

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**MAAVOIMIEN VERKOSTOKESKEISEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMÄN  
ARKKITEHTUURI JA SEN TOTEUTTAMINEN**

Tutkielma

Majuri  
Jarkko Karsikas

YEK 53  
Maasotalinja

Heinäkuu 2007

## MAAPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Yleisesikuntaupseerikurssi 53	Linja Maasotalinja
Tekijä Majuri Jarkko Karsikas	
Tutkielman nimi Maavoimien verkostokeskeisen tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri ja sen toteuttaminen	
Oppiaine, johon tutkielma liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MpKK:n kirjasto)
Aika Heinäkuu 2007	Tekstisivuja 153 Liitesivuja 12
<b>TIIVISTELMÄ</b>  <p>Tämä tutkimus pyrkii määrittelemään itsenäisenä puolustushaarana toimivalle maavoimille sen tehtäviin soveltuvan verkostokeskeisyyttä ja joukkorakenteita tukevan tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurin.</p> <p>Tutkimus on luonteeltaan teoreettinen. Siinä analysoidaan yleistä sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehitystä kylmästä sodasta lähtien, tiedonsiirtojärjestelmien kehitystä Yhdysvaltain ja Suomen maavoimissa sekä kaupallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehitysnäkymiä. Analyysin pohjalta on laadittu arkkitehtuurikuvaus koostuen kahdeksasta PVTAK-määrittelyn mukaisesta näkymästä sekä esimerkki arkkitehtuurin soveltamisesta käytäntöön.</p> <p>Tämän työn tutkimusongelmana on, millainen maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri tukee tulevaisuudessa parhaiten verkostokeskeisyyttä ja yleistä teknistä kehitystä. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien historian ja kehitysnäkymien vaikutusta arkkitehtuurin rakenteeseen.</p> <p>Tutkimusmenetelmänä työssä käytetään kirjallisuusanalyysia ja suunnittelua. Arkkitehtuurin laatiminen ja esimerkki arkkitehtuurin toteuttamisesta luokitellaan suunnitteluksi.</p> <p>Puolustusjärjestelmää valmistaudutaan käyttämään alue-, YETTS-, kriisinhallinta- ja informaatiotasodassa. Keskeinen vaatimus on kyky toimia kaikissa näissä toimintaympäristöissä samalla kalustolla. Verkostokeskeisyyden toteuttamisen puolestaan todettiin vaativan suorituskyykyistä, yhteensopivaa ja tietoturvallista tiedonsiirtojärjestelmää, joka takaa yhteydessyyden taistelukentän toimijoiden kesken. Tällä tuetaan erityisesti verkostokeskeistä johtamista ja suunnittelua. Tiedonsiirtojärjestelmien kehityksen todettiin olevan kaikissa asevoi-</p>	

missä hidasta. Myös käytössä olevien ikääntyneiden järjestelmien kehityksen nopeuttaminen on osoittautunut haasteelliseksi hankintaprosessin luonteesta johtuen.

Yhdysvaltain maavoimien tiedonsiirtojärjestelmissä hyödynnetään yhä runsaammin COTS-tekniikka, mutta taktiset johtamisyhteydet toteutetaan yhä useimmiten sotilasjärjestelmillä. Uusimmassa maavoimien järjestelmässä WIN-T:ssä korostuu kerroksellisuus (maa, ilma ja avaruus) ja tehtävän vaatimusten mukaan rakennettava järjestelmä. Sen merkittävä osa on myös JTRS-ohjelmistoradio kaikkine versioineen. Järjestelmän modulaarinen rakenne mahdollistaa jatkuvan osajärjestelmien kehittämisen teknisen kehityksen myötä.

Suomen maavoimien tiedonsiirtojärjestelmät vaativat nykyisellään kehitystyötä, mutta ulkomaanoperaatioiden järjestelmiä voidaan pitää onnistuneina ja nykyaikaisina. Tärkeänä nähdäänkin kaikkien joukkotyypin järjestelmäkehityksen yhdistäminen paremman suorituskyvyn ja yhteensopivuuden saavuttamiseksi.

Kaupallisten tiedonsiirtojärjestelmien sotilaskäytön todettiin sisältävän monia haasteita sekä mahdollisuuksia. Kehityksen eteneminen kohti NGN-verkkoja kuitenkin tukee verkostokeskeisyyttä ja sotilassovelluksia. Tällä hetkellä mielenkiintoisimpia sovelluksia ovat ohjelmistoradio ja langattomat laajakaistaiset ad hoc -datansiirtojärjestelmät.

Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri on modulaarinen rakentuen siirtojärjestelmistä, käyttäjäympäristö- ja järjestelmäsolmuista sekä yhtenäisestä ohjaus- ja valvontajärjestelmästä. Siirtojärjestelmiä ovat PAN- (henkilökohtaiset), LAN- (lähi), LOS- (suoran yhteyden), BLOS- (epäsuoran yhteyden) ja runkoverkkojärjestelmät. Solmuja ovat esikunta-, komentopaikka- ja liikkuvan tilaajan sekä järjestelmäsolmu. Siirtoteitä ja solmuja kytetään ohjaamaan sekä valvomaan yhtenäisellä ohjaus- ja valvontajärjestelmällä. Keskeistä kokonaisuudessa on IP-protokollan laaja hyödyntäminen.

Arkkitehtuuria voidaan soveltaa kaikille joukkotyypeille. Sen toteutuksen tekniikat ja järjestelmät voivat olla COTS:ia tai sotilaallista tekniikkaa. Toteutetut järjestelmät ovat joukkojen erilaisesta luonteesta ja toiminnan vaatimuksista johtuen mahdollisesti hyvinkin erilaisia.

#### AVAINSANAT

Verkostokeskeisyys, arkkitehtuuri, tiedonsiirtojärjestelmä, viestijärjestelmä, radiojärjestelmä, maavoimat

# SISÄLLYSLUETTELO

MAAVOIMIEN VERKOSTOKESKEISEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURI JA SEN TOTEUTTAMINEN .....	1
1. JOHDANTO .....	1
1.1. Katsaus aikaisempaan tutkimukseen.....	3
1.2. Tutkimuksen tavoite ja rakenne .....	6
1.3. Tutkimusasetelma .....	8
1.4. Rajaukset.....	10
1.5. Käsitteitä ja määritelmiä .....	11
2. INFORMAATIOYHTEISKUNNAN SODAN KUVA JA TEORIAM	15
2.1. Sodan kuvan muutos .....	16
2.1.1. Läntinen sodan kuva muutoksessa.....	16
2.1.2. Sodan kuvan muutos Suomessa .....	17
2.1.3. Johtopäätökset.....	20
2.2. Verkostokeskeisyys sodankäynnin paradigmana.....	20
2.2.1. Verkostokeskeisyyden pitkä historia .....	21
2.2.2. Verkostokeskeinen sodankäynti Yhdysvalloissa .....	22
2.2.3. Verkostokeskeinen johtaminen sekä suunnittelu .....	23
2.2.4. Verkostokeskeisyyden vaikutukset tiedonsiirtojärjestelmien kannalta .....	25
2.3. Sodan kuvan ja verkostokeskeisyyden vaatimukset tiedonsiirtojärjestelmiltä .....	27
3. SOTILAALLISTEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMIEN KEHITYS KYLMÄN SODAN JÄLKEISENÄ AIKANA .....	29
3.1. Kylmän sodan perintö viestintäjärjestelmien osalta .....	30
3.2. Sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehitys 1990-luvulla.....	32
3.3. Sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehitys 2000-luvun alussa .....	35
3.4. Johtopäätökset viestijärjestelmien kehittymisestä kylmän sodan jälkeen .....	36
4. TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMIEN KEHITYS YHDYSVALTAIN MAAVOIMISSA .	38
4.1. Tiedonsiirron kehittämishankkeet Yhdysvaltain maavoimissa 1990-luvulta alkaen..	38
4.2. Taktinen Internet.....	41
4.2.1. MSE- järjestelmän kuvaus .....	44
4.2.2. NTDR-järjestelmän kuvaus .....	46
4.2.3. EPLRS-järjestelmän kuvaus .....	46
4.2.4. SINCGARS-järjestelmän kuvaus.....	47

4.2.5.	Yhteenveto .....	48
4.3.	Stryker-prikaatin tiedonsiirtojärjestelmä .....	50
4.3.1.	SATCOM WAN -verkon kuvaus.....	51
4.3.2.	Tilannekeskusten välisen verkon kuvaus.....	53
4.3.3.	Taktisen Internetin kuvaus.....	54
4.3.4.	GBS-verkon kuvaus .....	54
4.3.5.	Kenttäradioverkon kuvaus .....	55
4.3.6.	Johtamispaikkojen SWLAN-järjestelmän kuvaus .....	55
4.3.7.	Keskeiset havainnot Stryker-prikaatin tiedonsiirtojärjestelmästä.....	56
4.4.	JNN-N -viestijärjestelmä .....	58
4.4.1.	JNN-N järjestelmän yleiskuvaus.....	58
4.4.2.	JNN-verkon liittyminen GIG-verkkoon.....	59
4.4.3.	JNN-N järjestelmän siirtoverkko .....	60
4.4.4.	JNN-verkon johtamispaikkainfrastruktuurit .....	62
4.4.5.	Keskeiset havainnot JNN-N -järjestelmästä .....	63
4.5.	WIN-T -järjestelmä.....	64
4.5.1.	Järjestelmän rakenne ja keskeiset elementit .....	64
4.5.2.	Järjestelmäkokonaisuuden toiminnan kuvaus.....	65
4.5.3.	Avaruuskerros .....	67
4.5.4.	Ilmailukerros .....	68
4.5.5.	Maakerros .....	69
4.5.6.	Keskeiset havainnot Yhdysvaltain maavoimien WIN-T - tiedonsiirtojärjestelmästä .....	71
4.6.	JTRS-radiojärjestelmä.....	71
4.6.1.	JTRS-klusterit ja hankkeen eteneminen.....	72
4.6.2.	JTRS-aaltomuodot .....	74
4.6.3.	Havaintoja JTRS-hankkeen merkityksestä .....	75
4.7.	Keskeiset johtopäätökset kehityksestä Yhdysvaltain maavoimissa.....	76
5.	SOTILAALLISTEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMIEN KEHITYS SUOMEN MAAVOIMISSA 1990-2000 -luvulla.....	79
5.1.	Tiedonsiirtojärjestelmien kehitys maavoimissa 1990-luvulta alkaen .....	79
5.2.	Jääkäriprikaatin viestijärjestelmät.....	80
5.2.1.	Yhtymän viestijärjestelmän yleiskuvaus.....	80
5.2.2.	Kenttäradiojärjestelmä .....	81
5.2.3.	Liikkuvan tilaajan järjestelmä.....	82
5.2.4.	Keskeiset havainnot jääkäriprikaatin viestijärjestelmistä .....	83

5.3.	KFOR-operaatiossa Kosovossa vuodesta 2004 alkaen käytetty viestijärjestelmä..	84
5.3.1.	Perusteita.....	84
5.3.2.	MNB(C):n johtamisjärjestelmän 2003 - 2004 yleiskuvaus .....	84
5.3.3.	MNB(C):n runkoverkko ja dataverkko.....	86
5.3.4.	MNB(C):n radiojärjestelmät .....	86
5.3.5.	MNB(C) -viestijärjestelmän arviointi .....	87
5.4.	EUFOR ALTHEA -operaatiossa Bosniassa vuodesta 2005 alkaen käytetty viestijärjestelmä .....	87
5.4.1.	MNTF (N) -viestijärjestelmän yleiskuvaus .....	88
5.4.2.	Kehystoiminnan viestijärjestelmän toteutus .....	89
5.4.3.	MNTF (N):n operatiivisen viestitoiminnan toteutus.....	90
5.4.4.	MNTF (N) -viestijärjestelmän arviointia.....	91
5.5.	Johtopäätöksiä kehityksestä Suomessa .....	92
6.	KAUPALLISTEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMIEN KEHITYSNÄKYMÄ JA RAJOITUKSIA.....	94
6.1.1.	COTS-järjestelmien käytön vahvuudet ja haasteet.....	94
6.2.	Yleisen tiedonsiirtoinfrastruktuurin kehitys Suomessa .....	96
6.3.	Kiinteiden verkkojen teknologiakehitys .....	97
6.3.1.	NGN-teknologiamallin toimintaperiaate .....	98
6.4.	Ohjelmistoradio, kognitiivinen radio sekä älykkäät antennit .....	99
6.4.1.	Ohjelmistoradioteknologian tulevaisuus.....	99
6.4.2.	Kognitiivinen radio .....	100
6.4.3.	Älykkäät ja puoliälykkäät antenniratkaisut.....	101
6.5.	Ad hoc- ja mesh-verkot.....	102
6.5.1.	Mesh-järjestelmien kehitys .....	103
6.5.2.	Mesh-teknologioiden sotilaalliset sovellukset .....	103
6.6.	Langattomat laajakaistateknologiat .....	104
6.6.1.	Matkaviestinteknologioiden kehitys .....	105
6.6.2.	Langattomien laajakaistaisten datansiirtojärjestelmien kehitys.....	106
6.6.2.1.	Langattomat lähiverkot .....	107
6.6.2.2.	Langattomat kaupunkiverkot .....	108
6.6.2.3.	Langattomat alueelliset verkot.....	109
6.7.	Taajuuspektrin käyttö .....	109
6.8.	Johtopäätöksiä kaupallisista tiedonsiirtoteknologioista.....	110
6.8.1.	Langattomien kaupallisten laajakaistajärjestelmien mahdollisuudet sotilaskäytössä .....	110

6.8.2.	Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmässä hyödynnettävät teknologiat .....	113
6.9.	Johtopäätökset.....	114
7.	MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOVERKON ARKKITEHTUURI.....	115
7.1.	Arkkitehtuurin kuvaaminen .....	115
7.2.	Arkkitehtuurin sanasto (PvAV-2).....	116
7.3.	Arkkitehtuurin yleiskuvaus (PvAV-1).....	118
7.3.1.	Arkkitehtuurin tarkoitus.....	118
7.3.2.	Arkkitehtuurin rajaukset .....	120
7.4.	Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän toiminnallinen perusajatus (PvOV-1) .....	120
7.4.1.	Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän rakenne.....	120
7.4.2.	Maavoimien verkko .....	122
7.5.	Toiminnallisten solmujen yhteydet (PvOV-2).....	124
7.6.	Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän toiminnallinen aktiviteettimalli (PvOV-5) .....	124
7.6.1.	Suorituskyvyn rakentamisen aktiviteettimalli.....	125
7.6.2.	Suorituskyvyn käyttämisen aktiviteettimalli.....	126
7.7.	Järjestelmien toiminnallisuus (PvSV-4) .....	126
7.7.1.	Järjestelmien toiminnallisuuden luokkakaavio .....	126
7.7.2.	Järjestelmien toiminnallisuuden käyttötapaukset .....	127
7.7.3.	Järjestelmien liittyminen toisiinsa.....	127
7.8.	Järjestelmärajapinnat (PvSV-1) .....	128
7.9.	Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurin arviointi .....	129
8.	ESIMERKKI MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOARKKITEHTUURIN SOVELTAMISESTA .....	130
8.1.	Tiedonsiirtojärjestelmän nykytila .....	130
8.1.1.	Operatiivisten joukkojen tiedonsiirtojärjestelmän kehittämistarve .....	130
8.1.2.	Alueellisten joukkojen tiedonsiirtojärjestelmän kehittämistarve.....	131
8.1.3.	Kansainvälisen toiminnan joukkojen tiedonsiirtojärjestelmän kehittämistarve . .....	133
8.1.4.	Yhteenveto kehittämistarpeista.....	135
8.2.	Tiedonsiirtojärjestelmien kehittäminen. ....	135
8.3.	Tiedonsiirtojärjestelmän riskianalyysi, heikkoudet ja vahvuudet.....	136
9.	TUTKIMUKSEN TULOKSET .....	139
9.1.	Johdanto ja tutkimuskysymykset .....	139
9.2.	Informaatioyhteiskunnan sodan kuva ja teoriat .....	140
9.3.	Tiedonsiirtojärjestelmien kehitys kylmän sodan jälkeisenä aikana .....	141
9.4.	Tiedonsiirtojärjestelmien kehitys Yhdysvaltain maavoimissa.....	142

9.5.	Tiedonsiirtojärjestelmien kehitys Suomen maavoimissa.....	145
9.6.	Yleinen tiedonsiirtojärjestelmien kehitys .....	146
9.7.	Maavoimien tiedonsiirtoverkon arkkitehtuuri .....	147
9.8.	Esimerkki maavoimien tiedonsiirtoarkkitehtuurin soveltamisesta .....	150
9.9.	Tutkimuksen tulosten arviointi sekä jatkotutkimusaiheet.....	152
<b>LIITTEET.....</b>		<b>162</b>



## KUVAT

KUVA 1: Tutkimusasetelma.....	8
KUVA 2: Tutkimusprosessi.....	9
KUVA 3: Mahdolliset johtamismallit [5].....	24
KUVA 4: Sotilaallisen tiedonsiirron historiallisen perinnön muodostuminen .....	36
KUVA 5: Taktisen Internetin periaatteellinen rakenne ja tasot.....	43
KUVA 6: Armeijakunnan MSE-järjestelmän arkkitehtuuri [81].....	45
KUVA 7: EPLRS-radio .....	47
KUVA 8: SINCGARS SIP -radion kannettava versio.....	48
KUVA 9: Stryker-prikaatin viestijärjestelmä .....	51
KUVA 10: Milstar SMART-T -päätelaitteajoneuvo .....	52
KUVA 11: Spitfire eli AN/PSC-5 UHF-alueen satelliittiradio.....	52
KUVA 12: Trojan Spirit -järjestelmän päätelaitteistot .....	53
KUVA 13: JNN-N järjestelmän rakenne .....	59
KUVA 14: JNN verkon ilmarajapintaa hyödyntävät yhteystavat [14].....	60
KUVA 15: JNN ja siihen liittyviä laitteistoja [14] .....	62
KUVA 16: WIN-T -järjestelmän periaatteellinen rakenne [15] .....	66
KUVA 17: JTRS-hankkeen päivitetty periaatteellinen yleisarkkitehtuuri [6].....	73
KUVA 18: Jääkäriprikaatin YVI:n yleisrakenne .....	81
KUVA 19: MNB(C):n viestijärjestelmän yleisrakenne.....	85
KUVA 20: MNTF(N) / EUFOR:n viestijärjestelmän yleisrakenne .....	89
KUVA 21: MNTF (N):n panssaroitu komentopaikka-ajoneuvo toiminnassa operaation aikana Bosnia-Herzegovinassa maaliskuussa 2005. ....	91
KUVA 22: Kaupallisten tiedonsiirtotekniikoiden suorituskyky ja odotettavissa oleva kehitys [72].....	111
KUVA 23: PVTAK-ohjeistuksen mukainen arkkitehtuurin kuvauksien työkulkukaavio [57] .....	115
KUVA 24: Maavoimien verkon kerroksellinen rakenne osana iTVJ-verkkoa.....	118
KUVA 25: Puolustusvoimien kokonaisarkkitehtuurin ohjausrakenne .....	120
KUVA 26: Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän tekninen rakenne .....	121
KUVA 27: Maavoimien verkon toiminnallinen perusajatus yleisellä tasolla .....	122
KUVA 28: Maavoimien verkon toiminnallinen perusajatus (PvOV-1) .....	148

## TAULUKOT

TAULUKKO 1: Läntisen sodan kuvan osatekijöitä kylmän sodan ajalla ja sen jälkeen [65]	17
TAULUKKO 2: YETTS:n uhkamallien mukaiset puolustusministeriön koordinoitavastuulla olevat erityistilanteet [54]	19
TAULUKKO 3: Suomalaiset sodan kuvat sekä puolustusvoimien tehtävät ja tavoitteet	20
TAULUKKO 4: Perinteinen sotilaallinen suunnitteluprosessi verrattuna kehittyneeseen verkostokeskeiseen suunnitteluprosessiin [4]	25
TAULUKKO 5: Verkostokeskeisyyteen perustuvan tiedonsiirron keskeiset vaatimukset	28
TAULUKKO 6: Eri johtamistasoilla käytettävissä olevat viestijärjestelmät Yhdysvaltain maavoimissa	44
TAULUKKO 7: Yhdysvaltalaisen Taktisen Internetin järjestelmien datansiirtonopeudet	49
TAULUKKO 8: Stryker-prikaatin eri johtamistasoilla käytettävissä olevat viestijärjestelmät	50
TAULUKKO 9: Stryker-prikaatin tiedonsiirtojärjestelmien datansiirtonopeudet	56
TAULUKKO 10: JNN-N -järjestelmän laitteistojen tiedonsiirtonopeudet	63
TAULUKKO 11: JTRS-radiotyypit ja niihin tulevat aaltomuodot [47]	74
TAULUKKO 12: Yhdysvaltain maavoimien LandWarNet-arkkitehtuurin keskeiset ominaisuudet	77
TAULUKKO 13: COTS-teknologioiden käytön vahvuudet ja heikkoudet	95
TAULUKKO 14: NGN-verkkojen perusominaisuuksien hyödyt verkostokeskeisen ajattelun kannalta	99
TAULUKKO 15: Langattomien kaupallisten laajakaistajärjestelmien sotilaskäytön mahdollisuudet	112
TAULUKKO 16: Esimerkki maavoimien tiedonsiirtojärjestelmässä hyödynnettävistä nykyisistä kaupallisista tekniikoista	114
TAULUKKO 17: Maavoimien joukot sekä niiden käyttämät johtamisjärjestelmät	119
TAULUKKO 18: Operatiivisten joukkojen johtamisjärjestelmän kehittämistarve	131
TAULUKKO 19: Alueellisten joukkojen johtamisjärjestelmän kehittämistarve	133
TAULUKKO 20: Kansainvälisen toiminnan joukkojen johtamisjärjestelmän kehittämistarve	134
TAULUKKO 21: Esimerkki maavoimien tiedonsiirtojärjestelmien toteuttamisesta	136
TAULUKKO 22: Verkostokeskeisen tiedonsiirtoarkkitehtuurin vaatimuksia	141
TAULUKKO 23: LandWarNet-arkkitehtuurin keskeiset ominaisuudet	144
TAULUKKO 24: Esimerkki maavoimien tiedonsiirtojärjestelmien toteuttamisesta	151

## **LIITTEET**

- LIITE 1 Taajuusalueen ja ympäristön vaikutus IEEE 802.16 -standardin mukaisen radiosignaalin kantamaan
- LIITE 2 Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurikuvauksen toiminnallisten solmujen yhteydet (PvOV-2)
- LIITE 3 Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurikuvauksen toiminnallinen aktiviteettimalli (PvOV-5)
- LIITE 4 Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurikuvauksen järjestelmien toiminnallisuuden luokkakaavio (1/PvSV-4)
- LIITE 5 Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurikuvauksen järjestelmien toiminnallisuuden käyttötapauskaavio (2/PvSV-4)
- LIITE 6 Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurin solmujen, järjestelmien ja käyttäjäympäristöjen liittyminen toisiinsa
- LIITE 7 Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurikuvauksen tiedonsiirron rajapinnat (1/PsSV-1)
- LIITE 8 Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurikuvauksen ohjauksen ja valvonnan rajapinnat (2/PsSV-1)
- LIITE 9 Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurikuvauksen palveluiden ja sovellusten rajapinnat (3/PsSV-1)

## LYHENTEET

ad hoc (verkko)	Verkkorakenne, jossa ei ole tukiasemia vaan laitteet muodostavat yhteydet toisiinsa automaattisesti ja tilanteenmukaisesti
ADO	Army Digitazion Office, Yhdysvaltain maavoimien digitalisoinnista vastaava organisaatio
AJCN	Adaptive Joint C4ISR Communications Node, yhdysvaltalainen kehitteillä oleva lentäviin alustoihin asennettava tiedonsiirtosolmu
ALVI	Alueellinen viestijärjestelmä, lähinnä kaupallisella viestimateriaalilla rakennettu viestiverkko
ATM	Asynchronous Transfer Mode, datapakettien välittämiseen perustuva tiedonsiirtoprotokolla
BCT	Brigade Combat Team, prikaatin operaatioalueella toimivat osat
bit/s	bittiä sekunnissa, datansiirron yksikkö
bps	bits per second, datansiirron yksikkö eng.
C4ISR	Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance; johtaminen, viestitoiminta, tietojärjestelmät ja tiedustelu sekä valvonta
CECOM	Communications and Electronics Command, Yhdysvaltain asevoimien viesti- ja elektroniikka-alasta vastaava esikunta
COTS	Commercial Off the Shelf, kaupallinen materiaali
COY	Company, komppania
CNR	Combat Net Radio, kenttäradio
dB	desibeli
DISA	Defence Information System Agency, Yhdysvaltain asevoimien tietojärjestelmien virasto
DoD	Departement of Defence, Yhdysvaltain puolustusministeriö
EBO	Effect Based Operations, vaikutuslähtöiset operaatiot
EBAO	Effect Based Approach to Operations, vaikutuslähtöinen lähestymistapa operaatioihin
EHF	Extremely High Frequency, 3 - 30 GHz:n taajuusalue
EPLRS	Enhanced Position Location Reporting System, yhdysvaltalainen datansiirtoon tarkoitettu radiojärjestelmä
ESSOR	European Secure Software Defined Radio, eurooppalainen ohjelmistoradioprojekti
FBCB2	Force XXI Battle Command: Brigade and Below, yhdysvaltalai-

	nen korkeintaan prikaatitasoisten johtamiseen tarkoitettu tietojärjestelmä
FCS	Future Combat System, yhdysvaltain maavoimien tulevaisuuden taistelujärjestelmä
FDMA	Frequency Division Multiple Access, signaalin taajuusjakokanavointi
GBS	Global Broadcast System, yhdysvaltalainen satelliittipohjainen tiedonlähetyjärjestelmä
GIG	Global Information Grid, Yhdysvaltain asevoimien uusi maailmanlaajuinen tietoverkko
GMR	Ground Mobile Radio, JTRS-hankkeen tuottama maavoimien ajoneuvoasenteinen ad hoc -reitityksellä varustettu radio
GPS	Global Positioning System, Yhdysvaltain ylläpitämä maailmanlaajuinen satelliitteihin perustuva paikannusjärjestelmä
HCLOS	High Capacity LOS, suurikapasiteettinen mikroaaltolinkkiradio
HF	High Frequency, 3 - 30 MHz:n taajuusalue
HQ	Headquarters, esikunta
iTVJ	integroitu tiedustelun, valvonnan ja johtamisen verkko
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, keskeinen teknisen alan tutkimustietoa julkaiseva organisaatio
IP	Internet Protocol, keskeinen internetin protokolla
ISO	International Standardization Organisation, kansainvälinen standardointiorganisaatio
JNN-N	Joint Network Node Network, yhdysvaltalainen kaupalliseen teknologiaan perustuva tiedonsiirtojärjestelmä
JTA	Joint Technical Architecture, Yhdysvaltain puolustushallinnon yhteinen tekninen referenssiarkkitehtuuri
JTRS	Joint Tactical Radio System, yhdysvaltalainen tulevaisuuden ad hoc -verkkomalliin perustuva SDR-määrittelyn mukainen radiojärjestelmä
LAN	Local Area Network, lähiverkko
LOS	Line-of-Sight, näköyhteyteen perustuva
LV	lähetin - vastaanotin
MAN	Metropolitan Area Network, kaupunkiverkko
Mesh	Verkkomalli, jossa kaikki verkon solmut ovat suoraan yhteydessä toisiinsa (myös osittainen Mesh-rakenne on mahdollinen)

MHz	Megahertsi, taajuuden yksikkö
MILCOM	Military Communications Conference, keskeinen sotilaalliseen viestintään keskittyvä seminaari Yhdysvalloissa
MIL-STD	Military Standard, Yhdysvaltain puolustusministeriön julkaiseman standardin yleismerkintä
MIMO	Multiple Input Multiple Output, moniantennijärjestelmä signaalin lähetykseen ja vastaanottoon
MOTS	Military Off The Shelf, sotilaallista materiaalia, jota voidaan hankkia suoraan toimittajilta ilman räätälöintejä
MSE	Mobile Subscriber Equipment, Yhdysvaltain maavoimien aikaisemmin käyttämä viestijärjestelmä
MSS	Mobile Subscriber System, liikkuvan tilaajan järjestelmä
MUOS	Mobile User Objective System, uusi yhdysvaltalainen kapeakaistainen satelliittitiedonsiirtojärjestelmä, joka pohjautuu 3G -tekniikkaan
NATO	North Atlantic Treaty Organization, Pohjois-Atlantin puolustusliitto
NCW	Network Centric Warfare, verkostokeskeinen sodankäynti
NCO	Network Centric Operations, verkostokeskeiset operaatiot
NGN	New Generation Network, uuden sukupolven tiedonsiirtoverkko
NTDR	Near Term Digital Radio, yhdysvaltalainen radiojärjestelmä
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, ortogonaalinen taajuusjakokanavointi
OSI	Open Systems Internconnection Reference Model, kuvaa tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmän seitsemässä kerroksessa
OHRA	Ohjelmistoradio. Nimitystä käytetään erityisesti puolustusvoimien ohjelmistopohjaisen radion kehitysprojektista.
PAN	Personal Area Network, henkilökohtainen tiedonsiirtoverkko
PC	Personal Computer, henkilökohtainen tietokone
PCM	Pulse Code Modulation, pulssikoodimodulaatio
PLM	Puolustusministeriö
PLT	Platoon, joukkue
PV	Puolustusvoimat
PVTAK	Puolustusvoimien tietohallinnon arkkitehtuurikehikko
RAN	Regional Area Network, alueellinen tiedonsiirtoverkko
RMA	Revolution in Military Affairs, termi jolla tarkoitetaan sodan-

	käynnin vallankumousta
SDR	Software Defined Radio, yleiseksi ohjelmistoradiomäärittelyksi tarkoitettu standardi
SMART-T	Secure Mobile Antijam Reliable Tactical Terminal, yhdysvaltalaisen salatun satelliittipohjaisen tiedonsiirtojärjestelmän pääte-laite
SINCGARS (ASIP)	Single Channel Ground and Airborne Radio System (Advanced SINCGARS Improvement Program), yhdysvaltalainen radiojär-jestelmä
STANAG	Standardization Agreement, NATO:n standardointiasiakirja
SWLAN	Secure Wireless LAN, yhdysvaltalainen toteutus tietoturvalisesta langattomasta lähiverkosta
TOC	Tactical Operations Center, operaatiokeskus
TCP	Transmission Control Protocol, yhteyskäytäntö TCP/IP-protokol-lassa
TDMA	Time Division Multiple Access, signaalin aikajakoinen kanavointi
UHF	Ultra High Frequency, 300 - 3000 MHz:n taajuusalue
USB	Universal Serial Bus, sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittä-miseksi tietokoneeseen
VHF	Very High Frequency, 30 - 300 MHz:n taajuusalue
WGS	Wideband Gapfiller System, uusi yhdysvaltalainen laajakaistainen satelliittipohjainen tiedonsiirtojärjestelmä
Wi-Fi	Wireless Fidelity, yleinen langattoman tiedonsiirron rajapinta esimerkiksi tietokoneissa, joka on Wi-Fi Alliancen hallinnoima
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access, langaton tie-donsiirtotekniikka, joka tarjoaa pitkät yhteysetäisyydet liikkuvalla tilaajalle ja jota hallinnoi WiMAX Forum
WIN-T	Warfighter Information Network - Tactical, yhdysvaltalainen uuden sukupolven tiedonsiirtojärjestelmä
WLAN	Wireless LAN, langaton lähiverkko
WNW	Wide-band Networking Waweform, erityisesti JTRS-radiolle kehitettävä uusi laajakaistainen aaltomuoto
YETTS	Yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisen suunnitelma
YVI	Yhtymän Viestijärjestelmä, Jääkäriprikaatien käyttämä, sotilaalli-seen käyttöön tarkoitettulla viestimateriaalilla rakennettu viesti-järjestelmä

# MAAVOIMIEN VERKOSTOKESKEISEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURI JA SEN TOTEUTTAMINEN

## 1. JOHDANTO

Nykyinen Suomen maavoimilla käytössään oleva kenttäviestijärjestelmä on suunniteltu tulevaisuuden sodankäyntiä lineaarisemman taistelukentälle. Vielä 1980-lukua hallitsi kylmän sodan taistelukentän kuva, jossa Euroopan taistelutantereella suurvalta-armeijat kohtaavat toisensa totaalissa taistelussa. Kylmän sodan päätyttyä tämä kehityksen suunta on kuitenkin selkeästi muuttunut. Asevoimien päätehtäväksi on muodostunutkin taistelu uuden tyyppisiä uhkia vastaan yhdessä muiden viranomaisten kanssa. Näitä uusia uhkia ovat muun muassa erilaiset katastrofit, terrorismi, kansanmurhat ja massatuhoaseiden leviäminen. Uudentyyppisiä uhkia vastaan toimittaessa taistelukenttä muuttuu yhä epäselvemmäksi ja epäsymmetrisemmäksi, eikä tälle kehitykselle ole tällä hetkellä näkyvissä loppua.

Myös suomalainen sodan kuva on muuttunut. Tätä muutosta voidaan tarkastella monilla akseleilla, mutta ehkä selkeimmän kuvan muutoksesta antaa uusi puolustusvoimalaki. Sen mukaan puolustusvoimien tehtävät ovat Suomen sotilaallinen puolustaminen, muiden viranomaisten tukeminen ja osallistuminen kansainväliseen sotilaalliseen kriisinhallintaan. Lain on tarkoitus astua voimaan 1.1.2008. Tämä laki luo merkittäviä haasteita teknisen kehityksen toteuttamiselle. Tehtäviensä mukaisesti puolustusvoimien järjestelmien tulee siis soveltua moneen muuhunkin tehtävään sekä olosuhteisiin, kuin vain Suomen sotilaalliseen puolustukseen. Tätä korostaa lisäksi koko yhteiskunnan teknistyminen sekä sen rakenteen muutos globalisaation myötä yhä riippuvaisemmaksi maailmantalouden muista toimijoista. Olemme



siis teknologian, talouden ja taistelulentän muutoksen myötä menossa kohti sodankäynnin vallankumousta?

Tämän päivän asevoimissa kiistellään voimakkaasti sodankäynnin vallankumouksen olemassaolosta ja sen mahdollisista vaikutuksista. Vallankumouksen olemassaolon perusteluina käytetään usein teknologian mahdollistamaa sensorien, asejärjestelmien ja päätöksenteon uudenlaista verkottumista. Malli on haettu liike-elämästä, ja sitä pyritään soveltamaan taistelulentälle. Tämän tutkimuksen yhtenä lähtökohtana onkin ollut verkostokeskeisyyden vaatimusten arviointi. Juuri verkostokeskeisyys nähdään läntisessä sotateoreettisessa ajattelussa vastauksena informaatioajan vaatimuksille, mutta sen sisällöstä käydään voimakasta kiistelyä. Valtioneuvoston puolustuspoliittisessa selonteossa vuodelta 2004 todetaan puolustuksen kehittämistä koskevassa osiossa, että ”*puolustusvoimille luodaan verkostokeskeisen sodankäynnin asettamat vaatimukset täyttävä, kaikki puolustushaarat kattava yhteinen tiedustelu-, valvonta- ja johtamisjärjestelmä*”. Näin ollen verkostokeskeisyyden toteuttaminen on myös meillä yksi keskeisiä haasteita.

Puolustusvoimien organisaation tarkistamisen seurauksena maavoimista muodostetaan 1.1.2008 alkaen itsenäinen puolustushaara. Maavoimien tiedonsiirron kokonaiskonseptia ei meillä ole aikaisemmin tarkasteltu itsenäisesti, sillä perinteisesti puolustusvoimien tiedonsiirtojärjestelmä on ollut samalla maavoimien tiedonsiirtojärjestelmä. Tämä tilanne on selkeästi muuttunut mainitun johtamisrakenteen muutoksen sekä Puolustusvoimien Johtamisjärjestelmäkeskuksen (PVJJK) perustamisen myötä. Tämä muutos pakottaa tarkistamaan näkökulmaa tiedonsiirron kokonaisjärjestelyihin, mutta sen vaikutus käytännössä jää vielä epäselväksi. Tällä hetkellä aihetta koskevalle tutkimukselle on siis olemassa selkeä tilaus.

Myös perinteisessä organisoitujen sotilasjoukkojen kohtaamiseen perustuvassa taistelussa tilanne on teknistymisen ja digitalisoitumisen johdosta muuttunut. Tuhovoiman lisääntymisestä ja täsmäasejärjestelmien käytöstä johtuen taistelutilanteessa kentällä liikkuva mekanioidun joukon komentaja on riippuvainen käytössään olevista kommunikaatio- ja tilannekuvajärjestelmistä. Ilman niitä hänen joukkonsa ei ehkä kykene toteuttamaan tehtäviään riittäväällä nopeudella ja tehokkuudella. Hän siis tarvitsee korkean kapasiteetin puhe- ja tiedonsiirtojärjestelmiä, jotka kommunikoivat myös liikkeen aikana. Ongelmaksi ovat kuitenkin muodostuneet käytettävien järjestelmien kapasiteetti ja liikkuvuus: tiedonsiirtokapasiteetin kysyntä ylittää tarjonnan, eikä sitä ole tarjolla liikkeen aikana. Aikaisemmin viestiyhteyksiä tarjottiin vain johtajille, nyt verkostoitumisen vaatimuksen kasvaessa niitä tarvitsevat yhä useammat taistelulentän joukot sekä asejärjestelmät. Tarpeet siis kasvavat nopeasti, eivätkä

useimmat käytössä olevat tiedonsiirtojärjestelmät pysy kehityksessä mukana. On siis tärkeää ratkaista millä ratkaisulla tämä haastekenttä kyetään ratkaisemaan.

Tämä tutkimus keskittyy maavoimien tiedonsiirtoarkkitehtuurin kokonaismäärittelyyn. Lähtökohdaksi on otettu verkostokeskeisyyden vaatimus sekä puolustusvoimien tehtäväkenttä koko laajuudessaan. Arkkitehtuurin määrittely ja kuvaaminen on tutkimuksessa toteutettu puolustusvoimissa hyväksytyyn arkkitehtuurikehikon [57] mukaisesti. Tämä tuo mukanaan mahdollisuudet tutkimuksen tuotteiden jatkohyödyntämiseen tulevaisuuden tiedonsiirtojärjestelmiä rakennettaessa. Näkökulma on pidetty ylätasolla, eikä tässä tutkimuksessa juuri mennä yksityiskohtaisiin rakenteisiin. Tähän on pakottanut myös tutkimuksen laajuus.

Tutkimuksen laadinnan aikana olen tutkijana joutunut usein vastaamaan kysymykseen, onko maavoimilla tulevaisuudessa oma tiedonsiirtojärjestelmä. Myöntävä vastaukseni on usein tulkittu haluksi hankkia jotain uutta tai uuden tyyppistä. Tästä ei kuitenkaan ole kysymys. Maavoimat on yksi koko puolustusjärjestelmän osa ja yksi sen suorituskyvyistä. Sen joukoilla on oltava kyky johtaa sotatoimia itsenäisesti, ja samalla maavoimien joukkojen järjestelmät muodostavat tärkeän osan kokonaisjärjestelmästä. Tässä tutkimuksessa pyritäänkin määrittelemään maavoimille tiedonsiirtojärjestelmä, joka palvelee koko puolustusjärjestelmän suorituskyvyn nostamista. Se on siis osa puolustusvoimien kokonaistiedonsiirtojärjestelmästä, mutta kykenee myös toimimaan itsenäisesti.

### 1.1. Katsaus aikaisempaan tutkimukseen

Järjestelmäarkkitehtuurit ovat aihe, jota on eri tavoin tutkittu maailmalla runsaasti. Kenttäviestijärjestelmien osalta tämän tutkimuksen keskeisenä lähteenä on toiminut lähde 69. Siinä käydään laajasti läpi kenttäviestijärjestelmien kehityskaaren 1900-luvulta 2000-luvun alkuvuosille saakka yhdistäen sen yleisiin kenttäviestijärjestelmästä vaadittaviin ominaisuuksiin. Tämän perusteella esitetään järjestelmille sopivinta arkkitehtuuria. Lähde painottaa järjestelmien selviytymiskykyä perinteisellä taistelukentällä suhtautuen samalla osittain kriittisesti siviiliteknologian tarjoamiin mahdollisuuksiin.

Sodankäynnin teoriaa on tutkittu länsimaissa runsaasti. Sen sijaan Suomessa aiheesta on julkaistu vain harvoja artikkeleita. Lähde 67 julkaistiin loppuvuonna 2006. Se on toiminut tässä tutkimuksessa tärkeimpänä katsauksena nykyaikaiseen länsimaiseen sotataitoon sekä sodankäynnin teoreettiseen ajatteluun. Sodan kuvasta Suomessa on sen sijaan viime aikoina ilmes-

tyneet merkittävimmät lähteet 63 - 65. Näiden teosten perusteella on arvioitu sodan paradigmaa tämän päivän asevoimien kehittämisen perusteena.

Myös erityisesti erilaiset tietojärjestelmien arkkitehtuurit ovat olleet laajan mielenkiinnon kohteena. Arkkitehtuurien rakentaminen on myös pyritty standardoimaan arkkitehtuurikehikoilla niiden hyödynnettävyyden maksimoimiseksi. Arkkitehtuurikehikoista merkittävin on ollut Yhdysvalloissa julkaistu Department of Defence Architecture Framework (DoDAF) [16], jonka pohjalta muun muassa NATO on laatinut oman arkkitehtuurikehikkonsa NAF:n (NATO Architecture Framework) [57]. Keskeisenä erona DoDAF:lla ja NAF:lla on jälkimmäisen keskittyminen pelkästään tietojärjestelmien kuvaamiseen. Suomessa käytössä oleva arkkitehtuurikehikon PVTAK:n määrittely pohjautuu NAF:iin, joten se soveltuu muiden kuin tietojärjestelmien kuvaamiseen pienin varauksin.

Tämän tutkimuksen keskeisenä oletuksena on ollut maavoimien tiedonsiirtojärjestelmien kehittäminen verkostokeskeisyyden periaatteiden mukaisesti. Tutkimuksessa on keskitytty yhdysvaltalaisen verkostokeskeisen ajattelun perusteisiin, jotka ovat lähteinä 1 - 5. Aihetta koskevia teoksia on julkaissut CCRP (Command and Control Research Program), joka on informaatioajan johtamisen tutkimusta toteuttamaan perustettu Yhdysvaltain puolustusministeriön alainen tutkimusohjelma. Teorioita on kritisoitu suuresti muun muassa teknologian mahdollisuuksien liiallisesta korostamisesta ja epäsymmetrian vaikutusten aliarvioinnista. Kritiikistä huolimatta nämä lähteet edustavat verkostokeskeisyyden perusteita, ja uusimmissa teoksissa on edellä mainittu kritiikki pyritty ottamaan huomioon.

Merkittävä tutkimuslaitos verkostokeskeisyyden ja johtamisjärjestelmien tutkimuksen osalta on myös RAND Corporation, joka on tehnyt tulevaisuuden teknologisen kehityksen [71] ja tulevaisuuden verkostokeskeisten konseptien arviointia [52]. Lisäksi se on toteuttanut ensimmäisen verkostokeskeisyyden periaatteiden mukaisesti rakennetun yhtymän Stryker-prikaatin teknisen arvioinnin [26]. Riippumattoman RAND-tutkimuslaitoksen tutkimukset ovat luotettavuudeltaan hyviä. Suomalaista verkostokeskeisyyden tutkimusta edustavana lähteenä toimi Maanpuolustuskorkeakoulun tekniikan laitoksen teos Technical Aspects of Network Centric Warfare. Siinä esitetyt artikkelit perustuvat osaltaan edellä mainittuihin yhdysvaltalaisiin lähteisiin, mutta se sisältää myös kotimaista aiheen tulkintaa.

Tämän tutkimuksen vertailukohteeksi arkkitehtuurien osalta valittiin Yhdysvallat, joka on tällä hetkellä pisimmällä verkostokeskeisen sodankäynnin soveltamisessa käytäntöön. Se on myös ainoa valtio, jolla on ollut resursseja kokonaisten järjestelmien toteuttamiseen verkos-

topohjaisen ajattelun mukaisesti. Tämän hetken maasodankäynnin keskeisin tutkimuskohde Yhdysvalloissa on kehitettävänä oleva tulevaisuuden taistelujärjestelmä Future Combat System (jatkossa FCS). Muun muassa FCS:n tuleva tiedonsiirtojärjestelmä on hankkeena etenevässä kohti konkreettisia tuotteita. Yhdysvalloissa laaditusta tutkimusaineistosta keskeisenä tutkittavana lähdeaineistona olikin maavoimien tiedonsiirtojärjestelmiä koskeva materiaali, joka sisältää tapaustutkimuksia (Case Study), teknisiä selvityksiä sekä konferenssipapereita. Muita työlle merkittäviä lähteitä ovat julkaisseet muun muassa US Army War College, IEEE MILCOM ((Institute of Electrical and Electronics Engineers, Military Communications) sekä useat muut tutkimuslaitokset. Suomessa maavoimien tiedonsiirtojärjestelmien arkkitehtuureja ei ole aiemmin tutkittu, joten sen osalta tämä tutkimus toimii lähtölaukauksena aiheen tarkempaan tutkimukseen.

Tässä tutkimuksessa on jouduttu arvioimaan tiedonsiirtoteknologioiden kehityksen näkymiä lähitulevaisuudessa. Aihetta voidaan tarkastella useilla eri aikaväleillä, joista tämän tutkimuksen kannalta on pitäydytty suurelta osin nykyteknologioiden kehityksen arvioinnissa. Tulevaisuuden kehityksen arvioinnin osalta keskeisiä ovat lähteet 45, 71 ja 72. Yksittäisten tekniikoiden kehitystä lyhyellä aikavälillä arvioitu on lähteissä 48 ja 49. Näiden lisäksi lähitulevaisuudessa tapahtuvaa kaupallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehitystä on arvioitu lähteissä 9 ja 20.

Suomalaisten viestijärjestelmien kehityksen tarkastelu osoittautui melko vaikeaksi lähteiden osalta suurimman materiaalista ollessa käyttökelpotonta tietojen luottamuksellisuusluokittelun vuoksi. Tärkeimpänä lähteenä toimivatkin lähteet 33 ja 55. Rauhanturvatoiminnassa Kosovossa käytetyistä viestijärjestelmistä oli käytössä yksi lähde 83. Tämän aineiston lisäksi tutkija on käyttänyt lähteenä omia kokemuksiaan kyseisistä järjestelmistä. Hän on osallistunut Kosovon ja Bosnia-Herzegovinan rauhanturvaoperaatioihin vuosina 2003 - 2005 toimien Kosovossa Viestipäällikkönä ja Bosnia-Herzegovinassa viestijärjestelmän radioverkoista sekä operatiivisesta viestitoiminnasta vastaavana upseerina. Viestipäällikkönä tutkijan vastualueeseen kuuluivat viesti- ja tietojärjestelmän rakentaminen, ylläpito ja operatiivinen viestitoiminta Suomalais-Irlantilaisen Taisteluosaston alueella sekä tulevan monikansallisen taisteluosaston viestijärjestelmän suunnittelu.

Edellä esitellyn keskeisimmän lähdeaineiston lisäksi tutkimuksessa on käytetty lähteinä erilaisia ohjesääntöjä ja oppaita, julkaisuja, internet-sivustoja sekä lehtiartikkeleita. Erityisen korostunut on yhdysvaltalaisen ohjesääntöjen ja oppaiden osuus. Ohjesäännöt ja oppaat sisältävät yleensä keskeisimmät asevoimissa noudatettavat käytännöt ja periaatteet. Niiden

luonteeseen kuuluu kuitenkin se, ettei niitä välttämättä todellisuudessa noudateta täysin. Tämä seikka on kuitenkin huomioitu kohdissa, joissa niitä on käytetty lähteinä. Internetin merkitys lähdemateriaalin osalta on ollut koko tutkimuksen ajan aivan keskeinen. Suurin osa julkaisuista on ollut saatavissa juuri sen kautta. Valmistajien internet-sivustot ovat toimineet teknisen informaation lähteenä, mutta niiltä hankittuun tietoon on suhtauduttu erittäin kriittisesti. Lehtiartikkeleita on tutkimuksessa käytetty lähinnä varmentamaan viimeisimmän kehityksen suuntaa. Kokonaisuudessaan lähteiden kriittisellä käytöllä on pyritty varmistamaan tämän tutkimuksen mahdollisimman hyvä luotettavuus.

## 1.2. Tutkimuksen tavoite ja rakenne

Tämän tutkimuksen päätavoitteena oli verkostokeskeisessä toimintaympäristössä toimivan maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurin määrittäminen. Tämän hetkinen maavoimien tiedonsiirtojärjestelmä voidaan nähdä erilaisten kenttäviestijärjestelmien muodostamana kokonaisuutena, joka ei vastaa verkostokeskeisyyden vaatimuksiin. Kenttäviestijärjestelmät puolestaan ovat käytännössä kokoelma eri vuosikymmeninä käytössä olleita viestilaitteita, jotka on pyritty integroimaan yhdeksi kokonaisuudeksi. Tämä kokonaisuus on ensisijaisesti puheensiirtoon soveltuva, mutta mahdollistaa osiltaan myös rajoitetun datansiirron. Nykyinen maavoimien järjestelmä ei siis ole riittävän suorituskykyinen ja yhtenäinen vastataksien tulevaisuuden haasteisiin. Kehittämistyölle onkin luotava yhtenäinen tavoite, jotta tuleva järjestelmäkokonaisuus olisi yhtenäisempi, suorituskykyisempi sekä helpommin muokattavissa kuin nykyjärjestelmät. Tässä tutkimuksessa tämä tavoite esitetään tulevaisuuden maavoimien viestijärjestelmän arkkitehtuurin muodossa.

Tutkimuksen päätavoitteen saavuttaminen edellyttää tulevaisuuden sekä erilaisten kehitystrendien arvioimista mahdollisimman pitkällä aikavälillä. Teknisen kehityksen osalta noin kymmenen vuoden aikaväli on useissa eri lähteissä nähty realistisesti pisimmäksi arvioitavissa olevaksi aikaväliksi, joten se on valittu myös tämän tutkimuksen tavoitteelliseksi arviointiaikaväliksi.

Perusolettamuksena on pidetty koko puolustuksen kehitystyötä kohti verkostoitunutta kokonaisuutta. Verkostokeskeisen sodankäynnin ajatusten sekä määritelmien lähtökohdat on luotu Yhdysvalloissa, joka on vuodesta 2003 pyrkinyt kehittämään puolustustaan verkostosodankäynnin periaatteiden mukaisesti. Suomi on sitoutumassa erilaisten linjausten mukaisesti pääpiirteisesti noihin samoihin periaatteisiin. Tämän vuoksi tutkimuksen kannalta tärkeänä seikkana on nähty Yhdysvalloissa tapahtuneen tiedonsiirtojärjestelmien kehityksen keskeis-

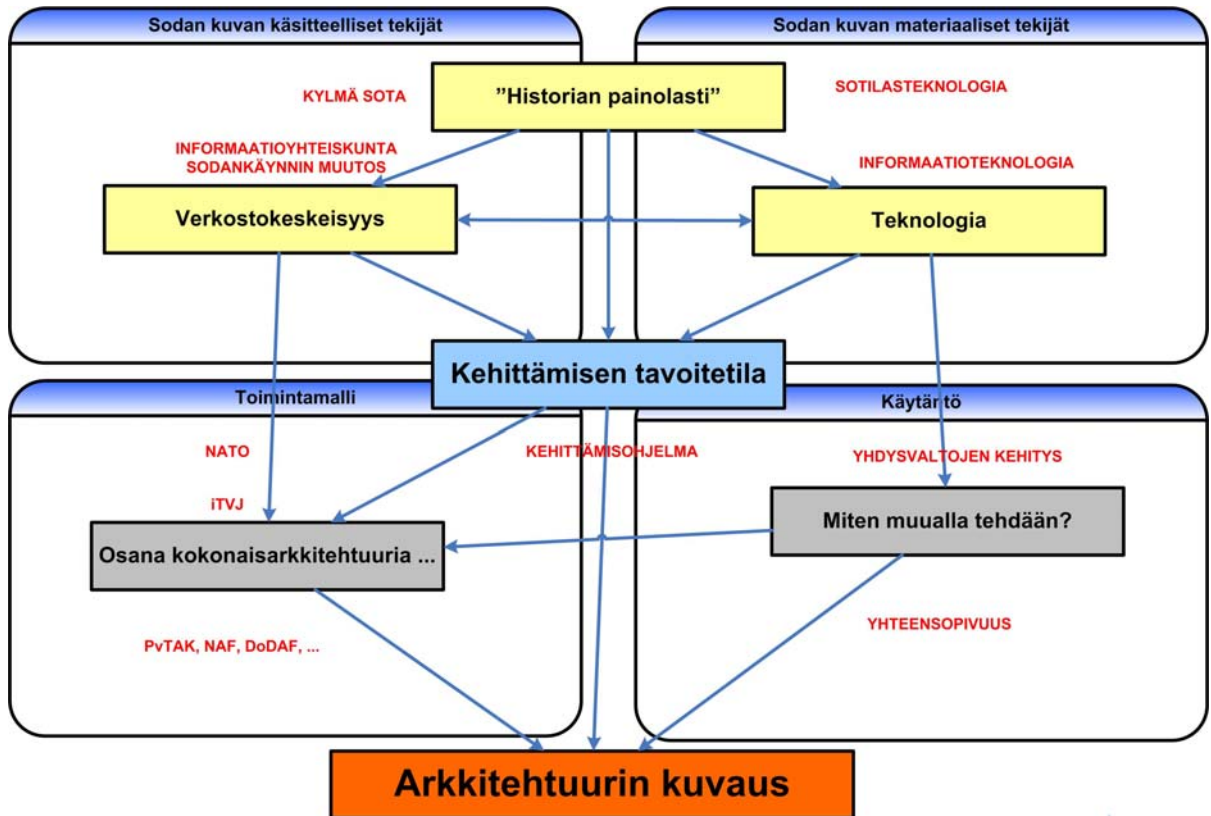
ten tekijöiden selvittäminen. Näiden keskeisten tekijöiden arvioidaan toimivan osaltaan suomalaisen järjestelmän kehittämisen suuntaviivoina.

Tällä tutkimuksella oli myös useita muita pienempiä tavoitteita. Ensimmäinen niistä on sodankäyntiin sekä sodan kuvaan liittyvien tekijöiden kuvaaminen. Erityisesti verkostokeskeisyys ja sen vaikutus tiedonsiirtojärjestelmien rakenteeseen on pyritty käsittelemään laajasti. Toisena tavoitteena tutkimuksessa oli Yhdysvaltalaisten tiedonsiirtojärjestelmien yksityiskohtainen kuvaaminen. Nämä kuvaukset laadittiin tutkimuksen päätavoitteen kannalta tarpeettoman yksityiskohtaiseksi, sillä niillä arvioitiin olevan laajempaa merkitystä. Myös yleistä tiedonsiirtojärjestelmien kehitystä koskeva luku laadittiin samoista syistä varsin yksityiskohtaiseksi.

Tutkimus on jaettu seitsemään päälukuun, jotka edustavat samalla tutkimuksen osia. Ensimmäisessä osassa tarkastellaan sodan kuvaa ja verkostokeskeistä sodankäyntiä. Ensimmäinen osa luo perusteet sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien yleisten kehitystrendien tarkastelulle, joka muodostaa tutkimuksen toisen osan. Tutkimuksen kolmannessa osassa keskitytään Yhdysvalloissa, neljännessä Suomessa sekä viidennessä osassa kaupallisissa tiedonsiirtojärjestelmissä tapahtuneen kehityksen kuvaamiseen. Viisi ensimmäistä osaa muodostavat kokonaisuutena tutkimuksen teoreettisen pohjan. Tutkimuksen kuudentena osana on teorian pohjalta rakennettu arkkitehtuurikuvaus, joka esitetään erilaisina näkyminä sekä niitä tukevina teksteinä. Arkkitehtuurikuvausta on laadittu yleis-, operatiivisten- sekä teknisten näkymien osalta. Tutkimuksen seitsemännessä osassa on esitetty arkkitehtuurin soveltaminen käytäntöön. Tämä osa sitoo laaditun teoreettisen arkkitehtuurikuvauksen käytäntöön sekä toimii esimerkkinä arkkitehtuurin käyttökelpoisuudesta.

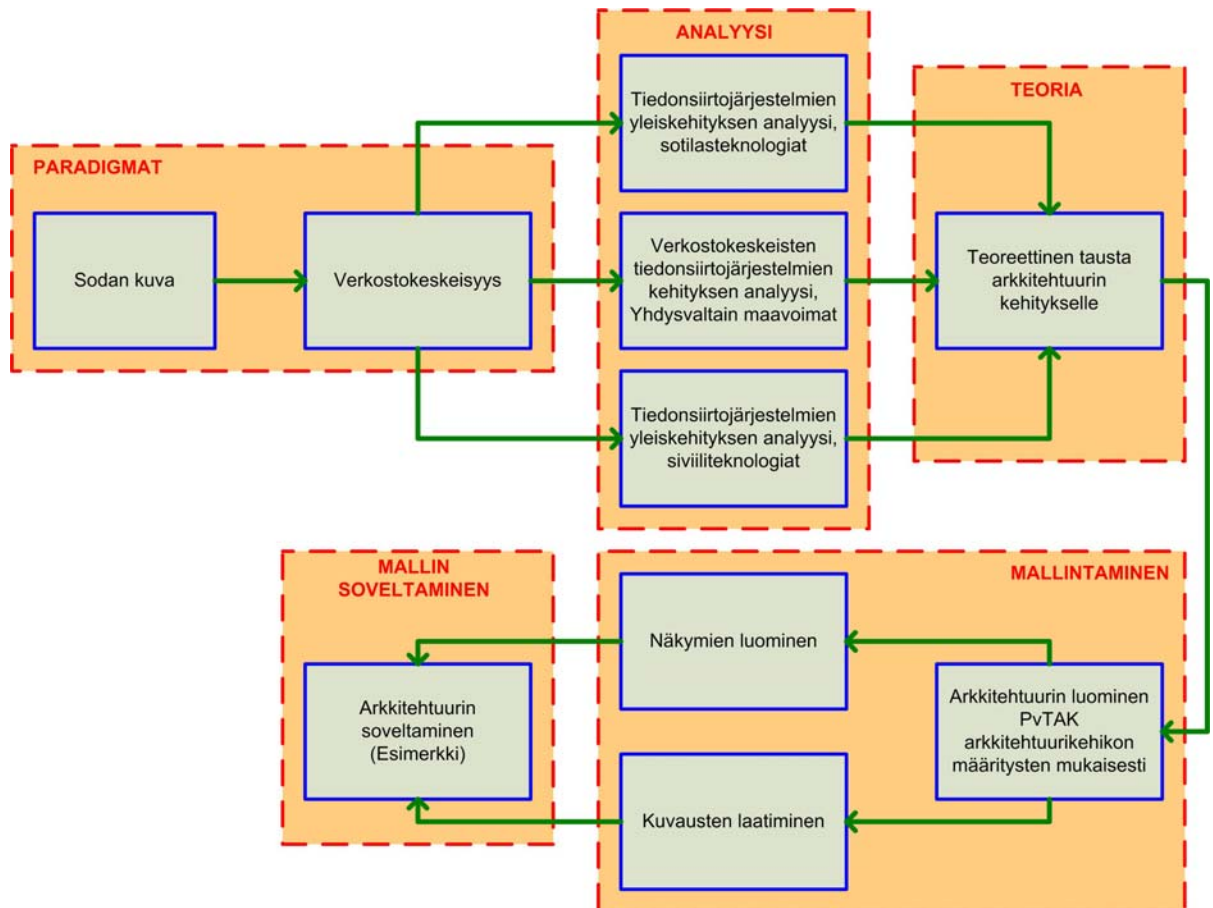
### 1.3. Tutkimusasetelma

Tässä tutkimuksessa maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuria lähestytään eri näkökulmista. Kuvassa 1 on esitettyä tämän tutkimuksen tutkimusasetelma.



**KUVA 1: Tutkimusasetelma**

Koko puolustusjärjestelmän voidaan katsoa muodostuvan erilaisista ajallisen ulottuvuuden omaavista arkkitehtuureista, joista tässä tutkimuksessa käsitelty maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri on vain yksi kokonaisuus. Arkkitehtuurien kuvaamiseen on olemassa omat toimintamallit sekä ohjeistus. Arkkitehtuurit ovat myös kehittämisen kohteita ja siten keskeinen osa kehittämissuunnitelmaa. Käytännön tasolla, kuten esimerkiksi sodan kuvan osalta, meillä seurataan hyvin vahvasti länsimaiden esimerkkiä järjestelmäkehityksessä. Tähän vaikuttavat muun muassa yhteensopivuusvaatimus NATO:n kanssa sekä Yhdysvaltain kanssa käynnissä oleva yhteensopivuuden kartoitusohjelma. Puolustusjärjestelmän kehittämiseen puolestaan vaikuttavat erilaiset käsitteelliset sekä materiaaliset tekijät. Käsitteellistä tekijöistä tärkeimpiä ovat sodan kuva ja siihen liittyvä sotateoreettinen ajattelu. Materiaalisista tekijöistä voidaan mainita erityisesti olemassa olevat suorituskyvyt sekä sotilas- ja siviiliteknologian kehitys. Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri sitoutuu siis tätä kautta koko puolustusjärjestelmän kehittämiseen.



**KUVA 2: Tutkimusprosessi**

Tutkimusasetelma konkretisoituu tutkimusprosessissa. Kuvassa 2 esitetty prosessikuva esittää myös tämän tutkimuksen rakenteen. Tämä tutkimus siis etenee sodan sekä tiedonsiirtojärjestelmien nykytilan ja lähitulevaisuuden analyysin kautta teoriaan. Tämän teorian pohjalta mallinnetaan tulevaisuuden järjestelmää. Tuo malli kuvataan virallisesti määritellyllä arkkitehtuurikehikolla. Sitä sovelletaan edelleen lopussa käytäntöön esimerkinomaisesti todentaen siten sen käyttökelpoisuuden tulevaisuuden järjestelmien kehitystyössä.

Tämän tutkimuksen tutkimusongelmana on, millainen maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri tukisi tulevaisuudessa parhaiten verkostokeskeisyyttä ja yleistä teknistä kehitystä. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään tiedonsiirtojärjestelmien historian ja kehitysnäkymien vaikutusta arkkitehtuurin rakenteeseen.

Tämän tutkimuksen keskeiset tutkimuskysymykset ovat:

- Mitä vaatimuksia verkostokeskeisyyden paradigma ja suomalainen sodan kuva aiheuttavat tulevaisuuden tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurin toteuttamiselle?
- Millainen on maavoimien tulevaisuuden tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri?



- Miten maavoimien tiedonsiirtojärjestelmä voidaan toteuttaa määritellyn järjestelmäarkkitehtuurin pohjalta?

Näihin lisäksi tutkimuksessa oli vastattava myös keskeisiin apukysymyksiin. Niitä käytettiin erityisesti arkkitehtuurin perusteiden ja rakenteen määrittämiseen. Keskeisimmät apukysymykset olivat:

- Miten sotilaalliset tiedonsiirtojärjestelmät ovat yleisesti kehittyneet kylmän sodan jälkeisenä aikana?
- Miten käytössä olleet tiedonsiirtojärjestelmät ovat kehittyneet kylmän sodan jälkeen Yhdysvaltain ja Suomen maavoimissa sekä mitkä ovat niiden kehitysnäkymät?
- Miten kaupalliset tiedonsiirtojärjestelmät ja -tekniikat tulevat kehittymään seuraavien 5-10 vuoden aikana?

#### 1.4. Rajaukset

Tämän tutkimuksen keskeiset rajaukset liittyvät arkkitehtuurin taustaselvityksiin sekä arkkitehtuurikuvaukseen. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty keskeisimmät rajaukset.

Verkostokeskeisyydestä tässä työssä on käsitelty vain yhdysvaltalaisesta näkemystä verkostokeskeisestä sodankäynnistä. Näin ollen etenkin Iso-Britanniassa luotu käsite verkostoavusteisuudesta ei kuulu tämän tutkimuksen selvitysten piiriin. Tämä rajaus ei vaikuta merkittävästi tutkimuksen lopputuloksiin, sillä tässä työssä käytetty näkökulma on riittävän laaja tutkimuksen tavoitteisiin nähden.

Sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehitystä arvioitaessa on keskitytty selkeästi maavoimien järjestelmiin. Keskeiset tarkastelussa huomioidut maat ovat Suomi, Yhdysvallat, Iso-Britannia ja Kanada. Lisäksi kehitystä on yleisesti tarkasteltu Ranskassa, Ruotsissa ja Saksassa. Tarkastelu keskittyy kehityksen yleislinjoihin eikä ulotu yksityiskohtaiseen kehityksen kuvaukseen. Tällä yleistarkastelulla voidaan saada tutkimuksen tavoitteisiin nähden riittävän tarkka kuva kokonaiskehityksestä.

Yhdysvaltain ja Suomen tiedonsiirtojärjestelmiä koskevassa esityksessä pyrittiin esittelemään käytetyt järjestelmät sekä niiden kehitys varsin tarkasti. Tämä tutkimuksen osa toimii itsenäisenä osakokonaisuutena, jonka avulla lukija voi perehtyä tarkasti erityisesti Yhdysvaltain maavoimien tiedonsiirtojärjestelmiin sekä niiden kehitykseen.

Yleisestä tiedonsiirtojärjestelmien kehityksestä tutkimuksessa keskitytään maanpäällisiin sekä radiojärjestelmiin. Näin ollen kaapelijärjestelmät ja satelliittipohjaiset tiedonsiirtojärjestelmät jäävät pääosin tarkastelun ulkopuolelle. Satelliittijärjestelmien tarkemmalla tarkastelulla olisi ollut lisäarvoa tutkimuksen tuloksille, mutta aiheen laajuuden vuoksi se jouduttiin rajaamaan pois.

Arkkitehtuurissa keskitytään ylätason arkkitehtuurin määrittämiseen. Tämä osa arkkitehtuurikuvauksesta on siis suunnattu erityisesti johtotehtävissä toimiville henkilöille sekä järjestelmien periaatteellisesta suunnittelusta vastaavalle tekniselle henkilöstölle. Teknisiin yksityiskohtiin ei määrittelyssä juurikaan mennä.

### 1.5. Käsitteitä ja määritelmiä

#### *Aaltomuoto*

Aaltomuodolla tarkoitetaan tässä työssä niitä kaikkia radion ja/tai viestinnän toimintoja, jotka tapahtuvat käyttäjän syötteestä radiotaajuiseen ulostuloon ja päinvastoin.

#### *Alueelliset joukot*

Käyttöperiaatteen mukaisesti alueelliset joukot ovat määrätyille alueille tai kohteisiin rajoituviiin taistelu-, suojaus -, valvonta- ja tukitehtäviin varustettuja ja koulutettuja joukkoja. Niillä suojataan yhteiskunnalle ja puolustusvoimille keskeiset rakenteet sekä pidetään valtakunnan puolustuksen kannalta tärkeät alueet. Alueellisia joukkoja ovat esimerkiksi jalkaväkiprikaatit, taisteluosastot, kaupunkijääkärikomppaniat, sissiyksiköt, merivalvontayksiköt, yhteyslentueet, lentotukikohdat sekä tukevat aselaji- ja huoltoyksiköt. Alueellisiin joukkoihin kuuluvat myös vartiokomppaniat, aisti-ilma- ja valvontayksiköt, varikot, laitokset ja perustamisorganisaatio. [61]

#### *Arkkitehtuuri*

Arkkitehtuuri kuvaa kohdealueensa rakenneosat, niiden ulospäin näkyvät ominaisuudet ja niiden väliset yhteydet ja riippuvuudet. Arkkitehtuuri muodostaa rungon järjestelmän suunnittelulle ja toteutukselle sekä ohjaa järjestelmän rakenteen kehittämistä järjestelmän elinkaaren ajan. Se toimii myös keskusteluvälineenä järjestelmän kehittämisen ja ylläpitämisen sidosryhmien (organisaation johto, käyttäjät, suunnittelijat, toteuttajat) välillä. [89]

### *Hyökkäys alueiden valtaamiseksi*

Strategisella iskulla alkava ja kaikkien puolustushaarojen vahvalla voimankäytöllä jatkuva sotilaallisen voiman käyttö. Hyökkäyksellä pyritään suoraan vaikuttamaan puolustajan elintärkeisiin kohteisiin ja toimintoihin sekä valtaamaan sodan päämäärän kannalta keskeiset alueet. [61]

### *Informaatiosodankäynti*

Yhteiskunnalliseen ja sotilaalliseen tilannekuvaan, suunnitteluun, päätöksentekoon, toimintaan sekä ihmisiin kohdistuvaa vaikuttamista ja niiltä suojautumista. Puolustusvoimien informaatio- ja sodankäynnin päämääränä on suojata puolustusjärjestelmän toiminta vihollisen informaatio- ja sodankäynniltä sekä tukea omia operaatioita tavoitteiden saavuttamiseksi. Informaatio- ja sodankäynnin kyky muodostetaan elektronisen sodankäynnin (ELSO), tietoverkkosodankäynnin (TVSO), psykologisen sodankäynnin (PSSO) ja viestinnän, operaatioturvallisuuden (OPTU) sekä harhauttamisen koordinoitulla yhteistoiminnalla. [61]

### *Johtoporras*

Komentajan ja esikunnan muodostama kokonaisuus.

### *Kriisinhallinta*

Kansainvälisen yhteisön toimet konfliktien ehkäisemiseksi ja rajoittamiseksi, osapuolten väkivallankäytön lopettamiseksi, aiheutettujen tuhojen korjaamiseksi sekä kriisialueen turvallisuuden, vakauden ja yhteiskunnan toimintojen sekä oikeusjärjestyksen palauttamiseksi. Kriisinhallinta jakaantuu sotilaalliseen kriisinhallintaan ja siviilikriisinhallintaan. [61]

### *Mallintaminen*

Mallintaminen tarkoittaa todellisuuden osan, esimerkiksi tietyn ilmiön tai systeemin esittämistä muulla tavalla kuin sillä itsellään. Mallintamista on esimerkiksi kartta, joka on malli todellisesta maastosta tai pienoismalli, joka on pienennetty malli todellisesta esineestä. Tässä tutkimuksessa mallia edustaa arkkitehtuurin kuvaus. [89]

### *Normaaliolot*

Jokapäiväinen tila, jossa esiintyvät uhkat voidaan ehkäistä ennalta, torjua ja niiden vaikutuksista toipua voimassa olevilla säädöksillä ja voimavaroilla. Normaaliolojen järjestelyt luovat perustan toiminnalle häiriötilassa ja poikkeusoloissa. [61]

### *Operatiiviset joukot*

Käyttöperiaatteen mukaan joukkoja jaettaessa operatiivisilla joukoilla tarkoitetaan valtakunnan puolustusvalmiuden kohottamiseksi nopeimmin perustettavia puolustushaarojen suorituskykyisimpiä joukkoja, joilla luodaan puolustuksen painopiste ja niiden käytöllä pyritään ratkaisemaan taistelu. Ne koostuvat puolustushaarojen suorituskykyisimmistä joukoista ja niitä voidaan käyttää keskitetysti koko valtakunnan alueella. Osalla joukoista kyetään siviiliviranomaisten tukemiseen myös normaalioloissa. Operatiivisia joukkoja ovat esimerkiksi valmiusprikaatit, jääkäriprikaatit, mekanisoidut taisteluosastot, erikoisjääkäripataljoona, tärkeimmät rajajoukot, osa tykistö-, ilmatorjunta-, suojelu-, tiedustelu- ja valvontayksiköistä, helikopteripataljoona, ilmavoimien lentoyksiköt sekä merivoimien tärkeimmät taistelualus-, ohjus- ja rannikkojoukkoyksiköt. [61]

### *Paradigma*

Paradigmalla tarkoitetaan Nykysuomen sanakirjan mukaan tieteessä jotain tutkimuksen aluetta hallitsevaa perusnäkemystä, mallia, esikuvaa tai viitekehystä, jota sen puitteisiin sopeutuva tutkimus ei aseta kyseenalaiseksi. Paradigman käsitteen loi Thomas S. Kuhn 1960-luvulla. Tässä tutkimustyössä paradigma viittaa erityisesti vallitsevaan sodankäynnin teoriaan. Tällä hetkellä sodankäynnin teoriaa hallitsee verkostokeskeisyyttä korostava paradigma. Tätä teoriaa pyritään purkamaan riittävästi, jotta sen keskeiset elementit tiedonsiirtojärjestelmien kannalta kyetään ymmärtämään. [88]

### *Puolustusjärjestelmä*

Puolustusvoimien puolustusjärjestelmä on kokonaisuus, joka koostuu johtamisjärjestelmästä, tiedustelu- ja valvontajärjestelmästä, valmiudensääätelyjärjestelmästä, logistiikkajärjestelmistä sekä joukkorakenteesta eli maa-, meri- ja ilmapuolustuksen johtoportaista ja joukoista. [61]

### *Sota*

Tilanne, jossa Suomi on joutunut vieraan valtion sotilaallisen voimankäytön tai vaikutuksiin siihen verrattavien terroritoimenpiteiden kohteeksi ja jossa valtiollisen itsenäisyyden turvaaminen ja oikeusjärjestyksen ylläpitäminen vaativat puolustustilalain toimivaltuuksien käyttöä. [61]

### *Sodan kuva*

Sodan kuva vastaa kysymyksiin [64]

- Mikä on vallitseva sotilaallinen uhka, jota vastaan pitää kyetä käymään sotaa?
  - o Minkä tyyppinen toimija uhkaa ja/tai kuka uhkaa?

