

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**PANSSAROIDUN PYÖRÄAJONEUVON TILANNETIETOISUUDEN PARANTAMINEN SENSOREILLA**

Kandidaatintutkielma

Kadetti  
Visa Laitinen

Kadettikurssi 97  
Maavoimien johtamisjärjestelmälinja

Maaliskuu 2013

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi	Linja
Kadettikurssi 97	Maavoimien johtamisjärjestelmälinja
Tekijä	
Kadetti Visa Laitinen	
Tutkielman nimi	
<b>Panssaroidun pyöräajoneuvon tilannetietoisuuden parantaminen sensoreilla</b>	
Oppiaine, johon työ liittyy	Säilytyspaikka
Sotatekniikka	Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika Maaliskuu 2013	Tekstisivuja 25 Liitesivuja 4
<b>TIIVISTELMÄ</b>	
<p>Sodan kuvan muutos on luonut haasteen vastata informaatioajan taistelukentän vaatimuksiin. Ratkaisuna tähän nähdään verkostokeskeinen sodankäynti, jonka tärkeimpiä käsitteitä on tilannetietoisuus. Tilannetietoisuus perustuu oikeaan tilannekuvaan, jonka muodostuminen panssaroiduissa pyöräajoneuvoissa on haastavaa, koska se perustuu pääsääntöisesti ajoneuvon johtajan tekemiin havaintoihin. Erilaisilla sensoreilla on mahdollista parantaa panssaroidun pyöräajoneuvon tilannekuvaa, ja täten luoda edellytykset tilannetietoisuuden muodostumiselle.</p> <p>Tutkimuksen pääkysymyksenä on, kuinka panssaroidun pyöräajoneuvon tilannetietoisuutta saadaan parannettua sensoreilla. Tämän lisäksi tutkimuksessa vastataan alakysymyksiin, mitä ovat optroniset sensorit, ja miten tilannetietoisuutta saadaan välitettyä ajoneuvosta ja ajoneuvon. Tutkimuksessa käsitellään optronisia sensoreita ja tiedonsiirtoa VHF-radioverkossa sekä USB-laitteella. Tutkimusmenetelmänä on kirjallisuustutkimus, jonka lähtökohtana on hyödynnetty alan painettuja perusteoksia. Näitä on täydennetty muun muassa verkkojulkaisuilla.</p> <p>Panssaroidun pyöräajoneuvon tilannetietoisuuden parantamiseksi voidaan käyttää videokameraa, valonvahvistinta ja lämpökameraa. Näistä optronisista sensoreista lämpökamera tarjoaa suurimman yksittäisen hyödyn verrattuna videokameraan ja valonvahvistimeen. Lämpökameran toiminta on riippumaton valaistusolosuhteista toisin kuin videokamera ja valonvahvistin. Lämpökameroiden erojen takia on selvitettävä, minkälainen laite soveltuu parhaiten Suomen olosuhteisiin. Parhaiten tilannetietoisuutta saadaan parannettua sensorilla, joka yhdistää edellä mainittujen sensorien kuvat.</p> <p>Nykyiset tiedonsiirtotekniikat luovat haasteita sensorien luoman tilannekuvan siirtämiselle. Esimerkiksi videokuvan siirtäminen VHF-radioverkkoa käyttäen ei ole mahdollista nykyisin käytössä olevalla tekniikalla. Erilaisten radiotekniikoiden kehittymisen myötä VHF-radioverkkojen tiedonsiirtokapasiteetti kasvaa, mutta videokuvan siirtäminen kyseistä kanavaa pitkin ei liene mahdollista. USB-muistin käyttäminen tiedonsiirtämiseen taistelukentällä mahdollistaa suuren tietomäärän siirtämisen kerralla, mutta edellyttää taistelulähetin käyttöä, mikä lisää viivettä tiedon välittämiseen.</p>	
<b>AVAINSANAT</b>	
Sensori, videokamera, valonvahvistin, lämpökamera, panssaroitu pyöräajoneuvo, tiedonsiirto, tilannetietoisuus, tilannekuva	

# PANSSAROIDUN PYÖRÄAJONEUVON TILANNETIETOISUUDEN PARANTAMINEN SENSOREILLA

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
1.1	TUTKIMUKSEN NÄKÖKULMA, RAJAUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	2
1.2	TUTKIMUSMENETELMÄT .....	3
1.3	KESKEISET KÄSITTEET .....	4
<b>2</b>	<b>SENSORIT TILANNETIETOISUUDEN LÄHTEENÄ</b> .....	<b>5</b>
2.1	SENSORIEN TOIMINTAPERIAATTEET .....	5
2.2	SENSORIEN TYYPILLISET KÄYTTÖPERIAATTEET PANSSAROIDUISSA AJONEUVOISSA .....	11
2.3	TILANNETIETOISUUTTA PARANTAVIA SENSORIJÄRJESTELMIÄ .....	12
2.4	SENSORIEN KUVAN SIIRTÄMINEN AJONEUVON SISÄLLE .....	14
<b>3</b>	<b>AJONEUVO TIEDON LÄHTEENÄ JA VASTAANOTTAJANA</b> .....	<b>16</b>
3.1	TIEDON SIIRTÄMINEN VHF-KENTTÄRADIOVERKOSSA .....	16
<b>4</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>19</b>
4.1	JATKOTUTKIMUKSEN TARVE .....	24

