtoyhteyttä. GPS signaalin tarkkuutta parantavia menetelmiä on käytössä myös muita, kuten Differential GPS (DGPS) menetelmä.[50]

## 3.2 Differentiaalinen GPS

Differentiaalisessa satelliittipaikannuksessa Differential GPS (DGPS), tarkkuutta on voitu parantaa maanpäällisten mittausasemien tuottamien korjaustietojen reaali-aikaisella välityksellä. Korjaustiedoilla voidaan eliminoida ilmakehän aiheuttama vääristymä. Mittausasemien paikka on tunnettu, mittausasema saa satelliitilta paikkatiedon ja vertaan sitä omaan paikkaansa, saatu erotus lähetetään liikkuvalla käyttäjälle. Menetelmällä päästään hyvissä olosuhteissa noin kahden metrin tarkkuuteen, mutta järjestelmä ei kuitenkaan poista heijastumisen aiheuttamaa vääristymää esimerkiksi kaupungeissa.

Korjaustiedot lähetetään paikallisesti radioteitse käyttäen FM-taajuuksia tai merenkulun radio-taajuuksia. Paikallisissa GPS-mittauksissa korjaustieto voidaan toimittaa tilapäisesti rakennetuilla GPS-transpondereilla, jotka lähettävät korjaustietoa mittaavan yksikön käyttöön.[52]

Liikkuvan aseman etäisyys mittausasemaan ei voi olla kovin pitkä, maksimissaan noin 200 kilometriä, koska korjauslaskelma muuttuisi epätarkaksi. DGPS ominaisuus on useissa nykyisissä GPS- päätelaitteissa sisäänrakennettuna ominaisuutena. Differentiaalikorjauksen ansiosta päästään C-koodia hyödyntävässä paikannuksessa parhaimmillaan alle metrin paikannustarkkuuksiin. [55] Alla olevassa kuvassa on DGPS-tekniikan toimintaperiaate.



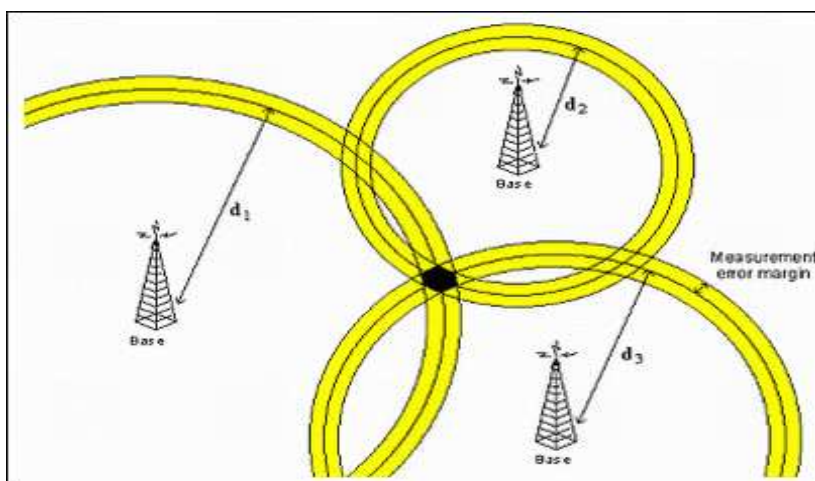
Kuva 11: DGPS tekniikan toimintaperiaate[19].

### 3.3 GSM-verkon paikannusmenetelmät

Matkapuhelinverkko ylläpitää paikannustietoa jatkuvasti tukiasemaryhmän tarkkuudella kun puhelin on auki. Puhelin on paikannettavissa tukiaseman eli solun tarkkuudella, puhelimen ollessa kytkettynä verkkoon. Järjestelmään lisättävän paikannuspalvelimen avulla matkapuhelin voidaan paikantaa, kun puhelin liikennöi joillain tavalla verkossa. Verkkopaikannukseen liittyy kapasiteettirajoituksia, joten käyttäjien jatkuva seuraaminen vaatii merkittävästi verkon resursseja. Tästä syystä verkkopaikannus on käytännössä muita paikannusmuotoja tukeva menetelmä.[52]

GSM-verkossa on useita paikannusmenetelmiä, kuten solupaikannus, saapumiskulmapaikannus, saapumisaikapaikannus, kulkuaikaeropaikannus ja saapumisaikaeropaikannus. Luvussa on esitelty lyhyesti yleisimmät verkkopaikannusmenetelmät

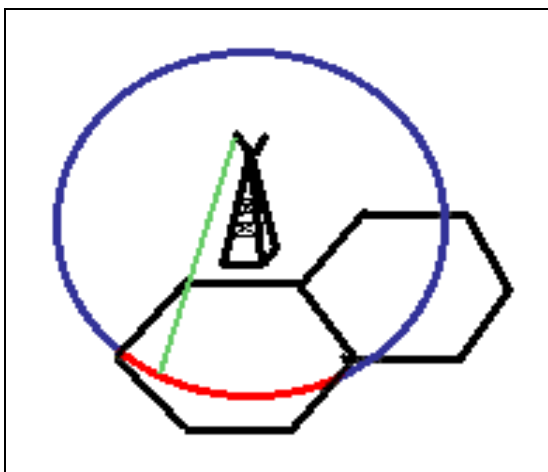
Signaalien kulkuaikaeropaikannusmenetelmä Enhanced Observed Time Difference (E-OTD) on menetelmä, joka perustuu signaalien kulkuajojen erojen mittaukseen. Signaalien kulkuajoja mitataan kolmesta eri GSM-tukiasemasta. Lisäksi siinä käytetään apuna tunnetussa pisteessä sijaitsevaa mittausasemaa Location Measurement Units (LMU:ta), jonka kanssa verrataan samoilta kolmelta tukiasemalta tulevia signaalien saapumisaikojen eroja. Signaalierojen pohjalta lasketaan tukiasemakeskeiset hyperbelit, joilla matkaviestin sijaitsee. Sijainti saadaan vähintään kahden hyperbelin määrittelyllä ja siihen tarvitaan vähintään kolme tukiasemaa.[52]Kuvassa aikaeropaikannuksen toimintaperiaate.



Kuva 12: Aikaeropaikannusmenetelmän toimintaperiaate[21].

E-OTD tarvitsee runsaasti laskentatehoa, mutta laskenta voidaan siirtää myös verkon paikannuspalvelimelle. E-OTD tarvitsee toimiakseen muutoksia sekä päätelaitteisiin, että verkkoon. Paikannuksen tarkkuus riippuu tukiasemien etäisyydestä, parhaimmillaan saavutetaan noin 100 metrin tarkkuus.[12]

Solupaikannus (CGI) menetelmässä, paikantaminen tapahtuu solutunnistuksen avulla. Kulku-aikamittaus (TA) puolestaan mittaa tukiasemalta tulevan signaalin kulkuajan, jonka perusteella saadaan laskettua etäisyys tukiasemaan. Yhdistämällä tiedot parannetaan solutunnistuksen antamaa tarkkuutta. Cell Global ID + Time Advance (CGI+TA) käyttää hyväkseen vain yhtä tukiasemaa, menetelmä toimii kaikissa GSM-laitteissa. Tämä onnistuu ilman suurempia muutoksia päätelaitteisiin tai verkon komponentteihin. Menetelmän etuna on se, ettei se vaadi muutoksia GSM-verkkoon.[52]



Kuva 13: CGI + TA -menetelmän toimintaperiaate[23].

Kuvassa on solupaikannuksen toimintaperiaate. Solupaikannuksen tehokas hyödyntäminen edellyttää paikannuspalvelinohjelmiston liittämistä verkkoon.[52] Paikannustarkkuus riippuu solujen koosta. Kaupunkialueilla tarkkuus on parempi, koska solut ovat pienempiä. Harvaan asutuilla alueilla solun koko niin suuri, ettei menetelmä anna kovin luotettavaa tulosta. Parhaimmillaan CGI+TA:n tarkkuus on noin jopa 10 metriä, joka saavutetaan mikro-soluissa. Normaali saavutettu tarkkuus on noin 100 – 200 metriä.[45]

Saapumisaikapaikannus (TOA) menetelmässä päätelaite lähettää signaalin tukiasemiin jotka ovat sen kuuluvuusalueella. Tukiasemat mittaavat signaalin siirtoviivettä, kun mittauspisteiden tarkkapaikka tiedetään, saadaan näistä tiedoista laskettua puhelimen sijainti.[12] TOA-menetelmässä käytetään kolmea tukiasemaa paikannukseen, samantyyppisesti kuin E-OTD menetelmässä. Tämä edellyttää että tukiasemat ovat keskenään synkronoituja ja päätelaitteet ovat synkronoituja tukiasemien kanssa. Paikannuksen tarkkuus riippuu tukiasemaverkon tiheydestä. Tiheissä tukiasemaverkoissa eli kaupunkialueella tarkkuus on noin 50–100 metriä, mutta maastossa jossa tukiasema verkko on harvempaa tarkkuus voi olla jopa 1000 metriä. [29]

### 3.4 Lähiverkkopaikannus

Lähiverkon paikannusmenetelmät pohjautuvat verkon signaalikentän mittausten avulla tuotettuun malliin. Menetelmä muistuttaa läheisesti verkkopaikannuksen korrelaatiopaikannusmenetelmää. Lähiverkkojen paikannustarkkuus riippuu tukiasemien määrästä. Hyvissä olosuhteissa lähiverkkopaikannus-menetelmällä on päästy 1 – 2 metrin paikannustarkkuuteen sisätiloissa[7]. Tekniikan yhdistämistä pieniin mobiili-laitteisiin rajoittavat virrankulutus ja hinta. [52]

Lähiverkkopaikannuksen avulla voidaan välittää sisätiloissa olevien sotilaiden paikkatietoa eteenpäin. Lähiverkkopaikannuksen avulla saadaan korvattu GPS-lähettimen rajallinen toimivuus sisätiloissa ilman toistinta. Sotilaiden toimintaympäristöt ovat laajoja ja aina ei voida taata GPS:n toimivuutta, tällöin paikantaminen voi perustua GSM-verkkopaikannustekniikoihin ja sisätiloissa lähiverkkopaikannukseen.

## 4 TEKNIIKAT JA PROTOKOLLAT

Paikkatietojärjestelmä ja tutkielmassa vertailtavat tietoverkot, sisältävät useita eri tiedonsiirto-tekniikoita ja protokollia. Erityyppisten tekniikoiden merkitys paikkatiedon järjestelmässä on ratkaiseva. Tietoverkot, joissa paikkatietoa siirretään, vaihtelevat ympäristön muuttuessa. Näin ollen erityyppisiä tekniikoita paikkatiedon siirtämiseen käytetään paljon.

Paikkatietojärjestelmässä on monia erityyppisiä teknisiä ratkaisuja, jotka vaikuttavat järjestelmän toimivuuteen. Eri tekniikoiden soveltuvuutta paikkatiedon siirtoon on hyödynnettävä, jotta järjestelmän toimii tehokkaasti kaikissa toimintaympäristöissä. Siirtotekniikat ja eri protokollat vaikuttavat omalta osaltaan paikkatietojärjestelmään. Järjestelmään sisältyy myös erityyppiset päätelaiteet ja antenniratkaisut. Tietoturva on tärkeä osa paikkatiedonjärjestelmää, koska järjestelmä sisältää tarkkoja tietoja omien joukkojen sijainnista. Tämän vuoksi tiedon tulee olla hyvin salattua.

Paikkatietojärjestelmässä on ominaispiirteitä, jotka eroavat normaalista viestinnästä merkittävästi. Paikkatietolähettimien liikenne eroaa normaalista IP-pohjaisesta liikenteestä, siten että sanoman lähettäjä ei varmistu sanoman perillemenosta. Luvussa esitellään yleisimmät paikkatiedon siirtoon käytettävät tekniikat.

### 4.1 FLASH-OFDM

Kaupalliselta nimeltään @450-verkko, on Fast Low-latency Access with Seamless Handoff-Orthogonal Frequency Division Multiplexing-tekniikkaa (Flash-OFDM) käyttävä laajakaistainen datansiirtoverkko. Suomessa 450 MHz taajuusalueella toimiva IP-pohjainen datansiirtoverkko[56]. Matalan taajuuden ansiosta suurinopeuksineen pakettikytkentäinen verkko voidaan toteuttaa laajalla alueella. Matalan taajuuden ansiosta lähete ei ole kovin altis maantieteellisille esteille, eikä sääilmiöille. Tästä syystä verkon palvelutaso, Quality of service (QoS) säilyy hyvänä, säästä ja maasto-olosuhteista riippumatta. [61]



Flash-OFDM on signaalin prosessiomenetelmä, joka mahdollistaa suuret datansiirtonopeudet liikkuvassa ympäristössä. Verkon ominaisuudet takaavat hyvän tietoturvan ja nopean liikuteltavuuden. Liikuteltavuus perustuu saumattomaan kanavan vaihtoon. Tekniikka mahdollistaa nopean datansiirron yli 1,25 Mb/s, sekä se on yhteensopiva standardien mukaisien IP/ethernet-laitteistojen kanssa. Tekniikka mahdollistaa pienet viiveet ja on hyvin kustannustehokas, koska yhdellä tukiasemalla voidaan kattaa laajojakin alueita. @450-verkko soveltuu ominaisuuksien puolesta hyvin sotilaskäyttöön, tekniikan käyttämistä paikkatiedon siirtoon tuleekin tulevaisuudessa hyödyntää.[61,56] Liitteessä 3 on @450-verkon kuuluvuuskartta.

## 4.2 GPRS

GPRS on tarkoitettu pureskeisen datan välitykseen, jolloin useat käyttäjät voivat käyttää saman radiorajapinnan resursseja tarpeen mukaan.[47] GPRS on toisin sanoen erään tyyppinen internetin laajennus GSM-järjestelmään, sillä GPRS- verkko toimii internet-aliverkkona. GPRS on käyttökelpoinen nimenomaan internet-tyyppiseen pureskeiseen liikennöintiin, jossa on nopea palveluun aukaisunopeus. Tekstimuotoisen informaation välitys ei vaadi suurta datansiirtonopeutta. GPRS varaa tiedonsiirtokapasiteettia ainoastaan silloin kun yhteydellä liikkuu dataa. Tämä onkin merkittävä ero aiempiin piirikytkentäisiin datansiirtomenetelmiin nähden. GPRS-tekniikan tiedonsiirtonopeus on 40-60kb/s.

GPRS käyttää samoja resursseja kuin normaalit puhelutkin. Yhteisille radiorajapinnoille voidaan kytkeä puhekäyttäjät, GPRS-pakettidatakäyttäjät kuin piirikytkentäiset datan käyttäjät. Vaikka käyttäjät toimivat samalla radiorajapinnalla, GPRS-yhteydet ohjataan erilliseen GPRS-runkoverkkoon.[49] GPRS-runkoverkkon ja ulkopuolisten dataverkkojen välinen rajapinta toteutetaan tietyn tyyppiselle reitittimellä gateway GPRS support node (GGSN), joka sisältää palomuuriominaisuudet. Eron normaaliin reitittimeen on se että, GPRS-päätelaitteen liikkeessä datapaketit ohjataan oikeaan paikkaan.[49] GPRS lähete voidaan ohjata rajapinnan kautta myös GSM-verkon ulkopuolelle.

GPRS-päätelaite mobile station (MS) koostuu matkapuhelimen tavoin varsinaisesta laitteesta ja tilaajamoduulista. Päätelaite koostuu teknisestä laitteesta ja SIM-kortista. Päätelaitteena voi toimia matkapuhelin tai erillinen laite, joka lähettää GPRS-lähetteen GSM-verkkoon.

### 4.3 EDGE

EDGE tarkoittaa GSM- järjestelmän radorajapinnan modulointitekniikkaa, jolla mahdollistetaan entistä suuremmat datansiirtonopeudet.[49] EDGE tekniikka kehittää GSM-verkon ominaisuuksia. EDGE-tekniikkaa käyttäen voidaan kasvattaa radiotiellä siirrettävän datanmäärää muuttamatta GSM-verkon kehysrakennetta. EDGE jaetaan kahteen osaan, piirikytkentäiseen Enhanced circuit swithed data-palveluun (ECSD) ja pakettikytkentäiseen enhanced GPRS-palveluun (EGPRS). [ B s.198] Piirikytkentäinen EHSD mahdollistaa 64 kb/s nopean kiinteän yhteyden, jonka nopeus on riittävä esimerkiksi videoneuvotteluun.[12]

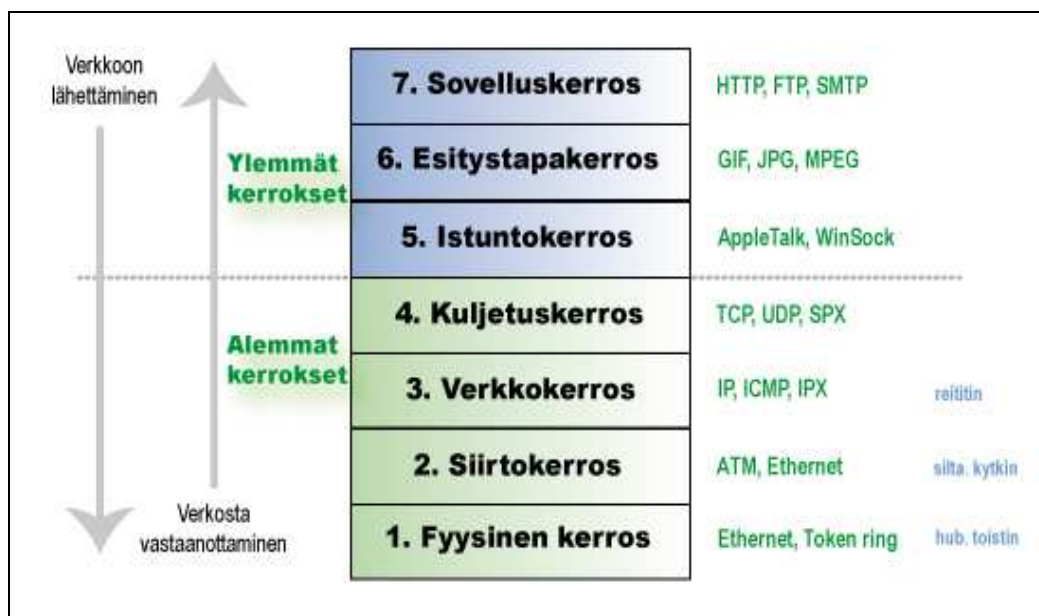
Datansiirtonopeuden kasvu perustuu modulointitekniikan muutokseen. Perusmuodossa GSM-verkko käyttää Gaussian Minimum Shift Keying-modulointi (GMSK), jossa siirretään yksi bitti kutakin symbolia kohti. EDGE käyttää 8PSK-modulointia, jossa yhtä symbolia kohti siirretään kolme bittiä. Jotta radorajapinnan rakenne säilyisi samankaltaisena, on purskeiden rakenne ja ulkonäkö säilynyt ennallaan. Siirrettävien bittienlukumäärä on kasvanut kolminkertaiseksi, mutta ajallisesti raja-arvot ovat säilyneet ennallaan. Käytännössä suurempi bittimäärä edellyttää parempaa signaalin laatua, minkä vuoksi EDGE- tukiasema ei kata samankokoista aluetta kuin GSM-tukiasema. Tästä syystä EDGE:n tehokas käyttö onkin rajoittunut kaupunki alueille, jossa on kattavampi tukiasema verkko kuin muualla. [12]

EDGE:n teoreettinen datansiirtonopeus on yli 400 kb/s, mutta käytännössä EGPRS liikennettä rajoittavat samat ilmiöt kuin normaalia GPRS-liikennettä, eli päätelaitteiden ja verkkoelementtien tekniset rajoitukset. Käytännössä tiedonsiirto nopeus on 160–200 kb/s luokkaa, joka on huomattavasti nopeampaa kuin normaali GPRS-liikenne. [] Pakettikytkentäinen EGPRS on mielenkiintoinen palvelu, joka mahdollistaa kevennetyn version kolmannen sukupolven matkaviestinjärjestelmästä GSM-verkon avulla. EGPRS:n avulla ei kuitenkaan päästä UMTS verkon siirtonopeuksiin, vaikka se teoreettisen nopeuden puolesta täyttääkin UMTS-verkon datapalvelunmäärityksen.[49]

### 4.4 Internet-verkko

Internet Protocol (IP) on yksi tärkeimmistä ja käytetyimmistä datansiirtoprotokollista. IP-osoite koostuu neljästä numerokentästä (esim.192.120.100.99). Tiedonsiirto internet-verkoissa toteutetaan Transmission Control Protocol / Internet Protocol-määrittysten (TCP/IP) pohjalta. Tiedonsiirto internet-verkoissa perustuu IP-osoitteisiin.[49]

Transmission Control Protocol (TCP) on toinen IP-pohjaisista kuljetus protokollista. Toinen on User Datagram Protocol (UDP), joka on huomattavasti yksinkertaisempi protokolla kuin TCP. TCP on luonteeltaan yhteydellinen protokolla, jonka kautta datan välitys on luotettavaa.[3] TCP:n päätehtävä on tarjota kahden laitteen välille luotettava yhteys. TCP:n käyttö soveltuu hyvin kiinteisiin verkkoihin jossa paketin koko ei ole ratkaisevassa osassa. TCP vastaanottaa dataa ylemmiltä kerroksilta ja kapseloi soveltuvan kokoiisiin verkkosanomiin[3].



Kuva 14: OSI-Malli [18].

Kuvassa OSI-malli, joka kuvaa internet-verkossa olevia kerroksia. UDP on TCP:n rinnalla toimiva sisarusprotokolla. Molemmat sijaitsevat kuljetuskerroksella ja protokollien päätehtävä on datan siirtäminen. Muita yhtäläisyyksiä protokollilla ei oikeastaan ole.[3] TCP:n ollessa luotettava, virheenkorjaava ja kuittaava protokolla. UDP soveltuu ainoastaan datan välitykseen ja multipleksaukseen eli yhdellä fyysisellä kerroksella voi olla monta yhtäaikaista sessiota eri sovellusten kesken. UDP-protokollan datanvälitys on epäluotettava joten sen käyttö soveltuu tilanteisiin jossa muutamien sanomien häviäminen ei aiheuta suurtakaan vahinkoa. UDP:n hyötysuhde on paljon parempi kuin TCP-protokollan, joten UDP:n käyttö vähäisen kapasiteetin tietoverkoissa on perusteltua.[3] UDP-protokolla soveltuu hyvin käytettäväksi protokollaksi paikkatietojärjestelmissä.

Internetiin voidaan liittyä melkein minkä tahansa tiedonsiirtoverkon kautta. Internet-verkko toimii verkkoja yhdistävä ytimenä, joka mahdollistaa tiedonsiirtämisen runkoverkkoa pitkin. Muut verkot liittyvät internet-verkkoon, joka yhdistää verkot suureksi kokonaisuudeksi. Liityntä verkosta riippumatta jokaisella päätelaitteella on IP-osoite, johon muut päätelaitteet voivat lähettää paketteja.[61]

Internetissä voidaan suorittaa lähes mitä tahansa sovelluksia, sovellukset käyttävät esimerkiksi TCP-protokollaa ja näin toimivat IP:n ”päällä”. IP toimii kaikenlaisissa verkoissa, sovellukset rakennetaan toimimaan generisen IP:n päällä. Sovellukset toimivat palvelimella, johon käyttäjät voivat lähettää paketteja muista verkoista.[61] Paikkatiedon järjestelmä käyttää monia OSI-mallin kerroksia, koska paikkatiedonjärjestelmä on kokonaisuus, joka ulottuu paikkatietolähtimestä karttasovellukseen.

#### 4.5 Salausmenetelmät

Paikkatietojärjestelmässä tietoturvallisuus on oleellinen osa järjestelmää. Järjestelmässä on useita salausmenetelmiä ja autentikointitapoja. Salausmenetelmien tarkoituksena on turvata järjestelmän käyttö sitten että sen käyttö on turvallista ja tieto on luotettavaa. Alaluvussa on kuvattu tiedonsiirtoverkkojen yleisiä salausmenetelmiä.