- Kuinka sotaa tulee käydä?
  - o Milloin / missä tilanteissa sotaan voi legitiimisti ryhtyä?
  - o Mitkä ovat sodan legitiimit päämäärät?
  - o Mitkä sotilaalliset keinot ovat legitiimejä sodassa?
- Mitkä tekijät ovat tärkeitä sotilaallisen voiman kasvattamiseksi?
  - o Mitkä sotilaalliset (ase)järjestelmät ”tuovat” sotilaallista voimaa?
  - o Kuinka asevoimat pitää organisoida?
  - o Mitkä sotilaalliset keinot ovat tehokkaita sodan päämäärän saavuttamiseksi?

### *Suorituskyky*

Muodostuu järjestelmän ja/tai joukon toiminnan mahdollistavista suunnitelmista ja eri tehtäviin harjoitelluista käyttö- ja toimintaperiaatteista, riittävästä ja osaavasta henkilöstöstä, tehtävään tarvittavasta materiaalista, toimintaan tarvittavasta infrastruktuurista sekä puolustusvoimien omasta tai yhteiskunnan tarjoamista tukeutumismahdollisuuksista. [61]

### *Verkostoavusteinen sodankäynti*

Toimintakonsepti, jonka avulla sensoreita, johtoportaita ja joukkoja johdetaan reaaliaikaisesti. Se perustuu tehokkaaseen ja laaja-alaiseen tiedon hankinta-, analysointi- ja keruujärjestelmään, modulaarisiin suorituskykyisiin joukkoihin, kansainväliseen yhteensopivuuteen sekä kehittyneeseen johtamisjärjestelmään. [53]

## 2. INFORMAATIOYHTEISKUNNAN SODAN KUVA JA TEORIAM

*“Network centric warfare is the emerging military response to the information age”*

*[Vara-amiraali Arthur Cebrowski, US Navy]*

”Armeijat valmistautuvat aina edelliseen sotaan” on sanonta, jonka voidaan katsoa pitävän historiallisessa perspektiivissä erittäin hyvin paikkansa. Ihmisen kyky nähdä tulevaisuuteen on valitettavan usein liian vahvasti menneessä kiinni. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa tulevaisuuden tuomia mahdollisuuksia ei kyetä ottamaan riittävän hyvin huomioon. Tarkasteltaessa nykyaikaisia länsimaisia käsityksiä sodankäynnistä, havaitaan niiden olevan erittäin pirstoutuneita. Lähteen 65 mukaan länsimaisessa sodan kuvassa voidaan erottaa muun muassa kylmän sodan ajan sodan kuva, uudet sodat, humanitaariset interventiot, sodankäynnin vallankumous, verkostosodankäynti ja sota terrorismia vastaan. Nämä ovat kaikki mahdollisia sotia, johon armeijoiden on valmistauduttava! Ongelmaksi tulee vain se, että perinteisesti organisoidut armeijat ovat yleensä hyviä vain yhden tyypin sodassa.

Sodan kuva on tärkeä osa sodan paradigmaa. Sodan paradigma voidaan jakaa käsitteellisiin ja materiaalsiin tekijöihin [65]. Käsitteellisiä tekijöitä edustavat uhkakuva, sodankäynnin luonne ja asevoimat. Materiaalisia tekijöitä edustavat teknologia ja resurssit. Teknologian voidaan siis nähdä sisältyvän sodan paradigmaan lähinnä resursseja luovana tekijänä, mutta tämän tutkimuksen luonteen vuoksi on tarkoituksenmukaista eriyttää teknologinen kehitys myös omaksi tekijäkseen. Lähihistoria konkretisoituu asevoimissa käytössä olevan materiaalin sekä sen käyttöperiaatteiden muodossa. Historian kehityssuunnat ohjaavatkin asevoimien kehitystyötä erittäin pitkäjänteisesti, sillä tyypillisesti armeijoiden sotamateriaali uusiutuu erittäin hitaasti, jopa 30 - 50 vuoden sykleissä.

Keskeinen tekijä tämän tutkimuksen kannalta on tunnistaa ne haasteet, jotka muutos sodan kuvassa aiheuttaa tiedonsiirtojärjestelmien kehittämiseksi. Tässä luvussa käsitellään suomalaista sodan kuvaa sekä erityisesti verkostojen merkitystä meidän sodankäyntitapamme visiossa. Verkostoavusteisuus tai verkostokeskeisyys esiintyy terminä useimmissa selvityksissä, joissa arvioidaan puolustusjärjestelmämme kehitystä. Näin ollen verkostokeskeisyyden syvällisten teknisten vaikutusten analyysi on keskeinen osa tätä tutkimusta. Tämän luvun lopussa esitetään lyhyesti johtopäätökset näiden teoreettisten asioiden vaikutuksesta käytäntöön ja luodaan siten pohjaa tutkimuksen analyysiosiolle.

## 2.1. Sodan kuvan muutos

### 2.1.1. Läntinen sodan kuva muutoksessa

Läntisen sodan kuvan muutoksen arviointi perustuu lähteisiin 63 - 65 sekä 67. Kylmän sodan päättyminen toi läntisen maailman merkittävän haasteen eteen. Vanhojen uhkakuvien väistymisen myötä tuli asevoimien käyttöperiaatteet, organisointi sekä ase- ja johtamisjärjestelmät sopeuttaa uuteen tilanteeseen. Tämä johti käytännössä asevoimien transformaation aikauteen. Termin sisällöksi muodostui etenkin Euroopassa käytännössä asevoimien modernisointi. Samalla kun yhteydessä asevoimien organisaatiot ovat keventyneet koko 1990-luvun ajan samalla, kun niiden saama rahoitus on supistunut. Asevoimien doktrinaalinen pohja on myös muotoiltu uudelleen, ja siinä ovat niin sanotut uudet uhat saaneet merkittävän roolin. Pienentyvien joukkojen suorituskyvyn puutteita on pyritty vahvasti paikkaamaan ottamalla käyttöön uusia ase- ja johtamisjärjestelmiä, jotka informaatioteknologia mahdollistaa.

Läntisen sodan kuvan muutoksen eli sodankäynnin vallankumouksen suunnannäyttäjänä on toiminut keskeisesti Yhdysvallat. Johtavana NATO-maana se on ottanut hyvin voimakkaan roolin asevoimien uudentyypisen käyttöperiaatteen kehittäjänä. Läntisten asevoimien sodan kuva siirtyikin 1990-luvulla massiivisista taisteluista kohti pienempien joukkojen oman alueen ulkopuolella toteuttamia operaatioita. Nämä kriisinhallintaoperaatiot muodostuivat käytännössä 1990-luvulla useimpien länsimaiden tärkeimmiksi tehtäviksi. Etenkin NATO:n voidaan arvioida siirtyneen hyvin voimakkaasti juuri tuon sodan kuvan kannattajaksi.

Läntisen sodan kuvan tämän päivän kulminaatiopisteenä voidaan pitää 9/11-tapahtumia. Näiden seurauksena syntyi uusi läntisen sodan kuvan suuntaus, joka on sota terrorismia vastaan. Se oli mahdollista käytännössä vain uuden aseteknologian käyttöönoton myötä. Täsmäaseet, informaatioteknologia sekä kehittynyt tekninen tilannekuva loivat pohjan sille, että Yhdysvaltain presidentti julisti vuonna 2001 sodan terrorismia vastaan. Tuolloin Yhdysvallat alkoi käyttää asevoimiaan hyvin laajasti omasta näkökulmastaan määriteltyjä vihollisia vastaan. Tuo kehitys on johtanut samalla sen asevoimat entistäkin nopeampaan kokonaisvaltaiseen muutokseen.

Kylmän sodan jälkeisen ajan sodan kuvan muutostrendejä on kuvattu seuraavassa taulukossa.

Sodan kuvan osatekijä	Kylmä sota	Kylmän sodan jälkeinen aika
<i>1. Sotilaalliset uhkat</i>	Laajamittainen hyökkäys, ydinso- ta, valtiot uhkana	Alueelliset sodat, epäsymmetriset sodat, terrorismi, ei-valtiolliset toimijat
<i>2. Sodan muut päämäärät</i>	Vastakkaisen ideologian leviämi- sen estäminen	Humanitaariset tavoitteet
<i>3. Sotilaallisen voiman osatekijät</i>	Massa, yhtymien/divisioonien lukumäärä, raskaan sotateollisuu- den tuotantokyky	Sodankäynnin vallankumous: - täsmäiskukyky - tiedustelu, valvonta- ja johtamis- järjestelmät - avaruuden hyväksikäyttö - informaatio sodankäynti - toiminta oman alueen ulkopuolel- la

**TAULUKKO 1: Läntisen sodan kuvan osatekijöitä kylmän sodan ajalla ja sen jälkeen [65]**

Läntisen sodan kuva on siis elänyt viimeisen noin 15 vuoden aikana voimakkaasti. Asevoimien käytön suunnittelun lähtökohtana ei enää yksiselitteisesti ole valtioiden tai valtioliittojen välinen sotilaallinen konflikti. Tämän rinnalle on noussut ei-valtiollisten toimijoiden muodostamat välittömät (terrorismi) ja välilliset uhkat (yksityisten tai heimoarmeijoiden terrori). Samalla laajamittaisen sodan uhka on pääosin korvautunut alueellisella kriisillä. Sodan mittasuhteet ja muodot ovat siis oleellisesti muuttuneet.

#### 2.1.2. Sodan kuvan muutos Suomessa

Sodan kuva Suomessa on muuttunut huomattavasti hitaammin kuin muualla läntisessä maailmassa. Syynä tähän voidaan erityisesti nähdä geopoliittinen asemamme sekä historialliset kokemukset sodista Neuvostoliittoa vastaan. Kuitenkin kylmän sodan päättyminen sai myös meillä aikaan hitaan muutoksen. Lähteen 65 mukaan 1990-luvun alkupuoliskolla alkoikin suomalaisen sodan kuvan hajaantuminen kahtia. Laajamittainen koko valtion olemassaolon vaarantava sota koettiin edelleen mahdollisena, vaikkakin epätodennäköisenä. Sen rinnalle alkoi nousta vaatimus kyvystä toimia oman alueen ulkopuolella osana kansainvälistä kriisinhallintaoperaatiota.

1990-luvun jälkipuoliskolla kansainvälisen sotilaallisen kriisinhallinnan merkitys jatkoi kasvamista suomalaisen sodan kuvan osana. Selontekomenettelyn kautta virallinen uhkakuva



muuttui vähitellen yhä monipuolisemmaksi. Tähän liittyen puolustusvoimien rakennetta alettiin vuosikymmenen loppupuolella keventää. Muutoksen hitaus selittyy suurelta osin Venäjän läheisyydestä sekä sen kehityksen arvaamattomuudesta. Tämän rakennemuutoksen peruslogiikka noudattaa kuitenkin varsin tyypillistä läntisten asevoimien transformaatiota kylmän sodan asevoimista kohti tietoyhteiskunnan informaatiotosodankäynnin asevoimia. Siinä korostetaan kustannustehokkuutta sekä suorituskyvyn kasvattamista supistaen samalla massamaisen kenttäjoukkojen määrää [65]. Suomessa tavoitteena on ollut siirtää painopistettä massamaisen hyökkäyksen torjunnasta strategisen iskun ennaltaehkäisyyn sekä kansainväliseen kriisinhallintaan.

Teknologian merkitys läntisessä, ja sen kautta myös suomalaisessa, sodankäynnin kuvassa on hyvin korostunut. Länsimaisessa ajattelussa teknologiasta on tullut yhä merkittävämpi sotilaallisen suorituskyvyn mittari. Keskeiseen asemaan teknologian osalta ovat nousseet erityyppiset informaatiotosodankäynnin osatekijät. Yhdysvaltojen etumatka informaatiotosodankäynnissä on koko 1990-luvun ajan ollut merkittävä Eurooppaan verrattuna. Suomalaisessa ajattelussa informaatiotosodankäynnin merkitys on kasvanut voimakkaasti 1990-luvun lopulta alkaen. Vuoden 2004 puolustuspoliittisessa selonteossa mainittiin puolustuksen erääksi keskeiseksi kehityslinjaksi verkostoavusteisen puolustuksen kehittäminen. Kybersota verkostoissa on siis astumassa yhä voimakkaammin myös Suomen puolustusvoimien tehtäväkenttään.

Edellä mainittujen muutosten rinnalle ilmaantui vielä vuonna 2003 uusi tekijä. Valtioneuvoston periaatepäätös Yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisesta [54] nosti viranomaisyhteistyön yhdeksi uudeksi tekijäksi puolustusvoimien tehtäväkenttään. Tämä tehtävä on myös kirjattuna 1.1.2008 voimaan astuvaan puolustusvoimalakiin. Siinä määritellään puolustusvoimien tehtäviksi kotimaanpuolustus, viranomaisyhteistyö sekä kansainvälinen kriisinhallinta. Vaikka painopiste on sotilaallisessa maanpuolustuksessa, tuo muiden tehtävien yhdistäminen päätehtävään selkeitä lisähaasteita.

YETTS-asiakirjan (yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisen suunnitelma) uusin versio julkaistiin 28.11.2006 [54]. Sen määrittelemät yhteiskunnan elintärkeät toiminnot ovat valtion johtaminen, kansainvälinen toiminta, valtakunnan sotilaallinen puolustaminen, sisäisen turvallisuuden ylläpitäminen, talouden ja infrastruktuurin toimivuus, väestön toimeentuloturva ja toimintakyky sekä henkinen kriisinkestävyys. Näiden elintärkeiden toimintojen turvaamiseen liittyen strategiassa on määritelty yhdeksän uhkaa sekä niihin liittyvät erityislanteet. Puolustusministeriön vastuulle kuuluvat sotilaallisen voiman käytön -uhkamalliin

liittyvät erityistilanteet poliittinen, taloudellinen ja sotilaallinen painostus sekä sotilaallisen voiman käyttö.

<b>Uhkamalli</b>	<b>PLM:n vastuulla olevat erityistilanteet</b>
<i>Poliittinen, taloudellinen ja sotilaallinen painostus</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alueloukkaukset maalla, merellä ja ilmassa</li> <li>- Sotaharjoitukset ja lisäjoukot rajojen tuntumassa</li> <li>- Lisääntynyt sotilastiedustelu</li> <li>- Ilma- ja meriliikenteen sotilaallinen häirintä</li> <li>- Tietojärjestelmien sotilaallinen häirintä</li> <li>- Joukkotuhoaseiden käyttökyvyn esille tuonti</li> <li>- Aseelliset välikohtaukset, mukaan lukien erikoisjoukkojen käyttö ja tuholaistoiminta</li> </ul>
<i>Sotilaallisen voiman käyttö</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Strateginen isku</li> <li>- Hyökkäys alueiden valtaamiseksi</li> </ul>

**TAULUKKO 2: YETTS:n uhkamallien mukaiset puolustusministeriön koordinoitavasti vastuulla olevat erityistilanteet [54]**

Edellä esitetyn taulukon luettelo muistuttaa hyvin läheisesti läntisen sodan kuvan yhteydessä aikaisemmin mainittuja uhkatekijöitä. Mikäli nykyinen kehityssuunta jatkuu, voidaan uhkakuvien arvioida kehittyvän asevoimien kannalta yhä haasteellisemmiksi. Jo vuoden 2004 selonteossa mainitaan alueellisen puolustusjärjestelmän uudistamiseen johtavina tekijöinä kolme muutostrendiä. Ensimmäinen niistä liittyy sodankäynnin muutokseen, toinen kehittyvään teknologiaan ja sen sodankäynnille aiheuttamiin muutoksiin sekä kolmas kansainväliseen yhteistoimintaan. Kansainvälisten kriisinhallintaoperaatioiden osalta selonteossa todetaan, että tulevaisuudessa on varauduttava monimuotoisempiin ja vaativampiin kriisinhallintaoperaatioihin. Tämä edellyttää nykyisestä poikkeavan toimintatavan omaksumista kansainvälisiin tehtäviin osallistumisessa. Tärkein tavoite yhä vaativampiin tehtäviin osallistumisella tulisi selonteon mukaan olemaan kansallisen puolustuksen uskottavuuden lisääminen.

Tämän edellä kuvatun kehityksen seurauksena puolustusvoimat joutuu varautumaan useisiin erilaisiin uhkatilanteisiin, joiden aiheuttamat vaatimukset puolustusvoimien suorituskyvyille ovat hyvin erityyppisiä. Voidaan kysyä, onko tilanteiden ratkaiseminen samoilla suorituskyvyillä edes mahdollista. Tämä tutkimus pyrkii kuitenkin löytämään ratkaisun tiedonsiirtojärjestelyihin kaikissa uhkatilanteissa, mikä on suorituskykyjen joustavan käytön kannalta keskeistä.

### 2.1.3. Johtopäätökset

Tämän hetken linjausten mukaisesti puolustusjärjestelmän osaksi hankittavat järjestelmät tulee suunnitella ensisijaisesti kotimaan puolustuksen tarpeisiin. Tämä ei kuitenkaan poista muita tehtäviä, vaan niissä täytyy kyetä käyttämään samoja välineitä. Seuraavaan taulukkoon on koottu tärkeimmät sodan kuvat, joihin suomalainen puolustusjärjestelmä valmistautuu [65]. Nämä kuvat muodostavat samalla toimintaympäristön sotilaallisille tiedonsiirtojärjestelmille.

Sodan kuva	Puolustusvoimien tehtävä	Tavoite
<i>Alueellinen sota</i>	1. Strategisen iskun ennaltaehkäisy ja torjunta 2. Alueiden valtaamiseen pyrkivän hyökkäyksen torjunta	Valtion ja kansalaisten puolustaminen kokonaismaanpuolustuksen hengessä
<i>YETT sota</i>	Viranomaisyhteistyö	Valtion elintärkeiden toimintojen turvaaminen viranomaisyhteistyöllä
<i>Kriisinhallintasota</i>	Kansainväliset tehtävät	Puolustuskyvyn osoittaminen sekä kriisien hallinta
<i>Informaatiosota</i>	Kaikki yllä mainitut	Suorituskyvyn luominen kaikkien tehtävien toteuttamiseen

**TAULUKKO 3: Suomalaiset sodan kuvat sekä puolustusvoimien tehtävät ja tavoitteet**

Taulukosta on hyvä huomioida eri sodankäynnin muotojen ajallinen ulottuvuus. Informaatio-sodankäynti on käsitteenä vielä varsin uusi. Se kuitenkin nähdään osin jatkuvana toimintana, joka tukee kokonaissuorituskykyä kaikissa tilanteissa. Informaatiosodankäynnin ympäristöksi puolustusvoimiin ollaan kehittämässä verkostoituneen sodankäynnin kykyjä sekä ympäristöä. Tämä toimisi ikään kuin alustana suorituskykyjen käytölle kaikissa muissa sodan kuvis-  
sa.

## 2.2. Verkostokeskeisyys sodankäynnin paradigmana

Verkostokeskeisyyden teoriaa ei voi tarkastella vain yhden käsitteen valossa. Verkostokeskeisyys liittyy kiinteästi nyt eletävällä informaatioaikakaudella tapahtuvaan sodankäynnin muutokseen. Tätä tapahtumaketjua on kuvattu aikaisemmin käsitteellä sodankäynnin vallankumous (RMA, Revolution in Military Affairs). Kun tarkastellaan tätä käsitettä, löytyvät sen juuret jo melko kaukaa historiasta. Käsitteellisesti sodankäynnin vallankumouksen käsitettä

seurasi verkostokeskeisen sodankäynnin käsite (NCW, Network Centric Warfare). Tämä 1990-luvun lopulta peräisin oleva käsite on käytännössä tällä hetkellä jo hiukan vanhentuneena häviämisen vuorossa. Uusimpana terminä sodankäynnin muutokseen liittyen alaa on valtaamassa vaikutusperustaisten operaatioiden käsite (EBO, Effect Based Operations) tai vaikutusperustainen lähestymistapa operaatioihin (EBAO, Effect Based Approach to Operations).

Mikä sitten on näiden lukuisten käsitteiden keskeinen sisältö? Lähteen 67 mukaan niillä pyritään kuvaamaan uuden tyyppistä (tavanomaista) sodankäyntiä, jossa tullaan olemaan vähemmän riippuvaisia yksittäisten alustojen suorituskyvystä. Sen sijaan suorituskykyä haetaan yhä paremmilla tiedonsiirtoyhteyksillä, jotka lähes reaaliajassa koordinoivat operaatioissa olevien joukkojen kaikkia toimintaan liittyviä osatekijöitä ja järjestelmiä. Verkostokeskeisyyden ytimestä löytyy siis keskeisenä elementtinä tehokkaiden tiedonsiirtoyhteyksien muodostama verkosto. Tämän tutkimuksen paradigmana onkin verkostokeskeisyyden hyödyntäminen maavoimien arkkitehtuurissa. Käsite voi korvautua ajan saatossa uudella ilmaisulla, mutta sen sisällön oletetaan pysyvän samansuuntaisena. Tässä luvussa pyritään lyhyesti esittelemään erityisesti yhdysvaltalaisen verkostokeskeisen sodankäynnin historia, sen keskeiset opit sekä tärkeimmät vaikutukset sodankäyntiin. Vaikka myös muualla länsimaissa on syntynyt verkostokeskeisyydestä omia teorioita, muistuttavat ne läheisesti Yhdysvalloissa syntyneitä teorioita. Tämän teorian vaikutuksia heijastellaan sitten myöhemmissä luvuissa tapahtuvaan johtamisjärjestelmien kehitykseen.

### 2.2.1. Verkostokeskeisyyden pitkä historia

Lähteen 67 mukaan sodankäynnin vallankumouksellinen muuttuminen on tullut osaksi sotateoreettista keskustelua jo 1960-luvulla. Tuolloin erityisesti neuvostoliittolaiset sotateoreetikot totesivat uuden teknologisen vallankumouksen olevan tulossa. Merkkejä tästä oli nähtävissä erityisesti tuolloin käynnissä olleessa Vietnamin sodassa, jolloin amerikkalaiset ottivat käyttöön muun muassa laser-ohjautuvat pommit. Neuvostoliittolaiset oivalsivat meneillään olevan osumatarkkuuden vallankumouksen, joka mahdollisti tavanomaisille aseille aikaisempien joukkotuhoaseiden tehon. Tämä vaaransi käytännössä esimerkiksi koko Varsovan liiton hyökkäysportaisiin perustuvan strategian.

Piilevänä edennyt teknologinen vallankumous näyttäytyi suurelle yleisölle vuoden 1990 Persianlahden huipputeknisenä sotana. Todellisuudessa lähteen 67 mukaan sodassa käytettiin runsaasti enemmän ”tyhmiä” ammuksia kuin älykkäitä. Käytössä olleiden älyammusten

suuntaaminen tärkeitä maaleja kohtaan osoittautui myös vaikeaksi. Erityisesti sensorijärjestelmien ja tiedonsiirron vähäinen integrointi aiheutti ongelmia johtaen tilanteeseen, jossa käytettäviä älyaseita oli enemmän kuin mahdollisia maaleja. Kokonaisuutena vuoden 1990 sota on kuitenkin nähtävissä keskeisenä teknologiakeskeisen sodankäynnin lähtökohtana. Yhdysvalloissa se toimi myös koko 1990-luvun ajan perusteluna uusien teknisten asejärjestelmien sekä uusien suorituskykyjen hankinnalle kaikkien puolustushaarojen piirissä [67].

### 2.2.2. Verkostokeskeinen sodankäynti Yhdysvalloissa

Verkostokeskeisen sodankäynnin teorian kuvaaminen perustuu lähteisiin 1-5 sekä 87. Yhdysvalloissa syntyneen verkostokeskeisen sodankäynnin käsitteen alkuperä liittyy vuoteen 1996, jolloin amiraali William Owens esitteli konseptinsa järjestelmien järjestelmästä [50]. Konseptissa kuvataan tiedustelusensorien, johtamisjärjestelmien ja älykkäiden ammusten järjestelmän evolutionäärinen kehitys. Samana vuonna julkaistiin Joint Vision 2010, jossa esiteltiin koko spektrin (full spectrum) dominoinnin sotilaskonsepti. Koko spektrin dominanssi kuvasi Yhdysvaltain asevoimien kykyä hallita taistelutilaa aina rauhanturvaoperaatioista sotilaallisen voiman käyttöön jonka mahdollisti informaatioylivoiman tuoma etulyöntiasema. Näitä tekijöitä voidaan pitää varsinaisen verkostokeskeisyyden edeltäjinä.

Varsinaisena konseptina NCW ilmaantui julkisuuteen vuonna 1998. Tuolloin julkaistiin samanniminen artikkeli, ja myöhemmin kirja "Network Centric Warfare" [1]. CCRP:n julkaisema kirja yhdisti liike-elämän ja sodankäynnin tutkimuksen. Sodankäyntiin pyrittiin yhdistämään erityisesti liike-elämän kyky käyttää tietoa ja kommunikaatioteknologiaa parantamaan tilanteen analyysia, varastotilannetta ja tuotantoa sekä asiakassuhteita. Samalla esiteltiin verkostokeskeisen sodankäynnin keskeiset opinkappaleet:

1. sääntö: Robustisesti verkotettu joukkokokonaisuus parantaa informaation jakamista.
2. sääntö: Informaation jakaminen ja kollaboraatio muuttavat tiedon laatua sekä jaettua tilanneymmärrystä.
3. sääntö: Jaettu tilanneymmärrys mahdollistaa itsesynkronoinnin.
4. sääntö: Tämä puolestaan dramaattisesti lisää operaation tehokkuutta.

NCW-kirjaa seurasi vuonna 2001 teos Understanding Information Age Warfare [5]. Se pyrki viemään eteenpäin niitä muutoksen merkkejä, jotka tunnistettiin NCW kirjassa, kehittääkseen operatiivisen sodankäynnin teorian. Siinä sodankäynti jaettiin fyysiseen, informaatio- ja kognitiiviseen ulottuvuuteen. Fyysisessä ulottuvuudessa ovat tapahtumat, ja ne havaitaan senso-

rien ja yksilöiden toimesta. Fyysisestä ulottuvuudesta syntyvä data (tieto) kuljetetaan informaatioulottuvuuden läpi. Datan vastaanottaa ja prosessoi kognitiivinen ulottuvuus, jossa se arvioidaan ja käynnistetään toiminta. Tämä malli toimii pohjana edelleen johtamiselle koko taistelukentällä.

Verkostokeskeisen sodankäynnin teoriaa on kuitenkin kehittynyt voimakkaasti myös tämän jälkeen. Lähde 2 on ehkä helposti kaikkein vallankumouksellisin sotilaallisiin operaatioihin liittyvien viittausten suhteen. Se väittää nykyaikaisten sotilaallisten ympäristöjen olevan aivan liian monimutkaisia, jotta kukaan yksilö, organisaatio tai jopa puolustushaara voisi niitä ymmärtää. Näin ollen sodankäynnin keskeisten toimijoiden tulisi kyetä itse hankkimaan nykyaikaisen informaatioteknologian avulla itselleen tarvitsemansa tieto ”tietovarastoista” sen sijaan, että nykyisen kaltaiset ”tiedusteluyhteisöt” yrittävät arvata heidän tietotarpeensa ja syöttää sitä heille. Tämänkaltaisen toimintatapa vaikuttaa teoreettisesti olevan erittäin tehokas, mutta se on teknisesti erittäin vaativa toteuttaa. Tätä ajattelua on kuitenkin havaittavissa niin iTVJ-verkon kuin Yhdysvaltain GiG-verkon (Global Information Grid) toteuttamisen takana.

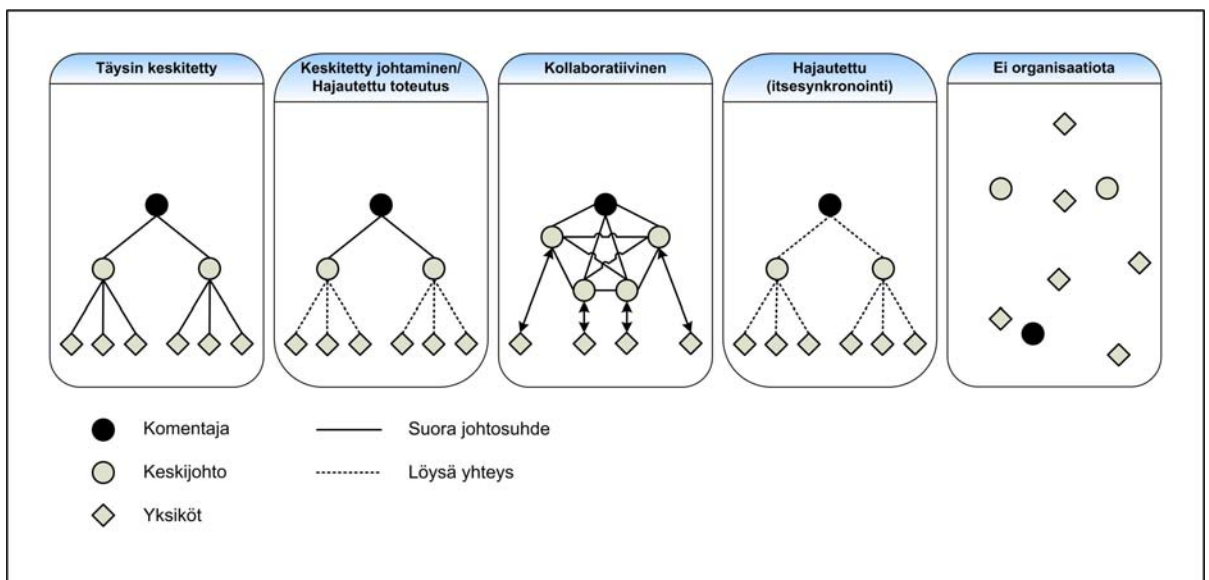
Verkostokeskeinen sodankäynti on opillisesti edennyt noin vuosikymmenen aikana teknologiapainotteisesta opista hyvin vahvasti johtamista sekä vaikutuksia painottavaksi ajattelumalliksi. Se pyrkii nostamaan esiin informaatioajan mahdollisuuksia, joista teknologian hyödyntäminen on hyvin keskeisessä roolissa. Verkostokeskeisyyttä voidaanakin eniten kritisoida teknologian ihannoinnista. Yhdysvaltain viime aikojen sotakokemuksista Irakissa ja Afganistanissa ovat kuitenkin paljastaneet teknologian rajoitteet hyvin selvästi. Tämä suuntaus on myös alkanut vaikuttaa selkeästi verkostokeskeisiin teorioihin. Terminologisesti esimerkiksi verkostokeskeinen sodankäynti on jo vanhentunut, ja se on pääosin korvaantunut termeillä verkostokeskeiset operaatiot (NCO, Network Centric Operations) sekä vaikutuspohjainen lähestyminen operaatioihin EBO/EBAO.

### 2.2.3. Verkostokeskeinen johtaminen sekä suunnittelu

Alkuperäinen verkostokeskeisen sodankäynnin teoria korostaa teknisten verkostojen merkitystä. Teorian kehittyessä sen painopiste on siirtynyt yhä voimakkaammin johtamiseen [3] sekä suunnitteluun [4]. Nämä elementit muodostavat keskeisen osan koko sodankäynnin toteuttamisesta. Samalla teknologian rooli on muuttunut sodankäyntiä avustavaksi. Johtamisjärjestelmien kannalta tämä kehitys selkiyttää niiden roolia, jossa johtaminen ja suunnittelu itse asiassa antavat vaatimukset johtamisjärjestelmien rakenteelle. Periaatteellinen asetelma

ei siis ole muuttunut miksiäkään, vaan keskeiset muuttuneet tekijät ovatkin sodan kuva sekä uhkaympäristö.

Johtamisjärjestelmien kannalta tarkasteltuna keskeistä on kyky tukea käytettyä johtamismallia. Kuvassa 3 esitetään mahdollisia johtamismalleja, joita voidaan käyttää johtamisen suunnittelun pohjana. Kaikissa johtamismalleissa, organisoitumatonta mallia lukuun ottamatta, on etunsa ja haittansa. Erytisen lupaavilta malleilta informaatioaikakaudella vaikuttavat ”hajautettu johtamismalli” sekä ”keskitetty johtaminen/hajautettu toteutus -malli”. Kuitenkin kollaboratiivinen malli nähdään ehkä parhaiten nykyistä joukkojen rakennetta vastaavana johtamisrakenteena [3]. Tämä kollaboratiivinen johtamismalli on otettu myös tämän tutkimuksen keskeiseksi arkkitehtuurien kehittämisen lähtökohdaksi.



**KUVA 3: Mahdolliset johtamismallit [5]**

Sodan johtamisen suunnitteluprosessi on keskeinen työkalu sodan vaikutusten toimeenpanon kannalta. Modernin sodankäynnin monimutkaisuus on jo teollistuneen aikakauden alusta saakka johtanut yhä massiivisempiin esikunta- ja suunnittelurakenteisiin. Monimutkaistuvaa taistelukenttää ei ole kyetty hallitsemaan yksilöiden tarkkailun pohjalta, vaan heidän avukseen on ollut tarkoituksenmukaista perustaa laajoja suunnitteluesikuntia. Verkostokeskeisyys tuo kuitenkin mukanaan mahdollisuuden muuttaa tätä järjestelmää. On selvää, että tuollainen muutos ei tapahdu lyhyessä ajassa, vaan se vaatii laaja-alaista organisaatiokulttuurin sekä toimintatapojen muutosta. Lähteessä [4] tuodaan selkeästi esiin tarve tähän muutokseen. Seuraavassa taulukossa on tarkasteltu perinteisen sotilaallisen suunnitteluprosessin ja kehittyneen verkostokeskeisen suunnitteluprosessin keskeisiä eroja.

	<b>Perinteinen sotilaallinen</b>	<b>Kehittynyt verkostokeskeinen</b>
<i>Informaatio</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pääasiassa sotilaallisista sensoreista ja järjestelmistä</li> <li>- Jakelu seuraa johtosuhteita</li> <li>- Työnnettyä</li> <li>- Rajoitettu ei-organisen asiantuntijuuden saatavuus</li> <li>- Informaatiota kuljetetaan suunnitelman kanssa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Useita informaatiolähteitä</li> <li>- Laaja välitys</li> <li>- Haettua/täsmätyönnettyä</li> <li>- Laaja asiantuntijuuden saatavuus</li> <li>- Jokainen yhteisö muokkaa tietoa</li> </ul>
<i>Päätökset</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keskitettyjä</li> <li>- Globaaleja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jaettu</li> <li>- Paikallisia tarkasteltaessa tavoitetta</li> </ul>
<i>Prosessi</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hierarkinen</li> <li>- Vastuut määritellään johtosuhteiden kautta</li> <li>- Jonkin verran kollaboraatiota</li> <li>- Peräkkäinen</li> <li>- Syklinen</li> <li>- Suunnittelu eriytetty toimeenpanosta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vertaisten välinen, pieni maailma</li> <li>- Vastuut määritellään dynaamisesti ansioiden mukaan</li> <li>- Laaja kollaboraatio</li> <li>- Rinnakkainen</li> <li>- Jatkuva</li> <li>- Vuorovaikutteinen suunnittelu ja toteutus</li> </ul>
<i>Suunnittelun kohde</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taisteluvaurioiden arvioinnissa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Useiden alojen vaikutuksissa</li> </ul>
<i>Suunnitelma</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yksityiskohtainen</li> <li>- Kohde: konfliktien välttäminen, valitut synergiat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tavoitteena mahdollistaa itsesynkronointi, etsii synergioita</li> </ul>
<i>Päämäärä</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimointi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ketteryys (sopeutuminen ja mukautuminen)</li> </ul>
<i>Soveltuvat tilanteet</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monimutkaisia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komplekseja</li> </ul>
<i>Oletukset</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riittävä ymmärrys</li> <li>- Ennustettavuus</li> <li>- Läheinen kytkentä on hyvä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ymmärryksen puute</li> <li>- Epävarmuus (ennustamattomuus)</li> <li>- Läheinen kytkentä on paha</li> </ul>

**TAULUKKO 4: Perinteinen sotilaallinen suunnitteluprosessi verrattuna kehittyneeseen verkostokeskeiseen suunnitteluprosessiin [4]**

Taulukossa esitetyillä tekijöillä on merkittävä vaikutus johtamisjärjestelmiin. Kehittynyt verkostokeskeinen suunnittelu edellyttää kollaboraation mahdollistavaa johtamisympäristöä, jossa korostuvat rinnakkaisuus ja jatkuvuus. Tietoturva-ajattelun kannalta jaetut päätökset, tarvittava informaatiolähteiden määrä, laaja informaation välitys sekä suunnittelun kokonaisvaltaisuus aiheuttavat perustavaa laatua olevan muutoksen sen toteuttamiseen. Painopiste muuttuu käytännössä tiedon saatavuuden rajoittamisesta tiedon ajankohtaisuuden sekä oikeellisuuden valvontaan. Pyrkimys kohti kehittyntä verkostokeskeistä suunnitteluprosessia on huomioitava syvällisesti tarkasteltaessa verkostokeskeisyyden vaikutuksia järjestelmien rakentamiseen. Uusien prosessien toteutuminen voi viedä aikaa, mutta oleellista on luoda tekninen valmius siihen ajoissa.

#### 2.2.4. Verkostokeskeisyyden vaikutukset tiedonsiirtojärjestelmien kannalta

Alkuperäinen verkostokeskeisen sodankäynnin teoria korostaa teknologiaa sekä uutta ajattelutapaa uuden informaatioajan sodankäynnin keskeisinä tekijöinä. Tämän yksinkertaistus on



kohdistanut teoriaan merkittävää kritiikkiä, jota etenkin Yhdysvaltojen epäonnistunut toiminta Irakissa ja Afganistanissa on vain kiihdyttänyt. Myös teorian laatijat ovat ottaneet tämän kritiikin huomioon teorian jatkokehityksessä. Käytännössä verkostokeskeisen sodankäynnin teoriasta on kehittynyt joukko vaikutus- ja verkostokeskeisen ajattelun teorioita. Teorioiden ydin on kaikissa näissä verkostoitumisen merkityksessä, mutta muissa seikoissa niissä on hyvinkin erilaisia korostuksia. Yhdysvaltalaisessa teoriassa, joka on tässä tutkimuksessa keskeisessä roolissa, on viime aikoina korostettu erityisesti uutta ajattelutapaa johtamisessa ja suunnittelussa. Tämä voidaan todeta esimerkiksi lähteistä 2 ja 4. Verkostoituminen sekä johtaminen ja suunnittelu ovat siis keskeisessä roolissa myös uusien johtamisjärjestelmien rakentamisen kannalta.

Verkostoitumisen keskeinen sisältö on luoda uuden informaatioteknologian avulla järjestelmä, joka kykenee liittämään kaikki taistelukentän sensorit sekä asejärjestelmät käyttäjiineen toisiinsa. Tämän lisäksi operaatioiden suunnittelu ja johtaminen vaativat tietovarastojen kytkemistä osaksi verkostoa siten, että sen tietosisältö on kaikkien saatavilla. On selvää, että tällaisten verkostojen luominen on teknisesti erittäin haasteellista, eikä tällaisia verkostoja tulla vielä käytännössä näkemään lähitulevaisuudessa. Tämän kokonaistavoitteen pitäminen mielessä on kuitenkin välttämätöntä jo verkostoitumisen suunnittelun alussa, sillä tavoite asettaa erittäin suuren vaatimuksen tiedonsiirtojärjestelmien kyvyille välittää verkoston liikennettä luotettavasti läpi koko taistelukentän.

Johtaminen kannalta keskeistä on käytettävä johtamismalli. Aikaisemmin esitetyistä mahdollisista johtamismalleista etenkin kollaboratiivinen johtamismalli sekä keskitetty johtaminen/hajautettu toteutus on huomioitava. Nämä johtamismallit pakottavat rakentamaan hierarkialtaan matalia järjestelmiä, jonka avulla voidaan taata mahdollisimman tehokas eri solmupisteiden välinen tiedonsiirto. Toinen tekijä, joka järjestelmän vaatimukseksi voidaan asettaa, on modulaarisuus. Modulaariset järjestelmät mahdollistavat sen rakenteiden muokkaamisen tilannetta vastaaviksi. Kolmas johtamismallista johdettavissa oleva tekijä on järjestelmien hajautettu luonne. On selvää, että yhä vähenevä joukkojen määrä sekä joukkojen ja johdon yhä suurempi fyysinen hajaantuminen pakottaa rakentamaan hajautusta tukevia järjestelmiä. Toisaalta vähistä joukoista pitää saada yhä enemmän tehoa irti, jolloin joukkojen määrällinen painopiste ei voi olla tukijoukoissa.

Suunnittelun kannalta keskeistä on suunnittelun uudentyyppinen luonne. Suunnittelun muuttuminen syklisestä prosessista jatkuvaksi sekä rinnakkaiseksi prosessiksi korostaa käytännössä samoja tekijöitä kuin johtaminenkin. Erityisesti suunnittelun kannalta kuitenkin korostuu

tiedon ja tilannekuvan laatu ja saatavuus. Kompleksisessa ympäristössä tapahtuva suunnittelu on herkkää tilannetiedon suhteen. Tilannetiedon täytyy olla oikeellista ja ajankohtaista. Sen täytyy myös olla muokattavissa. Keskeinen tiedon hankkimisen tapa on sen hakeminen tai täsmätoimitukset. Kaikilla kompleksisen ympäristön toimijoilla on väistämättä erilaisia tiedon tarpeita, jolloin tiedon hankkimisen on vastattava juuri heidän tietotarpeisiinsa [35].

Kokonaisuutena verkostokeskeisyys liittyy hyvin vahvasti kykyyn valjastaa teknologia palvelumaan sen mahdollistamaa suuressa mittakaavassa tapahtuvaa ihmisten luonnollista kommunikointia sekä vuorovaikutusta. Suurin osa verkostokeskeisyyden keskeisistä uusista korostuksista, kuten itseohjautuvuus ja kollaboraatio, ovat itse asiassa hyvin vanhoja menetelmiä. Verkostokeskeisyys pyrkiikin näiden kautta ajatuksellisesti pois mekanistisesta ja deterministisestä maailmankuvasta. Näin ollen sen teknologian tulee olla luonnollista, joustavaa ja huomaamatonta. Teknologian tulee siis mahdollistaa uusi toimintatapa ja tukea sitä mahdollisimman tehokkaasti.

### 2.3. Sodan kuvan ja verkostokeskeisyyden vaatimukset tiedonsiirtojärjestelmiltä

Sodan kuva luo käsitteelliset puitteet sille toimintaympäristölle, johon me kehitämme omia sotilaallisia järjestelmiämme. Toimintaympäristön keskeinen tekijä on linjausten mukaan verkostokeskeisyys. Nämä tekijät liittyvät siis hyvin läheisesti toisiinsa, ja niiden analysoinnilla saadaan esille keskeisiä vaatimuksia tuossa ympäristössä toimiville järjestelmille.

<b>Tekijä</b>	<b>Tulevaisuuden arkkitehtuurin vaatimus</b>
<i>Sodan kuva (toimintaympäristö)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alueellisen sodan ympäristö</li> <li>- Viranomaisyhteistyöympäristö</li> <li>- Kriisinhallintaympäristö</li> <li>- Informaatiosodankäynnin ympäristö</li> </ul>
<i>Toimintaympäristön ominaisuudet</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kompleksisuus</li> <li>- Teknologinen haastavuus</li> </ul>
<i>Sotilaallisen voiman organisaatiomalli</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matala, ainakin osittain hierarkinen</li> <li>- Modulaarinen</li> <li>- Massan painopiste vaikuttamisen joukoissa</li> <li>- Tukijoukkojen määrän optimointi</li> </ul>
<i>Sotilaallisen voiman käytön tavoite</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vaikuttaminen valittuihin kohtiin tai kohteisiin</li> </ul>
<i>Keskeiset tuettavat prosessit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Johtaminen ja suunnittelu</li> <li>- Vaikuttaminen</li> </ul>
<i>Tuettavat järjestelmät</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ”Järjestelmien järjestelmä” -ajattelu</li> <li>- Kaikkien taistelulentän toimijoiden ja toimintojen verkottaminen</li> </ul>
<i>Sovellettavat johtamismallit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keskitetty suunnittelu, hajautettu toteutus</li> <li>- Kollaboratiivinen johtaminen</li> </ul>
<i>Johtamisen ja suunnittelun kriittiset tekijät</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yhteiset tietovarastot ja tietokannat</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkottuminen</li> <li>- Yhteydellisyys</li> </ul>
<i>Yhteisen tilanneymmärryksen kriittiset tekijät</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tilannetiedon paikkansa pitävyys (tietoturva)</li> <li>- Palvelunlaatu (viiveettömyys, pääsy tietoon käsiksi)</li> <li>- ”Täsmätieto”</li> </ul>
<i>Verkottumisen kriittiset tekijät</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Robustinen verkosto</li> <li>- Yhteensopivuus</li> </ul>
<i>Yhteydellisyden kriittiset tekijät</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Liikkuvuus (riippumattomuus infrastruktuurista)</li> <li>- Rajapintojen läpinäkyvyys</li> <li>- Tietoturvan painopiste tiedon käytettävyydessä</li> <li>- Palvelunlaatu</li> </ul>

**TAULUKKO 5: Verkostokeskeisyyteen perustuvan tiedonsiirron keskeiset vaatimukset**

Taulukkoon 5 on koottu keskeisiä tulevaisuuden tiedonsiirtojärjestelmän vaatimusten määrittelyyn liittyviä tekijöitä ja vaatimuksia. Tämä taulukko muodostaa tämän tutkimuksen teoreettisen osuuden yhden keskeisimmistä sisällöistä, ja sitä hyödynnetään tämän tutkimuksen myöhemmissä osissa. Tämä taulukko toimii esimerkiksi maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurin keskeisenä vaatimusmäärittelynä.

### 3. SOTILAALLISTEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMIEN KEHITYS KYLMÄN SODAN JÄLKEISENÄ AIKANA

*”The post-Cold War era is characterized by neoliberalism, globalization, a third-wave of democratizing, the de-ideologizing of international politics, the resurgence of nationalism and religion, economic and political integration, and the rapid development of technology, especially communications.”*

*[Wikipedia – Post Cold War Era, 2007]*

Tiedonsiirtojärjestelmien kehitystä viimeisten vuosikymmenien aikana ei ole mahdollista tarkastella irrallaan yleisestä asevoimien kehityksestä. Tuossa kehityskaaressa merkittävimpänä vaiheena tämän päivän rakenteisiin vaikuttaa kylmän sodan aikakauden massiivisten armeijoiden materiaallinen sekä doktrinaalinen perintö. Kylmän sodan loppumisesta on kulu-  
nut jo lähes 20 vuotta, mutta aikakauden vaikutukset ovat erittäin syvällä. Kylmän sodan kalusto ja järjestelmät sekä niiden modernisoidut versiot ovat yhä edelleen useiden asevoimien sotilaallisen suorituskyvyn tukiranka. Tästä näkökulmasta tämän aikakauden tarkastelu on erittäin tarpeellista.

Kylmän sodan jälkeistä aikaa on erittäin vaikea kuvata millään yksittäisellä termillä. On selkeästi havaittavissa, että 1990-luvulla eri maiden asevoimien toiminta haki muotoaan. Selkeä linja oli kuitenkin niiden materiaallisen ja miesvahvuuden laskeminen sekä samalla tehokkuuden korostaminen. 1990-luvulla läntisiä asevoimia käytettiin yhä selkeämmin erilaisissa rauhan tukemisen tehtävissä. Tällaisia tehtäviä toteutettiin mm. Balkanin alueella, Lähi-idässä sekä Afrikassa koko 1990-luvun ajan. Merkittävimmät sotilaalliset operaatiot, joita myös voidaan pitää eräänlaisina virstanpylväinä, olivat Irakia vastaan käydyt sodat 1991 ja 2003. Niiden välistä aikaa leimasi 2000-luvun alkuun saakka tietoliikenteen kehityksen kanalta tietynlainen ”kylmän sodan” järjestelmien optimointi ja varsin varovainen suhtautuminen verkottumiseen sekä tietoliikenteen räjähdysmäiseen kehitykseen siviilisektorilla.

1990-luvun lopulla alkoivat uudet näkökulmat tietoliikenteeseen ja kaupallisen viestintäteknologian hyödyntämiseen nousta etenkin länsimaisen sodankäynnin kuvan muutoksen myötä. Teoreettista taustaa näille ajatuksille luotiin verkostokeskeisen sodankäynnin ja erilaisten verkostoteorioiden kautta. Internet antoi esimerkin siitä, mitä lisäarvoa valtava verkosto voi antaa. Termit informaatioylivoima, verkostokeskeisyys (NCW) sekä vaikutuspohjainen lähestyminen operaatioihin (EBAO) kuvaavat nykyistä kehityssuuntaa. Nämä teoriat kuitenkin

kehittyvät jatkuvasti, joten niiden lopullista muotoa on erittäin vaikea ennustaa. Tämän luvun tavoitteena onkin tarkastella tiedonsiirron kehitystä lähihistorian aikana, jotta kehittämiselle saadaan mahdollisimman realistinen lähtökohta. Tämä historiakatsaus perustuu lähteisiin 10 ja 69. Näiden rinnalla tarkastellaan kehitystä kotimaassa.

### 3.1. Kylmän sodan perintö viestintäjärjestelmien osalta

Toinen maailmansota loi pohjan kaksinapaiselle maailmalle, jossa Neuvostoliitto ja Yhdysvallat loivat ympärilleen merkittävät voimakeskittymät. Suurvaltojen rajoittamaton sota Euroopassa oli keskeinen asevoimien suunnittelua ohjaava uhkakuva. Tämä uhkakuva loi pohjan läntisen ja itäisen blokin asevoimille esitettävälle suorituskykyvaatimuksille. Niiden kauluston oli siis kyettävä toimimaan erittäin vihamielisessä ympäristössä, jossa sodan osapuolet pyrkivät käyttämään kaikkia keinoja tuhotakseen toisen osapuolen. Teoreettista taustaa tilanteelle loivat erityisesti Neuvostoliiton Syvän Taistelun oppi sekä läntisen blokin pyrkimys vastata tilanteeseen omalla sotataidolla. Esimerkkeinä läntisistä opeista voidaan mainita Yhdysvaltain Air-Land Battle sekä sen NATO:n vastine FOFA (Follow-On Forces Attack).

Suurvaltojen välille ei kuitenkaan missään tilanteessa kehittynyt suoraa konfliktia. Sen sijaan ne tukivat useissa sodissa sotien osapuolia sekaantuen myös vaihtelevalla menestyksellä itse sodankäyntiin. Yhdysvaltain osallistuminen Vietnamin sotaan sekä Neuvostoliiton käymä sota Afganistanissa ovat esimerkkejä suurvaltojen sekaantumisesta erilaisiin kriiseihin. Kuten aikaisemminkin mainittiin, saatiin jo Vietnamin sodassa käyttöön uuden ajan täsmäaseita (laser-ohjatut pommit) [67]. Sodat mahdollistivat uusien järjestelmien sekä aseiden testaamisen, mutta ne eivät vaikuttaneet aikakauden sotilaalliseen perusasetelmaan. Asevoimien järjestelmien suunnittelun lähtökohtana säilyi kaikissa tilanteissa massiivisten suurarmeijoiden kohtaaminen Euroopassa.

Kylmän sodan tiedonsiirron ja viestinnän järjestelmät suunniteltiin suurvalta-armeijoiden kohtaamisen ilmapiirissä. Tyypillisiä kylmän sodan liikkuvuutta tukevia tuotteita ovat neuvostoliittolainen vaunuradio R-123 (Suomessa tyyppimerkintä LV-623) sekä yhdysvaltalainen AN/PRC-77 (tyyppimerkintä LV-217). Molemmat analogiset radiot toimivat pääosin VHF-taajuusalueella ja käyttävät FM-lähetettä (Frequency Modulation) kiinteällä käsin asetettavalla taajuudella kaistanleveyden ollessa noin 25 kHz. Ne edustavat myös molemmat 1960-luvun suunnittelua ja olivat ilmestyessään teknologian huipputuotteita. Muita tyypillisiä tuon aikakauden tuotteita ovat käsivälitteiset kenttäkeskukset sekä kenttäpuhelimet.

Kylmän sodan aikaiset kenttäradiot olivat tarkoitettu johtosuhteiden mukaisiin puheradioverkkoihin lineaariselle taistelukentälle. Niiden kantamat sekä toiminta-ajat ovat edelleen tänäkin päivänä vertailukelpoisia. Ne mahdollistavat kuitenkin liikkuvuuden vain kantamien-sa puitteissa. Samoin niistä puuttuvat salausta sekä suora tuki datalähetysille. Radiotyyppejen yhteensopivuus sen sijaan oli merkittävän hyvä, sillä jopa potentiaalisten vihollisten laitteet toimivat yhdessä saman perusteknologian ansiosta. Kylmän sodan lopulla kuvaan ilmestyivät myös ensimmäiset digitaaliset salatut radiolähettimet. Niitä tarkastellaan myöhemmissä luvuissa tarkemmin. Yleisesti ottaen kylmän sodan ajalta periytyviä radiotyyppisiä on edelleen käytössä Suomessa ja muualla runsaasti, mutta niiden elinkaaret ovat lähestymässä loppuaan.

Radioiden ohella kylmän sodan aikana panostettiin merkittävästi puhelinteknologiaan. Käsivälitteiset puhelinverkot pyrittiin aluksi muuttamaan analogisiin keskuksiin perustuvaksi. Analoginen teknologia ei kuitenkaan saanut sotilaallisissa järjestelmissä kovin suurta jalansijaa tekniikan vaatiman tilan ja suhteellisen epäluotettavuuden vuoksi. Suuri hyppäys sotilaallisessa teletekniikassa koettiin vasta 1980-luvulla, kun ensimmäiset pienikokoiset digitaaliset tilaajakeskukset otettiin käyttöön. Ne mullistivat taistelukentän puhelinliikenteen yhdessä kehittyneiden radiolinkkien kanssa, sillä ne mahdollistivat suhteellisen liikkuvan puhelinliikenteelle tarkoitetun kenttäteleverkon. Järjestelmiä kehitettiin ympäri maailman, mutta jokainen niistä perustui erilaisiin teknologisiin ratkaisuihin eikä siten ollut yhteensopiva toistensa kanssa. Tyypillisiä järjestelmiä ovat esimerkiksi ranskalainen RITA, saksalainen AUTOKO, Iso-Britannian PTARMIGAN, Yhdysvaltain TRITAC/MSE, ruotsalainen Telesystem 9000 ja suomalaiset YVI 1 sekä YVI 2. Osa näistä järjestelmistä on yhä operatiivisessa käytössä, tosin modernisoituna.

Radioiden sekä teletekniikan ohessa oleellinen osa viestintää oli tekstimuotoisten viestien ja asiakirjojen välitys. Tähän käytettiin jo toisen maailmansodan aikana kaukokirjoittimia, jotka olivat kaikkien armeijoiden vakiokalustoa vielä 1980-luvulla. Toki reikänauhaan perustuvaa kaukokirjoitinta pyrittiin korvaamaan useilla teknologioilla, mutta vuosikymmeniä käytössä ollut teknologia osattiin ja tarvittavaa kalustoa oli varastoissa. Kaukokirjoittimet olivat kuitenkin hankalia käyttää yhdessä salauksen kanssa. Ne olivat itse asiassa ensimmäisiä laitteita, jotka digitaalitekniikka varsinaisesti korvasi. 1980-luvulla alkanut digitaalisten salaustaitteiden (esim. Telefunken Telekrypt Mini, Nokia Sanomalaite) tuleminen kuvaan mahdollisti siirtymisen merkittävästi tietoturvalisempaan tekniikkaan sekä yksinkertaisempiin laiteratkaisuihin. Samaan aikaan 1980-luvun lopulla yleistyivät telekopiolaitteet eli faksit aiheuttaen lopullisen kuoliniskun kaukokirjoittimelle.

Kylmän sodan perintönä armeijoille jäi siis runsaat varastot teknologiaa, joka mahdollistaa hyvät puheyhteydet joko kenttäkäyttöisellä puhelinjärjestelmällä tai käyttäen puheradiota samaan organisaatioon kuuluvien yksiköiden kesken sekä rajoitetulla alueella. Järjestelmät olivat pääosin vain rajallisesti yhteensopivia toistensa kanssa (kenttäteleverkot), tai sitten yhteensopivuus saavutettiin luopumalla kokonaan salauksesta ja hajaspektritekniikoista (kenttäradiot). Yhteensopivuutta minkään siviilijärjestelmän kanssa ei käytännössä ollut. Myös järjestelmien liikkuvuus oli rajallinen mahdollistaen liikkeen lähinnä VHF-radioiden kantaman puitteissa. Lisäliikkuvuutta saatiin HF-radioilla, joiden määrät organisaatioissa olivat kuitenkin varsin vähäisiä niiden käytön tarvitseman ammattitaidon vuoksi.

### 3.2. Sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehitys 1990-luvulla

1990-luku voidaan nähdä henkilökohtaisten tietokoneiden vuosikymmenenä. Yksityiskäytössä olevien tietokoneiden määrä kasvoi räjähdysmäisesti. Samalla tietokoneiden välisen tiedonsiirron tarpeet alkoivat nousta. 1990-luvun lopulla nähtiin kehitys, joka mullistaa yhä maailmaa. Se oli internetin maailmanvalloitus. Verkotettujen tietokoneiden määrä nousi www-teknologian käyttöönoton myötä räjähdysmäisesti. Tällä kaikella yleisellä kehityksellä oli heijastusvaikutuksensa sotilaalliseen toimintaan. Myös armeijat ottivat tietokoneet laajaan hyötykäyttöön. Haasteeksi alkoikin nousta niiden verkottaminen. Yksittäisillä tietokoneilla ei ollut laajaa käyttöarvoa. Oli siis astuttu ensimmäinen verkostoitumisen askel.

Persianlahden sota 1991 taisteltiin kuitenkin kylmän sodan viestintäjärjestelmillä. Digitaaliset järjestelmät olivat jo valloittaneet taistelukentän tarjoten lähinnä lisääntyntä tietoturvaa sekä parempaa liikkuvuutta. Tämän sodan keskipisteessä ei kuitenkaan ollut tiedonsiirto vaan täsmävaikuttaminen ilmasta maahan. Irakin armeija käytännössä tuhottiin jo ilmasodan aikana, jolloin maavoimille jäi lähinnä tehtävä edetä käskettyihin tavoitteisiin sekä koota antautuneet irakilaiset sotilaat. Lähteen 10 mukaan digitaalisten kenttäteleverkkojen (tässä Yhdysvaltain maavoimien MSE, Mobile Subscriber Equipment) liikkuvuuden puutteet havaittiin selkeästi. Niitä ei kuitenkaan raportoitu laajasti, jolloin tämä informaatio ei käytännössä vaikuttanut tulevien vuosien kehitykseen.

1990-luvun alkupuolisko oli sotilaallisen viestinnän kehityksen kannalta varsin rauhallinen ajanjakso. Käytännössä tuolloin keskityttiin digitaalisten kenttäteleverkkojen ominaisuuksien kehittämiseen. Uudet järjestelmät perustuvat edelleen perinteiseen perusajatukseen, jossa muodostetaan digitaalinen alueellisesti kattava solmuverkko käyttäen solmujen välisinä siirtoteinä mikroaaltolinkkejä sekä valokaapelia. Järjestelmät perustuvat pääosin puheluiden

yhdistämiseen tulvahakuperiaatteella, jossa puhelun vastaanottajaa haetaan kaikista verkon keskuksista vaihtoehtoisia siirtoteitä hyväksi käyttäen. Verkon pääasiallinen käyttötarkoitus on puheensiirto, vaikka tarpeet datansiirtoon alkoivatkin jo nousta tietokoneiden käytön yleistymisen myötä. Datansiirron laaja-alaisemman hyödyntämisen suurimpina esteinä olivat kuitenkin järjestelmien piirikytkentäinen luonne sekä järjestelmissä käytetty modulaatiolaji deltamodulaatio (DM). Deltamodulaatio poikkesi merkittävästi yleisissä puhelinverkoissa käytetystä pulssikoodimodulaatiosta (PCM) tarjoten riittävät ominaisuudet puheensiirtoon, mutta vain välttävät ominaisuudet datansiirtoon. Järjestelmät olivat siis elektronisilta ominaisuuksiltaan erinomaisen sopivia perinteiseen sodankäyntiin, mutta vastasivat erittäin huonosti lähitulevaisuuden esittämiin vaatimuksiin.

Myös Suomessa otettiin käyttöön vuonna 1996 tämän aikakauden tyypillinen tuote, YVI 2 -viestijärjestelmä [33]. Järjestelmän kehitys oli aloitettu vuonna 1992 YVI 1 -järjestelmän pohjalta. YVI 2 perustui hilamaiseen mikroaaltolinkkiverkkoon, jota täydennetään paikoitellen valokaapeliyhteyksillä. Järjestelmä tarjoaa myös datansiirto-ominaisuuksia pisteestä-pisteeseen sekä X.25-protokollaan perustuvan pakettidataverkon. Nämä datansiirto-ominaisuudet olivat kuitenkin varsin vaikeasti hyödynnettävissä laaja-alaisen datansiirtojärjestelmän runkona.

Kenttäradioiden ominaisuudet kehittyivät koko 1990-luvun ajan digitaalitekniikan hyödyntämisen kautta. Yhdysvaltalaisilla joukoilla oli Persianlahden sodassa käytössään mullistava SINGARS-radio (Single Channel Ground and Airborne Radio System). Se hyödynsi hajaspektritekniikkaa taajuushypynnän muodossa ja tuli olemaan useiden muiden radiojärjestelmien mallina. Radiosta ilmestyi 1990-luvun aikana useita parannettuja versioita. Niiden datansiirto-ominaisuudet paranivat merkittävästi. 1990-luvun puolenvälin jälkeen ilmestyivät myös ensimmäiset radioliityntälaitteet, jotka mahdollistivat yhteydenotot radiotilaajalta puhelinverkon tilaajalle sekä päinvastoin.

Sotilaallisten tietoliikennesatelliittijärjestelmien kehityksen osalta 1990-luku toi mukanaan merkittäviä kehitysaskelia. Lähteessä [39] on kuvattu kehitys Yhdysvalloissa. Kehitysaskleet vuosikymmenen aikana otettiin erityisesti kannettavien- ja liikkuvien palveluiden alalla. Esimerkiksi yhdysvaltalainen UFO (Ultra High Frequency Follow-On) -järjestelmä liikkuville käyttäjille tuli täyteen operatiiviseen valmiuteen vuoteen 1998 mennessä, kun kaikki järjestelmän kymmenen satelliittia oli saatu laukaistua taivaalle. Järjestelmä toi tietoturvalliset hajaspektritekniikkaan perustuvat data- ja puheyhteydet liikkuvien käyttäjien päätelaitteille maalla ja merellä. Satelliittijärjestelmien kehityksessä on kuitenkin huomattava niiden mer-



kittävän pitkä kehitysaika. Näin ollen ne eivät edusta teknologista kehityksen huippua, vaan ne ovat toteutettuja koetellulla ja toimintavarmalla teknologialla.

1990-luku voidaan nähdä konseptillisena taantumavaiheena sotilaallisen tietoliikenteen alalla. Armeijoiden pienenevät budjetit (ei Yhdysvallat) eivät mahdollistaneet enää yhtä mittavia hankintoja. Samanaikaisesti vaatimukset yhä monimutkaisemmille järjestelmille lisääntyivät, eivätkä sotilaalliseen viestintäteknologiaan keskittyneet yritykset kyenneet vastaamaan yleiseen kehitysvauhtiin. Vuosikymmen onkin nähtävä lähinnä käytössä olleen kaluston optimoimisen sekä kehittämisen aikakautena. Se ei tarjonnut sotilaallisen tiedonsiirron alalla perustavaa laatua olevia mullistuksia, koska tarvetta tällaisiin mullistuksiin ei ollut. Joukkorakenne ja taistelutila nähtiin kuitenkin ratkaisuja tehtäessä kuten aikaisemminkin.

Toisesta näkökulmasta 1990-luvun kehitys oli välttämätön välivaihe siirryttäessä kohti tulevaisuuden järjestelmiä. Tietokoneet ja niiden verkottaminen olivat merkittäviä haasteita, joihin lähdettiin hakemaan ratkaisuja. Taktinen Internet koettiin keskeiseksi tavoiteltavaksi kokonaisuudeksi. Tältä pohjalta mm. Yhdysvalloissa laadittiin 1996 maavoimien digitalisointisuunnitelma [7], joka tuli ohjaamaan maavoimien tiedonsiirron kehittämishankkeita perinteisten järjestelmien kehittämisen tiellä. Mutta vaikka verkottuminen koettiin välttämättömänä, ei radikaalien tiedonsiirtojärjestelmien uudistamisen aika ollut vielä. Vanhat järjestelmät toimivat yhä, ja niistä kyettiin päivittämällä ottamaan yleisen näkemyksen mukaan riittävästi tehoa irti.

Operatiivisen toiminnan kannalta 1990-luvun erilaiset rauhanturvaamis- ja kriisinhallintaoperaatiot monikansallisilla kontribuutioilla paljastivat selkeästi eri maiden asevoimille niiden yhteensopivuudessa olevat haasteet. Erityisesti tietoliikennejärjestelmien yhteenliittämisessä oli suuria haasteita. Yhdysvalloille sen omien puolustushaarojen yhteensopivuuden ongelmat olivat paljastuneet jo operaatio Urgent Furyssä Grenadan valtaamiseksi vuonna 1983. Sen asevoimat olivat kyenneet voittamaan osan yhteisoperaatioiden esteistä Persianlahden sotaan mennessä 1991. Ensimmäinen varsinaisiin yhteisoperaatioihin keskittyvä doktriini (Doctrine for Joint Operations) julkaistiin kuitenkin vasta vuonna 2001. Kansainväliset yhteisoperaatiot olivat pakottaneet aloittamaan saman kehityksen NATO:n ja muiden rauhanturvaamiseen osallistuvien maiden välillä. Yhteisoperaatiot ja asevoimien välinen yhteensopivuus ovat 1990-luvun merkittävimmät käsitteelliset tuotteet, joiden merkitys on yhä edelleen aivan keskeinen tulevaisuuden ratkaisuja laadittaessa.

### 3.3. Sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehitys 2000-luvun alussa

2000-luvulle tultaessa oli käynyt täysin selväksi, etteivät perinteiset kenttäviestijärjestelmät kyenneet tyydyttämään nykyaikaisten armeijoiden tietoliikenteen tarpeita. Useimmat armeijat alkoivat etsiä ratkaisuja aktiivisesti erilaisista kaupallisista ratkaisuista. Samaan aikaan syntyivät ensimmäiset tulevaisuuden tiedonsiirtojärjestelmän luomiseen liittyvistä hankkeista. Osa hankkeista oli alkanut jo 1990-luvun loppupuolella, mutta hankkeiden valmistumiset venyivät poikkeuksetta vuosilla. Järjestelmille asetettavien vaatimusten muuttuminen, teknologian nopea kehitys sekä rahoituksen riittämättömyys olivat suurimmat syyt viivästyksiin. Kaupallisen teknologian hyödyntäminen oli siis välttämättömyys useista syistä johtuen. Monimutkaisen teknologian kehittäminen pelkästään sotilaalliseen käyttöön oli erittäin tehotonta.

2000-luvulla on toteutettu useita merkittäviä tiedonsiirtojärjestelmien modernisointihankkeita. Merkittävistä hankkeista Euroopassa voidaan mainita mm. Ison-Britannian armeijan BOWMAN-hanke. Hanketta on käsitelty lähteissä 43 ja 44. Hanke oli aloitettu jo 1990-luvun alkupuolella ja 2000-luvun alkuun mennessä se oli törmännyt suuriin ongelmiin, minkä vuoksi toteutettiin hankkeen uudelleenjärjestely. Uudistetun hankkeen sopimus myönnettiin vuonna 2001 General Dynamicsille, ja siten se muodostui teollisuuden vetämäksi projektiksi. Ensimmäiset BOWMAN-järjestelmät otettiin operatiiviseen käyttöön vuonna 2004. Tällä hetkellä hanketta pidetään kokonaisuudessaan onnistuneena. 2000-luvun merkittävistä tiedonsiirron modernisointihankkeista ensimmäinen valmistui kuitenkin vuonna 2002.

Lähteessä 27 esitellään Kanadan armeijan TCCCS-järjestelmän (Tactical Command, Control and Communications System) hanke. Se alkoi jo 1980-luvulla, mutta kamppaili vakavissa rahoitusongelmissa vuoteen 1998 saakka. Tällöin General Dynamics sai sopimuksen modernisointiprojektin toteuttamisesta. Yritys kykeni toteuttamaan integroidun tiedonsiirron kokonaisratkaisun aikataulun mukaisesti, ja järjestelmä on ollut jo joitain vuosia käytössä. Käytännössä General Dynamics kykeni myöhemmin hyödyntämään kokemustaan BOWMAN-projektin sekä viimeisimpänä käynnistyneen yhdysvaltalaisen WIN-T -hankkeen (Warfighter Information Network Tactical) parissa.

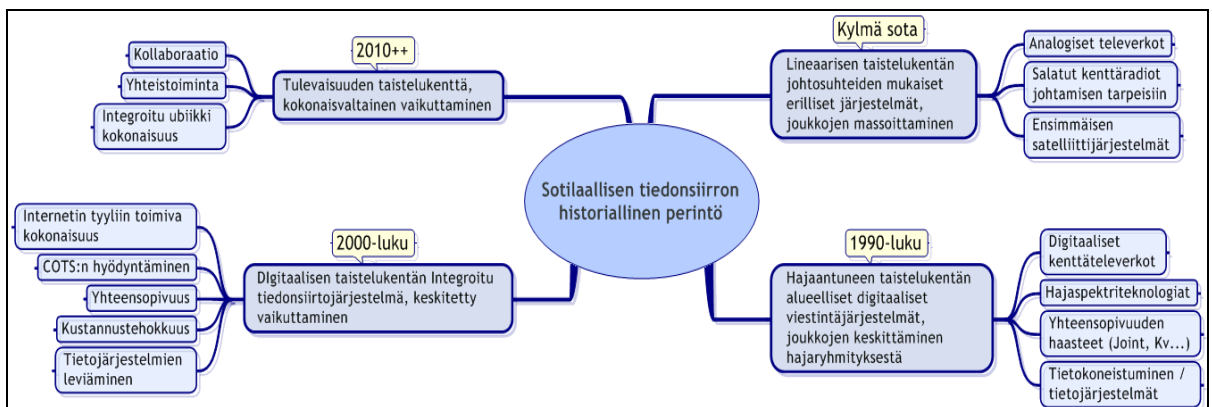
2000-luvun painopisteet tiedonsiirtojärjestelmien kehityksessä ovat olleet integroitujen kokonaisuuksien luomisessa. Kylmän sodan ajalta periytyvät järjestelmät on pyritty yhdistämään eri tekniikoilla, jotta saataisiin aikaan integroitu alusta internet-tyyppiselle verkolle.

Haasteet ovat olleet jälleen perinteisten sotilaallisten järjestelmien yhteensopimattomuudessa sekä osittain teknologisessa vanhanaikaisuudessa. Tässä ovat astuneet kuvaan kaupalliset tuotteet. COTS (Commercial Off The Shelves) eli kaupalliset, suoraan hyllystä ostettavat tuotteet ovat osoittautuneet osittain kustannustehokkaiksi ratkaisuksi. Niiden käyttöön liittyy kuitenkin merkittäviä haasteita, joihin palataan aihetta käsittelevässä luvussa.

### 3.4. Johtopäätökset viestijärjestelmien kehittämisestä kylmän sodan jälkeen

Kylmän sodan aikainen taistelunkentän kuva on vaikuttanut vahvimmin nykyarmeijojen kehitykseen. Tuohon taistelunkentän kuvaan kehitetyt järjestelmät, niin ase- kuin muutkin, ovat edelleen useiden armeijojen peruskalustoa. Samoin siirtyminen tuon ajan massiivisista organisaatioista kohti pienempiä ja tehokkaampia yksiköitä on ollut hidasta. Käytännössä vasta 2000-luvulla ovat uudet ajatukset sekä havainnot viimeaikaisista konflikteista alkaneet tuottaa näkyviä muutoksia armeijojen organisointiin, niiden kaluston kehittämiseen sekä niiden toimintatapoihin. Tämä kaikki voidaan edelleen nähdä myös tietoliikennejärjestelmien kehityksessä.