LÄHTEET

LIITTEET

## LYHENTEET

A/D-muunnin	Analogia-digitaalimuunnin
AMV	Armoured Modular Vehicle. Patrian valmistama panssaroitu, modulaarinen pyöräajoneuvo
APC	Armoured Personnel Carrier. Panssaroitu pyöräajoneuvo
b/s	Bittiä sekunnissa
CCD	Charge-Coupled Device. Valonherkkä kenno, jota käytetään muun muassa video- ja digitaalikameroissa
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor. Kuvagensori, jota käytetään joissakin digitaalikameroissa
CMYG	Cyan Magenta Yellow Green. Väriavaruus, joka koostuu syaanista, magentasta, keltaisesta ja vihreästä
Gbit/s	Gigabittiä sekunnissa, $10^9$ bit/s
HF	High Frequency. Radiotaajuusalue 3 MHz:stä 30 MHz:iin
JOSA	Johtamissanoma
K	Kelvin, lämpötilayksikkö ( $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$ , $0\text{ °C} = 273,15\text{ K}$ )
kbit/s	Kilobittiä sekunnissa, $10^3$ bit/s
LV	Lähetin-vastaanotin
MATI	Maavoimien tietojärjestelmä
MB/s	Megatavua sekunnissa, $10^6$ B/s (1 B = 8 bit)
Mbit/s	Megabittiä sekunnissa, $10^6$ bit/s
MHz	Megahertsi, $10^6$ Hz
nm	Nanometri, $10^{-9}$ m
PC	Personal Computer. Yleensä Windows-pohjainen tietokone
RGB	Red Green Blue. Väriavaruus, joka koostuu punaisesta, vihreästä ja sinisestä
USB	Universal Serial Bus
VHF	Very High Frequency. Radiotaajuusalue 30 MHz:tä 300 MHz:iin
YVI	Yhtymän viestijärjestelmä, jääkäriprikaatien käyttämä, sotilaalliseen käyttöön tarkoitettu viestimateriaalilla rakennettu viestijärjestelmä
$\mu\text{A/lm}$	Mikroampeeri suhteessa luumeniin, virta suhteessa valovirtaan
$\mu\text{m}$	Mikrometri, $10^{-6}$ m

## **KUVAT**

- Kuva 1 Toisen ja kolmannen sukupolven valonvahvistinputkien suhteellinen herkkyys eri aallonpituuksilla
- Kuva 2 Lämpökameran toiminnallinen kulkukaavio
- Kuva 3 Lämpökameran pyyhkäisijöiden toiminta
- Kuva 4 Kamerajärjestelmän esittely Universal Engineering Ranger ajoneuvossa DSEI 2009 -näyttelyssä
- Kuva 5 Rheinmetall SAS Situational Awareness System
- Kuva 6 Theon Sensors NX-145 -valonvahvistin
- Kuva 7 Sagem MATIS SP -lämpökamera
- Kuva 8 Sagem MATIS STD -lämpökamera
- Kuva 9 Zeiss ATTICA-P -lämpökamera

# PANSSAROIDUN PYÖRÄAJONEUVON TILANNETIETOISUUDEN PARANTAMINEN SENSOREILLA

## 1 JOHDANTO

Varsinkin länsimaisessa sotateoreettisessa ajattelussa sodan kuvan muutos on luonut haasteen vastata informaatioajan taistelukentän vaatimuksiin. Ratkaisuna tähän nähdään verkostokeskeisyys. 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” [41]. Verkostokeskeisyyden kehittäminen on siis yksi keskeinen haaste myös puolustusvoimissa. [15]

Tilannetietoisuus on yksi tärkeimmistä käsitteistä verkostokeskeisessä sodankäynnissä. Sanoetaan, että sodan voittaa se, jolla on parempi tilannetietoisuus [13]. Tilannetietoisuus perustuu tilannekuvan muodostumiseen. Tilannekuva tarkoittaa tietyistä tilanteesta saatujen kuvien ja käsitysten yhdistelmää. Se sisältää sekä tilanneilmoitukset että johtajan itse tekemät havainnot ja muut tiedot esimerkiksi kartalla tai tietokoneen ruudulla. Myös tarkentavat tiedot havainnoista, taustainformaatio omista ja vihollisen joukoista esimerkiksi taulukko- tai piirrosmuodossa kuuluvat tilannekuvan muodostumiseen. [7]