GSM-verkon salaus tapahtuu radiotiellä puhelimen ja tukiaseman välillä. Salausalgoritmien jonasalauksen A5/1 ja A5/2 avulla salataan radioteitse tapahtuva liikenne. GSM-verkossa tapahtuva liikenne on salattu ainoastaan puhelimen ja tukiaseman välillä, kaikki kiinteässä verkossa kulkeva liikenne kulkee salaamattomana.[12]

TETRA-verkossa autentikointi tapahtuu samantyyppisesti kuten GSM-verkossakin. Ensin varmistetaan käyttäjän oikeudet sen jälkeen päätelaitteen oikeutus liikenteeseen. Lopuksi varmistetaan että päätelaite liikennöi TETRA-tukiaseman kanssa. [12]TETRA-verkossa voidaan tarvittaessa salata puhe ja data liikenne. Radiotiellä tapahtuu tiedon salaus, jolla estetään salakuuntelu radioteitse. Käyttäjätasoinen liikenne voidaan suojata päästä päähän, jolloin tieto, joka kulkee kiinteän verkon puolella, on myös salattua. Tämä eroaa oleellisesti GSM-verkon salauksesta. [12]

WEP-salaus on IEEE 802.11 -standardiin kuuluva liikenteen salausmenetelmä, jossa salaukseen käytetään samaa avainta tukiasemiin ja päätelaitteisiin. WEP salaa liikenteen vain kahden tukiaseman välillä. WEP-salaus perustuu satunnaisesti luotuun 24 bittiseen salausavaimeen. WEP määrittelee salaukseen sekä purkamiseen käytettävän avaimen, vastaanottajan on käytettävä samaa salausavainta viestin purkamiseen. Salausavaimet pitää syöttää jokaiseen verkkokorttiin ja päätelaitteeseen käsin Nykyaikana WEP-salausta ei voida pitää enää luotettavana salausmenetelmänä.[11]

Wi-fi Protected Access (WPA) on päivitys, joka korjaa WEP:n puutteita ja mukaan on saatu myös tuki käyttäjien autentikoinnille [11]. WPA käyttää salaukseen 10 000 paketin välein vaihtuvia pidempiä salausavaimia. Tämä menetelmä tunnetaan nimellä Temporal Key Integrity Protocol (TKIP). WPA-salausmenetelmässä käyttäjien autentikointi voidaan toteuttaa IEEE 802.11 -protokollan avulla[11].

WPA2 on viimeisin ja odotetuin menetelmä WLAN-verkkojen salaukseen. WPA2:ta pidetään turvallisimpana ja kehittyneimpänä salausmenetelmänä langattomiin verkkoihin. WPA2 perustuu IEEE 802.11 -standardiin. Salaukseen voidaan käyttää TKIP:n sijaan AES-salausta, jota pidetään erittäin tehokkaana algoritmina.[36] AES tosin vaatii enemmän suoritusnopeutta laitteilta ja vanhaa laitekantaa on vaikeampi päivittää tukemaan WPA2:ta.[11]

Virtual Private Network (VPN) -ratkaisu tarjoaa turvalliset yhteydet julkisen verkon yli ja mahdollisuuden liittää lähiverkot yhteen, käyttäen siirtotienä julkista internetiä[51]. VPN:n yksityisyys voidaan toteuttaa fyysisesti tai salata liikenne salausprotokollalla. Tällä tavoin voidaan yhdistää sotilaan paikkatietoverkot yhdeksi verkoksi.

## 4.6 Antennit

Antenni muuttaa sähköenergiaa sähkömagneettiseksi säteilyksi. Antennia käytetään lähetykseen ja vastaanottoon, muuttaa se myös vastaanotettua säteilyä sähköiseksi signaaliksi. Kaikkien antennien suuntakuvio on epäsymmetrinen, eli lähetetty teho on yhteen suuntaan suurempi kuin toiseen. Korkea antenninvahvistus pyritään luonnollisesti suuntaamaan kohti vastaanottajaa.

Antennit jaetaan käytännössä kahteen luokkaan, ympärisäteileviin- ja suuntaavien-antenneihin. Vastaanottajien ollessa laajalla alueella voidaan käyttää vaakatasossa ympärisäteilevää antennia. Ympärisäteilevällä antennilla on lyhyin kantama, mutta sen etuna peitto-alue, joka ylettyy antennista 360 astetta. Pyrittäessä mahdollisimman pitkään jänneväliin käytetään vaaka- ja pystysuunnassa voimakkaasti suuntaavia antenneja.[51]

Antennien valinnalla pyritään kattamaan koko käytettävä alue. Alueesta ja käyttötarkoituksesta riippuen käytetään joko ympärisäteileviä, suunta-, sektori-, tai lautas-antenneita. Antennin vahvistus verrataan isotrooppisen antennin ulostuloon. Antennin vahvistus ei tarkoita sitä että se lähettäisi enemmän tehoa ulos kun mitä siihen saapuu. Antennin lähettämä teho kohdistetaan pienemmälle alueelle ja pois tarpeettomista suunnista. Antennin keilan kaventuessa 5 % ympärisäteilevään verrattuna, antennin vahvistus on 20-kertainen.[2]

#### 4.7 Yhdistelmä

Paikkatietojärjestelmä koostuu monesta osa komponentista. Paikkatietojärjestelmään sisältyy monia eri tekniikoita ja tiedonsiirtoprotokollia, joiden hyödyntäminen mahdollistaa järjestelmän tehokkaan käytön.

FLASH-OFDM on laajakaistainen datansiirtoverkko, jonka käyttäminen paikkatietojärjestelmän tiedonsiirtoverkkona on vartenotettava vaihtoehto. Järjestelmän soveltuvuutta pitää tutkia, koska tekniikka mahdollistaa kattavan sekä laajakaistaisen IP-verkon, joka soveltuu teknisten ominaisuuksien puolesta hyvin paikkatietojärjestelmään.

EDGE, ja GPRS ovat GSM-verkon laajennuksia, jotka mahdollistavat nopean datansiirron GSM-verkossa. Kaikki tekniikat perustuvat IP-protokollaan, jolloin verkkojen välille muodostuu yhtenäinen datansiirtomenetelmä. TCP ja UDP ovat tiedonsiirtoprotokollia jotka välittävät tietoa IP-verkossa. Protokollien avulla voidaan siirtää paikkatietoa erityyppisissä tietoverkoissa. Salausmenetelmät ovat paikkatietojärjestelmän olennainen osa, jotta tieto on salattua ja turvallista käyttää[36].

## 5 TIETOVERKOT

Vertailtavat tietoverkkojen tekniikat perustuvat erityyppisiin teknisiin ratkaisuihin ja näin ollen niiden käyttöominaisuudet ovat erilaiset. GSM- ja TETRA-verkot ovat yleisessä käytössä olevia tukiasemaverkkoja. VHF/HF-kenttäradioverkko on sotilaiden tarkoituksiin luotu radioverkko. WLAN/MANET-verkko on langaton tietoverkko, joka yhdistää käyttäjän langattomasti kiinteään verkkoon tai muodostaa liikkuvia tukiasemattomia verkkoja. Satelliittipuhelinverkko on pitkiin yhteyksiin tarkoitettu yhteydenmuodostustapa, joka mahdollistaa kahden satelliittipuhelimen väliset yhteydet.

Jokaisen verkon käyttöperiaatteet ovat erilaiset, joten niiden häirinnäsietokyky ja paikkatiedon siirtomahdollisuudetkin eroavat toisistaan paljon. Luvussa esitellään jokaisen verkon häirinnäsietokyky ja yksi tapa siirtää paikkatietoa yksittäisestä sotilaasta tietoverkkoa pitkin karttasovellukseen.

### 5.1 GSM-verkko

GSM-verkko on yksi käytetyimmistä matkapuhelinjärjestelmistä. GSM-verkkoa ei olla korvaamassa, vaan suunnitteilla on muita verkkoja ja järjestelmiä, jotka toimivat yhdessä GSM-verkon kanssa [49]. GSM-verkko koostuu eri osista: käyttäjätasosta, verkkotasosta, signalointitasosta ja tietokantatasosta. Käyttäjätaso koostuu kahdesta eri elementistä: päätelaitteesta eli puhelimesta (MS) ja tilaajatunnisteesta eli Subscriber identity module -kortista (SIM) [12]. Päätelaitteen käyttäminen ilman SIM-korttia ei onnistu – poikkeuksena hätäpuhelut. SIM-kortilla on käyttäjää koskevaa tietoa kuten puhelinnumerot. Näitä tietoja tarvitaan yhteyden muodostamiseen. Lisäksi SIM-kortilla on autentikointiin tarvittava avain Ki. SIM-kortilla tietoturvaan liittyviä tietoja ovat autentikointialgoritmi A3, autentikointiavain Ki ja salauksessa tarvittava algoritmi A8 [12].

GSM-verkko koostuu tukiasemista (Base Transceiver Station eli BTS), jotka toimivat tukiasema-alijärjestelmän (Base Station Sub-system eli BSS) osana. Kutakin tukiasema-alijärjestelmää ohjaa yksi tukiasemaohjain, Base Station Controller (BSC). Tukiasemaohjaimet liittyvät kytkentäalijärjestelmään (Network Switching System, NSS), jota verkkooperaattori valvoo omalla käytönhallintajärjestelmällään (Operations Sub-System, OSS)[12].

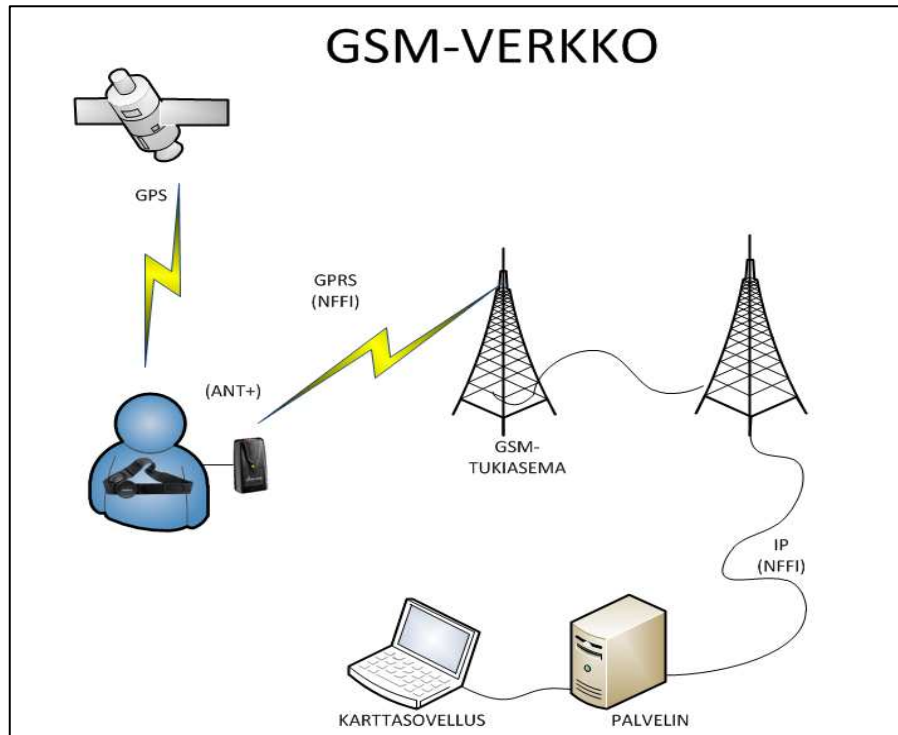
Tukiasema on suorassa yhteydessä liikkuvaan tilaajaan ja tukiasemanohjaimen. Tukiasema liitetään GSM-verkkoon käyttöpaikasta riippuen kiinteällä tai langattomalla yhteydellä. Tukiasema kattaa yleensä yhden radiosolun, mutta mikäli käytössä on suunta-antenneja, voidaan tukiasemaan sijoittaa useampi solu.[12]. Verkkotasoa koostuu soluista, joilla on eri taajuusalueet. Tällöin ne eivät häiritse toisiaan. Solun koko vaihtelee muutamasta kymmenestä metristä useisiin kilometreihin. Käytössä voi olla seitsemän eri taajuusaluetta, jotka on sijoitettu runkoverkkoon siten, että samat taajuudet eivät ole lähekkäin.[12] GSM-tukiasemat ovat yleensä korkeissa, yli 40-metrisissä mastoissa, jolloin yksi tukiasema laajentaa verkon kattavuutta useita kilometrejä. Alla olevassa taulukossa on GSM-verkon keskeisimmät ominaisuudet.

<b>palvelut</b>	Datansiirto, SMS, Multimediatestit, AGPS, Pakettidata, GPRS
<b>Kanavointi</b>	GMSK
<b>Nopeus</b>	gprs ~ 40kb/s, edge 150kb/s
<b>Taajuusalue</b>	890-915MHz, 935-960MHz, 1710- 1785MHz, 1805-1880MHz.
<b>Salauk</b>	SIM,Ki, A3,A5,A8. Puhelimesta -tukiasemaan
<b>Tiedonsiirto</b>	GPRS,

Taulukko 1. GSM järjestelmän keskeisimmät ominaisuudet[12,49]

General Packet Radio Service (GPRS) on GSM-verkon datansiirtomenetelmä, jolla luodaan päästä päähän pakettikytkentäisiä yhteyksiä internet-tyyppisiin palveluihin.[49] Paksuuden datan siirrossa, jota käytetään yleisesti internet-yhteyksissä, syntyy verkon resurssien vajaakäyttöä. Tähän verkon resurssien vajaakäytön parantamiseksi kehitettiin GPRS-tiedonsiirtotapa.[12]





Kuva 15: Paikkatiedon siirtäminen GSM-verkossa.

GSM-verkossa paikkatiedon siirtäminen tapahtuu GPRS-datana tai tekstiviestinä (SMS). Sotilaalla on GPS-paikannuslaite ja GSM-lähetin. Lähetin lähettää GPRS-viestin GSM-verkossa tukiasemalle, josta se välittyy runkoverkkoa pitkin serverille. GPRS-lähteessä voi olla paikkatiedon lisäksi tieto sotilaan syke- ja statusviesti, joka kertoo sotilaan tilanteen. Syke- ja statusviestin perusteella saadaan selville sotilaan sen hetkinen taistelukyky.

## 5.2 TETRA-verkko

Terrestrial trunked radio (TETRA) on GSM-verkon kaltainen digitaalinen matkapuhelinjärjestelmä [48] TETRA-verkkoa käyttävät Suomessa muun muassa pelastuslaitos, poliisi, tulli, rajavartiolaitos ja Puolustusvoimat. Suomessa viranomaisverkkoa kutsutaan VIRVE-verkoksi. [49] TETRA-verkon nykyaikaiset ominaisuudet takaavat hyvän tietoturvan sekä hyvät puhe- ja dataominaisuudet. TETRA-verkko tukee tiedonsiirrossa pakettikytkentäistä ja piirikytkentäistä ratkaisua.[61]

TETRA-standardissa on luokiteltu kaksi verkkotyyppiä, jotka käyttävät samaa radiorajapintaa, mutta eivät ole toistensa kanssa fyysisesti yhteensopivia. Nykyiset TETRA-verkot on toteutettu Voice + Data -standardin mukaan. Packet data optimized -standardi (TETRA PDO) on suunnittelun lähtökohtana seuraavan sukupolven laitteille. [61] TETRA-standardissa on määritetty toiminnalliset rajapinnat, joista muodostuu runkoverkon perusta. Alla olevassa taulukossa on TETRA-verkon keskeisimmät ominaisuudet.

<b>palvelut</b>	SDS, SMS, pakettidata, datansiirto, IP-tuki
<b>Kanavointi</b>	TDMA
<b>Nopeus</b>	7,2kb/s -28,8 kbs
<b>Taajuusalue</b>	380-400MHz
<b>Salaus</b>	DCK, CCK, GCK, SCK, 80 bittiä. päästä -pään.
<b>Tiedonsiirto</b>	IPv4,IPv6

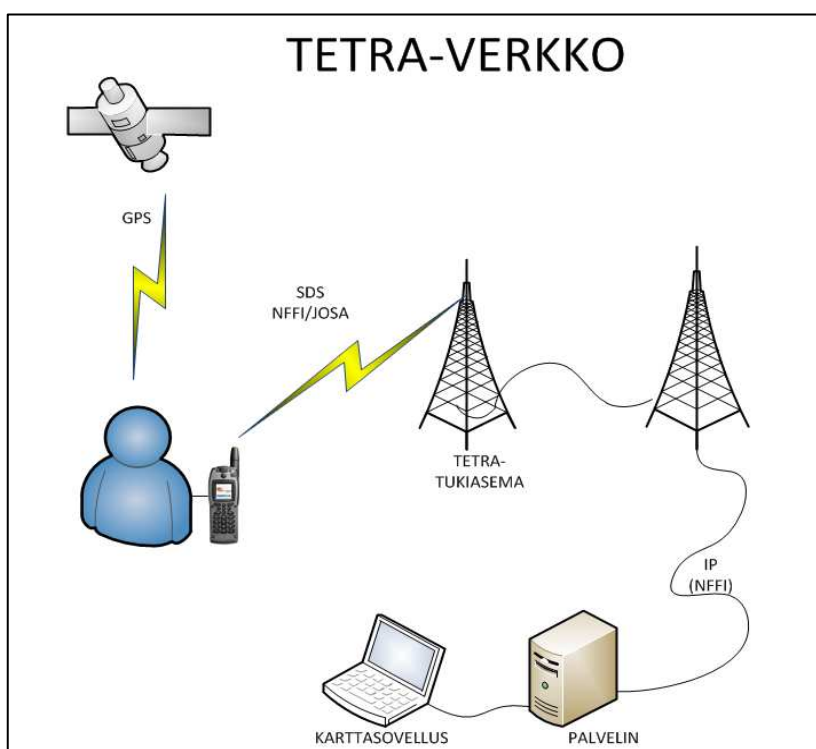
Taulukko 2: TETRA-verkon keskeisimmät ominaisuudet[61,32]

TETRA-verkon normaali toimintaperiaate on trunking-menetelmä, jonka mukaan kaikki verkon resurssit ovat verkossa olevien ryhmien käytössä. Käyttäjät eivät ole sidoksissa tiettyyn radiokanavaan, vaan järjestelmä etsii puhelulle vapaan aikavälin tarvittavan tukiaseman kanavista. [61] TETRA-verkossa voidaan toimia myös ilman tukiasemaa suorakanavatilassa (DM direct mode). Tällöin yhteysvälillä ei tarvita radioverkkoa, sillä puhe välittyy suoraan päätelaitteesta toiseen päätelaitteeseen [48]. Toimitaetäisyys luonnollisesti lyhenee käytettäessä suorakanavatilaa. TETRA:n radiorajapintaa kutsutaan nimellä AI (air interface). Sitä käytetään päätelaitteen ja verkon välillä tai päätelaitteiden välisissä suorissa yhteyksissä.

TETRA-järjestelmä tukee useita piirikytkentäisiä datanopeusluokkia. Tämä riippuu käytettävien kanavien aikavälimäärästä ja siitä, kuinka hyvin data on suojattu. TETRA-verkko käyttää datansiirtoon samoja periaatteita kuin GSM-verkko. [48] TETRA tukee IPv4- ja IPv6-protokollia. Tämä on yksi merkittävimmistä ominaisuuksista verrattuna analogiseen järjestelmään. IP-tuen ansiosta järjestelmän käyttö on joustavampaa kuin muissa vastaavissa verkoissa. [48] Järjestelmä tukee GSM:stä tuttua tekstiviestipalvelua. Viestien pituus ei tosin ole rajoitettu 160 merkkiin. Järjestelmässä on ennalta määritettyjä statusviestejä, jotka ovat lyhyitä kuittausviestejä. [48]

Lyhytsanomien (SDS) käyttö reaaliaikaisen datan lähettämässä on myös mahdollista. SDS-viestit käyttävät liikennekanavien sijasta signaalintakanavaa, joten liian tiheää SDS-viestien lähetystä on syytä välttää. [46] TETRA-tekniikka soveltuu sotilaskäytössä varmistavaksi tekniikaksi. Ensisijaiseksi tiedonsiirtotavaksi se ei sovellu kriisin aikana, koska siitä puuttuu riittävä häirintäsuoja. Kriisinhallintaoperaatioihin TETRA-verkko soveltuu varsin hyvin rakenteensa ja ominaisuuksiensa puolesta. [48]

TETRA-verkossa käyttäjät voivat liikennöidä keskenään ilman tukiasemaa, mutta tämän toiminnon käyttäminen paikkatiedon siirtämiseen ei ole mahdollista. TETRA-verkon liikenne voidaan salata päästä päähän -menetelmällä, jolloin puhe on salattu koko liikennevälin aikana.



Kuva 16: Paikkatiedon siirtämien TETRA-verkossa.

Paikkatiedon lähettäminen TETRA-verkossa tapahtuu sds-lyhytsanomien avulla. Päätelaitteet lähettävät lyhytsanomien tukiasemalle, josta se siirtyy verkkoa pitkin palvelimelle. Palvelimelta tieto välittyy paikkatieto-ohjelmaan. Tällä tavoin päätelaitteen sijainti päivittyy paikantamisohjelmistoon. Päätelaitteet voivat lähettää palvelimelle muitakin sotilaan tilaan liittyviä tietoja, kuten status-tiedon. Palvelin lähettää kyselyjä päätelaitteille, jotka vastaavat SDS-lyhytsanomina. Tällä tavoin käyttäjien sijainti päivittyy paikkatieto-ohjelmistoon. [62]

### 5.3 VHF-/HF-kenttäradioverkko

Valmiusprikaatin kenttäradiojärjestelmä rakentuu VHF- ja HF-taajuusalueen kenttäradiosta ja niihin kytkettävistä laitteista. Valmiusyhtymien kenttäradiot koostuvat Tadiran tuoteperheestä. VHF- alueen radiot ovat lyhyen kantaman LV-141, kannettava radio LV-241, vahvistimella varustettu ajoneuvoradio sekä kahdella radiolaitteella ja vahvistimella varustettu LV-342. HF-alueen radiot ovat kannettava radio LV-641 ja ajoneuvoradio LV-441. [61]

Kenttäradiot ovat erittäin tärkeä viestikanava nykyaikaisella taistelukentällä, jossa datan siirron tarve kasvaa koko ajan. Sotilasradioiden käyttö asettaa tiedonsiirrolle haasteita verrattuna siviilijärjestelmiin. Tiedonsiirtonopeudet on pieniä verrattuna nykyaikaisiin tiedonsiirtoverkoihin. Kenttäradioiden avulla puhetta ja dataa voidaan siirtää ajoneuvojen ja yksittäisen taistelijan välillä langattomasta ilman kiinteää runkoverkkoa. [61]

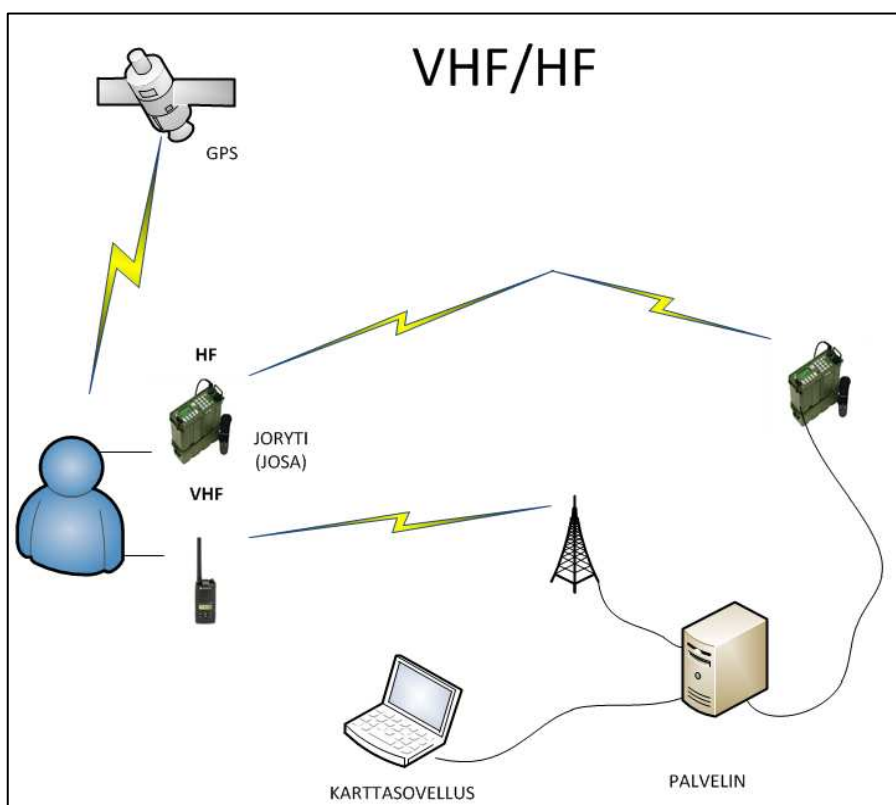
Maavoimien joukkojen käytössä olevat kenttäradiot toimivat VHF- ja HF-taajuusalueilla. VHF-alueella taajuus alue on 30–300 megahertsiä, HF-alueella taajuusalue on 3–30 megahertsiä. Radiot ovat yleensä kannettavia. Tämä mahdollistaa yksittäisen sotilaan radion käyttämisen taistelukentällä. Komentopaikat ja ajoneuvot ovat yleensä varustettu kiinteästi asennetuilla VHF- radiolla. [61] Radioilta vaadittava pitkä kantama edellyttää melko matalan taajuuden käyttämistä. VHF-kaistalla toimivilla radioilla saavutetaan jopa kymmenien kilometrien kantama ja suhteellisen pitkä toiminta-aika. Datan siirtokapasiteetti radioilla on vaatimatonta, vain muutamia kilobittejä sekunnissa.[37] Alla olevassa taulukossa VHF-/HF-verkon keskeisimmät ominaisuudet.