Sotilaallisten järjestelmien käyttöön keskeisesti vaikuttava seikka on niiden operatiivinen käyttöikä. Se on sotilaallisella järjestelmällä tyypillisesti noin 30 vuotta. Vaikka siis sodan kuva ja vaatimukset muuttuisivatkin nopealla rytmillä, ovat käytettävissä olevat välineet pitkän ajanjakson aikana muodostettu suorituskykyjen kokoelma. Näin ollen koko järjestelmän yhtäkkinen muutos ei ole edes välttämättä mahdollinen.



**KUVA 4: Sotilaallisen tiedonsiirron historiallisen perinnön muodostuminen**

Kuvassa 4 on esitettyä eri vuosikymmeniltä tärkeitä tekijöitä, jotka vaikuttavat edelleen sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehittämisessä. Kylmän sodan aikainen kuva ”totaalisesta sodasta” on edelleen Suomessa pohjana alueiden valtauksen tähtäävän hyökkäyksen

torjunnan toteuttamiselle. Se on vain saanut rinnalleen uusia uhkakuvia. Samalla käytössä olevien järjestelmien kirjo on kasvanut merkittävästi. Alkuperältään sotilaalliset järjestelmät ovat saaneet rinnalleen kaupalliselta pohjalta kehitettyjä järjestelmiä, mikä on edelleen lisännyt järjestelmien monimuotoisuutta. Kokonaisuuden integroiminen onkin ollut tämän vuosituhannen keskeisimpiä tavoitteita, ja se on haaste, joka myös Suomessa on kokonaisuuden kannalta aivan keskeinen.

#### 4. TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMIEN KEHITYS YHDYSVALTAIN MAAVOIMISSA

*"A revolution in military affairs is more than about building new high-tech weapons. It is also about new ways of thinking and new ways of fighting."*

*[Donald Rumsfeld, National Defense University, Washington, 2002]*

Tässä luvussa kuvataan viestijärjestelmien kehittämisen yleiset linjat Yhdysvalloissa 1990-luvulta tähän päivään. Luvun alussa luodaan aluksi yleiskatsaus kehitykseen lähinnä järjestelmätasolla. Tämä yleiskatsaus auttaa lukijaa sijoittamaan eri järjestelmät ja hankkeet oikeaan kontekstiin. Yleiskatsauksen jälkeen on luvussa kuvattuna tärkeimmät esitellyt järjestelmät. Painopiste järjestelmien esittelyssä on niiden käyttötarkoituksen lyhyessä kuvaamisessa sekä järjestelmien teknisten perustiedon esittämisessä.

Tämän luvun keskeinen tarkoitus on kuvata sotateoreettisten ajatusten käytännön toteutuksia tiedonsiirtojärjestelmien osalta eri aikakausina. Erityisesti Yhdysvalloissa teknologiapainotteinen lähestymistapa sodankäyntiin on korostanut ensin digitalisoinnin ja sittemmin verkostoitumisen merkitystä. Järjestelmien kehitys on myös ollut suhteellisen nopeaa. Yhdysvaltain maavoimat on kokeillut useita mahdollisia lähestymistapoja erilaisiin tiedonsiirron haasteisiin, minkä vuoksi sen kehityksen tarkastelu tarjoaa arvokasta tietoa myös vuosien aikana hylätyiksi tulleista kehityspoluista.

##### 4.1. Tiedonsiirron kehittämishankkeet Yhdysvaltain maavoimissa 1990-luvulta alkaen

Tämä yleiskatsaus pohjautuu lähteeseen 10. Yhdysvaltain maavoimien tiedonsiirron kehittämishankkeet 1990-luvulla ja sen jälkeen ovat liittyneet kiinteästi koko maavoimien kehittämiseen. Tässä kehittämisessä kyetään erottamaan selkeät vaiheet. Ensimmäisenä vaiheena kehittämishankkeissa toimi maavoimien digitalisointi, jonka ensimmäinen suunnitelma julkaistiin vuonna 1996. Digitalisointia ei kyetty milloinkaan viemään loppuun alun perin suunniteltuun loppuasetelmaan saakka, vaan vuosikymmenen loppuun mennessä vain yksi jalkaväkidiivisioona oli saanut pääosin modernisoidun kaluston. Tavoitteiden epärealistisuuden, kustannusten karkaamisen sekä yleisen teknologisen kehityksen nopeuden johdosta digitalisointihanke oli jäänyt selkeästi jälkeen aikatauluistaan, ja se lopetettiin itsenäisenä 2000-luvun alkuun mennessä. Alkoivat verkostokeskeisen sodankäynnin aikakausi.

1990-luvun lopun kokemukset Bosnian ja Kosovon konflikteista toivat uutta näkemystä siitä, miten tiedonsiirron kokonaiskonsepti tulisi toteuttaa. Erityisen selkeästi tulivat esiin puutteet maavoimien tiedonsiirron runkojärjestelmässä, MSE-verkossa (Mobile Subscriber Equipment). 1990-luvun lopulla julkaistiin ensimmäiset konseptikuvaukset WIN-T -järjestelmästä (Warfighter Information Network – Terrestrial) [70]. Myöhemmin järjestelmän nimen T:n merkitys tuli muuttumaan Tactical-muotoon. Sen oli tarkoitus olla kokonaiskonsepti, jolla korvattaisiin armeijakunta-divisioona-raamiin tarkoitettu MSE sekä koko sotänäyttämölle tarkoitettu TRITAC.

Suunnitelmat kuitenkin muuttuivat käytännön pakon edessä. Vuonna 2003 alkoi Persianlahden toinen sota ja siihen sotaan Yhdysvaltain maavoimat joutuivat lähtemään osin vanhentuneella tiedonsiirtojärjestelmällä. Uuden vuosituhaten alussa verkostokeskeisen sodankäynnin teoria oli levinnyt laivastosta (US Navy) myös maavoimiin. Tähän liittyen sotaa edeltäneen vuoden aikana maavoimien tiedonsiirtojärjestelmiä kehitettiin kiivaassa tahdissa, jotta ne vastaisivat paremmin verkostokeskeisyyden vaatimuksiin. Käytännössä tämä tarkoitti kaupallistaen sovellutusten istuttamista osaksi johtamisjärjestelmää, sillä käytettävissä olevilla sotilasjärjestelmillä ei kyetty vastaamaan havaittuihin ongelmiin. Keskeisessä roolissa olivat kaupalliset satelliittipalvelut sekä valmiiden kaupallisten tietojärjestelmien hyödyntäminen. Tämä COTS-materiaalin hyödyntäminen sai sitten myöhemmin aikaan kokonaan uuden kehityssuunnan tiedonsiirtojärjestelmän kehittämisessä.

Vuonna 2004 maavoimien osuudelle koko asevoimien tietoverkosta eli GIG-järjestelmästä (Global Information Grid) annettiin nimeksi LandWarNet [78]. LandWarNet on edelleen osa maavoimien keskeisintä tulevaisuuteen tähtäävää kehittämisohjelmaa eli tulevaisuuden taistelujärjestelmää (jatkossa FCS eli Future Combat System). LandWarNet:n keskeiset kehityshankkeet ovat olleet WIN-T sekä JTRS (Joint Tactical Radio System). Erityisesti WIN-T kehityshanke eteni 2000-luvun alussa vahvasti, ja alkuperäisten suunnitelmien mukaan kyseinen järjestelmä oli tarkoitus ottaa palveluskäyttöön vuonna 2008. Kuitenkin vuonna 2006 hanketta viivästyttiin viidellä vuodella. Käytännössä WIN-T -hankkeen osat, erityisesti satelliitteihin liittyvät osahankkeet, olivat jo joutuneen viivästysten kohteeksi. Viivästysten syinä ovat olleet teknologiset haasteet sekä erityisesti Yhdysvaltain kasvavat menot Irakissa.

Yhdysvaltain maavoimat päivittivät 2000-luvun alun aikana järjestelmiään voimallisesti vastaamaan käytännön taistelukentän tarpeita. Käytössä olevien viestintäjärjestelmien (MSE ja TRITAC) joustamaton rakenne, järjestelmien heikko liikkuvuus, alimitoitettu tiedonsiirtokapasiteetti sekä perinteisten järjestelmien ylläpitoon sitoutuvan henkilöstön suuri määrä aihe-

uttivat tyytymättömyyttä. Tähän liittyen General Dynamics:lta tilattiin nopealla aikataululla COTS-järjestelmiin perustuva uuden tyyppinen viestijärjestelmä korvaamaan MSE-järjestelmää Irakissa. Hankittavalle järjestelmälle annettiin nimi JNN-N (Joint Network Node-Network). Ensimmäisen järjestelmän kehityssopimus allekirjoitettiin helmikuussa 2004 ja ensimmäinen divisioonan järjestelmä toimitettiin saman vuoden elokuussa. Syyskuussa 2004 allekirjoitettiin jatkosopimus järjestelmän lisätoimituksista seuraavan vuoden aikana. Vuoden 2006 kesäkuuhun mennessä Irakin sotatoimialue (Theatre System), seitsemän Yhdysvaltain armeijan kymmenestä jalkaväkidivisioonasta, yhdeksän kansalliskaartin prikaatia sekä yksi Stryker-prikaati oli saatu varustettua järjestelmällä.

Vuoden 2006 kesäkuussa JNN-N -järjestelmän jatkohankinnan rahoitusta supistettiin voimakkaasti Yhdysvaltain kongressin toimesta. Rahoituksen supistamisen virallinen syy oli JNN-N sekä WIN-T hankintojen päällekkäisyyksien selvittäminen. Samassa yhteydessä lähteen [10] mukaan General Dynamicsin kilpailijat haluavat avata JNN-N:n hankinnan vapaalle kilpailulle. Vaikka JNN-N -järjestelmän jatkotoimitukset saattavatkin viivästyä, on se osoittautunut erittäin nopeasti toimitetuksi ja käytännössä toimivaksi järjestelmäksi [7]. Projekti etenee supistuksista huolimatta, mistä osoituksena on järjestelmään liittyvän satelliittiyhteyserkon toteuttamisesta tehty 181 miljoonan dollarin sopimus DataPath-yhtiön kanssa. Järjestelmä on tuonut toivotun tiedonsiirron suorituskykytason noston divisioonille. Se on vähentänyt erityisesti johtoportaiden välisten maanpäällisten yhteyksien tarvetta. Samalla järjestelmän hinta on kyetty pitämään kohtuullisena. Yhden divisioonan järjestelmän hinta on arvioiden mukaan ollut ajoneuvoineen toimitettuna noin 80 miljoonaa dollaria eli noin 60 miljoonaa euroa [22].

Vuonna 1997 käynnistyneestä kaikkien puolustushaarojen JTRS-kehitysohjelmasta odotettiin vuosituhaten alussa asevoimien taktisen tiedonsiirron haasteiden ratkaisijaa. JTRS-tuotteilla oli alun perin tarkoitus korvata asevoimien 750 000 taktista radiota (200 eri radiotyyppiä). Hanke ajautui kuitenkin 2000-luvun alussa merkittäviin ongelmiin, mikä johti sen uudelleenmuotoiluun vuonna 2005. Samalla sen tavoitteita laskettiin huomattavasti merkittävien budjettiylitysten seurauksena. Ohjelmistoradiosta piti tulla maavoimien viestintäinfrastruktuurin selkäranka vuoteen 2008 mennessä [11]. Tällä hetkellä ensimmäiset ajoneuvoasenteiset GMR-versiot (Ground Mobile Radio) ovat astumassa operatiiviseen testikäyttöön. Lähteen 82 mukaan radiota tullaan tuottamaan vuoteen 2010 mennessä vain vähäisiä määriä, minkä jälkeen niiden massahankinnasta tehdään päätös. Pienikokoisen HMS-radioperheen (Handheld, Manpack, and Small Form Factor radio) massatuotannon arvioidaan tällä hetkellä alkavan vuonna 2009. Budjettisupistuksista johtuen uusia radiotyyppisiä tullaan hankkimaan

vain 180 000 kappaletta [11], joten perinteisten taktisten radioiden kehittyneemmät versiot tulevat toimimaan pääkalustona vielä pitkälle tulevaisuuteen. JTRS-järjestelmää käsitellään kokonaisuudessaan omassa luvussaan.

Tällä hetkellä tilanne runkoviestijärjestelmien kehittämisen osalta on auki. Tiedonsiirtojärjestelmien hankintoihin kohdistuneet rahoituksen supistukset ovat olleet erittäin suuria, ja ne tulevat viivästyttämään tärkeimpiä kehityshankkeita merkittävästi. Tämä tulee lisäämään COTS-järjestelmien merkitystä tiedonvälityksen runkojärjestelminä. WIN-T ja JTRS ovat tulevaisuuteen tähtäävistä kehitysohjelmista selkeästi maavoimien kannalta keskeisimmät. JNN-N- ja WIN-T -hankkeet ovat jo sulautumassa yhteen, sillä hankkeiden keskeiset tavoitteet eivät ole ristiriidassa keskenään. JNN-N on selkeästi satelliittiyhteyksiin sekä COTS-laitteisiin perustuva runkojärjestelmä, ja WIN-T tuo merkittäviä lisämahdollisuuksia taistelijoiden liikkuvuudelle. Lähteen [22] mukaan jatkossa JNN-N -verkkoon pyritään integroimaan WIN-T -järjestelmän ominaisuuksia osina heti niiden valmistuttua, jotta maavoimien järjestelmä pysyy jatkuvasti mahdollisimman ajanmukaisena.

#### 4.2. Taktinen Internet

Taktisen Internetin rakentaminen oli ensimmäinen Yhdysvaltain maavoimien kokonaisvaltaisista digitalisointihankkeista. Hankkeen osat alkoivat muodostua 1990-luvun alkupuolella taistelukentällä käytettävien järjestelmien digitalisoituessa. Nämä erilliset hankkeet koottiin yhdeksi kokonaisuudeksi Maavoimien Digitalisointisuunnitelmalla [8]. Alkuperäisen suunnitelman mukaan kaikki maavoimien divisioonakokoonpanossa olevat joukot olisi digitalisoitu 1900-luvun loppuun mennessä. Suunnitelma osoittautui kuitenkin aiottua kunnianhimoisemmaksi sekä kalliimmaksi. Samalla yleinen teknologian kehitys uhkasi jättää suuren osan toteutuvista digitalisointitoimenpiteistä vanhentuneiksi heti valmistuessaan. Tämän vuoksi digitalisointi toteutettiin lopulta kokonaisuudessaan vain yhdelle jalkaväkidivisioonalle (4th Infantry Division).

Yhdysvalloissa toteutetun Taktisen Internetin yleiskuvaus perustuu lähteisiin 8 ja 79. Taktinen Internet pohjautuu suurelta osin VHF- ja UHF-kenttäradioiden datansiirtominaisuuksien hyödyntämiseen. Taktinen Internet jaettiin toiminnallisesti ylempään ja alempaan Taktiseen Internetiin. Ylempi toimi lähinnä prikaatin-armeijakunnan tasolla, kun taas alempi toimi ryhmä-pataljoona tasolla. On syytä huomata, että myöhemmät järjestelmäpäivitykset ovat kohdistuneet nimenomaan ylempään Taktiseen Internetiin muuttaen sen roo-

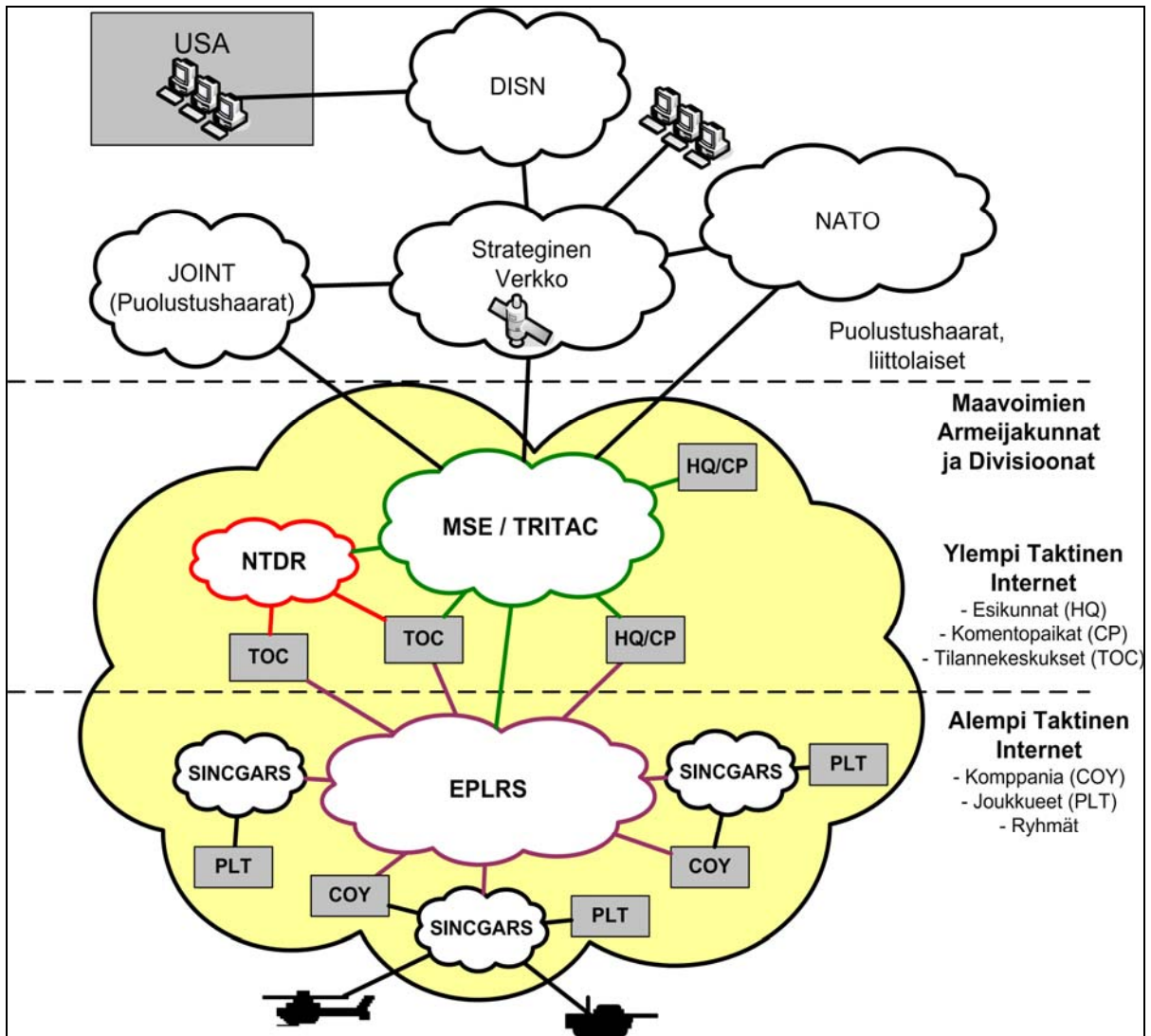


lia merkittävästi. Sen sijaan alemman Taktisen Internetin perusrakenteet ovat tänäkin päivänä pääosin samanlaisia.

Ylemmän Taktisen Internetin perusrakenteen muodostivat ATM-pohjainen (Asynchronous Transfer Mode) MSE-järjestelmä (Mobile Subscriber Equipment). Järjestelmää käytetään sekä datan- että puheensiiirtoon. MSE-järjestelmää käytetään jopa pataljoonatasoisten esikuntien liittämiseen armeijakunnan verkkoon. Alimpien tasojen (pataljoona) liittämiseen käytettyjen viestiasemien datansiirtokyky on varsin vaatimaton, mutta järjestelmän päivityksillä tilannetta kyettiin parantamaan alkuperäisestä. MSE-järjestelmässä siirtoteinä käytetään pääasiassa valokaapeleita, mikroaaltolinkkejä ja satelliittiyhteyksiä.

MSE-järjestelmän liikkuvuus ei ole samaa luokkaa taktisten johtoportaiden kanssa, joten niiden liittämiseen voidaan käyttää myös muita järjestelmiä. Tärkein järjestelmä siihen käyttöön on NTDR-radiojärjestelmä (Near Term Digital Radio), jota käytetään muun muassa pataljoonien taktisissa operaatiokeskuksissa (TOC, Tactical Operations Center). Tämä järjestelmä on samalla Taktisen Internetin uusin järjestelmä.

Alemman Taktisen Internetin järjestelmän rungon muodostaa EPLRS-radiojärjestelmä (Enhanced Position Location Reporting System). Järjestelmä on tarkoitettu datan välittämiseen. Radiolaitteita löytyy alimmillaan joukkueetasolta saakka. Varsinaisina kenttäradioverkkoina toimivat SINCGARS-radioverkot (Single Channel Ground and Airborne Radio System). Niissä on pääkalustona tällä hetkellä SINCGARS SIP tai ASIP (SINCGARS Advanced Improvement Program). Nämä verkot kykenevät välittämään sekä puhetta että dataa. Tätä radiota käytetään kaikilla johtamistasoilla, ja se onkin lukumääräisesti yleisin radio järjestelmässä.



**KUVA 5: Taktisen Internetin periaatteellinen rakenne ja tasot**

Kuvasta 5 näkyy yhdysvaltalaisen Taktisen Internetin rakenne. On syytä huomata, että eri radiojärjestelmät toimivat joukkojen eri hierarkiatasoilla lähes päällekkäin. Puheradioverkkoja (SINGARS), joissa voidaan välittää myös dataa, löytyy kaikilta Taktisen Internetin tasoilta (divisiona – ryhmä). 2000-luvun alkupuolella Taktisessa Internetissä otettiin käyttöön NTDR-järjestelmä (Near Term Digital Radio) prikaatin-pataljoonan välisissä yhteyksissä. Myös EPLRS-järjestelmää on päivitetty sekä SINGARS-radiojärjestelmästä on otettu käyttöön parannettu ASIP-versio.

Seuraavan sivun taulukossa 6 on esitetty eri johtamistasoilla käytössä olevat viestijärjestelmät. Taulukosta havaitaan selkeästi, että divisiona- ja prikaatitasolla on käytössä erittäin monipuoliset viestintämahdollisuudet.

<b>Johtamistaso/ Järjestelmät</b>	<b>SINGARS SIP/ASIP</b>	<b>EPLRS</b>	<b>NTDR</b>	<b>MSE</b>	<b>MSE ATM</b>
<i>Armeijakunta</i>	X	X	-	X	X
<i>Divisioona</i>	X	X	X	X	X
<i>Prikaati</i>	X	X	X	X	X
<i>Pataljoona</i>	X	X	X	X	-
<i>Komppania</i>	X	X	-	-	-
<i>Joukkue</i>	X	X	-	-	-
<i>Ryhmä</i>	X	-	-	-	-

**TAULUKKO 6: Eri johtamistasoilla käytettävissä olevat viestijärjestelmät Yhdysvaltain maavoimissa**

#### 4.2.1. MSE- järjestelmän kuvaus

MSE-järjestelmän kuvaus perustuu lähteisiin 8 ja 81. MSE-järjestelmää on vielä palveluskäytössä lähinnä kansalliskaartin yhtymillä. Tyypillinen viidelle divisioonalle tarkoitettu Armeijakunnan MSE-verkko palvelee maksimissaan 26 100 tilaajaa pataljoonatasolta armeijakuntatasoon. Tämä koostuu:

- 8200 DNVT (Digital Non-secure Voice Terminal) puhelintilaajasta
- 1900 MSRT (Mobile Subscriber Radio Terminal) liikkuvasta radiotilaajasta ja
- 16 000 datatilaajasta.

Järjestelmä rakentuu Armeijakunnalla (AK) 22 kpl ja divisioonalla (Div) 4-6 kpl:sta NC:tä (Node Center) eli solmukeskuksia, jotka muodostavat järjestelmän rungon. Tilaaajat kytketään järjestelmään SEN/LEN-solmuilla (Small/Large Extension Node). LEN-solmuja on armeijakunnassa 9 kpl ja SEN-solmuja 264 kpl. Solmut toimivat paikallisina puhelinkeskuksina, ja tilaaajat kytketään järjestelmään niiden kautta. Liikkuvien radiotilaajien liittämiseen käytetään erityisiä RAU-asemia (Radio Access Unit), joita on yhteensä 112 kpl (13 kpl / Div, 47 kpl/AK). Yksi RAU-asema kykenee palvelemaan maksimissaan kahdeksaa yhtäaikaista radiotilaajaa, joille se tarjoaa puhelinverkon tai datansiirtopalvelut (16 kbit/s kanava, jossa datansiirtonopeus 2,4...9,6 kbit/s). Armeijakunnan MSE järjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 6.



#### 4.2.2. NTDR-järjestelmän kuvaus

NTDR on digitaalinen prikaatitaskan alapuolelle tarkoitettu pakettidataradiojärjestelmä. Tiedot järjestelmästä perustuvat lähteisiin 29, 68 ja 79. NTDR-järjestelmää on kehitetty 1990-luvun lopulta alkaen. Se toimii NATO:n Band 1 -taajuusalueella 225 - 450 MHz. Järjestelmän kanavaväli on 625 kHz ja maksimi tiedonsiirtokapasiteetti 288 - 375 kbit/s.

NTDR-verkko koostuu maksimissaan 400 radiosta sekä verkonvalvontapäätteestä ja kykenee palvelemaan noin 20\*30 km:n alueen tilaajia. Divisioonan järjestelmässä käytetään yleensä 117 radiota, joilla luodaan palvelukyky ensisijaisesti taktisille operaatiokeskuksille (TOC). Prikaatien järjestelmät liikennöivät toistensa kanssa joko NTDR-yhdyskäytävien tai Taktisen Internetin kautta. NTDR-järjestelmää käytetään ensisijaisesti prikaatin ja pataljoonan välisissä yhteyksissä. Osaa radioista voidaan käyttää releasemina pitkillä yhteysväleillä. Järjestelmän laajentaminen alemmille johtamistasoille ei ainakaan vielä ole toteutunut, mutta se on yksi mahdollinen tulevaisuuden kehityskohde.

NTDR-järjestelmän verkkoarkkitehtuuri on periaatteessa Mesh-tyyppinen, jossa jokainen solmu on yhteydessä verkon kaikkiin muihin solmuihin. Verkkomallia voidaan kutsua myös eräänlaiseksi ad hoc -verkoksi. Täydellinen yhteydessisyys ei ole mahdollista toimittaessa laajoilla alueilla, minkä vuoksi verkko on jaettu ryppäisiin eli klustereihin. Jokaisessa klusterissa on yksi radio, joka toimii klustereiden välistä liikennettä välittävänä radiona. Se kytkeytyy klustereitten välistä liikennettä välittävään klusteriin toisen radion kautta, joka muodostaa siten alueellisen klusterin. Sitä voidaan kuvata järjestelmän rungoksi.

#### 4.2.3. EPLRS-järjestelmän kuvaus

EPLRS-järjestelmän kuvaus perustuu lähteisiin 79 ja 80. Järjestelmä toimii yleiskäyttöisenä datanvälityskanavana prikaatista komppanioihin ja jopa joukkueisiin saakka. Järjestelmää käytetään tilannetiedon ja johtamiseen liittyvän tiedon välittämiseen. EPLRS-järjestelmä muodostaa tällä hetkellä alemman Taktisen Internetin rungon.



**KUVA 7: EPLRS-radio**

EPLRS VHSIC -radion (EPLRS Very High Speed Integrated Circuit) taajuusalue on 420 - 450 MHz. Järjestelmä on digitaalinen ja tarjoaa tarkan paikkatiedon sekä salauksen. Radio käyttää hajaspektritekniikkaa taajuushypynnän muodossa (512 hyppyä sekunnissa kahdeksalla taajuudella) ja käyttää TDMA-aikajakoista (Time Division Multiple Access) kanavointia. Radiossa käytetään suunta-antennia, jolla päästään noin 3 - 10 km:n yhteysetäisyyksiin.

EPLRS-radioverkko muodostuu fyysisistä radioyhteyksistä, joita käytetään loogisiin yhteyksiin eri johtoportaiden välillä. Verkkoa muodostettaessa tarvittavat yhteydet muodostetaan verkkoon valvonta-aseman toimenpitein, ja looginen verkkorakenne onkin kiinteä. Yksittäisten radioyhteyksien välityskapasiteetti on maksimissaan 128 kbit/s (valmistajan ilmoitus noin 500 kbit/s [66]), mutta tätä fyysistä kaistaa jaetaan yhteyttä käyttävien loogisten yhteyksien kesken. Operaattori voi halutessaan määrittellä yksityiskohtaisesti jokaisen yhteyden kapasiteetin jaon.

EPLRS-radiota käytetään pääasiassa tilannekeskuksissa, esikunnissa ja komentopaikoilla. Sen lisäksi sitä on asennettu komentoajoneuvoihin joukkueetasalle saakka. Se on suurikapasiteettisin datansiirtojärjestelmä joukkueesta pataljoonaan, ja sitä käytetään varmentavana datansiirtojärjestelmänä pataljoonan ja prikaatin välisessä dataliikenteessä. Radiota voidaan käyttää komentopaikkakäytön lisäksi toistinasemilla yhteysväljen etäisyyttä kasvatettaessa.

#### 4.2.4. SINCGARS-järjestelmän kuvaus

Yhdysvaltain maavoimat hankki 1990-luvun alussa noin 200 000 kpl SINCGARS-kenttäradiota [8]. Radio on hyppivätaajuinen ja täysin digitaalinen. Se kykenee sekä puheentä datansiirtoon. Ensimmäisen sukupolven SINCGARS-radion datansiirto-ominaisuudet

eivät vielä olleet riittäviä datansiirtoverkkoihin. Tämän vuoksi käynnistettiin 1990-luvun puolivälissä radion modernisointityö, jonka tuloksena oli SINCGARS SIP -radio (SINCGARS Improvement Program) [80]. Kehitystyötä on jatkettu edelleen, ja tällä hetkellä uusinta versiota kutsutaan nimellä SINCGARS ASIP (Advanced SIP) [80].



**KUVA 8: SINCGARS SIP -radion kannettava versio**

SINCGARS SIP järjestelmän tiedot perustuvat lähteeseen 80. SINCGARS-radioverkkoja käytetään sekä puheverkkoina että datanvälitykseen. Radion käyttäminen puheella viivästyttää datansiirtoa, joten sekakäyttö vaatii erittäin hyvää radioliikennekuriä. Radio toimii VHF-taajuusalueella 30 - 88 MHz. Radiosta on käytössä kannettavat ja ajoneuvoasenteiset versiot. Radiossa on GPS-rajapinta (Global Positioning System), joka mahdollistaa paikkatiedon siirtämisen radiojärjestelmää pitkin esitettäväksi tilannekuvajärjestelmissä. SINCGARS SIP -radio käyttää internet-ohjainta (INC, Internet controller) pakettidatayhteyksillä. Ohjain toteuttaa standardia MIL-STD-188-220, ja sen kautta SINCGARS SIP -radioverkot voidaan kytkä myös muihin Taktisen Internetin datansiirtojärjestelmiin.

SINCGARS-radioverkot ovat ensisijainen tiedonsiirtokanava yksittäiseltä ryhmältä komppaniaan saakka. Radioita on asennettuna ajoneuvoihin sekä komentopaikoille. Järjestelmän datansiirtokapasiteetti on maksimissaan 16 kbit/s, mutta jää käytännössä 9,6 kbit/s tasolle.

#### 4.2.5. Yhteenveto

Seuraavassa taulukossa on esitetty yhdysvaltalaisen Taktisen Internetin tiedonsiirtokapasiteetti eri johtamistasoilla. Taulukko perustuu lähteeseen 11. Taulukossa olevat arvot edustavat datansiirtonopeuksia fyysisellä tasolla. Todelliset teholliset datansiirtonopeudet ovat arviolta noin 10 % maksiminopeudesta.

<b>Järjestelmä</b>	<i>Tyypillinen johtamistaso</i>	<i>Pisteestä pisteeseen maksimi datansiirtonopeus (kbit/s)</i>
SINCGARS	Ajoneuvo – AK	16
EPLRS	Komppania - AK	128
NTDR	Pataljoona - AK	288
MSE RAU <sup>a</sup>	Pataljoona - AK	16
MSE	Pataljoona – AK	64
MSE ATM	Prikaati – AK	2048 (8192) <sup>b</sup>

<sup>a</sup> MSE Radio Access Unit, MSE järjestelmän liikkuvan radiotilaajien palvelujärjestelmä, joka mahdollistaa puheen- ja datansiirron.

<sup>b</sup> Järjestelmä mahdollistaa suluissa olevan datansiirtonopeuden, mutta sitä ei tällä hetkellä käytetä taajuus- ja kaistanleveysrajoituksista johtuen.

### **TAULUKKO 7: Yhdysvaltalaisen Taktisen Internetin järjestelmien datansiirtonopeudet**

Armeijakunnan Taktinen Internet ei tänä päivänä ole enää operatiivisessa käytössä. Ylemmän Taktisen Internetin on käytännössä korvannut JNN-N -järjestelmä. Jaottelu ylempään ja alempaan Taktiseen Internetiin on siis käytännössä lopetettu. NTDR-järjestelmän käyttö uusimmissa yhtymissä lisääntynyt, ja sitä käytetään erityisesti datayhteyksissä Pataljoonien ja Prikaatin tilannekeskusten välillä tilanteissa, joissa JNN-N -järjestelmän yhteyksiä ei ole saatavilla. Vaikka järjestelmällä on kohtuullisen hyvä datansiirtokyky, on sitä pidetty riittämättömänä tarpeeseen nähden [11]. Kuitenkin EPLRS- ja SINCGARS SIP -järjestelmien muodostamassa osassa Taktista Internetiä joudutaan tyytymään vieläkin rajoitetumpiin tiedonsiirtokaistoihin. Lähteen 11 mukaan järjestelmät kykenevät kuitenkin pääosin tyydyttämään siirtokaistatarpeen tällä hetkellä, eivätkä ne muodosta merkittävämpiä pullonkauloja kokonaisjärjestelmässä.

Verkostokeskeisyyden näkökulmasta tarkasteltuna yhdysvaltalainen Taktinen Internet toimi eräänlaisena päänavauksena järjestelmien järjestelmän luomisessa. Sen suurin ongelma oli kuitenkin käytettyjen järjestelmien teknologinen hajanaisuus ja yhteensopimattomuus. Käytännön toteutuksissa eri järjestelmät tukivat kuitenkin loppujen lopuksi vain hierarkisen organisaation eri johtoportaiden tiedonsiirtoa. Varsinaista verkostoajattelua ei järjestelmällä kyetty missään vaiheessa toteuttamaan.



#### 4.3. Stryker-prikaatin tiedonsiirtojärjestelmä

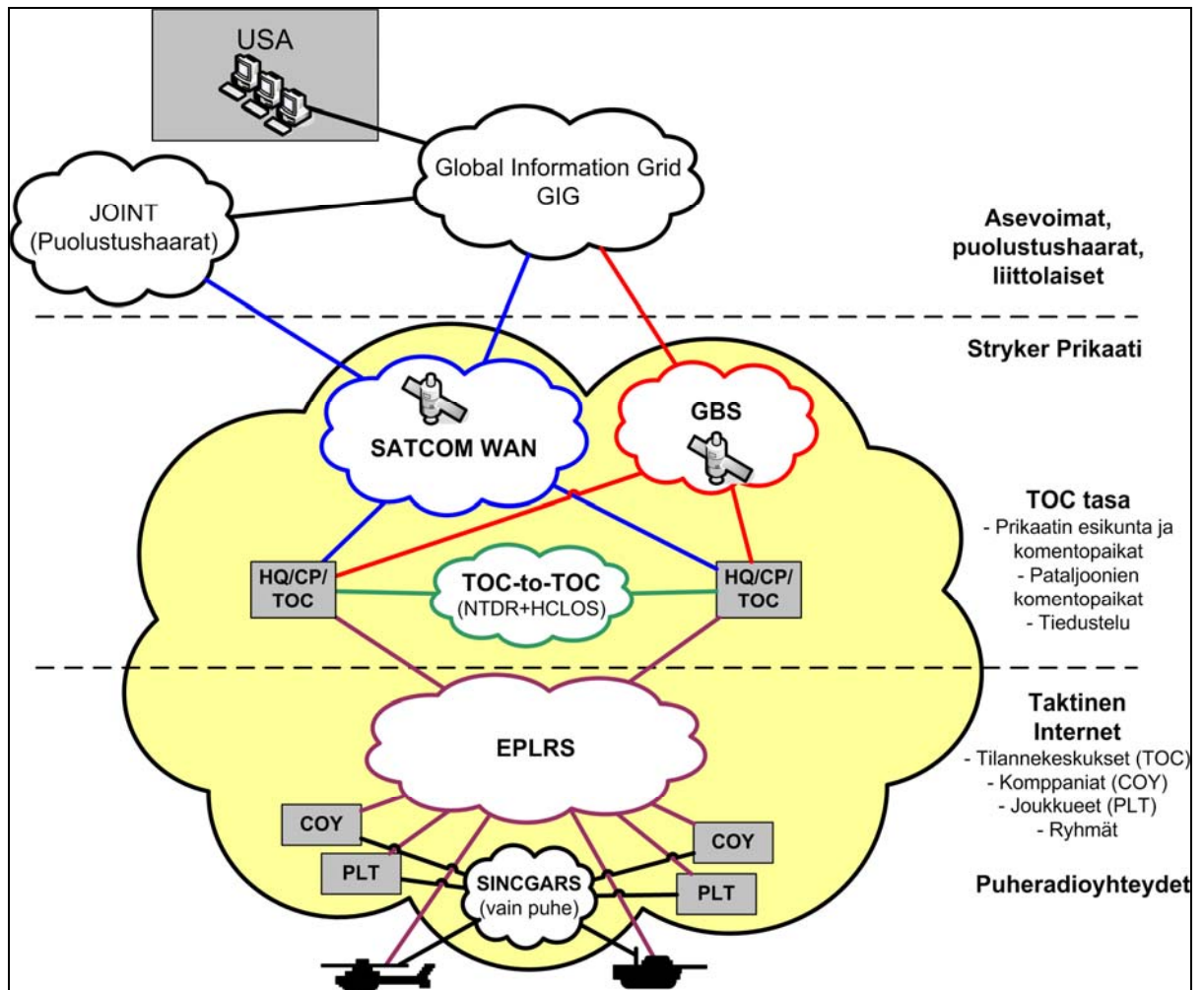
Stryker-prikaati on keskiraskas jalkaväkiprikaati ja samalla Yhdysvaltain maavoimien uusin joukkotyyppejä. Prikaati on tarkoitettu tunkeutumiseen (entry force) uudelle taistelualueelle erityisesti ilmakuljetuksilla. Koko prikaati kyetään siirtämään ilmakuljetuksilla lähes minne tahansa 72 tunnissa. Nämä suorituskykymäärittelyt vaikuttavat koko prikaatin rakenteeseen merkittävästi. Stryker-prikaatilla on merkittävän hyvä tiedustelu-, valvonta- ja maalittamiskyky. Sen johtamisjärjestelmä on uudenaikainen ja sen organisaatiota rakennettaessa on noudatettu verkostokeskeisten operaatioiden (NCO, Network Centric Operaatioiden) konseptia. Tiedonsiirtojärjestelmiin liittyen koko prikaatin kaluston suunnittelua on ohjannut periaatteellisella tasolla liitettävyyden tietoverkkoon. Näin ollen Stryker-prikaatia voidaan tarkastella todellisena verkostoituneena sotajoukkona. Tämä viestijärjestelmän esittely perustuu lähteisiin 26 ja 74 sekä komentopaikkojen tiedonsiirtojärjestelmien osalta lähteeseen 9.

Johtamistaso/ Järjestelmät	SINGGARS	EPLRS	NTDR	HCLDS	SPTFIRE	GBS	SMART-T	TROJAN SPIRIT
<i>Prikaatin esikunta</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Pr etukomentopaikka</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Tukipataljoona</i>	X	X	X	X	X	X	X	-
<i>Tiedustelupataljoona</i>	X	X	X	-	X	X	-	X
<i>Jalkaväkipataljoona</i>	X	X	X	-	X	X	-	-
<i>Komppania</i>	X	X	X	-	X	-	-	-
<i>Joukkue</i>	X	X	-	-	-	-	-	-
<i>Ryhmä</i>	X	(X)	-	-	-	-	-	-

**TAULUKKO 8: Stryker-prikaatin eri johtamistasoilla käytettävissä olevat viestijärjestelmät**

Stryker-prikaatin tiedonsiirtoverkko koostuu viidestä aliverkosta: SATCOM (Satellite Communications), laajan alueen verkko (WAN, Wide Area Network), tilannekeskusten välisestä verkosta (TOC-to-TOC), Taktisesta Internetistä, Kenttäradioverkosta (puhe) sekä GBS-verkosta (Global Broadcast System). Kaikilla näillä verkon osilla on keskeinen rooli Stryker-prikaatin elementtien yhteenliittämisessä. Näiden lisäksi Stryker-prikaatin järjestelyissä on kiinnitetty erityistä huomiota erilaisten johtamis- ja komentopaikkojen varusteluun. Niiden

käyttöön on kehitetty erityinen SWLAN-järjestelmä (Secure Wireless Local Area Network). Se perustuu kaupalliseen WLAN-teknologiaan (Wireless Local Area Network), jota on modifioitu taistelukentälle sopivaksi. Seuraavassa kuvassa on esitettyinä Stryker-prikaatin viestijärjestelmä. SWLAN-järjestelmää ei ole huomioitu kuvassa sen paikallisen luonteen vuoksi.



**KUVA 9: Stryker-prikaatin viestijärjestelmä**

#### 4.3.1. SATCOM WAN -verkon kuvaus

Stryker-prikaatilla on käytössään monipuoliset satelliittiyhteydet. Ne muodostuvat neljän eri satelliittijärjestelmän yhteyksistä. Satelliittiyhteydet muodostuvat Milstar EHF -järjestelmän (Extremely High Frequency) pisteestä pisteeseen datayhteyksistä SMART-T -järjestelmän (Secure Mobile Antijam Reliable Tactical Terminal) päätelaitteisiin (sotilassatelliitti), UHF-datayhteyksistä (Ultra High Frequency) ”Spitfire”-pätelaitteisiin komentoajoneuvoissa (sotilassatelliitti) sekä Trojan Spirit -järjestelmän pisteestä pisteeseen datayhteyksistä kaupallises- sa satelliittiverkossa. Trojan Spirit -järjestelmän avulla ylläpidetään myös yhteyksiä kansalli-

seen tiedusteluun kotimaassa ja välitetään tiedustelukuvia sekä miehittämättömien lennokkien tuottamaa kuvamateriaalia taktisten yksiköiden välillä.



**KUVA 10: Milstar SMART-T -pääteleajoneuvo**

Milstar SMART-T -järjestelmä on käytetyistä satelliittijärjestelmistä taistelunkestävin. Sen yhteydet kestävät esimerkiksi elektronista häirintää. Järjestelmää käytetään prikaatin liittämiseen ylempiin johtoportaisiin sekä itse prikaatin tärkeimpien johtamispaikkojen välisten yhteyksien varmistamiseen. SMART-T -päätteitä on prikaatilla kolme kappaletta, ja ne sijoitetaan yleensä prikaatin esikunnan tilannekeskukseen, etukomentopaikan tilannekeskukseen sekä tukipataljoonaan. Tarvittaessa tätä sijoittelua voidaan muuttaa, ja tällöin esimerkiksi painopistesuunnan pataljoonan yhteydet voidaan varmistaa järjestelmällä. SMART-T -järjestelmä tarjoaa noin 1,5 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden näiden pisteiden välille. Sitä ei voida kuitenkaan käyttää pääteleajoneuvon liikkuesssa.



**KUVA 11: Spitfire eli AN/PSC-5 UHF-alueen satelliittiradio**

Stryker-prikaatin komentoajoneuvot ovat varustettu myös Spitfire-satelliittiradioilla sekä mobiilikäytön mahdollistavilla antennirakenteilla. Näitä radioita prikaatilla on käytössä 78

kpl. Ne mahdollistavat tyypillisesti alle 24 kbit/s -datayhteyden ja niitä käytetään tavallisesti ABCS-tietojärjestelmän (Army Battle Command System) tilannekuvan välittämiseen.



**KUVA 12: Trojan Spirit -järjestelmän päätelaitteistot**

Trojan Spirit -satelliittijärjestelmän yhteydet perustuvat kaupallisten satelliittipalveluntarjoajien palveluiden hyödyntämiseen. Järjestelmän avulla luodaan kentällä olevista tiedustelujoukoista yhteydet kansallisiin tiedusteluelementteihin sekä heidän tietokantoihinsa [74]. Näin ollen se takaa prikaatille mahdollisimman hyvän tiedustelukuvan taistelukentästä. Stryker-prikaatille osoitettujen järjestelmien määrä ei ole tiedossa, mutta järjestelmä on käytössä ainakin prikaatin esikunnassa, etukomentopaikalla ja tiedustelupataljoonassa. Sitä kyetään käyttämään prikaatin sisäisesti muun muassa lennökkikuvan sekä muun itse hankitun kuvamateriaalin välittämiseen.

#### 4.3.2. Tilannekeskusten välisen verkon kuvaus

Stryker-prikaatin tilannekeskusten välinen verkko muodostetaan NTDR-järjestelmällä. Yhdellä prikaatilla on käytössään 57 NTDR-radiota. Liitettäviä tilannekeskuksia sijaitsee prikaatin esikunnassa, prikaatin etukomentopaikalla, tukipataljoonassa, jalkaväkipataljoonissa (4) sekä tiedustelupataljoonassa. Näiden lisäksi kyseistä radiota löytyy osasta prikaatin 39 komentoajoneuvosta sekä tietyistä prikaatin viestikomppanian releointiajoneuvoista.

Stryker-prikaati on varustettu NTDR-radion uusimmalla versiolla. Tämä radio kykenee toimimaan kahdessa eri toimintatilassa: verkkotilassa sekä pisteestä pisteeseen -tilassa. Pisteestä pisteeseen -tilassa yhteyden maksiminopeus voi olla jopa 8 Mbit/s. Verkkotilassa radiot toimivat yhdessä verkossa, jossa maksimi lähetysnopeus määräytyy yhteyksien laadun perus-

teella. Kun radiota käytetään ympärisäteilevillä antennilla, yhteyksillä saavutetut siirtonopeuden jäävät yleensä 28,8 kbit/s tasolle [26].

Stryker-prikaatilla on käytössään myös muutamia HCLOS-linkkiradioita (High Capacity Line-Of-Sight) sekä BSN-tilaajasolmuja (Brigade Subscriber Node). HCLOS-linkkiradion välänopeus on 8192 kbit/s. Näitä tilaajasolmuja käytetään prikaatin esikunnassa, prikaatin etukomentopaikalla sekä tukipataljoonassa. Solmut yhdistetään toisiinsa suorilla yhteyksillä HCLOS-linkkiradion avulla. Tämä järjestely takaa suurikapasiteettiset datayhteydet prikaatin esikunnan osien välillä sekä prikaatin esikunnasta huoltoon. Se mahdollistaa samalla perinteiset puhelinyhteydet mainittujen johtoportaiden välillä.

#### 4.3.3. Taktisen Internetin kuvaus

Stryker-prikaatin Taktinen Internet muodostetaan yksinomaan EPLRS-järjestelmällä. Täten se poikkeaa aikaisemmin esitetystä alemmasta Taktisesta Internetistä, jossa myös SINC-GARS-radioiden datansiirtokykyä hyödynnettiin. Stryker-prikaatissa käytössä olevan EPLRS-radion maksimitiedonsiirtonopeus on 57,6 kbit/s. Käytännössä ympärisäteilevällä antennilla varustettujen radioiden tiedonsiirtonopeus jää 14,4 kbit/s -tasolle. Tämä tiedonsiirtonopeus kuitenkin riittää lähteen 26 mukaan sille tarkoitettuun käyttöön.

Taktista Internetiä käytetään tilannekuvan välittämiseen FBCB2-tietojärjestelmän (Force XXI Battle Command: Brigade and Below) avulla. Taktisessa Internetissä välitetään siis FBCB2-tietojärjestelmän tarvitsemää tilannekuvatietoa omista ja vihollisista, tekstiä sekä muuta dataa. Kaikissa Stryker-prikaatin komentoajoneuvoissa aina joukkueetasolle saakka sekä kahdessa jalkaväkijoukkueiden neljästä ajoneuvosta on asennettuna FBCB2-järjestelmän pääte yhdessä EPLRS-radion kanssa. Tämän yhdistelmän on tarkoitus taata tilannetiedon nopea välitys kaikissa tilanteissa.

#### 4.3.4. GBS-verkon kuvaus

GBS-verkon kuvaus perustuu lähteeseen 24. GBS-satelliittijärjestelmä perustuu kaupalliseen broadcast-tekniikkaan, jolla mahdollistetaan suurien datamäärien jakaminen käyttäjiltä joko Yhdysvalloista tai operaatioalueella sijaitsevasta lähetyspisteestä käsin. Järjestelmän toimintaperiaatteena on hyödyntää laajakaistaista ja tehokasta satelliittilähetettä datan välittämiseen pienellä vastaanottoantennilla varustettuihin sekä halpuihin käyttäjäpäätelaitteisiin. Lähetteet ovat ajastettuja, eikä niiden aktivointi vaadi vastaanottajan toimenpiteitä. Järjestelmää käytet-

tiin ensimmäisen kerran Bosnian rauhanturvaoperaatiossa vuonna 1996 nimellä Joint Broadcast System (JBS).

GBS-järjestelmän kapasiteetti transponderia kohden on 24 Mbit/s. Järjestelmää käytetään Stryker-prikaatissa esimerkiksi sääennusteen, videoiden, erilaisten kuvamateriaalien, digitaalisten karttojen ja satelliittikuvien sekä kansallisen materiaalin lähettämiseen käyttäjille. GBS-järjestelmän vastaanottimia sijaitsee prikaatin esikunnassa, etukomentopaikalla, tukipataljoonassa, tiedustelupataljoonan tilannekeskuksessa sekä kolmen jalkaväkipataljoonan tilannekeskuksessa.

#### 4.3.5. Kenttäradioverkon kuvaus

Stryker-prikaatin kenttäradioverkoissa käytetään SINCGARS ASIP -radioita. Kyseisen radion datansiirto-ominaisuuksia ei käytetä, vaan verkot on varattu pelkkään puheliikenteeseen. Kyseisiä radioita on asennettu kaikkiin prikaatin panssaroiuihin ajoneuvoihin sekä pääosaan muista ajoneuvoista. Taktisen Internetin käyttäminen tilannetietojen välittämiseen muuttaa puheradioverkkojen roolia merkittävästi. Niiden käytössä korostuukin erityisesti johtamistoiminta sekä yhteydenpito.

#### 4.3.6. Johtamispaikkojen SWLAN-järjestelmän kuvaus

SWLAN on Yhdysvaltain maavoimien hanke, joka on tuottanut johtamispaikoille sopivan langattoman COTS-teknologiaan perustuvan tiedonsiirtojärjestelmän. Se perustuu pohjimmiltaan IEEE 802.11-standardin (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) mukaiseen aaltomuotoon. Järjestelmää on kehitetty ottamalla käyttöön erittäin voimakkaasti suuntaavat antennit havaittavuuden (LPD, Low Probability to Detect) ja häiritävyyden (LPI, Low Probability to Intercept) pienentämiseksi sekä merkittävästi alkuperäistä kehittyneempi salaus. Järjestelmän tarkoituksena on toimia tietoturvallisena ja erittäin helposti pystytettävänä yhteysjärjestelmänä etenkin tulevaisuuden FCS-ympäristössä. Järjestelmällä voidaan tarvittaessa korvata etenkin prikaatin esikunnan sekä pataljoonien esikuntien komentopaikkaajoneuvojen väliset valokaapeliyhteydet, ja siten saavuttaa suurempi joustavuus liikkeen suhteen. SWLAN on suunniteltu tarjoamaan 5 Mbit/s-nopeudella toimiva yhteys johtamisajoneuvojen välillä 1 km:n etäisyydelle. Yhden Stryker-prikaatin varustukseen kuuluu 44 SWLAN-järjestelmää, jotka mahdollistavat kaikkien tärkeimpien komentopaikkaajoneuvojen liittämisen tarvittaessa toisiinsa.

#### 4.3.7. Keskeiset havainnot Stryker-prikaatin tiedonsiirtojärjestelmästä

Stryker-prikaati on varsin kevyesti varustettu ja liikkuva joukko. Sen keskeiset ominaisuudet ovat ilmakuljetteisuus, suhteellisen suuri tulivoima, tilannetietoisuus sekä suhteellisen moderni tiedonsiirtojärjestelmä. Tiedonsiirtojärjestelmän keskeinen piirre on verkottumiskyky, joka on myös keskeinen suorituskykyvaatimus kaikille Stryker-prikaatin järjestelmille. Tiedonsiirtojärjestelmät ovat myös suhteellisen riippumattomia yleisestä infrastruktuurista, sillä sen liitynnät muihin toimijoihin toteutetaan satelliittijärjestelmillä. Prikaatilla ei varsinaisesti ole omaa runkoviesticoverkkoa, vaan pääosa tiedonsiirtojärjestelmien laitteistoista on sijoitettu johtamispaikkojen yhteyteen. Tämän vuoksi järjestelmää ylläpitävää erikoishenkilöstöä tarvitaan varsin vähän.

Stryker-prikaatin tiedonsiirtojärjestelmän suurimmat ongelmat liittyvät sen tiedonsiirtoyhteyksien kapasiteettiin. Esimerkiksi jalkaväkijoukkojen sisäisten yhteyksien kapasiteetti ei mahdollista vaativampia datalähettyksiä, esimerkiksi laajojen suunnitelma-asiakirjojen lähetyksiä. NTDR-järjestelmän rajallinen tiedonsiirtokyky aiheuttaakin mahdollisen pullonkaulan pataljoonien ja prikaatin väliseen tiedonsiirtoon. Tämän ongelman ratkaisemiseksi Stryker-prikaatia on suunniteltu varustettavan kaupallisilla VSAT-satelliittilaitteistoilla, jotka mahdollistavat keskimäärin 128 kbit/s datayhteydet kahden pisteen välillä [SBCT].

<b>Järjestelmä</b>	<b><i>Tyypillinen johtamistaso</i></b>	<b><i>Käytännön/teoreettinen datansiirtonopeus (kbit/s)</i></b>
SINCGARS	Ajoneuvo – Pr	<b>ei käytetä datansiirtoon / 16</b>
EPLRS	Ajoneuvo – Pr	<b>14,4 / 57,7</b>
NTDR	Komppania – Pr	<b>28,8 / 288 / 8192</b>
HCLOS	Kaksi yhteysväliä	<b>8192</b>
SPITFIRE	Komppania – Pr	<b>24 / 48</b>
GBS	Pataljoona – Pr	<b>24 Mbit/s vastaanotto</b>
SMART-T	Kolme laitteistoa	<b>1500</b>
TROJAN SPIRIT	Oletus: kolme laitteistoa	ei ilmoitettu
SWLAN	Pataljoonat ja Pr	<b>5 000</b>

**TAULUKKO 9: Stryker-prikaatin tiedonsiirtojärjestelmien datansiirtonopeudet**

Liikkuvuudeltaan Stryker-prikaatin tiedonsiirtojärjestelmä on varsin heterogeeninen. Koko tiedonsiirtojärjestelmän siirtymiskyky on erittäin hyvä. Tiedonsiirtojärjestelmä on pääosin

integroitu prikaatin ajoneuvoihin, joten se siirtyy helposti joukon mukana. Johtamisajoneuvot on varustettu järjestelmillä, jotka mahdollistavat komentopaikkojen ja esikuntien toiminnan ilman kaapeliyhteyksiä. Järjestelmän tilaajien liikkuvuudessa sen sijaan kohdataan haasteita. Kaikki suurikapasiteettisen järjestelmät mahdollistavat yhteydet vain paikalla oltaessa. Pienikapasiteettisemmat järjestelmät mahdollistavat paremman liikkuvuuden. Satelliittijärjestelmistä Spitfire-laitteistot mahdollistavat yhteydenpidon myös liikkeen aikana, mutta maaston ja liikkeen voidaan arvioida vaikuttavan myös näiden yhteyksien laatuun. Taktisen Internetin (EPLRS) sisällä tilaajien liike on varsin vapaata, sillä verkkorakenne konfiguroituu automaattisesti. Sen sijaan maastoesteet saattavat vaikuttaa yhteydessyyteen ja datansiirtonopeuksiin erittäin haitallisesti. Kokonaisuutena järjestelmän liikkuvuuden voidaan kuitenkin arvioida edustavan erittäin hyvää tasoa.

Kantamien osalta Stryker-prikaatin satelliittijärjestelmien kantamia rajoittaa lähinnä käytettyjen satelliittien sijainti taivaalla. Yleisesti ottaen niillä kyetään toimimaan missäpäin maailmaa tahansa. Maanpäällisillä järjestelmillä tilanne on toinen. Ne ovat erittäin riippuvaisia maastonmuodoista, rakennusten määrästä sekä maaston peitteisyydestä. Esimerkiksi Taktisen Internetin taajuusalueella metsämaasto on erittäin vaikea toimintaympäristö. Lähteen 40 mukaan tiheän metsän vaimentava vaikutus 500 MHz:n taajuusalueella on 0,1 dB/m, eli noin 50-kertainen verrattuna Eglin etenemisvaimennusmallin mukaiseen normaaliin etenemisvaimennukseen. Metsäisen maaston voidaan siten olettaa lyhentävän yhteysetäisyyksiä merkittävästi. Sama koskee kaupunkimaastoa, jossa myös erilaiset heijastukset saattavat lisätä yhteyksien datavirheitä merkittävästi muuten hyvillä yhteysväleillä. Näiltä osin operaatioalueen ominaisuudet ovatkin merkittävimmät järjestelmän suorituskykyyn vaikuttavat tekijät.

Verkostokeskeisen ajattelun kannalta Stryker-prikaatin viestijärjestelmä vaikuttaa oikean suuntaiselta ratkaisulta. Yhtenäisen tilannekuvajärjestelmän käyttäminen kaikilla johtamisen tasoilla mahdollistaa tiedonsiirron kannalta parhaan käyttöön saatavan yhteyden hyödyntämisen kussakin tilanteessa. Kaikkia käytettäviä järjestelmiä ei kuitenkaan ole verkotettu osaksi kokonaisuutta, vaan niitä käytetään esimerkiksi johonkin erityiskäyttöön. Tällainen toteutustapa ei tue parhaalla mahdollisella tavalla verkostoituneen kokonaisuuden muodostamista. Johtamisen ja suunnittelun toteutuksen kannalta järjestelmä mahdollistaa osin kollaboratiivisen toimintatavan, mikä on keskeinen edellytys verkostokeskeiseltä järjestelmältä.

Vaikka verkostoitumiseen liittyvät tiedonsiirtojärjestelmän keskeiset ominaisuudet, kuten liikkuvuus, yhteysetäisyydet ja tiedonsiirtokapasiteetit, edustavatkin tällä hetkellä sotilaallisten järjestelmien parasta tasoa, eivät ne kuitenkaan ole vielä samalla tasolla siviilissä käytet-



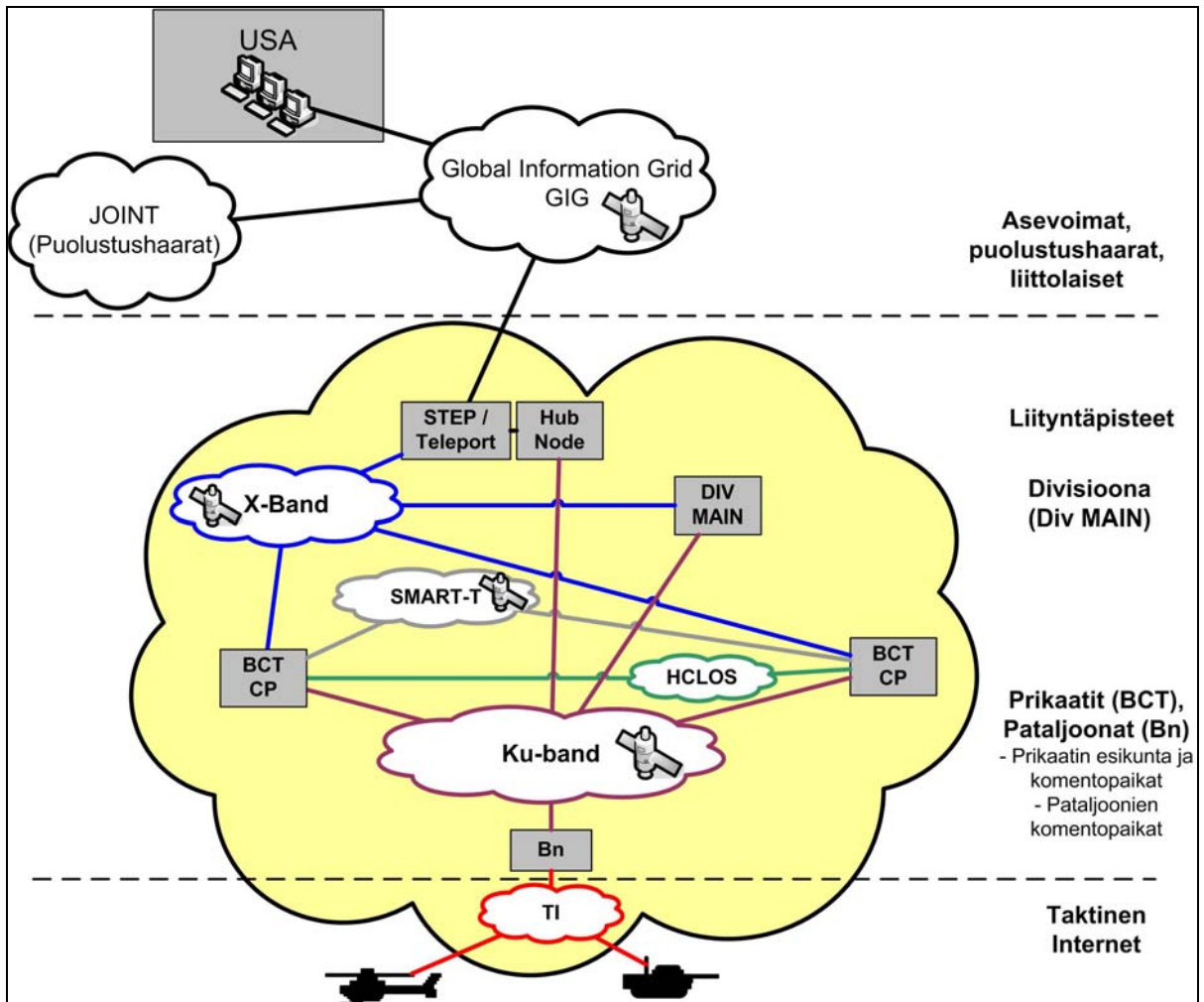
tävien matkaviestinjärjestelmien kanssa. Tämä seikka on huomioitu tulevaisuuden kehitysuunnitelmissa. Stryker-prikaatin viestijärjestelmä on kuitenkin yksi merkittävä kehitysvaihe polulla kohti FCS-joukkoja. Kokonaisuutena se edustaakin tällä hetkellä yhtä kehittyneimmistä nykyaikaisista viestijärjestelmistä.

#### 4.4. JNN-N -viestijärjestelmä

JNN-N järjestelmä on tällä hetkellä operatiivisessa käytössä pääosissa Yhdysvaltain maavoimien yhtymissä (divisioonat), ja erityisesti Irakin operaatioissa se on koko tietoliikenneverkon selkäranka. Se on käytännössä osoittautunut erittäin suorituskykyiseksi, ja sen katsotaan tyydyttävän tällä hetkellä käyttäjien tarpeen. JNN-N -järjestelmän menestys on vaikuttanut samanaikaisesti kehitteillä olevan WIN-T -järjestelmän kehitykseen merkittävästi. Vuoden 2006 aikana Yhdysvalloissa käytiin vilkasta keskustelua näiden JNN-N -järjestelmän ja WIN-T -hankkeiden suhteesta. Tällä hetkellä tilanne näyttää rauhoittuneen, sillä lähteen 42 mukaan JNN-N voidaan nähdä loogisena kehitysaskeleena kohti tavoitetta eli WIN-T -järjestelmää. Seuraavissa alaluvuissa kuvataan JNN-N -järjestelmän rakenne. Kuvaus perustuu lähteeseen 14.

##### 4.4.1. JNN-N järjestelmän yleiskuvaus

JNN-N -järjestelmä on täysin COTS-laitteistoihin perustuva laitteistokokonaisuus, joka on asennettu kuljetettaviin suojiin (ajoneuvokontit) sekä niihin liittyviin kuljetuslaatikoihin. Yhteen järjestelmään kuuluu viisi kommunikaatiosolmua, laitteistojen kuljetuslaatikot ja Kuttaajuusalueen (12 - 18 GHz) kuljetettavia satelliittiterminaaleja. Satelliittiterminaaleja on käytössä kaikissa järjestelmän solmuissa pataljoonasta divisioonaan. JNN-N -järjestelmän solmut voidaanankin liittää toisiinsa satelliitti- ja maanpäällisillä yhteyksillä. Solmut ja niitä yhdistävät yhteydet muodostavat divisioonan ja prikaatin aina pataljoonien komentopaikkojen tasalle saakka ulottuvan JNN-verkon.



**KUVA 13: JNN-N järjestelmän rakenne**

Kuvassa 13 on esitettyä JNN-verkon periaatteellinen rakenne. Järjestelmän keskeisiä rakenteita ovat liityntäpiste-solmu (pääsy GIG-verkkoon ja puolustuksen palveluihin), eri johtamistasojen johtamispaikkarakenteet sekä erilaiset, pääasiassa satelliittipohjaiset siirtojärjestelmät. Taktinen Internet pataljoonien sisäisenä järjestelmänä ei varsinaisesti kuulu JNN-verkkoon, vaikka se esiintyykin kuvassa. Seuraavissa alaluvuissa esitellään nämä rakenteet.

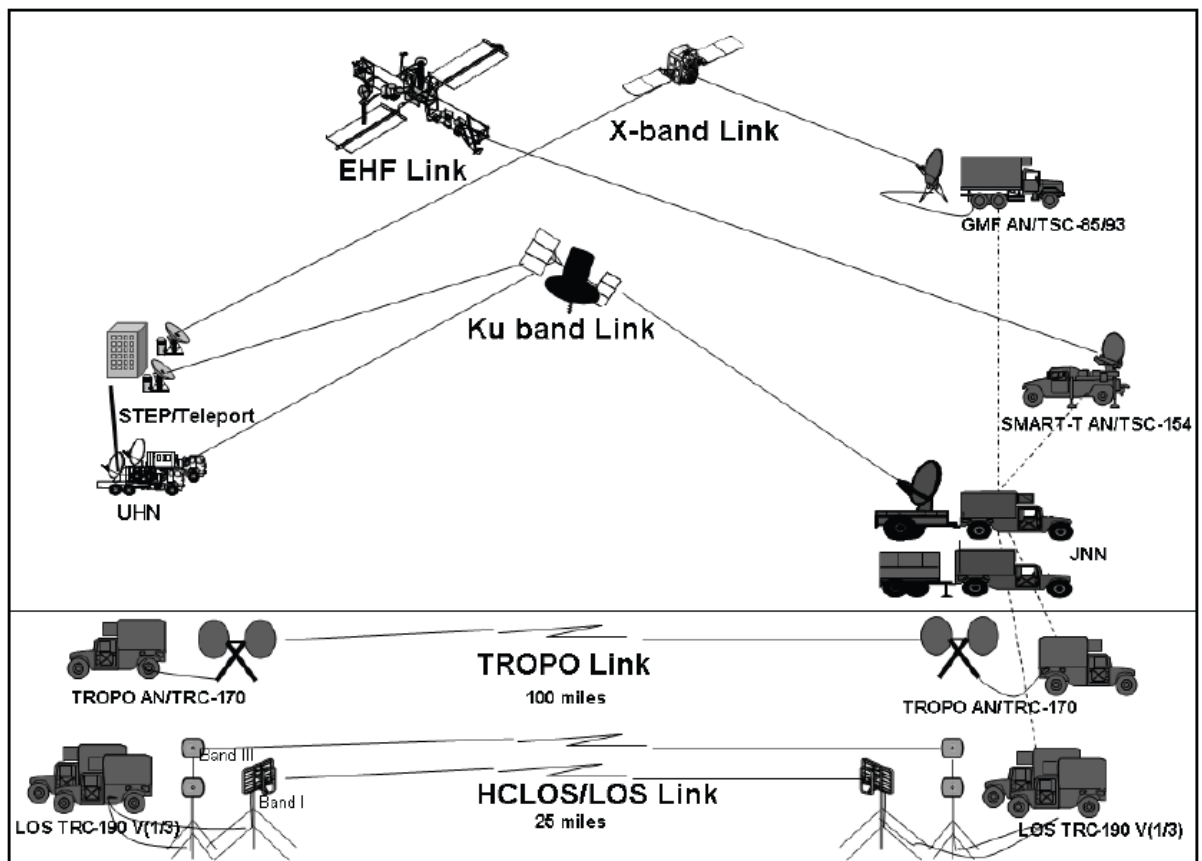
#### 4.4.2. JNN-verkon liittyminen GIG-verkkoon

Pääsy JNN-N -järjestelmästä GIG-verkkoon ja puolustuksen palveluihin on järjestetty yhden pisteen kautta. Tätä pistettä kutsutaan nimellä STEP/Teleport (Standard Tactical Entry Point / Teleport). Sen kautta Divisioona saa käyttöönsä muun muassa asevoimien tietojärjestelmäpalvelut sekä pääsee liittymään asevoimien kytkentäiseen puhelinverkkoon. UHN (Unit Hub Node) on keskeinen piste joukkojen välisen tietoliikenteen kannalta. Siellä yhdistetään divisioona- ja prikaatitasolta tuleva taajuusjakoinen FDMA (frequency division multiple access)

ja pataljoonatasoon TDMA (time division multiple access) satelliittiarkkitehtuuri. Näin ollen UHN mahdollistaa näiden erilaisten järjestelmien toimimisen yhtenä järjestelmänä.

#### 4.4.3. JNN-N järjestelmän siirtoverkko

JNN-N järjestelmän siirtoverkko perustuu pääasiassa eri taajuusalueiden satelliittijärjestelmien hyödyntämiseen. Järjestelmä hyödyntää poikkeuksellisen tehokkaasti niin kaupallisia kuin sotilaallisiakin järjestelmiä. Tällä menettelyllä on päästy tilanteeseen, jossa varmentavia järjestelmiä voidaan katsoa olevan kaikkiin tilanteisiin riittävä määrä. Tällöin yksittäisen järjestelmän toimintahäiriö ei lamautu kokonaisuutta. Sotilaalliset satelliittijärjestelmät (SMART-T) puolestaan tuovat mukanaan häirinnänsietoa sekä paremmin perinteiselle taistelukentälle sopivat radiotaajuisten lähetteen aaltomuodot. Näin ollen järjestelmän toimintakyky myös perinteisissä sotilasoperaatioissa voidaan arvioida riittäväksi. Seuraavissa kappaleissa esitellään siirtojärjestelmän osat.



**KUVA 14: JNN verkon ilmarajapintaa hyödyntävät yhteystavat [14]**

Ku-taajuusalueen satelliittijärjestelmä on kyseistä 12 - 18 GHz:n taajuusaluetta hyödyntävä kaupallinen satelliittiverkko. Järjestelmän päätelaitteet on toimittanut yhdysvaltalainen yritys DataPath inc. Operaatioalueen Ku-verkko on jaettu kahteen toiminnalliseen osaan, jotka pe-

rustuvat erilaiseen teknologiaan. Koko Ku-verkon tiedonsiirtonopeus on 76 Mbit/s, joka jaetaan toiminnallisille osille. Divisioonan ja prikaatien esikuntien välillä hyödynnetään taajuusjakoista signaalin modulointia. Kunkin esikunnan käytössä oleva kaistanleveys riippuu tilanteesta, mutta kokonaiskaistanleveyttä on käytössä noin 36 Mbit/s. Pataljoonien esikunnat on puolestaan liitetty aikajakoisella tekniikalla toimivaan satelliittiverkkoon. Pataljooniin sijoitettu satelliittipääte mahdollistaa maksimissaan 4 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden. Kokonaisuudessaan pataljoonille on käytössä 40 Mbit/s-kapasiteettinen kaista, joka jaetaan niille tilanteen mukaisesti.