Tarkasteltaessa panssaroitujen pyöräajoneuvojen tilannetietoisuutta havaitaan, että ajoneuvon johtajan tilannetietoisuus ajoneuvon ympäristön tapahtumista on usein huomattavasti parempi kuin muulla ajoneuvon miehistöllä. Tämä johtuu pääosin siitä, että johtajan pää on ajoittain ulkona ajoneuvosta, mikä mahdollistaa muita paremman havainnoinnin. Muiden ajoneuvossa olijoiden, etenkin kuljetettavan jalkaväkiryhmän, tilannetietoisuus perustuu käytännössä ajoneuvon johtajan suulliseen informaatioon ja sen tulkintaan. Jalkaväkiryhmän tilannetietoisuutta olisi mahdollista parantaa asentamalla ajoneuvoon isot ikkunat, jotka mahdollistaisivat ajoneuvon ympäristön havainnoinnin. Nykyisten panssarilasien käyttäminen tähän tarkoitukseen ei ole kuitenkaan mahdollista ballistisen suojan asettamien vaatimuksien takia. [4] Panssa-

roidun pyöräajoneuvon tulee suojata miehistöään vähintään sirpaleilta, kivääricaliiperisilta panssariluodeilta ja panssarimiinoilta [33].

Ajoneuvossa kuljetettavan jalkaväkiryhmän ohella ajoneuvon miehistön tilannetietoisuuden parantaminen on tärkeää, koska ajoneuvoa voidaan taistelukentällä uhata kaikista suunnista. [26] Ajoneuvon miehistön on tiedettävä, mitä ajoneuvon ympärillä tapahtuu voidakseen vastata näihin uhkiin ja selviytyäkseen taistelukentällä. Panssaroidun pyöräajoneuvon tuottamalla tilannekuvalla voi lisäksi olla suuri merkitys ylemmän johtoportaalle tilannetietoisuudelle, jonka muodostuminen saa alkunsa alaisilta saaduista tiedoista vihollisesta, oli sitten kyseessä tiedustelujoukolta saadut tai taistelevien joukkojen välittämät tiedot. Tässä ajoneuvon sensoreilla, kuten lämpökameralla, tehdyt havainnot voivat esimerkiksi varmentaa tai tarkentaa yksittäisen sotilaan tekemiä havaintoja vihollisesta. Myös ajoneuvon tarjoama paikkatieto on hyödyllistä informaatiota ylemmälle johtoportaalle.

### **1.1 Tutkimuksen näkökulma, rajaus ja tutkimuskysymykset**

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan mahdollisuuksia parantaa panssaroidun pyöräajoneuvon tilannetietoisuutta sensoreilla. Tutkimuksessa käsitellään erityisesti modulaarisen panssaroidun pyöräajoneuvon, Patria Armoured Modular Vehiclen (AMV, puolustusvoimissa mallimerkinällä XA-360) miehistön tilannetietoisuuden parantamista. Tutkimuksessa käsitellään myös kyseisillä sensoreilla luodun tilannekuvan siirtämistä ajoneuvosta ja ajoneuvoon tilannetietoisuuden parantamiseksi.

Tilannetietoisuuden välittäminen taistelutilanteessa radioverkkoja pitkin on alttiina elektroniselle sodankäynnille. Tässä tutkimuksessa elektronista sodankäyntiä tarkastellaan kuitenkin ainoastaan VHF-radioverkkoon vaikuttamisen kannalta välttämättömin osin, joten elektronisen sodankäynnin komponenttien täysivaltainen tarkastelu jää tarkoituksella tutkimuksen ulkopuolelle.

Sensoreilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa ainoastaan optronisia sensoreita eli kameraa, valonvahvistinta ja lämpökameraa. Valonvahvistimista käsitellään toisen ja kolmannen sukupolven valonvahvistinputkia. Lämpökameroiden toimintaperiaatteista tarkastellaan kolmannen sukupolven laitteita. Tämä johtuu siitä, että kyseiset sukupolvet ovat nykyisin pääsääntöisesti käytetyimmät sotilaslaitteissa ja laite-esimerkit edustavat edellä mainittuja tekniikoita [14; 30; 31; 33; 38]. Tiedonsiirtojärjestelmistä tässä tutkimuksessa käsitellään puolustusvoimissa käytössä olevaa VHF-radiokalustoa, tarkemmin Tadiran-tuoteperheen digitaalisia radi-

oita, ja USB-tiedonsiirtotekniikkaa. Lisäksi tarkastellaan videokuvan siirtämistä ajoneuvon sisällä. Tutkimuksen näkökulma on tekninen, joten aiheen taktinen ja taistelutekninen tarkastelu jätetään tietoisesti tutkimuksen ulkopuolelle.

Tutkimuksen pääkysymyksenä on:

- Kuinka panssaroidun pyöräajoneuvon tilannetietoisuutta saadaan parannettua sensoreilla?