<b>palvelut</b>	vokooderi, sanomalaitemodeemi, skannaus selektiivikutsu, purskeviesti.
<b>Kanavaväli</b>	25kHz
<b>Nopeus</b>	2,4-9,6kb/s
<b>Taajuusalue</b>	HF 1,5–30 MHz, VHF 30-108MHz
<b>Salaus</b>	Salattu(SEC), Salattu hypintä(AJ), integroitu radioon
<b>lähetysteho</b>	HF 5-20w, VHF 0,25-50w

Taulukko 3: VHF/HF-Verkon keskeisimmät ominaisuudet[61].

Kenttäradioverkon datansiirtokyky on hyvin riippuvainen etäisyyksistä. Lyhyemmillä kanta-  
milla, joissa on optinen yhteys vasta-asemaan, voidaan datansiirtonopeuksien arvioida olevan  
teoreettisen nopeuden luokkaa. VHF-radiokaluston teoreettiset datansiirtonopeudet ovat synk-  
ronisena jopa 32 kbit/s, ja asynkronisena päästäisiin 19 kbit/s:n nopeuteen. Teoreettisen no-  
peuden saavuttaminen on hyvin epätodennäköistä, joten todellisuudessa datansiirtonopeudet  
ovat ilmoitettua arvoa alhaisempia. [61] Käytännön tilanteissa kenttäradioverkon datansiirto-  
nopeus on noin 2,4 kbit/s [61]. Kenttäradioverkon datansiirtonopeus jää kaikissa tilanteissa  
hyvin alhaiseksi, jos nopeuksia verrataan muihin tiedonsiirtoverkkoihin.

Digitaalisten kenttäradioiden keskeiset ominaisuudet ovat salausta ja taajuushypintä. Radio  
vaihtaa taajuutta ennalta määritetyllä taajuuskaistalla satoja kertoja sekunnissa tietyn sa-  
lausavaimen mukaan. Ominaisuus tekee lähetteen häirinnän ja kuuntelun vaikeaksi. [37]



Kuva 17: Paikkatiedon siirtäminen VHF/HF -verkossa.

Yllä olevassa kuvassa on paikkatiedon siirtymisperiaate VHF/HF-verkossa. VHF/HF-  
verkoissa paikkatiedon siirtäminen tapahtuu JOSA-sanomana, joka välittyy palvelimien kautta  
karttasovelluksella. JOSA-formaatin käyttäminen taktisissa verkoissa on perusteltua sen pie-  
nen kokonsa vuoksi.

## 5.4 Langattomat lähiverkot

Langattomat 802.11-lähiverkot soveltuvat kiinteän verkon jatkamiseen langattomasti tilaaja-johdosta riippumatta. Langattomuus ja liikuteltavuus mahdollistavat päätelaitteiden ja sovel-lusten käyttämisen ilman kaapelointia. Langattomat verkot ovat yleisesti käytössä oleva yh-teydenmuodostustapa. [51] Langattomien verkkojen käyttökohteita paikkatietojärjestelmässä ovat ryhmän sisäiset verkot, ajoneuvojen läheisyydessä olevat verkot ja esikuntien alueella olevat verkot. Langattomista lähiverkoista on tullut suosittu internet-yhteyksien menetelmä. Lan-gattomat lähiverkot kehittyvät ja niiden siirtonopeudet kasvavat – näin ollen niiden käytettä-vyys laajenee. [48]

WLAN on lyhenne sanoista Wireless Local Area Connection ja usein siitä käytetään myös nimitystä WiFi (Wireless Fidelity). 2,4 GHz ja 5,7 GHz ovat julkisia radiotaajuuksia, joita ku-ka tahansa voi käyttää. Tästä syystä taajuudet ovat häiriöille herkkiä. Yleensä WLAN-laitteissa käytetään laajakaistaista tekniikkaa, on myös mahdollista käyttää kapeakaistaista tekniikkaa. Kapeakaistatekniikka mahdollistaa pidemmän kantomatkan kapean kaistan ja suu-remman lähetystehon vuoksi.[58]

standardi	mediat	tekniikka	nopeus	taajuusalue	Kantama
802.11	IR, RF	FHSS, DSSS	1-2Mb/s	2,4 GHz	~ 50m
802.11a	RF	OFDM	9-54Mb/s	5 GHz	~ 50m
802.11b	RF	DSSS	5,5-11Mb/s	2,4 GHz	~ 100m
802.11g	RF	OFDM	9-54Mb/s	2,4 GHz	~ 100m
802.11n	RF	MIMO	100-200Mb/s	2,4GHz ja 5GHz	~ 250m

Taulukko 4: Yhdistelmä 802.11- standardien ominaisuuksista[51].

Langaton Ad hoc -verkko on rakenteeton verkko, joka koostuu langattomista päätelaitteista. Ad hoc -verkoissa laitteet kommunikoivat toistensa kanssa ilman kiinteää arkkitehtuuria. Päätelaitteet voi reitittää liikennettä, jos kaksi toistensa kantaman ulkopuolella olevaa laitetta haluaa keskustella keskenään[14]. Tällöin päätelaitteet, jotka sattuvat olemaan näiden kahden välissä, joutuvat välittämään niiden liikenteen[8]. Reitti päätelaitteesta toiseen voi muodostua useasta linkistä toisin kuin solukoverkoissa, joissa tukiasemalla on aina suora linkki liikkuvaan päätelaitteeseen. Solukoverkoissa tukiaseman tuhoutuminen kaataa koko verkon ja siksi Mobile ad-hoc Network (MANET)-verkon ominaisuudet ovat yleistymässä sotilastoiminnassa[61].

Rakenteettomien Ad hoc -verkkojen tapauksessa verkossa katoaa ja syntyy jatkuvasti uusia kommunikoivia laitteita. Laitteiden tulisi itse organisoiua verkoiksi suurella nopeudella[8]. Tällaisten järjestelmien toteuttaminen on kuitenkin varsin vaikeaa itseorganisoiuvuuden vaatimusten ja virrankulutuksen optimointitarpeen vuoksi.

Ensimmäinen asema muodostaa yhteyden ja alkaa lähettää merkkisignaalia, jota tarvitaan asemien synkronointiin. Muut asemat voivat liittyä verkkoon hyväksymällä merkkisignaalisia lähetetyt parametrit.[8] Kaikki verkon laitteet kuuntelevat merkkisignaaleja ja tulevat tietoiseksi naapurilaitteista. Laitteet lähettävät tasaisin väliajoin merkkisignaalia, elleivät ne kuule toisen laitteet merkkisignaalia[8]. Merkkisignaalin saatuaan, laite päivittää sisäisen kellonsa merkkisignaalin aikaleiman mukaan.

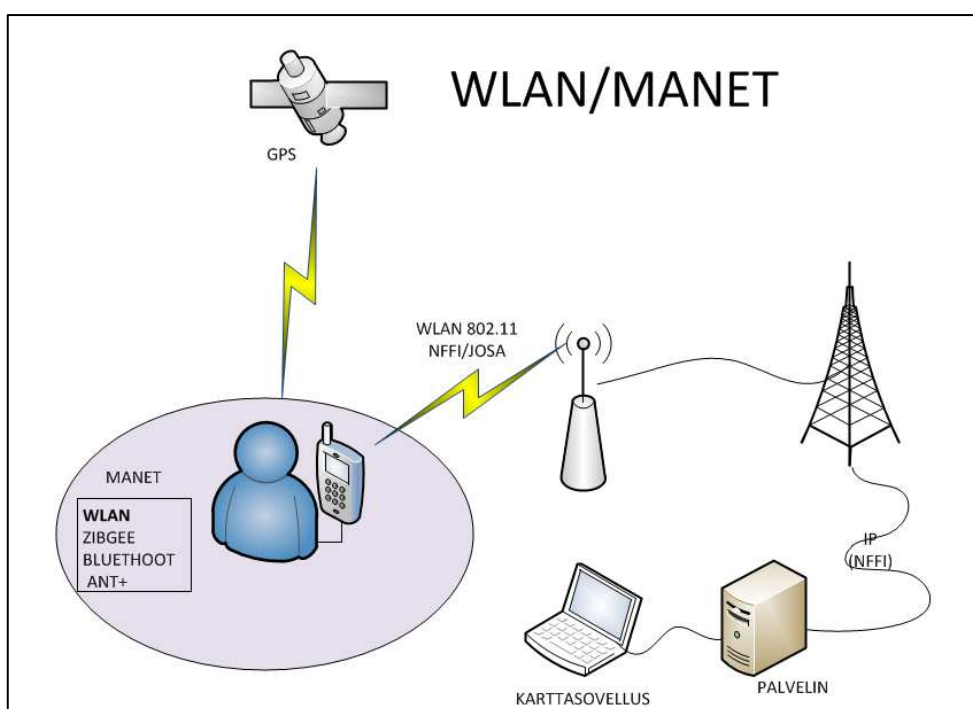
Ad hoc -verkon laite koostuu neljästä lohokosta: energialähteestä, anturiosasta, tietoliikenneosasta ja prosessointiosasta. Anturiosa sisältää anturin, joka aistii mitattavaa suuretta, esimerkiksi sotilaan sykkettä.. Tietoliikenneosa sisältää langattoman lähetin-vastaanotinyksikön. Sen ominaisuudet määrittävät tiedonsiirtonopeuden ja toiminta-alueen.[14] Tämän tyyppisillä pienillä laitteilla voidaan siirtää sotilaan tietoja vaivattomasti ja nopeasti WLAN/MANET-verkossa[40].

MANET-verkko voi muodostua erityyppisistä standardeista kuten WLAN, bluetooth, ANT+ ja Zibgee. Paikkatietojärjestelmässä MANET-verkko muodostuu WLAN-standardilla. Bluetooth-, ANT+- ja Zibgee-protokollia voidaan käyttää sotilaan varusteissa olevien laitteiden yhdistämiseen.[30] ZigBee on 802.15.4-standardin mukainen lyhyen kantaman tietoliikenneverkko. ANT+, Zigbee ja Bluetooth-tekniikoiden vertailu on liitteessä 4.

Bluetooth-standardi on kehitetty korvaamaan kuidut ja kaapelit lyhyillä yhteyksillä. Bluetooth-laitteille on ominaista, yksinkertaisuus, pieni tehokulutus, edullisuus ja luotettavuus. Bluetooth-standardissa perustuu isäntä–renki-arkkitehtuuriin, jossa toinen laite toimii isäntänä ja renki liittyy isännän luomaan verkkoon.[12]

Bluetooth-laitteiden luoma yhteysväli riippuu laitteiden luokituksista. Ensimmäisen luokan laitteiden suurin lähetysteho on 100 mW, jolla yhteysväli on noin 100 metriä. Toisen luokan laitteiden suurin lähetysteho on 2,5 mW, jolla yhteysväli on noin 25 metriä. Kolmannen luokan laitteiden suurin lähetysteho on 1 mW, jolla yhteysväli on noin metri. Bluetooth käyttää 2,45 GHz:n taajuusalueita, ja tämänhetkinen maksimitiedonsiirtonopeus on 2,1 Mb/s. Bluetooth käyttää taajuushypintää välttääkseen toimimisen muitten laitteiden kanssa samalla taajuudella. Taajuus vaihtuu 1600 kertaa sekunnissa 1 MHz:n kaistalla. Tietoturva muodostuu uuden laitteen autentikoinnista ja tiedon salaamisesta. [61]

ANT-protokolla käyttää 2,4 GHz taajuusalueita, ja lähete koodataan 64-bittisellä avaimella. ANT-sirun käyttöikä on jopa neljä vuotta. Tämä soveltuu hyvin käytettäväksi sykelähtimiin. ANT-siru tukee erityyppisiä verkkomuotoja, vaikka yleisin käyttömuoto on lähettää signaali suoraan vastaanottimeen. Läheteen kaista on 0,5Hz–200Hz, ja lähete on 8 bitin suuruinen. [27] ANT+ -protokollaan pystytään hyödyntämään myös Mobile Ad-hoc Network – verkoissa (MANET), jolloin alueella olevat laitteet muodostavat itsenäisen verkon.



Kuva 18: Paikkatiedon siirtäminen WLAN/MANET-verkossa.



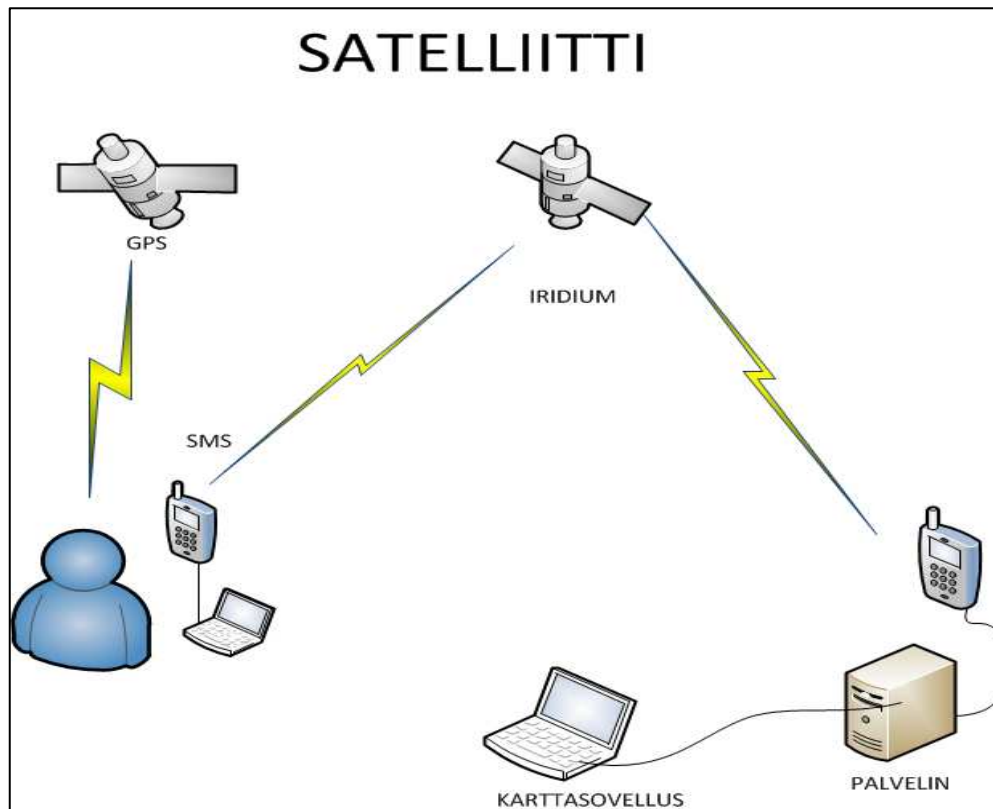
Kuvassa on paikkatiedon siirtymisen periaate WLAN/MANET-verkossa. WLAN/MANET-verkossa paikkatiedon siirtäminen voidaan suorittaa molemmissa formaateissa. Tieto välittyy tukiaseman kautta kiinteään verkkoon, jota kautta tieto siirtyy NFFI-formaatissa karttasovelukseen.

## 5.5 Iridium- ja Bgan-satelliittipuhelinverkot

Iridium-puhelinverkko koostuu avaruusosasta, maa-aseamista ja liikkuvista aseamista. Satelliittiverkon 66 satelliittia jakavat maapallon 3168 valvottuun radiosoluun[65]. Iridium-verkossa käyttäjä pysyy paikallaan ja solut liikkuvat. Yksi satelliitti on tietyssä pisteessä 11 minuutin ajan, tämän jälkeen puhelu siirtyy automaattisesti toiseen soluun[39].

Iridiumsatelliitit toimivat 780 kilometrin korkeudella, eli ne ovat Low earth orbit (LEO)-satelliitteja. Satelliittien matala lentorata mahdollistaa päätelaitteiden pienet antennikoot, ja puheluiden lyhyen viiveen. Verkon erikoisominaisuuksiin kuuluu satelliittien väliset suorat yhteydet[65]. Tämä mahdollistaa soiton iridiumpuhelimesta toiseen ilman maanpäällisiä yhteyksiä. Puhelu voidaan välittää satelliitti verkossa aina kohteen lähinnä olevalle maa-asemalle. Iridium puhelimilla on lyhyt viive, ainoastaan 3ms.[39] Iridium verkon tekniset ominaisuudet on kuvattu liitteessä 6.

Broadband Global Area Network (BGAN) on maailmanlaajuinen IP-pohjainen satelliittijärjestelmä joka toimii Geostationary Earth Orbit (GEO) -alueella. BGAN tarjoaa nopeat IP-pohjaiset yhteydet, joita voidaan hyödyntää paikkatiedonsiirrossa. BGAN-palvelun avulla saadaan muodostettu nopeita tietoliikenne ja puheyhteyksiä[60]. Keskeisimmät BGAN:n tarjoamat palvelut ovat piiri- ja pakettikytkentäinen puhepalvelu, datansiirto maksimissaan 492 kb/s nopeudella ja ISDN-datansiirto. BGAN mahdollistaa kaksisuuntaisen IP-pohjaisen tiedonsiirron pienikokoisilla päätelaitteilla ja mahdollistaa internet yhteyden ja sitä kautta nykyaikaiset datapalvelut[54].



Kuva 19: Paikkatiedon siirtäminen satelliittijärjestelmällä.

Kuvassa on paikkatiedon siirtymisen periaate Iridium satelliittipuhelimella. Paikkatieto lähetetään tekstiviestinä, joka välittyy toisen päätelaitteen kautta karttasovellukselle.

## 5.6 Häirinnän vaikutus tietoverkkoihin

Häirinnän tarkoituksena on estää maalina olevan tietoverkon käyttö sähkömagneettisen säteilyn avulla. Lamauttamisella tarkoitetaan sitä, että verkon normaali toiminta estyy. Häirintä voi kohdistua tietoverkkoon tai paikannusjärjestelmiin[57]. Häirintään voidaan käyttää erityyppisiä lavetteja tai lähihäirintälähtettä, jotka toimitetaan esimerkiksi tykistön avulla kohdealueelle. [37] Tehokkain häirinnän vaikutus saadaan, kun häirintäsignaalia lähetetään ilmasta. Tällöin lähetteen etenemisvaimennus on pieni verrattuna maasta lähetettävään häirintään. [37]

Häirintäteho riippuu käytettävästä olevasta lähetystehosta, häirintä aseman sijainnista, yhteys- etäisyyden pituudesta ja häirintäetäisyydestä[58]. Häirintälähteykset käyttävät erityyppisiä parametreja. Kapeakaistaisella häirinnällä pyritään vaikuttamaan tiedonsiirtoverkon siirtokanavaan [10]. Laajakaistaisella häirinnällä pyritään vaikuttamaan useisiin kanaviin samanaikaisesti. Tällöin häirintäteho jakautuu häirittävien taajuuksien kesken jolloin yksittäiseen kanavaan kohdistuva häirintä teho laskee. [37,10]

GSM-verkon heikoin kohta on tukiaseman ja käyttäjän välinen yhteysväli. Tehokkain tapa on häiritä tukiasemaa, koska sillä voidaan vaikuttaa kaikkiin tukiaseman tilaajiin yhtäaikaaisesti. [37]. Tilaajat voidaan havaita noin 5–10 kilometrin etäisyydeltä. Ilmasta suoritettu häirintä lyhentää yhteysvälin niin lyhyeksi, että mikäli häirintä vaikuttaa kaikkiin kanaviin se estää verkon käytön 150 kilometrin etäisyydeltä. Kontrollikanavan häirintä lamauttaa verkon käytön jopa 300 kilometrin etäisyydeltä. Tehokkain tapa häiritä GSM-verkkoa on lennokkihäirintä, jolloin häirintä voidaan kohdentaa haluttuun verkon osaan. GSM-verkon staattisuuden vuoksi häirinnän vaikutusten vähentäminen on todella vaikeaa[37].

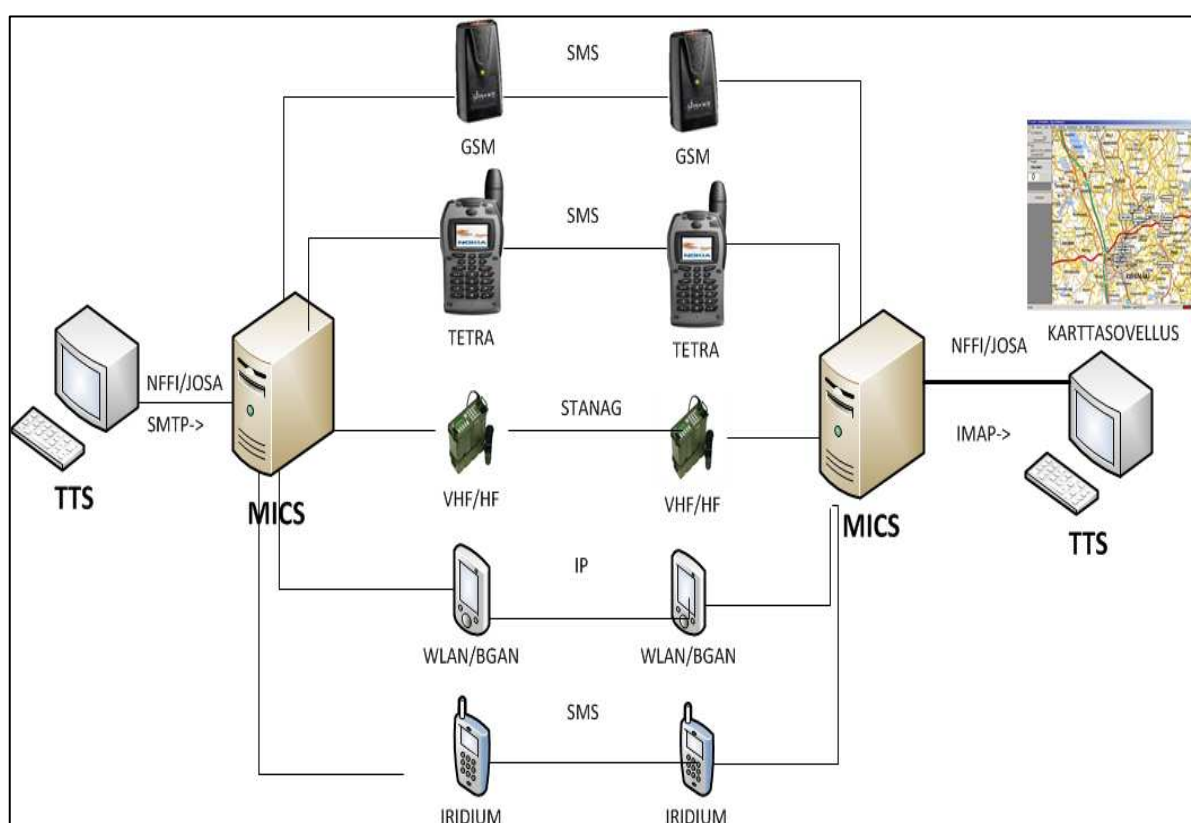
TETRA-verkossa ei ole radiohiljaisuutta, tukiasemat lähettävät jatkuvasti signaalia, joten niiden paikallistaminen on helppoa. TETRA-verkko toimii alemmalla taajuusalueella kuin GSM-verkko, minkä vuoksi se on haavoittuvaisempi häirinnälle. Matalammalla taajuusalueella häirintäteho on suurempi ja etenemisvaimennus pienempi[10]. Nämä tekijät vaikuttavat TETRA-verkon häiriönkestoon heikentävästi. Tukiasemien lähetysteho on suuri, joten niiden sijainti voidaan havaita jopa sadan kilometrin etäisyydeltä ilmasta. [37] Järjestelmä kykenee tunnistamaan häirinnän ja siirtämään liikenteen vapaalle kanavalle.