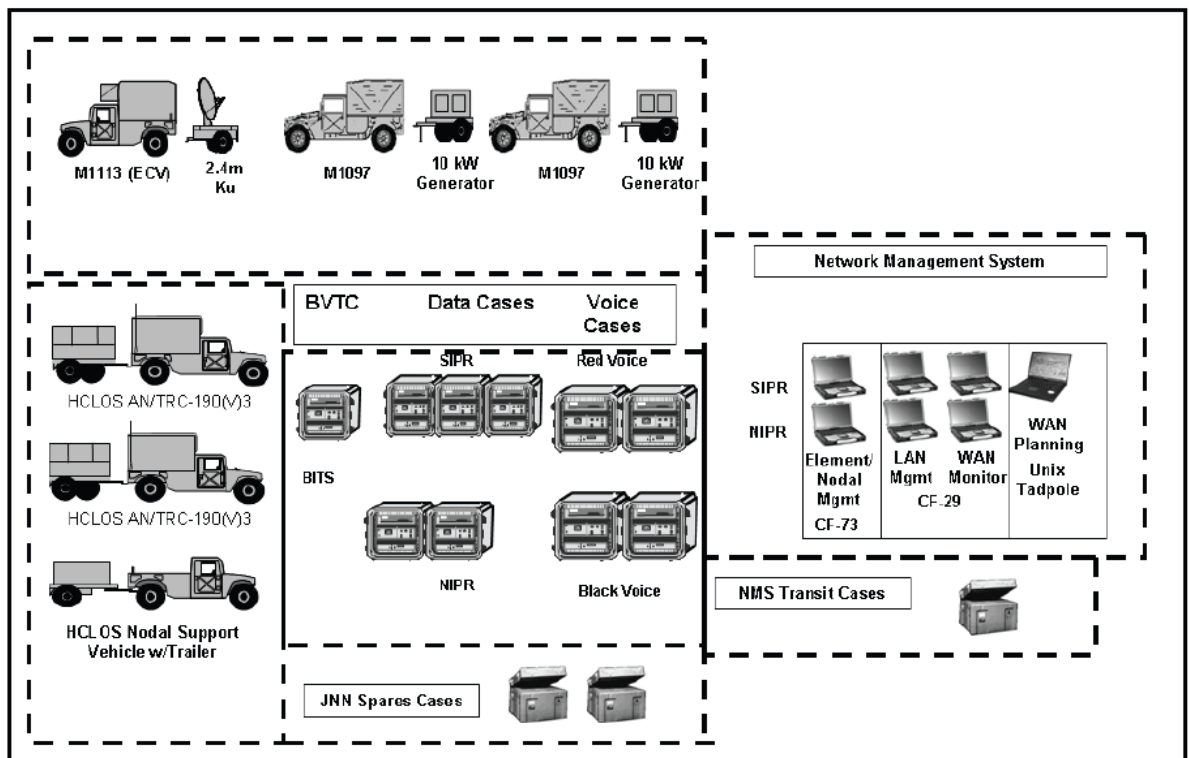
X-taajuusalueen satelliittijärjestelmä perustuu taajuusalueella 7 - 12,5 GHz toimivaan sotilas-satelliittiverkkoon sekä AN/TSC-85 taktiseen satelliittiterminaaliin. Järjestelmä varmentaa JNN-verkon muita yhteyksiä sekä sen kautta voidaan toteuttaa tarvittavia verkon palvelulajennuksia suoraan Teleport:ista JNN-solmuille. AN/TSC-85-pääte kykenee datan- ja puheenvälitykseen sekä toimimaan solmuna verkossa tai pisteestä pisteeseen -tyyppisenä järjestelmänä. Myös SMART-T -satelliittipäätteiden (AN/TSC-154) käyttö JNN-verkossa on mahdollista. Niitä voidaan käyttää varmentamaan järjestelmää erityisesti tilanteissa, joissa on ilmeistä, että verkon toimintaan kohdistuu vastapuolen toimenpiteitä.

JNN-verkko kykenee tarvittaessa hyödyntämään myös maayhteyksiä. Maanpäällisten yhteyksien toteuttamiseksi järjestelmään on rakennettu rajapinnat muun muassa HCLOS-linkkiradioille AN/TRC-190(V3) ja AN/TRC-190 (V1). Niiden lisäksi voidaan järjestelmään liittää tropolinkki (TROPO) AN/TRC-170. Radiolinkeillä rakennettujen yhteyksien maksimietäisyys on tyypillisesti noin 40 km maastosta riippuen. Tropolinkillä päästään noin 150 km:n yhteysetäisyyteen, mutta sen yhteysnopeus on maksimissaan noin 1 Mbit/s. Tavanomaiseen Divisioonan järjestelmään kuuluu divisioonalle kolme HCLOS-jännettä (kolme yhteyttä, kuusi radioajoneuvoa) ja sen alaisilla prikaateilla on kaksi jännettä kullakin. Niitä käytetään tarvittaessa tuomaan lisäkapasiteettia kriittisiin pisteisiin tai alueilla, joilla satelliittiyhteydet eivät toimi luotettavasti. Tropolinkkilaitteistoja ei JNN-verkkoon kuulu vakiokoonpanossa lainkaan, mutta tehtävän ja maaston niin vaatiessa voidaan niitä joukolle osoittaa.

Viimeisenä merkittävänä siirtoverkon elementtinä ovat langalliset yhteydet. JNN-verkko kykenee käyttämään solmujen välillä myös kaapeliyhteyksiä, jos sellaisia on tarjolla. Useimmissa tilanteissa kaapeliyhteyksiä ei kuitenkaan kyetä käyttämään solmujen välillä niiden suurten välimatkojen vuoksi.

#### 4.4.4. JNN-verkon johtamispaikkainfrastruktuurit

JNN-verkolla varustetulla divisioonan järjestelmä koostuu viidestä laajemmasta JNN-solmusta. Yksi solmu puolestaan muodostuu modulaarisesti erilaisista verkkoelementeistä. Tyypillisiä verkkoelementtejä ovat siirtoyhteyksiä (satelliitti ja maanpäälliset yhteydet) varten olevat viestilaitetilalla varustetut ajoneuvot sekä siirreltävät sähkövoimageneraattorit. Näiden lisäksi kunkin solmun mukana tulevat laitteistot esikunnan tai komentopaikan palvelemiseen. Nämä laitteistot on sijoitettu niin sanottuihin kuljetuslaatikoihin, jotka toimivat samalla fyysisenä asennusympäristönä sekä suojana olosuhteiden vaikutuksia vastaan. Kuvassa 14 on esitetty JNN-solmuun liittyviä laitteistoja. Tulee kuitenkin huomioida, että JNN-solmujen kokoonpano vaihtelee niiden tehtävän mukaan.



**KUVA 15: JNN ja siihen liittyviä laitteistoja [14]**

Kaikki tilaajat liitetään JNN-solmuun. Pääasiallinen menetelmä tilaajien liittämiseksi on LAN-yhteys (Local Area Network). Lähteen 7 mukaan tilaajien liittäminen JNN solmuun on käytännössä osoittautunut vaikeimmin toteutettavaksi osaksi järjestelmää. Laajojen alueiden kaapeloiminen vaatii runsaasti aikaa sekä työhön sopivaa kalustoa ja materiaalia. Näitä elementtejä ei ole sisällytetty osaksi JNN-solmua. Tällä hetkellä JNN-solmuun ei ole integroitu langatonta teknologiaa. Esimerkiksi SWLAN-järjestelmän integroiminen osaksi sitä nopeutaisi pienten alueiden paikallisverkkojen toteuttamista merkittävästi.

#### 4.4.5. Keskeiset havainnot JNN-N -järjestelmästä

JNN-N -järjestelmä on rakennettu erittäin muunneltavaksi ja joustavaksi. Sen laitteistot ovat pääosin COTS-pohjaisia, mikä on jouduttu ottamaan huomioon laitteistojen kotelointeja (kuljetuslaatikot) ja asennustiloja (ajoneuvot) toteuttaessa. Järjestelmässä on hyödynnetty vanhempia sotilaallisia järjestelmiä etenkin siirtoteiden osalta. Vaikka Ku-alueen satelliittijärjestelmä on koko järjestelmän ydin, täydennetään ja varmennetaan sitä sotilasjärjestelmillä riittävän häiriöiden keston saavuttamiseksi. Lähteen 7 mukaan esimerkiksi vanhojen MSE-järjestelmän radiolinkkien (HCLOS) pitäminen palveluskäytössä ja käyttäminen varmentavina siirtoteinä on käytännössä osoittautunut erittäin tärkeäksi. Se on mahdollistanut yhteyksiin säilymisen muun muassa väistämättömissä laiterikkotapauksissa.

<b>Järjestelmä</b>	<b><i>Tyypillinen johtamistaso</i></b>	<b><i>Datansiirtonopeus (kbit/s)</i></b>
Ku-Band FDM	Div – Pr	36 000 jaettu
Ku-Band TDM	Patl	maks. 4 096
X-Band TSC 85/93	Div – Pr	1 024
HCLOS	Div – Pr	8192 / 2048 (kalustosta riippuen)
SMART-T	Div – Pr	1544
TROJAN SPIRIT	Kaksi laitteistoa, Div	ei ilmoitettu

**TAULUKKO 10: JNN-N -järjestelmän laitteistojen tiedonsiirtonopeudet**

Yllä olevassa taulukossa on esitetty JNN-N -järjestelmän tiedonsiirtonopeudet. Ne ovat aikaisempiin järjestelmiin verrattuna pataljoonatasolle saakka erittäin hyviä. Koko konsepti ei sinällään ota kantaa pataljoonien sisäisten yhteyksien toteuttamiseen, joten ne ovat säilyneet ennallaan järjestelmän rungon vaihtumisesta huolimatta. Toinen merkittävä muutos aikaisempiin järjestelmiin verrattuna on liikkuvuuden lisääntyminen. Satelliittiyhteyksien käyttäminen mahdollistaa merkittävästi paremman järjestelmäliikkuvuuden, kun taas radiolinkkiyhteydet ovat aina riippuvaisia maanpinnan muodoista ja yhteysetäisyyksistä. Myös kalustomäärät JNN-N -järjestelmässä ovat merkittävästi pienempiä kuin MSE:n vastaavat. JNN-N -järjestelmä on voinut keskittyä johtamispaikkojen varustamiseen, koska niiden välisen infrastruktuurin toteuttamiseen ei ole sitoutunut juurikaan kalustoa. Henkilöstön kannalta COTS-tuotteet ovat käytännössä [7] osoittautuneet helppokäyttöisiksi ja luotettaviksi. Aikaisempi järjestelmä oli merkittävästi monimutkaisempi sekä vaati käyttäjiltä asiantuntemusta.

Kokonaisuutena JNN-N -järjestelmän voidaan todeta sen vastaavan hyvin esimerkiksi Irakin operaation vaatimuksiin. Järjestelmän rakenne on joustava, ja sen tarjoama kapasiteetti on vähintäänkin riittävä. Toiminta perustuu kuitenkin melko staattisista tukikohdista toteutettuihin operaatioihin, joiden aikana käytetään yleensä joukon omaa liikkuvaa viestijärjestelmää (Taktinen Internet) välittömään johtamiseen. Sen sijaa suunnitelmat ja tiedustelutiedot on pystytty käsittelemään siirreltävän esikuntajärjestelmän ja JNN-N:n tuottamassa ympäristössä. Perinteisellä lineaarisella taistelukentällä sekä suunnittelu että liikkuva johtaminen toteutetaan pääosin samoista ympäristöistä ja samoilla välineillä. Näin ollen esimerkiksi fyysisen ja elektronisen suojan vaatimukset laitteistoille ovat erittäin suuria. Nämä suojaan liittyvät vaatimukset on JNN-N -järjestelmässä voitu ohittaa varsin kevyesti keskittyen lähinnä ilmastoon ja ympäristön tuottamaan uhkaan.

#### 4.5. WIN-T -järjestelmä

Lähteen 25 mukaan WIN-T -järjestelmä tulee olemaan keskeinen osa Yhdysvaltain maavoimien verkostokeskeisen sodankäynnin maakomponentin LandWarNet:iä. Järjestelmä on vielä kehitysvaiheessa, mutta sille ladatut odotukset ovat erittäin suuret. Itse asiassa juuri WIN-T -järjestelmä nähdään verkostokeskeisen puolustuksen mahdollistajana maavoimien osalta. Järjestelmä on tarkoitettu käytettäväksi sotatoimialueen (Theatre) laajuksena, ja se ulottuu alimmillaan pataljoonatasolle. Pataljoonien sisäisinä järjestelminä WIN-T -järjestelmän kanssa käytetään Taktista Internetiä tai JTRS-radioon pohjautuvaa taktista tiedonsiirtojärjestelmää. WIN-T -järjestelmän ensimmäinen operatiivinen vaatimusmäärittely valmistui vuonna 1999. Sen jälkeen tätä määrittelyä on tarkennettu useissa vaiheissa. Vaatimusmäärittelyt eivät ole julkisia.

##### 4.5.1. Järjestelmän rakenne ja keskeiset elementit

WIN-T -järjestelmän rakenteessa on neljä keskeistä elementtiä verkostokeskeisen sodankäynnin kannalta. Niiden kuvaaminen perustuu lähteisiin 23 ja 36. Ensimmäinen niistä on kerroksellinen siirtojärjestelmän arkkitehtuuri. Juuri tämä arkkitehtuuri ja sen kuvaaminen on tämän tutkimuksen kannalta merkittävä seikka. Kerroksellinen arkkitehtuuri tarkoittaa sitä, että järjestelmä rakentuu maakerroksesta, ilmailukerroksesta ja avaruuskerroksesta. Kerrosten nimet kuvaavat niiden toimintaympäristöä. Kerroksellisella rakenteella mahdollistetaan erityisesti joukkojen liike taistelutilassa sekä puolustushaarojen yhteistoiminta ja yhteisoperaatiot. Se mahdollistaa siis toiminnan osana taistelukentän verkostoa sekä maalla, merellä että ilmassa.

Toinen WIN-T -järjestelmän elementti on eri organisaatioiden johdolle ja komentajille tarjotut paikalliset palvelut ja palveluinfrastruktuurit. Tämä tarkoittaa erityisesti erilaisia johtamispaikkaympäristöjä ja niissä esikuntien henkilöstölle tarjottavia informaatiopalveluita. Tällaisia palveluita ovat esimerkiksi eri luottamuksellisuusluokkien (julkinen – erittäin salainen) tietojärjestelmät, puhepalvelut sekä videoneuvottelupalvelut. Nämä palvelut on saatavissa paikallisesti kiinteän langallisen verkon kautta sekä tarvittaessa langattomien tietoturvallisten ratkaisujen kautta.

Kolmas elementti WIN-T -järjestelmässä on verkko-operaatiot (Network Operations, NETOPS). Ne ovat painopisteisesti puolustuksellisia toimintoja, joiden tehtävänä on taata omien järjestelmien suunnitelmallinen ja tietoturallinen käyttö. Verkko-operaatioiden mahdollistajana toimii tilannekuva. Se voidaan käsittää reaaliaikaisena verkon tilannekuvana. Se mahdollistaa verkon hallinnan, suojaamisen verkostoon kohdistuvilta hyökkäyksiltä sekä tiedon jakamisen hallinnan (komentajan ohjauksen mukaisesti). Keskeisenä osana verkon hallintaa on kaikkien radiotaajuista spektriä käyttävien laitteiden ja järjestelmien taajuushallinta.

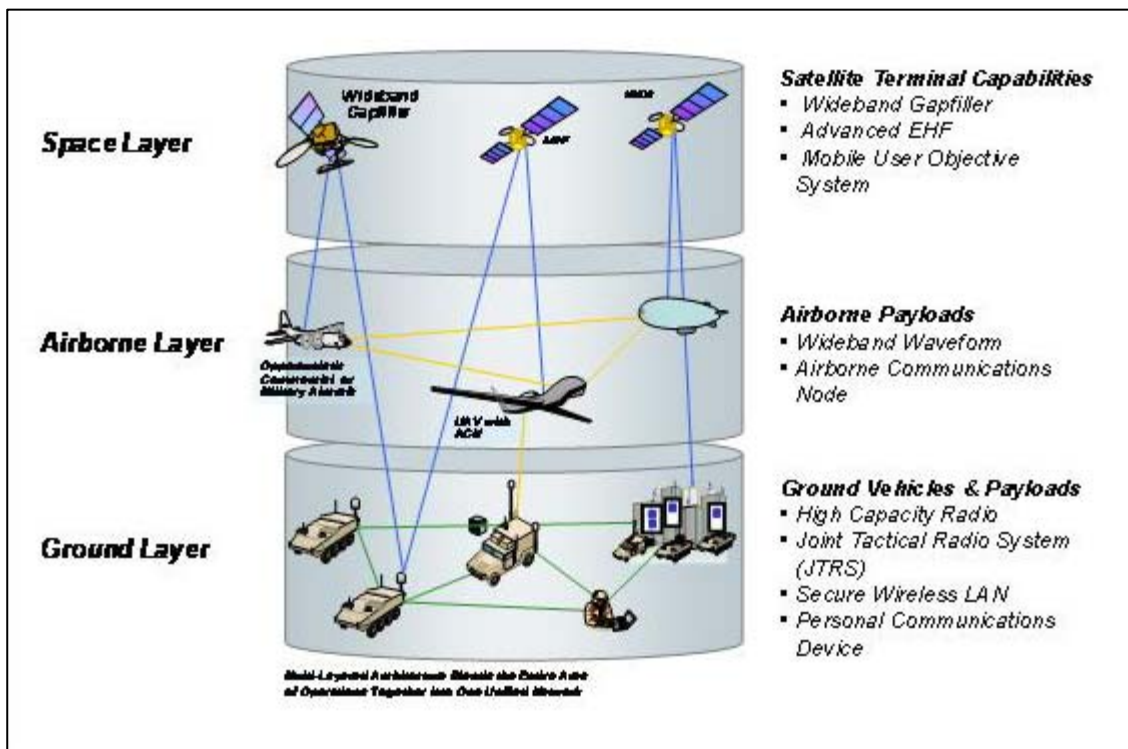
Neljäntenä elementtinä WIN-T -järjestelmässä on yhteensopivuus (Interoperability). Yhteensopivuus nähdään erittäin laaja-alaisena. Se pitää sisällään sisäisen yhteensopivuuden perinteisten järjestelmien kanssa (Taktinen Internet, Stryker), puolustushaarojen välillä, koko puolustuksen GIG-järjestelmän kanssa, NATO-liittolaisten sekä muiden liittoumien kanssa ja kaupallisten siviilijärjestelmien kanssa. Yhteensopivuudella voidaan nähdä myös useita ulottuvuuksia. WIN-T -järjestelmä tarjoaa komponentit eri liikennetyyppeihin (ääni, data ja video) sekä yhdistettyihin luottamusluokitteluihin (julkinen, salainen, erittäin salainen). Se tukee myös sekä paketti- että piirikytkentäisiä teknologioita ja erilaisia turvallisuusarkkitehtuuria. Keskeisessä roolissa yhteensopivuuden suhteen on IP-teknologian laaja-alainen hyödyntäminen. IP-teknologian suhteen tuetaan sekä IPv4- että IPv6-protokollia.

#### 4.5.2. Järjestelmäkokonaisuuden toiminnan kuvaus

Järjestelmäkokonaisuuden toiminnan kuvaaminen perustuu lähteisiin 25, 36 ja 15. WIN-T -järjestelmä on organisoitu ja suunniteltu täyttämään maavoimien, yhteisoperaatioiden sekä monikansallisten joukkojen C2-tarpeet (Command and Control, johtaminen). Tähän liittyvän isona kokonaisuutena on eri tason johtamispaikkojen varustaminen yhteensopivalla kalustolla. Varustettavia johtamispaikkoja ovat esimerkiksi Maavoimakomponentin joukkojen esikunta ARFOR (Army Forces), CJTF- (Combined Joint Task Force) ja JFLCC-esikunnat



(Joint Forces Land Component Command) tai JTF (Joint Task Force). Nämä esikunnat ovat laajoja, normaalisti kiinteästi sijoitettuja johtokeskuksia, joiden liikkuvuus on hyvin rajallinen ja joilla on erittäin laajat yhteydenpitovelvollisuuden kotimaahan ja operaatioalueelle. Yhteydenpitotahoina huomioidaan myös liittoumat joukot, hallitukset, lähetystöt ja muut valtiolliset sekä siviiliorganisaatiot (NGO, non-governmental Organizations). Osana WIN-T -kokonaisuutta ovat järjestelmät, jotka mahdollistavat erittäin liikkuvat ja omavaraiset tunkeutumisooperaatiot (Early Entry operations) uusille operaatioalueille.



**KUVA 16: WIN-T -järjestelmän periaatteellinen rakenne [15]**

WIN-T -järjestelmän tietoliikenteen kytkentä ja reititys tulevat perustumaan kaupallisiin standardeihin. Reitityksen tulee kyetä tukemaan äänen, datan, viestinnän ja videon välittämiseen koko operaatioalueella. Verkon selviytymiskyvyn kannalta oleellista on vaihtoehtoisten siirtoteiden ja -järjestelmien käyttäminen tietoliikenteen reitityksessä sekä kaistanleveyden säätely tilanteen mukaisesti. Järjestelmään tulee sisältymään keskeisenä elementtinä verkonhallinta, jolla taataan järjestelmän toimintakyky eri tilanteissa. Verkonhallinnan roolista huolimatta järjestelmän käyttäjien elementit tulevat olemaan nolla-konfiguroitavia, eli ne ovat toimintavalmiina heti virran kytkennän jälkeen tai vaativat vain vähäisiä alustustoimenpiteitä.

#### 4.5.3. Avaruuskerros

Avaruuskerroksen tarkoituksena on taata WIN-T -järjestelmälle riittävä maantieteellinen kattavuus, riittävä joukkojen liikkuvuus sekä riippumattomuus maanpäällisistä infrastruktuureista. Näiden lisäksi liittyminen koko puolustuksen GIG-järjestelmään toteutetaan avaruuskerroksen kautta. Avaruuskerros muodostuu uusista satelliittijärjestelmistä sekä kaupallisten satelliittipalveluiden hyödyntämisestä. Näistä tässä kuvauksessa keskitytään uusien satelliittijärjestelmien kuvaamiseen. On kuitenkin tärkeää huomata, että kaupalliset satelliittipalvelut nähdään kaikissa tilanteissa tärkeänä elementtinä, jota voidaan hyödyntää, mikäli se tuo lisäarvoa kokonaisuuteen. Uusia WIN-T -järjestelmää varten luotavia satelliittijärjestelmiä tulevat olemaan ainakin WGS- (Wideband Gapfiller System), Advanced EHF- ja MUOS-järjestelmät (Mobile User Objective System). Seuraavissa kappaleissa olevat järjestelmien kuvaukset perustuvat lähteissä 19 ja 25 esitettyihin tietoihin

Wideband Gapfiller -järjestelmä (WGS) on suurikapasiteettinen sotilaallis-/kaupallinen järjestelmä pääasiassa puolustuksen käyttöön. Järjestelmän operointi on järjestelmän rakentamisen jälkeen toteuttaa kaupallisesti, jolloin mahdollisesti järjestelmään jäävä ylimääräinen kapasiteetti kyetään hyödyntämään. WGS-järjestelmä toimii X (7,9 - 9 GHz) ja Ka (18 - 31 GHz) -taajuusalueilla. Järjestelmän kapasiteetti on 39 kpl 128 MHz -kanavaa. Järjestelmä on tarkoitettu kiinteisiin ja siirreltäviin sovelluksiin, joten sen käyttökohteena maavoimien osalta voidaan arvioida olevan lähinnä merkittävien esikuntien yhteystarpeiden toteuttaminen. Järjestelmän satelliittien laukaisut on suunniteltu toteutettaviksi 2007 - 2008 (3 satelliittia) ja 2010-11 (2 satelliittia).

Advanced EHF (Extra High Frequency) on maailmanlaajuinen tietoturvallinen ja selviytymiskykyinen satelliittijärjestelmä kaikkien puolustushaarojen käyttöön. Se toimii useilla eri EHF- (30 - 300 GHz eli millimetriaallot) ja SHF-taajuusalueilla. Järjestelmä tarjoaa tilaajille käyttötarkoituksen mukaisesti eri kapasiteettiluokkia aina 8192 kbit/s datansiirtonopeuteen saakka, jonka lisäksi se tarjoaa Milstar Low Data Rate (LDR, 75 - 2400 bit/s) ja Milstar Medium Data Rate (MDR, 4.8 kbit/s - 1.544 Mbit/s). Koska kyseessä on kaikkien puolustushaarojen järjestelmä, tullaan järjestelmän kanssa yhteensopivia terminaaleja tuottamaan maalle, merelle, ilmaan sekä kumppaneiden käyttöön. Muun muassa maavoimien käyttämät SMART-T -päätelaitteet tulevat jatkossa käyttämään AEHF-järjestelmää tiedonsiirtoalustanaan. Järjestelmän satelliittien laukaisut on suunniteltu toteutettavaksi alkaen huhtikuusta 2008.

Mobile User Objective System (MUOS) on maailmanlaajuinen liikkuvan tilaajan uuden sukupolven kapeakaistainen satelliittijärjestelmä, joka on tarkoitettu erityisesti maavoimien käyttöön. Järjestelmän tarkoituksena on tuoda kapeakaistainen tiedonsiirto yksittäisille tilaajille myös alueilla, joille ei ole ehditty tai operatiivisista syistä kyetty rakentamaan datansiirtojärjestelmiä. Järjestelmän kapasiteetti tilaajaa kohtaan on maksimissaan 384 kbit/s käytännön yhteysnopeuksien jäädessä kuitenkin noin 64 kbit/s-tasolle. MUOS-järjestelmän satelliittiteknologian toteuttaa Lockheed Martin Space Systems ja tiedonsiirto järjestelmässä perustuu UMTS-teknologiaan, jonka toteuttajana on Ericsson. Kyseessä on pohjimmiltaan COTS-sovellus. MUOS-järjestelmän satelliittien laukaisut on suunniteltu toteutettaviksi 2010 - 2011. Koko järjestelmä tulee tämän hetken suunnitelmien mukaan viidestä satelliitista.

#### 4.5.4. Imailukerros

Imailukerroksen kaksi merkittävää tekijää tulevat olemaan AJCN-järjestelmä (Adaptive Joint C4ISR Communications Node, aikaisemmalta nimeltään ACN eli Airborne Communications Node) yhdistettynä WNW-aaltomuotoon (Wideband Networking Waweform). Niistä esitetyt tiedot perustuvat lähteisiin 17 ja 46. Ilma-alukseen sijoitetulla AJCN-viestiliikennesolmulla on tarkoitus vaikuttaa erityisesti taajuuksien tehokkaaseen käyttöön, maanpäällisten viestijärjestelmien yhteyttäisyyksiin, mahdollistaa yhteydet alueille, joissa satelliittiyhteydet ovat rajoitettuja, sekä tarjota merkittävä parannus vastaanotetun signaalin tasoon verrattuna satelliitteihin, jolloin signaalin vastaanotto helpottuu ja häirittevyys vähenee.

AJCN tulee olemaan modulaarinen sekä skaalautuva viestintälaitte, jota voidaan asentaa mm. erilaisiin miehittämättömiin lennokkeihin (RQ-4/Global Hawk operatiivinen käyttö tai RQ-7/Shadow taktinen käyttö). Lisäksi sitä on suunniteltu asennettavaksi tilanteesta riippuen kaupallisiin tai sotilaslentokoneisiin (esimerkiksi US Air Force RC-135/KC-135). Järjestelmä toimii viestintätehtävien lisäksi signaalitiedustelun (SIGINT, signal intelligence), elektronisen sodankäynnin ja informaatio-operaatioiden toteuttajana. Järjestelmän demonstrointilennot alkoivat 2003, ja vuoteen 2010 mennessä järjestelmään tullaan lisäämään signaalitiedustelu- ja elektronisen sodankäynnin ominaisuudet. Järjestelmä perustuu JTRS-yhteensopivaan radiolaitteistoon, jossa keskeisimpinä ominaisuuksina ovat JTRS-yhteensopivat aaltomuodot kuten WNW.

WNW-aaltomuoto tulee olemaan kaikkia puolustushaaroja yhdistävä tiedonsiirtomenetelmä. Lähteen 46 mukaan se omaa korkean datansiirtonopeuden, ja siinä data siirretään niin kutsutulla koodatulla ortogonaalisella taajuusjaetulla kanavoinnilla (COFDM, Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). WNW tarjoaa datansiirtonopeuksia 47 kbit/s tasolta aina 12,1 Mbit/s saakka. COFDM-aaltomuoto tarjoaa keskeisinä ominaisuuksinaan tehokkaan kaistan hyödyntämisen, liikkuvuuden sekä pakettidatan välitysominaisuudet vaikeassa signaaliympäristössä (esimerkiksi suojaus monitie-etenemisen vaikutukselta). Kehittyneenä, digitaaliseen tiedonsiirtoon tarkoitettuna aaltomuotona siinä on käytetty viimeisimpiä signaalinkäsittelyn tekniikoita, kuten differentiaalista vaiheavainnusta (DPSK, Differential Phase Shift Keying) ja quadratuurivaiheavainnusta (QPSK, Quadrature Phase Shift Keying). Datansiirron luotettavuuden varmistamiseksi aaltomuodossa käytetään Reed-Solomon ja Turbo-Code FEC (Forward Error Correction) virheenkorjausmenetelmiä.

WNW-aaltomuoto on täysin SCA-yhteensopiva (Software Communications Architecture). SCA-määrittelyn noudattamisella on tarkoitus saavuttaa lisääntyvää joustavuutta yhteistointaan maailman laajuisesti, vähentää kustannuksia, saavuttaa hyvä päivitettävyyys käytetyn teknologian vuoksi sekä vähentää järjestelmän hankinta- ja käyttökustannuksia. Tähän liittyen WNW-aaltomuoto on pyritty määrittelemään siten, että se soveltuu mahdollisimman moniin alustoihin. Määrittelyssä on hyödynnetty kaupallisia standardeja, jotta kehityskuluja saataisiin vähennettyä. Edelleen moduulipohjaisena määrittelynä WNW mahdollistaa osamoduulien uudelleenkäytön lyhentäen siten uusien järjestelmien kehitysaikaa. Osana JTRS-määrittelyä WNW-aaltomuodon on alun perin ollut tarkoitus toimia kaikkia puolustushaaroja yhdistävänä taistelukentän verkostoitumisen katalysaattorina.

#### 4.5.5. Maakerros

WIN-T -järjestelmän maakerros pyritään pitämään mahdollisimman kevyenä. Se rakennetaan tilanteen ja olemassa olevan paikallisen infrastruktuurin ehdoilla. Operatiivisilla joukoilla (divisioonat, prikaatit) on käytössään tarvittava materiaali, joka mahdollistaa riippumattomuuden paikallisesta infrastruktuurista. Kuitenkin tätä verkkoa pyritään täydentämään maayhteyksillä etenkin niiden kustannustehokkuuden vuoksi. Maakerroksen tarkoituksena on taata verkottuminen ja riittävä yhteyksikapasiteetti kaikille verkoston käyttäjille. Maakerroksen runkoa kutsutaan nimellä TTS (Terrestrial Transport System). Sen lisäksi maakerrokseen kuuluu muutamia erillisiä elementtejä, kuten JTRS. Maakerroksen käsittelyn yhteydessä ei käsitellä JTRS-ohjelmistoradiota, koska tätä aihetta käsitellään luvussa 3.6.

TTS-runkoverkon rakenne on muuttunut merkittävästi WIN-T -järjestelmän määrittelyn aikana. Lähteen 25 mukaan vielä vuonna 2003 TTS aiottiin rakentaa ATM-runkokeskusten varaan ja liityntäkeskuksissa aiottiin käyttää ISDN-tekniikkaa. Vaikka lähdeaineisto ei mainitsekaan asian muuttuneen, on luultavaa, että JNN-N -järjestelmästä saatujen kokemusten myötä koko TTS tullaan rakentamaan IP-tekniikan varaan. Tämä ei kuitenkaan muuta sitä, että maakerroksen tiedonsiirtojärjestelmä varaudutaan tarvittaessa rakentamaan mikroaaltolinkkien tai valokaapeliin varaan. Eräs tällainen järjestelmä, joka on mainittu TTS:n yhteydessä, on HCR (High Capacity LOS Radio). Sen avulla rakennetut yhteydet perustuvat mikroaaltolinkki-, eli LOS-yhteyksiin (Line of Sight) optisella yhteysväylillä. Vaikka tällaisia järjestelmiä voidaan helposti pitää vanhanaikaisina, tarjoavat ne kuitenkin merkittäviä etuja muihin järjestelmiin verrattuna. Ne edustavat koeteltuja ja runsaassa kaupallisessa käytössä olevia teknologioita. Näin ollen ne ovat luotettavia, tarjoavat runsaasti tiedonsiirto-kapasiteettia sekä ovat varsin edullisia. WIN-T -järjestelmän maanpäällisillä yhteysväleillä tullaan siirtojärjestelmissä käyttämään esimerkiksi AN/GRC-245 (V) -radiolaitetta. Se on Band I, III tai IV-taajuusalueilla toimiva linkkiradio ATM- tai IP-pohjaisille keskuksille (radiosta on useita eri versioita). Järjestelmä tarjoaa taajuusalueesta ja laitteistosta riippuen pisteestä pisteeseen -tiedonsiirtonopeutta 1 - 32 Mbit/s.

Tietoturvallista langatonta lähiverkkoa käsiteltiin jo aikaisemmin Stryker-prikaatin viestijärjestelmän yhteydessä. Kyseessä oleva järjestelmä tulee kuulumaan myös osaksi WIN-T -kokonaisuutta. Sen käyttötarkoitus tulee pysymään samana, eli sitä käytetään etenkin liikkuvissa divisioonien, prikaatien ja pataljoonien esikunnissa. On kuitenkin todennäköistä, että järjestelmää tullaan päivittämään lähivuosina IEEE 802.11 tekniikan kehittymisen myötä. Näin ollen sen suorituskyky tulisi nousemaan nykyisestä jonkin verran.

Kolmantena elementtinä WIN-T -järjestelmässä tulee olemaan PCD-päätelaite (Personal Communications Device). Kyseessä on 3G matkapuhelintekniikkaan ja kaupalliseen matkapuhelimeen perustuva sotilaan henkilökohtainen viestintäväline. Laitteen kehittämisen keskeisenä ajatuksena on ollut kaupallisen tuotekehityksen mahdollisimman tehokas hyödyntäminen. Ajatus siitä, että sotilaalla on käytössään sama viestiväline niin tukikohdassa kuin taistelukentälläkin ei ole uusi, mutta käytännössä se on ollut mahdoton toteuttaa viime vuosikymmenien aikana. PCD-päätelaite tulee käyttämään verkkoon joko MUOS-satelliittijärjestelmän avulla rakennettua tai maanpäällistä 3G-matkapuhelinverkkoa. Verkon peittoalueiden ja kapasiteettitarpeiden varmistamiseksi tehdään kehitystyötä 3G-matkapuhelinkeskuksen miniatyrisoimiseksi räkkikokoon tai jopa kannettavaksi versioksi.

#### 4.5.6. Keskeiset havainnot Yhdysvaltain maavoimien WIN-T -tiedonsiirtojärjestelmästä

WIN-T tulee täyttämään pääosan verkostokeskeisyyden vaatimuksista maavoimien osalta. Järjestelmä on rakennettu verkostokeskeisyyden perusajatuksien ja oppien mukaisesti. Sen on tarkoitus olla rakenteeltaan merkittävästi joustavampi kuin sen edeltäjä MSE. JNN-N -järjestelmää voidaan pitää joko välivaiheen järjestelmänä, tai jopa WIN-T -järjestelmän esiversiona. WIN-T -hankkeen johto on korostanut erityisesti järjestelmän perusrakenteen joustavuutta [42]. Se on tarkoitus rakentaa olosuhteisiin ja käyttötilanteisiin sopivaksi. Tässä luvussa pyritään arvioimaan lyhyesti WIN-T -kokonaisuutta sekä sen joustavuutta eri tilanteissa. Sen sijaan järjestelmän suorituskykyarvoja tiedonsiirron osalta ei ole mielekästä vertailla, koska järjestelmän teknologiat ovat vielä kehitysvaiheessa.

WIN-T -järjestelmän arkkitehtuuri eroaa selkeästi aiemmista järjestelmistä. Siinä korostuvat erityisesti kerroksellisuus (maa, ilma ja avaruus) ja kunkin kerroksen keskeiset järjestelmät tai ominaisuudet. Järjestelmän rakennetta ei joukkojen kannalta ole lyöty lukkoon. Sen sijaan joukoilla on valmiutensa mukaisesti käytössä tietty tietoliikenteen suorituskyky paketti, josta otetaan tarvittavat elementit operaatioon. Tämä on mahdollista erityisesti yhteisen teknologia-alustan ansiosta. Tämä yhdistävä alusta on IP-teknologia. Se mahdollistaa kerroksien ja niiden elementtien joustavan käytön sekä ilmenevien mahdollisuuksien hyödyntämisen. Esimerkiksi kaupallinen kehitys kyetään hyödyntämään nopeasti ja tehokkaasti.

#### 4.6. JTRS-radiojärjestelmä

JTRS-radiojärjestelmän on yleisesti arvioitu olevan ehkä merkittävin sotilasviestintään liittyvä hanke tällä hetkellä. Se on edennyt välillä varsin myrskyisissä merkeissä, erityisesti kohdattujen haasteiden ja budjetin paisumisen johdosta. JTRS-hankkeen kuvaus tässä tutkimuksessa perustuu lähteisiin 6, 20, 47 ja 82. JTRS-hankkeen tarkoituksena on tuottaa seuraavan sukupolven radiolaitte Yhdysvaltain asevoimien käyttöön. Järjestelmä on tarkoitus saada täysimittaiseen käyttöön 2010-luvulla. JTRS on ohjelmistoradio (SDR, Software Defined Radio), ja se tulee olemaan yhteensopiva monien tällä hetkellä käytössä olevien sotilas- ja siviiliradiojärjestelmän kanssa. Näiden lisäksi se tulee sisältämään Wideband Networking Software -ohjelmiston, joka mahdollistaa todellisten liikkuvat ad hoc -verkot sekä sisältää tarvittavat salaus- ja tietoturvaominaisuudet. JTRS:n operatiiviset vaatimukset on kuvattu alun perin vuonna 1998 julkaistussa dokumentissa. Tämän jälkeen hanke on kuitenkin kohdannut

monia haasteita, eikä kaikkia alkuperäisiä vaatimuksia tulla lopullisessa versiossa toteuttamaan.

JTRS-radion toiminnallisuudet ja laajennettavuus perustuvat SCA-määrittelyn (Software Communications Architecture) käyttöön. Se on avoin arkkitehtuuri, joka määrittelee, kuinka ohjelmisto ja laitteisto toimivat määrittelyn mukaisen laitteen sisällä yhteen. Tämä ohjaa laitteen suunnittelua ja mahdollistaa useiden aaltomuotojen käytön yksittäisessä radiolaitteessa. Kaikkiin radiolaitteisiin täytyy kuitenkin asentaa sama laitteiston toimintaa ohjaava ohjelmistoympäristö, jotta erilaiset aaltomuodot toimisivat niissä saumattomasti. Keskeinen hyöty SCA-määrittelyn noudattamisesta on sen luoma yhteensopivuus. Sen saattaminen myös kaupalliseen käyttöön on noussut erittäin merkittäväksi tekijäksi JTRS-hankkeen edetessä. Määrittelyn laaja kaupallinen käyttö mahdollistaisi eri aaltomuotojen suhteellisen edullisen tuottamisen, joka puolestaan vaikuttaisi merkittävästi laitteistojen hintaan. OMG (the Object Management Group) järjestö työskentelee tällä hetkellä kaupallisen standardoidun SCA-määrittelyn kehittämiseksi.

#### 4.6.1. JTRS-klusterit ja hankkeen eteneminen

JTRS-hanke jaettiin alussa viiteen klusteriin lähinnä radion koko ja soveltuvuusvaatimusten perusteella. Näistä alkuperäisistä klustereista on yhdistämisen jälkeen muodostettu neljä toimialuetta (domain). Nimitys muutettiin hankkeen kootun johdon muodostamisen yhteydessä vuonna 2006. Tällöin itsenäisessä kehitysroolissa olleet klusterit yhdistettiin JPEO JTRS:n (Joint Program Executive Office JTRS) alaisiksi. Seuraavissa kappaleissa esitellään hankkeen toimialueet ja niiden kehitystehtävät.

Maatoimialueeseen (Ground Domain) on yhdistetty entiset klusterit 1 ja 5. Sen tarkoituksena on kehittää maavoimille ja merijalkaväelle ajoneuvosijoitteinen radio, jota kutsutaan nimellä GMR (Ground Mobile Radio). Tämän lisäksi kehitetään HMS-radiota (Handheld, Manpack, Small Factor) kaikkien puolustushaarojen sovelluksiin, joissa radiolaitteen koko ja virransyöttö ovat keskeisessä asemassa esimerkiksi asennettavuuden tai kannettavuuden suhteen.

Ilma-, meri- ja kiinteidenradioiden toimialue muodostettiin jo vuonna 2004 yhdistämällä klusterit 3 ja 4. Se tuottaa ilma-, meri- ja kiinteisiin asennuksiin soveltuvat radiotyypit, joita kutsutaan yhteisellä nimellä AMF (Airborne, Maritime, Fixed station). Keväällä 2006 tähän kokonaisuuteen liitettiin maavoimien helikopterijoukkojen radion kehittäminen. Samana vuonna JTRS-ohjelmaan lisättiin MIDS-J -radion kehitys (Multifunctional Information Dis-

tribution System for JTRS). Se on MIDS-radion kehitysohjelma tarkoituksenaan tuottaa seuraavan sukupolven datansiirtoradio lentokoneisiin. Alun perin sitä on käytetty lentokoneissa niiden tarvitsemaan datansiirtoon ja se on käytössä myös Suomen F/A-18 Hornet -kalustossa.

Verkkotoimialue (Network Enterprise Domain) vastaa järjestelmän niistä osista, jotka liittyvät JTRS:n toimintaan osana laajempia verkkoja. Tätä varten on perustettu erityinen toimisto, Network Enterprise Office. Tämän toimialueen tarkemmat tehtävät ovat aaltomuotojen kehittäminen, kryptografisten (salauks) laitteiden toteutukset, JTRS:n järjestelmäarkkitehtuurin yhtenäistäminen, rajapinnat sekä yleiset verkkopalvelut.

Erikoisradiojärjestelmien (Special Radio Systems) toimialue vastaa JTRS MBITR -järjestelmän (Multi-Band Inter/Intra Team Radio) kehittämisestä. Se on erikoisjoukkooperaatioiden esikunnan (Special Operations Command) johdossa. Tämän toimialueen tuote tulee aikanaan kaikkien puolustushaarojen erikoisjoukkojen käyttöön.



**KUVA 17: JTRS-hankkeen päivitetty periaatteellinen yleisarkkitehtuuri [6]**

JTRS-hanke on kokenut olemassaolonsa aikana merkittäviä kustannusten ja aikataulujen ylityksiä. Lähteen 20 mukaan esimerkiksi GMR:n kehittämisessä haasteita kohdattiin hajautetun



hallintajärjestelmän, muuttuvien vaatimusten, painon- ja koon sekä yksittäiseen radioon asennettavien aaltomuotojen määrän kanssa. Tämän vuoksi hankkeen tavoitteita on laskettu ja määräaikoja siirretty eteenpäin. Tästäkin huolimatta hankkeeseen sisältyy keskimääräinen riski [82]. Hankkeen tarkoituksena oli alun perin korvata kaikkien puolustushaarojen 750 000 taktista radiota. Tämä on todettu mahdottomaksi ja tämän hetken suunnitelmien mukaan (syksy 2006) hanke tuottaa 6,8 miljardilla US dollarilla 180 000 radiota. Tällöin yksittäisen radion keskihinnaksi muodostuu 37 700 USD eli noin 28 700 € Radiota tullaan Yhdysvaltain lisäksi markkinoimaan ainakin kaikkiin liittolaismaihin.

#### 4.6.2. JTRS-aaltomuodot

JTRS:n suunniteltiin alun perin käyttävän taajuusaluetta 2 MHz - 2 000 MHz. Tätä määritellyä on kuitenkin laajennettu siten, että myös yli 2 GHz:n taajuudet ovat mahdollisia. Laajenuksen syynä ovat ensisijaisesti olleet satelliittiyhteyksien toteuttamiseen liittyvät seikat, sillä ne toimivat pääosin yli 2 GHz:n taajuuksilla. JTRS:n yhteydessä käytettäviä uusia aaltomuotoja on koko hankkeen uudelleen muotoilun yhteydessä vähennetty merkittävästi. Lähteen 47 mukaan JTRS-hankkeen tavoitteena on uudelleen määriteltujen tavoitteiden perusteella tuottaa seuraavassa taulukossa esitetyt radiotyypit ja aaltomuodot.

	WNW	SRW Type 1 Secret	SRW Type 2 SBU	JAN-TE	SINC	SINC INC	LINK 16	EPLRS	MUOS	HF	UHF SATCOM DAMA
GROUND VEHICLE (4 ch)	X	X	X		X	X		X		X	X
MIDS-J (4 ch)				X			X				
SFF A/H (IMS/UGS 1/2 ch)			X								
SFF D (UAV 1 ch)			X								
SFF J (NLOS 2 ch)		X	X		X						
MAN PACK (2 ch)		X	X		X			X		X	X
AMF SA (2 ch)	X	X	X				X		X		
SFF B (LW 2 ch)		X	X		X			X			
SFF C (LW 1 ch)			X								
SFF I (LW 1 ch)		X	X		X			X			
AMF M (4 ch)									X		X
HANDHELD (2 ch)		X	X		X			X			

**SELITTEET:**

AMF SA, MF	Airborne, Maritime-Fixed Site Small Airborne, Maritime/Fixed Site
SBU	Sensitive But Unclassified,
SFF A/H	Small Form Factor radio for Intelligent Munitions Systems and Unattended Ground Sensors in FCS
SFF B, C, I	Small Form Factor radio for Ground Soldier Systems
SFF D	Small Form Factor radio for Aerial Systems
SFF J	Small Form Factor radio for Networked Missile Launcher System in FCS
SINC INC	SINCGARS Internet Controller

**TAULUKKO 11: JTRS-radiotyypit ja niihin tulevat aaltomuodot [47]**

JTRS-hanke tulee siis uusina aaltomuotoina tuottamaan Wideband Networking Waveform- (WNW); Soldier Radio Waveform- (SRW); Joint Airborne Network – Tactical Edge - (JAN-TE) ja Mobile User Objective System - (MUOS) aaltomuodot. Kaikkien näiden aaltomuotojen tarkoitus on täyttää jokin aukko nykyisissä taktisissa suorituskyvyissä, ja kaikki ne tulevat toimimaan kuljetusalustana IP-pohjaiselle liikenteelle. WNW tukee maanpäällistä ajoneuvoliikennettä ja tarjoaa siihen sopivan ad hoc -tyyppisen reitityksen. SWR toimii akkukäyttöisille radioille tarkoitetuissa verkoissa, joissa ei tarvita reititystä. Tällaisia ovat esimerkiksi jalkautuneiden sotilaiden radioverkot sekä miehittämättömät järjestelmät. JAN-TE -aaltomuoto tukee taktista ilmailu-ulottuvuutta, jossa toimivat muun muassa hyvin pientä latenssia tietoliikenteessä tarvitsevat asejärjestelmäläustat. MUOS puolestaan tulee toimimaan yleiskäyttöisenä ilmarajapinta-aaltomuotona, joka tarjoaa yli horisontin ulottuvia yhteyksiä. On siis syytä huomata, että vain WNW-aaltomuotoon tullaan kehittämään reititysominaisuuksia.

JTRS-aaltomuotojen kehitysaikataulu on pakottanut tekemään niihin monia muitakin rajoituksia. Kaikki JTRS-tuotteet suunnitellaan perusarkkitehtuuria varten, jossa ei huomioida esimerkiksi liittymiä muihin verkkoihin. Niissä tilanteissa, joissa vaaditaan liittymistä ulkopuolisiin palveluihin ja liittouman verkkoihin, täytyy käyttää erillisiä yhdyskäytävätuotteita. Tähän on päädytty erityisesti kustannussyistä, sillä tällaiset toiminnot olisivat nostaneet yksittäisen radiolaitteen kehityskustannuksia. Tällaista ulkopuolista yhdyskäytävää pystytään jatkossa käyttämään niissä pisteissä, missä siihen on tarvetta.

#### 4.6.3. Havaintoja JTRS-hankkeen merkityksestä

JTRS on maailmanlaajuisesti tämän hetken merkittävin radiohanke. Sen tuotteet tulevat valmistuessaan edustamaan kaikkein kehittyneimpiä tuotteita, mitä markkinoilta on saatavilla. Huomattava on myös laitteistojen hinta. On mahdollista, että JTRS:n aikatauluissa tulee tapahtumaan vielä viivästyksiä ja kustannuksissa nousua. Nämä seikat tulevat edelleen alkuvaiheessa laskemaan tuotettavien laitteistojen määrää. Selvää on myös se, ettei JTRS:n kaltaisia järjestelmiä tulla näkemään laajassa mittakaavassa pienempien armeijoiden käytössä vielä ensi vuosikymmenen alkupuolella jo pelkästään laitteistojen hinnan vuoksi.

JTRS perustuu Yhdysvaltain puolustusministeriön (DoD) sekä avoimiin standardeihin. Tällä on pyritty hakemaan ratkaisua erityisesti järjestelmän tuleviin kustannuksiin. JTRS-järjestelmän tulevaisuuden kannalta esimerkiksi SCA-arkkitehtuurin kaupallinen menestys tulee olemaan ensiarvoisen tärkeää. Kaupallinen menestys tulisi mahdollistamaan järjestel-

män merkittävästi alkuperäistä edullisemmän jatkokehittämisen. Kaupallisuus ja avoimet standardit myös avaavat markkinat aidolle kilpailulle, joten tästä hyötyisivät kaikki asevoimat. On kuitenkin vielä aivan liian aikaista sanoa, tulevatko markkinavoimat hyödyntämään esimerkiksi SCA-määrittelyä omassa tuotekehityksessään. Tämän seikan ratkaisun avaimet ovat markkinavoimilla, eikä niiden kehityssuuntia voi aina loogisesti ennustaa. Kaupalliselta näkökannalta myös tulevan eurooppalaisen ohjelmistoradion liittyminen SCA-arkkitehtuuriin tulee olemaan erittäin tärkeää.

JTRS ei tule kaikilta osin mullistamaan taistelukentän tiedonsiirtoa. Kehitystyön aikana on tullut selväksi, että JTRS:n tiedonsiirron suorituskyky ei tule olemaan mullistavan korkea. Samoin reitityksen kehittäminen järjestelmään on osoittautunut haastavaksi, ja näin ollen se tullaan liittämään vain WNW-aaltomuotoon. Näistä seikoista huolimatta JTRS tulee käyttöön ottonsa myötä merkittävästi parantamaan verkottumisen mahdollisuuksia ja yhteensopivuutta kaikkien käyttäjiensä kesken. Näin ollen hanke saavuttanee verkostokeskeisen sodankäynnin paradigman sille asettamat tavoitteet varsin hyvin. Kaupallisen menestyksen myötä JTRS:stä ja sen avoimista standardeista voi kuitenkin kehittyä todellisia menestystarinoita.

#### 4.7. Keskeiset johtopäätökset kehityksestä Yhdysvaltain maavoimissa

Tämän tutkimuksen keskeinen lähtökohta on verkostokeskeisyys. Tämän teorian toteutumista Yhdysvaltain maavoimien järjestelmissä selvitettiin laajalla katsauksella sen käyttämiin tiedonsiirtojärjestelmiin sekä niiden rakenteeseen. Seuraavissa kappaleissa on poimittuna keskeisimmät havainnot verkostokeskeisyyden ja sen avaintekijöiden toteutumisesta noissa kokonaisuuksissa. Tarkastelun keskeinen tähtäin on Yhdysvaltain maavoimien LandWarNet:n ominaisuuksien esiin tuomisessa.

Taktisen Internetin toimintaperiaate ja järjestelmät luotiin ennen verkostokeskeisen ajattelun tuleamista. Ne muodostavat siis pohjan, josta verkostokeskeisyyttä alettiin luoda. Sen pohjan tuntemus on välttämätöntä, jos aiotaan arvioida verkostokeskeisyyden toteutumista. Käytännössä suurin osa Taktisen Internetin kehitystyön hedelmistä alkaa olla vasta tänä päivänä operatiivisessa käytössä. Esimerkiksi Stryker-prikaati on suurelta osin tiedonsiirtojärjestelmiensä osalta rakennettu päivitetyn Taktisen Internetin pohjalle.

Verkostokeskeisyyden teoria on kuitenkin ollut keskeisessä roolissa luotaessa Stryker-prikaatia. Vaikka käytössä on ollut vain jo ikääntynyttä tiedonsiirtokalustoa, on sitä pyritty käyttämään mahdollisimman tehokkaasti verkostoitumisen mahdollistamiseen. Teoreettisesti

vapaan liikkuvuuden mahdollistavien satelliittijärjestelmien sekä kohtuullisen datansiirtokyvyn omaavien maajärjestelmien yhdistelmä vaikuttaa varsin toimivalta. Se mahdollistaa esimerkiksi joukkojen hajautetun käytön ja sen jälkeen keskittämisen. Kuitenkin varsinaiseen järjestelmien integraatioasteessa on vielä parannettavaa. Stryker-prikaatin järjestelmä on siis parasta, mitä tällä hetkellä on kyetty rakentamaan, mutta varsinaisena verkostokeskeisen ajattelun järjestelmänä se on selkeästi välivaiheen järjestelmä.

WIN-T -järjestelmä tulee olemaan maavoimien ensimmäinen todellinen verkostokeskeistä sodankäyntiä tukeva tiedonsiirtojärjestelmä. Yhdessä JTRS-järjestelmän kanssa se muodostaa LandWarNet:n, mikä on maavoimien osuus koko asevoimien maailmanlaajuisesta GIG-verkosta. WIN-T:n rinnalla nopeasti kehitetty JNN-N -järjestelmä nähtiin aluksi sen kilpailijana, mutta tällä hetkellä nämä kehitysprojektit on onnistuttu yhdistämään. Tämän hetken suunnitelmien mukaisesti uudesta maavoimien järjestelmästä on tulossa verkostoitunut kokonaisuus, joka on toteutettu järjestelmien järjestelmä -periaatteella (system-of-systems).

<b>Tekijä</b>	<b>(JNN-N) WIN-T ja JTRS arkkitehtuuri</b>
<i>Sodan kuva (toimintaympäristö)</i>	- Full spectrum operations - ”Any time, any place, any kind of mission” - Sodan, kriisinhallinnan ja Informaatiosodankäynnin ympäristö
<i>Toimintaympäristön ominaisuudet</i>	- Oma sotilaallinen suorituskyvyn ylivoima - Asymmetria - Kompleksisuus
<i>Sotilaallisen voiman organisaatiomalli</i>	- Suhteellisen matala, (osittain) hierarkinen - Modulaarinen joukkorakenne - Massan painopiste vaikuttamisen joukoissa - Sotilaallisten tukijoukkojen määrän optimointi, tuki kaupallisilta yrityksiltä
<i>Sotilaallisen voiman käyttö</i>	- Voiman projisointikyky (strateginen liikuteltavuus) - Useita erityyppisiä operaatiomalleja ympäri maailman - Vaikuttaminen valittuihin kohtiin tai kohteisiin
<i>Keskeiset tuettavat prosessit</i>	- Johtaminen ja suunnittelu - Vaikuttaminen
<i>Tuettavat järjestelmät</i>	- ”Järjestelmien järjestelmä” -ajattelu - Kaikkien taistelukentän toimijoiden ja toimintojen verkottaminen
<i>LandWarNet:n keskeiset piirteet</i>	- Kaupallisten järjestelmien runsas hyödyntäminen - Modulaarisuus (joustavuus) toteutustavan osalta
<i>Järjestelmien keskeiset elementit (JNN-N ja WIN-T)</i>	- Kerroksellisuus - Paikalliset palvelut ja palveluinfrastruktuurit - Verkko-operaatioiden tuki - Yhteensopivuus
<i>Järjestelmän keskeiset elementit JTRS</i>	- Yhteensopivuus - Riippumattomuus maanpäällisestä infrastruktuurista - Robustisuus

**TAULUKKO 12: Yhdysvaltain maavoimien LandWarNet-arkkitehtuurin keskeiset ominaisuudet**

Taulukkoon 12 on kerätty keskeisiä piirteitä Yhdysvaltain maavoimien arkkitehtuurikehityksestä. Taulukko antaa selkeän kuvan siitä, miten erilaiset ylätasen perusteet verkostokeskeisyyden osalta vallitsevat Yhdysvalloissa ja Suomessa. Kuitenkin tultaessa yläkäsitteistä järjestelmiin sekä niiden keskeisiin elementteihin aletaan käsitteellisesti lähestyä samankaltaisia asioita. Tämä liittyy erityisesti sodan perusluonteeseen, jonka mukaisesti varsinaiset taistelut ratkaistaan yhä edelleen useimmiten joukkojen välisissä kohtaamisissa. Teknologinen ylivoima ei ole kyennyt muuttamaan tätä seikkaa millään tavalla, vaan viimeaikaiset konfliktit Afganistanissa, Irakissa ja Libanonissa ovat vain korostaneet joukkojen taistelukyvyn merkitystä. Maavoimien arkkitehtuurien tulee siis keskeisesti tukea kohtaavien joukkojen taistelun toteuttamista. Siihen liittyen taistelun verkostokeskeisen toteutustavan menetelmät eivät voi erota kovinkaan paljoa toisistaan.

Suomalaisen kehityksen kannalta merkityksellistä on etenkin kaupallisten tiedonsiirtojärjestelmien voimakas esiinmarssi uutta verkostokeskeistä LandWarNet-järjestelmää kehitettäessä. Kaupallisuus johtaa tiettyjen näkemysten mukaan osittaisiin kompromisseihin järjestelmien ominaisuuksien kannalta [9]. Tämä riski on kuitenkin hyväksytty, sillä yhdysvaltalainen sodan kuva poikkeaa merkittävästi suomalaisesta. Yhdysvallat on käytännössä arvioinut tulevaisuudessa Euroopassa tapahtuvan suursodan erittäin epätodennäköiseksi, jolloin se ei ole järjestelmäkehitystä ohjaava tekijä. Uusien järjestelmien on kuitenkin, perusmäärittelyiden mukaisesti, oltava robustisesti rakennettuja, mikä käytännössä tarkoittaa myös niiden selviytymiskykyä laajamittaisessa taistelussa. Näin ollen Yhdysvaltain käyttämä osittaisen kompromissin kehityspolku on ollut kaupallisten järjestelmien muokkaaminen sotilaalliseen käyttöön sopiviksi.

Kokonaisuutena Yhdysvaltain kehitys on sovellettavissa tietyiltä osiltaan Suomeen. Erityisesti järjestelmien kokonaisrakenteeseen, liikkuvuuteen sekä taktiseen tiedonsiirtoon (Taktinen Internet) liittyvät ratkaisut ovat hyviä. Nämä toteutusperiaatteet onkin huomioitu tässä tutkimuksessa varsinaisen maavoimien arkkitehtuurin kehittämisessä.

## **5. SOTILAALLISTEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMIEN KEHITYS SUOMEN MAAVOIMISSA 1990-2000 -LUVUILLA**

### **5.1. Tiedonsiirtojärjestelmien kehitys maavoimissa 1990-luvulta alkaen**

Suomi on saanut maailmalla mainetta tietoliikenteen pioneerimaana, etenkin Nokian maailmanvalloituksen ansiosta. Siviilialoilla tämä onkin ehkä ollut totta, mutta sotilaallisessa tiedonsiirrossa kehitys on ollut merkittävästi verkkaisempaa. Vuonna 1989 Suomessa alettiin hankkia ensimmäistä digitaalista yhtymän viestijärjestelmää, joka tuli olemaan nimeltään YVI 1. Järjestelmästä saatujen kokemusten myötä alkoi tämän järjestelmän seuraajan rakentaminen. Vuonna 1992 alkaneella hankkeella saatiin maavoimille hankittua uusi digitaalinen viestijärjestelmä YVI 2, joka saatiin operatiiviseen käyttöön vuoden 1996 aikana. Järjestelmälle ei ole toteutettu merkittäviä suorituskykyä nostavia päivityksiä hankintojen jälkeen, vaan se vastaa suorituskyvyltään alkuperäistä. Muut merkittävät hankkeet ovat olleet YVI 1 -järjestelmän modernisointi, alueellisten viestijoukkojen (ALVI) järjestelmän kehittäminen, uuden digitaalisen kenttäradiojärjestelmän hankinta sekä yhtymien esikuntaympäristöjen kehittäminen (esikuntapanssarivaunu, EPA).

1990-luvun lopulta alkaen kansainvälisten kriisinhallintaoperaatioiden merkitys koko puolustusvoimien toiminnalle on ollut nousussa. Tähän liittyen Suomi on 2000-luvun alkupuolella valinnut erityisosaamisalueita, joiden suorituskykyjä tullaan operaatioihin tarjoamaan. Yksi tällainen suorituskyky on ollut johtamisjärjestelmät. Tähän liittyen Suomi otti vuonna 2003 johtoonsa Kosovon NATO-johtoisen KFOR (Kosovo Force) Keskisen Monikansallisen Prikaatin. Suomella oli vuodesta 1999 alkaen ollut operaatiossa yksi jalkaväkipataljoona juuri kyseisessä prikaatissa. Johtovastuun ottamiseen liittyen Kosovoon rakennettiin aivan uuden tyyppinen viestijärjestelmä, joka perustui lähes yksinomaan kaupalliseen teknologiaan sekä alueellisten viestijoukkojen kalustoon. Järjestelmän rakentamisen edeltäneen vuoden aikana myös suomalaisen jalkaväkipataljoonan viestikalusto oli uusittu pääosin kaupalliseen kalustoon perustavaksi. Kosovon kokemusten pohjalta Suomi otti myös Bosnia-Herzegovinassa Monikansallisen Pohjoisen Taisteluosaston johto- ja viestijärjestelmävastuun joulukuussa 2004. Nämä tehtävät ovat johtaneet merkittävään kehityksen kiihtymiseen, jonka voidaan arvioida heijastuvan jatkossa myös kotimaassa tapahtuvaan järjestelmien kehittämiseen ja hankintoihin. Tässä luvussa perehdytäänkin edellä mainitun Jääkäriprikaatin viestijärjestelmän lisäksi Kosovossa vuonna 2003 sekä Bosniassa vuonna 2004 rakennettuihin viestijärjestelmiin.

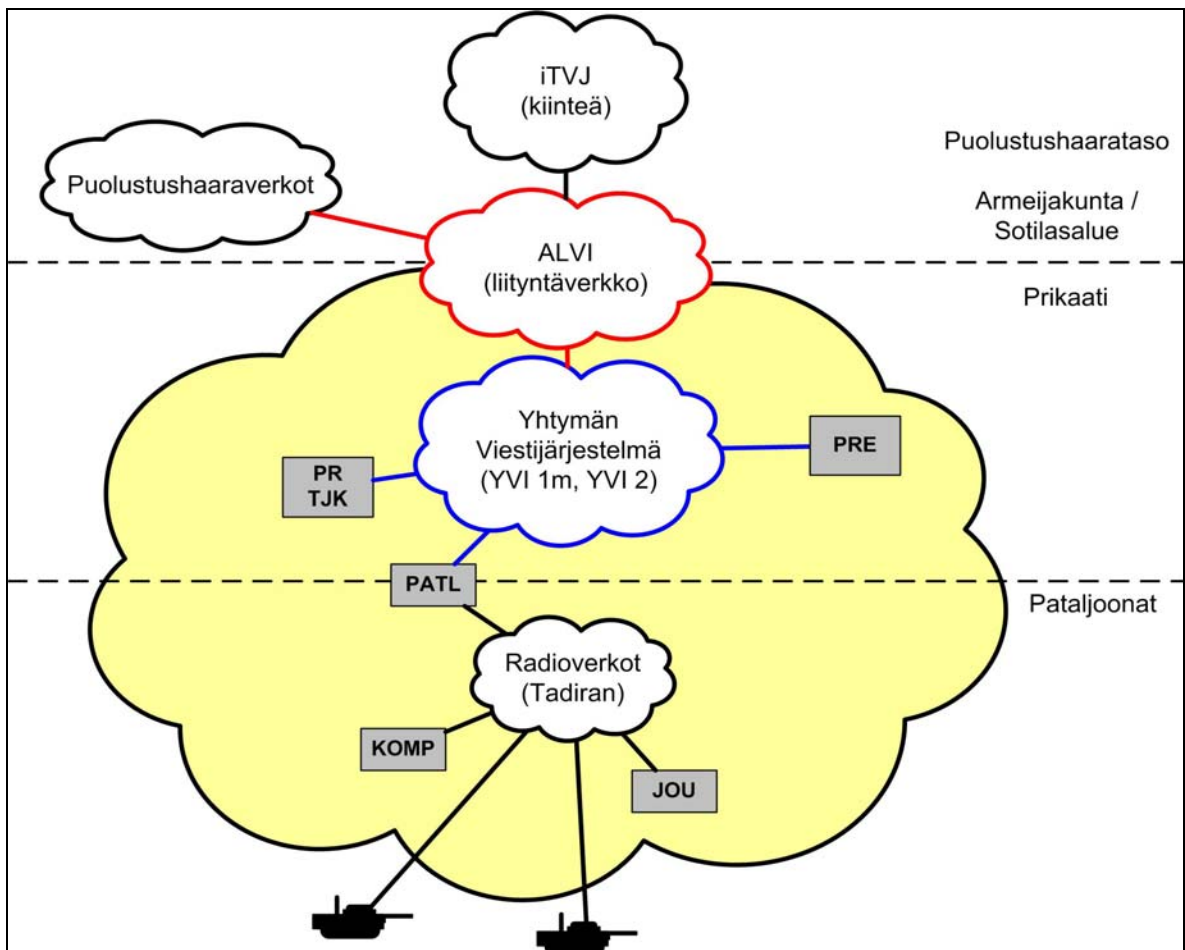
## 5.2. Jääkäriprikaatin viestijärjestelmät

### 5.2.1. Yhtymän viestijärjestelmän yleiskuvaus

Yhtymän viestijärjestelmän kuvaus perustuu lähteisiin 33 ja 55. Järjestelmä on tarkoitettu armeijakunnan ja prikaatin viestijärjestelmäksi. Prikaatin YVI-järjestelmä muodostuu 22 - 24 viestiasemasta, joita kutsutaan myös solmuiksi. Niiden lisäksi tiettyjä johtamispaikkoja on varustettu järjestelmän laitteistoilla liitettävyyden parantamiseksi. Järjestelmän solmuja käytetään alueellisesti, ja niiden väliset yhteydet muodostetaan valokaapeleilla tai mikroaaltolinkeillä. Solmuja on tällä hetkellä viittä tyyppiä tyyppimerkinnöiltään EK ja S1 - S4. Asemien tyyppikohtainen varustelu vaikuttaa solmun käyttöön yhtymän vastuualueella. Solmutyyppien määrä saattaa tulevaisuudessa vähentyä kolmeen järjestelmän kehitystyön tuloksista riippuen. Solmujen toimintaan liittyvä liikkuvan tilaajan järjestelmä on esitelty kenttäradiojärjestelmän yhteydessä.

Tällä hetkellä keskeisessä roolissa järjestelmässä ovat S1-asetat, jotka on varustettu keskussanomalaitekalustolla. Sanomalaitejärjestelmä koostuu keskussanomalaitteista sekä päätteinä toimivista sanomalaitteista, partiosanomalaitteista sekä tuliasemapäätteistä. Sanomalaitejärjestelmä on vielä toistaiseksi jääkäriprikaatin tärkein datanvälitysjärjestelmä, joka kykenee välittämään dataa nopeudella 600 bit/s. Keskussanomalaitteiden väliset yhteydet toimivat nopeuksilla 2400 tai 9600 bit/s. Järjestelmä on tarkoitettu erityisesti tulenjohtosanomien välittämiseen, mutta sitä hyödynnetään laajasti myös muussa johtamisessa. Sanomalaitetta käytetään yleisimmin liitettynä kenttäradioihin, ja keskussanomalaitteiden välisinä runkoyhteyksinä toimivat yleisimmin YVI:n yhteyksin läpi rakennetut datayhteydet. Muita eri asematyyppien kalustoja ei esitellä tarkemmin tässä työssä.

Jääkäriprikaatin viestijärjestelmä kokonaisuudessaan on periaatteessa hyvin yksinkertainen. Käytettävänä järjestelminä ovat kenttäradiot sekä YVI. Seuraavassa kuvassa 18 on kuvattuna järjestelmän yleisrakenne yksinkertaistettuna.



**KUVA 18: Jääkäriprikaatin YVI:n yleisrakenne**

Jääkäriprikaatin kenttäteleverkko liitetään muihin viestijärjestelmiin (lähinnä iTVJ) liityntäverkon kautta. Liityntäverkossa käytetään ALVI-kalustoa (alueelliset viestijoukot). Käytännössä tämä kalusto koostuu siirreltävästä mastosta, mikroaaltolinkeistä, kenttäkaukovalokaapelijärjestelmästä sekä keskeisinä elementteinä olevista liityntälaitteista. Liityntälaitte on käytännössä IP-protokollaa monipuolisesti hyödyntävä reititin, johon on integroitu monia erityyppisiä liityntäraja-ajointoja. Puolustusvoimien liityntälaitteet sallivat liityntään esimerkiksi valokaapelilla ja kenttäparikaapelilla. Näiden lisäksi liityntälaitteeseen on kehitteillä erilaisia langattomia liityntäraja-ajointoja, kuten WiMAX ja WLAN.

### 5.2.2. Kenttäradiojärjestelmä

Kenttäradiojärjestelmään kuuluvat digitaaliset kannettavat VHF-kenttäradiot PRC-930 (LV241), ajoneuvoradiot PRC-950 ja PRC-990 (LV341 ja LV342), lyhyen kantaman lähiradio PRC-710 (LV141 sekä digitaalisista HF-kenttäradioista PRC-6100 ja PRC-6020 (LV441 ja LV641). Kaikkien radioiden valmistaja on israelilainen Tadiran (nykyään Telefonken Ra-



coms) ja niistä käytetään jatkossa puolustusvoimien LV-tyyppimerkintöjä (lähetin-vastaanotin).

Osa kenttäradiojärjestelmän radioista mahdollistaa jo nykyisessä kokoonpanossaan pakettidatansiirron. Tehovahvistimella varustetut ajoneuvoasenteiset LV341-radiot on varustettu MIL-STD-188-220B-standardin mukaisen protokollan toteuttavalla reitittimellä. Reititin on integroitu radion tehovahvistimeen. Reititintä ei käytetä tällä hetkellä, ja sen mahdollinen hyödyntäminen jatkossa liittyy tiedonsiirron kokonaisratkaisuun. Sen sijaan LV241-radioissa reititintä ei tällä hetkellä ole. Lähteissä 28 ja 30 on esitetty ratkaisu LV241-radioiden pakettidatajärjestelyn toteuttamisen osalta. Ratkaisu pohjautuu protokollan MIL-STD-188-220B toteutavaan ohjelmistoon päätelaitteessa (kenttäkäyttöinen PC-tietokone) ja PC- tai USB-väyläiseen (Universal Serial Bus) sovitinkorttiin tarvittavine liitäntäkaapeleineen. Ratkaisussa sovitinkortti emuloi PC:n kannalta verkkosovitinta, jota ohjelmistot voivat käyttää standardin lähiverkkorajapinnan kautta.

Kenttäradiojärjestelmän datansiirtokyky on aina useiden tekijöiden summa. Lyhyillä etäisyyksillä, jolloin lähettävästä asemasta on optinen yhteys vastaanottavaan asemaan, voidaan arvioida päästävän teoreettisiin maksimitiedonsiirtonopeuksiin. LV241-, LV341- ja LV342-kaluston dataliitynnän teoreettiset datansiirtonopeudet ovat lähteen 32 mukaan synkronisena 50-32000 bit/s ja asynkronisena 50-19000 bit/s. Käytännössä datansiirtonopeus jää pidemmällä yhteysväleillä tasolle 2400 bit/s. Tämän datansiirtonopeuden riittävyys riippuu lähinnä käytettävistä sovelluksista sekä niiden kyvystä hyödyntää kapeakaistaisia siirtokanavia.

### 5.2.3. Liikkuvan tilaajan järjestelmä

Liikkuvan tilaajan järjestelmä eli MSS (Mobile Subscriber System) tarjoaa tällä hetkellä päätelaitteella (PC, jossa järjestelmän ohjelmisto) varustetulle radion käyttäjälle mahdollisuuden piirikytkettyjen radiopuheluitten soittamiseen televerkon tilaajille sekä toisiin radioverkkoihin. Järjestelmä koostuu YVI-järjestelmään väylätasolla liitetystä tukiasemaohjaimesta ja siihen liitetyistä radioista. Tukiasemaohjain reitittää liikennettä ja ohjaa radioiden parametreja. Radioita kutsutaan niiden toiminnan mukaan kutsu- ja liikennekanavaradioiksi. Kutsukanavaradiota käytetään yhteyden muodostamiseen, ja liikennekanavaradiot on tarkoitettu varsinaiseen liikennöintiin. Radiot ovat tyyppiä LV341, ja niitä on asemakokonaisuudessa neljä. MSS-järjestelmää ei ole alun perin kehitetty datansiirtoa varten, mutta siihen kyetään kehittämään IP-pohjaisen pakettidatansiirron vaatimat ratkaisut [83].