Alakysymyksiä ovat:

- Mitä ovat optroniset sensorit?
- Mitkä ovat optronisten sensorien tyypilliset käyttöperiaatteet panssaroiduissa ajoneuvoissa?
- Miten sensoreilla luotua tilannetietoisuutta saadaan välitettyä ajoneuvosta ja ajoneuvoon?

Tutkielman toisessa luvussa perehdytään optronisten sensoreiden tekniikkaan ja ensimmäiseen alakysymykseen. Toisessa luvussa käsitellään myös toista alakysymystä sekä tiedonsiirtoa ajoneuvon sisälle ajoneuvon sensoreista. Tutkielman kolmannessa luvussa vastataan kolmanteen alakysymykseen ja esitellään kaksi mahdollista tekniikkaa siirtää tilannetietoisuutta ajoneuvojen ja eri johtoportaiden välillä. Neljännessä luvussa esitetään johtopäätökset ja vastataan tutkimuksen pääkysymykseen toisen ja kolmannen luvun pohjalta.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmä on kirjallisuustutkimus. Tässä tutkimuksessa kirjallisuustutkimuksella esitetään kokonaiskuva optronisista sensoreista ja tiedonsiirtojärjestelmistä. Kirjallisuustutkimuksessa aikaisemmin tuotettua tietoa etsitään, analysoidaan, luokitellaan ja käytetään tutkimuksen pohjana [20]. Tutkimuksen lähtökohtana käytetään Jorma Jormakan ja Antti Rissasen toimittamaa *State-of-the-Art in Sensors*, Timo Kakkolan *Valonvahvistimet ja lämpökamerat* sekä Jyri Kosolan ja Tero Solanteen *Digitaalinen taistelukenttä* -julkaisuja. Tutkimusaineistoa laajennetaan verkkolähteillä ajankohtaisuuden parantamiseksi.

Aikaisempaa tutkimusta panssaroidun pyöräajoneuvon tilannetietoisuudesta ei ole tehty Maanpuolustuskorkeakoulussa. Jarkko Mussaaren kadettitutkielma *Nyky aikaisten tiedusteluajoneuvojen sensorijärjestelmät ja niiden käyttömahdollisuudet valmiusprikaatissa* sivuaa tutkimusta sensorijärjestelmien osalta. Peter Bullin, Per Eliassonin ja Martin Norsellin konferenssijulkaisussa *Tactical Optical Information System – improving situational awareness in-*



*side an APC* esitetään Ruotsin Försvarshögskolanissa tehdyn tutkimuksen tulokset videokamerajärjestelmien käytettävyydestä panssaroidun ajoneuvon tilannetietoisuuden parantamiseksi.

Lähdemateriaalina käytetty kirjallisuus on pääsääntöisesti 2000-luvun puolivälistä ja se kestää lähdekriittisen tarkastelun melko hyvin. Samoja asioita käsitteleviä lähteitä on verrattu toisiinsa mahdollisten ristiriitojen löytämiseksi. Tämän lisäksi käytettyjen verkkolähteiden tietojen luotettavuutta on arvioitu kirjallisuuslähteiden pohjalta. Suurin lähdekriittinen tarkastelu on kohdistettu valmistajien tuote-esitteiden tietoihin.

### 1.3 Keskeiset käsitteet

**Panssaroidulla pyöräajoneuvolla** tarkoitetaan tässä tutkielmassa kevyesti panssaroitu pyörälustaista (yleensä 6 tai 8 pyöräinen) miehistönkuljetus-, tiedustelu- tai taistelujoneuvoa, esimerkiksi Patria AMV:ta.

**Sensori** on laite, jonka tehtävänä on muuttaa kohteesta mitattava fysikaalinen suure, kuten lämpösäteily tai valo digitaalisesti näytejonoksi [19].

**Sähkömagneettinen spektri** on kaiken sähkömagneettisen säteilyn, kuten radio- ja mikroaaltojen, infrapunasäteilyn, näkyvän valon sekä ultraviolett-, röntgen- ja gammasäteilyn taajuuksien joukko [19]. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan näkyvän valon, infrapunaa ja radioaaltojen aluetta sähkömagneettisesta spektristä.

**Tilannetietoisuus** on käsitys vallitsevasta tilanteesta. Tilannetietoinen tietää, miten oma ja vihollisen toiminnan vuorovaikutus on järjestynyt sekä, mitä toimenpiteitä tulee käynnistää tai miten pitää toimia. Tilannetietoisuus edellyttää ulkoa tulevan informaation, omien resurssien ja suorituskyvyn tietämistä. [7]

**Tiedonsiirtojärjestelmä** on järjestelmä, jolla siirretään dataa, puhetta tai vastaavaa analogisessa tai digitaalisessa muodossa esimerkiksi radioaaltoja hyväksikäyttämällä.