Kenttäradioihin kohdistuva häirintä lyhentää yhteysvälejä, mutta järjestelmän käyttäminen ei esty täysin. Käyttämällä digitaalisten radioiden hypintä- ja salausominaisuuksia, häirinnän vaikuttavuutta voidaan pienentää. Radioiden lähettämä signaali voidaan myös salata. Tämä estää reaaliaikaisen kuuntelun ilman oikeata salausavainta [61]. Kenttäradioilla on suhteellisen hyvä häiriönsietokyky. Suuntaavia antennoja ja maaston tuomaa suojaa voidaan käyttää tehokkaammin kuin tiedonsiirtoverkoissa, jotka perustuvat kiinteisiin tukiasemiin. [37]

Satelliittipaikannusta pyritään häiritsemään tarkoituksellisesti. Tällöin pyritään estämään järjestelmän käyttö tai ainakin huonontamaan sen käytettävyyttä. Tämä tapahtuu lähettämällä häiritseviä signaaleja satelliittipaikannuksen käyttämällä taajuusalueilla. Häirinnän kannalta helpoin kohde on kapeakaistainen paikannussignaali, jonka koodi on lyhyt ja tunnettu. [55]

## 5.7 Paikkatiedon siirtäminen tietoverkoissa

Vertailtavat tietoverkot ovat erityyppisiä, joten niiden käyttäminen soveltuu eri tilanteisiin. Tietoverkkojen käyttäminen paikkatietojärjestelmässä vaatii yhtenäistä sanomanvälitystä. MICS-sovellus välittää tietoverkoista saadun lähetteen eteenpäin. Kun tietoverkko liitetään ohjelmistomoduulilla MICS-sovellukseen, tietoverkkoon ei tarvitse tehdä rakenteellisia muutoksia. TTS-sovellus käsittelee joko NFFI- tai JOSA-formaatissa olevat sanomat ja lähettää ne toiselle TTS:lle.



Kuva 20: Paikkatiedon siirtäminen tietoverkoissa.

Yllä olevassa kuvassa on esitetty tietoverkkojen sanomaformaatit ja sanomanvälityksen periaate. Tietoverkot toimivat paikkatietojärjestelmän siirtotienä, verkot ovat liitetty paikkatietojärjestelmään erityyppisillä ohjelmistomoduuleilla. GSM-, TETRA- ja Iridium-verkoissa liittyminen MICS-sovellukseen on toteutettu SMS-rajapinnan avulla. VHF/HF-verkot on liitetty MICS-sovellukseen STANAG 4406:n mukaisesti. [41] WLAN- ja BGAN-verkot on liitetty MICS-sovellukseen IP-ohjelmistomoduulilla. [33] Viestien lähetys tapahtuu SMTP-protokollan mukaisesti ja viestien vastaanotossa käytetään IMAP-protokollaa. [41]

## 6 KUORMITUSMITTAUS JA TIETOVERKKOJEN VERTAILUT

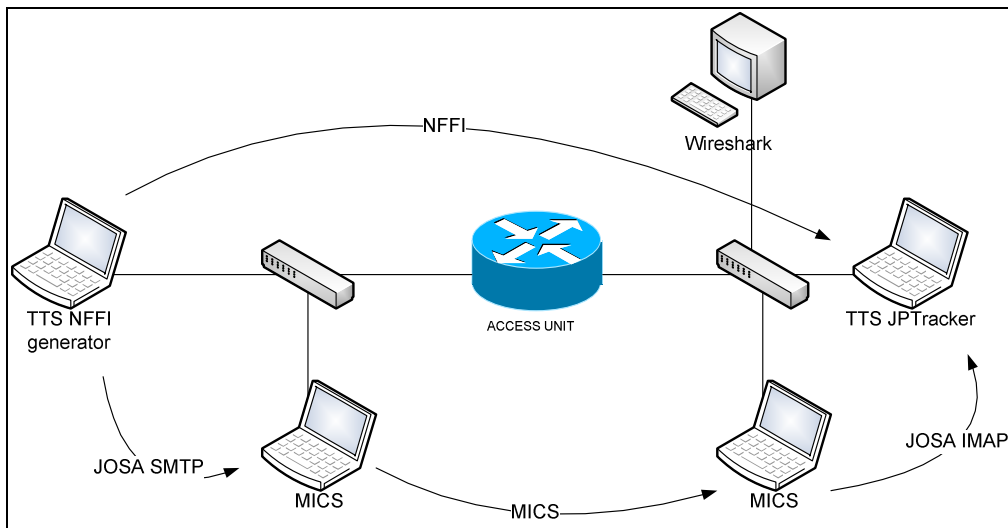
Luku koostuu kahdesta kokonaisuudesta: kuormitusmittauksista ja tietoverkkojen vertailusta. Kuormitusmittaukset tehtiin Riihimäellä Viestikoululla 16. helmikuuta 2011. Mittauksessa selvitettiin verkkojen kuormitus paikkatietoläheteistä ja läheteiden suuruudet.

Tietoverkkojen vertailussa keskitytään tietoverkkojen teknisiin ominaisuuksiin ja eroavaisuuksiin sekä käytettävyyden vertailuun. Vertailun avulla selvitetään, minkä tyyppisiä ominaisuuksia järjestelmiltä vaaditaan erityyppisissä toimintaympäristöissä ja miten järjestelmät soveltuvat paikkatiedon siirtoverkoksi. Taulukkoihin on koostettu ne ominaisuudet, joilla on merkittävin vaikutus käytettävyyteen ja tietoverkon suorituskykyyn erityyppisissä paikkatietojärjestelmän toimintaympäristöissä.

### 6.1 Kuormitusmittaus

Paikkatietolähetyksen kuormitusmittaukset tehtiin Riihimäellä Viestikoululla 16. helmikuuta 2011. Testillä selvitettiin verkon kuormittumista paikkatietolähetyksissä ja paikkatietolähetysformaattien kokoeroja. Testissä vertailtiin NFFI-formaatin ja JORYTI-sanoman eroja. Sanomat lähetettiin TCP/IP-protokollan kehyksessä. Testissä mitattiin paikkatietoläheteiden kokoa ja sitä, miten paikkatietolähteet kuormittavat verkkoa. Tulosten perusteella voidaan arvioida läheteiden tarvitsemia siirtoteitä ja paikkaläheteiden kustannuksia eri tietoverkoissa.

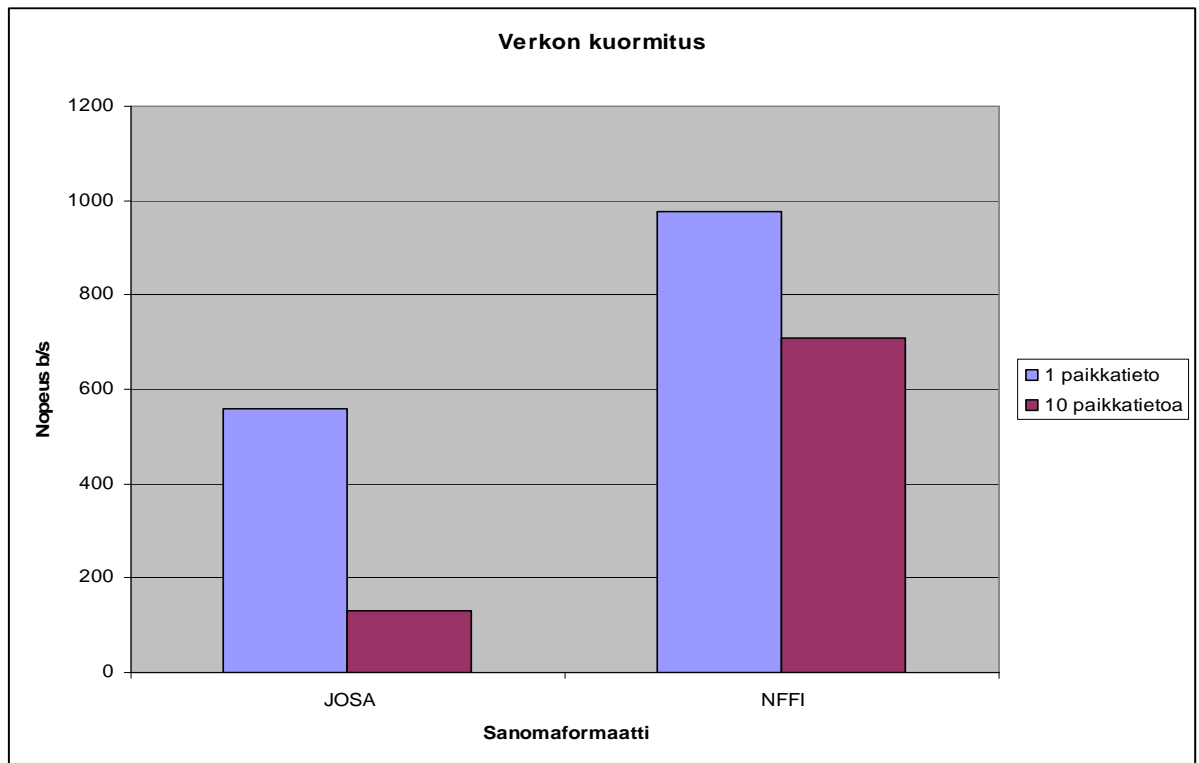
Testi suoritettiin TTS-ohjelmistolla, joka välitti paikkatietosanomiam MICS-sovelluksen kautta ja suoraan toiselle TTS-ohjelmistolle. TTS-ohjelmisto lähetti NFFI-formaatissa olevan sanoman suoraan toiselle TTS-sovellukselle, josta tieto siirrettiin JPTrackerin karttapohjalle. JOSA- formaatissa oleva viesti lähetettiin MICS-sovellukseen, joka lähetettiin toiseen MICS sovellukseen, josta viesti välittyi TTS-ohjelmiston kautta karttasovellukseen. Wireshark-ohjelmistolla mitattiin verkon kuormitusta ja TCP/IP-pakettien kokoa. Alla olevassa kuvassa on esitetty testin toteutus. Testiraportti on esitetty kokonaisuudessaan Liitteessä 7



Kuva 21: Testijärjestelyt.

Testi koostui kahdesta osiosta. Ensimmäisessä osiossa lähetettiin paikkatietosanomia viiden sekunnin välein. Toisessa osiossa TTS kokosi paikkatietolähetteen kymmenen lähetteen ryhmään, joka lähetettiin eteenpäin. Molemmissa tapauksissa paikkatietolähetettä generoitiin TTS:llä viiden sekunnin välein, joten lähetteen määrä oli molemmissa osioissa sama. TTS-ohjelmistolla lähetettiin NFFI- ja JOSA-formaateissa viesti toiselle TTS:lle. Wireshark-ohjelmistolla mitattiin lähetteen kokoa ja verkon kuormitusta.

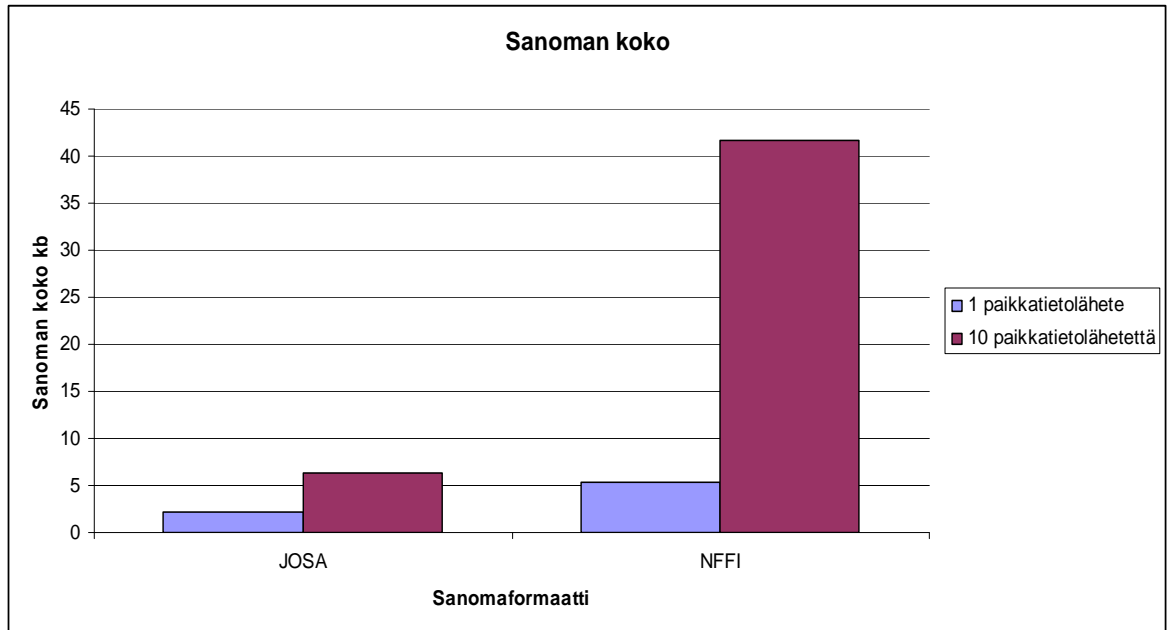
Alla olevassa kaaviossa esitetyt nopeudet kuvaavat verkon kuormitusta paikkatietolähetteisä. JOSA-muotoinen lähete varaa 560b/s kaistaa, kun lähetetään yksi paikkatietolähete viiden sekunnin välein. Kymmenen sanoman ryhmäviesti JOSA-muodossa varaa 131b/s kaistaa. Molemmissa tapauksissa paikkatietolähetteen määrä on sama. Kymmenen sanoman ryhmäviestissä sanoman sisälle on koottu kymmenen paikkatietoa, jotka lähetetään samassa viestissä. NFFI-formaatissa yksi paikkatietolähete varaa 975 b/s. Kymmenen lähetteen viesti varaa 708b/s verkon kaistaa. Kaaviosta voi havaita, että kymmenen paikkatietolähetteen lähettäminen yhdessä viestissä on kustannustehokkaampaa kuin jokaisen viestin lähettäminen erikseen.



Kaavio 1: Verkon kuormitus JOSA- ja NFFI-formaateissa.

Sanoman koko vaikuttaa merkittävästi käytettävään siirtotiehen. Suuret sanomat vaativat siirtotieltä kaistanleveyttä, jotta siirtotie ei tukkeudu läheteestä. Kun paketin koko on suurempi kuin siirtotien kaistanleveys, paketin lähetyksen jakautuu useammalle sekunnille ja siirtotie ylikuormittuu hetkellisesti. JOSA-muotoisessa sanomassa yhden lähetteen koko on noin 2,2 kb ja kymmenen lähetteen koko on noin 6,4 kb. NFFI-formaatissa yhden paikkatiedon sisältävän lähetteen koko on noin 5,4 kb kun taas kymmenen paikkatietoa sisältävän lähetteen koko on 41,6 kb. NFFI-formaatin suurempi kaistan tarve selittyy osaksi sillä, että kymmenen paikkatiedon lähete jakaantui neljään TCP-pakettiin, kun taas JOSA-lähete mahtui yhteen TCP-pakettiin.

NFFI-formaatti soveltuu kokonsa puolesta paremmin korkean kapasiteetin järjestelmiin, kuten kiinteisiin järjestelmiin ja WLAN-verkkoon. JOSA-sanoman käyttäminen taktisten verkkojen paikkatietoformaattina on perusteltua juuri pienen kokonsa puolesta. NFFI formaattia käytetään kansainvälisissä operaatioissa, kun taas JOSA-formaatin käyttö rajoittuu kansalliseen käyttöön. Alla olevassa kaaviosta voidaan havaita selvästi formaattien lähetteen kokoerot.



Kaavio 2: JOSA- ja NFFI Formaattien sanomapakettien suuruudet.

Testien tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa. Pakettien koot on esitetty tavuina ja bitteinä. Pakettien suuruudet esitetään yleensä tavuina, mutta siirtoteiden nopeudet yleensä esitetään yleensä bitteinä. Paketin koko saadaan bitteinä kun tavut kerrotaan kahdeksalla.

	JOSA				NFFI			
nopeus 1.track-tieto	70	t/s	560	b/s	121,9	t/s	975,2	b/s
nopeus 10.track-tietoa	16,4	t/s	131,20	b/s	88,5	t/s	708	b/s
1. Paikkalähetteen koko	274	t	2192	b	667	t	5336	b
10. Paikkaläheteen koko	798	t	6384	b	5205	t	41640	b

Taulukko 5: Paikkaläheteiden pakettien suuruudet sekä siirtonopeudet.

Testillä selvitettiin verkkojen kuormittumista JOSA- ja NFFI-formaateilla tapahtuvassa paikkatietoliikenteessä. Testin tulosten perusteella voidaan laskea verkkojen kokonaiskuormitus paikkatietoliikenteessä. Verkon kuormitustiedot antavat perusteet paikkatiedon siirtotapojen esittelylle. Tulosten perusteella esitetään tiedonsiirtotapoja, joilla saavutaan tehokkain tapa siirtää paikkatietolähetettä eri tilanteissa. Tulosten perusteella voidaan arvioida paikkatiedon siirtämisestä aiheutuvia kustannuksia, kun verkon kuormitus tiedetään.



## 6.2 Tietoverkkojen tekninen vertailu

Tekninen vertailu keskittyy tietoverkkojen teknisiin ominaisuuksiin. Vertailussa on otettu huomioon tärkeimmät tekniset ominaisuudet, joilla on kriittisin vaikutus paikkatiedon siirtämiseen tietoverkossa. Taajuusalue vaikuttaa verkon käyttöön ja tuo haasteita taajuushallintaan, koska tietoverkot käyttävät osittain julkisia taajuusalueita, jotka ovat yleisessä käytössä myös siviililiikenteessä. Sotilastoiminnassa liikuteltavuus on tärkeä ominaisuus, jotta kapasiteettia voidaan kasvattaa halutulla alueella. Maksimikantama on kantama tukiasemasta päälaitteelle. Tällä ominaisuudella on merkitystä, jos jonkin tukiaseman käytettävyyys rajoittuu. Tietoverkkojen liikennetyypillä on merkitystä verkkojen synkronoinnin kannalta. IP-protokollan tuki on ratkaisevassa osassa, jotta verkot saadaan synkronoitua keskenään. Lähetystehon vaikutus tietoverkkojen toimintaan on oleellinen osa yleistä toimintavarmuutta. Alhaisen lähetystehon omaavien verkkojen toimintaa on helppo häiritä, kun taas tietoverkot, jotka omaavat korkean lähetystehon, altistuvat helpommin vihollisen tiedustelutoiminnalle. Siirto kapasiteetti on kriittinen ominaisuus paikkatiedon siirtämisessä, koska yksittäisistä paikkatietoläheteistä koostuu huomattava kuorma verkolle – kuten kuormitustestien tuloksista ilmenee.

	Taajuus- alue	liikutelta- vuus	Maksimi kantama	IP-tuki	lähetys- teho	siirto- nopeus
GSM-verkko	900, 1800MHz	ei ole	35km	Kyllä	0,3-50w	gprs ~40kb/s edge ~150kb/s
TETRA-verkko	380- 400MHz	vähäinen	50km	Kyllä	1-40w	14kbit/s
VHF/HF-verkko	3-108MHz	hyvä	15/>100km	"Kyllä"	1-30w	2,4kbit/s
WLAN/MANET- verkko	2,4-5,5GHz	rajoitettu	10-250m	Kyllä	5w	200Mbit/s
Satelliittipuhelin- verkko	1616 - 1626,5MHz	rajoitettu	maailman- laajuinen	"Kyllä"	390mW	3,8kbit/s

Taulukko 6: Tietoverkkojen tekniset ominaisuudet [61,39,41,37].

Taulukkoon on koostettu tietoverkkojen keskeisemmät ominaisuudet, jotka vaikuttavat paikkatiedon siirtämiseen eri toimintaympäristöissä. Tietoverkkojen tekniset ominaisuudet eroavat suuresti toisistaan. Verkkojen laitteisto ja käyttötarpeet ovat erityyppisiä. GSM-verkon käyttö on jokapäiväistä koko maassa ja verkko kattaa melkein koko Suomen. TETRA-verkon käyttö on rajoittunut pääsääntöisesti viranomaisten käyttöön. Verkko kattaakin päätiestön ja suurimmat taajamat. VHF- ja HF-verkot ovat yleisessä käytössä sotilastoiminnassa. Radiot on suunniteltu sotilastoimintaan hyvän liikuteltavuuden ja kantaman kannalta. Radioiden pääsääntöinen käyttö on puheviestintä ja sanomaviestintä. Radioita pystytään liikuttelemaan nopeasti ja verkko voidaan rakentaa hetkessä asuttamattomalle alueelle. WLAN-verkot tarvitsevat tukiaseman melko läheltä, koska niiden kantama on vain joitain satoja metrejä. Toisaalta WLAN-verkon tiedonsiirtokapasiteetti on ylivertainen verrattuna muihin tietoverkkoihin. WLAN-verkon laitteet voivat toimia keskenään MANET-verkon lailla, mutta tiedon siirtyessä ulos MANET-verkon piiristä, jonkin laitteen pitää muodostaa yhteys kiinteään verkkoon. Satelliittiverkko poikkeaa ominaisuuksiltaan huomattavasti muista tietoverkoista. Päätelaitteet voivat muodostaa mannertenvälisiä yhteyksiä ja siirtää puhetta ja dataa verkon yli.

Tietoverkkojen taajuusalueissa on suuria eroja. HF-radioiden taajuus alue alkaa 3 MHz:stä, kun taas WLAN-verkkojen taajuudet ovat jopa 5 GHz. Taajuusalueet vaikuttavat radiolähteen aallonpituuteen ja sitä kautta verkon toimintaetäisyyksiin ja tiedonsiirtokapasiteettiin.

Tietoverkon liikuteltavuus on sotilastoiminnan kannalta tärkeä ominaisuus. Jotta verkon suorituskyvyn painopiste saadaan kohdistettua painopistealueelle, tulee verkon kyetä mukautumaan muuttuvaan tilanteeseen. GSM-verkko on täysin staattinen verkko. Verkon suorituskyky riittää paikkatiedon siirtämiseen hyvin, mutta tukiaseman tuhoutuessa alueelle jää katvealueita. TETRA-verkon ominaisuudet ovat liikuteltavuuden kannalta hieman paremmat, koska verkkoa voidaan vahvistaa painopistealueella tukiorganisaation voimin. Muussa tilanteessa TETRA-verkko on yhtä staattinen kuin GSM-verkko – vaikkakin peittoalueelta vähäisempi. [32] VHF- ja HF-radioverkot ovat liikuteltavuudeltaan hyviä, koska verkon painopiste voidaan luoda käyttäjien tarpeen mukaan. Verkon lyhyen kantaman vuoksi tekniikka ei mahdollisia pitkiä yhteyksiä kuin HF-tekniikalla, jolloin verkon kapasiteetti heikkenee merkittävästi.

WLAN-/MANET-verkkojen liikuteltavuus on hyvä, mutta verkon lyhyt kantama asettaa rajoituksia liikuteltavuudelle. Verkon toiminta-alue on muutamia satoja metrejä, mutta toisaalta käyttäjät voivat toimia itsenäisesti MANET-verkossa. Paikkatiedon siirtoon tarvitaan liittymisen WLAN-verkon kautta kiinteään verkkoon. Satelliittipuhelinverkon liikuteltavuus on hyvä, mutta käytännössä satelliittipuhelimilla ei voida muodostaa verkkoa, vaan sen käyttö perustuu yksittäisiin tilaajiin.[54]

Tietoverkon maksimikantama osoittaa kuinka kaukana käyttäjä voi olla lähimmästä tukiasemasta. GSM- ja TETRA-verkkojen maksimikantamat ovat samansuuntaisia niiden rakenteen yhteneväisyyden vuoksi. HF- ja VHF-verkkojen kantama on pitkä, koska VHF-verkolla voidaan muodostaa noin 15 kilometrin kantama. HF-verkon kantama voi olla jopa satoja kilometrejä. VHF-verkon käytettävyys on kuitenkin suurempi, koska sillä on pienempiä katvealueita kuin HF-verkolla. Satelliittipuhelimien kantamat ovat useita satoja kilometrejä. Sisätiloissa satelliittipuhelimet käyttävät liikennöintiin GSM-verkon tukiasemia.[54]

Siirtonopeus on ratkaisevassa osassa verkon kapasiteettia tutkittaessa, sillä alhainen siirtonopeus mahdollistaa vain yksittäisten viestien lähettämisen. Paikkatiedon läheteiden ei tule vähentää verkon toimintakykyä vaan paikkatietoviestien tulee mukautua muuhun liikenteeseen. [5] Jos verkon tiedonsiirtokapasiteetti on 2,4 kbit/s, verkon kapasiteetti ei sovellu kuin yksittäisten viestien lähettämiseen. 9,6 kbit/s siirtonopeutta voidaan pitää alhaisimpana nopeutena, joka mahdollistaa komppanian kokoisen osaston käyttäjien paikkatiedon liikenteen ilman verkon merkittävää suorituskyvyn heikentymistä.[5]

GSM-verkon ja TETRA-verkon kapasiteetti riittää hyvin paikkatiedon kattavaan siirtämiseen. [5] Myös WLAN-verkon kapasiteetti riittää mainiosti. WLAN-verkon kapasiteetti mahdollistaa liikkuvan kuvan ja suurtenkin tiedostojen lähettämisen.