#### 5.2.4. Keskeiset havainnot jääkäriprikaatin viestijärjestelmistä

Jääkäriprikaatin viestijärjestelmä on perusrakenteeltaan yksinkertainen. Käytettäviä pääjärjestelmiä on vain kaksi: YVI ja kenttäradiojärjestelmä. Tässä yhteydessä ei ole käsitelty jääkäriprikaatin esikuntaympäristöjä (esikuntapanssarivaunut, EPA), jotka ovat lisänneet esikuntien mahdollisuuksia liittymiseen muihin järjestelmiin. Lisäksi uusi kalusto mahdollistaa esikunnan toiminnan hajautettuna.

Jääkäriprikaatin viestijärjestelmän keskeinen ongelma on liikkuvien järjestelmien yksipuolisuus. YVI-järjestelmä on radiolinkkeihin perustuvana lähinnä siirreltävä. Sen yhteydet perustuvat käytännössä aina tiedusteltava ja valmisteltava ennakkoon. Se soveltuukin parhaiten kootusti taistelevalle joukolle, joka liikkuu vastustajan toiminnasta vapaalla alueella. Nopeasti etenevässä hyökkäyksessä järjestelmän kanssa kohdataan haasteita. Tämä johtuu erityisesti ylemmän johtoportaan liittynöistä sekä erilaisten tukijärjestelmien hitaasta liikkuvuudesta. Järjestelmä alkaa kokemusten mukaan vähitellen muuttua muodoltaan jonoksi, joka yrittää pitää sekä kärkeä että häntää kiinni toisissaan. Järjestelmähän on samantyyppinen kuin Yhdysvaltain maavoimien MSE. Kyseinen järjestelmä todettiin jo 1991 käydyssä Persianlahden sodassa liikkuvuudeltaan liian heikoksi tukemaan mekanisoidun joukon hyökkäystä [10].

Kenttäradiojärjestelmän laitteistot edustavat liikkuvuutta sekä HF osuudeltaan ulottuvuutta jääkäriprikaatin järjestelmässä. Ne mahdollistavat toiminnan puheella sekä dataviestinnän sanomalaitteella. IP-liikenteen välittämiseen liikkuville tilaajille ei ole mahdollisuutta. Kenttäradiojärjestelmän yhteyksien kantamat ovat myös melko rajalliset. Käytännössä VHF-alueen yhteydet kyetään ylläpitämään luotettavasti noin 10-15 km:n etäisyyksille. Tämä vastaa melko tarkkaan optista radiohorisonttia, joka on 2 metrin korkeuteen sijoitetuille lähettimelle ja vastaanottimelle noin 12 km.

Verkostokeskeisyyden kannalta nykyinen järjestelmä ei toteuta verkostokeskeisyyden perusvaatimuksia. Sinällään järjestelmän perusrakenne on organisatorisesti riittävän matala, mutta järjestelmien käyttöä ei ole mahdollista toteuttaa riittävän joustavasti. Samoin joukkojen organisaatiot ovat varsin raskaita, sillä varsinaisia viestijoukkoja on melko paljon. Käytön kannalta keskeinen ongelma on kaikkien järjestelmien sitoutuminen alueeseen, mikäli halutaan käyttää järjestelmäpalveluita. Esikuntapanssarivaunujen uudet ominaisuudet mahdollistavat niiden hajauttamisen, mutta joukkojen osalta se ei ole vielä mahdollista.

### 5.3. KFOR-operaatiossa Kosovossa vuodesta 2004 alkaen käytetty viestijärjestelmä

#### 5.3.1. Perusteita

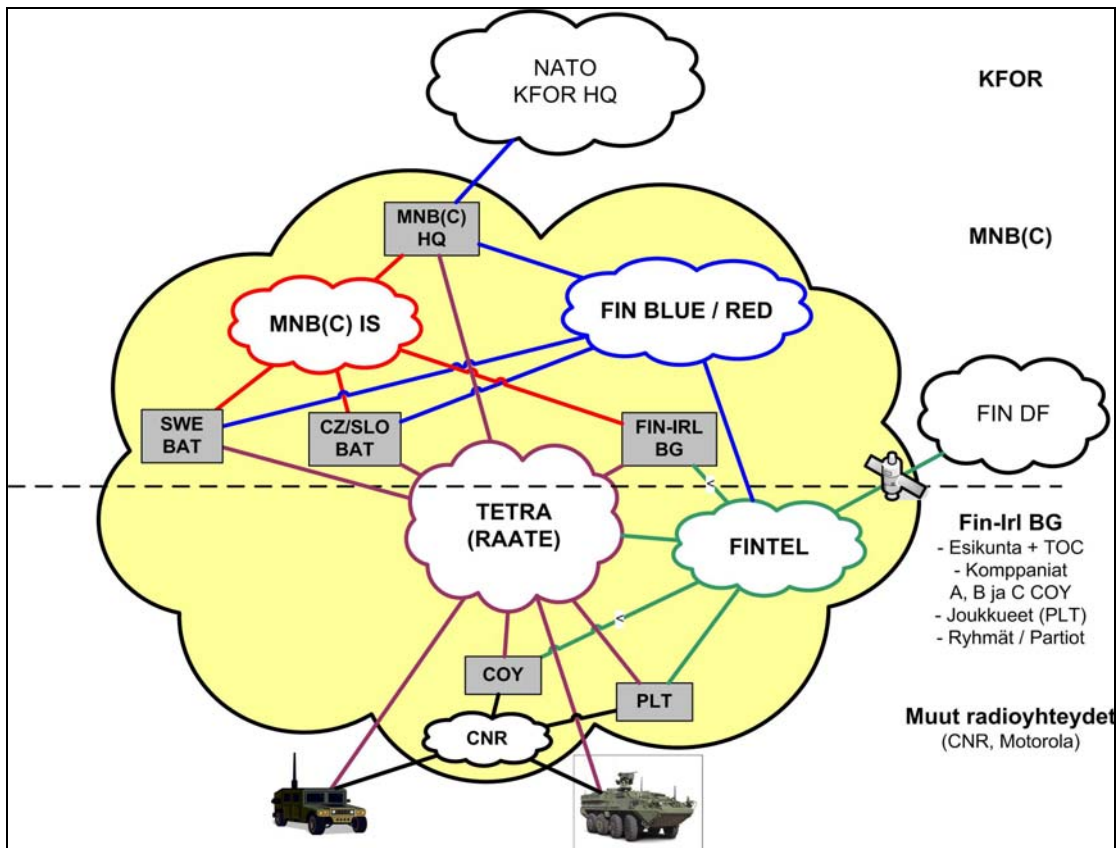
KFOR (Kosovo Force) on NATO:n johtama monikansallinen kokoonpano, joka on vastuussa turvallisen ympäristön ylläpitämisestä Kosovossa. Operaatio alkoi 12.6.1999 YK:n turvallisuusneuvoston päätöksen 1244 perusteella. Kosovo jaettiin heti alusta neljään vastuualueeseen. Näistä keskinen alue, johon kuuluu muun muassa pääkaupunki Pristina, tuli olemaan myös suomalaisen rauhanturvajoukon aluetta.

Vuonna 2003 huhtikuussa Suomi sai ensimmäisenä ei-NATO -valtiona johtoonsa yhden neljästä alueesta. Prikaati oli nimeltään Monikansallinen Keskinen Prikaati (MNB(C), Multinational Brigade Center). Prikaatiin kuuluivat tuolloin tärkeimpinä joukkoina Esikunta- ja Viestikomppania, Suomen Pataljoona, Ruotsin Pataljoona, Tsekin-Slovakian Pataljoona, reserviyksikkönä Norjan Pataljoona sekä monikansallinen Kuljetuskomppania. Saman vuoden syyskuuhun mennessä organisaatio oli muuttunut jonkin verran. Norjan Pataljoona oli otettu suoraan KFOR:n johtoon ja muutettu taisteluosastokokoonpanoon. Suomen Pataljoonaa supistettiin syyskuussa jonkin verran, ja samalla se otti johtoonsa uuden irlantilaisen jalkaväikkomppanian. Tällöin koko joukon nimi muutettiin Suomalais-Irlantilaiseksi Taisteluosastoksi (Finnish-Irish Battlegroup, Fin-Irl BG). Tässä kokoonpanossa jatkettiin aina vuoden 2004 loppuun saakka. Toki organisaation on muuttunut tämänkin jälkeen, mutta viestijärjestelmän kannalta tilanne on pysynyt lähes samankaltaisena siitä saakka.

#### 5.3.2. MNB(C):n johtamisjärjestelmän 2003 - 2004 yleiskuvaus

Tämä yleiskuvaus perustuu tutkijan omiin kokemuksiin Kosovosta ja lähteeseen 84. Ottaessaan prikaatin johtovastuun vuonna 2003 Suomi sitoutui samalla rakentamaan prikaatille johtamisjärjestelmän. Tämä oli ensimmäinen prikaatitason johtamisjärjestelmävastuu Suomelle kriisinhallintaoperaatioissa. Suomi oli samalla ensimmäinen ei-NATO -maa, jolle annettiin kyseinen vastuu. Prikaatin järjestelmän rakentamista oli edeltänyt vuonna 2002 toteutettu Suomen Pataljoonan viestijärjestelmän uusiminen kaupallisella viestimateriaalilla. Tuossa työssä hankittua kokemusta hyödynnettiin nyt laajemman järjestelmän rakentamisessa. Samalla tämä jo rakennettu järjestelmä tuli toimimaan kiinteänä osana kokonaisjärjestelmää.

Koko järjestelmän rungon rakenteen määritteli alueen topografia. MNB(C) toimi pääasiassa Kosovon Keskuslaakson alueella (Central Valley). Tätä laajaa laaksoaluetta ympäröivät lukuisat korkeat kukkulat. Alueen keskellä välittömästi keskeisen Pristinan lentokentän läheisyydessä kohosi alueen korkein vuori Mt Goles. Tuo alue oli jo vuosikymmeniä toiminut luontaisena viestintäasemien sijoituspaikkana ja tuli toimimaan jatkossakin keskeisenä järjestelmän solmupisteenä. Sieltä kyettiin järjestämään käytännössä suorat radiolinkkiyhteydet kaikkiin prikaatin alajohtoportaisiin tähtimäisesti. Sen lisäksi prikaatin radioverkon tukiasemia sijoitettiin muutamille keskeisille korkeille asemapaikoille. Näin saatiin rakennettua kiinteä viestijärjestelmä, joka kykeni palvelemaan prikaattia sen operaatioalueella.



**KUVA 19: MNB(C):n viestijärjestelmän yleisrakenne**

Kosvoon rakennettua järjestelmää tarkasteltaessa on erittäin vaikea erottaa teknisesti Suomen Pataljoonan järjestelmää Keskeisen Prikaatin järjestelmästä. Erottelu olikin toteutettu lähinnä numeroinnilla, osoitteistuksella sekä toiminnallisesti. Pataljoonalla oli oma puhelinvaihteensa, mutta vaihdeverkot oli kytketty yhteen. Samoin sekä pataljoonassa että prikaatissa oli Tetra-järjestelmän keskus. Tämä järjestely ei olisi ollut tilaajamäärien puolesta tarpeellista, mutta keskuksat toimivat samalla toisiaan varmentavina vakavan vikatilanteen varalta.

### 5.3.3. MNB(C):n runkoverkko ja dataverkko

Prikaatin viestijärjestelmän runkoyhteydet rakennettiin Ericsson Minilink 13 GHz tai 8 GHz:n taajuusalueilla toimivalla mikroaaltolinkkikalustolla. Yhteyskapasiteetteina runkoyhteyksillä käytettiin 16\*2 Mbit/s ja 4\*2 Mbit/s-yhteysnopeuksia. Jälkimmäistä linkkikalustoa käytettiin myös Suomen Pataljoonan viestiverkossa. Prikaatin puhelinverkko FIN BLUE/RED perustui Ericsson MD-110 -puhelinvaihteen hyödyntämiseen. Sekä prikaatin että Suomen Pataljoonan puhelinvaihteet muodostivat yhtenäisen vaihdeverkon. Kiinteä dataverkko MNB(C) IS rakennettiin edelleen samaa runkoverkkoa hyödyntäen. Käytännössä kyseessä oli IP-pohjainen reititinverkko, jonka reititinten väliset yhteydet kytkettiin reitittimeltä dataliikenteen solmuun ja sieltä edelleen siirtoyhteyksille. Solmun avulla yksi 2 Mbit/s-yhteys kyettiin jakamaan sekä puheelle että datalle. Tyypillinen datayhteyden nopeus oli 512 kbit/s. Pataljoonille oli alkuvaiheessa varattuna vain yksi 2 Mbit/s-yhteys puheen- ja datansiirtoon, mutta myöhemmin tukikohtien määrän vähentyessä kyettiin kukin joukko liittämään viestijärjestelmään vähintään kahdella 2 Mbit/s datayhteydellä.

### 5.3.4. MNB(C):n radiojärjestelmät

MNB(C):n keskeisin radiojärjestelmä rakennettiin Tetra-järjestelmällä. Järjestelmää toimitteineen ei esitellä tarkemmin tässä työssä. Sen voidaan todeta olevan matkapuhelinteknologiaan perustuva 380 - 400 MHz:n taajuusalueella toimiva radiojärjestelmä, jossa lyhyet puhelujen kytkeytymisajat mahdollistavat järjestelmän käytön perinteisen puheradion tavoin. Järjestelmä on tarkoitettu viranomaiskäyttöön ja tarjoaa täyden digitaalisuuden lisäksi muun muassa erittäin kehittyneen salauksen. Kosovossa käytössä ollut järjestelmä perustui täysin kotimaisen VIRVE-verkon (Viranomaisverkko) määrittelyihin. Järjestelmän laitteistot eli keskuksat oheislaitteineen, tukiasemat, ohjauspäätteet sekä päätelaitteet olivat kaikki Nokia Telecommunications Oy:n valmistamia. Tämä edesauttoi yhteensopivuusongelmien välttämiseksi järjestelmän osalta. Järjestelmässä oli alkuvaiheessa noin 500 tilaajaa, mutta tilaajien määrä nousi asteittain päätelaitteiden lisähankintojen myötä noin 900:an vuoden 2004 puoli-väliin mennessä.

Muina radiojärjestelminä MNB(C):n alueella käytettiin lukuisia erilaisia analogisia ja digitaalisia kenttäradiojärjestelmiä sekä matkapuhelinverkkoa. Nämä järjestelmät olivat luonteeltaan kansallisia ja usein yhteensopimattomia toistensa kanssa. Matkapuhelimet olivat kuitenkin

kin luotettava yhteydenpitotapa operaation tässä vaiheessa. Matkapuhelinten käyttöön liittyvien operatiivisten riskien vuoksi niitä ei kuitenkaan käytetty johtamisessa.

#### 5.3.5. MNB(C) -viestijärjestelmän arviointi

MNB(C):n viestijärjestelmä oli aikanaan täysin uuden tyyppinen ja edistyksellinen toteutus. Se oli erittäin toimintavarma sekä perusrakenteeltaan yksinkertainen. Alkuvaiheessa joidenkin laitteiden toimintavarmuus aiheutti ongelmia, mutta nämä ongelmat kyettiin korjaamaan ajan kuluessa. Yksinkertainen järjestelmärakenne mahdollisti varsin pienen joukon käyttämisen järjestelmän ylläpidossa. Toisaalta järjestelmien tekninen monimutkaisuus korosti syvälistä osaamista ja teknistä asiantuntijuutta. Juuri tältä osalta koettiin järjestelmän ylläpidon suurimmat haasteet. Toiminta-alueen muuttuessa alkoivat järjestelmän rajoitteet kuitenkin tulla selkeästi esille. Satelliittijärjestelmien puuttuminen toi selkeitä haasteita järjestelmien toteutukselle operaatioissa, joissa jouduttiin toimimaan oman alueen ulkopuolella. Myös vuoristoinen maasto aiheutti pääosin maanpäällisiin yhteyksiin perustuvalla järjestelmällä haasteita.

MNB(C):n viestijärjestelmä oli rakennettu täysin kiinteäksi. Se ei soveltuisi esitellyllä kalustolla ja rakenteella toteutettuna liikkuvan tai toiminta-alueelle nopeasti siirtyvän joukon varustukseksi. Järjestelmässä oli kuitenkin elementtejä, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi alueellisten joukkojen järjestelmän toteuttamisessa. Esimerkiksi TETRA-radioverkko toimi erittäin luotettavasti ja mahdollisti monipuolisen sekä joustavan toiminnan. Järjestelmää käytetäänkin varmasti hyödyntämään nykyistä tehokkaammin esimerkiksi alueellisten joukkojen johtamisessa.

#### 5.4. EUFOR ALTHEA -operaatiossa Bosniassa vuodesta 2005 alkaen käytetty viestijärjestelmä

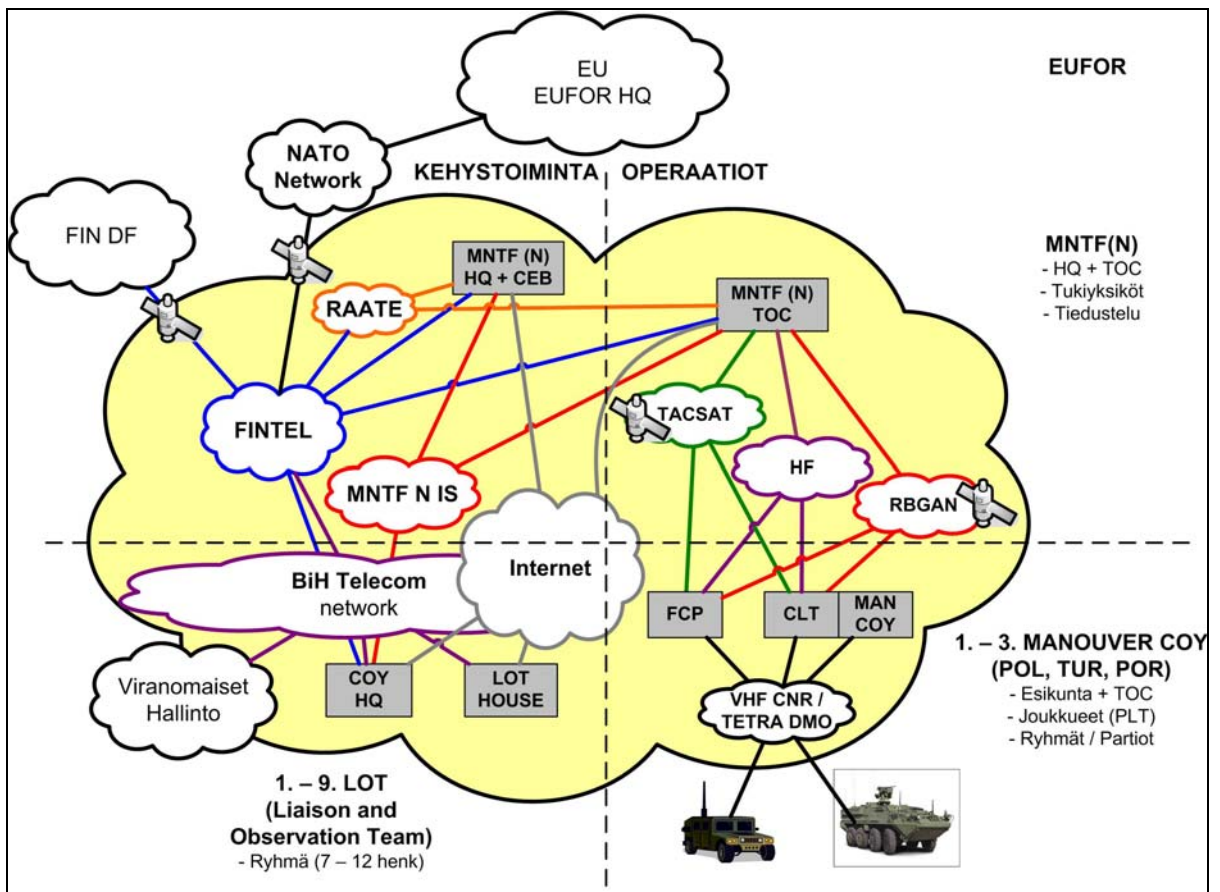
NATO:n ja EU:n tekemän sopimuksen perusteella NATO-johtoinen SFOR-operaatio Bosnia-Herzegovinassa siirrettiin 1.12.2004 EU:n johtoon. Samalla operaation nimi muutettiin EUFOR:ksi. Operaation esikunta jatkoi Sarajevossa entisissä tiloissa ja pääsääntöisesti samoilla järjestelyillä. Keskeisimmät muutokset vastuun vaihdon yhteydessä toteutettiin monikansallisessa pohjoisessa taisteluosastossa [MNTF (N), Multinational Task Force North]. Se organisoitiin käytännössä kokonaan uudelleen Yhdysvaltain joukkojen vetäytyessä ja monikansallisten joukkojen ottaessa aluevastuun. Suomi sai samalla ensimmäisenä valtiona johtovastuun

alueella, sillä se kykeni asettamaan operaatioon johtamisjärjestelmän. Suomalainen johtamisjärjestelmä on purettu alueelta kevään 2007 aikana.

#### 5.4.1. MNTF (N) -viestijärjestelmän yleiskuvaus

MNTF (N):n viestijärjestelmän kuvaus perustuu tutkijan omiin kokemuksiin operaatioalueella sekä majuri Harri Reiniltä (Viestirykmentti) ja kapteeni Juha Leppäseltä (Viestirykmentti) saatuihin tietoihin. MNTF (N):n johtamisjärjestelmä muistutti käytännössä yleisrakenteeltaan Kosovossa käytössä ollutta järjestelmää, koska käytetyt järjestelmät olivat pääosin samoja. Alueen rauhallisen tilanteen vuoksi operaatiossa kyettiin kuitenkin hyödyntämään merkittävässä määrin sen kiinteää infrastruktuuria siirtoverkon toteuttamisessa. Näin ollen varsinainen normaalin kehystoiminnan viestintäverkko kyettiin toteuttamaan tämän varaan. Merkittävien rakentamistyö jouduttiin toteuttamaan päätukikohdan Camp Eagle Basen ja sen lähiympäristön järjestelyiden osalta. Tämä tarkoitti käytännössä FINTEL-puhelinverkon, MNTF(N) IS -tietoverkon sekä internetin rakentamista tukikohtaan. Samalla päätukikohdan ympäristöön toteutettiin tukikohdasta noin 10 km:n etäisyydelle ulottuva TETRA-radioverkko, jota kutsuttiin nimellä RAATE (Radio Access TETRA).

Nämä järjestelyt eivät olleet kuitenkaan riittävät sotilaallisten operaatioiden toteuttamisen kannalta. Käyttöön otetun operaatioiden toteuttamisen mallin mukaisesti käytössä olleilla joukoilla tuli kyetä operoimaan koko taisteluosaston alueella. Tämä oli viestiyhteyksien kannalta erittäin haasteellista, sillä alue on laaja (100 \* 120 km) ja erittäin vuoristoista. Näin ollen operaatioita varten perustettiin omat viestijärjestelmänsä. Ainoina vaihtoehtoina olivat käytännössä erityyppiset satelliittijärjestelmät sekä HF-radioyhteyksien käyttö. Tässä tilanteessa EUFOR HQ kykeni tukemaan tilannetta antamalla taisteluosaston käyttöön muutamia kappaleita TACSAT-satelliittiradioita, jotka soveltuivat käytännössä puheensirtoon. Näiden rinnalla käytettiin datansirtoon RBGAN-satelliittidatayhteyttä (Regional Broadband Global Area Network) internetin läpi. HF-radioina käytettiin suomalaisia LV-665 -radioita varustettuina tekstimuotoisen liikenteen salaamiseen soveltuvalla sanomalaitteella.



**KUVA 20: MNTF(N) / EUFOR:n viestijärjestelmän yleisrakenne**

#### 5.4.2. Kehystoiminnan viestijärjestelmän toteutus

Kehystoiminnan keskeiset toiminnot EUFOR-operaatiossa olivat johtaminen, suunnittelu sekä konfliktin paikallisten osapuolten toiminnan tarkkailu. Johtaminen ja suunnittelu toteutettiin käytännössä Camp Eagle Basen alueella toimivassa esikunnassa sekä keskeisten alajohtoportaiden esikunnissa. Lisäksi oleellisessa roolissa olivat tarkkailutehtävää toteuttavat LOT-ryhmät (Liaison and Observation Team), jotka oli sijoitettu tavallisen kansan keskelle vuokrataloihin. Päätukikohdan Camp Eagle Basen alueelle rakennettiin operaation valmisteluvaiheessa tietoliikennejärjestelyjen toteuttamista varten kattava valokaapelipohjainen runkoverkko, jota käytettiin datansiirtoon. Puhelinyhteydet toteutettiin pääosin perinteisellä kuparikaapeloinnilla, mutta myös dataverkossa toimivia IP-puhelinratkaisuja oli käytössä. Päätukikohdan ulkopuolella sijaitseviin tukikohtiin muodostettiin runkoyhteys paikalliselta puhelinyhtiöltä BiH Telecom:lta vuokratuilla kiinteillä 2 Mbit/s-yhteyksillä. Sen lisäksi päätukikohdassa oli kiinteä laajakaistainen internet-liittymä. LOT-talojen puhe- ja datayhteydet toteutettiin kiinteillä internet-yhteyksillä, paikallisten puhelinyhtiöiden puhelinliittymillä sekä matkaviestinyhteyksillä. On huomattava, että toimialueen rauhallinen tilanne, toiminnan



säännöllinen sykli sekä kiinteät tukikohdat mahdollistivat edellä kuvatun järjestelmän kiinteän rakenteen.

Radiojärjestelmien käyttö painottui päätukikohdan Camp Eagle Basen alueelle. Alueelle rakennetussa TETRA-radioverkossa oli enimmillään noin 250 tilaajaa. Radiojärjestelmä oli liitetty puhelinverkkoon. TETRA-järjestelmän datansiirto-ominaisuuksien hyödyntämiseen ei tilanteessa ollut tarvetta. Tärkein käytetty radiojärjestelmä normaalitilanteissa olikin itse asiassa paikallinen matkapuhelinverkko. Se toimi luotettavasti ja takasi noin 80 % peiton koko taisteluosaston vastuualueella. Matkapuhelinverkkoon ei ollut vielä vuoden 2005 aikana tarjolla GPRS- (General Packet Radio System) tai vastaavia suurikapasiteettisempia datapalveluita.

#### 5.4.3. MNTF (N):n operatiivisen viestitoiminnan toteutus

Operatiivisella viestitoiminnalla tuettiin taisteluosaston joukkojen toimintaa erilaisissa operaatioissa. Järjestelmä mahdollisti tietoturvallisen puheen- ja datansiirron kaikkien järjestelmään liitettyjen johtamispaikkojen välillä. Järjestelmä oli tarkoitettu pääasiassa johtamiseen sekä raportointiin. Se mahdollisti myös suunnittelun taisteluosaston esikunnan tasolla, mutta sen vaatimia järjestelyjä ei vuoden 2005 aikana käytännössä toteutettu. Operatiivisen viestitoiminnan toteuttamiseen taisteluosastolla oli käytössä neljä komentopaikka-ajoneuvoa (kaksi panssariajoneuvoa sekä kaksi telakuorma-autoa) sekä viisi erikoisvarusteltua maastohenkilöautoa. Näistä komentopaikka-ajoneuvoja valmistauduttiin käyttämään keskeisillä johtamispaikoilla ja maastohenkilöautoja liitettävissä joukoissa. Kaikki ajoneuvot oli varustettu viesti-järjestelmien lisäksi monipuolisilla paikannuslaitteistoilla (GPS) sekä erilaisilla digitaalisilla kartta-aineistoilla. Käytetyt ohjelmistot mahdollistivat muun muassa miinakenttätietokantojen käytön ajoneuvoissa liikkeen aikana.



**KUVA 21: MNTF (N):n panssaroitu komentopaikka-ajoneuvo toiminnassa operaation aikana Bosnia-Herzegovinassa maaliskuussa 2005.**

(Ajoneuvon katolla näkyvät satelliittipohjaisen RBGAN-järjestelmän antenni sekä HF piiska-antenni)

Käytännössä operatiivisen viestitoiminnan tärkeimmät viestiyhteydet olivat satelliittipohjainen salattu TACSAT-puheradioverkko sekä RBGAN-satelliittidatajärjestelmä. RBGAN-järjestelmä on kytketty julkiseen internetiin, ja sen palveluntarjoajana oli France Telecom. Tietoturva internetin yli oli varmistettu VPN-ratkaisulla. Varajärjestelmänä satelliittiyhteyksille käytettiin HF-radioyhteyksiä. Operaattoreiden puutteellinen taito näiden radioyhteyksien käyttöön osoittautui kuitenkin pitkillä yhteysväleillä käytännössä suurimmaksi rajoitteeksi. Operatiivisessa viestitoiminnassa valmistauduttiin käyttämään myös erityyppisiä mikroaalto-linkkejä, VHF-radioita sekä muita viestivälineitä käyttömahdollisuuksien ilmetessä. Tarvetta ei kuitenkaan muutamia harjoitustilanteita lukuun ottamatta ilmennyt.

#### 5.4.4. MNTF (N) -viestijärjestelmän arviointia

Tarkasteltu MNTF (N):n viestijärjestelmä edusti hyvin poikkeuksellista järjestelmätoteutusta. Tähän vaikutti etenkin toiminnan kaksijakoinen luonne. Järjestelmä edustaa kuitenkin tavaltaan myös verkostokeskeistä ajattelua, sillä sen keskeisenä piirteenä on robusti päällekkäisiin järjestelmiin perustuva kaikkien toimijoiden verkottaminen. Käytännössä merkittävimpinä verkkoina toimivat internet sekä paikallinen GSM- ja puhelinverkko. Tätä ajatusmallia voi-

daan kritisoida tietoturva- ja luotettavuusperusteilla, mutta järjestelmien runsas määrä takasi käytännössä kuitenkin aina varmennetun yhteyden. Suurimmaksi ongelmaksi muodostuikin lukuisten järjestelmien käyttötaito, joka ei käytännössä riittänyt ajoittain monimutkaisten ongelmatilanteiden ratkaisuun.

Tarkastellusta järjestelmäratkaisusta voidaan nostaa kolme merkittävää tekijää yli muiden: satelliittiyhteyksien merkitys, opportunistinen viestijärjestelmien käyttö sekä operatiivisen viestitoiminnan modulaarinen ja liikkuva kalusto. Satelliittiyhteydet osoittautuivat keskeisiksi liikkuvien operaatioiden puheen- ja datansiirron toteutuksen kannalta. Etenkin vuoristoinen maasto korosti satelliittiyhteyksien infrastruktuuririippumattomuuden merkitystä. Samalla nämä yhteydet kyettiin varmentamaan hyödyntämällä opportunistisesti muita mahdollisia tiedonsiirtoyhteyksiä. Opportunismi toi mukanaan monimutkaisuutta järjestelyihin, mutta sillä kyettiin takaamaan joka tilanteessa varmennetut johtamisyhteydet. Operatiivisen viestijärjestelmän toteutustapa osoittautui periaatteeltaan erittäin käyttökelpoiseksi. Se mahdollisti viestikaluston tehokkaan käytön eri tilanteissa niiden vaatimusten mukaisesti.

#### 5.5. Johtopäätöksiä kehityksestä Suomessa

Tiedonsiirtojärjestelmien kehitys maavoimissa on ollut varsin verkkaista 1990-luvun puolivälistä saakka. Käytännössä maavoimien tärkein tiedonsiirtokalusto on toteutettu 1990-luvun alun tai puolivälin teknologialla. Maavoimien tärkein datansiirtojärjestelmä eli sanomalaitejärjestelmä periytyy jo 1980-luvun lopulta. Perinteisesti ajateltuna kalusto on vasta elinkaarensa puolivälissä, mutta käytännössä se on suorituskyvyltään jäänyt merkittävästi kehityksestä jälkeen. Käytössä olevan kalusto on suunniteltu perinteisen kylmän sodan ajan taistelukentälle, ja se vaatii käytännössä ympärilleen massamaisen armeijan. Tiedonsiirtokyvyltään järjestelmä ei nykymuodossaan vastaa nykypäivän, saati sitten tulevaisuuden tarpeisiin [62]. Järjestelmän uudistaminen on siis vähintäänkin tarpeellista.

Kansainvälisten operaatioiden viestijärjestelmien toteutus 2000-luvulla on edustanut hyvin erityyppistä lähestymistapaa. Alueellisten viestijoukkojen kehitystyön yhteydessä alkanut kaupallisten viestijärjestelmien esiinmarssi on kansainvälisesti nostanut Suomen yhdeksi sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien kärkimaaksi. Tästä osoituksena on Suomen vahva rooli Kosovon ja Bosnian rauhanturvaoperaatioiden johtamisjärjestelmien tarjoamisessa. Kyseiset järjestelmät saivat myös kansainvälisesti erittäin hyvän ja edistyksellisen maineen [84]. Pragmaattisen järjestelmäkehityksen lähestymistavan ansiosta järjestelmät vastasivat kentällä erittäin hyvin tilanteen vaatimuksiin. Järjestelmät siis rakennettiin alusta saakka palvelemaan

operatiivista toimintaa eri muodoissaan niin organisaatioiltaan kuin järjestelmien rakenteeltaan. Suurelta osin kiinteisiin järjestelyihin perustuneet järjestelmät eivät kuitenkaan voi olla perusta liikkuvamman taistelukentän järjestelyille, vaan järjestelmiin on saatava lisää joustavuutta. Tähän joustavuuteen voi vastauksia olla löydettävissä EUFOR-operaation järjestelmän toteutustavasta.

MNTF (N):n viestijärjestelmän voidaan teoreettisesti katsoa edustavan kahta erityyppistä kokonaisuutta. Järjestelmä piti sisällään kiinteän infrastruktuurin tukeman liikkuvuudeltaan rajoitetun osan sekä operatiivisesti erittäin liikkuvan osan. Kiinteän infrastruktuurin voimakas hyödyntäminen mahdollisti viestijoukkojen organisaation pitämisen verrattain kevyenä. Käytännössä suurin osa viestivoimasta voitiinkin tarvittaessa suunnata liikkuvuutta vaativiin operaatioihin, joissa käytössä oli mahdollisimman monipuolinen viestikalusto. Tällä mahdollistettiin luotettava toiminta kaikissa olosuhteissa. Satelliittijärjestelmien käyttö vapautti käytännössä tarpeesta rakentaa massiivisia runkoviestijärjestelmiä. Liikkuvien viestillisten elementtien organisaation joustavuus puolestaan mahdollisti hyvinkin monenlaiset joukkojen johtamisjärjestelyt ollen samalla yhteensopivuudeltaan hyvällä tasolla. Kokonaisuutena järjestelmä siis vaikuttaa vastaavan erittäin hyvin verkostokeskeisyyden teorian vaatimuksiin. Sitä siis voidaan pitää eräänlaisena suomalaisena verkostokeskeisyyden päänavauksena. Teknisesti järjestelmä ei kuitenkaan ollut verkostokeskeisyyden vaatimusten tasalla puutteellisen järjestelmäintegraation vuoksi. Tähän ei myöskään ollut tarvetta, sillä tilanne ei vaatinut monimutkaisten teknisten sensori- ja asejärjestelmien käyttöä.

Suomalainen verkostokeskeisen järjestelmän kehitystyön kannalta nykyisten kenttäviestijärjestelmien lineaarinen kehitys ei tuota verkostokeskeisesti toimivia järjestelmiä. Sen sijaan verkostokeskeisyyden saavuttaminen vaatii uudentyyppistä ajattelua, jossa eri tehtäviin liittyvä johtaminen, suunnittelu ja vaikuttaminen analysoidaan entistä tarkemmin. Tältä pohjalta voidaan lähteä suunnittelemaan erityyppisiä järjestelmäelementtejä, joista osa vaatii kiinteämmän sijoittamisen ja osa on suunniteltu liikkuvaan toimintaan. Kiinteämpiä elementtejä puolustusjärjestelmässä edustavat tällä hetkellä alueelliset joukot sekä osa johtoportaista. Operatiiviset joukot ovat puolestaan puolustusjärjestelmän liikkuva osa. Tämän kokonaisuuden verkottaminen ei onnistu kenttäviestijärjestelmillä, vaan tähän tehtävään vaaditaan uudenlainen järjestelmä. Uuden järjestelmän tulee siis taata operatiivinen ja johtamisen sekä suunnittelun joustavuus. Tämän lisäksi sen tulee olla modulaarisesti rakennettu ja ylläpidettävissä aikaisempaa pienemmillä joukoilla. Viimeinen keskeinen vaatimus on sen yhteensopivuus siviili- ja sotilasinfrastruktuurin kanssa. Nämä tulisivat siis olemaan suomalaisen verkostokeskeisyyden keskeiset tekijät.

## 6. KAUPALLISTEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMIEN KEHITYSNÄKYMÄ JA RAJOITUKSIA

*”Potential benefits from COTS equipment are obvious: much smaller price, smaller equipment, larger research effort and much better capabilities and new features.”*

*– Professori Jorma Jormakka, Maanpuolustuskorkeakoulu, 2003 -*

Kaupalliset tiedonsiirtojärjestelmät ovat tällä hetkellä suorituskyvyltään useilla mittareilla mitattuna ylivoimaisia verrattuna perinteisiin sotilaallisiin teknologioihin. Ero korostuu erityisesti tarkasteltaessa kaupallisten järjestelmien kykyä verkottua sekä toimia osana suurempia järjestelmiä. Verkostokeskeisyyden toteuttamisen kannalta kaupalliset järjestelmät hyödyntäminen vaikuttaa siis periaatteessa erittäin hyvältä kehityspolulta. Kaupalliset tiedonsiirtojärjestelmät kehittyvät kuitenkin sotilaalliseen materiaalin hankintarytmiin verrattuna jopa liian nopeassa tahdissa, jotta niiden hyödyntämiseen kyettäisiin täysipainoisesti nykyisillä materiaalin hankintamenettelyillä. Asevoimien materiaalin hankintaprosessien uudistaminen tuleekin olemaan ratkaisevassa asemassa kaupallisen materiaalin hyödyntämisen kannalta. Pyrkimys uusimman tekniikan hyödyntämiseen vaikuttaa siis hankintoihin ja logistiikkaan erittäin syvästi. Suurin haaste kuitenkin on halu riittävän syvästi muutosten toteuttamiseen.

Tässä luvussa käsitellään kaupallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehitysnäkymiä pääosin lähimmän kymmenen vuoden aikavälillä. Painopiste on selkeästi langattomissa datansiirtojärjestelmissä. Luvussa ei kuitenkaan käsitellä langattomia runkojärjestelmiä (mikroaaltolinkit tms.), mutta ne huomioidaan tutkimuksen tuloksissa. Kaupallisten tiedonsiirtojärjestelmien voimakas tunkeutuminen sotilaallisiin sovelluksiin alkoi käytännössä vasta 1990-luvulla. Tällä hetkellä kaupallista tekniikkaa käytetään lähes kaikissa sotilaallisen tietoliikenteen sovelluksissa. Kaupallisen ja sotilastekniikan suunnittelufilosofioissa on kuitenkin merkittäviä eroja, joita tarkastellaan tässä luvussa. Tämä luku luo pohjaa kehittyvien kaupallisten järjestelmien tulevaisuuden käyttökelpoisuuden arvioinnille. Kaupallisten teknologioiden soveltuvuutta sotilaskäyttöön on arvioitu lähteissä 9, 21, 31 ja 69.

### 6.1.1. COTS-järjestelmien käytön vahvuudet ja haasteet

Kaupallisten tiedonsiirtojärjestelmien sotilaskäyttöön liittyvät haasteet voidaan tiivistää seuraavassa taulukossa esitettyihin kokonaisuuksiin.

<b>Liittyy</b>	<b>Vahvuudet</b>	<b>Heikkoudet</b>
<i>Kaupallisuus</i>	1. Tuotteiden edullinen hankinta- ja ylläpito hinta 2. Tuotetuen robustisuus ja kustannustehokkuus	1. Tekniikka kaikkien saatavilla, myös vastustajien 2. Tuotteiden lyhyet elinjaksot ja siihen liittyvä tuotetuen ajallinen kesto 3. Sotilaallisten järjestelmien pienet hankintamäärät (räätälöinti!)
<i>Aaltomuodot</i>	1. Lyhyemmät kehitysjaksot ideasta tuotteeksi 2. Aaltomuotojen tehokkuus	1. Tukeutuminen kiinteään infrastruktuuriin 2. Aaltomuotojen suhteellisen heikko häiriönkesto ja helppo havaittavuus
<i>Järjestelmien ominaisuudet</i>	1. Parantunut yhteensopivuus 2. Käytön helppous	1. Tietoturvan toteuttaminen riittävän korkeatasoisesti vaikeaa 2. Fyysisten olosuhteiden kesto rajallinen

**TAULUKKO 13: COTS-tekniologioiden käytön vahvuudet ja heikkoudet**

Tarkasteltaessa kaupallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehitystä onkin tärkeää arvioida sitä, miten heikkouksille käy tulevassa kehityksessä [31]. Tämän hetken kaupallinen tiedonsiirto-tekniikka käy vain tiettyihin tarkoituksiin. Se on esimerkiksi erittäin rajoitetusti soveltuvaa radiojärjestelmien toteuttamiseen. Tähän vaikuttavat erityisesti aaltomuotojen ominaisuudet, sillä useimmat kaupalliset järjestelmät perustuvat tukiasemapohjaisiin ratkaisuihin. Tukiasemat vaativat edelleen välilleen kiinteillä tiedonsiirtoverkoilla toteutetun runkojärjestelmän. Tämän tyyppiset rajoitteet estävät tehokkaasti kaupallisten järjestelmien todellisen läpilyönin sotilaallisissa sovelluksissa.

Kaupallisen tekniikan kehitys kulkee kuitenkin tällä hetkellä yhä voimakkaammin kohti sovelluksia, joiden sotilaalliset mahdollisuudet vaikuttavat erittäin lupaavilta. Kaupallisuuden mukanaan tuoma ominaisuus on kuitenkin se, että tekniikka on kaikkien ulottuvilla. Näin ollen keskeiseksi muodostuukin kyky soveltaa kaupallista tekniikkaa. Täten perinteiset jäykät hankintasyklit sekä monikymmenvuotiset elinkaaret eivät suorituskyvyn ylläpidon kannalta ole kovinkaan tehokkaita. Sen sijaa ketteryys ja joustavuus teknologioiden hyödyntämisessä tullevat tulevaisuudessa olemaan erittäin keskeisellä sijalla.

Lähteessä 31 esitetään kehityspolku kohti kehittyneempää COTS-järjestelmien hyödyntämistä. Keskeisenä ajatuksena parannetussa arviointiprosessissa on se, että se muistuttaa läheisesti strategian luomisprosessia. Kehityspolku perustuu seuraaviin keskeisiin ajatuksiin:

1. Tulevaisuuden trendien arviointi
2. Tavoitteiden (visiot) asettaminen päämäärien saavuttamiseksi

3. Tavoitteiden saavutettavuuden arviointi
4. Kriteerien määrittely
5. Vaihtoehtojen arviointi
6. Pistemäärien määrittely vaihtoehdoille (esim. monikriteerimenetelmällä)

Kaupallisen tekniikan hyödyntäminen puolustuksessa tulee kustannuspaineiden lisääntymisen myötä lisääntymään yhä entisestään. Tämän vuoksi on tärkeää kyetä seuraamaan yleistä teknologista kehitystä. Kehityksen ennustaminen perinteisen hankintasyklin (jopa 30 vuotta) aikavälillä ei ole mahdollista, mutta jo käytössä olevien tekniikoiden kehitystä voidaan kyllä hyvinkin arvioida. Samalla voidaan arvioida nousevia teknologiatrendejä. Näitä arviota tulee sitten vain kyetä hyödyntämään varsinaisia strategisia hankintasuunnitelmia tehtäessä.

## 6.2. Yleisen tiedonsiirtoinfrastruktuurin kehitys Suomessa

Yleinen tiedonsiirtoinfrastruktuuri on viimeisen kymmenen vuoden aikana muuttunut merkittävästi. Lähteen 45 mukaan vuonna 2001 matkapuhelinverkkojen tilaajien määrä ylitti maailmanlaajuisesti kiinteiden verkkojen tilaajamäärät. Tällä hetkellä tilaajamäärät matkapuhelinverkossa ovat noin 1,5-kertaiset. Viimeisen viiden vuoden aikana yksityiset laajakaistaiset, vähintään 100 kbit/s-nopeudella toimivat internet-liittymät ovat myös lisääntyneet räjähdysmäisesti. Vuonna 2005 noin 20 %:lla Suomen kansalaisista oli käytössään laajakaistayhteys. Näiden tunnuslukujen valossa Suomi on yksi maailman johtavia informaatioyhteiskuntia.

Maailmanlaajuisesti kaupallisen tietoliikenteen kokonaiskasvumahdollisuudet arvioidaan lähteen 45 mukaan 3-4 -kertaisiksi nykyisestä. Kasvualue ei vain ole nykyisissä teollisuusmaissa vaan kehittyvissä maissa Aasiassa, Afrikassa ja Etelä-Amerikassa. Tämä johtaa kehityksen painopisteen kaupallisissa järjestelmissä langattomiin, edullisiin sekä helposti toteutettaviin järjestelmiin. Keskeinen tavoite infrastruktuurin kehityksellä on alkuvaiheessa käyttäjien verkottaminen ja myöhemmin ansaita verkoissa tuotettavan sisällön sekä palveluiden avulla. Näin ollen helposti rakennettava ja edullinen infrastruktuuri tulee olemaan merkittävä kehitysalue. Edullisten infrastruktuurien ansiosta puheluiden ja datansiirron hinta tulee pysymään alhaisena myös tulevaisuudessa. Suomen infrastruktuuri on jo tällä hetkellä erittäin hyvä, ja kehitys meillä noudattanee yleistä peruslinjaa. Tämä tarkoittaa langattomien laajakaistateknologioiden leviämistä vähitellen keskuksista haja-asutusalueille. Asiakaspuhjan vähäisyys Suomessa pitää kuitenkin todennäköisesti kilpailevien järjestelmien määrän varsin vähäisenä.

Sotilaalliselta kannalta tarkasteltuna tietoliikenneinfrastruktuuri ei Suomessa tule muuttumaan merkittävästi seuraavan 10 - 15 vuoden aikana. Toki normaalia kehitystä tapahtuu, mutta muutosnopeus on varsin hidas. Merkittävin muutos tulee olemaan kilpailu erilaisten langattomien laajakaistateknologioiden välillä. Osittain samasta asiakasmassasta kilpailevat ainakin matkapuhelinoperaattoreiden 3G-verkot, uusien operaattoreiden WiMAX sekä Digin FlashOFDM -tekniikalla toteutettu @450-verkko. Näiden verkkojen peittoalueissa on kuitenkin eroja, mikä vaikuttaa asiakkaiden lopulliseen järjestelmävalintaan. Ainoa koko maan peittoalueekseen saavutettava järjestelmä tulee olemaan @450-verkko, jonka täysi peitto saavutetaan noin 2009-2010 [18].

Viranomaisyhteistyön kannalta VIRVE-verkon kaupallinen kannattavuus tulee olemaan merkittävä tekijä järjestelmän ylläpidolle. Mikäli järjestelmän käyttöaste vakiintuu riittävän korkeaksi, voidaan järjestelmässä nähdä myös kehitystä. Nykyisen järjestelmän datansiirtokyky jää varsin vaatimattomaksi ollen luokkaa 7,2 kbit/s, ja useamman aikapaikan käyttötilanteissa maksimissaan 28,4 kbit/s. Nämä tiedonsiirtonopeuden mahdollistavat kuitenkin jo esimerkiksi paikannuspalveluiden käytön. TETRA-standardiin on kuitenkin kehitetty datansiirtokyvyltään nykyistä merkittävästi tehokkaampi TEDS-datapalvelu (TETRA Enhanced Data Service). TEDS kykenee siirtämään dataa 50 - 300 kbit/s-nopeudella, mutta palvelun saatavuus ei vastaa kantamiltaan puheyhteyksien kantamia. Tämän kaltaiset ominaisuudet yleistynevät kuitenkin erittäin hitaasti koko maan laajuudessa VIRVE-verkossa, mutta esimerkiksi rauhan- turvatoiminnan TETRA-järjestelmissä kyseiset ratkaisut saattavat olla erittäin hyödyllisiä.

Maavoimien tiedonsiirtoarkkitehtuurin kannalta VIRVE-verkon sekä maanlaajuisten langattomien datansiirtojärjestelmien kehitys on erittäin tärkeää. Niiden hyödyntäminen sotaa alempiasteisissa kriiseissä mahdollistaa tiedonsiirron toteuttamisen joukkoihin verkostokeksyyden vaatimusten mukaisesti kustannustehokkaasti. Nämä järjestelmät eivät kuitenkaan ratkaise alueellisen sodan tiedonsiirron haasteita. Näin ollen tällaisiin tilanteisiin maavoimat joutuvat etsimään ratkaisuja muualta kuin kehittyvästä infrastruktuurista.

### 6.3. Kiinteiden verkkojen teknologiakehitys

Lähteessä 72 on tarkasteltu kiinteiden runkoverkkojen tekniikoiden kehitystä. Runkoverkkojen tekniikat ovat kehittyneet erilaisiin integraatiomalleihin pohjautuen. Pyrkimys on ollut käyttää alustaa, jonka päällä kaikki palvelut kyetään toteuttamaan. Eri aikoina käytössä olleita integraatioalustoja ovat olleet muun muassa puhelinverkon pohjalle rakentunut NISDN, ATM:n päälle rakentunut B-ISDN ja nykyinen IP:n päälle rakentuva integraatio. Näillä kai-



killä teknologioilla on ollut aikaisemmin noin kymmenen vuoden elinkaari. Tällä hetkellä eletään IP-teknologian huippuvaihetta, ja sen voidaankin arvioida olevan väistymässä uudemman tieltä. Tällä hetkellä tulevaisuuden integraatioalustaksi pääsystä kilpailevat ainakin avoin all IP -malli, suljettu all IP -malli eli NGN-malli (Next Generation Networks), all Ethernet -malli ja all optical -malli. Tällä hetkellä NGN-arkkitehtuuriin perustuva malli vaikuttaa saavan suurimman kannatuksen viranomaisilta sekä teollisuudelta. Tämä näkyy esimerkiksi ITU-T:n (Kansainvälinen televiestintäliitto, telestandardointisektori), EU:n, Suomen viranomaisten [38] sekä Iso-Britannian viestintäasioista vastaavan Ofcon:n (Office of Communications) kehitysohjelmissa ja tulevaisuusarvioissa [48, 49].

### 6.3.1. NGN-teknologiamallin toimintaperiaate

Suurin osa nykyisin käytössä olevista viestintäteknologioista hyödyntää juuri sille itselleen optimoitua tietoliikenneinfrastruktuuria ja jopa omia tietoliikenneprotokolliaan. Eri verkot ovat vähintäänkin loogisesti erillisiä (puhelinverkko ja internet), mutta myös fyysinen erottuminen on tavallista. Aivan viime aikoina on ollut havaittavissa verkkojen yhdentymistä (konvergenssi), mutta loogisesti verkkoja hallitaan täysin erillisinä, eikä samoja palveluita ole saatavilla eri verkkojen ylitse [72]. NGN-mallilla tähdätään juuri tämän ongelman poistamiseen. Välttämällä tietoliikennepalveluita loogisesti yhtenäisissä verkoissa saavutettaisiin verkkojen hallinnan suhteen skaalautuvuusetuja, ja kuluttajille sekä yrityksille pystytään tarjoamaan samoja palveluita useiden fyysisten rajapintojen yli. Fyysisinä rajapintoina voisivat toimia muun muassa langattomat lähiverkot, langattomat laajakaistaverkot, matkapuhelinverkot ja erilaiset kiinteän laajakaistayhteydet.

Lähteen 72 mukaan NGN-verkkojen perusajatus on se, että palvelu-, sovellus- ja siirto(verkko)kerroksien välillä on standardoituja rajapintoja. Nämä rajapinnat mahdollistavat erilaisten palveluiden käyttö erilaisten sovellusten kautta erilaisissa verkoissa. NGN-verkot pyrkivät takaamaan käyttäjälle liikkuvuuden ja mahdollisuuden käyttää kaikkia erilaisia palveluita vapaasti. NGN-verkkojen tärkeimpiä perusominaisuuksia ja niiden merkitystä verkostokeskeiselle ajattelulle on esitelty seuraavassa taulukossa.

<b>NGN perusominaisuudet</b>	<b>Tuki verkostokeskeisyydelle</b>
<i>Pakettien välitykseen pohjautuva tiedonsiirto (IP-tekniikan laaja-alainen soveltaminen)</i>	- Mahdollistaa tiedonsiirtojärjestelmän läpinäkyvyyden. - Tukee järjestelmien-järjestelmä -ajattelua.

<i>Avoimien rajapintojen määrittely niin palvelu-, sovellus- kuin verkkorajapinnoissa</i>	- Vaatii käytettäviltä sotilassovelluksilta uusien avoimien rajapintojen noudattamista. - Mahdollistaa todellisen järjestelmien yhteensopivuuden.
<i>Päästä päähän tarjottu palvelun laatu (E2EQoS)</i>	- Keskeinen verkostokeskeisen toiminnan vaatimus täytty.
<i>Liikkuvuuden (niin päätelaitteen kuin käyttäjänkin) tukeminen siten, että palvelut ovat käytössä mistä vain</i>	- Mahdollistaa lukuisten eri johtamisen ja suunnittelun toimintamallien käytön
<i>Verkkoturvallisuuden tuki</i>	- Keskeinen vaatimus sotilaalliselle järjestelmälle
<i>Viranomaismääräysten huomioiminen, esimerkiksi hätätilannekommunikaatio poikkeusoloissa ja verkkoturvallisuuteen liittyvät määräykset</i>	- Tukee poikkeusolojen ja kriisitilanteiden toimintaa

#### **TAULUKKO 14: NGN-verkkojen perusominaisuuksien hyödyt verkostokeskeisen ajattelun kannalta**

Kuten taulukosta havaitaan, tukevat NGN-verkot tukevat verkostokeskeistä ajattelua. NGN-standardit eivät sitoudu mihinkään verkkotekniikkaan, sovellus- tai palveluympäristöön vaan pyrkivät ainoastaan tarjoamaan yhtenäisen rajapinnan verkon käyttöä varten. Käyttäjän kannalta erilaisten verkkoteknologioiden merkitys hämärtyy ja verkko kulkee automaattisesti mukana. Päätelaitteiden kehittämiseksi tämä standardi on haastava, sillä päätelaitteen tulisi kyetä liittymään hyvinkin erilaisiin verkkoihin. Tämä pitää sisällään sekä langattomat että langalliset liityntäteknologiat. Tällaisissa tilanteissa päätelaitteen täytyy toteuttaa parhaillaan jopa kymmeniä erilaisia liityntäraajapintoja (antennit, optiset ja sähköiset liitynnät useine variaatioineen). Kokonaisuutena NGN-malli on kuitenkin erittäin järkevä kehityspolku.

#### 6.4. Ohjelmistoradio, kognitiivinen radio sekä älykkäät antennit

Tämä kuvaus ohjelmistoradiosta, kognitiivisesta radiosta sekä älykkäiden antennien merkityksestä perustuu lähteisiin 48, 49 ja 72.

##### 6.4.1. Ohjelmistoradioteknologian tulevaisuus

Ohjelmistoradiosta on jo pitkään ennustettu sotilaallisen tiedonsiirron mullistajaa. Suurin hanke maailmanlaajuisesti on ollut yhdysvaltalainen JTRS, jonka tie on ollut varsin kivinen. Suomi on ollut aktiivinen ohjelmistoradioteknologian osalta [34] ja tulee osallistumaan tällä hetkellä käynnistymässä olevaan ESSOR-projektiin (European Secure Software Defined Ra-

dio). Ohjelmistoradioteknologia on siis selkeästi kehittymässä. Sen kaupallista läpimurtoa joudutaan kuitenkin odottamaan vielä muutamia vuosia.

Ohjelmistoradion keskeisenä ideana on kyky käyttää standardoidulla tavalla yhdessä pääte-laitteessa useita aaltomuotoja. Kaupallisessa käytössä tämä tarkoittaisi esimerkiksi 2G-, 3G-, UMTS-, Wi-Fi- ja Bluetooth-radioiden toimintaa ohjelmallisesti samoissa piireissä. Äärim-milleen vietyinä tällainen lähestymistapa mahdollistaisi uusien aaltomuotojen tilaajan siirtyes-sä verkosta toiseen ja mahdollistaisi taajuusspektrin merkittävästi nykyistä tehokkaamman käytön. Verkkoinfrastruktuurien kannalta mallin etuna on esimerkiksi järjestelmien helppo päivitettävyyden tarpeiden mukaisesti. Ohjelmistoradio on kuitenkin vielä toistaiseksi ollut en-sisijaisesti sotilaallinen hanke. Viime vuosina kuitenkin esimerkiksi matkapuhelinverkkojen valmistajat ovat olleet kiinnostuneita teknologian käyttämisestä esimerkiksi verkon tu-kiasemissa.

Ohjelmistoradioteknologian kaupallisen käytön leviämisen tiellä on kuitenkin ollut vielä tois-taiseksi useita esteitä. Näihin kuuluvat muun muassa vaikeudet antenniteknologiassa, pii-risarjojen riittämätön teho, vaadittavat akkutehot sekä kustannukset. Näin ollen tämän tekno-logian kaupallinen yleistyminen tullee olemaan varsin hidasta lähtien liikkeelle siitä, että laitteet kykenevät lataamaan esimerkiksi pienehköjä protokollapäivityksiä. On kuitenkin odo-tettavissa, että noin vuoden 2015 paikkeilla tullaan näkemään ensimmäiset radiolaitteet, jotka kykenevät todellisiin aaltomuotojen lataamisiin.

#### 6.4.2. Kognitiivinen radio

Kognitiivisen radion kuvaus on laadittu lähteen 48 perusteella. Kognitiivisen radion perusaja-tuksena langattomassa tiedonsiirrossa on joko verkon tai päätesolmun lähetys- tai vastaanot-toparametrien muuttaminen tilanteen mukaisesti, jotta mahdollistetaan tehokas ja muita häi-ritsemätön tiedonsiirto. Kognitiivinen radio on siis älykäs radio, jossa voi olla spektrin moni-torointia hyödyntävä älykäs taajuudenhallintajärjestelmä, joka automaattisesti ja dynaamises-ti valitsee toimintataajuuden taajuuksien käyttötilanteen mukaan. Lisäksi se tarkkailee käyttä-jän toimintaa sekä verkon tilaa. Kognitiivisen radion keskeisenä hyötynä nähdään sen kyky hyödyntää tehokkaimmin käyttämättömiä taajuuksia.

Kognitiiviset radiot voidaan jakaa teoreettisesti eri ryhmiin sen perusteella, mitä parametreja ne ottavat huomioon valittaessa vastaanoton ja lähetyksen muutoksia. Näiden perusteella kognitiivisen radion päätyypit ovat:

- Täysin kognitiivinen radio: jokainen mahdollinen parametri, jonka langaton solmu voi havaita, otetaan huomioon,
- Taajuusspektriä havainnoiva kognitiivinen radio: huomioi vain taajuusspektrissä ta-  
pahtuvat muutokset.

Mikäli huomioidaan kognitiiviselle radiolle käytössä oleva radiospektri, voidaan erottaa:

- Lisensoitujen taajuuksien kognitiivinen radio: radio kykenee käyttämään taajuusaluei-  
ta, jotka on annettu lisensoiduille käyttäjille (esimerkiksi erästä tällaista järjestelmää  
kuvataan IEEE-määrittelyssä IEEE 802.15 task group 2),
- Lisensoimattoman taajuusalueen kognitiivinen radio: voi käyttää vain lisensoimatto-  
mia taajuuskaistan radiotaajuuksia (esimerkki tällaisesta järjestelmästä on IEEE:n  
määrittely IEEE 802.19).

Yhtään varsinaista kognitiiviseen radioon perustuvaa kaupallista järjestelmää ei vielä ole käytössä. Kuitenkin siihen liittyviä perusteknologioita hyödynnetään jo useissa erilaisissa järjestelmissä. Vähitellen tulee todennäköisesti syntymään yhä uudelleenohjelmoitavamman radion teknologia, joka yhdistettynä älykkääseen signaalin prosessointiin edistää yhä tehok-  
kaampaa taajuuskaistan käyttöä. Teoreettisen kognitiivisen radion edut voidaan ehkä saa-  
vuttaa jo tällä lähestymistavalla. Näin ollen todellinen tarve kognitiiviselle radiolle voi jäädä  
syntymättä. Tämä teknologia onkin sidoksissa ohjelmistoradioteknologiaan, jossa hyödynne-  
tään useita samoja perusajatuksia. Näin ollen tämän teknologian kaupallinen kypsyminen  
saattaa ajoittua samaan ohjelmistoradion kanssa.

#### 6.4.3. Älykkäät ja puoliälykkäät antenniratkaisut

Älykkäiden antennien käytön keskeisenä tavoitteena on taajuusspektrin käytön tehokkuuden lisääminen. Yksinkertainen ympärisäteilevä antenni säteilee tehonsa pääsääntöisesti vastaan-  
ottimen kannalta väärään suuntaan. Rakentamalla älykäs lähetinantenni voidaan tilannetta  
muuttaa merkittävästi paremmaksi ja saada lähettimen teho suunnattua suoraan kohti vas-  
taanottimien antennia. Tällöin myös yksittäisen lähettimen säteilevä häiriöllinen teho saadaan  
pienennettyä olemattomaksi. Tämantyyppisten antenniratkaisuiden rakentaminen ei kuiten-  
kaan ole vielä osoittautunut kaupallisesti kannattavaksi. Useimmissa tapauksissa tällaisten  
antennirakennelmien haitat tai puutteet ovat vielä suurempia kuin hyödyt.

Älyantenneja on jo vuosien ajan käytetty erilaisissa tutka- ja sonar-ratkaisuissa. Tällaisten  
laitteiden valmistusmäärät ovat kuitenkin erittäin pieniä, minkä vuoksi teknologian hinta on

pysynyt korkeana. Teknologian kehitys on kuitenkin mahdollistanut tämänkin tekniikan testaamisen tiedonsiirtojärjestelmissä. Etenkin tulevaisuuden korkeat vaatimukset langattomalle tiedonsiirtokapasiteetille korostavat tällaisten teknologioiden merkitystä. Tulevaisuuden tiedonsiirtojärjestelmät tulevat toimimaan yhä korkeammilla taajuusalueilla riittävien kapasiteettien takaamiseksi. Radioteknisesti nämä korkeammat taajuusalueet ovat yhä haastavampia, jolloin on tärkeää saada lähettimen teho ohjattua juuri oikeaan suuntaan. Suurimmat esteet tällaisen teknologian käyttöönotolle ovat olleet

- tekniset syyt; etenkin laitteistojen soveltumattomuus
- kaupalliset syyt; etenkin käyttöönoton korkea hinta usein syö hyödyt
- standardeihin liittyvät syyt; standardeista ei ole maailmanlaajuisesti päästy sopuun

Mobiililaitteille älyantenniteknologia on vielä pitkään liian monimutkaista ja kallista. Tiedonsiirtoverkoissa tätä teknologiaa sen sijaan tultaneen näkemään markkinoilla jo lähivuosina. Niin sanottujen puoliälykkäiden antenniratkaisujen, joissa ei pyritä yhtä tarkkaan signaalin suuntaamiseen lähettimen ja vastaanottimen välillä, teknologia on myös osoittautunut varsin lupaavaksi [49]. Tällaisten ratkaisujen yleistyminen riippuu kuitenkin suuresti operaattoreiden halusta investoida uuteen teknologiaan.

#### 6.5. Ad hoc- ja mesh-verkot

Mesh-tyyppisten verkkojen verkkotopologiat voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan. Täydellisessä mesh-topologiassa jokainen verkon solmu on suoraan yhteydessä kaikkiin muihin solmuihin. Osittaisessa mesh-topologiassa solmut ovat kytkettyneet vain osaan solmuista [86]. Tämä määritelmä ei vielä ota kantaa verkkotopologioiden dynamiikkaan. Käytännössä termit mesh ja ad hoc [85] tarkoittavatkin usein samaa asiaa eli verkkoja, jotka kykenevät dynaamisesti muodostamaan sekä optimoimaan useita yhteyksiä useiden solmujen välillä. Keskeinen haaste tällaisissa verkoissa on kompleksin, esimerkiksi ulkoisista yhteyksistä tietoa sisältävän, reitityksen hallinta. Tässä tutkimuksessa tämän tyyppisistä verkoista käytetään nimitystä mesh-verkot, ja niiden muodostumisperiaatteesta nimitystä ad hoc. Mainitun tyyppiset verkot ovat viime vuosina olleet erityisen sotilaallisen mielenkiinnon kohteena, sillä ne vaikuttaisivat soveltuvan verkkotopologialtaan erittäin hyvin nykyaikaiselle taistelukentälle. Tämän lisäksi tällaisilla järjestelmillä odotetaan olevan mahdollisuuksia myös kaupalliseen menestykseen etenkin kehittyvillä markkinoilla.

### 6.5.1. Mesh-järjestelmien kehitys

Tässä esitettävä arvio perustuu lähteisiin 48, 72 ja 85. Mesh-tyyppisten verkkojen kaupallinen menestys on toistaiseksi jäänyt varsin heikoksi. Verkkotopologialle on löytynyt tuki jo varsin pitkään IEEE 802.11-standardin mukaisista langattomista lähiverkoista. Yksi syy on IEEE 802.11-standardin mukaisen MAC-protokollan (Medium Access Protocol) huono suorituskyky monihyppy-ympäristössä ja toinen on kaupallisten sovellusten puute. Lisäksi langattomien lähiverkkojen vaatimattomat kantamat ovat käytännössä estäneet laajempien verkkojen toteuttamisen ja siten järjestelmien kaupallisen menestyksen.

Tilanne on kuitenkin todennäköisesti muuttumassa varsin nopeasti. IEEE 802.11s-työryhmä kehittää parhaillaan mesh-tekniikkaa WLAN-verkkoihin. 802.11s-protokollassa järjestelmän kantamaa on myös kyetty MIMO-tekniikalla (multiple-input multiple-output) kehittämään aikaisemmasta lähes kolminkertaiseksi, mikä lisää merkittävästi protokollan käyttökelpoisuutta. Tämän lisäksi kehitteillä on IEEE 802.16j-protokolla WiMAX-verkkoihin. Se ei mahdollista varsinaista mesh-verkkorakennetta, vaan se kasvattaa olemassa olevien tukiasemien kantamia releoimalla niiden liikennettä. Keskeinen sovelluskohde näille molemmille protokollille onkin suurikapasiteettisissa pääsyverkoissa. Protokollia ei käytännössä pyritä kehittämään kiinteää infrastruktuuria korvaamaan vaan jatkamaan sitä laadukkaasti pidemmille etäisyyksille etenkin taajamissa. Uudet kehitteillä olevat protokollat tullaan alustavien arvioiden mukaan julkaisemaan jo varsin pian. IEEE 802.11s-protokollan julkaisujankohdaksi on arvioitu vuotta 2008. IEEE 802.16j:n julkaisujankohdasta ei ole vielä virallisesti ilmoitettu.

### 6.5.2. Mesh-teknologioiden sotilaalliset sovellukset

Kehitteillä olevista mesh-teknologioista IEEE 802.11s [90] vaikuttaa lyhyellä tähtämellä omaavan sellaisia ominaisuuksia, joilla on käyttöarvoa myös sotilaallisissa sovelluksissa. Ensimmäiset käytännön tuotteet tulevat kuitenkin varsinaisesti osoittamaan tekniikan todellisen suorituskyvyn. Taajuusalueesta ja lähetystehoista johtuen keskeiset sovellusalueet ovat verkot, joissa solmujen väliset maksimietäisyydet ovat joitain satoja metrejä.

## 6.6. Langattomat laajakaistateknologiat

Langattomien laajakaistateknologioiden katsaus perustuu lähteisiin 41 ja 72. Langattomat radioverkot perustuvat tiettyjen perustekniikoiden ja teknologioiden erilaisiin yhdistelmiin. Radioverkkojen suurin ero on niiden suunniteltu toiminta-alue signaali-interferenssi-kohinan-suhteen (SINR, Signal-to-Noise+Interference) ja päätelaitteiden mobiliteetin suhteen. Järjestelmät rakentuvat pääasiassa tukiasemiin perustuvista soluista. Näiden solujen koon perusteella verkot voidaan luokitella makro-, mikro- ja pikosoluverkkoihin. Makrosolujen säde voi olla jopa kymmeniä kilometrejä, ja niiden reuna-alueilla SINR on tyypillisesti hyvin pieni suuren etäisyysvaimennuksen vuoksi. Mikrosolujen säde on tyypillisesti muutamista sadoista metreistä pariin kilometriin. Parempi SINR mahdollistaa näissä soluissa tyypillisesti suuremman kapasiteetin. Pikosolut ovat kooltaan korkeintaan satoja metrejä, ja niissä SINR on tyypillisesti suuri. Käytetty taajuusalue vaikuttaa näiden lisäksi merkittävästi verkkojen suorituskykyyn. Yleisesti ottaen korkeampi taajuusalue takaa suuremman kapasiteetin, mutta vastaavasti kantama on pienempi.

Langattomat laajakaistajärjestelmät voidaan karkeasti jakaa matkaviestinteknologian pohjalta kehittyneisiin järjestelmiin sekä alun perin datansiirtoon tarkoitettuihin verkkoratkaisuihin. Matkaviestinteknologiat voidaan edelleen jakaa tekniikkasukupolviin, joista tällä hetkellä uusinta edustavat kolmannen sukupolven matkaviestiverkot (3G, 3. generaatio). Kehitteillä on kuitenkin useita vaihtoehtoisia tekniikoita kolmannen sukupolven jälkeisiin järjestelmiin. Matkaviestinverkot perustuvat poikkeuksetta tukiasemiin (tähtimäinen verkkorakenne solun sisällä), ja ovat solukooltaan lähinnä makrosoluverkkoja. Tekniikoiden selkeä vahvuus on käyttäjän ja päätelaitteen mobiliteetin hallinta.

Matkapuhelintekniikat ovat viime aikoina saaneet osittaiseksi kilpailijoikseen uusia puhtaasti datansiirtoon tarkoitettuja tekniikoita. Alun perin niitä käytettiin lähinnä lähiverkoissa (WLAN), mutta niiden käyttö on kuitenkin jo levinnyt laajempiin kaupunkiverkkoihin (MAN, Metropolitan Area Network). Nämä tekniikat ovat pääasiassa IP-pohjaisia ja soveltuvat erityisesti langattomien internet-yhteyksien toteuttamiseen. Näillä tekniikoilla toteutetut järjestelmät ovat pääasiassa tukiasemapohjaisia ja solukooltaan mikro- ja pikoluokkaa. Tiedot datansiirto-standardit sallivat kuitenkin muunlaisetkin verkkomallit, esimerkiksi ad hoc -periaatteella muodostuvan verkon. Tilaajan ja päätelaitteen mobiliteetin hallinta on ollut perinteisesti laajojen datansiirtoverkkojen toteutusten suurin haaste.

Sekä matkapuhelinverkkojen että datansiirtoverkkojen kehitystä yhdistää lähteen 72 mukaan tänä päivänä kaksi keskeistä teknologista innovaatiota. Ne ovat OFDM (ortogonaalinen taajuusjakokanavointi, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) sekä MIMO-moniantennijärjestelmät (multiple-input multiple-output). OFDM:n etuina ovat erityisesti monitie-etenemisen hallinta sekä taajuuskaistan hallinnan helppous. OFDM:ään perustuvat datansiirtojärjestelmät ovat myös tyypillisesti suhteellisen suurikapasiteettisia sekä yhteysnopeuden osalta skaalautuvia. Sotilaalliselta kannalta tarkasteltuna OFDM:n merkittävin ominaisuus on sen kyky sopeutua häiriölliseen radiokanavaan. Moniantennijärjestelmiin perustuvat MIMO-menetelmät (Multiple Input Multiple Output) ovat kiinnostavia, koska teoriassa Shannonin teorian mukainen radiojärjestelmän kapasiteetti (bittiä / s / Hz) kasvaa lähes lineaarisesti lähetys- ja vastaanottoantennien määrän funktiona. Tämä perustuu joko kanavan diversiteetin tai vapausasteiden lisäämiseen. Diversiteetin merkitys korostuu erityisesti makrosoluverkoissa mobiliteetin mahdollistajana, ja vapausasteiden merkitys suuren SINR:n omaavissa verkoissa kapasiteetin kasvattajana.