## 2 SENSORIT TILANNETIETOISUUDEN LÄHTEENÄ

Sensorijärjestelmien toiminta perustuu maalin lähettämän tai maalista heijastuvan fysikaalisen suureen vastaanottoon ja tulkintaan. Mitattava suure voi olla esimerkiksi mekaaninen aaltoliike, paine tai sähkömagneettinen säteily. [19] Optroniset sensorit mittaavat sähkömagneettista säteilyä, kuten maalista heijastuvaa näkyvää valoa tai maalin säteilemää lämpösäteilyä. Optroniikalla tarkoitetaan teknologiaa, jossa optiikka ja elektroniikka yhdistetään [43]. Optronisten sensorien tärkeimpiä osia ovat optiset komponentit. Optiikan tehtävänä on kerätä mahdollisimman paljon maalista tulevasta säteilyenergiasta ja kohdentaa se ilmaisimelle, jossa sähköinen signaali muutetaan videosignaaliksi. [19; 14] Videosignaali lähetetään tämän jälkeen monitorille käyttäjän tulkittavaksi.

### 2.1 Sensorien toimintaperiaatteet

Tässä tutkimuksessa käsitellään kolmea erilaista sensorityyppiä, joita voidaan käyttää Patria AMV -ajoneuvossa. Näitä ovat digitaalinen videokamera, lämpökamera ja valonvahvistin. [8] Näiden sensorien toimintaperiaatteet eroavat toisistaan osittain. Videokamerat havaitsevat pääosin kohteesta heijastuvaa valoa, kun taas lämpösensorit havaitsevat kohteiden itsensä säteilemää lämpöä, jota kaikki luonnossa olevat kohteet säteilevät. Valonvahvistimen toiminta taas perustuu näkyvän valon ja lähi-infrapuna-alueen säteilyn vahvistamiseen. [19; 26; 35]

#### Videokamera

Videokamerat käyttävät pääosin samaa aallonpituutta kuin ihmissilmä [26]. Toisin sanoen ne havaitsevat kohteesta heijastuvaa näkyvää valoa (aallonpituus 400 - 780 nm) [29]. Kamera muodostuu komponenteista, joita ovat linssi ja valonherkkä laite [25]. Kameran linssille saapuva informaatio kohteesta heijastuvasta valosta (kohteen sijainti ja valon intensiteetti) muutetaan elektronisiksi signaaleiksi [5]. Kohteesta heijastuva valo muutetaan kuvasensorissa, joka sisältää pikseleitä, elektronien liikkeeksi. Yleisimmin käytössä on kaksi erilaista kuvasensoritekniikkaa, Charge-Coupled Device (CCD) ja Complementary Metal-Oxide Semiconductor (CMOS). [2; 28]

CCD- ja CMOS-sensorit eivät tunnista värejä, vaan muodostavat kohteesta harmaasävykuvan heijastuvan säteilyn voimakkuuden mukaan. Värit saadaan kuvaan asentamalla kuvasensorin eteen värisuodatin, jonka avulla kuvasensori pystyy muodostamaan värisävy jokaiselle pikselille. Kaksi yleisintä värisuodatintyyppiä ovat Red-Green-Blue (RGB) ja Cyan-Magenta-

Yellow-Green (CMYG) -suodattimet. RGB-suodatin käyttää kolmen päävärin punaisen, vihreän ja sinisen yhdistelmiä muodostamaan lähes kaikki ihmissilmällä havaittavat värit. [2; 28]

CCD-sensorissa valo (varaus), joka osuu sensorin pikseleihin, siirretään sirulta vain yhden tai muutaman uloslähtöpisteen kautta. Varaukset muunnetaan jännitetasoiksi, puskuroidaan ja siirretään eteenpäin analogisena signaalina. Tämän jälkeen signaalia vahvistetaan ja muunnetaan numeroiksi eli digitaaliseksi tiedoksi analogia-digitaalimuuntimessa (A/D-muunnin) sensorin ulkopuolella. CMOS-sensorissa vahvistus ja A/D-muunto tapahtuu itse sensorissa, toisin kuin CCD-sensorissa. [2] Kuvagensoreista saatu digitaalinen tieto siirretään näytölle, josta käyttäjä voi katsella videokuvaa joko reaaliajassa tai nauhoitettuna.