IP-protokollan tuki on nykyaikaisessa viestiverkossa tärkeässä roolissa, koska se mahdollistaa viestiliikenteen erityyppisten tietoverkkojen yli. IP-liikennettä voidaan lähettää kaikkien tietoverkkojen kautta kuitenkin siten, että VHF/HF-verkkojen ja satelliittipuhelinverkon kautta liikenne on rajoitettua[35].

Tietoverkkojen lähetystehot vaihtelevat toisistaan merkittävästi. Satelliittipuhelimilla on vähäinen lähetysteho, kun GSM-verkon lähetysteho on puolestaan huomattavasti suurempi. Lähetysteho vaikuttaa tietoverkon taistelunkestävyyteen sekä häiritävyyteen.

### 6.3 Tietoverkkojen käytettävyyden vertailu

Tietoverkkojen käytettävyyttä on vertailtu seitsemällä erilaisella käyttöön liittyvällä ominaisuudella. Taulukossa on vertailtu tietoverkkojen soveltuvuutta kolmessa erityyppisessä ympäristössä: kaupunkiympäristössä, metsämaastossa ja kriisinhallintaympäristössä. Taulukossa on kolme erityyppistä käyttöön liittyvää vertailukohtaa: soveltuvuus rauhanajan käyttöön, soveltuvuus kriisinajan käyttöön ja yleinen käytettävyys. Taulukossa on myös vertailtu tietoverkkojen kustannuksia yhden lähetetyn paikkatietoviestin perusteella. Tulokset on muodostettu lähteistä kerätyn tiedon perusteella. Lähteiden tietoja on arvioitu kriittisesti ja tiedon soveltuvuutta paikkatietojärjestelmään on tarkasteltu sotilastoiminnan vaatimuksien kautta.

	kaupunki ympäristö	Metsä maasto	Kriisinhallinta ympäristö	rauhanaika	kriisinaika	käytettävyys	Tietoliikenne- kustannukset
GSM-verkko	2	2	0	2	0	2	1 / Melko kallis 0,3e/vrk[20]
TETRA-verkko	2	1	1	2	1	2	2 / Halpa
VHF/HF-verkko	1	2	2	2	1	1	2 / Halpa
WLAN/MANET-verkko	2	1	1	2	2	2	2 / Halpa
Satelliittipuhelin- verkko	1	1	2	2	0	1	0/Kallis (7,5e/Mt.)[25]

Taulukko 7: Tietoverkkojen käyttösoveltuvuuden vertailu [37,32,61,54,11,56,57]

(Taulukon käsitteet liitteessä 5).

#### SOVELTUVUUS

2- Soveltuu hyvin/ Edullinen

1-Soveltuu rajoitetusti/ Melko kallis

0-Ei sovellu/ Kallis

GSM- ja TETRA-verkkojen vertailu on luonnollista, sillä verkkojen rakenne ja tekniikka ovat samantyyppisiä. Kun verkkojen soveltuvuutta vertaillaan eri ympäristöissä, ne saavat saman pistemäärän. TETRA-verkko soveltuu salauksen ja liikuteltavuutensa ansiosta paremmin kriisinhallintaympäristöön kuin GSM-verkko. GSM puolestaan soveltuu TETRA- ja VHF-verkkoa paremmin tukitoimintojen johtamiseen kriisinaikana. [32]. Lähteen [37] mukaan GSM-verkkoon pitäisi tehdä merkittäviä rakenteellisia muutoksia, jotta se soveltuisi tukitoimintojen johtamiseen. Kriisin aikana TETRA-verkko soveltuu paremmin käytettäväksi juuri salauksen ja liikuteltavuuden puolesta. [37,32]

VHF- ja HF-verkkojen soveltuvuutta paikkatietojärjestelmään tulee arvioida varsin kriittisesti, koska taktisten verkkojen käyttöä ohjaavat määräykset ja vallitseva taistelutilanne. Ominaisuuksien puolesta VHF-verkon radiolla paikkatietoa voidaan siirtää muutamia kilometrejä [61], mutta radioiden käyttöä rajoittaa vihollisen tiedustelu ja muut käyttörajoitukset. [37] Tästä syystä VHF- ja HF-verkkojen käyttö voi paljastaa omien joukkojen sijainnin viholliselle. [37] VHF/HF-verkot ovat monipuolisia, sotilaskäyttöön soveltuvia järjestelmiä, mutta niiden jatkuvaa käyttöä paikkatietojärjestelmän tietoverkkona tulee arvioida aina olemassa olevan tilanteen mukaan. Muut arvioitavat verkot ovat myös siviilikäytössä, ja tällöin niiden käyttäminen sotilastarkoituksiin peittyä muiden läheteiden sekaan.

WLAN- ja MANET-verkkojen käyttäminen paikkatietojärjestelmässä on varteenotettava vaihtoehto monipuolisuuden, liikuteltavuuden ja suuren kapasiteetin ansiosta.[56,57] WLAN-verkot soveltuvat taulukon arvojen mukaisesti hyvin paikkatietojärjestelmän tietoverkoiksi – tosin lyhyt kantama rajoittaa niiden käyttöä. [61]

Satelliittipuhelimien käyttäminen paikkatietojärjestelmän tietoverkkona rajoittuu yksittäisten sotilaiden ja ryhmän paikkatiedonsiirtoon. Käytettävät puhelimet (iridium ja BGAN) ovat kaupallisia tuotteita, joiden verkkoa ylläpitävät kaupalliset yhtiöt. Tästä syystä satelliittipuhelimet soveltuvat käytettäväksi paikkatietojärjestelmässä vain varmentavana tietoverkkona. Satelliittipuhelimet ovat ainoa tietoverkko, joka mahdollistaa mannertenväliset yhteydet, joten niiden käyttämistä kaukana olevissa kohteissa voidaan pitää perusteltuina. [32]

Tietoverkkojen kokonaiskustannukset vaikuttavat verkon käyttöönottoon merkittävästi. Tavoitteena voidaan ajatella että paikkatiedon lähetteen siirtäminen ei saa nostaa merkittävästi kokonaiskustannuksia. Kustannukset siviiliyritysten omistamien tietoverkkojen käyttämiseen ovat luonnollisesti korkeammat kuin Puolustusvoimien omissa tietoverkoissa. GSM-verkon kustannukset ovat kalliimmat kuin TETRA-verkossa. Satelliittipuhelimien käyttäminen on erittäin kallista, koska velotus perustuu siirrettävän datan määrään. VHF- ja HF-verkkojen ja WLAN/MANET-verkkojen kustannukset ovat alhaiset, koska verkot ovat Puolustusvoimien omia, joten datan siirrosta ei muodostu kustannuksia.

## 6.4 Yhteenveto

Testeissä havaittiin merkittäviä eroja paikkaläheteiden suuruuksissa. Eroavaisuudet vaikuttavat verkkojen suunnitteluun ja sanomaformaatin valintaan. Käytettävälle verkolle tulee valita soveltuvin sanomaformaatti ja sanomien lähetystapa. Sanomien lähettäminen kymmenen paikkaläheteen ryhmässä todettiin tehokkaammaksi tiedonsiirtotavaksi kuin yksittäisten sanomien lähettäminen. Paikkatietojärjestelmien suunnittelun tulee perustua testien tuloksiin, jotta verkkojen kapasiteetit ja kustannukset voidaan huomioida tarkasti. Sanomaformaattien verkkokuormitustiedot antavat perusteet suunnittelulle ja kustannuslaskelmille, kun arvioidaan järjestelmän käyttökustannuksia.

Taistelukentän ominaispiirteiden vuoksi taajuudella on merkittävä vaikutus paikkatiedon siirtoon. Tavoiteltaessa suurta kantamaa, taajuuden tulee olla melko alhainen, jotta kantama on riittävä liikkuvaan sodankäyntiin. Verkkojen poikkeavat tiedonsiirtonopeudet aiheuttavat haasteita verkkoarkkitehtuurille. Joidenkin verkkojen kapasiteetti riittää hyvin paikkatiedon lähettämiseen ja joidenkin verkkojen kapasiteetti mahdollistaa vain yksittäisten viestien lähettämisen.

Tietoverkon rakenteen pitää olla erityyppinen koulutusilanteessa kuin kriisinhallintaoperaatiossa. Rauhanajan koulutusilanteessa staattinen, korkean kapasiteetin omaava verkko on paras ratkaisu. Kriisinhallintaoperaatioon soveltuu parhaiten nopeasti liikkeeseen mukautuva tietoverkko. WLAN-verkkojen haasteena on pieni kantavuus, joten sen käyttöä pitää laajentaa hybridiverkolla, jossa sama päätelaite liikennöi monessa eri tietoverkossa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Johtopäätöksissä vastataan tutkimuskysymyksiin ja pohditaan tutkimuksen tuloksia sekä niiden käytettävyyttä ja luotettavuutta.

Keskeisimmät kysymykset ovat:

- Kuinka paljon paikkatietolähteet kuormittavat tietoverkkoa ja miten se vaikuttaa tietoverkkojen käytettävyyteen?
- Kuinka sotilaan paikkatietoa voidaan hyödyntää päätöksenteossa?
- Miten sanomavälitys toteutetaan paikkatietojärjestelmässä?
- Mikä on tutkittavien tietoverkkojen soveltuvuus eri ympäristöissä?
- Mikä on paikkatietojärjestelmien tulevaisuus sotilastoiminnassa?

Sivukysymykset ovat:

- Miten paikkatietojärjestelmän tiedonsiirto tulee toteuttaa ryhmä-, joukkue- ja kompaniatasolla?
- Mitä tietoja paikkatietolähteeseen voidaan lisätä ja mikä on niiden hyödynnettävyys?
- Mikä on tietoverkkojen käytettävyys paikkatietojärjestelmässä?

### 7.1 Verkon kuormittuvuus paikkatietolähteistä

Alaluvussa vastataan kysymyksiin:

- Kuinka paljon paikkatietolähteet kuormittavat tietoverkkoa ja miten se vaikuttaa tietoverkkojen käytettävyyteen?
- Miten paikkatietojärjestelmän tiedonsiirto tulee toteuttaa ryhmä-, joukkue- ja kompaniatasolla?

Paikkatietolähteet kuormittavat johtamiseen käytettävää tietoverkkoa. JOSA- tai NFFI-formaatissa olevat paikkatietolähteet lähetetään päätelaitteesta tietoverkkoa pitkin eteenpäin. JOSA-paikkatieto kuormittaa verkkoa huomattavasti vähemmän kuin NFFI-formatin paikkatieto. Yksittäinen paikkatietolähete kuormittaa viestiverkkoa enemmän kuin kymmenen paikkatiedon yhdistelmäviesti. Useasta paikkatiedosta koostettujen viestien lähettäminen on kustannustehokkaampaa ja vähemmän kuormittavaa kuin yksittäisten viestien lähettäminen. Opeeraattoreille maksetaan hyötykuormasta, joten yhdistelmäviestien lähettäminen tulee edullisemmaksi kuin yksittäisten viestien lähettäminen.

Alla olevassa taulukossa on esitetty JOSA- ja NFFI-formaattien verkon kuormittavuudet sekä paikkatietolähetteiden suuruudet, kun paikkatietosanoma lähetetään viiden sekunnin välein. Taulukossa on esitetty tietoverkkojen datansiirtonopeudet ja maksimikantama tukiasemasta päätelaitteeseen.

	JOSA	NFFI	TIETO- VERKKO	siirto-nopeus	Maksimi kantama
<b>nopeus 1.track-tieto</b>	560b/s	975,2b/s	<b>GSM</b>	gprs 40kb/s edge 150 kb/s	35km
<b>nopeus 10.track-tietoa</b>	131,20b/s	708b/s	<b>TETRA</b>	14 kb/s	50km
<b>1. Paikkalähetteen koko</b>	2,2kb	5,4kb	<b>VHF/ HF</b>	2,4kb/s	15/ >100km
<b>10. Paikkalähetteen koko</b>	6,4kb	41,6kb	<b>WLAN/ MANET</b>	200Mb/s	3-250m
			<b>SAT. PUH</b>	3,8kb/s	maailman- laajuinen

Taulukko 8: Formaattien suuruudet paikkatieto liikenteessä ja tietoverkkojen siirtonopeudet sekä maksimikantamat.

Matalan kapasiteetin tietoverkoissa, kuten VHF/HF-verkoissa, paikkatietolähetteiden tulee perustua JOSA-formaattiin. Tällöin verkon kuormitus on vähäisempää kuin NFFI-formaatissa. VHF/HF-verkoissa tulisi käyttää mahdollisuuksien mukaan yhdistelmäviestien lähetystä, jotta verkon kuormitus voitaisiin minimoida. NFFI-formaatin käyttö soveltuu korkeamman kapasiteetin omaaviin verkkoihin, kuten WLAN- ja GSM-verkkoihin. NFFI on kansainvälinen formaatti, joten sen käyttäminen kriisinhallintaoperaatioissa on välttämätöntä silloin, kun liikennöidään muiden maiden joukkojen kanssa.

Tietoverkkojen eriävien ominaisuuksien vuoksi paikkatiedon päivitysvälit tulee määrittää jokaiseen tietoverkkoon erikseen. Tällöin paikkatieto ei tuki verkkoa muulta liikenteeltä. Päivitysvälit tulee määrittää tietoverkko- ja joukkokohtaisesti. Suuremmalla joukolla on suurempi päivitysväli. Tällöin kokonaiskuva joukkojen liikkeistä päivittyy tasaisesti. Alla olevassa taulukossa on kuvattu verkkojen päivitysvälit erikokoisille joukoille. Taulukon arvot ovat suuntaa-antavia. Jokaiseen operaatioon pitää määrittää päivitysvälit operaation erityispiirteiden ja käytettävien siirtoverkkojen mukaan.



Tietoverkot	Sotilas	Ryhmä	Joukkue	Komppania
GSM	10s	1 min	2 min	4 min
TETRA	60s	2 min	4 min	8 min
VHF/HF	60s	3 min	6 min	12 min
WLAN/MANET	10s	1 min	2 min	4 min
SAT:PUH	60s	3 min	6 min	12 min

Taulukko 9: Tietoverkkojen paikkatietolähetteen päivitysvälit.

Paikkatiedon kokonaiskuva perustuu paikkatietoviesteistä koostettuihin yhdistelmäviesteihin. Paikkatiedon käytettävyys on ratkaisevaa, jolloin tieto tulee välittää esimiehen esimiehelle. Järjestelmän tulee olla porrastettu. Tällöin alimmalta tasolta lähetetään oman paikkatieto ylemmälle tasolle, joka suodattaa viestin ja lähettää yhteenvedon ylöspäin organisaatiossa. Viestien yhteenvedosta muodostuu komppaniatason paikkatieto, jossa näkyy ryhmänjohtajien liike. Esimerkit paikkatiedon siirtämisestä ryhmä-, joukkue- ja komppaniatasoilla on kuvattu liitteissä 9. Liitteessä on esitetty mahdollisia tapoja siirtää paikkatietoviestejä erityyppisissä tilanteissa.

Sotilaiden päätelaitteiden pitää tukea MANET/WLAN-ominaisuutta, jolloin tiedot voidaan päivittää langattomasti ryhmänjohtajan laitteelle. Ryhmänjohtajan päätelaitteissa tiedot voidaan suodattaa ja lähettää vain tarvittavat tiedot eteenpäin. Paikkatietolaitteiden muodostama MANET-verkko parantaa tiedonsiirron mahdollisuuksia. Sotilaiden paikkatietolähettimet voivat kiinnittyä toisiin lähettimiin ja lähettää paikkatietolähetteen sitä kautta. Monien tietoverkkojen käyttämisen mahdollisuus samalla päätelaitteella tuo edun, jossa sotilaan paikannus olisi mahdollista aina, kun sotilas olisi yhdenkin tietoverkon kantavuusalueella. Ryhmän ja joukkueen toiminta-alueille tulee luoda langaton 802.11-standardin mukainen WLAN-verkko, jolloin taistelukentällä on useita lyhyen kantaman verkkoja, joissa voidaan siirtää paikkatietolähetkeitä.

Paikannusvälineiden kehittyminen tuo uusia näkökulmia paikannusjärjestelyihin. Laitteiden tekninen monipuolisuus avaa uusia käyttömahdollisuuksia sotilaan paikantamiselle. Paikantamislaitteiden tulee olla integroitavissa moniin tietoverkkoihin, jotta paikkatietolähete voidaan lähettää parhaalle käytössä olevalle siirtotielle. Näin vältetään siltä, että tietoverkkojen katvealueet rajoittaisivat paikkatiedon lähettämistä.

## 7.2 Sotilaan paikkatiedon hyödyntäminen

Alaluvussa vastataan kysymyksiin:

- Kuinka sotilaanpaikkatietoa voidaan hyödyntää päätöksenteossa?
- Mitä muita tietoja paikkatietolähteeseen voidaan lisätä ja mikä on niiden hyödynnettävyys?

Yksittäisen sotilaan paikantaminen taistelukentällä asettaa erityyppisiä vaatimuksia tietoverkoille. Liikkuva sodankäynti ja muuttuvat tilanteet luovat haasteita sotilaan paikannukselle. Omien joukkojen paikantamisella on ratkaiseva merkitys tilannekuvan luomisessa. Ilman reaaliaikaista tilannekuvaa joukkojen johtaminen ja tilanteeseen reagoiminen vaikeutuu. Paikkatiedon avulla saadaan kattava ja totuudenmukainen kuva sotilaiden tilanteesta. Tilannetietoisuuden avulla päätöksentekijöiden ratkaisut perustuvat olemassa olevaan tilanteeseen ja uusiin tiedustelutietoihin. Johtajien päätökset tukevat senhetkistä tilannetta ja tilannekuvan avulla voidaan entistä paremmin reagoida vihollisen liikkeisiin.

Tietoverkkojen tehokas ja suunniteltu käyttö avaa mahdollisuuden uudenlaiseen tilannekuvan seuraamiseen. Johtajien sijainti ei ole enää sidottu taistelukentälle, vaan johtajat voivat seurata tilannekuvan kehittymistä vaikka toiselta puolelta maata ja tehdä päätöksiä siten, ettei heihin kohdistu sotilaallista uhkaa. Kaksisuuntaisten lähettimien käyttö lisää tiedon kulkua merkittävästi. Näin ollen yksittäisen sotilaan tieto välittyy johtaville sotilaille ja johtajat voivat antaa sotilaille reaaliaikaisia käskyjä, jotka perustuvat tuoreeseen tilannekuvaan. Tilanteen reaaliaikaisuus tuo edun vastustajaan nähden, koska näin voidaan ennakoida entistä paremmin tulevia tapahtumia ja saadaan vihollisen toiminnasta reaaliaikaista tietoa. Reaaliaikaiset tilannetiedot ovatkin yksi merkittävimmistä eduista, joka yksittäisen sotilaan paikantamisella saadaan. Tilannekuvan välittäminen kauas taistelukentältä avaa mahdollisuuksia, joita ennen ei ole ollut käytössä.

Paikkatiedon merkitys on korostunut, koska tilanteet taistelukentällä muuttuvat nopeasti ja sotilaiden sijainnin tietäminen on entistä tärkeämpää. Paikkatietoon tulee olla integroitavissa sotilaan statustieto sekä tieto sotilaan taistelukyvyistä. Statustieto, jolla ilmoitetaan taistelukentän tilanne, pitää perustua ennalta sovittuihin viesteihin. Sotilaan tulee voida ilmoittaa paikkatietolähtetimen kautta taistelukentän tilanne. Yhdistämällä sotilaiden paikkatieto-, statustieto- ja syketieto saadaan kattava ja luotettava kuva tilanteesta. Yksittäisen sotilaan toimiminen taistelukentän tilannetta peilaavana sensorina laajentaa ja syventää tilannekuvaa. Sotilaan taistelukyvyyn reaaliaikainen tietäminen avaa mahdollisuuksia joukkojen entistä tehokkaammalle käytölle. Taistelukyvyyn ilmoittamisen tulee perustua sotilaan syketietoihin, koska näin saadaan luotettava kuva sotilaan taistelukyvyistä. Tietoja yhdistämällä saadaan kuva koko komppaniasta, jolloin joukkoja voidaan käyttää tehokkaasti sen taistelukyvyyn mukaan.

Paikkatietojärjestelmien kapasiteetin kasvaessa myös erilaisten biosignaalien siirtäminen tietoverkkojen läpi mahdollistuu. [30] Tämän avulla päästään yhä tarkempiin eturintaman taistelijan kuormituksen ja vitalitoimintojen reaaliaikaiseen arviointiin, mikä antaa monia uusia ulottuvuuksia taktisen tilannekuvan luomiseen. Esimerkiksi ANT+-protokollaa käyttämällä on jo mahdollista siirtää vitalitoiminnoista kertovaa informaatiota, kuten sydämen toiminnan tarkempaa analysointia, lihaksen sähköistä aktiivisuutta tai vaikka sensoritietoa aivosähkökäyrästä.[30] Kattavamman tiedon pohjalta voidaan tehdä perustellumpia päätöksiä joukkojen käytöstä.

### 7.3 Sanomavälitys paikkatietojärjestelmässä

Alaluvussa vastataan kysymyksiin:

- Miten sanomavälitys toteutetaan paikkatietojärjestelmässä?
- Mitkä ovat yhtenäisen sanomavälityspalvelun hyödyt?

Paikkatiedon merkitys tulee kasvamaan nykyaikaisessa sodankäynnissä. Kattava ja luotettava tilannetietoisuus antaa merkittävän edun viholliseen nähden. Sotilastoimintaan soveltuva paikkatietojärjestelmä tuottaa sotilaiden paikan, statuksen ja taistelukyvyyn. Näiden tietojen avulla muodostuu tarkka tilannetietoisuus yksittäiseltä alueelta.

Yhdistämällä erityyppiset tietoverkkojen ominaisuudet yhdeksi, toimivaksi kokonaisuudeksi, mahdollistuu kattava ja reaaliaikainen tilannekuva. Yhtenäinen paikkatietojärjestelmä vaatii sanomanvälitysjärjestelmän, joka koostaa eri tietoverkoista tulleen lähetteen yhden sovelluksen käsiteltäväksi. Sovelluksella, jolla voidaan tarkkailla kaikista tietoverkoista tulevaa paikkatietolähteitä, yhtenäistää tilannetietoisuuden järjestelmän.

Kattava paikkatietojärjestelmä muodostuu monesta yksittäisestä tietoverkosta. Ei ole reaalista ajatella että jokainen sotilas olisi saman tietoverkon kantavuus alueella. Sotilaiden liikkuvuus ja tietoverkkojen rakenteen erilaisuus asettaa haasteita paikkatiedon sanomien välittämiseksi. Ilman yhdenmukaista ja toimivaa sanomajärjestelyä ei saada toteutettua kattavaa paikkatietojärjestelmää. TTS-sovelluksen avulla paikkatietoviestit saadaan koostettu yhteen karttasovellukseen. MICS-sovelluksella yhdistetään tietoverkot kokonaisuudeksi, tällöin mahdollistuu yhtenäinen sanomanvälitys.

Paikkatiedon sanomanvälitysjärjestely tulee olla sellainen, joka mahdollistaa tietoverkon liittymisen siihen ja sanomien välittämisen erityyppisten tietoverkkojen läpi. Käyttämällä järjestelmää, joka integroi kaikkien tietoverkkojen lähetteen saman sovelluksen käytettäväksi, parantaa paikkatiedon tehokasta käyttöä. Yhden karttasovelluksen käyttäminen tuo taloudellisuutta ja kustannustehokkuutta sekä lisää käytettävyyttä. Sovellus, joka välittää kaikista tietoverkoista tulevan paikkatietosanoman, on välttämätön jotta saadaan kattava ja reaaliaikainen tilannekuva. MICS-sovelluksen avulla paikkatietojärjestelmästä voidaan luoda useita verkkoja käsittelevä kokonaisuus. Ilman MICS ohjelmistoa paikkatietojärjestelmä koostuisi yksittäisistä tietoverkoista. MICS-sovelluksen kehittäminen ja tuotteistaminen on ratkaisevassa osassa paikkatietojärjestelmän ominaisuuksien kehittämisessä.