#### 6.6.1. Matkaviestinteknologioiden kehitys

Matkaviestinteknologiat ovat tällä hetkellä kehityksensä kolmannessa sukupolvessa (3G-teknologia). ITU-T:n (International Telecommunications Union Telecommunication Standardization Sector) määritelmän mukaan 3G-matkapuhelinjärjestelmän tulee tukea:

- suuria bittinopeuksia
  - o 144 kbit/s laajalla ulkopeittoalueella (kulkuneuvot)
  - o 384 kbit/s laajalla ulkopeittoalueella (jalankulkijat)
  - o 2 Mbit/s tai enemmän sisäpeittoratkaisuilla
- sallia liikkuvuus eri operaattoreiden verkkojen ja eri maiden välillä sekä mahdollistaa käyttö- ja laskutustietojen vaihtaminen eri operaattoreiden välillä vakioiduilla puhelu- tietotalleille vakioiduille käyttäjäprofiileille
- päätelaitteiden maantieteellisen sijainnin määrittelyä ja tukea multimedia palveluita
  - o kiinteän- ja vaihtelevan tiedonsiirtonopeuden palveluita
  - o epäsymmetristä lähetystä ja vastaanottoa
  - o laajakaistayhteyksiä 2 Mbit/s bittinopeuksiin asti

Myös käytännössä uusimmat 3G-järjestelmät kykenevät parhaimmillaan useiden satojen kilojen datansiirtonopeuksiin liikkuvaan päätelaitteeseen. Nykyisissä suomalaisissa matkapuhelinverkoissa käytössä olevia nopean datansiirron mahdollistavia tekniikoita ovat muun muassa EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) ja HSDPA (High-Speed Downlink



Packet Access), joista jälkimmäisen katsotaan edustavan 3G-teknologiaa. HSDPA mahdollistaa teoriassa 3,6 Mbit/s-datansiirtonopeuden päätelaitteesta tukiasemaan. Käytännössä siirtonopeudet jäävät kuitenkin huomattavasti alle sen. Topologian osalta 3G-verkot hyödyntävät makro-, mikro- ja pikosolurakenteita. Solurakenteella voidaan vaikuttaa erityisesti datansiirron kapasiteetteihin esimerkiksi keskustoissa ja ruuhkaisilla alueilla.

Kehitteillä olevat 3G:n jälkeiset verkkotekniikat pyrkivät hyödyntämään OFDM- ja MIMO innovaatioita. Ne tulevat mahdollistamaan yhä suuremmat datansiirtonopeudet, mutta teknologian perusrajoitukset säilyvät samoina. Siirryttäessä yhä korkeammille taajuusalueille pienenevät järjestelmien solukoot, ja vastaavasti monimutkaisemmat signaalit vaativat yhä enemmän energiaa saavuttaakseen saman kantaman kuin aiemmin. Näin ollen vapaampi taajuusalueiden käyttäminen vaikuttaa yhdeltä keskeiseltä tulevaisuuden järjestelmien kehitystarpeelta. Vain sillä mahdollistetaan käyttäjän kannalta yhä parempi palvelun laatu, minkä keskeinen edellytys on aiempaa suurempi tiedonsiirtokapasiteetti.

3G-puhelinverkkojen keskeinen ongelma kriisitilanteissa on järjestelmien tukiasemien suuri sähkönkulutus. Käytännössä yksittäinen 3G-tukiasema kestää toimintaa akustojensa varassa vain muutamia minutteja. Järjestelmä ei siis voi olla perustana sotilaallisten kriisitilanteiden järjestelmälle, mutta sotaa alempiasteisissa kriiseissä järjestelmä on erittäin käyttökelpoinen. 3G-teknologia tulee kehittymään nopeassa tahdissa 4G:n suuntaan myös jatkossa. Suurimpana hidasteena tulee olemaan operaattoreiden kyky investoida yhä uudempaan tekniikkaan. Merkittävintä käyttäjien kannalta tulee kuitenkin olemaan NGN-teknologian murros, joka mahdollistaa kehittyvien tiedonsiirtotekniikoiden todellisen läpinäkyvän hyödyntämisen palveluiden käyttämiseen. Tämä tulee olemaan suuri murros, mikä todennäköisesti etäännyttää palvelun käyttäjää taustalla olevasta tiedonsiirtoteknologiasta. Tekniikka painuu siis tulevaisuudessa yhä enemmän taustalle ja painopiste muodostuu uusien palveluiden käyttämiseen.

#### 6.6.2. Langattomien laajakaistaisten datansiirtojärjestelmien kehitys

Langattomia laajakaistaisia datansiirtoon sopivia järjestelmiä kehitetään useissa eri standardointifoorumeissa ympäri maailman. Kattavan teknologiaselvityksen tekeminen kaikesta kehitystyöstä ei ole mahdollista, joten tässä tutkimustyössä keskitytään IEEE:n standardointityöhön sekä tiettyihin Suomen kannalta merkittäviin järjestelmiin. IEEE:n standardointityön merkitys voidaan arvioida maailmanlaajuisesti erittäin merkittäväksi, erityisesti kaupallisten laajakäyttöisten tekniikoiden osalta. Tämän hetken laajakaistaisten lähi- ja kaupunkiverkkojen kaksi merkittävintä kehittyvää standardia ovat IEEE 802.11 (yleisin sertifiointi nimellä

Wi-Fi, Wireless Fidelity) ja IEEE 802.16 (yleisin tuotteiden sertifiointi nimellä WiMAX, Worldwide Interoperability for Microwave Access). Näistä IEEE 802.11 on tarkoitettu erityisesti lähiverkkoihin (LAN) ja IEEE 802.16 kaupunkiverkkoihin (MAN). Molempien standardien ympärillä hämmennystä herättävät sertifiointinimet. Tuotteiden sertifiointi Wi-Fi tai WiMAX yhteensopivaksi takaa yleisen yhteensopivuuden, mutta ei toisaalta ole millään lailla pakollista.

Lähitulevaisuuden standardikehitystä edustavat kehitteillä olevat IEEE 802.20 MBWA (Mobile Broadband Wireless Access) sekä IEEE 802.22 RAN (Regional Area Network) [12]. Näistä 802.20 on tavoitteiltaan samanlainen kuin 802.16e eli niin sanottu mobiili WiMAX. Standardista on julkistettu ensimmäinen versio vuoden 2006 tammikuussa, mutta sen jälkeen standardin kehitystyö on ollut keskeytyksissä. Standardi on kuitenkin tarkoitus saattaa julkaisukelpoiseksi lähiaikoina. 802.22 puolestaan on IEEE:n työryhmien uusin kehitystyö, jonka tarkoituksena on kehittää maanpäällisiin televisiolähetysiin varattua taajuuskaistaa käyttävä ja opportunistisesti vapaita kanavia hyödyntävä laajakaistainen alueellinen standardi. Televisiolähetysiin varatut taajuudet mahdollistavat mataluutensa vuoksi pitkät lähetysetaisyydet, eikä niitä nykyteknologialla hyödynnetä lähellekään optimaalisesti. Yhdistämällä kognitiivinen radio, OFDM ja MIMO pyritään luomaan erittäin nykyaikainen kantamiltaan ylivoimainen standardi [12]. On kuitenkin todennäköistä, että sen kehittäminen tulee vaatimaan vielä useita vuosia.

Edellä mainittujen lisäksi Suomessa merkittävä tekniikka tulee olemaan Flash-OFDM (Fast Low-latency Access with Seamless Handoff Orthogonal Frequency Division Multiplexing), jota Digita Oy käyttää koko maan kattavassa 450MHz:n taajuuskaistalla toimivassa @450:ksi nimetyssä verkossaan [18]. Kyseisen tekniikan on patentoinut Siemens, joka valmistaa verkkoon päätelaitteista lähtien kaikki laitteet.

#### 6.6.2.1. Langattomat lähiverkot

Langattomien lähiverkkojen standardin IEEE 802.11 ensimmäinen virallinen määrittely on vuodelta 1997 (a-versio). Sen jälkeen siitä on julkaistu useita paranneltuja versioita. Standardin uusimmat versiot (IEEE 802.11n, julkaistaan 2007) hyödyntävät OFDM- ja MIMO-innovaatioita, joilla sen suorituskykyä on kyetty edelleen kehittämään. Jo aikaisemmin mainittu 802.11s tulee puolestaan tuomaan verkkoon todelliset ad hoc -ominaisuudet. Standardia käytetään yleisesti sotilaallisissa sovelluksissa, joista osoituksena on esimerkiksi yhdysvaltalainen SWLAN-sovellus. Standardin suurimpana rajoituksena on sen rajoitettu toimintaetäi-

syys, joka standardin uusimmillakin versioilla jää muutamiin satoihin metreihin. Lähiverkkoihin tarkoitettuna standardina se ei myöskään sisällä määrittelyjä mobiliteetin hallintaan, minkä vuoksi laajempien verkkojen toteuttaminen tämän standardin mukaisilla järjestelmillä ei ole tarkoituksenmukaista.

#### 6.6.2.2. Langattomat kaupunkiverkot

IEEE 802.16-standardin kaupallisesta potentiaalista on esitelty viime vuosina runsaasti kommentteja. Erityisen merkityksellisenä on nähty standardia tukeva tuotteiden sertifiointi WiMAX-tuotemerkillä saumattoman yhteensopivuuden takaamiseksi. Standardin yksittäisen käyttäjän liikkuvuuden takaava 802.16e-versio julkaistiin jo loppuvuodesta 2005. Standardin mukaiset ensimmäiset päätelaitteet ovat juuri ilmestyneet kaupalliseen levitykseen pääasiassa Aasiassa. Standardin lopullinen merkitys selviää kuitenkin vasta varsinaisten standardiin perustuvien verkkojen kaupallisen yleistymisen myötä. Joka tapauksessa WiMAX-verkkojen voidaan arvioida merkittävää kehitysaskelta langattomien laajakaistaisten verkkojen saralla.

Liitteessä 1 on esitetty WiMAX-tekniikan yhteysetäisyyksien ennusteita eri taajuusalueilla sekä eri ympäristöissä. Liitteessä esitetyn perusteella voidaan todeta, että Suomessakin todennäköisimmin käyttöön otettavalla 3500 MHz:n taajuusalueella toimivalla järjestelmällä voidaan päästä luotettavasti keskimäärin noin 1,2 km:n säteen omaaviin solukokoihin. Ympäristön vaikutus todellisuudessa saavutettaviin yhteysetäisyyksiin on kuitenkin huomattava. Mikäli järjestelmää kyettäisiin käyttämään 700 MHz:n taajuusalueella, kasvaisi solujen säde keskimäärin noin viisinkertaiseksi (5,9 km). Tällöin tukiasemaan perustuvan solun peittoala kasvaa yli 23-kertaiseksi.

WiMAX-järjestelmien sekä muiden korkealla taajuusalueella toimivien kaupunkiverkkoon tarkoitettujen standardien käytännön yhteysetäisyydet eivät tule tämän hetken kehitysnäkymien perusteella riittämään taktisten pataljoonatasoisten yhteyksien toteuttamiseen. Sen sijaan esikuntien sekä komppaniatasoisten joukkojen sisäisten yhteyksien toteuttamiseen tekniikka soveltuu kapasiteettiensa puitteissa mainiosti. IEEE 802.16e:n mukanaan tuoma päätelaitteen liikkuvuus lisää edelleen merkittävästi tekniikan hyödyntämismahdollisuuksia. Silti se kaipaa rinnalleen täydentäviä sekä lyhyen että pitkänkantaman datansiirtojärjestelmiä.

### 6.6.2.3. Langattomat alueelliset verkot

FlashOFDM-tekniikkaan perustuva Digitan @450-verkon voidaan katsoa edustavan selkeästi alueellisella periaatteella toimivaa järjestelmää. Se on myös lähitulevaisuudessa matkapuhelinverkkojen lisäksi ainoa käytössä oleva järjestelmä, jolla on Suomessa maanlaajuinen peittoalue. Käytössä olevan taajuusalueen (noin 450 MHz) ominaisuuksien ansiosta yhteysetäisyydet järjestelmässä ovat erittäin pitkiä. Solukokojen voidaan arvioida 30m:n lähetinantennikorkeudella muodostuvan jopa kymmenien kilometrien läpimittaisiksi. Digitan mukaan käyttäjän yhteysnopeus olisi 1 Mbit/s vastaanottonopeutena ja 512 kbit/s lähetyksenopeutena. Käytännössä insinööri Vesa Roihan (Viesti- ja Sähkötekniikan koulu) mukaan vastaanotto- ja lähetyksenopeudet ovat kenttätesteissä jääneet 30-70% maksimista.

FlashOFDM-tekniikan suurin ongelma on sen sitoutuneisuus yhteen laitevalmistajaan. Käytännössä tämä tarkoittaa rajoitettua päätelaitevalikoimaa. Tekniikan rajallinen levinneisyys ei myöskään houkuttele muita päätelaitevalmistajia markkinoille, jolloin päätelaitekustannukset muodostuvat muita järjestelmiä suuremmiksi (tällä hetkellä radiomodeemin hinta noin 280€ ja PCMCIA-kortti 250€). Täten järjestelmän käyttäjien pääryhmäksi muodostunevat ns. ammattikäyttäjät, jotka liikkuvat paljon ja tarvitsevat laajaa syrjäseuduille ulottuvaa kantamaa. Viranomaiskäytössä (esimerkiksi puolustusvoimat) järjestelmän ominaisuudet vaikuttavat kuitenkin erittäin lupaavilta.

## 6.7. Taajuusspektrin käyttö

Tarkasteltaessa tulevaisuuden langattomia tiedonsiirtojärjestelmiä nousee keskeiselle sijalle taajuusspektrin käyttö ja käytettävyys. Yhä laajakaistaisemmat langattomat järjestelmät vaativat yhä suurempia kaistanleveyksiä. Samalla paineet taajuuksien käytön sääntelymekanismien purkamiselle kasvavat yhä merkittävämmiksi. Tarkasteltaessa kehitystä noin kymmenen vuoden perspektiivillä tulee taajuuksien käytön sääntely muuttamaan hyvin voimakkaasti. Kognitiivisen radion tyyppiset järjestelmät johtavat käytännössä tilanteeseen, jossa perinteiset taajuushallintamenetelmät eivät ole riittäviä eivätkä tehokkaita. Kansainvälisesti ITU-R säätelee radiotaajuuksien allokointia, jotta välttyttäisiin keskinäishäirinnältä. Sen rooliksi yhdessä kansallisten taajuusvalvontaviranomaisten kanssa näyttääkin nousevan taajuushallinnan asteittainen muuttaminen siten, että se huomioi yhä paremmin teknologisen kehityksen. Uhkakuvana taustalla väijyy taajuusanarkia, jossa yksittäiset toimijat sekä ryhmät kykenevät helposti uhmaamaan kansallisia rajoitteita uuden sukupolven ohjelmoitavilla laitteillaan.

Taajuushallinnan keskeiseksi rooliksi näyttää siis muodostuvan teknologian kehitykseen sopeutuminen. Kasvavat tarpeet yhä suuremmille tiedonsiirtokaistoille johtavat vääjäämättä uusien taajuusalueiden käyttöönottoon. Tämän hetken eräs kehitysnäkymä vaikuttaa olevan tiettyjen järjestelmien siirtyminen yhä matalammille taajuusalueille. Tällaisena voidaan nähdä esimerkiksi 700 MHz:n taajuusalueella toimiva WiMAX-järjestelmä. Matalien taajuusalueiden mahdollistamat yhä suuremmat kantamat ovat osoittautumassa keskeisiksi liikkuvuuteen keskittyvissä järjestelmissä sekä harvaan asutuilla alueilla.

Sotilaallisesta tarkastelunäkökulmasta kaupallisten järjestelmien leviäminen yhä uusille taajuusalueille asettaa yhä kasvavia paineita sotilaskäyttöön varatuista taajuusalueista luopumiselle. Tämä kehitysvaatus tulee todennäköisesti voimistumaan tulevaisuudessa. Suomessa tällä ei ole merkittäviä vaikutuksia, sillä sotilaskäyttöön varattuja taajuusalueita on käytössä kohtuullisen rajoitetusti. Sen sijaan NATO-maissa sotilaskäyttöön varatuista taajuuksista luopuminen tulee olemaan merkittävä seikka, jonka vaikutukset tulevat ulottumaan laitekehityksen kautta myös Suomeen.

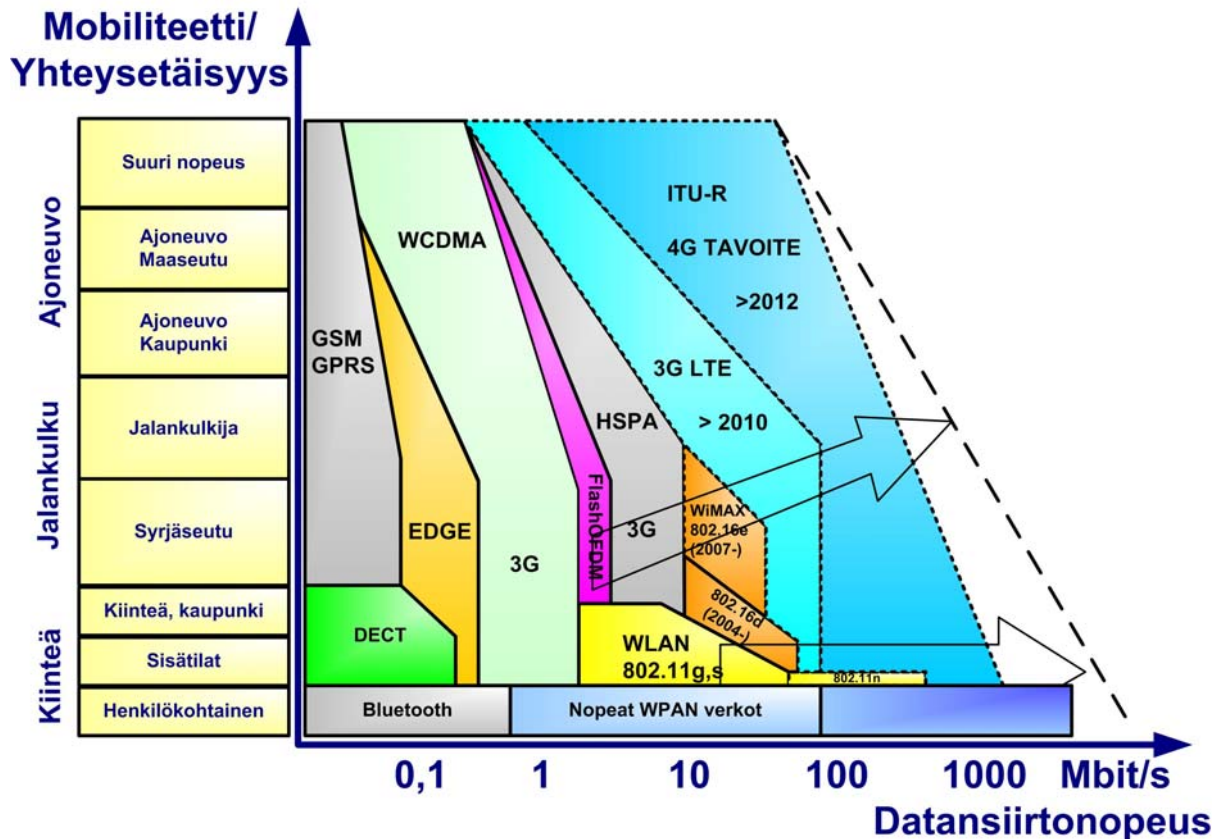
## 6.8. Johtopäätöksiä kaupallisista tiedonsiirtoteknologioista

Kaupallisten tiedonsiirtojärjestelmien kehitystä tarkasteltaessa esiin nousee useita erilaisia kehityspolkuja. Tässä luvussa tarkastellaan johtopäätöksiä kahdesta näkökulmasta. Ensimmäisenä näkökulmana pidetään kaupallisten laajakaistaisten tiedonsiirtojärjestelmien yleistä soveltuvuutta sotilaskäyttöön. Toisaalta tarkastellaan erityisesti maavoimien käyttöön soveltuvia järjestelmiä. Lopussa on esitetty lyhyt yhteenveto aiheesta.

### 6.8.1. Langattomien kaupallisten laajakaistajärjestelmien mahdollisuudet sotilaskäytössä

Langaton tiedonsiirto kehittyy huimaa vauhtia. Toisaalta sen tekniset reunaehdot on varsin helppo määrittellä. Keskeisinä elementteinä reunaehto- jen määrittelyssä ovat käytetty taajuus- alue, lähetysteho sekä modulaatio. Tämä on kuitenkin tietynlainen yksinkertaistus, joka ei huomioi kaikkea. Kaupallinen kehitys on osoittanut, että näitä reunaehtoja voi leventää monen tyyppisillä innovaatioilla. Esimerkiksi MIMO-teknologia, OFDM-modulaatio sekä älykkäät antennit tulevat vaikuttamaan merkittävästi siihen, mitä kaupallisella teknologialla on mahdollista saavuttaa. Radioteknologian lisäksi erilaiset datan pakkaamiseen liittyvät teknologiat kehittyvät merkittävää vauhtia. Tämä helpottaa etenkin videon siirtämistä radiotiellä. Ofcon:n määrittelyn mukaan tämän päivän teollisuusmaiden laajakaista 1.0 toimii keskimää-

rin tiedonsiirtonopeudella 160 kbit/s. Se riittää datan, äänen sekä kohtuullisen laadun videon siirtämiseen. Tulevaisuuden laajakaista 2.0:n vaatimukset ovat kuitenkin merkittävästi korkeammat. Teräväpiirtotelevision vaatimukset täyttävä videokuva (televisio) sekä laadukas ääni tulevat vaatimaan noin 10 Mbit/s suuruusluokan tiedonsiirtonopeuden. Tämän saavuttamiseksi on suurin osa tässä työssä esitellyistä teknisistä innovaatioista saatava käyttöön.



**KUVA 22: Kaupallisten tiedonsiirtotekniikoiden suorituskyky ja odotettavissa oleva kehitys [72]**

Sotilaalliselta kannalta yhä suurempien tiedonsiirtonopeuksien kehittäminen ei tuo merkittävää lisäarvoa. Tämän päivän sotilaallisen tiedonsiirron kapasiteettivaatimuksia on arvioitu lähteessä 37, eikä niiden saavuttaminen ole kaupalliselle tekniikalle ongelmia. Keskeiset kaupallisuuden mukanaan tuomat ongelmat säilyvät silti samoina, sillä kaupalliset järjestelmät ovat tulevaisuudessakin todennäköisesti tukiasemakeskeisiä ja tukiasemien välinen tiedonsiirto perustuu kiinteisiin yhteyksiin. Samoin päätelaitteet ovat massatuotantolaitteita, joiden sään- ja olosuhteiden kestävyys on erittäin rajoittunutta. On kuitenkin alueita, joissa kaupalliset ja sotilaalliset tavoitteet yhtyvät toisiinsa. Esimerkiksi radiotiellä tapahtuvan tiedonsiirron häiriönkestoisuuden kehittäminen on myös kaupallisesti merkittävä kehitystavoite, ja se tukee sotilaallista tavoitetta häiritävyyden siedolle.

<b>Liittyy</b>	<b>Matkapuhelinverkot/vast.</b>	<b>Datansiirtoverkot</b>
<i>Standardeja</i>	- 3G (eri tekniikoita) - TETRA (TEDS) - (4G)	- IEEE 802.11 (Wi-Fi) - IEEE 802.16 (WiMAX) - IEEE 802.20 (MBWA) - (IEEE 802.22 RAN) - FlashOFDM (esim. @450)
<i>Verkkomalli</i>	- Tukiasemakeskeinen soluverkko	- Tukiasemakeskeinen soluverkko - ad hoc toistintukiasemille (802.16j) - ad hoc (802.11s)
<i>Toimintaympäristön vaatimukset</i>	- Kiinteä ja sähkönsyötöltään vakaa asennusympäristö	- Kiinteä ja sähkönsyötöltään vakaa asennusympäristö
<i>Uusimmat sovellettavat innovaatiot (esimerkit)</i>	- MIMO - OFDM	- MIMO - OFDM - ad hoc
<i>Toimintaympäristön muutos tulevaisuudessa</i>	- Kapasiteettivaatimusten kasvaminen (laajakaista liikkuvalla tilaajalla) - NGN	- 2. sukupolven laajakaistainen datansiirto - NGN
<i>Tuki sotilaalliselle toiminnalle</i>	- Verkostoituminen - Tiedon jakaminen ja haku - Puhe ja video	- Verkostoituminen - Tiedon jakaminen ja haku - Puhe ja video - ”Syrjäseutuverkot”
<i>Haasteet sotilaallisessa toiminnassa</i>	- Verkkotopologia - Tietoturva (TETRA OK) - Häirittävyys, havaittavuus - Monimutkaisuus	- Verkkotopologia (osittain) - Tietoturva - Häirittävyys, havaittavuus - Kantamat (taajuusalueet)
<i>Sovellettavuus eri toimintaympäristöissä</i>	- YETTS - Kriisinhallinta - Informaatioisota	- YETTS - Kriisinhallinta - Informaatioisota - Alueellinen sota (rajoituksin)

### **TAULUKKO 15: Langattomien kaupallisten laajakaistajärjestelmien sotilaskäytön mahdollisuudet**

On lähes mahdotonta erotella uusien kehitteillä olevien tekniikoiden osalta datansiirto- ja matkapuhelinverkkoja. Uusimmissa standardeissa tekniikat ovat sulautuneet yhdeksi kokonaisuudeksi, mikä on johtanut standardien monimutkaistumiseen ja siten niiden kehitystyön merkittävään hidastumiseen. Etenkin käyttäjien sekä päätelaitteiden mobiliteetin saumaton hallinta on käytännössä erittäin monimutkainen kokonaisuus, johon esimerkiksi nykyisen kaltainen IP-teknologia ei tarjoa riittävän hyviä ratkaisuja.

### 6.8.2. Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmässä hyödynnettävät teknologiat

Tässä luvussa esitetyn tarkastelun perusteella ei ole tarkoitus luetella yksittäisiä standardeja tai tekniikoita, joita maavoimien tulisi tulevissa järjestelmissään käyttää. Sen sijaan tämän analyysin tarkoituksena on nostaa esiin keskeisimmät trendit, jotka tulee huomioida tulevaisuuden kehitystoiminnassa. Lopullisten tekniikkavalintojen tekeminen tulee kuitenkin kaikissa tilanteissa luovuttaa varsinaisille hankkeille, jotka kykenevät määrittämään yksityiskohtaiset vaatimukset hankittavalle järjestelmälle.

Tällä hetkellä NGN-määrittely vaikuttaa maavoimien kannalta erittäin lupaavalta. Se täyttää verkostokeskeisyyden perusvaatimukset monilta osiltaan ja siinä käytettyjen yksittäisten tiedonsiirtotekniikoiden puutteet voidaan monilta osin korvata useiden järjestelmien käytöllä. Myös teollisuus ja viranomaistahot ovat suuntaamassa resurssejaan NGN-kehitykseen. Näin ollen sen seuraaminen tulee olla keskeinen kehityspolku.

Verkostokeskeisyyden kannalta NGN-teknologian ja ohjelmistoradion yhdistelmä vaikuttaa erittäin lupaavalta kehityspolulta. Ohjelmistoradio ei sinällään ratkaise mitään yksittäistä tiedonsiirron ongelmaa, vaan sen mahdollisuuksien tehokas hyödyntäminen edellyttää useiden muidenkin innovaatioiden käyttöä. Ohjelmistoradiokehitykseen liittyy myös älykkäiden ja puoliälykkäiden antennien sekä kognitiivisen radion kehitys. Ohjelmistoradion keskeisin hyöty kaupallisessa kehityksessä on alkuvaiheessa tiedonsiirtojärjestelmien tukiasemien päivittävyyden paraneminen ja jatkossa myös päätelaitteiden tuottamisen kustannussäästöt.

Kaupalliset, laajakaistaiset langattomat ja langalliset tekniikat tulevat tulevaisuudessa olemaan monien sotilaallisten järjestelmien perustekniikoita. Sotilaallisten ominaisuuksien arvioinnin sijaan tulee painopiste asettaa lähteen 31 mukaisesti niiden kehityksen ja kaupallisen menestyksen arviointiin. Kaupallinen menestys yleensä kiihdyttää niiden kehitystyötä, laskee hintaa sekä takaa tekniikalle huollollisen ja logistisen tuen sotilaskäytön vaatimalle pitkähkölle ajanjaksolle. Kaupallinen kehitys ei kuitenkaan ole täysin ennustettavissa, vaan kehitystyössä on huomioitava kaupalliset kumppanuudet merkittävien laitevalmistajien kanssa.

Maavoimien kannalta keskeisiä ovat etenkin langattomat laajakaistatekniikat. Ne eivät tämän hetken näkymien mukaan tule poistamaan tarvetta sotilaallisille aaltomuodoille. Keskeiset puutteet laajakaistatekniikoissa liittyvät erityisesti alueellisesti toimiviin langattomiin järjestelmiin. Tämä johtuu laajakaistaisten tekniikoiden monimutkaisista modulointitavoista, vaa-



dittavista suhteellisen suurista lähetystehoista, antenniratkaisujen kehittymättömyydestä sekä taajuusalue rajoitteista soveltuvimpien taajuusalueiden (ylä-VHF, ala-UHF) osalta. Kotimaan osalta FlashOFDM ja @450-verkko voivat useissa tilanteissa toimia ratkaisuna alueellisen järjestelmän osalta. Alueellisesti toimivat järjestelmät ovat kuitenkin keskeinen seurattava kehitysalue, jossa on huomioitava etenkin ohjelmistoradion sekä ad hoc -verkkojen merkitys.

Tässä luvussa ei käsitelty mikroaaltolinkkejä ja satelliittiyhteyksiä. Nämä ovat kuitenkin tärkeässä osassa tulevaisuuden järjestelmissä. Mikroaaltolinkkejä käytetään jo tällä hetkellä runsaasti maavoimien eri järjestelmissä (YVI, ALVI), eikä korvaavia tekniikoita ole näköpiirissä. Etenkin kaupallisten laajakaistatekniikoiden käyttö vaatii runkoverkkoa, jossa mikroaaltolinkeillä on selkeä tehtävä. Sotilaalliselta kannalta tarkasteltaessa satelliittijärjestelmien suuri merkitys tulee esiin Yhdysvaltain maavoimien kehitysnäkymien tarkastelun yhteydessä. Kansainvälisten tehtävien korostuminen kaikissa eurooppalaisissa armeijoissa on kiihdyttänyt satelliittiyhteyksien hyödyntämistä, joten tältä osin liittoutuminen satelliittiyhteistyöhön eurooppalaisten valtioiden kanssa vaikuttaa erittäin keskeiseltä kehityspolulta.

## 6.9. Johtopäätökset

Seuraavassa taulukossa on koottuna keskeisimpiä tämän hetken COTS-tekniikoita, joita voidaan hyödyntää maavoimien järjestelmissä. Järjestelmät on luokiteltu niiden käyttöalueiden mukaisesti. On huomattava että taulukko on yleisluonteinen ja tarjoaa vain esimerkit standardeista, joita kyetään hyödyntämään.

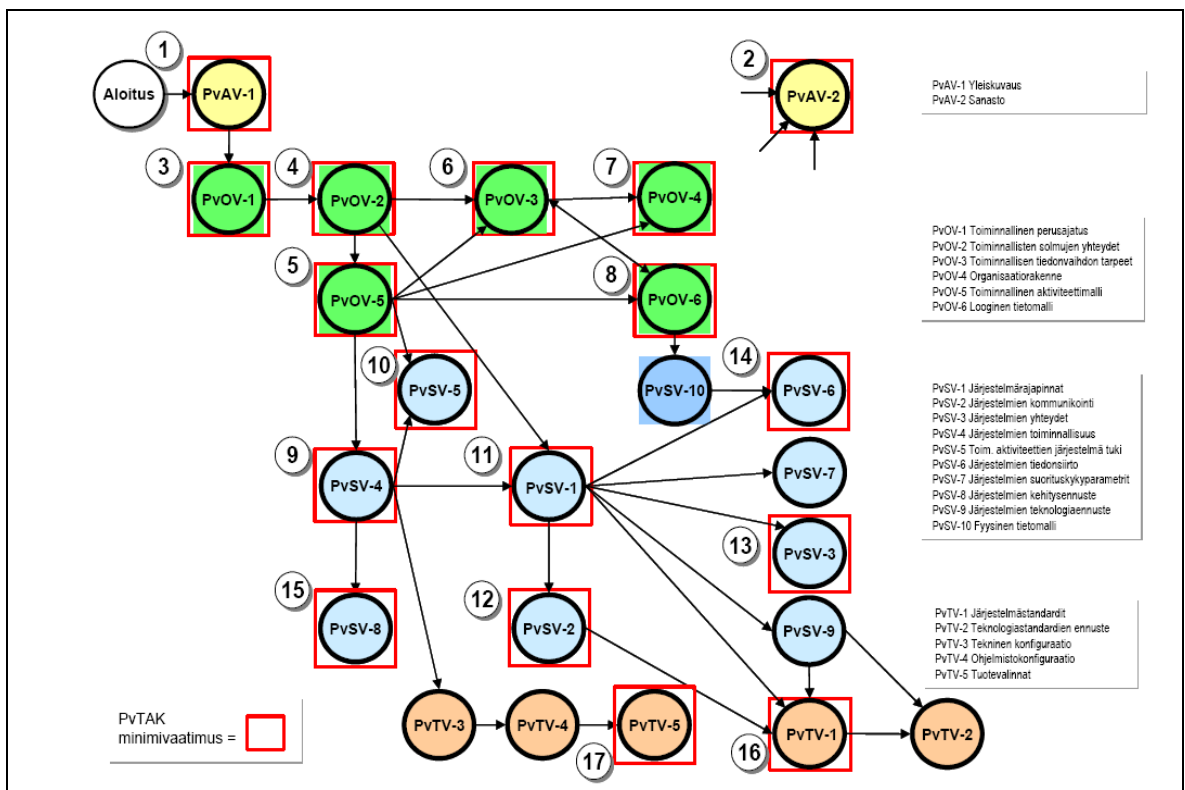
Maavoimien verkkorakenne	Käytettävä COTS tekniikka	Standardi esimerkiksi
<i>Laajakaistaiset pitkät yhteydet (yli radiohorisontin)</i>	Satelliittiyhteydet	Palveluntarjoajakohtainen
<i>Kapeakaistaiset pitkät yhteydet (yli radiohorisontin)</i>	Satelliittiyhteydet	Palveluntarjoajakohtainen
<i>Laajakaistaiset runkoyhteydet</i>	- Satelliittiyhteydet - Mikroaaltolinkit	- SDH - WiMAX - valmistajakohtainen, jne.
<i>Alueelliset laajakaistaverkot</i>	- RAN-tekniikat - Matkapuhelintekniikat	- FlashOFDM - 3G rajoituksin
<i>Paikalliset laajakaistaverkot</i>	MAN-tekniikat	WiMAX (IEEE 802.16 sarja)
<i>Lähiverkot</i>	LAN-tekniikat	Wi-Fi (IEEE 802.11 sarja)
<i>Henkilökohtaiset verkot</i>	PAN-tekniikat	Bluetooth

**TAULUKKO 16: Esimerkki maavoimien tiedonsiirtojärjestelmässä hyödynnettävistä nykyisistä kaupallisista tekniikoista**

## 7. MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOVERKON ARKKITEHTUURI

### 7.1. Arkkitehtuurin kuvaaminen

Maavoimien tiedonsiirtoverkon arkkitehtuurin kuvaaminen tässä työssä perustuu puolustusvoimissa aiheesta annettuun ohjeistuskokoelmaan nimeltään PVTAK (Puolustusvoimien Tietohallinnon Arkkitehtuurikehikko), jonka asiakirjat ovat tämän tutkimuksen lähteinä 57 - 60. Kyseinen ohjeistus perustuu NATO:n vastaavaan NAF (NATO Architecture Framework)-määrittelyyn [NAF]. NAF-määrittelyssä on puolestaan käytetty pohjana Yhdysvaltain puolustusministeriön arkkitehtuurikehikkoa DoDAF (DoD Architecture Framework) [16]. Kuvauksessa on noudatettu PVTAK-ohjeistusta periaatteellisella tasolla. Määrittelystä on jouduttu poikkeamaan lähinnä kuvaustyökalun osalta, sillä PVTAK:n määrittelemää kuvaustyökalua (System Architect -ohjelmisto) ei ole ollut käytössä. Sen sijaan kuvaukset on laadittu tavallisilla piirrostyökaluilla.



**KUVA 23: PVTAK-ohjeistuksen mukainen arkkitehtuurin kuvauksen työnkulkukaa-vio [57]**

## 7.2. Arkkitehtuurin sanasto (PvAV-2)

Tämän tutkimustyön sanasto käsitellään tutkimuksen alussa sille varatussa osassa. Varsinaisen sanaston lisäksi tätä arkkitehtuurikuvausta varten oli tarpeellista määritellä tiettyjä laajempia peruskäsitteitä. Tässä esitellyt käsitteet muodostavat keskeisen pohjan arkkitehtuurille ja sen tavoitteiden ymmärtämiselle. Tästä syystä käsitteet esitellään ennen arkkitehtuurin yleiskuvausta.

### *Datalähteen tiedonsiirto*

Datalähteen tiedonsiirrolla tarkoitetaan palvelukerroksen, sovelluskerroksen tai sensorien aikaansaamaan tiedonsiirtoa. Tiedonsiirtojärjestelmän kannalta kaikki nämä ovat sille standardimuotoista dataa, jota kuljetetaan järjestelmässä osoitteistuksen perusteella tilaajalle saakka. On syytä huomata, ettei käyttäjä saa tämän määrittelyn mukaan aikaan dataliikennettä, vaan sen toteuttava palvelu on järjestelmän kuljetuskerroksen kautta dataliikenteen lähde.

### *Tiedonsiirtojärjestelmän suorituskyky*

Sotilaallisen tiedonsiirtojärjestelmän suorituskyvyllä tarkoitetaan yksinkertaisesti sen kykyä suoriutua tehtävistään. Tämä tarkoittaa käytännössä järjestelmän kykyä välittää dataa tilaajien välillä virheettömästi, viiveettömästi sekä riittävän suurella kapasiteetilla. Riittävän suuri kapasiteetti ja virheenkorjaus mahdollistavat yleensä myös viiveettömyyden. Nykypäivänä myös palvelunlaadun (Quality of Service, QoS) sekä riittävän tietoturvan voidaan katsoa olevan oleellinen osa tiedonsiirtojärjestelmän suorituskykyä.

Tiedonsiirtojärjestelmän riittävä suorituskyky on erittäin vaikea määritellä. Perinteisesti tiedonsiirtojärjestelmien kaikki kapasiteetti kyetään hyödyntämään, vaikka sitä kasvatettaisiin lähes rajattomasti. Tämän päivän johtamisjärjestelmät kykenevät toimimaan varsin kaapeakaistaisillakin yhteyksillä, mutta kaikkien ominaisuuksien hyödyntäminen vaatii suurempaa tiedonsiirtokapasiteettia. Eräänä näkemyksenä riittävästä kapasiteetista voidaan pitää nykypäivän laajakaista 1.0:n -yhteyksnopeuksia. Lähteen 41 mukaan se on keskimäärin 160 kbit/s, mikä riittää datan, videon ja puheen välitykseen. Tämän tason saavuttamista voidaan pitää tavoitetasona myös sotilaallisten järjestelmien osalta päätelaiteyhteyksillä.

### *Tiedonsiirtojärjestelmän liikkuvuus*

Sotilaallisten järjestelmien liikkuvuus jaetaan perinteisesti operatiiviseen, taktiseen sekä taistelutekniseen liikkuvuuteen. Tiedonsiirtojärjestelmän osalta nämä määrittelyt eivät ole riittä-

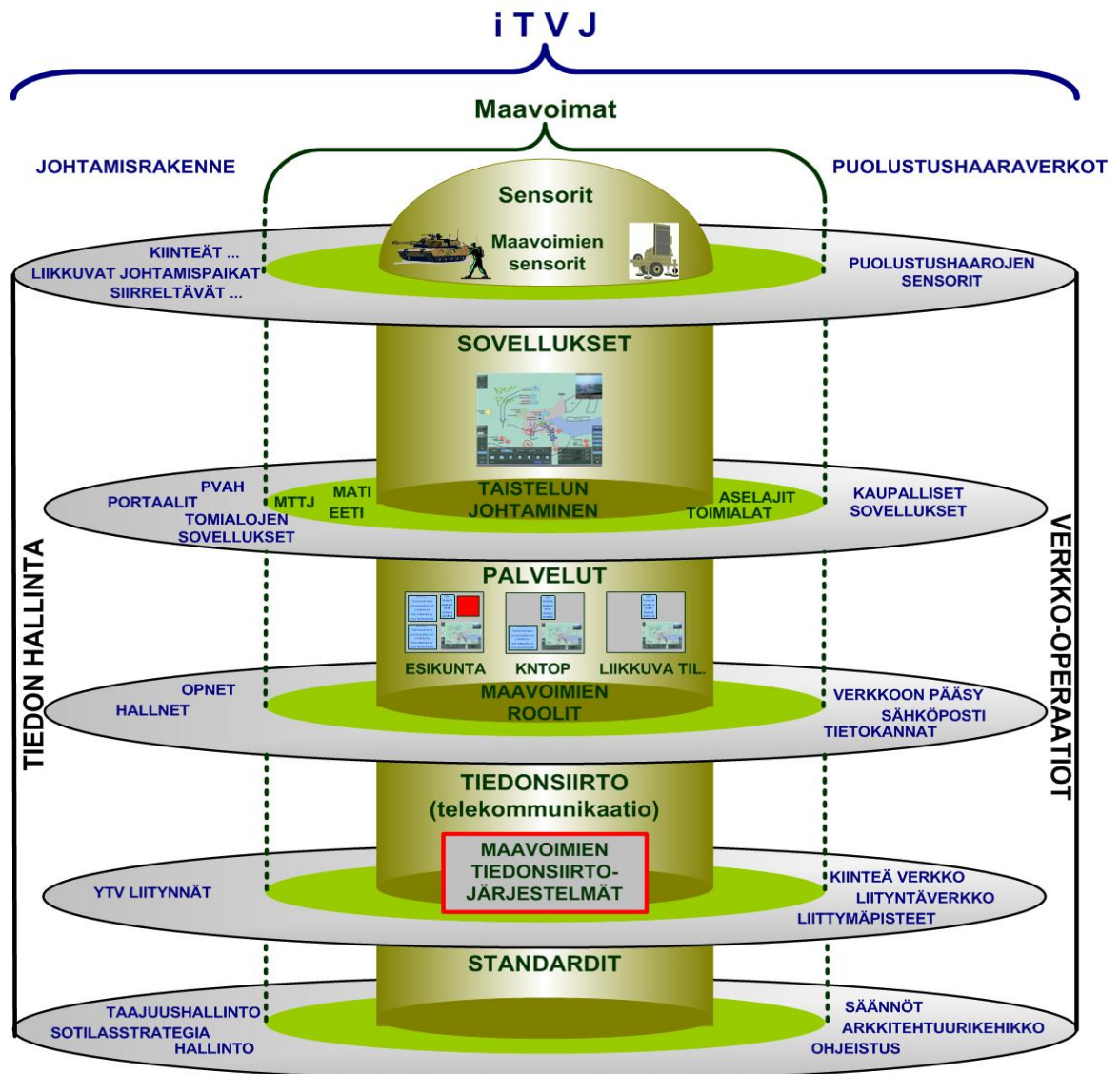
vän kuvaavia. Tämän vuoksi liikkuvuuden osalta päädyttiin käyttämään seuraavia liikkuvuuden määritelmiä kuvaamaan tiedonsiirtojärjestelmän liikkuvuuden ulottuvuuksia:

1. *Järjestelmäliikkuvuus* (operatiivinen liikkuvuus): Termi kuvaa sitä, miten koko järjestelmä, sen solmut sekä sen muut elementit kykenevät siirtymään toiminta-alueelta toiselle säilyttäen vähintään rajallisen kommunikointikyvyn. Järjestelmäliikkuvuutta omaava järjestelmä on edelleen kykenevä toimimaan pirstoutuneena useisiin osiin ja siirtymään toimintaan yhtenä kokonaisuutena. Järjestelmäliikkuvuuden toteuttaminen ei pidä sisällään reaaliaikaisen tiedonsiirron vaatimusta liikkeen aikana (esimerkiksi solmun kommunikointikyky liikkeen aikana), vaan yksittäiselle järjestelmän osalle voidaan sallia jopa tuntien kommunikointiviive solmujen ja liikkeen aikana.
2. *Solmujen liikkuvuus* (taktinen liikkuvuus): Termi kuvaa sitä, miten järjestelmän sisäisten solmujen sekä muiden osien liike on mahdollista. Yksittäiset solmut ovat kykeneviä vaihtamaan paikkaansa järjestelmän sisällä hyvin suurella vapausasteella säilyttäen kommunikointi- ja tiedonvaihtokykynsä. Solmujen liikkuvuuden toteuttaminen pitää sisällään vaatimuksen lähes reaaliaikaiselle tiedonsiirtokyvylle. Yksittäiselle solmulle tai järjestelmän osalle voidaan sallia korkeintaan minuuttiluokan viive. Sen sijaan solmun kommunikoinnin tiedonsiirtokapasiteetille liikkeen aikana sallitaan merkittävä alentuminen.
3. *Käyttäjän liikkuvuus* (taistelutekninen liikkuvuus): Termi kuvaa sitä, miten käyttäjän liikkuvuus järjestelmän määrittämien rajojen sisällä on mahdollista. Käyttäjän liikkuvuus muodostuu päätelaitteiden liikkuvuudesta sekä palveluiden liikkuvuudesta.
  - a. *Päätelaitteiden liikkuvuus*: Termi kuvaa sitä, että yksittäinen järjestelmän päätelaite voi liikkua vapaasti järjestelmän sisällä. Päätelaitteella tulee olla reaaliaikainen kommunikointikyky liikkeen sekä paikallaan olon aikana. Vaadittava kapasiteetti vastaa tarvittavia palveluita, mutta päätelaite ei kykene liikkeen aikana säilyttämään samaa kapasiteettia kuin ollessaan paikallaan.
  - b. *Palveluiden liikkuvuus*: Termi kuvaa sitä, että käyttäjän palvelut (esimerkiksi kuva, video, data ja paikkatieto) siirtyvät käyttäjän mukana järjestelmässä. Palveluiden käyttämiseen käytetty päätelaite saa vaihtua, mutta palvelut tulee saada silti käyttöön. Palveluiden tarvitsema kapasiteetti ei ole liikkeen aikana samantasoinen kuin paikallaan ollessa.

### 7.3. Arkkitehtuurin yleiskuvaus (PvAV-1)

#### 7.3.1. Arkkitehtuurin tarkoitus

Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurin kuvauksen tarkoituksena on tässä tutkimuksessa laaditun analyysin perusteella määrittellä maavoimille soveltuva tiedonsiirtojärjestelmä. Tarve tälle määrittelylle on ilmeinen. Puolustusvoimien johtamis- ja hallintorakenteen muutoksen (JOHA 2008) myötä Puolustusvoimien Johtamisjärjestelmäkeskus (PvJJK) on ottanut vastuulle suurimman osan kiinteistä tiedonsiirtojärjestelmistä sekä käytännössä normaaliajan johtamisjärjestelmiin liittyvän kiinteän infrastruktuurin. Puolustushaarojen kehittämistä vastuu ja käyttöön jäävät taktiseen käyttöön tarkoitettuja johtamisjärjestelmiä. Maavoimien osalta tämä tarkoittaa erityisesti kenttäkäyttöön tarkoitettuja johtamisjärjestelmiä.



KUVA 24: Maavoimien verkon kerroksellinen rakenne osana iTVJ-verkkoa

Maavoimien johtamisjärjestelmä voidaan nähdä kuvassa 24 kuvatusti kerroksellisena. Pohjan koko maavoimien verkolle luovat erilaiset normistot ja niihin liittyvä seikat. Arkkitehtuuri-kehikko voidaan nähdä myös normistona, joka säätelee siihen liittyvien kohdearkkitehtuurien rakennetta. Maavoimien verkon pohjan luovat tiedonsiirtojärjestelmät, jonka päällä toimii palvelukerros sekä sovelluskerros. Koko järjestelmän ylimmän kerroksen muodostavat sensorit, joina yksikertaisimmillaan toimivat yksittäiset taistelijat. Kehyksen koko maavoimien verkolle kaikilla tasoilla muodostaa iTVJ sekä puolustusvoimien johtamisjärjestelmä.

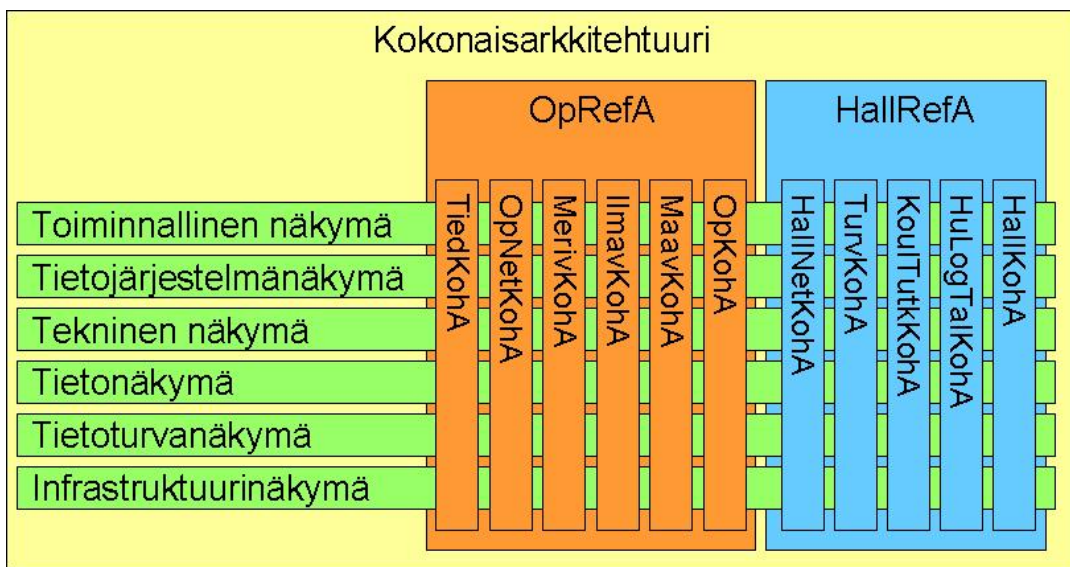
Maavoimien taktisia johtamisjärjestelmiä käyttävät pääasiassa sen alueelliset sekä operatiiviset joukot. Lisäksi niitä käytetään ulkomailla eri rauhanturvaoperaatioissa. Järjestelmien kehitystyö on edennyt kuluneen vuosikymmenen aikana varsin verkkaisesti. Vain ulkomaanoperaatioihin käytettävää järjestelmää on kyetty selkeästi uudistamaan, ja se onkin käytännössä käytössä olevista järjestelmistä nykyaikaisin. Seuraavassa taulukossa on esitetty tämänhetkinen maavoimien johtamisjärjestelmien käyttäjät, käytön uhkaympäristö, johtamisjärjestelmälle asetettavat keskeiset vaatimukset sekä käytössä olevat järjestelmät. Aikaisemmissa luvuissa esitettyjen analyysien perusteella voidaan todeta, etteivät operatiivisten ja alueellisten joukkojen järjestelmät vastaa niille esitettyjä keskeisimpiä vaatimuksia. YVI-järjestelmien suorituskyky on tällä hetkellä liian pieni ja etenkin kenttäviestijärjestelmä m80:n liikkuvuus riittämätön nykypäivän tarpeisiin. Myös kyseisten järjestelmien yhteensopivuudessa on haasteita, vaikka sitä onkin erilaisilla sovittimilla kyetty parantamaan. Juuri näiden seikkojen vähittäinen korjaamiseen pyritään tällä arkkitehtuurikuvauksella.

<b>Käyttäjä</b>	<b>Uhkaympäristö</b>	<b>Johtamisjärjestelmän ominaisuudet</b>	<b>Käytössä oleva järjestelmä</b>
<i>Operatiiviset joukot</i>	- Alueellinen sota - YETTS-sota - Normaaliaika	- Liikkuvuus (kaikki tasot) - Hyvä suorituskyky - Yhteensopivuus	- YVI 1m - YVI 2
<i>Alueelliset joukot</i>	- Alueellinen sota - YETTS-sota - Normaaliaika	- Liikkuvuus (solmut ja käyttäjä) - Tyydyttävä suorituskyky - Yhteensopivuus	- Kenttäviestijärjestelmä m80 (YVI 1m, YVI 2, )
<i>Kansainvälisen operaation joukot</i>	- Kriisinhallintasota	- Yhteensopivuus kansainvälisesti - Liikkuvuus (osin solmut sekä käyttäjä) - Hyvä suorituskyky	- Räättälöity, DCN (Deployable COTS network)

**TAULUKKO 17: Maavoimien joukot sekä niiden käyttämät johtamisjärjestelmät**

### 7.3.2. Arkkitehtuurin rajaukset

Tässä arkkitehtuurikuvauksessa käsitellään jo aiemmin kuvattuja maavoimien liikkuvia johtamisjärjestelmiä. Johtamisjärjestelmien osalta tarkastelu on rajattu pääsääntöisesti tiedonsiirtoalustaan. Tiedonsiirtoalustan päällä toimivat palvelu-, sovellus- ja sensorikerrokset huomioidaan vain tarvittavin osin. Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri on osa maavoimien kohdearkkitehtuuria. Sen operatiivisena referenssiarkkitehtuurina toimii iTVJ-järjestelmän arkkitehtuuri [56].



**KUVA 25: Puolustusvoimien kokonaisarkkitehtuurin ohjausrakenne**

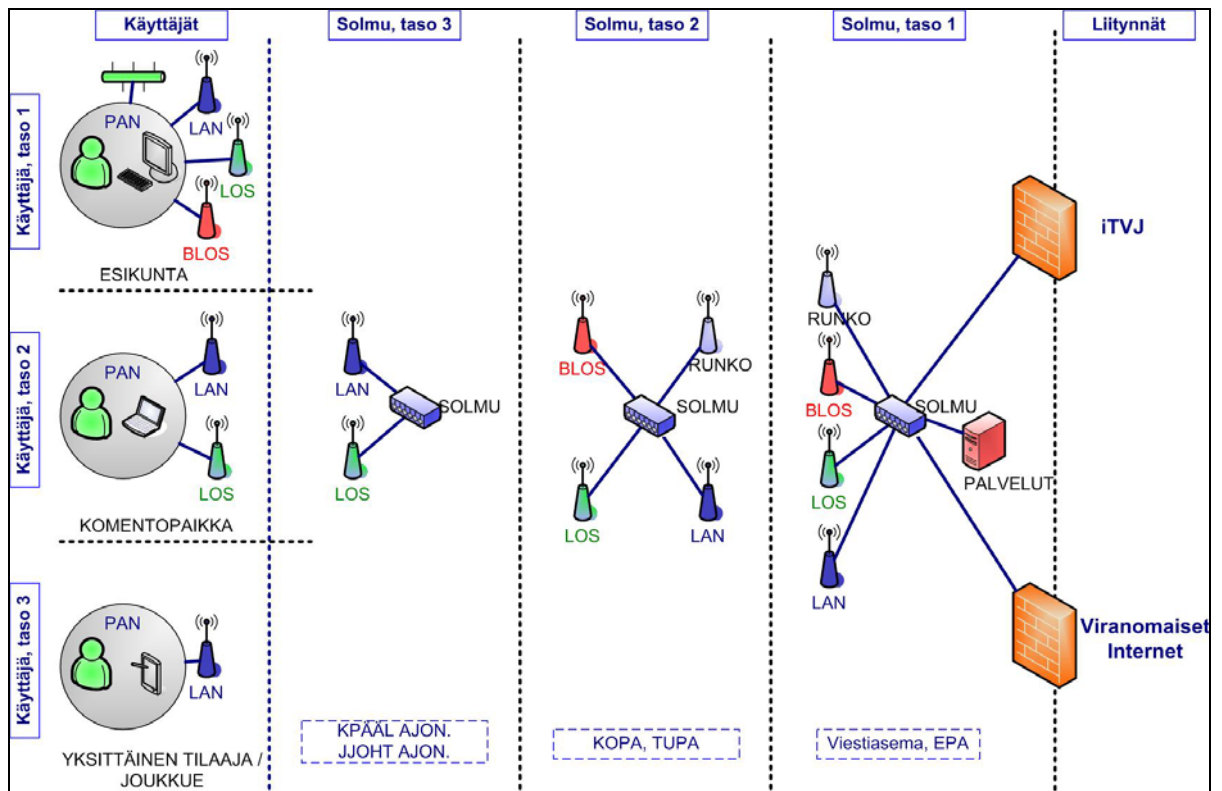
Tässä kuvauksessa ei ole laadittu puolustusvoimien ohjeistuksen mukaisia kaikkia arkkitehtuurikuvauksen näkymiä, vaan työssä on keskitytty yleisnäkymään sekä osaan toiminnallisista ja järjestelmänäkymistä.

## 7.4. Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän toiminnallinen perusajatus (PvOV-1)

### 7.4.1. Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän rakenne

Tulevaisuuden maavoimien tiedonsiirtojärjestelmä, jota tässä kokonaisuudessa tullaan kutsumaan maavoimien verkoksi, on integroitu kokonaisuus, joka toimii järjestelmienjärjestelmä -periaatteella. Koko järjestelmän tiedonsiirto perustuu IP-tietoliikenteeseen (IPv6). Järjestelmän ytimenä toimivat siten IP-liikennettä välittämään kykenevät solmut. Solmuja tulee maavoimien järjestelmässä olemaan suorituskyvyltään usean tasoisia. Solmujen suorituskykyvaatimukset liittyvät läheisesti niiden rooliin järjestelmässä. Yleisesti ottaen

korkeimman tason solmuissa tulee olemaan parhaat yhteysmahdollisuudet, ja täten vaatimukset solmun suorituskyvyille ovat myös suurimmat. Sen sijaan matalimmalla tasolla solmun toiminnallisuus voidaan toteuttaa esimerkiksi yksittäisessä PC:ssä ajettavalla ohjelmistolla.



**KUVA 26: Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän tekninen rakenne**

Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän käyttäjät voidaan jakaa kolmelle tasolle.

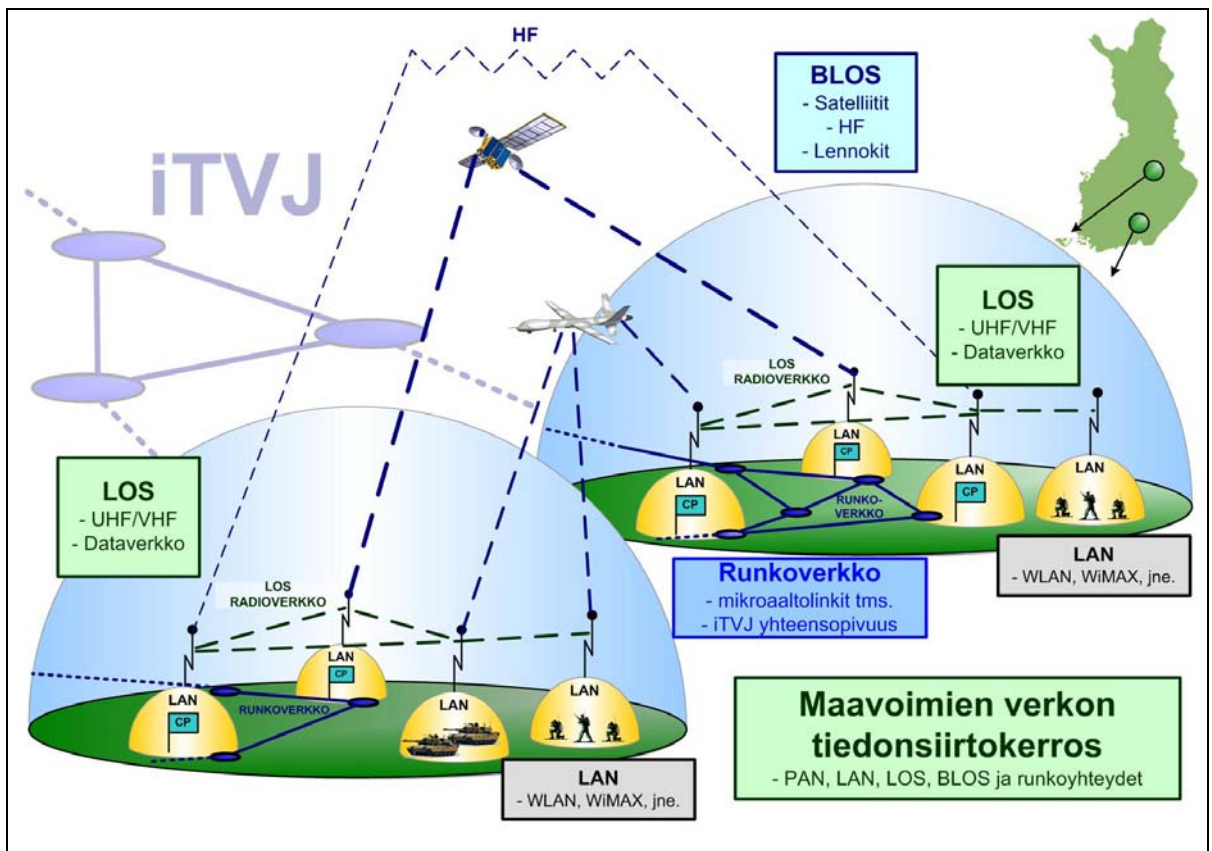
1. tason muodostavat yksittäiset tilaajat tai käyttäjät, jotka käyttävät järjestelmän palveluita hyvin rajoitetusti. Heidän yhteystarpeensa liittyy lähinnä yksittäisten palveluiden ja sovellusten käyttöön. Pääsy palveluihin toteutuu lähinnä alimman tason solmujen välityksellä. Tyypillinen toimintaympäristö on jalkautuneen taistelijan ympäristö.
2. tason käyttäjät edustavat järjestelmälle solmua. Heidän yhteystarpeensa on ensimmäistä tasoa suurempi, ja siihen liittyy tietty määrä erilaisten palveluiden ja sovellusten käyttöä. Tyypillinen toimintaympäristö on yksikön päällikön, joukkueen johtajan tai ryhmän taisteluajoneuvo.
3. tason käyttäjät hyödyntävät järjestelmää koko laajuudessaan. Heillä on pääsy maavoimien palveluiden lisäksi iTVJ-palveluihin ja sen erilaisiin kollaboraatiotyökaluihin. Tyypillinen käyttäjän toimintaympäristö on esikunta-ajoneuvo, esikuntakontti, komentopaikka-ajoneuvo tai aselajin johtamisajoneuvo.



Koko järjestelmää leimaa opportunistinen tiedonsiirtoyhteyksien käyttö. Käytössä olevista yhteyksistä valitaan laadultaan ja nopeudeltaan paras tai käyttäjän valitsema. Täten järjestelmän rakenne muistuttaa suuresti NGN-ajattelua. Yhteensopivuutta NGN-järjestelmien kanssa voidaankin pitää yhtenä merkittävänä tavoitteena järjestelmän toteuttamisessa.

#### 7.4.2. Maavoimien verkko

Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän toiminnallisena perusajatuksena on liittää mahdollisimman moni taistelukentän sensori (taistelija, tekninen sensori) sekä tiedonsiirtojärjestelmän käyttäjä verkostoon, mikä on myös verkostokeskeisyyden perusajatus. Samalla järjestelmän tulee olla mahdollisimman kerroksellinen, jotta taistelukentän joukkojen ja asejärjestelmien liike mahdollistetaan. Kerroksellisuus toteutetaan hyödyntämällä suoria yhteyksiä, ilmasta (esimerkiksi lennokka) releoituja yhteyksiä, satelliittiyhteyksiä sekä pitkän kantaman HF-radioyhteyksiä. Laaja verkottuminen sekä kerroksellisuus mahdollistavat edelleen yhteydessä, joka on keskeinen vaatimus johtamiselle verkostoituneessa ympäristössä.



**KUVA 27: Maavoimien verkon toiminnallinen perusajatus yleisellä tasolla**

Maavoimien tiedonsiirtoverkon osajärjestelmät on nimetty niiden tyypillisen kantaman perusteella. Alimmalla tasolla ovat henkilökohtaiset yhteydet (PAN, personal area network). Ne

liittyvät lähinnä taistelijan tai ajoneuvon omien yhteyksien toteuttamiseen. Langattomilla henkilökohtaisilla yhteyksillä kyetään vähentämään kalliita kaapelointeja sekä helpottamaan laitteiden kytkentöjen toteuttamista. Kuitenkin langalliset yhteydet ovat tietoturvasa johdosta edelleen käyttökelpoisia.

Paikallisverkon (LAN, local area network) yhteydet voidaan toteuttaa esimerkiksi Wi-Fi- tai WiMAX-yhteensopivilla laitteistoilla. Näistä jälkimmäisen kantama on jonkin verran suurempi yltäen kuitenkin parhaimmillaankin vain noin kilometriin. Nämä tekniikat mahdollistavat siten kantamaltaan keskimäärin muutamien satojen metrien yhteydet. Paikallisverkkoja käytetään esikunnissa, johtamispaikoilla, yksiköissä sekä asejärjestelmissä. Paikallisverkot kykenevät liittymään tarvittaessa toisiinsa ad hoc -verkonmuodostustekniikalla. Paikallisverkkojen tekniikka on pääosin COTS-pohjaista. Paikallisverkkojen hyödynnetään laitteistojen edullisen hinnan vuoksi mahdollisimman massamaisesti. Tietoturvan osalta järjestelmissä käytetään sotilaalliset vaatimukset täyttäviä kaupallisia salaus- ja käyttäjän tunnistusmenetelmiä. Laitteistojen verrattain pienet lähetystehot ja käytetyt korkeat taajuusalueet eivät mahdollista näiden laitteistojen tiedustelua sekä häirintää pitkien etäisyyksien takaa. Tämä takaa järjestelmille kohtuullisen elektronisen suojan.

LOS-radiojärjestelmät (näköyhteyden etäisyydelle toimivat) muodostavat järjestelmän kolmannen kokonaisuuden. Nämä radiojärjestelmät kykenevät noin 3-10+ km:n yhteysetäisyyksiin. Järjestelmien yhteydet ovat kuitenkin käytännössä maksimissaan radiohorisontin sisällä. Käytetyt radiotaajuudet ovat suhteellisen matalia, ja sijoittuvat tyypillisesti välille 30 - 900 MHz. Näillä järjestelmillä muodostetaan keskeisimmät taistelujen johtamisen yhteydet. Näin ollen sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien käytön painopiste on LOS-järjestelmissä. Ohjelmistoradio edustaa tyypillistä LOS-järjestelmää. Kaupallisista järjestelmistä esimerkiksi FlashOFDM-verkot voivat tietyissä tilanteissa toimia LOS-järjestelmänä. LOS-radiojärjestelmät pyritään toteuttamaan ad hoc -verkkorakenteella, joka mahdollistaa joukkojen mahdollisimman vapaan liikkeen taistelukentällä.

BLOS-tiedonsiirtojärjestelmät (beyond line-of-sight eli yli näköyhteyden toimivat) muodostavat järjestelmän neljännen kokonaisuuden. Nimensä mukaisesti nämä järjestelmät kykenevät toimimaan yhteyksillä, joiden pituus ylittää optisen horisontin. Tällaisten yhteyksien toteutuksen vaatavuus pakottaa käytännössä käyttämään useita vaihtoehtoisia järjestelmiä. Mahdollisia toteutusvaihtoehtoja ovat ainakin satelliittiyhteydet, lennokkireleasemien kautta toteutettavat yhteydet sekä HF-radioyhteydet. Näistä suurin tiedonsiirtokapasiteetti saavutetaan satelliittiyhteyksillä, mutta samalla ne ovat kaikkein alttiimpia elektroniselle vaikuttami-

selle sekä tiedustelulle. Lennokkien avulla toteutettuja laajoja radioverkkoja ei vielä ole laajassa käytössä, mutta niitä kehitetään useissa maissa usein ohjelmistoradiojärjestelmiin liittyen. HF-radioverkot puolestaan hyvin perinteinen tapa toteuttaa pitkiä yhteyksiä. Niiden rajoituksena on rajallinen tiedonsiirtokapasiteetti. Näitä radioverkkoja voidaan pitää kuitenkin perusjärjestelmänä pitkillä yhteysväleillä.

Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmässä on tulevaisuudessakin edelleen tarve runkojärjestelmälle. Runkojärjestelmän yhteyksien toteutus perustuu pääasiassa suurikapasiteettisiin radiojärjestelmiin sekä valokaapeliin. Runkojärjestelmän kautta on edullista toteuttaa liittymät iTVJ-järjestelmään sekä yleisiin tiedonsiirtojärjestelmiin. Tämän vuoksi saumaton yhteensopivuus iTVJ-järjestelmän liityntäverkon kanssa on ehdoton vaatimus. Runkoverkkoa käytetään myös suurimpien esikuntien ja johtamispaikkojen välisten suurempikapasiteettisten yhteyksien toteuttamiseen. Sen sijaan YVI-järjestelmien tyyppiselle alueelliselle viestijärjestelmälle ei tulevaisuudessa tule olemaan tarvetta. Runkojärjestelmä tuleekin tulevaisuuden järjestelmässä nähdä ennen kaikkea täydentävänä ja kapasiteettia tarjoavana järjestelmänä, jota käytetään tilanteen sekä tarpeen vaatimusten mukaisesti.

#### 7.5. Toiminnallisten solmujen yhteydet (PvOV-2)

Toiminnallisten solmujen yhteydet kuvaavat kaaviomuodossa toiminnallisia solmuja, solmujen välisiä yhteyksiä ja tiedonvaihtotarpeita (yhteyksien sisällöt). Toiminnallinen solmu on jokin looginen toiminnan yksikkö, joka suorittaa joukon toimintoja, joita halutaan käsitellä yhtenä kokonaisuutena. Liitteessä 2 on kuva maavoimien tiedonsiirtoalustan toiminnallisten solmujen yhteyksistä.

Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän kannalta toiminnallisia solmuja tunnistettiin kahdeksan kappaletta. Näiden lisäksi kuvassa on kolme organisaatiota. Toiminnallisten solmujen toiminnot liittyvät erityisesti tavoitteiden ja vaatimusten määrittelyyn, johtamiseen sekä yhteyksien toteuttamiseen tai datansiirtoon. Tavoitteiden ja vaatimusten määrittely voidaan nähdä erityisesti suunnittelun tuloksena. Edelleen pelkistäen voidaan todeta, että kuvassa esiintyvät toiminnot suunnittelu, johtaminen sekä yhteyksien toteuttaminen.

#### 7.6. Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän toiminnallinen aktiviteettimalli (PvOV-5)

Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän aktiviteettimalli on tämän tutkimuksen laatimisen yhteydessä pyritty purkamaan aivan ylhäältä eli puolustusvoimien pääprosesseista käsin. Puo-

lustusvoimien pääprosessit ovat sotilaallisen maanpuolustuksen suunnittelu, suorituskyvyn rakentaminen ja ylläpito sekä suorituskyvyn käyttö. Näitä pääprosesseja tuetaan toiminnan tukemisen prosessilla. Näillä pää- ja tukiprosesseilla luodaan puolustusvoimien suorituskyky.

Tämä ylätasoinen prosessimalli voidaan purkaa edelleen maavoimien toiminnalliseksi aktiviteettimalliksi suorituskyvyn luomisen suhteen. Tätä prosessikuva ei virallisena ollut käytettävissä tätä tutkimusta tehtäessä, joten laadittu prosessikuva perustuu lähteeseen 51. Laadittu kuva on liitteen 3 kuvana 1.

Maavoimien toiminnalliseen aktiviteettimalliin liittyen tässä tutkimuksessa laadittiin edelleen kaksi tarkempaa alemman tason aktiviteettikuvausta. Tässä työssä esitetyn analyysin perusteella keskeiset arkkitehtuurien haasteet liittyvät nykypäivänä suorituskyvyn rakentamiseen sekä suorituskykyjen käyttämiseen. Suorituskykyjen rakentamisen osalta haasteena on erityisesti tämänhetkinen teknisen kehityksen nopeus, josta johtuen hankkeet joko viivästyvät jatkuvasti tai tuottavat vanhentunutta suorituskykyä. Myöskään uusinta COTS-teknologiaa ei kyetä hyödyntämään hankeaikataulujen puitteissa riittävän hyvin.

Suorituskykyjen käytön haasteet liittyvät erityisesti tämän hetken suorituskyvyn vanhentuneeseen luonteeseen ja siihen liittyvään verkostokeskeisyyden luomiseen. Kuten jo tämän tutkimuksen ensimmäisissä luvuissa todettiin, perustuu tämän päivän maavoimien suorituskyky suurelta osin kylmän sodan aikaisten järjestelmien käyttämiseen. Nämä järjestelmät eivät vastaa kaikilta osin nykypäivän taistelukentän vaatimuksiin. Verkostokeskeisyydellä pyritään kuitenkin myös nämä suorituskyvyt saamaan tehokkaampaan käyttöön. Verkostokeskeisyyden perusajatushan on käyttää mahdollisimman tehokkaasti erilaisia sensoreita tilannekuvan luomiseen, jota jaetaan edelleen mahdollisimman laajasti. Edelleen tämän tilannekuvan perusteella vaikutuksen kohdistaminen vastustajaan on mahdollisimman tehokasta. Näin ollen verkostokeskeisyyttä tarkasteltaessa tehokas ja kattava tiedonsiirtojärjestelmä on aivan keskeisessä roolissa.