### **Valonvahvistin**

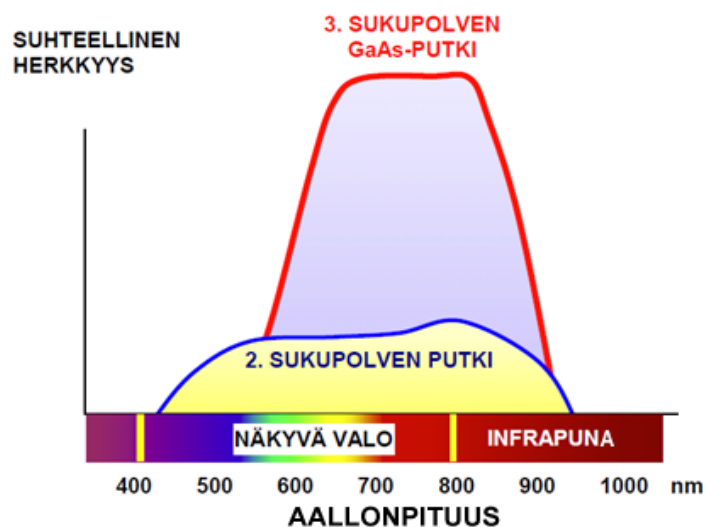
Valonvahvistimet vahvistavat yleensä näkyvän valon ja lähi-infrapunan alueella kohteesta heijastuvaa säteilyä, joten niiden toiminta perustuu luonnon normaaliin taustavalaistukseen. Toisin kuin lämpökamera valonvahvistin ei toimi, jos sitä käytetään täysin valottomassa ympäristössä. Vastaavasti liiallinen valomäärä vahingoittaa laitetta. [19; 43] Valonvahvistimen toiminta perustuu kohteesta heijastuvan säteilyn fotonien keräämiseen laitteen linssillä, jonka jälkeen ne muutetaan elektronien liikkeeksi valokatodissa. Tämän jälkeen elektronien liike monistetaan ja muutetaan takaisin valoksi, jolloin näkeminen hämärään onnistuu. Valonvahvistimet muuttavat myös silmälle näkymätöntä lähi-infrapunasaiteilyä elektronien liikkeeksi, sillä ne toimivat yleensä 400 - 850 nm:n alueella. Tästä syystä infrapunavalon säteily havaitaan selkeästi valonvahvistimella. Valonvahvistinputket ovat pienikokoisia, rakenteeltaan monimutkaisia komponentteja, jotka sijoitetaan optisen laitteen osaksi. [14; 28] Rakenteensa perusteella ne jaetaan eri sukupolviin, joista tässä tutkimuksessa käsitellään toista ja kolmatta sukupolvea.

Toisen sukupolven valonvahvistinputkiin on asennettu mikrokanavalevyt (micro channel plate, MCP), jotka monistavat elektroneja. Mikrokanavalevyjen käyttö mahdollistaa pienten ja kevyiden valonvahvistimien valmistamisen, mutta aiheuttaa kohinan lisääntymisen laitteessa. Mikrokanavalevy on joukko miljoonia pieniä, onttoja lasiputkia, jotka muodostavat itsenäisiä kanavia. Yhteenjuotetut lasiputket muodostavat ohuen levyn, jonka toiminta perustuu siihen, että primaarielektronit kiihdytetään valokatodilta kohti mikrokanavalevyä. Osuessaan mikrokanavalevyn kanavien seinämiin primaarielektronit synnyttävät toisioelektroneja, jotka liikkuvat kanavassa eteenpäin. Toisioelektronit jatkavat seinämiin törmäämistä, mikä synnyttää lisää toisioelektroneja. [28] Tästä syystä mikrokanavalevyjen käyttö parantaa huomattavasti

valonvahvistimen intensiteettiä verrattuna ensimmäisen sukupolven valonvahvistinputkiin [14].

Kolmannen sukupolven valonvahvistinputkien oleellisin ero aikaisempiin sukupolviin on valokatodimateriaali, jona käytetään Gallium-Arseenia (GaAs) tai Indium-Gallium-Arseenia (InGaAs). Tämän ansiosta putken herkkyys voi olla jopa yli  $1500 \mu\text{A}/\text{lm}$ , mikä on noin kolme kertaa herkempi kuin toisen sukupolven putkissa. Herkkyyden paremmuus verrattuna toisen sukupolven valonvahvistinputkiin johtuu GaAs:n ja InGaAs:n paremmasta vasteesta lähi-infrapunasäteilyyn. [19; 28] Tosin kolmannen sukupolven valonvahvistinputkien signaali-kohinasuhde voi olla heikompi kuin toisen sukupolven putkilla, toisin sanoen valonvahvistimen kuvasta tulee rakeisempi. Tämä johtuu siitä, että mikrokanavaputken sisääntuloon on asennettu ioniestekalvo, joka estää ioneja palaamasta mikrokanavaputkesta takaisin ja vahingoittamasta valokatodia. Näin pyritään lisäämään putken elinikää. [14]