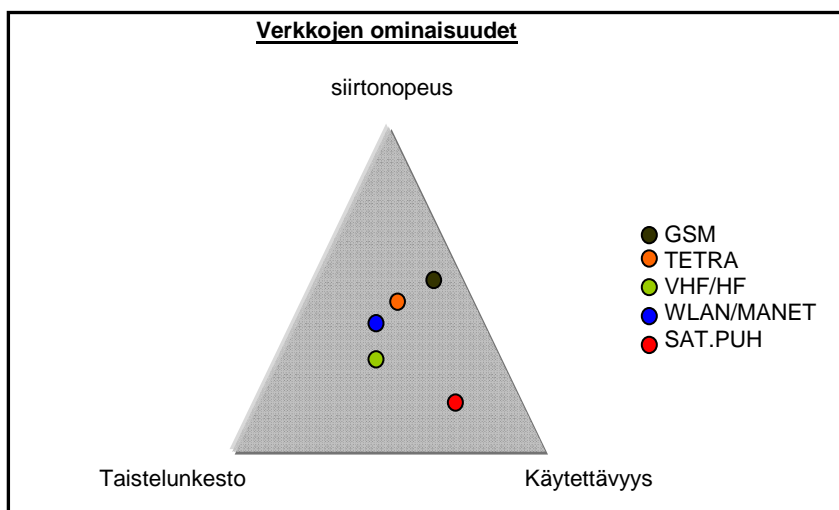
## 7.4 Tietoverkkojen soveltuvuuden arviointi

Alaluvussa vastataan kysymykseen:

- Mikä on tutkittavien tietoverkkojen soveltuvuus eri ympäristöissä?
- Mikä on tietoverkkojen käytettävyys paikkatietojärjestelmässä?

Alaluvussa vastataan yllä oleviin kysymyksiin ja pohditaan sivun 49 taulukon tuloksia.

Tietoverkkojen ominaisuudet ja käyttöympäristöt eroavat toisistaan suuresti. Tutkittavat tietoverkot on suunniteltu erityyppisiin käyttötarkoituksiin ja erityyppisiin kohteisiin ja näin ollen niiden ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet poikkeavat toisistaan huomattavasti. Tietoverkkojen tulee mahdollistaa paikkatiedon välittämisen lisäksi myös puheliikenne. Käytettävyyden kannalta on järkevää, että paikkatiedon välittämiseen käytetään samaa järjestelmään kuin puheliikenteen välittämiseen.



Kuva 22: Verkkojen soveltuvuuden arviointi.

Kuvassa on vertailtu tietoverkkojen ominaisuuksia siirtonopeuden, taistelunkeston ja käytettävyyden perusteella. Tietoverkkojen käytettävyys paikkatiedon siirtämisessä on tärkeä osa kokonaisvertailua. Käytettävyyden perusteella voidaan arvioida tietoverkon todellista kykyä siirtää paikkatietoa halutulla tavalla. Käytettävyyden tärkeimpiä kriteereitä ovat luotettavuus, kapasiteetti, kokonaispeitto ja kustannustehokkuus. Jokainen tietoverkko kykenee välittämään sotilaan paikkatiedon, joskin joidenkin verkkojen siirtokapasiteetti rajoittaa tietoverkon käyttöä. GSM- ja TETRA-verkkojen taistelunkesto on huonompi kuin WLAN- tai VHF-verkkojen. Satelliittipuhelimien taistelunkestoa on hyvin vaikea arvioida.

Verkot soveltuvat käytettäväksi erityyppisissä tilanteissa ja toimintaympäristöissä. Käytettävä tietoverkko tulee valita tarkasti. Valinnan tulee perustua joukon tehtävään, kalustoon, joukon kokoon ja toimintaympäristöön. Samaan organisaatioon kuuluvilla joukoilla voi olla eri tietoverkkoyhteydet. Käytettävän tietoverkon valinnassa on huomioitava monia kokonaisuuksia, jotta tietoverkko tukisi mahdollisimman hyvin tehtävän suorittamista

GSM-verkko soveltuu hyvin käytettäväksi paikkatietojärjestelmän tietoverkkona rauhanajan koulutustilanteessa. Verkolla on suuri kapasiteetti ja sen kuuluvuusalue kattaa lähes koko Suomen. Näin ollen verkkoa voidaan käyttää siirtotienä koulutustilanteessa vähäisillä järjestelyillä. GSM-verkon kyky siirtää paikkatietoja GPRS-datana on riittävä. Verkon suorituskyky antaa mahdollisuuden suurtenkin joukkojen yhtäaikaiselle paikkatiedon siirrolle. GSM-verkon etuna on myös kattava tukiasemaverkko, joka mahdollistaa verkon paikannusjärjestelmien käytön silloin, kun GPS-lähete ei ole saatavilla. Tällöin paikkatiedon tarkkuus kärsii, mutta varsinkin kaupunkialueella tarkkuus on riittävä (10–30 m). GSM-verkon kuuluvuus-kartta on liitteessä 1.

GSM-verkon käyttäminen paikkatietojärjestelmän tietoverkkona on vartenotettava vaihtoehto. Koulutuskäytössä verkon edut ovat kiistattomat. Markkinoilla olevat tuotteet tukevat GSM-verkon käyttöä, ja näin ollen koulutuksessa voidaan käyttää markkinoilla olevia sotilaspaikannuslaitteita. Sotilaspaikannuslaitteissa on myös sykelläheteominaisuus, jolloin sotilaiden tilanteesta saadaan kattavasti tietoa. Liittämällä markkinoilla olevat sotilaspaikannuslaitteet MICS- ja TTS-ohjelmien avulla yleiseen paikkatietojärjestelmään saadaan kattava tilannetietoisuus jopa rauhanaikana.

GSM-verkon peitto on kattavaa koko Suomessa ja näin ollen se soveltuu hyvin myös metsämaastoon. GSM-verkon toimivuus kriisinhallintaoperaatiossa on epävarmaa. Paikallisen GSM-verkon toimivuus ja luotettavuus ovat seikkoja, jotka tulee ottaa huomioon, kun käytetään GSM-verkkoa operaatioalueella. Kriisinhallintaoperaation GSM-verkko voidaan yleensä todeta hyvin epävarmaksi ja epäluotettavaksi ja sen peittoalue ei mahdollista kattavaa toimintaa GSM-verkossa. Staattisuuden ja tukiasema-antennien suuren tehon vuoksi GSM-verkko on altis häirinnälle. GSM-verkon tukiasemat ovat kiinteän sähköverkon piirissä, joten sähköverkon lamautuminen vaikuttaa kriittisesti verkon toimivuuteen.

TETRA-verkko luo hyvät mahdollisuudet paikkatietojärjestelmän tietoverkolle. Verkko kattaa päätiestön ja suurimmat taajamat. Liikuteltavilla tukiasemilla saadaan vähennettyä verkon katvealueita. TETRA-verkon käyttäminen paikkatietojärjestelmän tietoverkkona on varsin luontevaa koska, TETRA-päätelaitteita käytetään laajasti viranomaistoiminnassa. VIKE-paikannustesteissä paikkatiedon siirtämien on saatu varsin luotettavalle tasolle.[62] Tällöin paikkatiedon siirtäminen TETRA-verkkoa pitkin olisi mahdollista niin rauhanajan koulutustilanteessa kuin virka-aputehtävissäkin.

TETRA-verkon päätelaite mahdollistaa kaksisuuntaisen paikkatietolähetteen, jonka avulla mahdollinen statustieto voidaan välittää paikannusjärjestelmään. TETRA-verkon kuuluvuus-kartta on liitteessä 2.

TETRA-verkko on varsin luotettava ja sen siirtokapasiteetti riittää hyvin paikkatietolähetteen lähettämiseen. Paikkatiedon päivitysvälin on oltava sellainen, että tietoa voidaan pitää reaaliaikaisena. Alle minuutin päivitysväli ei anna lisäarvoa tiedon reaaliaikaisuudelle koska tällöin verkko ylikuormittuu paikkatietolähetteistä. TETRA-verkon käyttöä paikkatiedon järjestelmänä voidaan laajentaa koskemaan myös muita viranomaisia. Tähän tarpeeseen VIKE-paikannus on erityisesti suunniteltu.

TETRA-verkon toiminta rajoittuu taajamiin ja tienvarsiin. TETRA-verkko voidaan laajentaa tarvittaessa myös metsämaastoon, mutta sen ulottaminen kaikkiin maastollisiin kohtiin ei ole mahdollista liikuteltavan kaluston vuoksi. Rakenteeltaan TETRA-verkko soveltuu hyvin kriisinhallintaoperaatioon, mutta sillä operoiminen vaatii laajan tukijärjestelmän tuen. TETRA-verkon ominaisuudet tukevat toimintoja, joita vaaditaan kriisinhallintaoperaatioissa kuten puheryhmien käyttö ja hätäpuhelu.

TETRA-järjestelmä kykenee tunnistamaan häirinnän ja siirtämään liikenteen vapaalle kanavalle. TETRA-järjestelmässä häirinnän sietoa voidaan parantaa käyttämällä useita antennia, käyttämällä adaptiivisia antennia, nostamalla päätelaitteiden tehoa ja suunnittelemalla verkko pienisoluisiksi. TETRA-verkko voidaan tukijärjestelmän avulla laajentaa ja korjata taisteluiden aikana[32].

VHF/HF-radiot on suunniteltu sotilastoimintaan. Niiden nopea liikuteltavuus ja pitkät lähetysvälyt tukevat liikkuvan sotilastoiminnan vaativia erityistoimintoja. VHF/HF-verkkojen käyttäminen paikkatietojärjestelmän tietoverkkona asettaa erityisvaatimuksia käyttäjälle verkon erilaisuuden vuoksi. Verkkokapasiteetti ei riitä suurten joukkojen paikkatiedon siirtämiselle. Koska verkon datansiirtokyky on vain muutamia kilobittejä, se rajoittaa paikkatietolähetteiden määrää huomattavasti muihin verkkoihin verrattuna. Verkkojen käyttäminen ryhmän tai erillisjoukkueen paikkatiedon siirtoon on mahdollista, mutta suurempien osastojen paikkatietolähetteiden siirtäminen ylikuormittaisi verkkoa ja sen käyttäminen johtamiseen esitysi.

VHF/HF-verkkoja voidaan käyttää pienten, alle joukkueen kokoisten joukkojen paikkatiedon siirtämiseen. HF-alueella lähetysetäisyydet saadaan kasvatettua suuriksi, jolloin verkon käyttö tuo mahdollisuuksia, joita tukiaseman verkot eivät mahdollista. MICS-sovellukseen tehtyjen älykkäiden radiorajapintojen avulla VHF/HF-verkoista koottu paikkatieto saadaan liitettyä kokonaispaikkatietojärjestelmään. VHF/HF-radioiden käyttö paikkatietojärjestelmän tietoverkkona tulee suunnitella tarkasti. Verkon suunnittelussa pitää huomioida verkon kapasiteetti, lähetysteho, henkilömäärä, etäisyys ja toimintaympäristö. VHF/HF-verkko soveltuu rajoitusti käytettäväksi paikkatietojärjestelmässä, mutta huolellisella suunnittelulla verkkojen tuomat edut saadaan käyttöön ja näin tilannetietoisuutta saadaan parannettua myös VHF/HF-radioita käyttävien joukkojen osalta.

VHF-verkko saadaan rakennettua nopeasti alueella, jossa ei ole valmista verkkoa. VHF-verkon muutamien tukiasemien avulla saadaan katettua yli 20 neliökilometrin alue. HF-verkon kautta saadaan muodostettua pidempiä, yli 30 kilometrin yhteyksiä. HF-verkon katvealue rajoittaa sen toimintaa. VHF/HF-verkkojen liikuteltavuus ja taistelunkestävyys ovat muita verkkoja selvästi paremmat. VHF- ja HF-radiot ovat suunniteltu liikkuvaan ja nopeaan sodankäyntiin. VHF-radiot tukevat sotilastoimintaa ja ovat perinteisesti sotilaiden pääjohtamisväline. VHF-verkon eduksi voidaan lukea varmatoimisuus, hyvä häiriönsieto, verkon rakentamisen nopeus, suunta-antenneilla saadut varsin pitkät yhteysvälit ja salattavuus[61,M]. HF-radioilla saadaan muodostettua pitkiä yhteysvälejä suurtenkin maastoesteiden, kuten vuorien yli. VHF- ja HF-radioiden käyttäminen paikkatiedon välittämiseen on hyvin mahdollista kriisinhallintaoperaatiossa. VHF/HF-verkkoihin kohdistuva häirintä lyhentää yhteysvälejä, mutta järjestelmän käyttäminen ei esty täysin. Radiot käyttävät taajuushypintää jolla voidaan vähentää häirinnän vaikutusta verkkoon.

WLAN/MANET-verkot ovat tulevaisuuden viestintätapa. Verkot mahdollistavat langattoman tiedonsiirron sekä joustavan verkonrakenteen. Verkot muodostuvat päätelaitteista, eivätkä tarvitse tukiasemia. Sotilastoiminnassa MANET-verkkojen käyttö on yleistymässä, koska verkon rakenne mahdollistaa nopeat rakennemuutokset ja laitteiden havaitseminen on erittäin vaikeaa. MANET-verkko voidaan muodostaa ryhmän sisälle, jolloin ryhmän sisällä olevat päätelaitteet muodostavat verkon perustan. Ryhmän ajoneuvon lähettämä WLAN-verkko on yhdyskäytävä runkoverkkoon, jolloin MANET-verkon käyttäjien tiedot välittyisivät ajoneuvon tukiasemaa pitkin yhdistettyyn paikkatietojärjestelmään.



MANET-verkot tuovat uuden näkemyksen sotilaiden paikkatiedon lähettämiseen. Verkko voidaan muodostaa alueelle, jossa ei ole tukiasemaverkkoa. Näin ollen se soveltuu hyvin sotilastoimintaan, jossa ei voida aina varmistua runkoverkon toimivuudesta. MANET-verkkojen käyttäminen antaa uusia mahdollisuuksia paikkatiedon lähettämiseksi. Jokainen erillinen osasto muodostaisi pienen MANET-verkkonsa, jotka yhdistyisivät tukiasemien kautta yhdeksi paikkatietojärjestelmän osaksi.

WLAN/MANET-verkkojen kantama on pieni verrattuna muihin tietoverkkoihin. Tämä voidaan lukea eduksi, kun tarkastellaan häirinnänsietokykyä. Verkon toiminta näkyy sähkömagneettisessa spektrissä pienehkölle alueelle ja sen lähetteet sekoittuvat muuhun yleiseen liikenteeseen. WLAN/MANET-verkkojen käyttäminen on mahdollista metsämaastossa, mutta maaston aiheuttamat katvealueet ja liityntärajapintojen vähyys rajoittavat sen käyttömahdollisuuksia metsissä. Verkolla on rajoittunut käyttöalue verrattuna muihin verkkoihin. WLAN-verkko tarvitsee toimiakseen kiinteän liitännän langattomalle verkolle.

Satelliittipuhelimet soveltuvat alueille, joilla ei ole kattavaa tietoverkkoa. Puhelimien avulla saavutetaan maailmanlaajuiset yhteydet. Satelliittipuhelimet soveltuvat yksittäisten paikkatietolähetteiden siirtoon. Verkon kapasiteetti mahdollistaa yksittäisten lähetteiden siirtämisen, mutta suurten joukkojen paikkatiedon tietoverkoksi se ei sovellu pienen kapasiteetin ja suurten kustannuksien vuoksi.

Satelliittipuhelimien käyttö metsämaastossa on rajoittunutta, koska satelliittipuhelin tarvitsee toimiakseen suoran näköyhteyden taivaalle. Osa satelliittipuhelimista toimii GSM-verkon kautta, jos yhteyttä GSM-verkon kautta ei saada muodostettua, satelliittipuhelin käyttää satelliittiyhteyttä. Satelliittipuhelimien käyttäminen kriisinhallintaoperaatioissa on yleistä, koska niiden käyttö ei vaadi fyysistä verkkoa, vaan puhelimet toimivat maailmanlaajuisesti. Satelliittipuhelimien kautta voidaan välittää dataa ja paikkatietoa suurtenkin etäisyyksien päähän. Satelliittipuhelimien käyttöä voidaan kriisin aikana pitää epäluotettavana. Satelliittien toimivuutta ei voida ennakoida kriisin aikana. Maa-asemien tuhoaminen lamauttaisi koko järjestelmän.

## 7.5 Kehitysnäkymät paikkatietojärjestelmässä

Alaluvussa vastataan kysymykseen:

- Mikä on paikkatietojärjestelmien tulevaisuus sotilastoiminnassa?

Paikkatietojärjestelmät kehittyvät nykytekniikan mukana. Sovellusten kehittyminen mahdollistaa satojen kohteiden yhtäaikaisen seuraamisen. Järjestelmässä tulee olla vähintään kolme eri käyttäjäkerrosta: sotilas-, johtaja- ja valvontakerrokset.

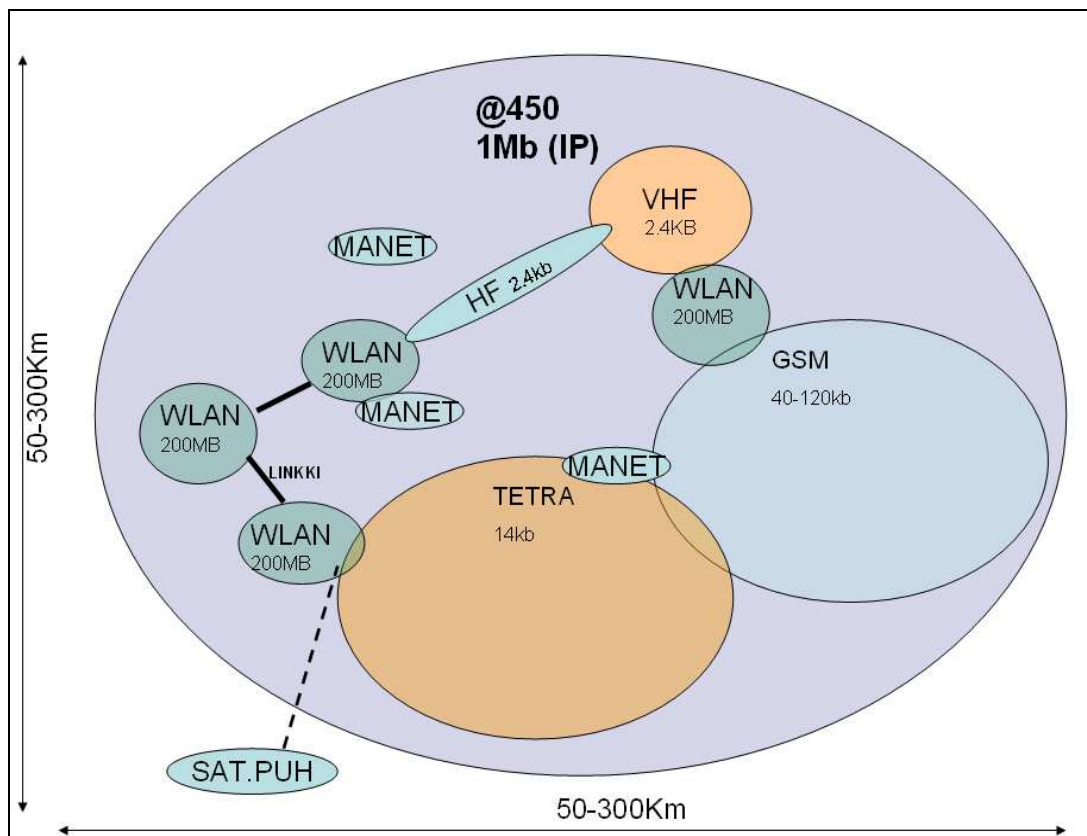
Sotilaan päätelaite on yksinkertainen, pieni ja etäseurattava. Se lähettää paikkatiedon ja tarvittaessa muita tietoja sotilaan tilanteesta eteenpäin ryhmänjohtajatasolle. Ryhmänjohtajalla on tablettityyppinen PDA-päätelaite, jossa on karttasovellus ja muita hallintatyökaluja. Valvontatasolla on pc-tietokone, jossa on karttasovellus ja TTS.

Paikkatietolähettimien koko pienenee ja käytettävien tietoverkkojen määrä kasvaa. Yksi paikkatietolähetin voi muodostaa yhteyksiä eri tietoverkkoihin ja näin lähettää paikkatiedon olemassa olevaan tietoverkkoon. Paikkatietolähettimien koko on ratkaiseva käytettävyyden kannalta. Lähettimen tulee olla integroitavissa sotilaan varusteisiin ja mahdollisten päätelaitteiden pitää olla käytettävyydeltään yksinkertaisia ja luotettavia.

Paikantamislaitteiden ja käyttöliittymien kehitystyö on merkittävässä osassa paikkatietojärjestelmän kehitystä. Käyttöliittymät muuttuvat pienemmiksi ja niiden tekniset ominaisuudet kehittyvät. Päätelaitteilla voidaan tulkita ja suodattaa paikkatietolähteitä sekä tehdä olemassa olevan paikkatiedon perusteella taistelusuunnitelmia.

Paikkatietojärjestelmien tietoverkot kehittyvät tulevaisuudessa kohti langatonta laajakaistaista verkkoa. Puolustusvoimilla ei ole mahdollisuutta käyttää paikkatietojärjestelmän runkoverkkoa satelliittijärjestelmää – Yhdysvaltain armeijalla on tähän mahdollisuus. Kattava paikkatietojärjestelmä on kehitettävä olemassa olevien resurssien avulla.

FLASH-OFDM-tekniikalla (@450) voidaan luoda laaja datansiirtoverkko, joka toimisi paikkatietojärjestelmän runkoverkkona. Järjestelmän laajentaminen toteutetaan WLAN-tekniikalla, jolla luodaan paikallisia nopeita datansiirtoverkkoja. Erillisosastot käyttäisivät WLAN-verkkoja, jotka liitetään @450-verkkoon tai muuhun langattomaan datansiirtoverkkoon. Järjestelmän tulee voida välittää sanomia kaikkien verkkojen kautta. Pitkät yhteydet rakennetaan IP-pohjaisilla linkeillä, jotta datansiirtonopeus säilyy korkeana kaikissa veron kohdissa. GSM- ja TETRA-verkkojen käyttöä tulee hyödyntää koulutusvaiheessa. Alla olevassa kuvassa on esimerkki paikkatietojärjestelmän tietoverkkojen mahdollisesta rakenteesta.



Kuva 23: Esimerkki paikkatietojärjestelmän verkkorakenteesta.

Kuvassa on esimerkki mahdollisesta paikkatietojärjestelmän verkkorakenteesta. Järjestelmän perusta luotaisiin IP-pohjaisella @450-verkolla tai sen tyyppisellä ratkaisulla. Runkoverkkoon liittyttäisiin erillisverkkojen kautta erityyppisillä järjestelmillä. Laajat alueet jossa ei ole sotilaallista uhkaa voitaisiin kattaa GSM- ja TETRA-verkoilla. Sotilaallisen uhan voimistuessa käytetään WLAN- ja VHF-verkkoja. Pitkät yhteydet rakennettaisiin satelliittipuhelimilla tai HF-verkolla. Pienet erillisosastot voisivat käyttää MANET/WLAN-tekniikoita hyväksi liikennöintiin. MICS toimisi järjestelmän sanomanvälityksen perustana ja TTS-sovellus paikkatietojärjestelmien yhdistäjänä.

## 7.6 Tutkimuksen tulosten arviointi

Alaluvussa kartoitetaan tutkimuksen tulosten käyttöarvoa ja pohdintaan tulosten käytettävyyttä. Tutkimuksessa kartoitettiin paikkatietojärjestelmään soveltuvat tietoverkot ja niiden käyttömahdollisuudet eri ympäristöissä. Tutkimuksen tuloksia on verrattu kansainvälisten julkaisujen tuloksiin ja niiden perusteella muodostettu jatkotutkimuskohteita.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että paikkatietojärjestelmän tulee muodostua monesta erityyppisestä tietoverkosta. Tietoverkkojen yhdistäminen vaatii toimivan sanomanvälitysjärjestelmän, joka on toteutettavissa MICS- ja TTS-sovelluksilla. Tutkimuksen testien tulokset ovat käyttökelpoisia ja niiden perusteella voidaan alkaa suunnitella sanomaformaattien käyttämistä eri tietoverkoissa.

Vertailun tuloksia tulee arvioida aina tapauskohtaisesti. Vertailun tuloksien perusteella ei voida todeta, mikä tietoverkoista soveltuu parhaiten paikkatietojärjestelmään. Vertailun keskeisempänä tuloksena, voidaan pitää huomiota, jonka perusteella paikkatietojärjestelmän tulee rakentua useata erityyppisestä tietoverkosta. Tietoverkkojen ominaisuudet poikkeavat toisistaan niin paljon, että verkkojen käyttäminen samassa järjestelmässä yhdessä on perusteltua.