#### 7.6.1. Suorituskyvyn rakentamisen aktiviteettimalli

Maavoimien suorituskyvyn rakentamisen haasteet on helppo todeta jo katsottaessa sen rakentamisen aktiviteettimallia. Erilaisten järjestelmään kohdistuvien vaatimusten hallinta on erittäin monimutkaista, ja siihen osallistuu useita tahoja. Suorituskyvyn rakentamiseen liittyvää vaatimustenhallintaa käsitellään puolustusvoimissa omassa ohjeistuksessa [Hankeohjaus]. Edelleen elinjaksonhallinta muodostaa merkittävän tekijän koko järjestelmän ajanmukaisuus-

den säilymiselle. Teknologian kehitys pakottaa käytännössä tekemään lähes jatkuvia isompia tai pienempiä päivityksiä järjestelmään, jotta sen ajanmukaisuus ja yhteensopivuus kyetään säilyttämään riittävällä tasolla. Tämä korostaa erityisesti tutkimuksen ja kehityksen merkitystä tiedonsiirtojärjestelmän suorituskyvyn ylläpitäjänä. Liitteessä 3 kuvassa 2 on esitetty suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon aktiviteettimalli.

#### 7.6.2. Suorituskyvyn käyttämisen aktiviteettimalli

Suorituskyvyn käyttäminen voi tapahtua useassa eri tilanteessa. Suorituskykyä voidaan käyttää esimerkiksi normaaliolojen aikaisissa harjoitustilanteissa, poliittisen painostuksen aikana voimannäyttöön, YETTS-uhkatilanteiden aikana, kansainvälisessä toiminnassa sekä alueitten valtaukseen tähtäävän hyökkäyksen torjunnassa. Tämän mukaisesti jokapäiväinen puolustusvoimissa tapahtuva koulutus on osa järjestelmän käyttöä. Tässä yhteydessä on huomioitava, että suorituskyvyn käyttöä säätelevät sisäinen ohjeistus ja normisto poikkeavat koulutustilanteissa uhkatilanteiden vastaavasta. Liitteessä 3 kuvassa 3 on esitetty suorituskyvyn käyttämisen aktiviteettimalli.

#### 7.7. Järjestelmien toiminnallisuus (PvSV-4)

Järjestelmien toiminnallisuus -kuvausnäkyvä on kaksi roolia. Ensimmäiseksi se identifioi järjestelmät ja niiden järjestelmäkomponentit. Toiseksi kuvausnäkyvä on kuvaus järjestelmien toiminnallisuudesta. Kuvaus on siten järjestelmätason peilaus toiminnallisesta aktiviteettimallista eli se kuvaa, miten toiminnallisten aktiviteettien vaatimukset toteutetaan järjestelmätasolla.

Järjestelmien toiminnallisuus kuvataan kaksitasoisesti. Ensimmäiseksi arkkitehtuuriin liittyvät järjestelmät identifioidaan luokkakaavioilla. Tällöin saadaan kuvattua järjestelmään liittyvät järjestelmäkokonaisuudet. Toiseksi järjestelmien toiminnallisuus kuvataan käyttötapauskaavioilla. Käyttötapauskaavioilla pyritään saamaan esiin järjestelmien ja käyttäjän vuorovaikutustilanteet.

##### 7.7.1. Järjestelmien toiminnallisuuden luokkakaavio

Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän toiminnallisuuden luokkakaaviossa on kuvattuna liitteessä 4. Siinä näkyvät selkeästi maavoimien verkon ne osat, joille tiedonsiirtojärjestelmä tarjoaa palveluitaan. Datan kuljetusliittymän kautta palvelut, sovellukset sekä sensorit saavat

tarvitsemansa palvelun, joka on datan siirtäminen. Datan siirto voi tapahtua maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän piirissä, tai se voi ulottua ulkoisiin järjestelmiin. Keskeisiä kohteita datansiirrolle löytyy myös vaikuttamisjärjestelmien piiristä. Ne pitävät sisällään johtamisliittymän (rajapinta), jonka kautta data siirretään esimerkiksi tulenjohtojärjestelmään tai muuhun vaikutuksen kohdistamisen johtamisjärjestelmään. Vaikuttamisjärjestelmä voi edelleen käyttää tiedonsiirtojärjestelmää hajautuneena olevien vaikutuselementtien koordinoimiseen. On huomioitava, että vaikutusajattelussa myös joukot voidaan nähdä vaikutusjärjestelmänä.

### 7.7.2. Järjestelmien toiminnallisuuden käyttötapaukset

Järjestelmien toiminnallisuuden käyttötapauskaavio on kuvattuna liitteessä 5. Kuvaus painottaa tiedonsiirtojärjestelmän näkökulmaa. Toimijoiden näkökulmasta tiedonsiirtojärjestelmän johdon sekä järjestelmän teknisen johdon rooli on erittäin korostunut. Tiedonsiirtojärjestelmän johto vastaa toiminnallaan kaikkien yhteyksien periaatteellisesta suunnittelusta ja valmistelusta. Samalla se johtaa tiedonsiirtojärjestelmän käyttöön ja ylläpitoon tarvittavaa henkilöstöä. Tiedonsiirtojärjestelmän tekninen johto, jonka katsotaan sisältävän ohjauksen ja valvonnan henkilöstön, on periaatteessa vastuussa kaikkien yhteyksien teknisestä toteutuksesta sekä niiden toimintakunnon valvonnasta.

### 7.7.3. Järjestelmien liittyminen toisiinsa

Tässä tutkimuksessa laaditut kuvaukset eivät kata koko PVTAK:n minimivaatimuksia. Tästä syystä järjestelmien toiminnallisuuden kuvaamiseen liittyen laadittiin yksi epäformaali kuva järjestelmien liittämisestä toisiinsa. Siinä kuvataan maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurin solmujen, järjestelmien ja käyttäjäympäristöjen liittyminen toisiinsa. Kuva on tutkimuksen liitteenä 7.

Järjestelmän osien välisten yhteyksien muodostumisperiaate on seuraava:

- Kaikki solmut voivat olla suoraan yhteydessä toisiinsa ja myös iTVJ-järjestelmään (sininen yhteys)
- Ulkoiseen tiedonsiirtojärjestelmään kytetään muodostamaan yhteys järjestelmäsolmuista sekä vaikutussolmun ja sensorisolmun liityntäjärjestelmästä (vihreä yhteys).
- Ohjauksen ja valvonnan yhteydet muodostetaan kuvattuihin solmuihin. Liityntäsolmuihin menevää valvontayhteyttä ei kaaviossa ole kuvattu (punainen yhteys).
- Palvelinsolmu voi muodostaa yhteyden käyttäjäympäristösolmuun ”ESIKUNTA” sekä kaikkiin järjestelmäsolmuihin (keltainen yhteys).

- Päätesolmu voi olla yhteydessä kaikkiin käyttäjäympäristö- ja järjestelmäsolmuihin (violetti yhteys).

Kuvan tarkoitus on selkiyttää järjestelmien liittymistä toisiinsa, ja sitä voidaan käyttää apuna muiden kuvausten laadinnassa tarpeen mukaisesti.

#### 7.8. Järjestelmärajapinnat (PvSV-1)

Järjestelmärajapinnat-kuvaus sisältää järjestelmätoteutuksen järjestelmäsolmut (looginen tai fyysinen palvelin, joka voi sisältää useampia järjestelmiä) sekä niiden järjestelmät ja järjestelmien väliset rajapinnat. Järjestelmärajapinta on yksinkertaistettu tai yleistetty kaaviokuva järjestelmien toteutuksesta, niiden rajapinnoista ja järjestelmien välisistä riippuvuuksista rajapintojen kautta. Tässä tutkimuksessa esitetyissä kuvissa ei kaikkia rajapintoja ole piirretty yhteen kuvaan, vaan ne esitetään kolmessa osassa. Ensimmäisessä osassa on kuvattuna tiedonsiirron rajapinnat, toisessa osassa ohjauksen ja valvonnan rajapinnat sekä kolmannessa osassa palvelujen ja sovellusten rajapinnat. Periaatteessa tässä työssä esitellyn arkkitehtuurin rajapinnat sisältyvät näihin kolmeen kokonaisuuteen.

Tiedonsiirron rajapinnat on kuvattu liitteessä 7. Niitä kuvattaessa laadittiin periaatteellinen kuva. Siinä olevien riippuvuusnuolten havainnollisuutta on korostettu eri väreillä. Kaikkien eri tasojen tilaaja- ja järjestelmäsolmujen rajapintojen kuvaaminen yhdellä kuvalla olisi ollut erittäin vaikeaa. Periaatteellisessa kuvassa näkyy kuitenkin keskeisimmät rajapinnat, joita järjestelmien välille muodostuu. Ne ovat siis eri kommunikointijärjestelmien sekä liityntäpisteiden muodostamia. On syytä huomata, että solmujen sisäisiä rajapintoja ei käsitellä näissä kuvissa lainkaan. Ulkoisen tiedonsiirtojärjestelmän rajapinnat on kuvattu yleisellä tasolla, sillä ulkoisia tiedonsiirtojärjestelmiä voidaan arvioida olevan lukuisia.

Ohjauksen ja valvonnan rajapinnat ovat kuvattuna liitteessä 8. Ohjauksen ja valvonnan yhteydet muodostuvat selkeiksi, sillä sitä suorittaa vain valvomosolmu. Täten kaikissa muissa solmutyypeissä tulee olla sen ohjaus- ja valvontaliikenteen kanssa yhteensopiva rajapinta. Edelleen valvomosolmut tulee kyetä vähintäänkin valvomaan, mutta osin myös ohjaamaan iTVJ-järjestelmän ohjaus- ja valvontajärjestelmästä käsin.

Palveluiden ja sovellusten rajapinnat on esitetty kuvana liitteessä 9. Kuvauksessa palveluiden ja sovellusten tuottaminen jaetaan kahteen osaan. Palvelut ja sovellukset tuotetaan järjestelmätasolla omissa palvelimissaan. Tätä menettelytapaa kutsutaan palvelinsolmuksi. Tämä menettely on kuitenkin liian raskas liikkuvan tilaajan tarpeisiin. Näin ollen liikkuva tilaaja

saa palvelut ja sovellukset käyttöön päätesolmulta. Päätesolmussa olevat ohjelmistot kykenevät toteuttamaan paikallisesti rajallisen määrän palveluita ja sovelluksia. Täten niissä ei tarvita omia palvelimia, vaan palvelut ja sovellukset voivat olla erillisiä ohjelmistoja esimerkiksi PC-tietokoneessa.

#### 7.9. Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurin arviointi

Laaditussa arkkitehtuurikuvauksessa laadittiin periaatteellisella tasolla kahdeksan näkymää arkkitehtuuriin. Työnkulkukaavion mukaisesti minimivaatimus täydellisesti kuvatulle arkkitehtuurille on 17 näkymää. Osa näkymistä liittyy kuitenkin pääasiassa tietojärjestelmiin, ja niiden sovellettavuus esimerkiksi tiedonsiirtoalustan kuvaamiseen saattaa olla kyseenalaista. Laaditut kuvaukset keskittyvät työnkulkukaavion mukaisesti ylätason kuvaamiseen. Näin ollen ne eivät käytännössä mene juurikaan yksityiskohtiin. Täten varsinaisen järjestelmän kehittämiseksi jää riittävästi vapausasteita, jotta erilaiset haasteet kyetään luovasti ratkaisemaan.

Kuvausta laadittaessa paljastui selvästi tiedonsiirtojärjestelmän liittyminen lukuisiin muihin arkkitehtuureihin. Juuri tähän on esimerkiksi verkostokeskeisyyden sekä järjestelmien järjestelmä -ajattelun taustalla. Tiedonsiirtojärjestelmä on keskeinen osa kaikkia taistelukentän toimintoja. Tämä seikka johti myös selkeisiin rajoitteisiin arkkitehtuurin laatimisen osalta. Suurimman rajoitteen aiheuttaa se, ettei tutkimuksessa voitu käyttää todellisia arkkitehtuurikuvauksia. Maavoimien arkkitehtuurien kuvaaminen on tällä hetkellä osittain kesken, eikä uuden johtamis- ja hallintorakenteen vaikutuksia ole kyetty niissä huomioimaan. Tämä pakotti muun muassa laatimaan tiettyjä ylätason arkkitehtuurikuvauksia pohjaksi laaditulle kuvaukselle. Täten arkkitehtuurikuvaus edustaa puhtaasti tutkimuksen laatijan näkemystä, eikä sitä tule ottaa olemassa olevan tilanteen kuvauksena.

Tähän tutkimukseen laaditut arkkitehtuurinäkymät luovat siis ylätason näkymän arkkitehtuuriin. Sellaisia näkymiä, jotka sitoutuvat olemassa liiaksi tänä päivänä olemassa oleviin järjestelmiin, ei tässä yhteydessä laadittu. Pohjana arkkitehtuurille toimivat kuitenkin maavoimien joukkojen toimintaperiaatteet sekä niiden nykyinen rakenne. Laaditun kaltaisten yleisnäkymien pohjalta on kuitenkin mahdollista alkaa laatia kehityspolkua nykyisestä järjestelmärakenteesta kohti arkkitehtuurikuvauksen rakennetta. Seuraavassa luvussa pohditaan juuri tätä portaittaista kehitystä nykyjärjestelmästä kohti uutta järjestelmärakennetta.



## 8. ESIMERKKI MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOARKKITEHTUURIN SOVELTAMISESTA

Tässä luvussa esitellään esimerkki edellisessä luvussa esitellyn tiedonsiirtoarkkitehtuurin soveltamisesta käytäntöön. Arkkitehtuuria on sovellettu operatiivisten, alueellisten sekä kansainvälisen toiminnan joukkojen järjestelmän luomiseen, jotka esitellään kaikki erikseen. Sisällöllisesti luku on jaettu kolmeen osaan. Ensimmäisessä käydään lävitse lyhyesti nykytila ja tärkeimmät kehityskohteet. Toisessa osassa esitellään järjestelmän kehityksen tavoitteet osajärjestelmittäin. Kolmannessa osassa arvioidaan päivitetyn järjestelmän heikkouksia ja vahvuuksia. Lopussa on esitetty johtopäätökset arkkitehtuurin sovellettavuudesta käytäntöön.

### 8.1. Tiedonsiirtojärjestelmän nykytila

Tämän hetken käytössä olevien tiedonsiirtojärjestelmien järjestelmäkuvaukset operatiivisten joukkojen sekä kansainvälisen toiminnan joukkojen osalta on esitetty luvussa viisi. Tämän luvun alkuun on koottu taulukko operatiivisten, alueellisten ja kansainvälisen toiminnan joukkojen järjestelmästä sekä niiden kehitystarpeista. Tämä taulukko luo pohjan seuraavien alalukujen järjestelmän kehittämistä käsitteleville osioille.

#### 8.1.1. Operatiivisten joukkojen tiedonsiirtojärjestelmän kehittämistarve

Operatiiviset joukot edustavat puolustusjärjestelmässä maavoimien liikkuvaa voimavaraa. Ne muodostetaan parhaiten koulutetusta nuoresta reservistä sekä varustetaan parhaalla käytössä olevassa varustuksella. Niitä valmistaudutaan käyttämään erityisesti sotatilanteissa vaativimmissa tehtävissä, jotka vaativat liikkuvuutta, tulivoimaa sekä taistelunkestävyyttä. Operatiivisten joukkojen päätaistelulaji onkin hyökkäys. Joukkojen varustukseen kuuluvat näin ollen muun muassa panssaroituja taistelu- ja johtamisajoneuvoja. Keskeinen suorituskykyvaatimus operatiivisille joukoille on kyky siirtyä taistelunvalmiina hajautetusta ryhmyksestä keskitettyyn hyökkäykseen ja vaikuttaa hyökkäyksessä panssaroituun vastustajaan kullekin joukkotyypille määritellyllä teholla. Operatiivisten joukkojen järjestelmää kehitettäessä siinä korostuvatkin siten:

- kyky toimintaan ja suojautumiseen laajalla alueella sekä hajaryhmyksessä
- liike (kaikki liikkuvuuden tasot)

- suoja (mukaan lukien elektroninen suoja)
- taisteluteho kaikilla tasoilla
- joukkojen hyvä koulutustaso.

Operatiivisten joukkojen rooli pysynee nykyisen kaltaisena myös lähitulevaisuudessa. Näin ollen seuraavassa taulukossa on esitetty joukkojen tiedonsiirtojärjestelmä sekä sen kehittämistarve seuraavien 5-10 vuoden aikana.

<b>Tiedonsiirtojärjestelmän osa</b>	<b>Nykytilanne operatiivisilla joukoilla</b>	<b>Kehittämistarve 5 - 10 v</b>
PAN (Henkilökohtaiset verkot)	Ei käytetä (kaapeliyhteydet)	Taistelijan päätteen kehittämiseen liittyen langattoman lähiyhteysteknologian kehitys <ul style="list-style-type: none"> <li>- vikaantumisalttiuden vähentäminen</li> <li>- varustuksen keventäminen</li> </ul>
LAN (Lähiverkot)	- Ethernet 10/100 Mbit/s - IEEE 802.11b/g rajoitetusti käytössä esikunnissa	- Ethernet-verkon tiedonsiirtonopeuden nosto - Lyhyen kantaman radioverkon käyttöönotto (ryhmä/joukkueradio) - Langattoman tiedonsiirron kehittäminen alle 1 km yhteysetäisyyksillä
LOS (Näköyhteyden verkot)	- Kenttäradiojärjestelmä D (digitaalinen) ja A (analoginen) käytössä	- Joukkojen liikkuvuuden lisääminen - Tiedonsiirtokapasiteetin oleellinen nosto
BLOS (Pitkän kantaman verkot)	- HF-radioyhteydet käytössä	- Joukkojen liikkuvuuden lisääminen - HF-radiojärjestelmän kehittäminen - Tiedonsiirtokapasiteettien nosto
Runkojärjestelmä	- YVI-siirtojärjestelmä käytössä (1 - 2 Mbit/s)	- Runkojärjestelmän tiedonsiirtonopeuden nosto merkittävästi (10 - 20 kertaiseksi) - Yhteensopivuus ALVI-järjestelmään
Liikkuvan tilaajan solmu	- Ei käytössä - (Taistelijan PC:n esiversio)	- Taistelijan päätteen kehittäminen - Ohjelmistot taistelijan päätteeseen
Komentopaikkasolmu	- YVI tai MPS keskus	- Komentopaikkaympäristöjen kehittäminen, yhteensopivuus.
Esikuntasolmu	- YVI tai MPS keskus	- Esikuntaympäristöjen edelleen kehittäminen, yhteensopivuus
Solmu/keskusteknologia	- YVI ja MPS	- IP-pohjaisen solmun hankkiminen. Eri versio esikuntaan, komentopaikalle sekä ohjelmallinen solmu liikkuvalla tilaajalla
Ohjaus- ja valvontajärjestelmä	- YVI:n ohjaus- ja valvonta - Lukuisia erillisiä järjestelmiä	- Kattavamman ohjaus- ja valvontajärjestelmän hankkiminen

### **TAULUKKO 18: Operatiivisten joukkojen johtamisjärjestelmän kehittämistarve**

#### 8.1.2. Alueellisten joukkojen tiedonsiirtojärjestelmän kehittämistarve

Operatiiviset joukot edustavat puolustusjärjestelmässä maavoimien paikallaan pysyvää ja alueita valvovaa voimavaraa. Ne muodostetaan pääosin jatkosijoitetusta reservistä sekä va-

rustetaan tehtävään soveltuvalla, mutta jo iäkkäämmällä varustuksella. Alueellisia joukkoja käytetään joukkotyypistä riippuen tehtävissä, joissa korostuvat kohteiden suojaaminen, paikallistuntemus, alueiden hallinta, rajoitetut vastahyökkäykset sekä sissitoiminta. Alueellisten joukkojen päätaistelulaji on puolustus. Keskeinen suorituskykyvaatimus alueellisille taisteleville joukoille on kyky joustavaan puolustustaisteluun. Alueellisten joukkojen johtamisjärjestelmä rakennetaan mahdollisimman suurelta osin yleisen viestintäverkon yhteyksiä hyödyntäen. Alueellisten joukkojen järjestelmää kehitettäessä siinä korostuvatkin siten:

- kyky puolustustaisteluun laajalla alueella sekä vastahyökkäyksiin siellä
- liikkuvuus oman alueen sisällä
- suoja (mukaan lukien elektroninen suoja)
- kehitettävien järjestelmien yhteensopivuus siviili-infrastruktuurin kanssa
- järjestelmien ja laitteistojen helppokäyttöisyys

Alueellisten joukkojen määrä on vähenemässä edelleen lähitulevaisuudessa. Tämä lisää näiden joukkojen liikkuvuuden kehittämistarvetta tulevaisuudessa, mikä on huomioitava myös tiedonsiirtojärjestelmien kehityksessä. Seuraavassa taulukossa on esitetty joukkojen tiedonsiirtojärjestelmä sekä sen kehittämistarve seuraavien 5-10 vuoden aikana.

<b>Tiedonsiirtojärjestelmän osa</b>	<b>Nykytilanne alueellisilla joukoilla</b>	<b>Kehittämistarve 5 - 10 v</b>
PAN (Henkilökohtaiset verkot)	- Ei käytetä (kaapeliyhteydet)	- Hyödyntäminen, mikäli taistelijan päätteen ohjelmistot saadaan myös alueellisten joukkojen käyttöön
LAN (Lähiverkot)	- Ei käytetä	- Ethernet-yhteyksien käyttöönotto - Langattoman tiedonsiirron käyttöönotto alle 1 km yhteysetäisyyksillä
LOS (Näköyhteyden verkot)	- Kenttäradiojärjestelmä A (analoginen) käytössä	- Joukkojen alueellisen liikkuvuuden lisääminen - Langaton tiedonsiirtokapasiteetti
BLOS (Pitkän kantaman verkot)	- HF-radioyhteydet käytössä	- HF-radioyhteyksien käytön kehittäminen etenkin tiedustelun tarpeisiin - Varautuminen muiden BLOS-järjestelmien käyttöön
Runkojärjestelmä	- YVI-siirtojärjestelmä käytössä (1 - 2 Mbit/s) vain osalla joukoista	- Runkojärjestelmien yhtenäistäminen ja yhteensopivuuden säilyttäminen operatiivisiin joukkoihin sekä ALVI-järjestelmään
Liikkuvan tilaajan solmu	- Ei käytössä	- COTS-pääte - Ohjelmistot taistelijan päätteeseen
Komentopaikkasolmu	- Ei käytössä	- Komentopaikkaympäristöjen kehittäminen COTS-laitteilla, yhteensopivuus.

Esikuntasolmu	- Ei käytössä	- Esikuntaympäristöjen kehittäminen COTS-laitteilla, yhteensopivuus
Solmu/keskusteknologia	- YVI	- IP-pohjaisen solmun hankkiminen keskeisimmille alueellisille joukoille. Eri versio esikuntaan, komentopaikalle sekä ohjelmallinen solmu liikkuvalla tilaajalle.
Ohjaus- ja valvontajärjestelmä	- YVI:n ohjaus- ja valvonta	- Järjestelmän mukaisen ohjaus- ja valvontajärjestelmän hankkiminen

### **TAULUKKO 19: Alueellisten joukkojen johtamisjärjestelmän kehittämistarve**

#### 8.1.3. Kansainvälisen toiminnan joukkojen tiedonsiirtojärjestelmän kehittämistarve

Maavoimat sijoittavat kansainväliseen toimintaan joukkoja kunkin hetken poliittisten päätösten mukaisesti. Tällä hetkellä nousevana trendinä on osallistuminen EU-taisteluosastoihin. Suomi on nykyisten sitoumustensa lisäksi osallistumassa ainakin vuonna 2011 Hollannin johtamaan taisteluosastoon. Tämän lisäksi Suomella on joukkoja merkittävässä määrin Kosovossa sekä Afganistanissa. Keskeisenä piirteenä Suomen osallistumisessa kansainväliseen toimintaan on ollut tehtävien ja joukkorakenteiden suuri vaihtelevuus. Näin ollen yksiselitteinen kansainvälisen toiminnan tiedonsiirtojärjestelmän määrittely ei ole mahdollista, vaan se on aina räätälöitävä sitä käyttävän joukon tarpeiden mukaiseksi. Kuitenkin tietyt periaatteet kansainväliselle toiminnalle voidaan määrittää. Kansainvälisen toiminnan joukkojen järjestelmää kehitettäessä siinä korostuvatkin seuraavat periaatteet:

- taajuushallinnan huomioiminen alusta saakka järjestelmää suunniteltaessa
- tiedonsiirtojärjestelmän riippumattomuus paikallisesta infrastruktuurista, mutta tarvittaessa/tilanteen salliessa tukeutuminen siihen
- järjestelmien NATO-standardien mukainen yhteensopivuus
- järjestelmien rakentaminen NATO-standardien mukaisesti
- vapaa liikkuvuus oman määritellyn vastuualueen sisällä
- useitten päällekkäisten varmentavien järjestelmien käyttö
- järjestelmien ja laitteistojen helppokäyttöisyys

Kansainvälisen toiminnan määrä ei ole vähenemässä lähitulevaisuudessa. Suomi on varautumassa yhä vaativampiin tehtäviin. Näin ollen taistelutehtäviin soveltuvan tiedonsiirtokaluston tarve tulee kasvamaan aikaisempaan verrattuna. Seuraavassa taulukossa on esitetty tämänhetkinen kansainvälisten joukkojen tiedonsiirtojärjestelmä sekä sen kehittämistarve seuraavien 5-10 vuoden aikana.

<b>Tiedonsiirtojärjestelmän osa</b>	<b>Nykytilanne kv. joukoilla</b>	<b>Kehittämistarve 5 - 10 v</b>
PAN (Henkilökohtaiset verkot)	- Ei käytetä (pl. matkapuhelinten HF-laitteistot)	- Hyödyntämisen aloittaminen taistelijan lisälaitteiden kytkennässä
LAN (Lähiverkot)	- Ethernet laajassa käytössä kiinteissä asennuksissa - Wi-Fi (WLAN) laitteistoja laajalti käytössä internet yhteyksien toteuttamisessa	- Wi-Fi -järjestelmien hyödyntäminen operatiivisessa käytössä - Ryhmä/joukkueradion käyttöönotto - WiMAX-järjestelmien käyttöönotto
LOS (Näköyhteyden verkot)	- Kenttäradiojärjestelmä D (digitaalinen) käytössä - TETRA radiojärjestelmä käytössä - Matkapuhelimia käytössä tarpeitten mukaisesti	- Joukkojen liikkuvuuden lisääminen - Tiedonsiirtokapasiteetin oleellinen nosto taktisilla yhteyksillä - TETRA-datansiirtoyhteyksien hyödyntäminen
BLOS (Pitkän kantaman verkot)	- HF-radioyhteydet käytössä tarvittaessa - Satelliittipuhelimia käytössä (inmarsat) - Satelliittirunkoyhteydet käytössä - RBGAN-laitteistoja käytössä	- Joukkojen liikkuvuuden lisääminen - HF-radiojärjestelmän kehittäminen - Tiedonsiirtokapasiteettien nosto - Tietoturvaratkaisujen kehittäminen internetin päällä toimiville kaupallisille järjestelmille
Runkojärjestelmä	- Ericsson Minlink PDH-järjestelmä käytössä (4*2Mbit/s, 8*2Mbit/s)	- Runkojärjestelmän tiedonsiirtonopeuden nosto (5 - 10 kertaiseksi) - Yhteensopivuus ALVI-järjestelmään
Liikkuvan tilaajan solmu	- Ei käytössä	- Taistelijan pääteen kehittäminen - Ohjelmistot taistelijan päätteeseen
Komentopaikkasolmu	- Liityntälaite käytössä	- Liikkuvien komentopaikkaympäristöjen kehittäminen - Yhteensopivuus
Esikuntasolmu	- Liityntälaite käytössä	- Esikuntaympäristöjen kehittäminen - Yhteensopivuus
Solmu/keskusteknologia	- Ericsson MD110-keskus - Liityntälaite - Tellabs Node (käytössä Kosovossa) - EADS DXTip (TETRA-keskus)	- Luopuminen perinteisestä keskus/vaihdetekniikasta - IP-pohjaisen solmun/keskuksen hankkiminen. Eri versio esikuntaan, komentopaikalle sekä ohjelmallinen solmu liikkuvalla tilaajalle
Ohjaus- ja valvontajärjestelmä	Useita valvontajärjestelmiä - Järjestelmäkohtaiset ohjaus- ja valvontajärjestelmät - IP-pohjaisia valvontajärjestelmiä (SNMP-yhteensopivat laitteet) - Tietojärjestelmien valvontajärjestelmiä - tilavalvontajärjestelmät	- Ohjaus- ja valvontajärjestelmien määrän vähentäminen (yhteensopivuuden lisääminen)

**TAULUKKO 20: Kansainvälisen toiminnan joukkojen johtamisjärjestelmän kehittämistarve**

#### 8.1.4. Yhteenveto kehittämistarpeista

Taulukoista voidaan havaita selkeitä yhtäläisyyksiä eri joukkojen järjestelmien kehittämistarpeissa. Suuri osa kehittämistarpeista liittyy seuraaviin teemoihin:

- liikkuvuuden lisääminen (eri tasot)
- tiedonsiirtokapasiteettien kasvattaminen
- yhteensopivuuden kehittäminen
- järjestelmien peittoalueiden ja kattavuuden kehittäminen

Nämä kehitysalueet ovat keskeisiä verkostokeskeisyyden osalta. Ne sopivat erittäin hyvin yhteen myös NGN-ajattelun kanssa. Tässä yhteydessä ei oteta kantaa tiedonsiirtojärjestelmän päälle toteutettaviin palveluihin sekä sovelluksiin.

#### 8.2. Tiedonsiirtojärjestelmien kehittäminen.

Edellisessä luvussa käsiteltiin eri joukkotyyppien tiedonsiirtojärjestelmän kehitystarpeet. Ne ovat kaikilla joukkotyypeillä hyvin samantyyppisiä ja erot johtuvat lähinnä joukkojen erilaisista tehtävistä. Kehittämisen kannalta samankaltaisista tarpeista voidaan kuitenkin tehdä se johtopäätös, että järjestelmiä on voitava kehittää yhdessä järjestelmäkehitysympäristössä. Vain siten voidaan taata järjestelmien todellinen yhteensopivuus. Vastavuoroisesti yhtenäisen kehitysympäristö pakottaa järjestelmät automaattisesti yhteensopiviksi. Näin päästään eroon useiden erilaisten järjestelmien käytön sekä erillisen kehitystyön resursseja kuluttavasta vaikutuksesta.

Edellisen johtopäätöksen perusteella kaikkien eri joukkotyyppien kehitystarpeet koottiin yhdeksi kokonaisuudeksi. Seuraavassa taulukossa on esitettyä esimerkkiratkaisut kaikille tiedonsiirtojärjestelmän osille. Näitä esimerkkiratkaisuja voidaan edelleen hyödyntää eri joukkotyypeillä niiden tehtävien aiheuttamien tarpeiden mukaisesti.

Tiedonsiirtojärjestelmän osa	Peruste / tavoitetilä	Tavoitteen saavuttamiseksi käytettävä tekniikka (esimerkki)
PAN (Henkilökohtaiset verkot)	- Rikkoontumisaltiuden vähentäminen - Laitteiden painon laskeminen	- Langaton tiedonsiirtolaitteiden kytkentä taistelijalle

LAN (Lähiverkot)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Langallisten lähiverkkojen nopeuden nosto</li> <li>- Langattomien verkkojen kapasiteettien kasvattaminen</li> <li>- Peittoalueitten lisääminen</li> <li>- Taistelukentälle sopiva reititys</li> <li>- Johtamisen tehostaminen lähietäisyyksillä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ethernet 100/1000 Mbit/s</li> <li>- IEEE 802.11n/s käyttöön</li> <li>- IEEE 802.16e/l käyttöön</li> <li>- Ad hoc -reititys em. verkoissa</li> <li>- Ryhmä/joukkueradiojärjestelmän hankkiminen (500-700m kantama)</li> </ul>
LOS (Näköyhteyden verkot)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Palveluiden kehittäminen</li> <li>- Järjestelmävaihtoehtojen lisääminen</li> <li>- Datansiirtokyvyn kehittäminen MAN- / RAN-alueella. Uuden teknologian tuomien ratkaisujen käyttö.</li> <li>- Soveltuvuus kansainväliseen toimintaan sekä osittain alueellisten joukkojen käyttöön</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VIRVE (TETRA)-järjestelmän käytön kehittäminen (datapalvelut käyttöön laajasti)</li> <li>- FlashOFDM (@450) käyttöönotto</li> <li>- Ohjelmistoradio (ESSOR tms.) älykkäällä/puoliälykkäällä antennilla ja ad hoc -reitityksellä</li> <li>- 3G+ matkapuhelinteknologioiden hyödyntäminen</li> </ul>
BLOS (Pitkän kantaman verkot)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pitkien suurempikapasiteettisten yhteyksien toteuttamisen mahdollistaminen</li> <li>- Järjestelmäliikkuvuuden kasvattaminen</li> <li>- Joukkojen taktisen käytön vapauden kasvattaminen sekä käyttö ulkomaantehtävissä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HF-radiojärjestelmän kehittäminen</li> <li>- Lennokkisolmun kehittäminen osana ohjelmistoradioprojektia</li> <li>- Satelliittipalveluiden hankkiminen (kaupallisia) <ul style="list-style-type: none"> <li>- RBGAN/vast., VSAT/vast., jne.</li> </ul> </li> </ul>
Runkojärjestelmä	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lisääntynyt tiedonsiirtotarve</li> <li>- Keskeisten yhteysvälien toteuttaminen</li> <li>- Yhteensopivuus iTVJ-järjestelmän kanssa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Runkojärjestelmän tiedonsiirtonopeuden nosto merkittävästi (10 - 20 kertaiseksi) esimerkiksi mikroaaltolinkkijärjestelmällä</li> <li>- Yhteensopivuus ALVI-järjestelmään</li> </ul>
Liikkuvan tilaajan solmu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkottumisen ulottaminen taistelijaan saakka</li> <li>- Taistelijoiden solmuverkon luominen ad hoc reitityksen avulla</li> <li>- Mahdollistaa COTS-päätteiden käytön myös taistelijalla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taistelijan päätteen kehittäminen (eri versioita)</li> <li>- Langattomien yhteyksien (esim. Wi-Fi, WiMAX) integrointi päätteeseen</li> <li>- Solmuohjelmistojen kehitys</li> </ul>
Komentopaikkasolmu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komento- johtamispaikkojen yhteensopivuuden ja suorituskyvyn kasvattaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komentopaikkasolmun kehittäminen (esimerkiksi liityntälaitteen miniversion seuraaja)</li> </ul>
Esikuntasolmu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solmulaitteistojen yhtenäistäminen ja kehittäminen</li> <li>- Puhelupalveluiden toteuttaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esikuntasolmun kehittäminen (esimerkiksi liityntälaitteen seuraaja)</li> <li>- IP-pohjainen puhelinjärjestelmän solmussa</li> </ul>
Solmu/keskusteknologia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siirtyminen iTVJ:n määrittämään solmuteknologiaan (IP-pohjainen tiedonsiirto).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IP-pohjainen moniprotokollareititin, johon voidaan liittää, tai sisäisesti integroida eri tiedonsiirtoyhteyksien laitteita. Toimii reitittimenä, IP-keskuksena sekä sisältää edistykselliset tietoturvaominaisuudet.</li> </ul>
Ohjaus- ja valvontajärjestelmä	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Koko järjestelmän ohjaus- ja valvontakyky</li> <li>- Ohjauksen ja valvonnan yksinkertaistaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solmuteknologiaan liittyvän ohjaus- ja valvontajärjestelmän hankkiminen</li> <li>- Erillisten tiedonsiirto- ja radiojärjestelmien ohjauksen ja valvonnan integrointi</li> </ul>

**TAULUKKO 21: Esimerkki maavoimien tiedonsiirtojärjestelmien toteuttamisesta**

### 8.3. Tiedonsiirtojärjestelmän riskianalyysi, heikkoudet ja vahvuudet

Tässä luvussa ei käsitelty yksityiskohtaisesti uusien järjestelmien tuomista nykyisiin järjestelmäympäristöihin. Etenkin operatiivisten joukkojen johtamispaikka-ajoneuvot ovat erittäin haasteellisia asennusympäristöjä, joihin voi olla lähes mahdotonta asentaa yhtään lisälaitetta.

Sama koskee antenniratkaisuja sekä sähkönsyöttöjä. Näin ollen jokainen vaativampi järjestelmän laitteiden vaihto on suunniteltava erittäin tarkasti, ja lisäksi asennustöiden hinta saattaa nousta erittäin suureksi. Täten asennusympäristöjen soveltuvuus uusille laitteistoille voidaan luokitella erittäin vakavaksi riskiksi tulevaisuuden kehitystyössä. Tämä riski voidaan välttää tarkalla suunnittelulla ja asennusympäristöön soveltuvien laitteiden käytöllä.

Uuden teknologian kehittymiseen liittyy aina riskejä. On täysin mahdollista, ettei edellä olevassa taulukossa esitetyistä kehitystavoitteista täyty kuin murto-osa. Siihen saattaa vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi rahoitus. Muun muassa ohjelmistoradion kehittäminen sisältää edelleen suuria teknologiariskejä, kuten Yhdysvaltain ongelmat JTRS-hankkeen kanssa osoittavat. Yhdysvaltain puolustusministeriö DoD arvioi edelleen tällä hetkellä JTRS-hankkeen sisältävän keskimääräisen riskin [82]. Käynnistymässä olevan eurooppalaisen ESSOR-hankkeen voidaan arvioida myös sisältävän samantasoisien riskin. Yleisesti ottaen taulukossa 20 esitetyt tekniset kehitystavoitteet on kuitenkin tämän hetken arvioiden mukaan saavutettavissa seuraavan kymmenen vuoden aikana.

Esitetyn järjestelmärakenteen selkeänä vahvuutena voidaan pitää sen perustumista suurelta osalta edulliseen COTS-teknologiaan. Tämä mahdollistaa järjestelmien aiempaa laajemman hankinnan sekä käytön. Laajemmat hankinnat hyödyttävät erityisesti alueellisten joukkojen varustamista. Järjestelmä on pyritty rakentamaan toistensa päälle limittyvistä järjestelmistä, jolloin yksittäisen järjestelmän toimimattomuus ei vaikuta kokonaisuuden toimintaan kovinkaan paljon. Edelleen vahvuutena voidaan nähdä IP-pohjaisen tiedonsiirtoalustan yhtenäisyys, joka parhaimmillaan näyttäytyy järjestelmien yhteensopivuutena. Tämä ei kuitenkaan takaa automaattisesti kansainvälistä yhteensopivuutta, vaan sen saavuttaminen vaatii esimerkiksi NATO:n standardit täyttäviä laitteistoja sekä yhteensopivuustestausta.

Esitetyn järjestelmärakenteen heikkoudet liittyvät erityisesti kaupallisen teknologian perusominaisuuksiin. COTS-pohjaisten laitteistojen häirinnänsieto ja signaalien havaittavuus eivät ole perinteisen taistelukentän olosuhteisiin parhaita mahdollisia. Sen sijaan laitteistojen sääolosuhteiden kesto saadaan nostettua koteloinnilla sekä olosuhdevaatimusten kautta riittävän korkealle tasolle. COTS-teknologioihin liittyvä selkeä heikkous on niiden lyhyt elinkaari. Sen johdosta laitteiden massamainen hankkiminen ei ole kannattavaa. Hankinnoissa tulisikin keskittyä erityisesti hankintavalmiuksien luomiseen. Ongelmana voidaan nähdä myös useiden esitettyjen tekniikoiden vaatima kiinteä järjestelmäinfrastruktuuri sekä järjestelmien tukiasemakeskeisyys. Tämä seikka onkin huomioitava erityisesti suunniteltaessa kunkin järjestelmän käyttöä eri joukkotyypeillä.



Tässä luvussa esitetty sovellus laaditusta maavoimien tiedonsiirtoarkkitehtuurista vaikuttaa kuitenkin soveltuvan varsin hyvin maavoimien käyttöön. Riittävän avoimena se mahdollistaa tekniseen kehitykseen sopeutumisen. Vaikka esitetty sovellus arkkitehtuurin käytöstä on varsin maltillinen, mahdollistaa arkkitehtuuri myös merkittävästi radikaalimpien ratkaisujen käytön. Myös nykyinen joukkorakenne sekä maavoimien tehtävät tukevat arkkitehtuurirakennetta.

## 9. TUTKIMUKSEN TULOKSET

### 9.1. Johdanto ja tutkimuskysymykset

Tämä tutkimus on ensimmäinen tulevaisuuden maavoimakokonaisuuden tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuria analysoiva työ. Maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän eriyttäminen iTVJ-järjestelmästä on johtanut tämän tarpeen muodostumiseen, sillä aikaisemmin nämä järjestelmät ovat olleet käytännössä yhtenäinen kokonaisuus. Johtamisjärjestelmäkeskuksen (JJK) muodostaminen hallinnoimaan kiinteitä verkkoja jätti maavoimille käyttöön vain sen nykyiset kenttäviestijärjestelmät. On toki selvää, että iTVJ järjestelmän runkoa hallinnoiva JJK tukee maavoimia sen tehtävien mukaisesti, mutta sen suorituskyky ei riitä liikkuvien yhtymien liittämiseen kaikissa tilanteissa. Näin ollen maavoimien omassa järjestelmässä on oltava suorituskykyä sen joukkojen liittämiseen omalla tiedonsiirtojärjestelmällä osaksi johtamisjärjestelmää.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin sodan kuvan, verkostokeskeisyyden sekä yleisen sotilaallisen ja yleisen tiedonsiirtojärjestelmien kehityksen vaikutukset maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän rakenteelle. Sotilaallisten tiedonsiirtojärjestelmien rakennetta tarkasteltiin erityisesti Yhdysvalloissa, sillä se toimii alan teknologian edelläkävijänä sekä verkostokeskeisyyden teorioiden lähteenä ja keskeisimpänä toteuttajana. Yhdysvaltojen tarkastelu tarjoaa siis erittäin hyvän näkökulman verkostokeskeisen tiedonsiirtojärjestelmän kehittämisen vaatimuksiin ja toteutuksen haasteisiin.

Tämän tutkimuksen tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

- Mitä vaatimuksia verkostokeskeisyyden paradigma ja suomalainen sodan kuva aiheuttavat tulevaisuuden tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuurin toteuttamiselle?
- Millainen on tulevaisuuden maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri?
- Miten maavoimien tiedonsiirtojärjestelmä voidaan toteuttaa määritellyn järjestelmä-arkkitehtuurin pohjalta?

Näiden lisäksi tutkimuksessa oli vastattava myös keskeisiin apukysymyksiin. Niitä käytettiin erityisesti arkkitehtuurin perusteiden ja rakenteen määrittämiseen. Keskeisimmät apukysymykset olivat:

- Miten sotilaalliset tiedonsiirtojärjestelmät ovat yleisesti kehittyneet kylmän sodan jälkeisenä aikana?

- Miten käytössä olleet tiedonsiirtojärjestelmät ovat kehittyneet kylmän sodan jälkeen Yhdysvaltain ja Suomen maavoimissa?
- Miten kaupalliset tiedonsiirtojärjestelmät ja -tekniikat tulevat kehittymään seuraavien 5-10 vuoden aikana?

Näitä tutkimuskysymyksiä ja apukysymyksiä tarkasteltiin tutkimuksen seitsemässä pääluvussa. Keskeisin tutkimustulos on tutkimuksen seitsemännessä luvussa esitelty tulevaisuuden maavoimille soveltuva tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri sekä kahdeksannessa luvussa esitelty esimerkki sen käytännön yltäosan toteutuksesta. Tutkimuksen Yhdysvaltain maavoimien tiedonsiirtojärjestelmiä koskevat osat toimivat myös itsenäisesti omana kokonaisuutena aiheesta lisätietoa kaipaavalle. Seuraavissa alaluvuissa on esitettyä tämän tutkimuksen keskeiset tulokset ja johtopäätökset.

## 9.2. Informaatioyhteiskunnan sodan kuva ja teoriat

Länsimaisten asevoimien käytön suunnittelun lähtökohtana ei enää yksiselitteisesti ole valtioiden tai valtioliittojen välinen sotilaallinen konflikti. Tämän rinnalle on noussut eivaltioillisten toimijoiden muodostamat välittömät (terrorismi) ja välilliset uhkat (yksityisten tai heimoarmeijoiden terrori). Samalla laajamittaisen sodan uhka on pääosin korvautunut alueellisella kriisillä. Sodan mittasuhteet ja muodot ovat siis oleellisesti muuttuneet.

Tällä hetkellä Suomen puolustusjärjestelmän osaksi hankittavat järjestelmät suunnitellaan ensisijaisesti kotimaan puolustuksen tarpeisiin. Samoilla järjestelmillä on kuitenkin kyettävä toteuttamaan kaikki puolustukselle käsketyt tehtävät. Suomalaista puolustusjärjestelmää valmistaudutaankin käyttämään alueellisessa-, YETT-, kriisinhallinta- ja informaatio sodassa. Nämä sodan kuvat muodostavat mahdollisen toimintaympäristön sotilaallisille tiedonsiirtojärjestelmille. Informaatio sodankäynti nähdään jatkuvana toimintana, joka tukee kokonaisuorisuorituskykyä kaikissa tilanteissa. Informaatio sodankäynnin ympäristöksi puolustusvoimiin ollaan kehittämässä verkostoituneen sodankäynnin kykyjä sekä ympäristöä, joita voidaan käyttää kaikissa sotilaallisen voimankäytön tilanteissa.

Verkostokeskeisen sodankäynnin teoria korosti alun perin teknologiaa sekä uutta ajattelutapaa uuden informaatioajan sodankäynnin keskeisinä tekijöinä. Tämän yksinkertaistus on kohdistanut teoriaan merkittävää kritiikkiä, jonka vaikutuksesta siitä on kehittynyt joukko vaikutus- ja verkostokeskeisiä teorioita. Teorioiden ydin on verkostoitumisen merkityksessä,

mutta muissa seikoissa niissä on hyvinkin erilaisia korostuksia. Esimerkiksi yhdysvaltalaisessa teoriassa on viime aikoina korostettu uutta ajattelutapaa johtamisessa ja suunnittelussa.

Verkostoitumisen keskeinen sisältö on luoda uuden informaatioteknologian avulla järjestelmä, joka kykenee liittämään kaikki taistelukentän sensorit sekä asejärjestelmät käyttäjiineen toisiinsa. Tämän lisäksi operaatioiden suunnittelu ja johtaminen vaativat tietovarastojen kytkeä osaksi verkostoa siten, että sen tietosisältö on kaikkien saatavilla. Tämä tavoite asettaa erittäin suuren vaatimuksen tiedonsiirtojärjestelmien kyvyille välittää verkoston liikennettä luotettavasti läpi koko taistelukentän. Seuraavassa taulukossa on tiivistettynä sodan kuvan ja verkostokeskeisyyden vaikutukset tiedonsiirtojärjestelmien suunnittelulle.

<b>Tekijä</b>	<b>Tulevaisuuden arkkitehtuurin vaatimus</b>
<i>Sotilaallisen voiman organisaatiomalli</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matala, ainakin osittain hierarkinen</li> <li>- Modulaarinen</li> <li>- Massan painopiste vaikuttamisen joukoissa</li> <li>- Tukijoukkojen määrän optimointi</li> </ul>
<i>Keskeiset tuettavat prosessit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Johtaminen ja suunnittelu</li> <li>- Vaikuttaminen</li> </ul>
<i>Tuettavat järjestelmät</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ”Järjestelmien järjestelmä” -ajattelu</li> <li>- Kaikkien taistelukentän toimijoiden ja toimintojen verkottaminen</li> </ul>
<i>Sovellettavat johtamismallit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keskitetty suunnittelu, hajautettu toteutus</li> <li>- Kollaboratiivinen johtaminen</li> </ul>
<i>Johtamisen ja suunnittelun kriittiset tekijät</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yhteiset tietovarastot ja tietokannat</li> <li>- Verkottuminen</li> <li>- Yhteydessisyys</li> </ul>
<i>Yhteisen tilanneymmärryksen kriittiset tekijät</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tilannetiedon paikkansa pitävyys (tietoturva)</li> <li>- Palvelunlaatu (viiveettömyys, pääsy tietoon käsiksi)</li> <li>- ”Täsmätieto”</li> </ul>
<i>Verkottumisen kriittiset tekijät</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Robustinen verkosto</li> <li>- Yhteensopivuus</li> </ul>
<i>Yhteydessisyyden kriittiset tekijät</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Liikkuvuus (riippumattomuus infrastruktuurista)</li> <li>- Rajapintojen läpinäkyvyys</li> <li>- Tietoturvan painopiste tiedon käytettävyydessä</li> <li>- Palvelunlaatu</li> </ul>

**TAULUKKO 22: Verkostokeskeisen tiedonsiirtoarkkitehtuurin vaatimuksia**

### 9.3. Tiedonsiirtojärjestelmien kehitys kylmän sodan jälkeisenä aikana

Kylmän sodan aikainen taistelunkentän kuva vaikuttaa yhä merkittävästi kaikkien länsimaisen asevoimien kehitykseen. Tuohon taistelunkentän kuvaan kehitetyt järjestelmät ovat edelleen useiden armeijojen peruskalustoa. Siirtyminen tuon ajan massiivisista organisaatioista kohti pienempiä ja tehokkaampia yksiköitä on ollut hidasta. Käytännössä vasta 2000-luvulla ovat uudet ajatukset sekä havainnot viimeaikaisista konflikteista alkaneet tuottaa näkyviä

muutoksia armeijojen organisointiin, niiden kaluston kehittämiseen sekä niiden toimintatapoihin. Tämä kaikki voidaan edelleen nähdä myös tietoliikennejärjestelmien kehityksessä.

Sotilaallisten järjestelmien suunnitteluun vaikuttaa keskeisesti niiden operatiivinen käyttöikä, mikä on tyypillisesti noin 30 vuotta. Vaikka siis sodan kuva ja vaatimukset muuttuisivatkin nopealla rytmillä, välineet pysyvät lähes samanlaisina. Näin ollen koko järjestelmän yhtäkkiäinen muutos ei välttämättä ole edes mahdollinen. Lähihistoriasta periytyviä keskeisiä tekijöitä, jotka vaikuttavat nykyisten tiedonsiirtojärjestelmien kehittämiseen, ovat:

- analogiset ja käsivälitteiset televerkot
- salatut ja hajaspektritekniikkaan perustuvat kenttäradiot johtamisen tarpeisiin
- digitaaliset alueelliset kenttäteleverkot
- yhteensopivuuden haasteet puolustushaarojen välillä sekä kansainvälisesti (NATO)
- tietokoneistuminen sekä tietojärjestelmien leviäminen yhä laajempaan käyttöön
- vaatimus kustannustehokkuudesta ja pitkästä järjestelmien käyttöiästä
- kaupallisen tiedonsiirtovälineistön (COTS) hyödyntämisen tarve
- internet esimerkkinä verkottumisesta

Tulevaisuuden vaikutuskeskeisen ympäristön keskeisimpinä haasteina voidaan edelleen nähdä kollaboraatiota tukevat johtamisjärjestelmät, yhteistoiminta yli organisaatorajojen sekä tiedonsiirtojärjestelmien integroiminen ubiikiksi kokonaisuudeksi.

#### 9.4. Tiedonsiirtojärjestelmien kehitys Yhdysvaltain maavoimissa

Yhdysvaltain maavoimilla tällä hetkellä käytössä olevien taktisten tiedonsiirtojärjestelmien merkittävin taustavaikuttaja on 1990-luvulla maavoimien digitalisointihankkeen myötä kehitetty Taktinen Internet. Sen toimintaperiaate ja järjestelmät luotiin ennen verkostokeskeisen sodankäynnin tuleamista, mutta ne muodostavat pohjan verkostokeskeisyyden toteuttamiselle myös tänä päivänä. Esimerkiksi Stryker-prikaatin tiedonsiirtojärjestelmä on suurelta osalta rakennettu päivitetyn Taktisen Internetin pohjalle. Stryker-prikaati on rakennettu verkostokeskeisen teorian periaatteiden mukaisesti käyttäen olemassa olevaa tiedonsiirtokalustoa sekä satelliittijärjestelmiä mahdollisimman tehokkaaseen verkostoitumiseen. Tämä mahdollistaa prikaatin nopean keskittämisen, hajautetun käytön ja tarvittavan keskitetyn vaikuttamisen. Kehitettävää verkostokeskeisyyden kannalta on etenkin järjestelmien integraatioasteessa. Stryker-prikaatin tiedonsiirtojärjestelmä on parasta, mitä tällä hetkellä on kyetty rakentamaan, vaikka se verkostokeskeisen sodankäynnin kannalta nähdäänkin välivaiheen järjestelmä.

JNN-N -järjestelmän verkkorakenne perustuu kaupallisten ja sotilaallisten satelliittijärjestelmien yhteyksiin, joita täydennetään tarvittavilla maayhteyksillä. Järjestelmä on tarkoitettu sotatoimialueen (Irak) ja divisioonien järjestelmäksi, ja tällä hetkellä pääosa maavoimien kymmenestä divisioonasta on varustettu sillä. Se ei pidä sisällään taktisten yhteyksien toteuttamisen kalustoa, vaan joukon omaa liikkuvaa viestijärjestelmää (Taktinen Internet) käytetään toiminnan aikaiseen välittömään johtamiseen. Sen sijaan suunnittelu ja tiedustelutietojen käsittely kyetään toteuttamaan siirreltävän esikuntajärjestelmän, kiinteiden esikuntajärjestelmien ja JNN-N:n muodostamassa ympäristössä. Järjestelmä perustuu lähes kokonaan COTS-laitteistoihin, jotka on sijoitettu kontteihin ja laitesuojiiin. Perusrakenteeltaan se on siis yksinkertainen, kapasiteetiltaan riittävä ja kokemusten mukaan luotettava. Se ei kuitenkaan ole maavoimien kokonaisjärjestelmä, jollaista tavoitellaan erityisesti WIN-T -hankkeella.

JTRS on maailmanlaajuisesti tämän hetken merkittävin radiohanke. JTRS-radio on puhdas ohjelmistoradio (SDR), joka on toteutettu SCA-arkkitehtuurin pohjalta. Hanke perustuukin suurelta osin avoimiin standardeihin, millä on pyritty hakemaan ratkaisua erityisesti järjestelmän tuleviin kustannuksiin. Hanke on tämän hetken suunnitelmien mukaan tuottamassa 12 erityyppistä radiota. SCA-arkkitehtuurin kaupallinen menestys on tärkeää JTRS:n tulevalle kehitykselle. Täten esimerkiksi eurooppalaisen ESSOR-ohjelmistoradioprojektiin liittyminen SCA-arkkitehtuuriin tulee olemaan erittäin tärkeää. JTRS ei tule mullistamaan taistelukentän tiedonsiirtoa ja ratkaisemaan siihen liittyviä ongelmia. Sen suorituskyky on jäämässä vain jonkin verran nykyisiä järjestelmiä korkeammaksi. Myös reitityksen kehittäminen järjestelmään on osoittautunut niin haastavaksi, että ominaisuus tulee vain osaan radiotyypeistä. Tästä huolimatta JTRS tulee käyttöönottonsa myötä parantamaan verkottumisen mahdollisuuksia ja yhteensopivuutta käyttäjien kesken. Erityisen merkittävää maavoimien kannalta on JTRS GMR-radion asema uuden Taktisen Internetin keskeisimpänä tuotteena.

WIN-T -järjestelmä tulee olemaan maavoimien ensimmäinen todellinen verkostokeskeistä sodankäyntiä tukeva tiedonsiirtojärjestelmä. Yhdessä JTRS-järjestelmän kanssa se muodostaa LandWarNet:n, mikä on maavoimien osuus koko asevoimien maailmanlaajuisesta GIG-verkosta. WIN-T:n rinnalla nopeasti kehitetty JNN-N -järjestelmä nähtiin aluksi sen kilpailijoina, mutta tällä hetkellä nämä kehitysprojektit on onnistuttu yhdistämään. Tämän hetken suunnitelmien mukaisesti uudesta maavoimien järjestelmästä on tulossa verkostoitunut kokonaisuus, joka on toteutettu järjestelmien järjestelmä -periaatteella (system-of-systems).

WIN-T -järjestelmän arkkitehtuuri on selkeästi erilainen kuin aikaisempien järjestelmien. Arkkitehtuuri on kerroksellinen (maa, ilma ja avaruus) ja kukin kerros koostuu sille tyypillisistä järjestelmistä ominaisuuksineen. Järjestelmän rakennetta ei ole lyöty lukkoon, vaan joukoilla on valmiutensa mukaisesti käytössä tietty tietoliikenteen suorituskykypaketti, josta otetaan tarvittavat elementit operaatioon. Tämä on mahdollista erityisesti yhteisen teknologia-alustan eli IP-protokollan laajan käytön ansiosta. Se mahdollistaa kerroksien ja niiden elementtien joustavan käytön sekä teknologisen kehityksen ilmenevien mahdollisuuksien hyödyntämisen. Täten esimerkiksi kaupallinen kehitys kyetään hyödyntämään nopeasti ja tehokkaasti.

<b>Tekijä</b>	<b>(JNN-N) WIN-T ja JTRS arkkitehtuuri</b>
<i>Sotilaallisen voiman organisaatiomalli</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suhteellisen matala, (osittain) hierarkinen</li> <li>- Modulaarinen joukkorakenne</li> <li>- Massan painopiste vaikuttamisen joukoissa</li> <li>- Sotilaallisten tukijoukkojen määrän optimointi, tuki kaupallisilta yrityksiltä</li> </ul>
<i>Keskeiset tuettavat prosessit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Johtaminen ja suunnittelu</li> <li>- Vaikuttaminen</li> </ul>
<i>Tuettavat järjestelmät</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Järjestelmien järjestelmä -ajattelu</li> <li>- Kaikkien taisteluketän toimijoiden ja toimintojen verkottaminen</li> </ul>
<i>LandWarNet:n keskeiset piirteet</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kaupallisten järjestelmien runsas hyödyntäminen</li> <li>- Modulaarisuus (joustavuus) toteutustavan osalta</li> </ul>
<i>Järjestelmien keskeiset elementit (JNN-N ja WIN-T)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kerroksellisuus (maa, ilma ja avaruus)</li> <li>- Paikalliset palvelut ja palveluinfrastruktuurit</li> <li>- Verkko-operaatioiden tuki</li> <li>- Yhteensopivuus</li> </ul>
<i>Järjestelmän keskeiset elementit (JTRS)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SDR-arkkitehtuurin noudattaminen</li> <li>- Yhteensopivuus</li> <li>- Riippumattomuus maanpäällisestä infrastruktuurista</li> <li>- Robustisuus</li> </ul>

**TAULUKKO 23: LandWarNet-arkkitehtuurin keskeiset ominaisuudet**

Yllä olevaan taulukkoon on kerätty keskeisiä piirteitä LandWarNet:n arkkitehtuurista. Sen mahdollistavissa tekniikoissa on suomalaisen kehityksen kannalta merkityksellistä etenkin kaupallisen tekniikan ja avointen standardien voimakas esiinmarssi. Uusien järjestelmien on silti edelleen täytettävä sotilaalliselle tiedonsiirtojärjestelmälle esitettävät perusvaatimukset. Niiden on siis oltava robustisesti rakennettuja ja siten selviytymiskykyisiä jopa laajamittaisessa taistelussa. Tämän saavuttamiseksi Yhdysvaltain käyttämä kehityspolku on ollut kaupallisten järjestelmien ominaisuuksien muokkaaminen sotilaalliseen käyttöön sopiviksi. Näin on saavutettu kustannustehokkaita ja suorituskykyisiä ratkaisuja. Kokonaisuutena Yhdysvaltain kehitys on erityisesti järjestelmien perusrakenteen ja liikkuvuuteen sekä taktiseen tiedonsiirtoon (Taktinen Internet) liittyviltä osin sovellettavissa Suomeen.

## 9.5. Tiedonsiirtojärjestelmien kehitys Suomen maavoimissa

Maavoimien operatiivisten joukkojen viestijärjestelminä ovat viimeisen vuosikymmenen aikana toimineet erityyppiset YVI-järjestelmät. Niitä on kehitetty hitaasti, minkä vuoksi ne ovat vähitellen vanhentuneet etenkin keskusten ja datansiirto-ominaisuuksien osalta. Järjestelmiä täydennettiin 2000-luvun alussa digitaalisella kenttäradiojärjestelmällä sekä uusilla esikuntaympäristöillä. Nämä uudistukset eivät kuitenkaan riittäviä, vaan järjestelmät vaativat kehitystyötä täyttääkseen verkostokeskeisyyden vaatimukset. Järjestelmän perusrakenne on organisatorisesti riittävän matala, mutta käytettävyydeltään liian jäykkä. Myös joukkojen organisaatiot ovat varsin raskaita, sillä varsinaisia järjestelmien ylläpitoon sitoutuvia viestijoukkoja on melko paljon. Keskeinen ongelma on myös järjestelmän sitoutuminen alueeseen ja sen yhteyksien toteuttamisen rajalliset mahdollisuudet (kaapeli- tai radiolinkkiyhteys). Esikuntapanssarivaunujen uudet ominaisuudet mahdollistavat johtamisen hajauttamisen, mutta tiedonsiirtojärjestelmän osalta se ei vielä ole mahdollista.

Jääkäriprikaatin viestijärjestelmän lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin kahta kansainvälisen toiminnan viestijärjestelmää. Näistä MNB(C):n viestijärjestelmä Kosovossa oli rakentamisaikoihin vuonna 2003 täysin uuden tyyppinen ja edistyksellinen toteutus. Järjestelmä perustui täysin COTS-laitteistoihin ja oli erittäin toimintavarma sekä rakenteeltaan yksinkertainen. Yksinkertainen järjestelmärakenne mahdollisti kevyen ylläpito-organisaation. Toisaalta järjestelmien tekninen monimutkaisuus vaati teknistä asiantuntijuutta. Toiminta-alueen kasvun myötä tulivat järjestelmän rajoitteet selkeästi esille. Järjestelmä perustui mikroaalto-linkeillä rakennettuun runkoverkkoon, jonka laajentamiseen oli vuoristoisen maaston vuoksi vain rajalliset mahdollisuudet. Operaatioalueella toimivien taktisten satelliittijärjestelmien puuttuminen toi lisäksi haasteita yhteyksien toteutukselle operaatioissa oman alueen ulkopuolella. MNB(C):n viestijärjestelmä oli rakennettu täysin kiinteäksi, joten ei soveltuisi liikuvan tai toiminta-alueelle nopeasti siirtyvän joukon varustukseksi. Sen sijaan järjestelmän osia ja rakennetta voidaan hyödyntää esimerkiksi alueellisten joukkojen järjestelmässä.

Toinen tarkasteltu järjestelmä oli MNTF (N):n käytössä EUFOR ALTHEA -operaatioissa vuosina 2004 - 2007 ollut viestijärjestelmä. Se edusti operaation luonteesta johtuen hyvin poikkeuksellista järjestelmätoteutusta jakautuen erillisiin kiinteän sekä operatiivisen viestitoiminnan järjestelmiin. Kiinteällä viestitoiminnalla verkotettiin tukikohdissa ja esikunnissa olevat toimijat pääosin kiinteillä COTS-viestijärjestelmillä ja operatiivisessa viestitoiminnassa puolestaan hyödynnettiin pääosin liikkuvia COTS- ja sotilaallisia tiedonsiirtojärjestelmiä.



Keskeisenä piirteenä on robusti päällekkäisiin järjestelmiin perustuva kaikkien toimijoiden verkottaminen. Merkittävimpinä verkkoina toimivat internet sekä paikallinen GSM- ja puhe-  
linverkko. Järjestelmää voidaan kritisoida tietoturva- ja luotettavuusperusteilla, mutta vaihto-  
ehtoisten järjestelmien runsas määrä takasi aina varmennetun yhteyden. Järjestelmäratkaisus-  
ta voidaan nostaa kolme tekijää yli muiden: satelliittiyhteyksien merkitys, opportunistinen  
tiedonsiirtojärjestelmien käyttö sekä operatiivisen viestitoiminnan modulaarinen ja liikkuva  
kalusto. Tässä tilanteessa toteutustapa osoittautui periaatteeltaan erittäin käyttökelpoiseksi ja  
mahdollisesti hyvät yhteydet kaikissa tilanteissa niiden erityisvaatimusten mukaisesti.

#### 9.6. Yleinen tiedonsiirtojärjestelmien kehitys

Tämän analyysin tarkoituksena on nostaa esiin keskeisimmät trendit, jotka vaikuttavat tule-  
vaisuuden tiedonsiirtojärjestelmän kehitystoiminnassa. Kaupallisen tekniikan kehitys näyttää  
tällä hetkellä kulkevan osittain kohti sovelluksia, joiden sotilaalliset mahdollisuudet vaikutta-  
vat erittäin lupaavilta. Kaupallisuuden mukanaan tuoma ominaisuus on kuitenkin se, että  
tekniikka on kaikkien ulottuvilla. Keskeiseksi muodostuikin kyky soveltaa kaupallista tek-  
niikkaa omaan tarkoitukseen tehokkaammin kuin vastustaja. Täten perinteiset jäykät hankin-  
tasyklit sekä monikymmenvuotiset järjestelmien elinkaaret eivät suorituskyvyn kannalta ole  
tehokkaita. Sen sijaan keskeistä on ketteruus ja joustavuus teknologioiden hyödyntämisessä.

Keskeinen kehityssuunta verkkoteknologioiden osalta on NGN-teknologia. Sen perusajatuk-  
sena on muodostaa palvelu-, sovellus- ja siirto(verkko)kerroksien väliin standardoituja raja-  
pintoja. Tämä mahdollistaa samojen palveluiden ja sovellusten käytön hyvinkin erilaisissa  
siirtoverkkoissa. Tavoitteena on taata käyttäjälle liikkuvuus ja vähentää hänen riippuvuuttaan  
yksittäisestä tiedonsiirtoverkosta. Samalla yksittäisten tiedonsiirtojärjestelmien puutteet ja  
katveet voidaan monilta osin korvata useiden päällekkäisten järjestelmien käytöllä. Teolli-  
suus ja viranomaismahdot suuntaavat tällä hetkellä merkittäviä resursseja NGN-määrittelyn  
kehitykseen, ja se onkin vahvasti ehdolla tulevaisuuden ratkaisuksi.

Verkostokeskeisyyden kannalta NGN-teknologian ja ohjelmistoradion yhdistelmä vaikuttaa  
erittäin lupaavalta kehityspolulta. Ohjelmistoradio ei sinällään ratkaise mitään yksittäistä  
tiedonsiirron ongelmaa, vaan sen mahdollisuuksien tehokas hyödyntäminen edellyttää usei-  
den muidenkin innovaatioiden käyttöä. Ohjelmistoradiokehitykseen liittyy myös älykkäiden  
ja puoliälykkäiden antennien sekä kognitiivisen radion kehitys. Ohjelmistoradion keskeisin  
hyöty kaupallisessa kehityksessä on alkuvaiheessa tiedonsiirtojärjestelmien tukiasemien päi-  
vitettävyyden paraneminen ja jatkossa myös päätelaitteiden tuottamisen kustannussäästöt.

Kaupalliset, laajakaistaiset langattomat ja langalliset tekniikat tulevat tulevaisuudessa olemaan monien sotilaallisten järjestelmien perustekniikoita. Sen sijaan, että keskityttäisiin niiden sotilaallisten ominaisuuksien arviointiin, tulee painopiste asettaa niiden kehityksen ja mahdollisen kaupallisen menestyksen arviointiin. Kaupallinen menestys yleensä kiihdyttää niiden kehitystyötä, laskee hintaa sekä takaa tekniikalle huollollisen ja logistisen tuen sotilaskäytön vaatimalle pitkäkölle ajanjaksolle. On kuitenkin huomioitava, että kaupallinen kehitys ei milloinkaan ole täysin ennustettavissa, vaan kehitystyössä on huomioitava myös mahdolliset kaupalliset kumppanuudet merkittävien laitevalmistajien kanssa.

Maavoimien kannalta keskeisiä ovat pitkillä yhteysväleillä toimivat langattomat laajakaistatekniikat. Ne kuitenkin tule poistamaan tarvetta sotilaallisille aaltomuodoille. Keskeiset rajoitteet laajakaistatekniikoissa liittyvät erityisesti niiden kantamiin, jotka rajoittuvat korkeintaan muutamaan kilometriin. Tämä johtuu monimutkaisista modulointitavoista, vaadittavista suhteellisen suurista lähetystehoista, antenniratkaisujen kehittymättömyydestä sekä rajoitteista soveltuvimpien taajuusalueiden (ylä-VHF, ala-UHF) osalta. Kotimaassa @450-verkko (FlashOFDM) voi useissa tilanteissa toimia ratkaisuna alueellisen järjestelmän osalta. Alueellisesti toimivat järjestelmät ovat kuitenkin keskeinen seurattava kehitysalue, jossa on huomioitava etenkin ohjelmistoradion sekä ad hoc -verkkojen merkitys.

Tässä tutkimuksessa ei käsitelty mikroaaltolinkkejä ja satelliittiyhteyksiä. Ne ovat kuitenkin merkittävässä osassa tulevaisuuden järjestelmiä määriteltäessä. Mikroaaltolinkkejä käytetään tällä hetkellä runsaasti maavoimien eri järjestelmissä (YVI, ALVI) eikä korvaavia tekniikoita ole periaatteellisella tasolla näköpiirissä. Etenkin kaupallisten laajakaistatekniikoiden käyttö vaatii runkoverkkoa, jossa mikroaaltolinkeillä on selkeä tehtävä. Satelliittijärjestelmien merkitys puolestaan tulee selkeästi esiin Yhdysvaltain armeijan kehitysnäkymien tarkastelun yhteydessä. Kansainvälisten tehtävien korostuminen eurooppalaisten asevoimien tehtäväkentässä on kiihdyttänyt satelliittiyhteyksien hyödyntämistä. Tältä osin liittyminen eurooppalaiseen satelliittiyhteistyöhön vaikuttaakin erittäin keskeiseltä kehityspolulta.

#### 9.7. Maavoimien tiedonsiirtoverkon arkkitehtuuri

Maavoimien tiedonsiirtoverkon arkkitehtuurin kuvaaminen toteutettiin puolustusvoimien tietohallinnon arkkitehtuurikehikon ohjeistuksen mukaisesti. Tutkimuksessa laadittiin kahdeksan näkymää minimivaatimuksen täydellisesti kuvatulle arkkitehtuurille ollessa 17. Laaditut kuvaukset keskittyvät järjestelmän ylätasoon kuvaamiseen menemättä juurikaan yksityis-



liittyvät lähinnä taistelijan tai ajoneuvon omien yhteyksien toteuttamiseen. Tämä vähentää tarvetta kalliille kaapeloinneille ja lisää kestävyyttä kenttäoloissa.

Paikallisverkon (LAN, local area network) yhteydet voidaan toteuttaa esimerkiksi Wi-Fi- tai WiMAX-yhteensopivilla laitteistoilla. Näistä jälkimmäisen kantama on jonkin verran suurempi yltäen antennista ja yhteysvälistä riippuen jopa useisiin kilometreihin. Paikallisverkkoja käytetään esikunnissa, johtamispaikoilla, yksiköissä sekä asejärjestelmissä ja ne kykenevät liittymään toisiinsa ad hoc -verkonmuodostustekniikalla. Paikallisverkkojen tekniikka on pääosin COTS-pohjaista ja niitä hyödynnetään laitteistojen edullisen hinnan vuoksi mahdollisimman massamaisesti. Tietoturvan osalta järjestelmissä käytetään sotilaalliset vaatimukset täyttäviä kaupallisia salaus- ja käyttäjän tunnistusmenetelmiä. Laitteistojen pienet lähetystehot ja korkeat taajuusalueet takaavat järjestelmälle elektronista suojaa.

LOS-radiojärjestelmät (näköyhteyden etäisyydelle toimivat) muodostavat järjestelmän kolmannen kokonaisuuden. Nämä radiojärjestelmät kykenevät noin 3-10+ km:n yhteysetäisyyksiin. Käytetyt radiotaajuudet ovat suhteellisen matalia ja sijoittuvat tyypillisesti välille 30 - 900 MHz. Näillä järjestelmillä muodostetaan keskeisimmät taistelujen johtamisen yhteydet, minkä vuoksi sotilasjärjestelmien painopiste on näissä yhteyksissä. Ohjelmistoradio ja kaupallisista järjestelmistä FlashOFDM-verkot voivat toimia LOS-järjestelminä. LOS-radiojärjestelmät pyritään toteuttamaan ad hoc -verkkorakenteella, joka mahdollistaa joukkojen mahdollisimman vapaan liikkeen taistelukentällä.