Valonvahvistimen herkkyyteen vaikuttava valokatodin materiaali vaikuttaa myös käytettävään aallonpituuteen. Kuvassa 1 on esitetty toisen ja kolmannen sukupolven valonvahvistinputkien suhteelliset herkkyydet ja niiden toiminta-aallonpituudet. Kuten kuvasta 1 käy ilmi, toisen sukupolven valonvahvistinputkien aallonpituusalue on leveämpi kuin kolmannen sukupolven putkilla. Toisen sukupolven valonvahvistimien suhteellinen herkkyys on kuitenkin heikompi kuin kolmannen sukupolven laitteilla. Kolmannen sukupolven valonvahvistimet kykenevät näkemään lähi-infrapuna-alueelle, jossa yötaivaan valoteho on voimakkaimmillaan. Kolmannen sukupolven laitteiden etuina toiseen sukupolveen verrattuna ovat paremman herkkyyden lisäksi suurempi käytettävissä oleva valoteho ja parempi kontrasti. [14; 19]

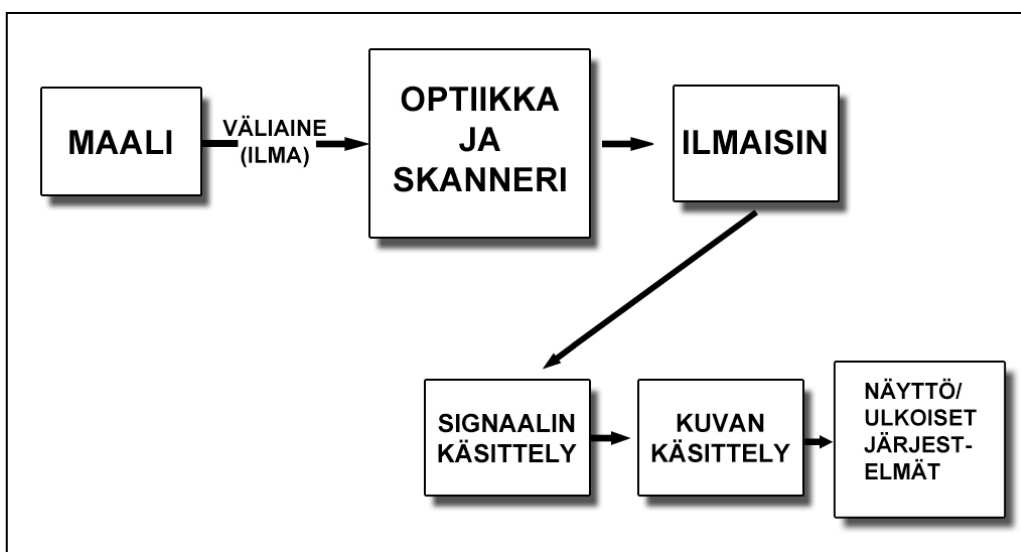


Kuva 1. Toisen ja kolmannen sukupolven valonvahvistinputkien suhteellinen herkkyys eri aallonpituuksilla [19]

Valonvahvistin on tällä hetkellä ja lähitulevaisuudessa tärkein pimeänäkölaite. Tulevaisuudessa valonvahvistinputkien herkkyyttä ja vahvistusta ei todennäköisesti juurikaan kasvateta, vaan erottelukyvyn ja häiriönsiedon parantaminen on kehityksen tavoite. Nykyisillä vahvistinputkilla päästään lähes ihmisen näköaistin erottelukyvyn, mutta vain kapealla näkökentällä ( $40^\circ$ ). Tulevaisuudessa näkökenttää pyritään leventämään ilman erotuskyvyn huononemista. Uusimpien vahvistinputkien fotoelektronien kiihdytysjännite on pulssitettu, ja pulssin leveyttä säädetään valaistuksen mukaan. Tällaiset valonvahvistimet sopeutuvat sekunnin murto-osassa valoisuuden muutoksiin. Valonvahvistimiin tullaan tulevaisuudessa myös lisäämään CCD-ilmaisimia, jotta laitteen tuottamaa kuvaa voidaan siirtää ja tallentaa sähköisesti. [33]