Tutkimuksen esiteltävät vertailun tulokset on muodostettu käytettävien lähteiden perusteella. Vertailun tuloksia ei voida pitää kaikissa tilanteissa täysin luotettavina. Jokaisen verkon soveltuvuus tulee testata, ennen verkon käyttöönottoa paikkatietojärjestelmässä. Tutkimustuloksia tulee arvioida lähdekriittisesti ja kyseenalaistavasti, jotta tulosten hyödyntäminen on tarkoituksenmukaista ja toimintaa kehittävää.

Puolustusvoimissa on käynnissä paikkatietojärjestelmien kehitystyö, johon tutkimuksen tulokset soveltuvat. Testien tulokset antavat suunnittelun perusteita, mutta jatkotutkimusta on tehtävä erityisesti jokaisen verkon todellisen soveltuvuuden selvittämiseksi.

Tutkimuksen tutkimusmenetelmät olivat aihealueeseen sopivia ja tekniseen tutkimukseen soveltuvia. Aineistoanalyysillä ole ratkaiseva merkitys, jotta tutkimuksessa keskityttiin oikeantyyppisiin tekniikoihin ja menetelmiin. Vertailulla havaittiin tutkittavien tietoverkkojen ominaisuuksien erot, joiden hyödyntäminen avaa myös jatkotutkimusaiheita. Tekninen testaus soveltui hyvin aihealueeseen, testien avulla havaittiin sanoma-formaattien erot. Testien tuloksia voidaan käyttää tulevaisuudessa paikkatietojärjestelmän kehitystyöhön.

Erityyppisten langattomien datasiirtoverkkojen soveltuvuutta paikkatietojärjestelmän tietoverkoiksi tulee tutkia. WIMAX- ja FLASH-OFDM-tekniikoiden soveltuvuutta paikkatietojärjestelmän runkoverkoksi on tutkittava, jotta voidaan ratkaista millä tekniikalla runkoverkon tiedonsiirto toteutetaan.

## LÄHTEET

- [1] AJAN TASALLA. Tilannetietoisuutta tukevat käyttöliittymät vaativissa toiminta ympäristöissä. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu.2010
- [2] Antennijärjestelmät, sähköiset tietojärjestelmät. Sähkötieto Ry
- [3] Anttila, aki. TCP/IP tekniikka. WSOY.2000
- [4] Arokoski, jääskeläinen, Kontio, Köykkä, Raatikainen, Tervo, Vierimaa. Mobiili teknologiat. Inside
- [5] Chevli K.R, P.Y. Kim.y. MILCOM 2006. Blue force tracking network model and simulation
- [6] COMBINED ENDEAVOR 2010 HARJOITUSKERTOMUS. Puolustusvoimat.
- [7] Demonstration of Location Information Based Network, Younghwan Jung1, Sangbin Lee, Songmin Kim.y.Korea University, 2SK Telecom Co. IEEE. 2008
- [8] DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks David B. Johnson David A. Maltz Josh Broch Computer Science Department Carnegie Mellon University
- [9] FINACCIS1 TAISTELUJOHTOJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO OPERAATIOISSA. Maavoimien Esikunta, Käsky. MG21418
- [10] Frater Michael R, Michael Ryan. Electronic Warfare for the digitized Battlefield
- [11] Geier, Jim. Langattomat verkot, Cisco System. ITpress
- [12] Granlund Kaj, Langatontiedonsiirto, Docendo
- [13] Guest Editorial Introduction to the Special Section on M-Health: Beyond Seamless Mobility and Global Wireless Health-Care Connectivity. IEEE.2004
- [14] Haapola, J. 2010. Evaluating Medium Access Control Protocols For Wireless Sensor Networks. Tampere: Juveness Print.
- [15] Heinäaro, Kimmo. Omien joukkojen paikannus osana MATISIA, Näyttöesitys. Viestikoulu 2010 (kuva)
- [16] Holsopple Jared and Moises Sudit, CUBRC, Inc. Michael Nusinov, Daniel F. Liu, Haitao Du, and Shanchieh Jay Yang, Enhancing Situation Awareness via Automated Situation Assessment. Rochester Institute of Technology IEEE 2010
- [17] Hossein Parvar Mehdi N. Fesharaki Behzad Moshiri Shared Situation Awareness System Architecture for Network Centric Environment Decision Making. IEEE.2010
- [18] <http://fi.wikipedia.org/wiki/OSI-malli.png> (kuva) Viitattu 24.2.2010
- [19] <http://samhassan.com/gps5.html>(kuva) Viitattu 22.4.2011

- [20] <http://saunalahti.fi/gsm/hinnastomuut.php>, Viitattu 11.3.2011
- [21] <http://www.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/Paikkatietowww/paikannus/gsm3.html>  
(kuva) 25.08.2010
- [22] [http://www.datame.fi/site/files/450\\_peittoalue\\_230610.pdf](http://www.datame.fi/site/files/450_peittoalue_230610.pdf) (kuva) Viitattu 31.3.2010
- [23] <http://www.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/Paikkatietowww/paikannus/gsm2>  
(kuva) viitattu 25.08.2010
- [24] <http://www.pelastustoimi.fi/artikkelit/4551>(kuva) 25.08.2010
- [25] <http://www.savantum.com/puhelin/bgan.html>, (kuva)viitattu 11.3.2011
- [26] <http://www.sonera.fi/asiakastuki/matkapuhelin/kuuluvuuskartta> (kuva)
- [27] <http://www.thisisant.com/products> viitattu 13.9.2010
- [28] <http://www.thisisant.com/why-ant/how-ant-compares>
- [29] <http://www.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/Paikkatietowww/paikannus/gsm4.html>  
(kuva)
- [30] Huovinen, J., Kämäräinen, V., Piira, J., Ridealgh, J., and Varis, P. Remote stress monitoring package for the management of soldiers' physical load. Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Services, Berlin, Germany, July 13-15, 2010, 107-110.
- [31] Hyytiäinen Mika, Paikkatietoylivoima digitaalisella taistelukentällä. Taktiikan Laitos, Julkaisu sarja1 N:o 1/2003
- [32] Ilkka Korkiamäki. Tetra järjestelmän sotilaalliset käyttömahdollisuudet. Tekniikan laitos, Julkaisusarja 1 N:o 9
- [33] J. Järvinen, J.Määttä, R. Luostarinen, J. Manner, and M. Luoma. MICS Messaging Platform: Architecture, Design and Routing. In Proc. Military Communications (MILCOM) 2010.
- [34] Juho Määttä, Risto Järvinen, Riku Luostarinen and Jukka Manner. The Virtual Network System. Aalto University School of Science and Technology Department of Communications and Networking. 2010
- [35] Järvinen Risto, Viestintärajapinta erityisvälitysverkoille. Diplomityö. 2009. Teknillinen korkeakoulu Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos
- [36] Järvinen, Petteri. Salausmenetelmät. Docendo
- [37] Kosola Jyri Tero Solante. Digitaalinen taistelukenttä- informaatioajan sotakoneen tekniikka. Julkaisusarja 1n:o13, Tekniikan Laitos.

- [38] Longley, Goodchild, Maguire, Rhind. 2005. Geographic Information Systems and Science, John Wiley & Sons.
- [39] Maine Kris, Carrie Devieux, Pete Swan Overview of Satellite Network IRIDIUM@ Motorola Satellite Communications Division IEEE 1991
- [40] Monitoring Human Movements at Home Using Wearable Wireless Sensors Chao Chen, Carlos Pomalaza-Ráez Indiana University - Purdue University, Fort Wayne, Indiana, USA
- [41] Määttä Juho, Risto Järvinen, Riku Luostarinen and Jukka Manner. ARCHITECTURE CONSIDERATIONS OF A MESSAGING SYSTEM Helsinki University of Technology Networking Laboratory Milcom 2009
- [42] NATO UNCLASSIFIED 17 November 2006 NOTICE AC/322(SC/5)N(2006)0025 Silence Procedure ends:01 Dec 2006 16:00. INTERIM NATO FRIENDLY FORCE INFORMATION (NFFI) STANDARD FOR INTEROPERABILITY OF FORCE TRACKING SYSTEMS (FTS)
- [43] Navinova Oy (2003) Mobiilipaikannus WWW-sivusto: <http://www.tieke.fi/ajokortti.nsf/38e4483ea7238da4c225650f004a738d/566a9c8e22f82b> (KUVA) viitattu 25.08.2010
- [44] NMEA 0183 Protocol.2000
- [45] Paikannus älyliikenteessä. Liikenne ja viestintäministeriö.
- [46] Pennanen, Jukka. Liikenteen automaattisten mittapisteiden (LAM) tiedon siirtäminen TETRA teknologian avulla. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 46/2003
- [47] Penttinen Jyrki GSM-tekniikka. Järjestelmän toiminta ja kehitys kohti UMTS-aikakautta. WSOY
- [48] Penttinen Jyrki, Tietoliikennetekniikka – 3G ja erityisverkot, WSOY
- [49] Penttinen Jyrki, Tietoliikennetekniikka – Perusverkot ja GSM, WSOY
- [50] Poutanen Markku, GPS-paikanmäärittäminen, URSA
- [51] Puska Matti, Langattomat lähiverkot, Valikko
- [52] Rainio, Antti. Paikannusmobiili palveluissa ja sovelluksissa, Teknologikatsaus 143/2003 tekes
- [53] Saareleinen, Tapio Jorma Jormakka. Computer -aided warriors for future battlefields. National Defence University, Helsinki, Finland.
- [54] Salminen, Esa Satelliittien käyttö puolustusvoimissa. Tekniikan laitos, Julkaisusarja 1.
- [55] Satelliittipaikannusjärjestelmät. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuskeskus. Julkaisusarja 12

- [56] Sotatekninen arvio ja ennuste 2025. STAE 2025 osa 1. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos 2008
- [57] Sotatekninen arvio ja ennuste 2025. STAE 2025 osa 2. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos 2008
- [58] Stalling, William. Data and computer communications. Pearson international Edition.
- [59] Sweeney Michael M. Lieutenant Colonel. Blue Force Tracking: Building a Joint Capability. United States Marine Corps.2008
- [60] Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoululla. Toimittaneet Esa Lappalainen ja Jorma Jormakka. Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos. Julkaisusarja 5 No1
- [61] Vankka Jouko, Maavoimien taktisen verkon tekniikat ja standardit
- [62] Viestikoulun rajapinta harjoituksen testaus pöytäkirja.2010
- [63] [www.esri.com](http://www.esri.com) viitattu 21.2.2010
- [64] [www.militup.com](http://www.militup.com) (kuva) viitattu 25.08.2010
- [65] YU Jia, ZONG Peng The Analysis and Simulation of Communication Network in Iridium System Based on OPNET IEEE 2010



## **LIITTEET**

LIITE 1: TETRA-verkon peittoalue

LIITE 2: Soneran GSM-verkon peittoalue

LIITE 3 @450-verkon peittoalue

LIITE 4: Zibgee, ANT+ ja Bluetooth vertailu

LIITE 5: Taulukon 7 käsitteet

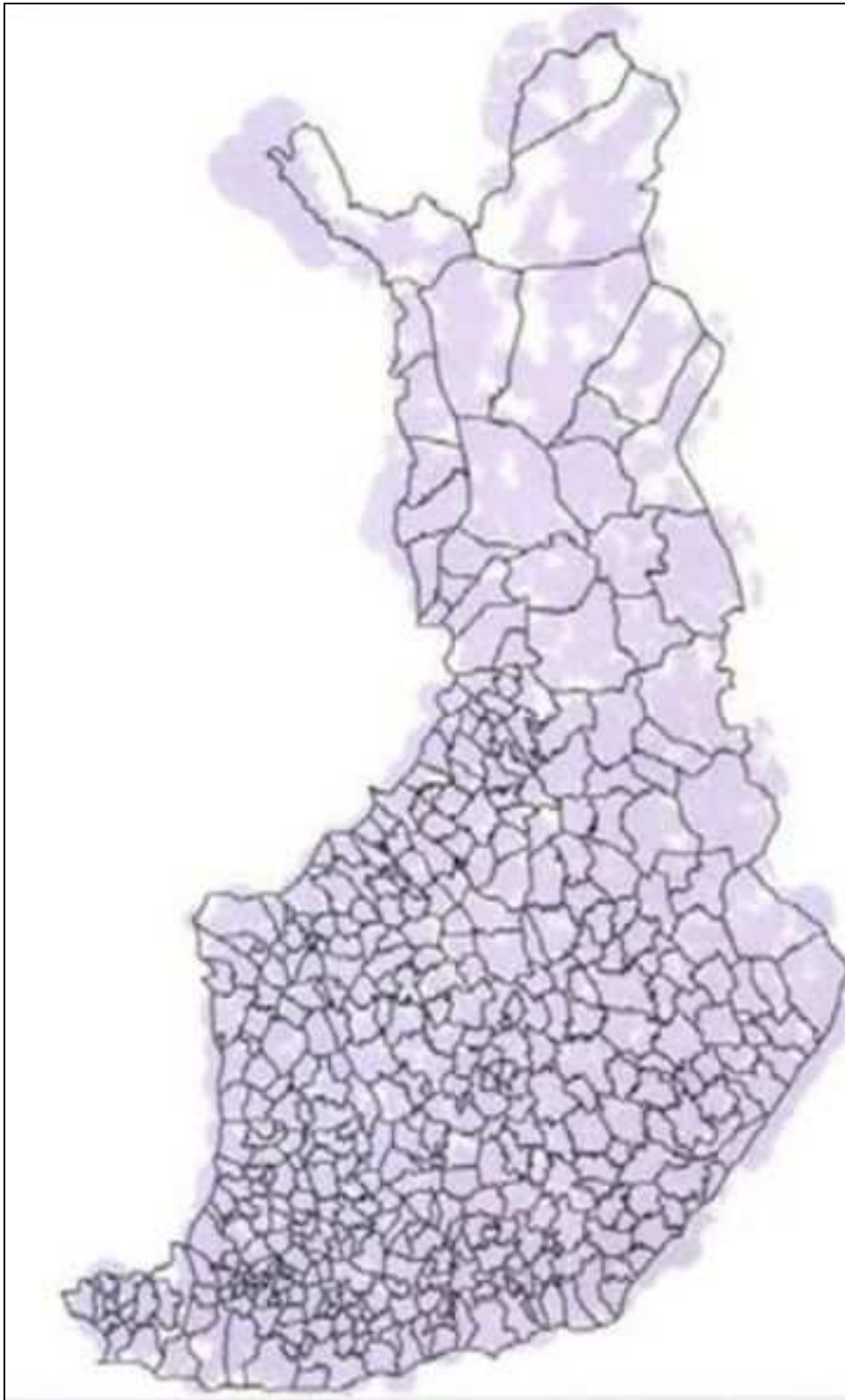
LIITE 6: Satelliittipuhelimen tekniset tiedot

LIITE 7: Kuormitusmittauksen testijärjestelyt

LIITE 8: NMEA Kehotteet GGA ja RMC

LIITE 9: Esimerkkejä paikkatiedon siirtämisestä ryhmässä, joukkueessa ja komppaniassa

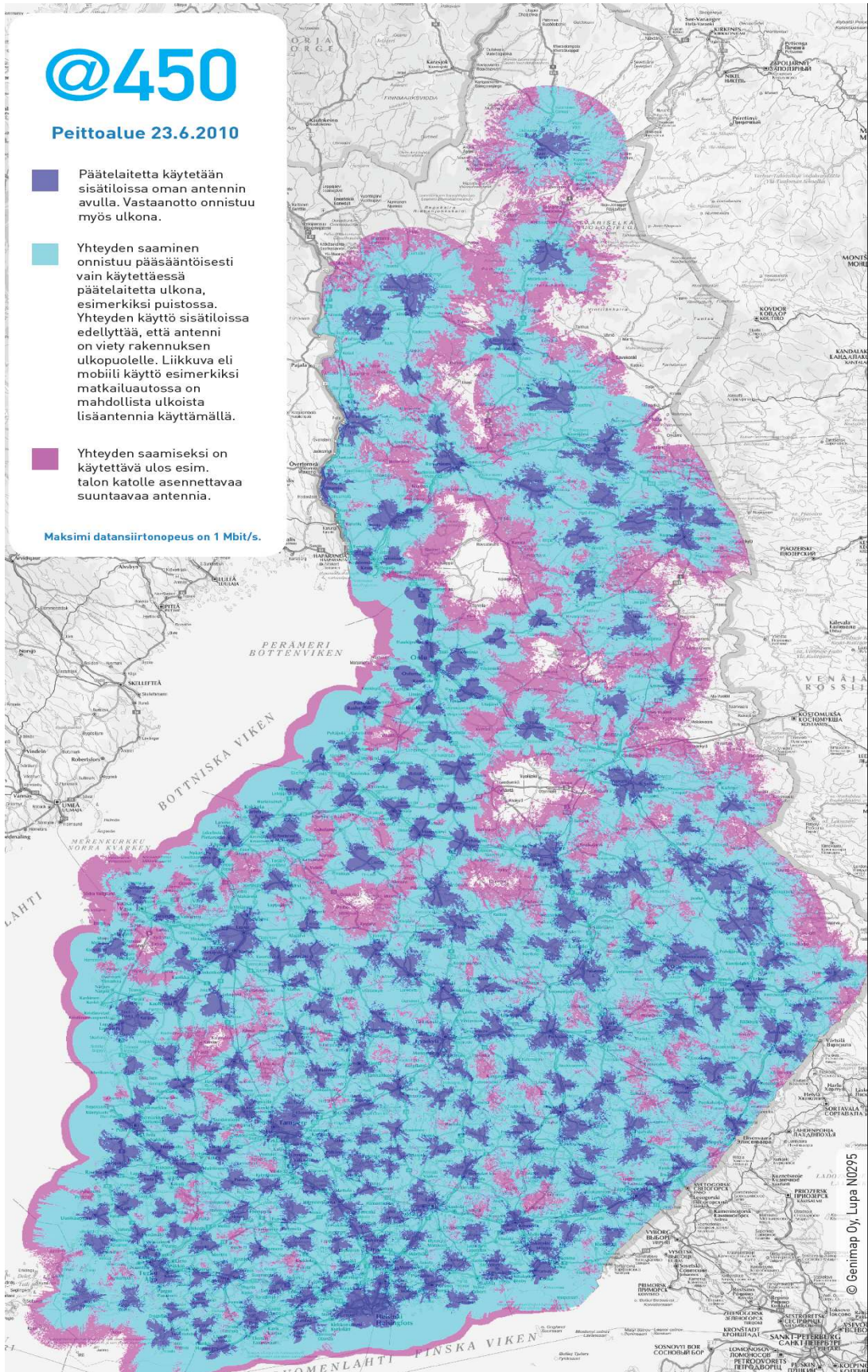
TETRA-verkon peittoalue [24]



Soneran GSM-verkon peittoalue [26]



@450-Verkon peittoalue 23.6.2010[22]



## ZIGBEE ANT+ BLUETOOTH VERTAILU [28]

Market name	ANT	ZigBee	Bluetooth
Standard	Proprietary	IEEE802.15.4	IEEE802.15.1
Application	PANs and WSNs	PANs and WSNs	PANs
Host resources (kByte)	2(0 with SensRcore™)	100	250
Battery life (with coin-cell battery)§	3+ years	4 to 6 months*	1 to 7 days*
Max. network size (nodes)	2 <sup>32</sup>	2 <sup>64</sup>	7
Over the air transmission rate (kbit/s)	1000	250	1000
Required PCB area (mm <sup>2</sup> )	125	Depends on architecture	Depends on architecture
Range (metres)	1 to 30	1 to 100+	1 to 10+
Success metrics	Ultra-low power, cost	Power, cost	Cost, convenience
Supported networks	Peer-to-peer, star, tree, mesh	Peer-to-peer, star, tree, mesh	Peer-to-peer, star
Min. node configuration	Transmit only or transceiver	Transceiver	Transceiver

## **Taulukon 7 käsitteet**

### **Kaupunkiympäristö**

Kaupunkiympäristöllä tarkoitetaan Suomalaista kaupunkia. Kaupungin keskustassa on korkeita rakennuksia ja esikaupunkia alue, joka on levittänyt keskustan ympärille. Kaupungissa on käytössä yleiset tietoliikenne palvelut.

### **Metsämaasto**

Metsämaastolla tarkoitetaan tyypillistä Suomalaista metsämaastoa. Puuston korkeus yli 20 metriä, sekä alueellisia korkeuseroja on paljon. Lähimpää päätiestöön matkaa yli 10 kilometriä.

### **Kriisinhallinta ympäristö**

Kriisinhallinta ympäristöllä tarkoitetaan ympäristöä jossa ei ole valmista infrastruktuuria. Kriisinhallin ympäristöstä ei ole kiinteitä tietoliikenne yhteyksiä Suomeen.

### **Rauhanaika**

Aika jolloin tietoverkkoihin ei kohdistu häirintää.

### **Kriisinaika**

Aika jolloin tietoverkkoihin kohdistuu häirintää. Kriisinaikana on sähkönjakeluverkko lamautettu sekä kiinteitä tukiasemia on tuhottu.

### **Käytettävyys**

Käytettävyydellä tarkoitetaan järjestelmän rakennetta ja käytettävyyttä. Käytettävyydessä arvioidaan tietoverkon soveltuvuutta paikkatiedon siirtämiseen.

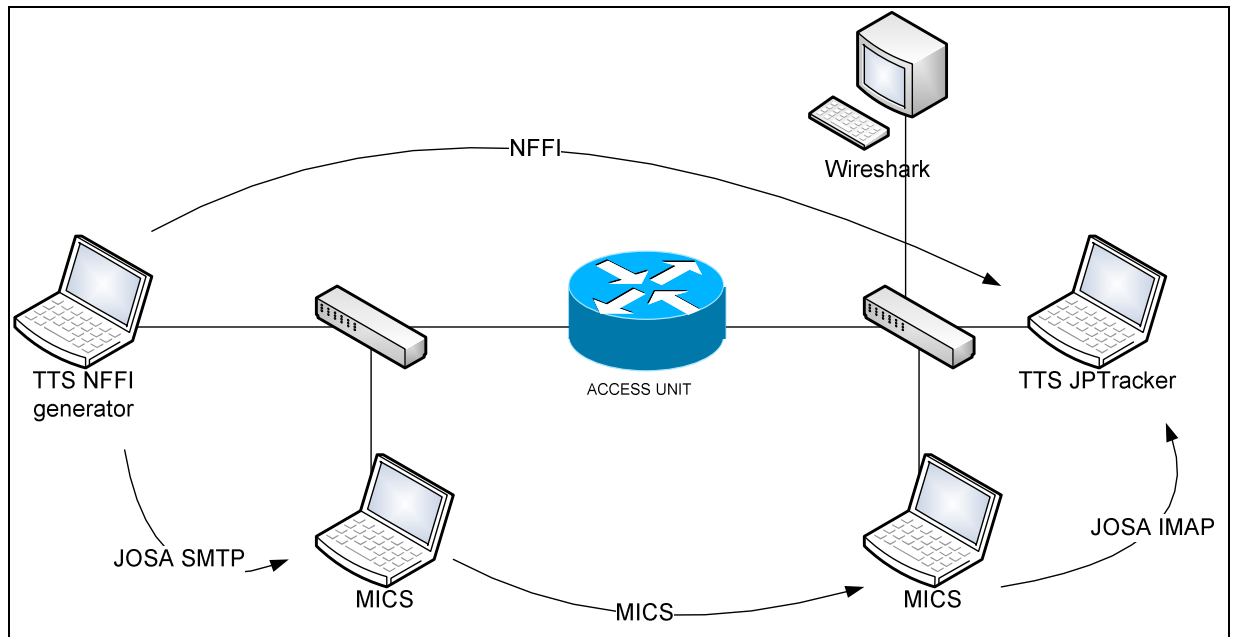
### **Tietoliikennekustannukset**

Tietoliikennekustannuksilla tarkoitetaan yhdestä sotilaan paikkatieto lähetteestä tulevia kustannuksia. Kustannukset on rajattu käsittelemään ainoastaan ulkopuoliselle operaattorille maksettavia kustannuksia verkon käytöstä. Kustannuksissa ei käsitellä laitteisto kustannuksia.