BLOS-tiedonsiirtojärjestelmät (beyond line-of-sight eli yli näköyhteyden toimivat) toimivat yhteyksillä, joiden pituus ylittää optisen horisontin. Mahdollisia toteutusvaihtoehtoja ovat satelliittiyhteydet, lennokkireleasemien kautta toteutettavat yhteydet sekä HF-radioyhteydet. Näistä suurin tiedonsiirtokapasiteetti saavutetaan satelliittiyhteyksillä, mutta samalla ne ovat alttiina elektroniselle vaikuttamiselle sekä tiedustelulle. Lennokkien avulla toteutettuja laajoja radioverkkoja ei vielä ole laajassa käytössä, mutta niitä kehitetään useissa maissa ohjelmistoradiojärjestelmiin liittyen. HF-radioverkkojen rajoituksena on rajallinen tiedonsiirtokapasiteetti. Niitä voidaan pitää kuitenkin perusjärjestelmänä pitkillä yhteysväleillä.

Runkojärjestelmän yhteyksien toteutus perustuu pääasiassa suurikapasiteettisiin radiojärjestelmiin sekä valokaapeliin. Runkojärjestelmän kautta on edullista toteuttaa liittymät iTVJ-järjestelmään sekä yleisiin tiedonsiirtojärjestelmiin. Tämän vuoksi saumaton yhteensopivuus iTVJ-järjestelmän liityntäverkon kanssa on ehdoton vaatimus. Runkoverkkoa käytetään myös suurimpien esikuntien ja johtamispaikkojen välisten suurempikapasiteettisten yhteyksien

toteuttamiseen. Se tulee nähdä ennen kaikkea täydentävänä ja kapasiteettia tarjoavana järjestelmänä, jota käytetään tilanteen vaatimusten sekä tarpeen mukaisesti.

Edellä esitetyt viiden eri tyyppin siirtotiet liitetään kolmeen erityyppiseen solmuun. Niitä ovat liikkuvan tilaajan, komentopaikan sekä esikunnan solmut, jotka toimivat teknisesti reitittimen tavoin tarjoten tyyppistä riippuen erilaisia palveluita käyttäjälle. Niihin voidaan liittää mitä tahansa siirtojärjestelmiä yhteensopivan tiedonsiirtotekniikan ansiosta. Yhdistävänä teknisenä alustana toimivat IP-protokollaan perustuvat järjestelmät. Edelleen koko järjestelmää käytetään ohjaamaan ja valvomaan yhtenäisellä ohjaus- ja valvontajärjestelmällä, jonka tulee olla yhteensopiva iTVJ:n vastaavan kanssa. Täten koko järjestelmän käyttäminen sekä valvomien ovat mahdollisia keskitetysti.

#### 9.8. Esimerkki maavoimien tiedonsiirtoarkkitehtuurin soveltamisesta

Maavoimien operatiivisten, alueellisten sekä kansainvälisen toiminnan joukkojen tiedonsiirtojärjestelmien keskeiset kehittämistarpeet ovat varsin yhteneviä. Ne liittyvät yleensä seuraaviin teemoihin:

- liikkuvuuden lisääminen (eri tasot)
- tiedonsiirtokapasiteettien kasvattaminen
- yhteensopivuuden kehittäminen
- järjestelmien peittoalueiden ja kattavuuden kehittäminen

Nämä kehitysalueet ovat keskeisiä verkostokeskeisyyden osalta. Ne sopivat erittäin hyvin yhteen myös NGN-ajattelun kanssa, mikä pyrkii tuomaan ratkaisua edellä esitettyihin haasteisiin erilaisten siirtojärjestelmien saumattomalla käytöllä. Tutkimuksessa todettiin, että edellä esitettyjen tavoitteiden samankaltaisuuden vuoksi kaikkien joukkotyyppien tiedonsiirtojärjestelmien järjestelmäkehitys tulisi toteuttaa samassa kehitysympäristössä. Täten taataan järjestelmien yhteensopivuus. Joukoille toteutettavat järjestelmät voidaan sen sijaan toteuttaa hyvinkin erilaisilla osajärjestelmillä riippuen käytössä olevista resursseista ja tavoitteista. Seuraavassa taulukossa on esitettyinä esimerkkiratkaisut kaikille tiedonsiirtojärjestelmän osille. Näitä esimerkkiratkaisuja voidaan siis hyödyntää kaikilla joukkotyypeillä niiden tehtävien toteuttamisen asettamien vaatimusten mukaisesti.

Tiedonsiirtojärjestelmän osa	Peruste / tavoitetila	Tavoitteen saavuttamiseksi käytettävä tekniikka (esimerkki)
PAN (Henkilökohtaiset verkot)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rikkoontumisalttiuden vähentäminen</li> <li>- Laitteiden painon laskeminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Langaton tiedonsiirtolaitteiden kytkentä taistelijalle</li> </ul>
LAN (Lähiverkot)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Langallisten lähiverkkojen nopeuden nosto</li> <li>- Langattomien verkkojen kapasiteettien kasvattaminen</li> <li>- Peittoalueitten lisääminen</li> <li>- Taistelulentäille sopiva reititys</li> <li>- Johtamisen tehostaminen lähietäisyyksillä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ethernet 100/1000 Mbit/s</li> <li>- IEEE 802.11n/s käyttöön</li> <li>- IEEE 802.16e/l käyttöön</li> <li>- Ad hoc -reititys em. verkoissa</li> <li>- Ryhmä/joukkueradiojärjestelmän hankkiminen (500-700m kantama)</li> </ul>
LOS (Näköyhteyden verkot)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Palveluiden kehittäminen</li> <li>- Järjestelmävaihtoehtojen lisääminen</li> <li>- Datansiirtokyvyn kehittäminen MAN- / RAN-alueella. Uuden teknologian tuomien ratkaisujen käyttö.</li> <li>- Soveltuvuus kansainväliseen toimintaan sekä osittain alueellisten joukkojen käyttöön</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VIRVE (TETRA)-järjestelmän käytön kehittämisen (datapalvelut käyttöön laajasti)</li> <li>- FlashOFDM (@450) käyttöönotto</li> <li>- Ohjelmistoradio (ESSOR tms.) älykkäällä/puoliälykkäällä antennilla ja ad hoc -reitityksellä</li> <li>- 3G+ matkapuhelinteknologioiden hyödyntäminen</li> </ul>
BLOS (Pitkän kantaman verkot)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pitkien suurempikapasiteettisten yhteyksien toteuttamisen mahdollistaminen</li> <li>- Järjestelmäliikkuvuuden kasvattaminen</li> <li>- Joukkojen taktisen käytön vapauden kasvattaminen sekä käyttö ulkomaantehtävissä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HF-radiojärjestelmän kehittäminen</li> <li>- Lennokkisolmun kehittäminen osana ohjelmistoradioprojektia</li> <li>- Satelliittipalveluiden hankkiminen (kaupallisia) <ul style="list-style-type: none"> <li>- RBGAN/vast., VSAT/vast., jne</li> </ul> </li> </ul>
Runkojärjestelmä	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lisääntynyt tiedonsiirtotarve</li> <li>- Keskeisten yhteysvälien toteuttaminen</li> <li>- Yhteensopivuus iTVJ-järjestelmän kanssa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Runkojärjestelmän tiedonsiirtonopeuden nosto merkittävästi (10 - 20 kertaiseksi) esimerkiksi mikroaaltolinkkijärjestelmällä</li> <li>- Yhteensopivuus ALVI-järjestelmään</li> </ul>
Liikkuvan tilaajan solmu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkottumisen ulottaminen taistelijaan saakka</li> <li>- Taistelijoiden solmuverkon luominen ad hoc reitityksen avulla</li> <li>- Mahdollistaa COTS-päätteiden käytön myös taistelijalla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taistelijan päätteiden kehittäminen (eri versioita)</li> <li>- Langattomien yhteyksien (esim. Wi-Fi, WiMAX) integrointi päätteeseen</li> <li>- Solmuohjelmistojen kehitys</li> </ul>
Komentopaikkasolmu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komento- ja johtamipaikkojen yhteensopivuuden sekä suorituskyvyn kasvattaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komentopaikkasolmun kehittäminen (esimerkiksi liityntälaitteen miniversion seuraaja)</li> </ul>
Esikuntasolmu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solmulaitteistojen yhtenäistäminen ja kehittäminen</li> <li>- Puhelupalveluiden toteuttaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esikuntasolmun kehittäminen (esimerkiksi liityntälaitteen seuraaja)</li> <li>- IP-puhelinjärjestelmän integrointi solmuun</li> </ul>
Solmu / keskusteknologia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siirtyminen iTVJ:n määrittämään solmuteknologiaan (IP-pohjainen tiedonsiirto).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IP-pohjainen moniprotokollareititin, johon voidaan liittää tai sisäisesti integroida eri tiedonsiirtoyhteyksien laitteita. Toimii reitittimenä, IP-keskuksena sekä sisältää edistykselliset tietoturvaominaisuudet.</li> </ul>
Ohjaus- ja valvontajärjestelmä	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Koko järjestelmän ohjaus- ja valvontakyky</li> <li>- Ohjauksen ja valvonnan yksinkertaistaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solmuteknologiaan liittyvän ohjaus- ja valvontajärjestelmän hankkiminen</li> <li>- Erillisten tiedonsiirto- ja radiojärjestelmien ohjauksen ja valvonnan integrointi</li> </ul>

**TAULUKKO 24: Esimerkki maavoimien tiedonsiirtojärjestelmien toteuttamisesta**

### 9.9. Tutkimuksen tulosten arviointi sekä jatkotutkimusaiheet

Tämän tutkimuksen painopiste sivumäärällä mitattuna oli yhdysvaltalaisen tiedonsiirtojärjestelmien kuvaamisessa ja niiden tulevan kehityksen arvioinnissa. Tutkimusta tehtäessä paljastui selkeästi järjestelmien kehittämisen aikatauluihin liittyvät suuret haasteet. Vaikka esimerkiksi WIN-T -järjestelmää on kehitetty jo 2000-luvun alusta alkaen, on sen käyttöönotto vielä vuosien päässä. Lisäksi jopa tämän tutkimuksen aikana tiettyjen järjestelmien (MUOS) käyttöönottoaikatauluja siirrettiin jopa viidellä vuodella eteenpäin rahoitusvaikeuksien vuoksi. Sen sijaan JNN-N -järjestelmä kehitettiin noin kahdeksassa kuukaudessa, ja hankkeen käynnistämistä 12 kuukauden kuluttua ensimmäinen divisioona oli varustettu kalustolla. Yhdysvaltalaisessa järjestelmäkehityksessä ollaankin päätyvässä toimintamalliin, jossa järjestelmiä otetaan joustavasti käyttöön sitä mukaa kun niiden osat valmistuvat eli järjestelmät kehitetään modulaarisesti. Tällä päästään joustavuuteen uuden tekniikan käytössä ja järjestelmien päivityksissä. Tämä modulaarinen järjestelmäkehitysmalli on järkevä myös meillä yhteisten teknologian nopeaan kehitykseen liittyvien haasteiden vuoksi.

Muilta osin tutkimus ei paljastanut merkittäviä yllätyksiä nykyisin vallitsevissa kehityslinjoissa. Kehitys Yhdysvalloissa ja kaupallisten tiedonsiirtojärjestelmien osalta etenee tällä hetkellä varsin mutkattomasti ja suurimmat huolenaiheet liittyvät lähinnä resurssien riittävyyteen. Markkinoiden siirtyminen tulevien vuosien aikana yhä voimakkaammin Aasiaan, Afrikkaan ja Etelä-Amerikkaan tulee kuitenkin vaikuttamaan merkittävästi teknologioiden kehitykseen. Näiden alueiden perusinfrastruktuurin heikko kunto pakottaa kehittämään erityisesti langattomia teknologioita, joten sotilaalliselta kannalta kehityksen suuntautuminen vaikuttaa lupaavalta.

Sodankäyntiä ja verkostokeskeisyyttä koskevilta osin tutkimuksen tulokset edustavat yhtä näkökulmaa. Jatkon kannalta on tärkeää selvittää myös muiden eurooppalaisten valtioiden tulkintoja verkostokeskeisyyden toteuttamisesta. Vain siten saadaan mahdollisimman kattava kuva teorioiden toteuttamisesta käytännössä sekä vertailukelpoinen näkökulma tässä tutkimuksessa esitetyille verkostokeskeisyydelle.

Tässä tutkimuksessa arkkitehtuurin laadimisesta saadut tulokset ovat varsin hyvin linjassa tämän hetken maavoimien tiedonsiirtojärjestelmien kehityslinjausten kanssa. Etenkin maanpäällisten järjestelmien tutkimus ja kehittäminen ovat etenemässä vähitellen tutkimuksen osoittamaan suuntaan. Sen sijaan järjestelmien kerroksellisuuden tarpeeseen ei vielä ole otet-

tu riittävästi kantaa. Tutkimus tuo kuitenkin selkeästi esille tämän päivän tyhjän taistelukentän ongelmallisuuden tiedonsiirtojärjestelmien kannalta. Rungas tyhjä tila tuo joukoille tarpeen suureen liikkuvuuteen, johon taas nykyisin käytössä olevilla tiedonsiirtojärjestelmillä ei kyetä vastaamaan. Tämä pakottaa siis ottamaan mukaan järjestelmien kerroksellisuuden ja satelliittiyhteydet. Tämän tekijä luo käytännössä erittäin suuria haasteita toteutukselle, sillä tämän hetken resurssit eivät missään tilanteessa mahdollista oman satelliittijärjestelmän hankkimista. Näin ollen vaihtoehtoiksi jäävät vain kaupalliset järjestelmät sekä mahdollinen yhteistyö muiden eurooppalaisten valtioiden kanssa.

Tutkimuksessa kuvattu maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri on tämän tutkimuksen valmistumisen jälkeen annettava yleiseen arviointiin. Arkkitehtuurikuvaus on vain harvoin yksittäisen ihmisen (tai tutkijan) työn tulos, vaan sen laatimiseen ja viimeistelyyn tarvitaan suuremman ammattilaisryhmän panosta. Arkkitehtuurin laatimista onkin jatkettava suuremmalla foorumilla työn valmistumisen jälkeen.

Tämän työn pohjalta voidaan edellä esitetyn perusteella esittää seuraavat keskeisimmät jatkotutkimusaihealueet:

- Verkostoavusteisen (Network Enabled) teorian vaikutukset tiedonsiirtojärjestelmien kehittämiseen vaihtoehtona verkostokeskeiselle ajattelulle
- Tiedonsiirtojärjestelmien kehityksen arviointi Suomen kannalta keskeisissä valtioissa (esimerkiksi Iso-Britannia, Ruotsi ja Saksa)
- Vaihtoehtoisten tiedonsiirtojärjestelmäarkkitehtuurien kehittäminen maavoimille ja niiden vertailu
- NGN-tekniikoiden sovellettavuus maavoimien tiedonsiirtojärjestelmään
- IP-protokollan käytön tutkimus maavoimien tiedonsiirtojärjestelmään liittyen
- Satelliittijärjestelmien tutkimus

Lisäksi työn pohjalta voidaan määritellä lukuisia pienempiä jatkotutkimuksia. Esimerkiksi maavoimien tiedonsiirtojärjestelmän osajärjestelmien tutkimus on jatkossa erittäin keskeistä. Tämä pitää sisällään jo edellä luetellun satelliittijärjestelmien tutkimuksen. Ne voidaan nähdä maavoimien kannalta erittäin tärkeänä kokonaisuutena, jonka merkitys tulee jatkossa kasvamaan.



## LÄHTEET

- [1] Alberts, David S. [et al.]: Network Centric Warfare, Developing and Leveraging Information Superiority. CCRP publication series, USA, 2000.  
<<http://www.dodccrp.org/>>
- [2] Alberts, David S. & Hayes, Richard E.: Power to the Edge, Command and Control in the Information Age. CCRP publication series, USA, 2003.  
<<http://www.dodccrp.org/>>
- [3] Alberts, David S. & Hayes, Richard E.: Understanding Command and Control. CCRP publication series, USA, 2006. <<http://www.dodccrp.org/>>
- [4] Alberts, David S. & Hayes, Richard E.: Planning, Complex Endeavors. CCRP publication series, USA, 2007. <<http://www.dodccrp.org/>>
- [5] Alberts, David S. [et al.]: Understanding Information Age Warfare. CCRP publication series, USA, 2001. <<http://www.dodccrp.org/>>
- [6] Andersson, Sharon & Davis, Steven A.: The Joint Tactical Radio System – Reloaded. Lehtiartikkeli, Chips Magazine. USA, Jul-Sep 2006.
- [7] Army Communicator: JNN-N, Joint Network Node. Tiedotuslehti, Signal Regiment. Volume 31, No. 4, Fall 2006
- [8] Army Digitization Office (ADO), Army Digitization Master Plan '96. Asiakirja: <[http://www.globalsecurity.org/military/library/report/1996/army\\_digit\\_m-plan96.htm](http://www.globalsecurity.org/military/library/report/1996/army_digit_m-plan96.htm) >
- [9] Burbank, Jack L. & Kasch, William T.: COTS Communications Technologies for DoD Applications: Challenges and limitations. IEEE MILCOM paper 2004.
- [10] Cogan, Kevin J. & Lucio, Ray De: Network Centric Warfare Case Study: U.S. V Corps and 3rd Infantry Division (Mechanized) during Operation Iraqi Freedom combat operations (MAR-APR 2003); Volume II: A View of Command, Control, Communications and Computer Architectures at the Dawn of Network Centric Warfare. U.S. Army War College Carlisle Barracks, Pennsylvania, USA, 2006.
- [11] Congressional Budget Office, The Congress of the United States: The Army's Bandwidth Bottleneck, a CBO study. USA, August 2003
- [12] Cordeiro, Challapali [et al.]; "IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios"; Journal of Communications, Vol. 1, No. 1, April 2006.
- [13] Defence Update, International Online Defence Magazine: Warfighter Information Network – Tactical (WIN-T). 6.12.2005.  
< <http://www.defense-update.com/products/w/win-t.htm> >

- [14] Department of Army, Headquarters: FMI (Field Manual Interim) 6-02.60; Tactics, Techniques, and Procedures (TTPs) for the Joint Network Node-Network (JNN-N). Washington DC, 5 September 2006.
- [15] Department of Army, Office of the Project Manager Warfighter Information Network - Tactical: Warfighter Information Network – Tactical, Simulation Support Plan version 3.0. Fort Monmouth, USA, 2004.
- [16] Department of Defence, Architecture Framework Working Group: DoD Architecture Framework Version 1.0, Deskbook. Department of Defence, USA, 9.2.2004.
- [17] Department of Defence, Office of the Secretary of Defence: Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005 - 2030. Roadmap, USA 2005.
- [18] Digitaalioy: @450 Langaton laajakaista. Yrityksen internet-sivusto, 2007. <<http://www.450laajakaista.fi/>>
- [19] Elbert, Bruce R.: The Satellite Communication Applications Handbook, second edition, Artech House Inc., Boston 2004.
- [20] Feickert, Andrew: The Joint Tactical Radio System (JTRS) and the Army's Future Combat System (FCS): Issues for Congress. CRS Report for Congress. USA 2005.
- [21] Feldman Phillip M.: Emerging Commercial Mobile Wireless Technology and Standards: Suitable for the Army? RAND Corporation. Santa Monica USA, 1999.
- [22] Flynn, Erin: Military Information Technology, Jumping Ahead to WIN-T. Lehtiartikkeli, Volume 10 Issue 2, 13.3.2006. <<http://www.military-information-technology.com/article.cfm?DocID=1351>>
- [23] Global Defence Review, internet sivusto: A complete transformation, article by Adam Baddeley, 2006. <<http://www.global-defence.com/2006/Utilities/article.php?id=100>>
- [24] GlobalSecurity.org: Global Broadcast Service. Järjestelmäesittely internetsivustolla. USA 2006. <<http://www.globalsecurity.org/space/systems/gbs.htm>>
- [25] GlobalSecurity.org: Warfighter Information Network – Tactical (WIN-T). Järjestelmäesittely internetsivustolla. USA 2006. <<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/win-t.htm>>
- [26] Gonzales, Daniel [et al.]: Network-centric operations case study; the Stryker Brigade Combat Team. RAND National Defence Research Institute, Santa Monica CA, USA, 2005. <<http://www.rand.org/>>
- [27] Grant, Terrill K.: Canadian digitization: radical beginning and pragmatic follow-on. Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering. Canada 2000.

- [28] Heinäaro, Kimmo: Taktinen Internet käytännössä, TKK:n diplomityö. Espoo 9.8.2005
- [29] ITT A/CD: NTDR ja SINCGARS ASIP radioiden valmistajan Internet- sivusto. Huhtikuu 2006. < [http://www.acd.itt.com/itt\\_acd.htm](http://www.acd.itt.com/itt_acd.htm) >
- [30] Jantunen, Minna [et al.]: Liikkuvan tilaajan järjestelmän reititinkortin toteutuksen esiselvitys. Elektrobit Oy, tutkimusraportti, 29.4.2005.
- [31] Jormakka, Jorma: Comparison and Selection of COTS Technologies. Technical Aspects of Network Centric Warfare, Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, Julkaisusarja 1 No17, Helsinki 2004.
- [32] Kenttäradiojärjestelmäopas, Digitaalisten kenttäradioiden käsikirja. Luonnos, Riihimäki, 9.9.2005.
- [33] Kosola, Jyri & Solante, Tero: Digitaalinen taistelukenttä, informaatioajan sota-koneen tekniikka. Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, Julkaisusarja 1 n:o 13. Edita Prima Oy, Helsinki 2003.
- [34] Kuosmanen, Petteri: Taktisten ad hoc -radioverkkojen toteuttamismahdollisuudet erilaisissa toimintaympäristöissä, MpKk Tekniikan laitos, Julkaisusarja 1 No20, Edita Prima Oy, Helsinki 2004.
- [35] Kuusisto, Rauno: Tilannekuvasta täsmäjohtamiseen; Johtamisen tietovirrat kriisin hallinnan verkostossa. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja. Liikenne- ja viestintäministeriö, 2005.
- [36] Lawyer, Calvin D.: Bringing WIN-T to the Fight. Briefing in LandWarNet conference 2006.  
<<http://www.afcea.org/events/pastevents/documents/Track5Session8NetCentricWarfareC2ISR.ppt>>
- [37] Leland, Joe & Porche, Isaac III: Future Army Bandwidth Needs and Capabilities. RAND Arroyo Center, Santa Monica CA, USA, 2004. <<http://www.rand.org/>>
- [38] Liikenne- ja Viestintäministeriö: NGN-verkkojen pelisäännöt ja yhteenliittäminen, LVM julkaisuja 31/2006. Helsinki 2006.
- [39] Martin, Donald H.: A History of U.S. Military Satellite Communication Systems. Crosslink Magazine by The Aerospace Corporation. USA 2002.  
< <http://www.aero.org/publications/crosslink/winter2002/01.html> >
- [40] McLarnon, Barry: VHF/UHF/Microwave Radio Propagation, A Primer for Digital Experimenters. Konferenssialustus TAPR/ARRL Digital Communications Conference, 1997. <<http://www.tapr.org/ve3jf.dcc97.html>>
- [41] Methley, Steve [et al.]: Wireless Last Mile Final Report, SES-2006-9. UK, 2006 < <http://www.ofcom.org.uk/research/technology/overview/ese/lastmile/>>

- [42] Military Information Technology: Signalling the Future. Lehtiartikkeli, Volume 11, Issue 1, 02/2007.  
<<http://www.military-information-technology.com/article.cfm?DocID=1902>>
- [43] Ministry of Defence UK: Defence Factsheet, BOWMAN. Ison-Britannin puolustusministeriön internetsivusto, 2006.  
< <http://www.mod.uk/DefenceInternet/Factsheets/ProjectFactsheets/Bowman.htm> >
- [44] Ministry of Defence UK: Delivering digital tactical communications through the Bowman CIP programme. National Audit Office 2006.
- [45] OECD: Infrastructure to 2030; Telecom, land transport, water and electricity. OECD, 2006.
- [46] Nova Engineering: Wideband Networking Waveform (WNW). Internetsivusto, 2007. < <http://www.nova-eng.com/Inside.asp?n=Services&p=Wnw>>
- [47] North, Rich: Joint Tactical Radio System – Connecting GIG to the Tactical Edge. MILCOM paper. USA 2006.
- [48] Ofcom, Office of communications: Technology Research Programme, Research and Development at Ofcom 2004/05. UK, 2005. < <http://www.ofcom.org.uk/>>
- [49] Ofcom, Office of communications: Technology Research Programme, Research and Development at Ofcom 2005/06. UK, 2006. < <http://www.ofcom.org.uk/>>
- [50] Owens, William A.: The Emerging U.S. System-of-Systems. Internet-sivustolla julkaistu artikkeli. USA 1996.  
< [http://www.ndu.edu/inss/strforum/SF\\_63/forum63.html](http://www.ndu.edu/inss/strforum/SF_63/forum63.html) >
- [51] Pasivirta, Pasi & Kosola, Jyri: Vaatimustenhallinnan soveltaminen puolustusvoimissa. Pääesikunnan sotatalousosaston julkaisu. Prima Edita oy, Helsinki 2004.
- [52] Perry Walter [et al.]: Network-Based Operations for the Swedish Defence Forces, An Assessment Methodology. RAND Europe, Santa Monica CA, USA, 2004.  
<<http://www.rand.org/>>
- [53] Puolustusministeriö: Turvallisesti tulevaisuuteen, Puolustusministeriön strategia 2025. Kirjapaino Keili Oy, Helsinki 2006.
- [54] Puolustusministeriö: Yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisen strategia, valtioneuvoston periaatepäätös 23.11.2006. Kirjapaino Keili Oy, Helsinki 2006.
- [55] Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus: Kenttäviestijärjestelmä 4, Yhtymän Viestijärjestelmä YVI 2. Edita Prima Oy, Helsinki 2003.
- [56] Pääesikunta, Johtamisjärjestelmäosasto: Puolustusvoimien johtamisjärjestelmäalan toiminta 2008 (Viranomaiskäyttö), Suunnitelma 1.4.2005

- [57] Pääesikunta, Johtamisjärjestelmäosasto, Karstila Kari: Puolustusvoimien tietohallinnan arkkitehtuurikehikko (PVTAK) - Arkkitehtuurien kuvaamisen yleisohje. Helsinki 14.1.2005.
- [58] Pääesikunta, Johtamisjärjestelmäosasto, Serén Karl-Johan, Karstila Kari: Puolustusvoimien tietohallinnan arkkitehtuurikehikko (PVTAK) - Arkkitehtuurien kuvausohje. Helsinki 14.1.2005.
- [59] Pääesikunta, Johtamisjärjestelmäosasto, Serén Karl-Johan, Karstila Kari: Puolustusvoimien tietohallinnan arkkitehtuurikehikko (PVTAK) - Arkkitehtuurien kuvauskieliohje. Helsinki 14.1.2005.
- [60] Pääesikunta, Johtamisjärjestelmäosasto, Torvikoski Leo, Serén Karl-Johan: PVTAK-kuvausnäkyvien toteuttaminen System Architect -työkalulla. Helsinki 14.1.2005.
- [61] Pääesikunta, Suunnitteluosasto: Kenttäohjesääntö yleinen osa, Puolustusjärjestelmän toiminnan perusteet. Prima Edita oy, Helsinki 2007.
- [62] Pääesikunta, Sotatalousosasto: Puolustusjärjestelmien kehitys, Sotatekninen arvio ja ennusta 2020, osa 2. Edita Prima Oy, Helsinki 2004.
- [63] Raitasalo, Jyri: Constructing War and Military Power after the Cold War - The Role of the United States in the Shared Western Understandings of War and Military power in Post-Cold War Era. Strategian laitoksen julkaisusarja 1, Maanpuolustuskorkeakoulu. Helsinki 2006
- [64] Raitasalo, Jyri & Sipilä, Joonas: Sodan määrittelystä, käsitykset sodasta sodankäynnin taustalla. Maanpuolustuskorkeakoulu, Strategian laitos, Julkaisusarja 4, työpapereita N:o 18. Helsinki 2004.
- [65] Raitasalo, Jyri: Sodan kuvan muutoksen Suomen puolustusjärjestelmän kehittämiselle aiheuttamat haasteet kylmän sodan jälkeisellä ajalla. Esiupseerikurssin tutkielma. Maanpuolustuskorkeakoulu 2006.
- [66] Raytheon, EPLRS järjestelmän valmistajan esittelysivusto internetissä. Huhtikuu 2006. <<http://www.raytheon.com/products/eplrs/>>
- [67] Rekkedal, Nils M.: Nykyaikainen sotataito, sotilaallinen voima muutoksessa. Försvarshögskolan 2004, Maanpuolustuskorkeakoulu 2006. Edita Prima Oy, Helsinki 2006.
- [68] Ruppe, Russel & Grishwald, Stan: Near Term Digital Radio (NTDR) System, IEEE Paper 1997 (MILCOM -97)
- [69] Ryan, Michael & Frater, Michael R.: Tactical Communications for the Digitized Battlefield, Artech House, Boston, 2002
- [70] Sharret, Igal P.: WIN-T – The Army’s New Tactical Internet, IEEE Paper 1999

- [71] Silberglitt, Richard [et al.]: The Global Technology Revolution 2020, In-Depth Analyses; Bio/Nano/Materials/Information Trends, Drivers, Barriers, and Social Implications. RAND National Defence Research Institute, Santa Monica CA, USA, 2006. <<http://www.rand.org/>>
- [72] STAE 2020: Runko- ja tilaajaverkkojen kehitys vuodesta 2006 vuoteen 2020. Versio 1.0 / 1.12.2006. Helsinki 2006.
- [73] Tiboni, Frank: Army stuck in a WIN-T quandary. FCW.com internetsivusto, artikkeli 27.2.2006. <<http://www.fcw.com/article92437-02-27-06-Print&printLayout>>
- [74] Toomey, Christopher J.: C4ISR in the Stryker Brigade Combat Teams. Artikkel: Military Review May-June 2003. USA 2003.
- [75] United States Army: 2006 Army Modernization Plan; Building, Equipping and Supporting the Modular Force. US Army Publication. USA, 2006. <[www.army.mil](http://www.army.mil)>
- [76] United States Army: 2004 Army Transformation Roadmap. US Army Publication. USA, 2004. <[www.army.mil](http://www.army.mil)>
- [77] United States Army: Weapon Systems 2005. US Army Publication. USA, 2005. <[www.army.mil](http://www.army.mil)>
- [78] United States Army News Release: LandWarNet is New Name for Army Network. Yhdysvaltain maavoimien virallinen tiedote maavoimien Internet-sivuilla. USA 2004. <[http://www4.army.mil/ocpa/read.php?story\\_id\\_key=5709](http://www4.army.mil/ocpa/read.php?story_id_key=5709)>
- [79] United States Army, Field Manual FM 4-93.52: Tactics, techniques, and procedures for the Division support command (Digitized), Appendix A: Warfighter Information Network – Tactical. Department of the Army Headquarters, Washington DC, USA, 2 MAY 2002.
- [80] United States Army, Field Manual FM 6-02.72: Tactical Radios, Multiservice Communications Procedures for Tactical Radios in a Joint Environment. The Air Land Sea Application (ALSA) Center, USA, June 2002. <<http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/4-93-52/appa.htm>>
- [81] United States Army, Field Manual FM 11-55, Mobile Subscriber Equipment (MSE) Operations, Department of the Army, Washington DC, USA, 22 June 1999. <<http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/11-55/index.html>>
- [82] United States Government Accountability Office: Restructured JTRS Program Reduces Risk, but Significant Challenges Remain. GAO Report to Congressional Committees. USA 2006.
- [83] Varanka, Mika: Liikkuvan tilaajan järjestelmän datansiirtokyvyn laajentamisen esiselvitys. Elektrobitt Oy, tutkimusraportti, 29.4.2005.

- [84] Virtanen, Jukka-Pekka: Viestitoimintaa monikansallisessa prikaatissa. Viestimies-lehden artikkeli, numero 2/2005.
- [85] Wikipedia: Ad hoc. Internet-tietosanakirja 2007.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Ad\\_hoc](http://en.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc)>
- [86] Wikipedia: Wireless Mesh network. Internet-tietosanakirja 2007.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_mesh\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_mesh_network)>
- [87] Wikipedia: Network-centric Warfare. Internet-tietosanakirja 2007.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_Centric\\_Warfare](http://en.wikipedia.org/wiki/Network_Centric_Warfare)>
- [88] Wikipedia: Paradigm. Internet-tietosanakirja 2007.  
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Paradigm>>
- [89] Wikipedia: Systems Architecture. Internet-tietosanakirja 2007.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Systems\\_architecture](http://en.wikipedia.org/wiki/Systems_architecture)>
- [90] Wikipedia: XO-1 (laptop). Internet-tietosanakirja 2007.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/OLPC#Wireless\\_mesh\\_networking](http://en.wikipedia.org/wiki/OLPC#Wireless_mesh_networking)>

## TAAJUUSALUEEN JA YMPÄRISTÖN VAIKUTUS IEEE 802.16 -STANDARDIN MUKAISEN RADIOSIGNAALIN KANTAMAAN

Lähteessä 41 on esitetty ennusteet IEEE802.16 -standardin mukaisen lähetteen kantamista eri taajuusalueilla. Ennusteiden käytännön osuus perustuu Ison-Britannian Plextekin ja LCC:n tekemään koesarjaan 3500 MHz:n taajuusalueella esikaupunki- ja kaupunkialueella Lontoossa vuonna 2004. Näistä kokeiden perusteella Walden ja Rowsell laativat vuonna 2005 ensimmäisen ennustekäyrän. Tätä ennustekäyriä verrataan lähteessä Erceg:n ”B” malliin sekä korjattiin COST 231 -radioyhteyden ennustemallilla, jotta se saatiin sovitettua erilaisille taajuusalueille. Tämä perusteella esitetään lähteessä seuraavanlainen kantaman riippuvuus taajuusalueesta:

<i>Parametri</i>		<i>Käytetty arvo</i>
Päätelaitteen korkeus maanpinnasta	Hm	2 m
Tukiaseman korkeus maanpinnasta	Hb	30 m
Lähetystaso	PL	152 dB
Mallin maaston korjauskerroin	Cm	11,5 dB

**TAULUKKO 1: Ennusteessa käytetyt perusparametrit**

Näiden perusparametrien perusteella esitetään seuraavat yhteysetäisyydet eri taajuusalueille:

<i>Taajuusalue</i>	<i>Päätelaitteen antennin korkeustekijä</i>	<i>Yhteysetäisyys</i>
<b>3500 MHz</b>	1,67 Db	<b>3,49 km</b>
<b>2500 MHz</b>	1,57 Db	<b>4,80 km</b>
<b>700 MHz</b>	1,22 Db	<b>15,97 km</b>

**TAULUKKO 2: Yhteysetäisyydet eri taajuusalueilla**

On syytä huomata, että tämä ennuste ei huomioi kaikkia eri taajuusalueilla käytännössä ilmenviä vaikutuksia. Näitä ovat esimerkiksi korkeammilla taajuuksilla saavutettavat paremmat antennivahvistukset, vastaanottimen kohina-arvot ja herkkyys sekä signaalin esteiden läpäisykyky (vaikkakin se on esitetyillä taajuusalueilla varsin samankaltainen).



Edellisiä tarkasteluja voidaan jatkaa ottamalla huomioon maaston vaikutus odotettavissa olevaan kantamaan. Seuraavassa taulukossa on esitettyä ennustettuja yhteysetäisyyksiä eri taajuusalueilla sekä eri ympäristöissä. Laskennassa on käytetty 10 MHz:n kaistanleveyttä sekä WiMAX-standardin kiinteän palvelun vaatimia lähtökohtaparametreja. Yhteysetäisyyksien osalta perusteena on ollut WiMAX-tukiaseman solukoko. Laskennassa käytetyt parametrit löytyvät lähteestä 41.

<i>Taajuusalue</i>	<i>Tiheä kaupunki</i>	<i>Kaupunki</i>	<i>Taajama</i>	<i>Maaseutu</i>	<i>Keskiarvo</i>
<b>3500 MHz</b>	0,54 km	0,86 km	1,23 km	2,26 km	1,22 km
<b>700 MHz</b>	3,06 km	4,09 km	5,72 km	10,76 km	5,90 km

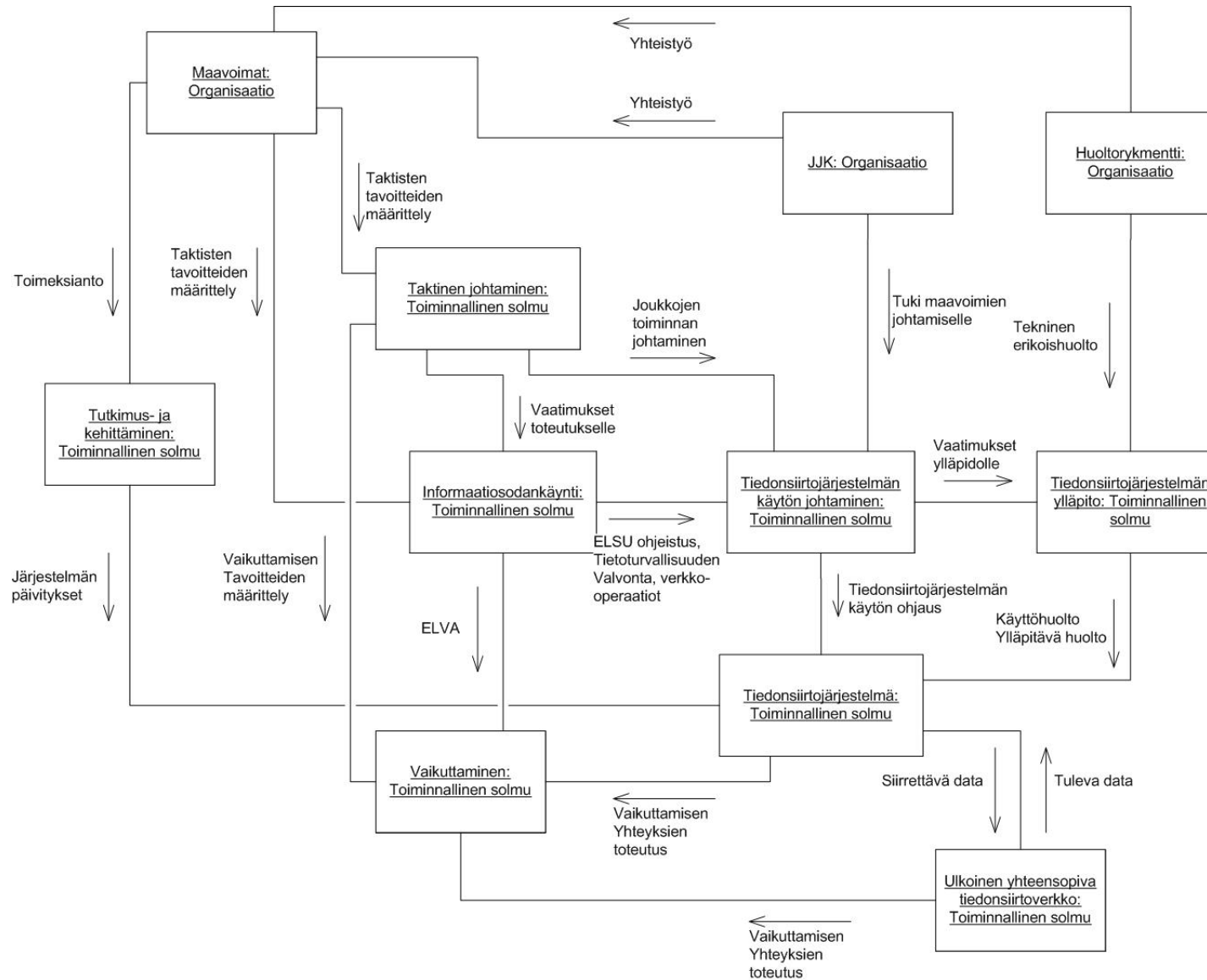
**TAULUKKO 3: WiMAX-tukiaseman ennustetut kantamasäteet eri taajuusalueilla sekä eri ympäristössä**

### **Johtopäätökset**

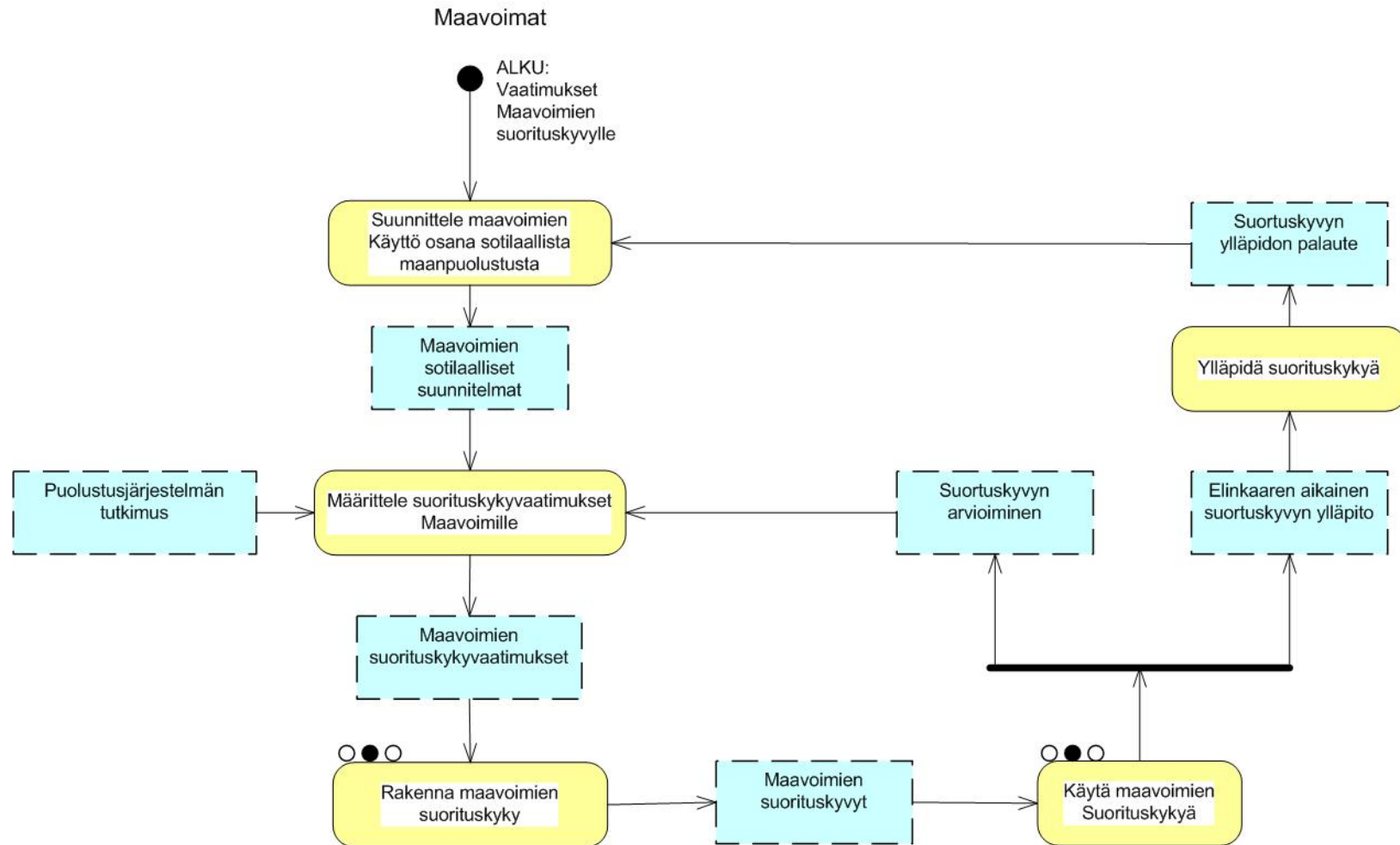
Edellä esitettyjen ennusteiden perusteella voidaan esittää arvioita WiMAX teknologian mahdollisuuksista sotilaskäytössä. Edellä esitetyn perusteella on varsin selvää, ettei kyseinen teknologia käytettynä korkeammilla taajuusalueilla tule ratkaisemaan taktisen tason datansiirron keskeisiä haasteita. Taktisen tason (pataljoonan sisäiset yhteydet) tyypillisenä yhteysetäisyysvaatimuksena voidaan esittää kyky luotettavasti noin 10 km:n yhteysetäisyyteen. Tämä täyttyy niukasti 700 MHz:n taajuusalueella maaseudulla. Mikäli huomioidaan voimakkaasti häiriöllinen ympäristö sekä päätelaitteiden liike, ei kyseisellä teknologialla tulla pääsemään sotilaskäytön kannalta riittävän pitkiin yhteysetäisyyksiin.

Toisaalta WiMAX-teknologia tarjoaa selkeästi parhaan datansiirtokyvyn tähän mennessä kaupalliseen kypsyvaiheeseen päässeistä laajakaistaisen datansiirron teknologioista. Se on esitetyn perusteella erittäin käyttökelpoinen yhteysetäisyyksillä 2 km:n etäisyydelle saakka. Näin ollen sitä kyetään käyttämään helposti suurelle alueelle hajautettujen esikuntien sisäisten yhteyksien järjestelyssä. Tämän lisäksi WiMAX:lle löytynee sovelluskohteita erilaisista kiinteiden tilaajien liityntäverkoista.

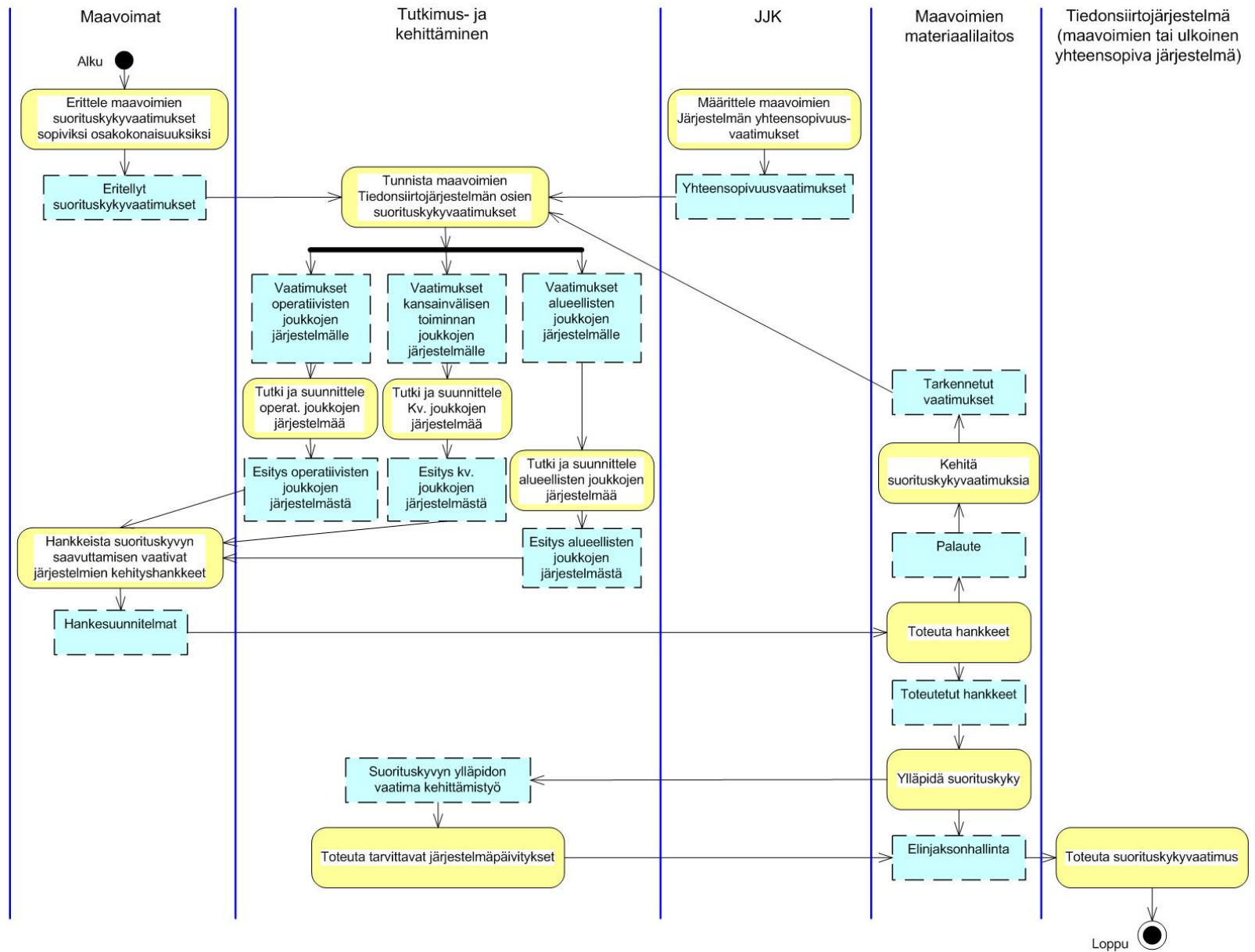
MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURIKUVAUKSEN TOIMINNALLISTEN SOLMUJEN YHTEYDET (PvOV-2)



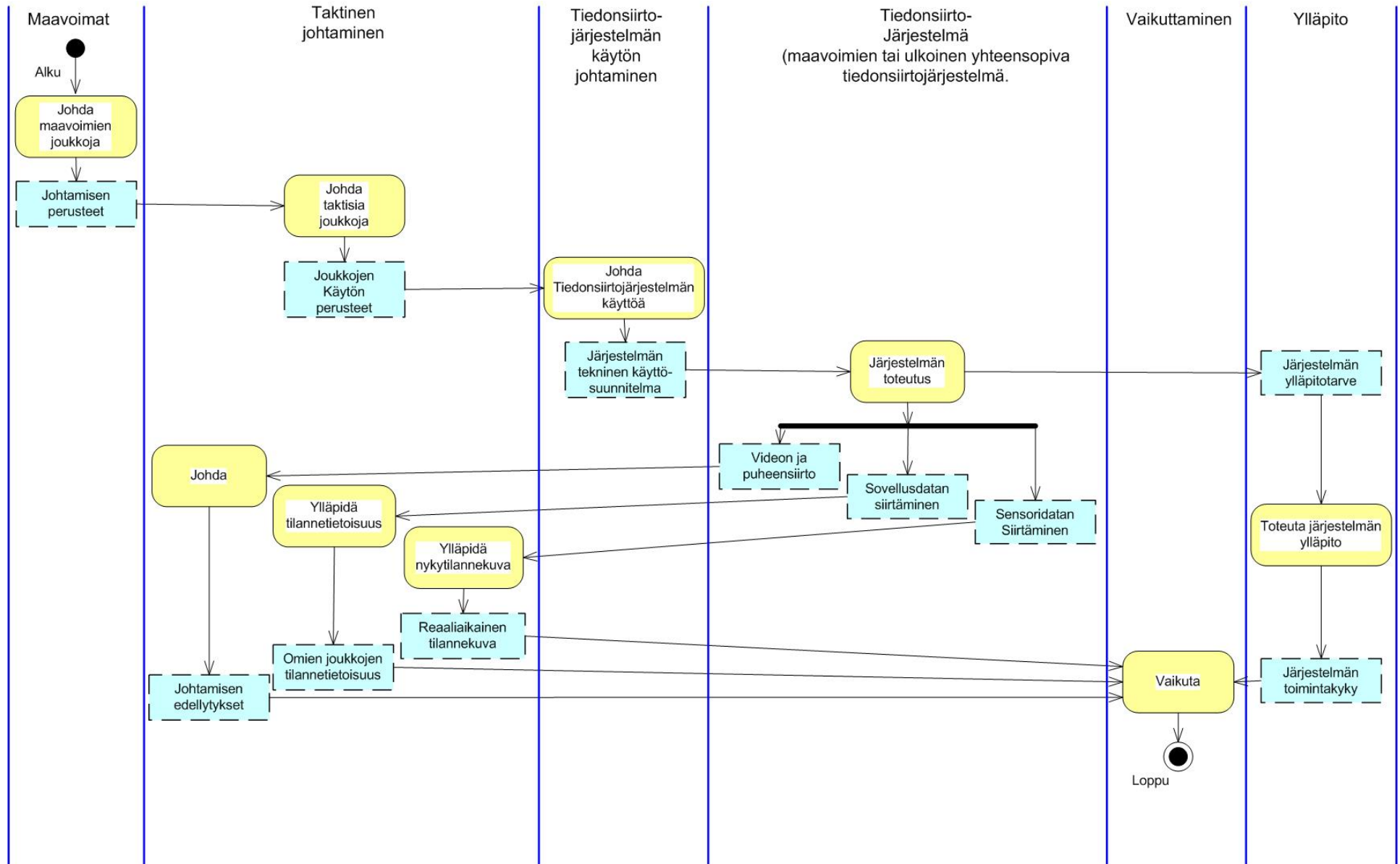
## MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURIKUVAUKSEN TOIMINNALLINEN AKTIVITEETTIMALLI (PvOV-5)



KUVA 1: Maavoimien toiminnallisen aktiviteettimallin yleiskuva

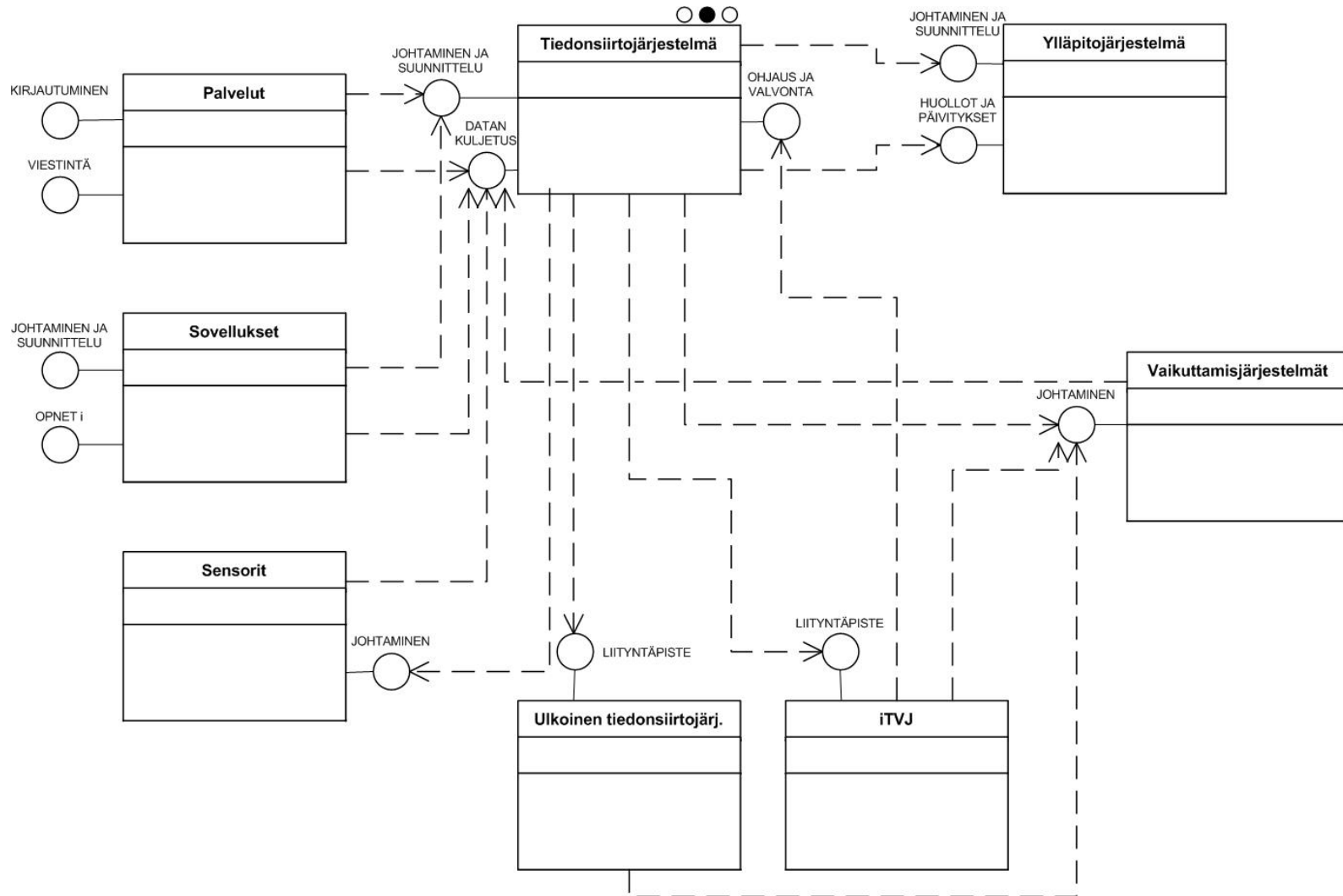


KUVA 2: Suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon aktiviteettimalli

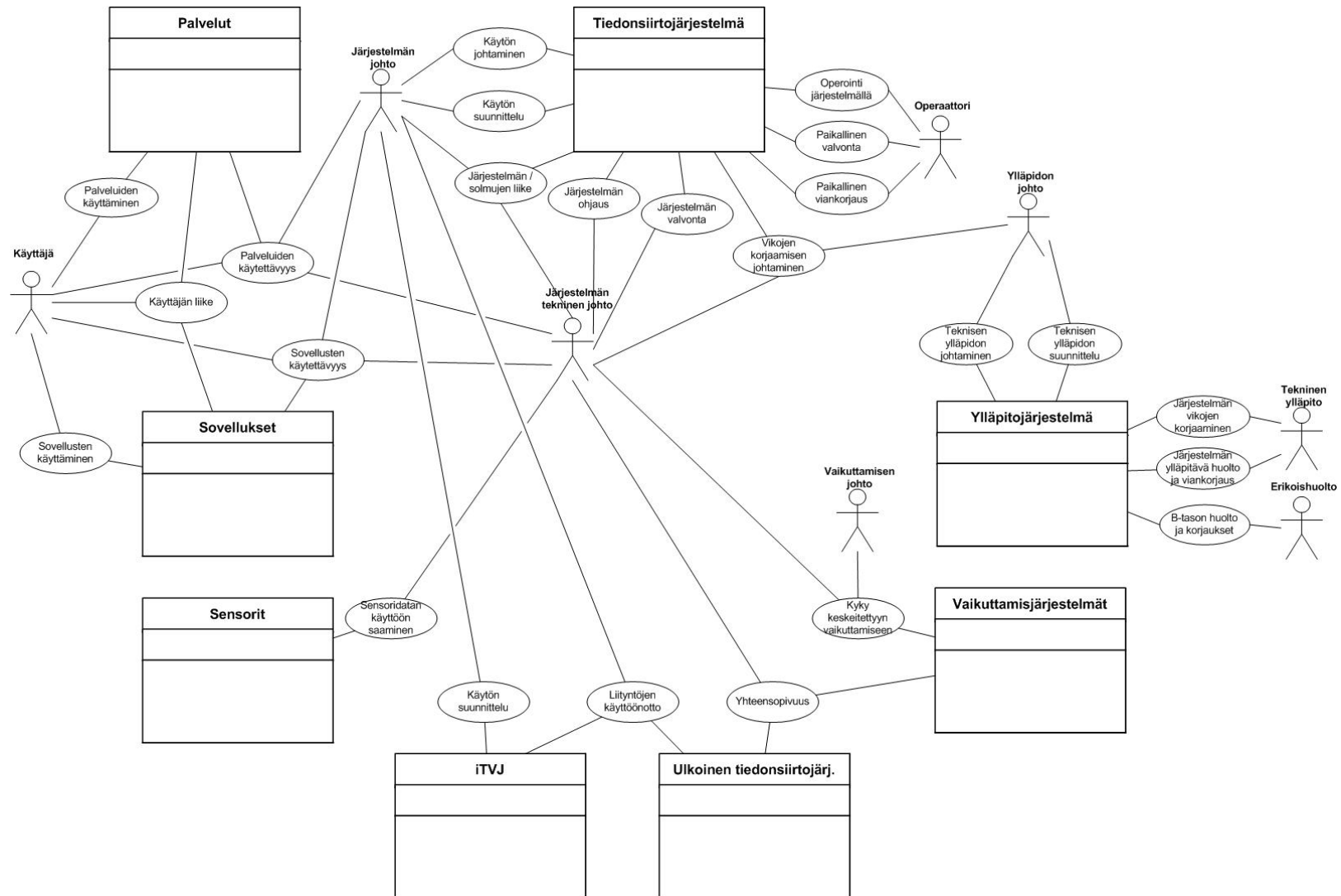


KUVA 3: Maavoimien suorituskyvyn käyttämisen aktiviteettimalli

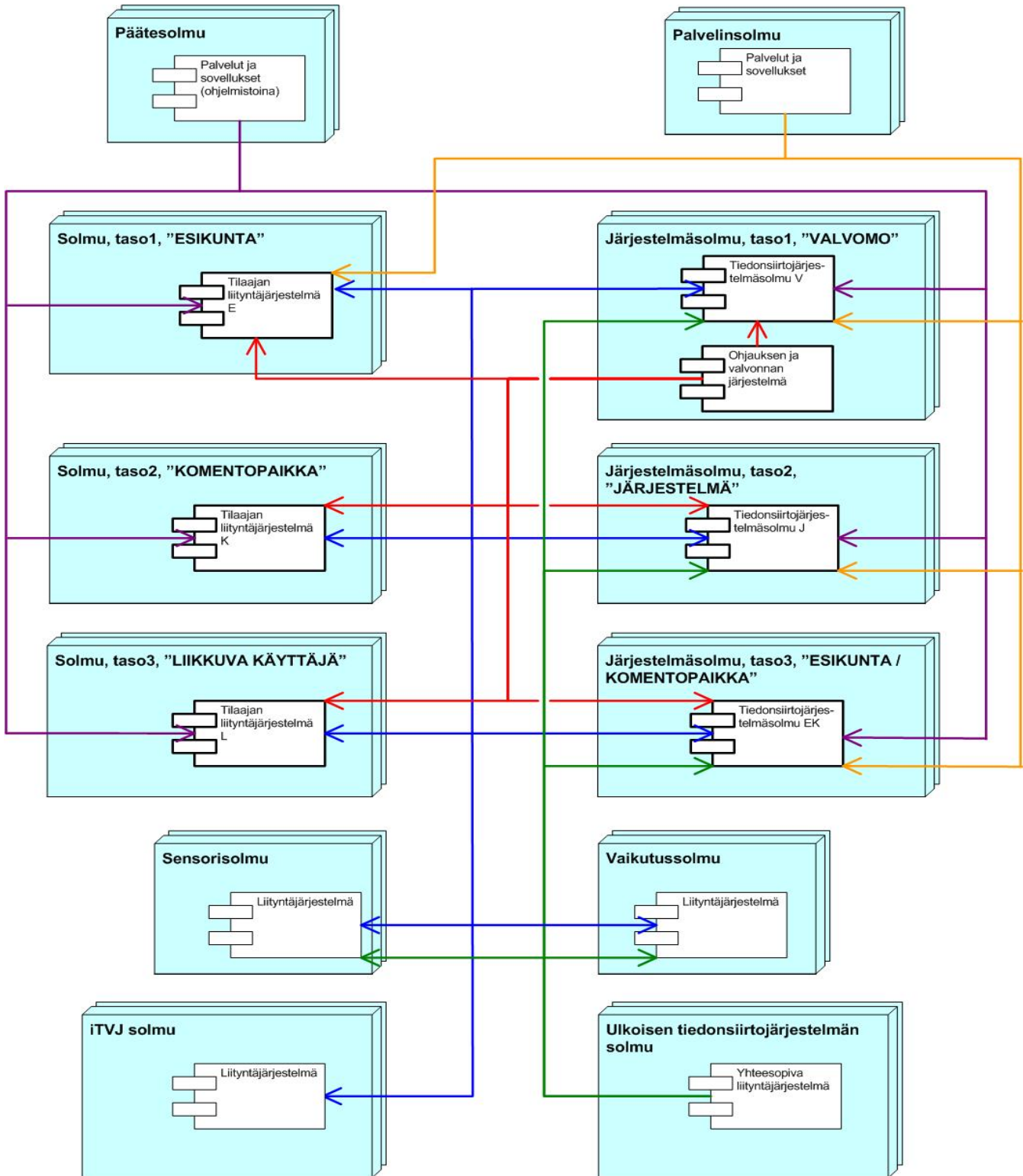
MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURIKUVAUKSEN JÄRJESTELMIEN TOIMINNALLISUUDEN LUOKKAKAAVIO (1/PvSV-4)



MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURIKUVAUKSEN JÄRJESTELMIEN TOIMINNALLISUUDEN KÄYTTÖTA-  
PAUSKAAVIO (2/PvSV-4)



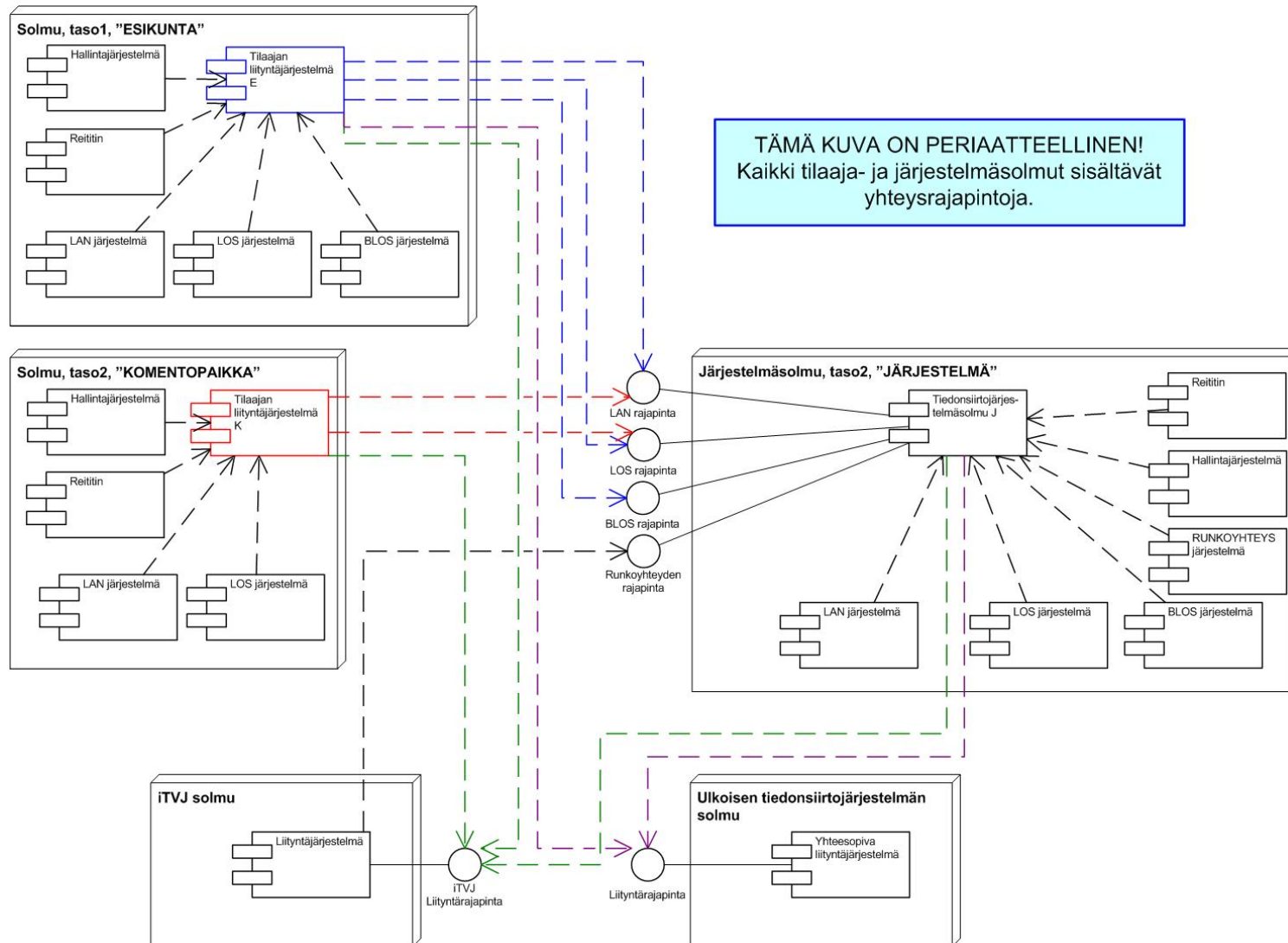
MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURIN SOLMUJEN, JÄRJESTELMIEN JA KÄYTTÄJÄYMPÄRISTÖJEN LIITTYMINEN TOISIINSA



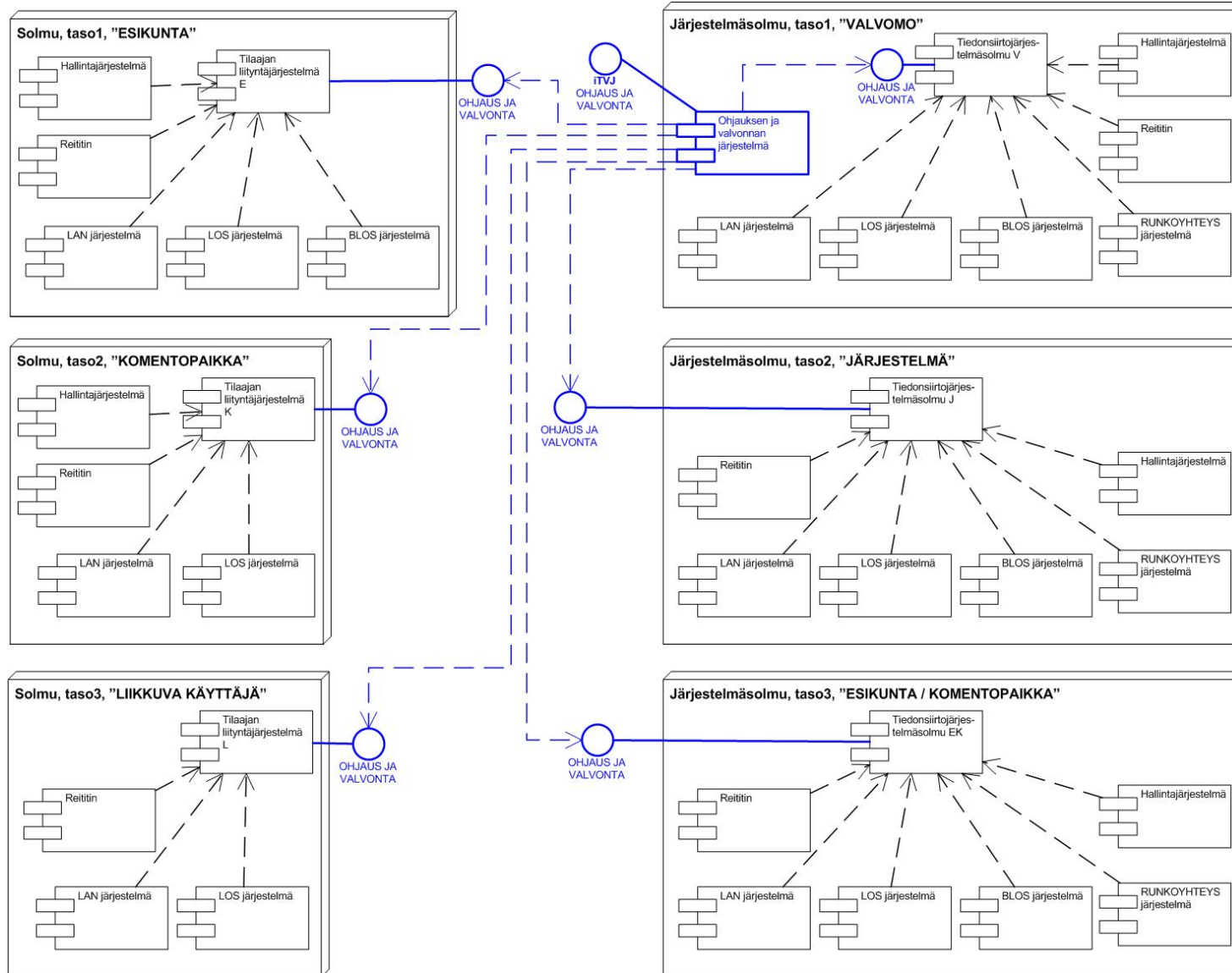
(HUOM. Tämä kuva on epäformaali, eikä sitä ole laadittu PVTAK määritysten mukaisesti)



## MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURIKUVAUKSEN TIEDONSIIRRON RAJAPINNAT (1/PsSV-1)



## MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURIKUVAUKSEN OHJAUKSEN JA VALVONNAN RAJAPINNAT (2/PsSV-1)



MAAVOIMIEN TIEDONSIIRTOJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURIKUVAUKSEN PALVELUIDEN JA SOVELLUSTEN RAJAPINNAT (3/PsSV-1)