## Iridiumin satelliittipuhelimen tekniset tiedot

Satelliittien määrä	66 kappaletta
Satelliittiratojen määrä	6 kappaletta
Satelliittien ratakorkeus	780 kilometriä
Satelliittien käyttöikä	5-8 vuotta
Puhelimen lähetysteho	390 mW
Puhelimen lähetysnopeus	2400 bit/s
Radiokanavan saantimenetelmä	FDMA/TDMA
<b>TAAJUUSALUEET</b>	
Päätelaitteen ja satelliitin välillä	1616 - 1626,5 MHz
Satelliittien välillä	23,18 -23,38 MHz
Satelliitin ja maa-aseman välillä	19,4 -19,6 MHz sekä 29,1 -29,3 MHz

Kuormitusmittauksen testijärjestelyt:

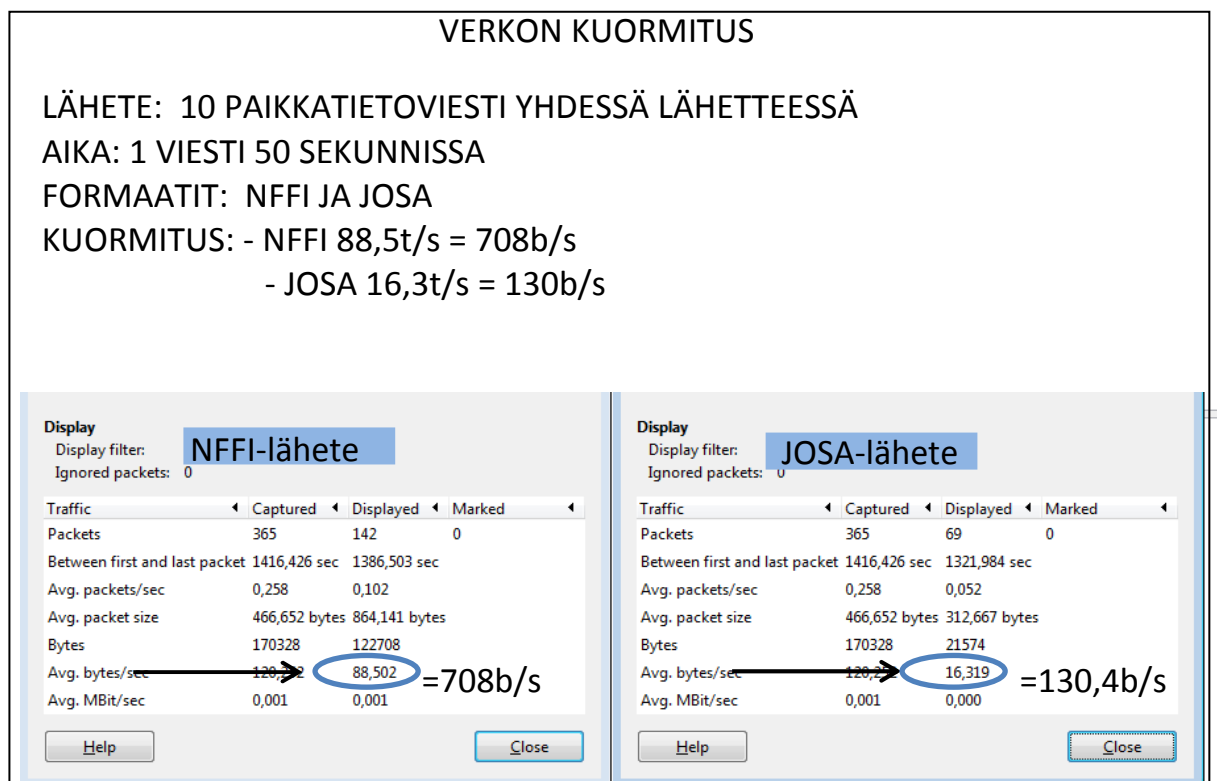
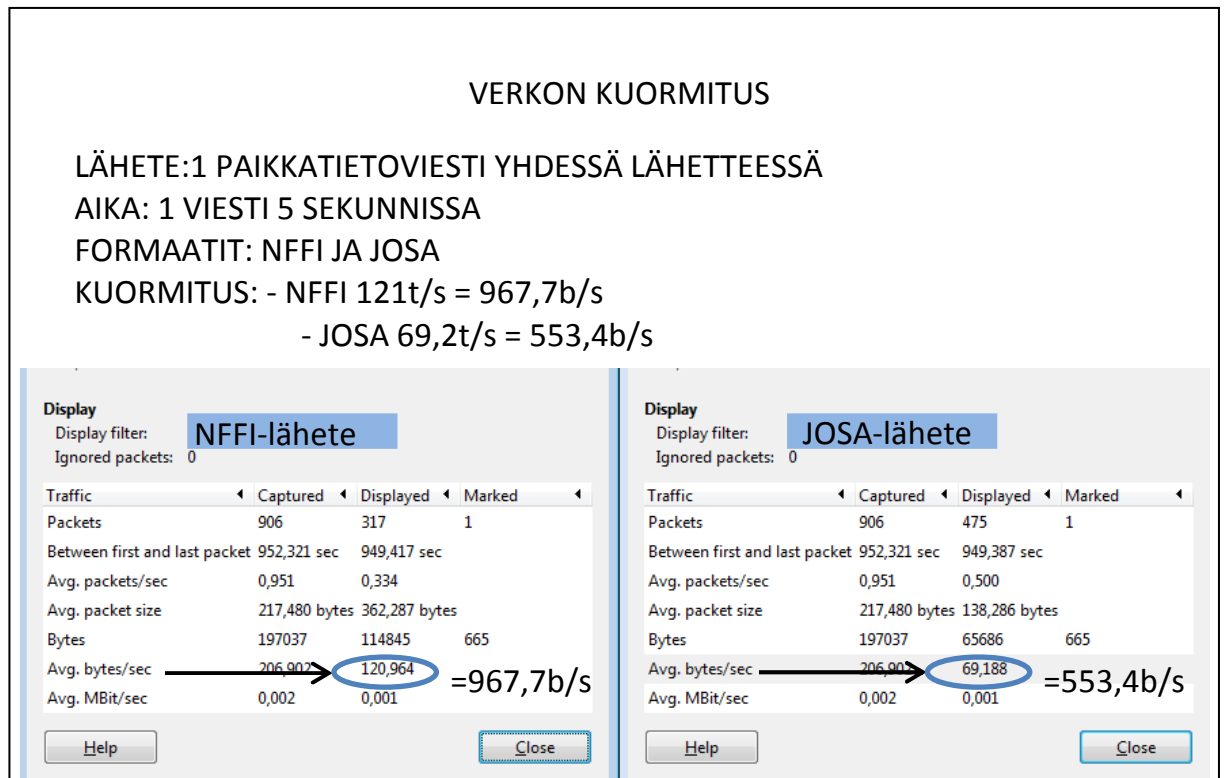


Mittaustehtävät:

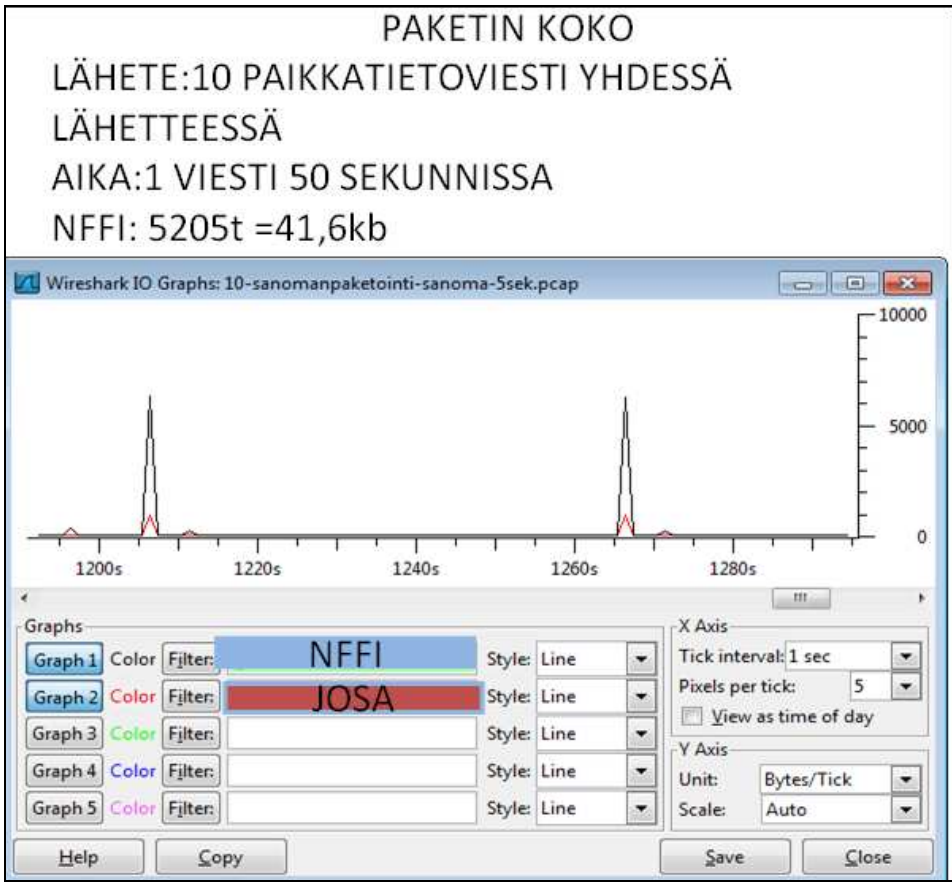
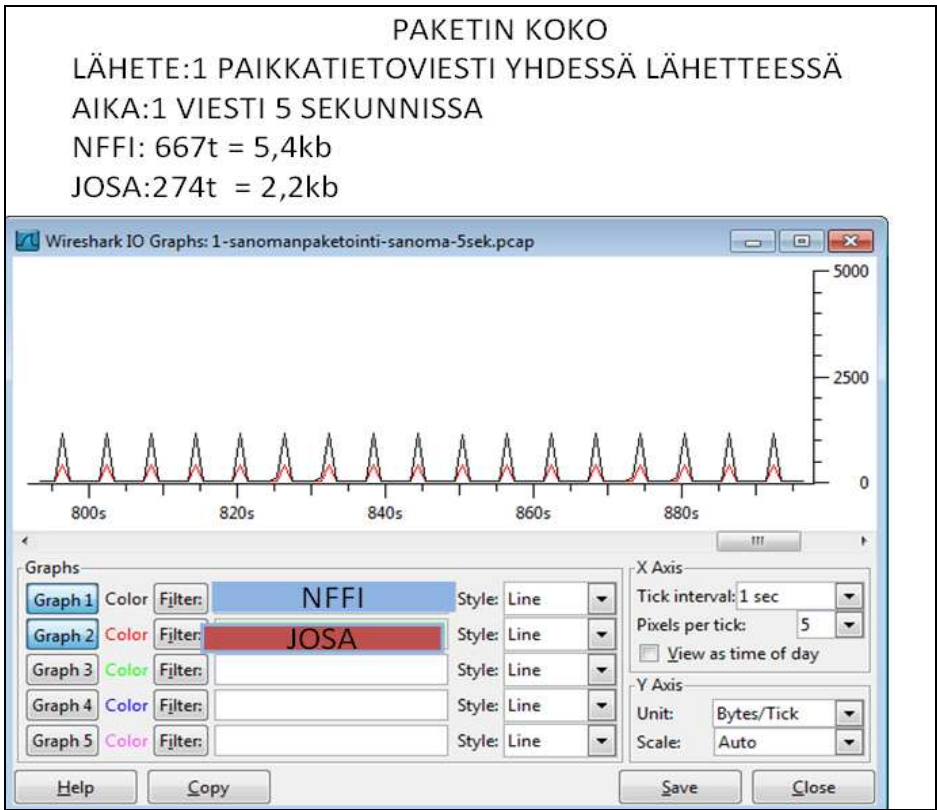
1. NFFI TRACK-LÄHETTEEN KOKO
2. JOSA TRACK-LÄHETTEEN KOKO
3. NFFI MULTITRACK-LÄHETTEEN KOKO
4. JOSA MULTITRACK-LÄHETTEEN KOKO
5. JOSA.ZIP LÄHETTEEN KOKO
6. JOSA.ZIP MULTITRACK LÄHETTEEN KOKO



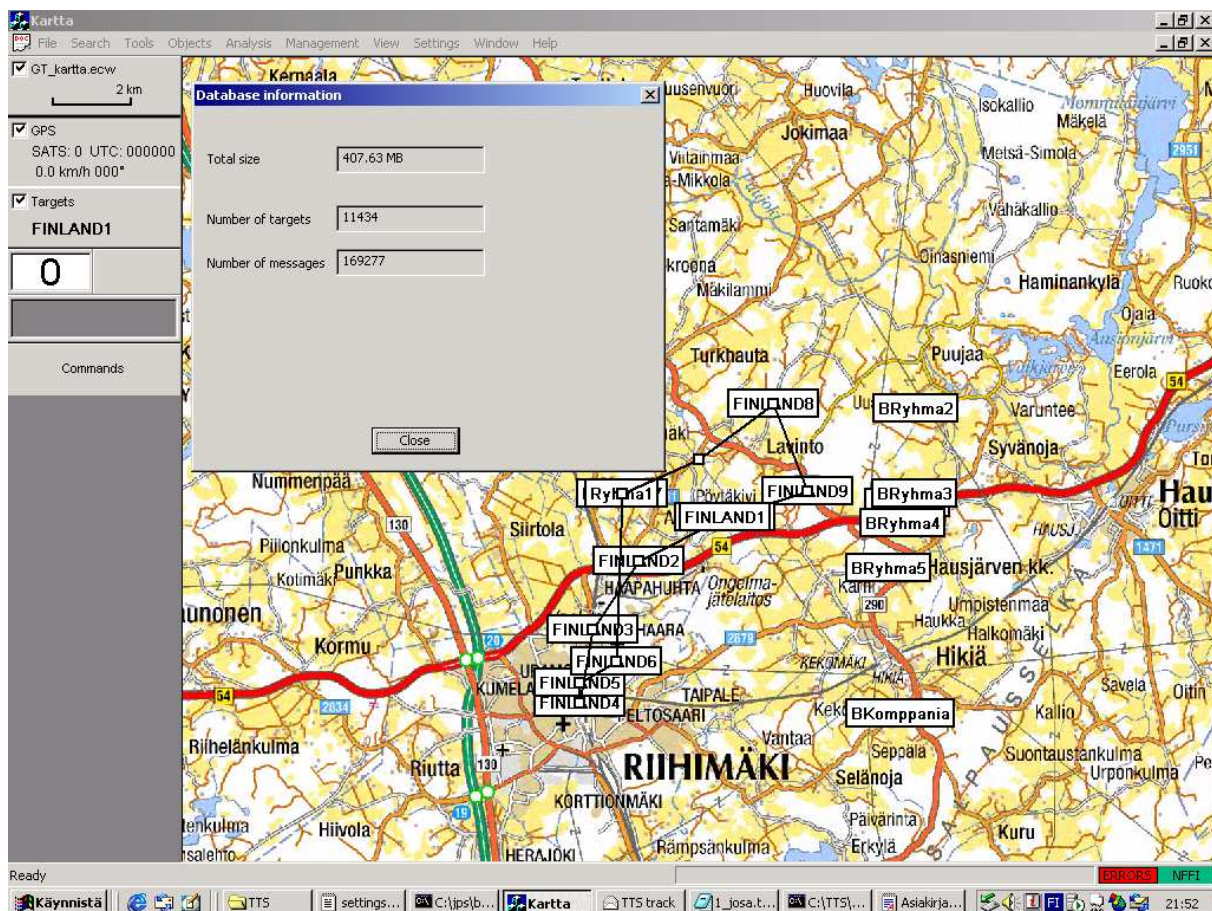
Alla olevissa kuvissa on esitetty verkon kuormitukset JOSA ja NFFI formaateissa.



Alla olevissa kuvissa on esitetty pakettien koot:



## Näkymä JPtracker karttasovelluksesta



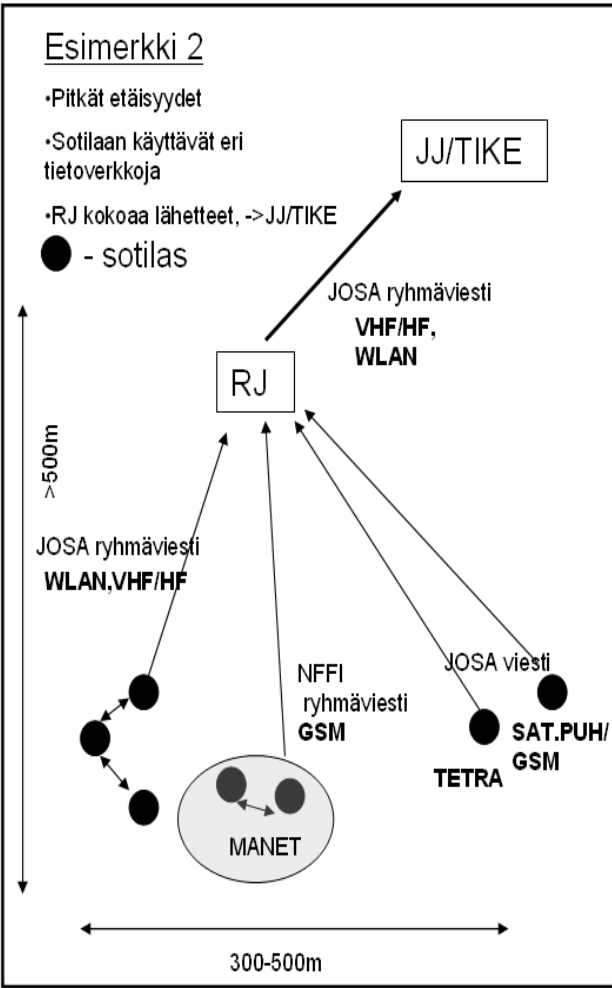
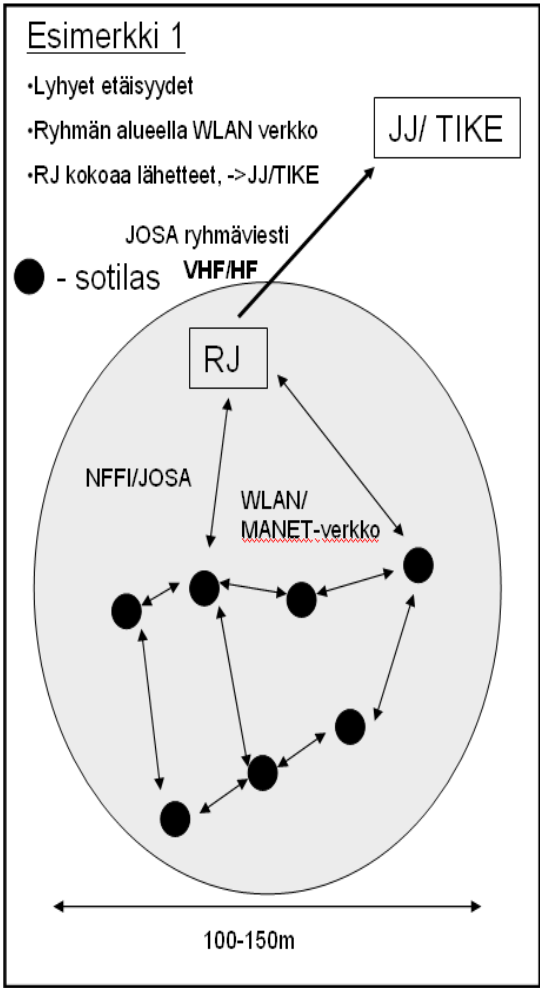
## Testintulokset:

	JOSA			NFFI				
<b>nopeus 1.track-tieto</b>	<b>70</b>	<b>t/s</b>	<b>560</b>	<b>b/s</b>	<b>121,9</b>	<b>t/s</b>	<b>975,2</b>	<b>b/s</b>
<b>nopeus 10.track-tietoa</b>	<b>16,4</b>	<b>t/s</b>	<b>131,20</b>	<b>b/s</b>	<b>88,5</b>	<b>t/s</b>	<b>708</b>	<b>b/s</b>
<b>1.PAIKKALÄHETE</b>	<b>274</b>	<b>t</b>	<b>2192</b>	<b>b</b>	<b>667</b>	<b>t</b>	<b>5336</b>	<b>b</b>
<b>10.PAIKKALÄHETE</b>	<b>798</b>	<b>t</b>	<b>6384</b>	<b>b</b>	<b>5205</b>	<b>t</b>	<b>41640</b>	<b>b</b>
<b>1_JOSA.</b>	<b>71</b>	<b>t</b>						
<b>1_JOSA.ZIP</b>	<b>188</b>	<b>t</b>						
<b>10_JOSA.</b>	<b>594</b>	<b>t</b>						
<b>10_JOSA.ZIP</b>	<b>297</b>	<b>t</b>						

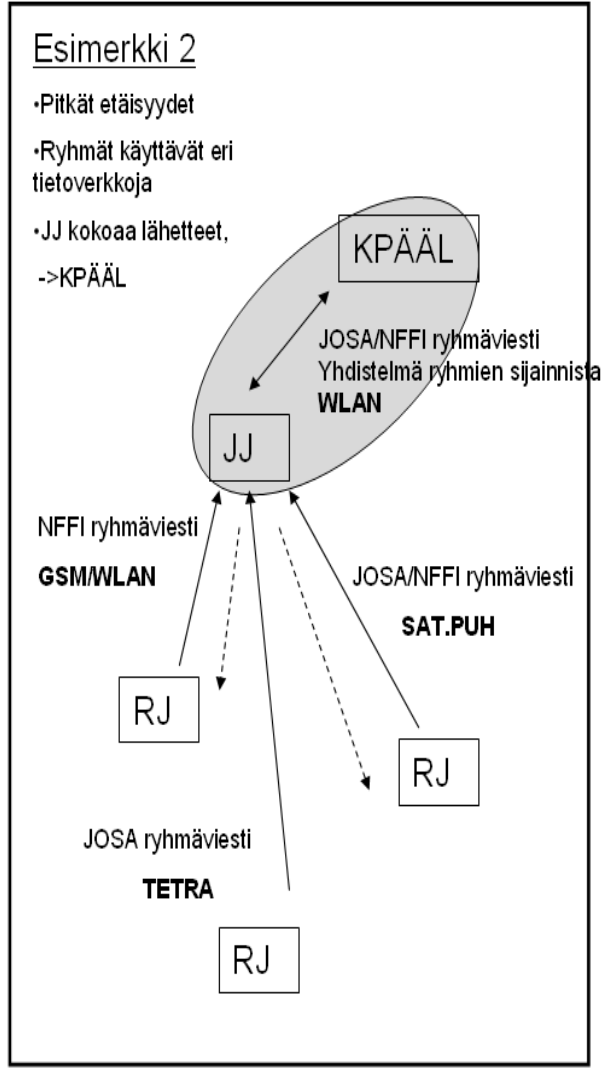
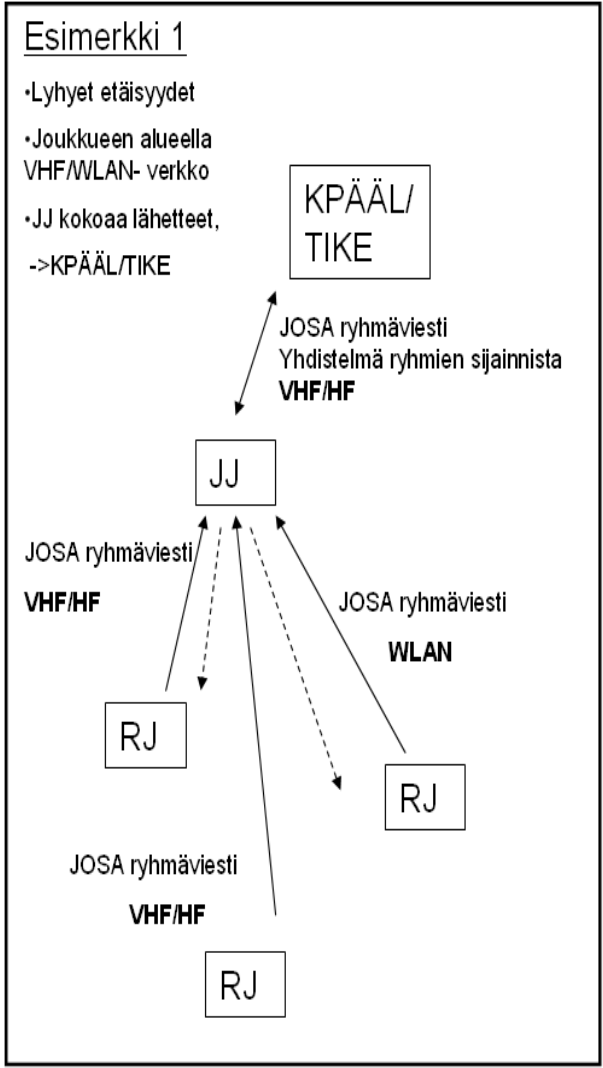


Esimerkkejä paikkatiedon siirtämisestä ryhmässä, joukkueessa ja komppaniassa.

### Esimerkkejä paikkatiedon siirtämisestä ryhmän sisällä



### Esimerkkejä paikkatiedon siirtämisestä joukkueen sisällä



### Esimerkki komppanian paikkatiedon välittämisestä