## Lämpökamera

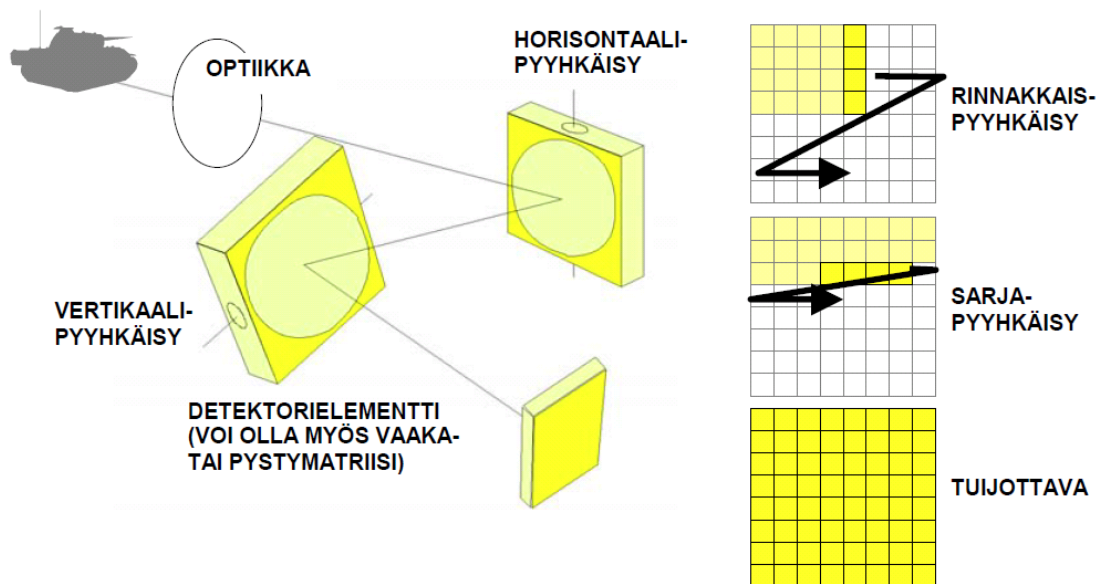
Lämpökamerat muodostuvat eri komponenteista, joita ovat kuvausoptiikka, ilmaisimien vahvistin ja näyttö. Kuvassa 2 on kuvattu lämpökameran toiminta kulkukaaviona. Kuvausoptiikka, joka koostuu linssistöstä, kerää kohteen säteilemän säteilyn ilmaisimelle. Kuvassa 2 tämä on kuvattu optiikka ja skanneri -laatikolla. Käytettävä aallonpituudet ovat termisellä infrapuna-alueella ( $3 - 5 \mu\text{m}$  ja  $8 - 12 \mu\text{m}$ ). Tästä syystä linssin materiaalina ei voi käyttää tavallista lasia, koska se suodattaa yli  $2,7 \mu\text{m}$ :n aallonpituudet pois. [28] Alemmalla  $3 - 5 \mu\text{m}$ :n alueella voidaan käyttää piitä tai sinkkiselenidiä, mutta  $8 - 12 \mu\text{m}$ :n alueella on käytettävää germaniumia, joka on edellisiä noin kaksi kertaa kalliimpaa. [19; 33] Objektiivi muodostaa siis lämpökuvan ilmaisimelle, josta sähköinen signaali muutetaan videosignaaliksi. Käsitelty signaali siirretään näytölle, jossa eri lämpötilat ja emissiivisyydet näkyvät erilaisina kirkkautsina. Kuvassa 2 sama on esitetty kulkuna ilmaisimelta signaalin käsittelyn kautta kuvan käsittelyyn ja sieltä näytölle tai ulkoisille järjestelmille. [28]



Kuva 2. Lämpökameran toiminnallinen kulkukaavio [43]

Lämpökamerat jaetaan ilmaisintyyppin mukaan kahteen ryhmään, kvantti- ja termisiin ilmaisimiin, mikä on käytännössä samalla jako jäähdytettäviin ja jäähdyttämättömiin ilmaisimiin. [14; 19; 26] Suurin osa kvantti-ilmaisimista pitää jäähdyttää erittäin matalaan toimintalämpötilaan (noin 70 K, 200 K tai 230 K). Sotilassovellutuksissa käytetään edelleen lähes yksinomaan kvantti-ilmaisimia, koska yleisen käsityksen mukaan termisillä ilmaisimilla ei saavuteta riittävää suorituskykyä. Nykyisillä termisillä ilmaisimilla saavutetaan kuitenkin erittäin hyvä kuvan laatu tapauksissa, joissa taustan lämpötila on noin 300 K (+27 °C). Terminen ilmaisimien pidetään tasalämpöisenä, esimerkiksi +20 °C, ja sitä jäähdytetään tai lämmitetään ympäristön lämpötilan mukaan. [14]

Jos lämpökamera perustuu yksielementtiseen ilmaisimeen, täytyy sensorissa olla pyyhkäisy-mekanismi, joka projisoi elementille kuvan yhdestä pisteestä kerrallaan. Kuten kuvassa 3 on esitetty, pyyhkäisymekanismi perustuu pyöriin peileihin, joilla selataan koko kuva-alue läpi. Tällöin ilmaisinelementille tulee fotoneita yhdestä kuvan pisteestä vain hyvin lyhyen aikaa. Jos elementtejä on useampia, voidaan kutakin kuvapistettä tarkastella pidempään ja saada kerättyä enemmän fotoneita. Lämpökameran toiminta voi perustua myös tuijottavalle matriisille (staring array), jossa yhtä kuvapistettä kohti on yksi ilmaisinelementti. Tuijottava lämpökamera ei tarvitse pyyhkäisijää ja se saa pyyhkäiseviä laitteita paremman signaalin maalista, koska kuvan osa näkyy koko ajan ilmaisimatriisille. [14; 19]



Kuva 3. Lämpökameran pyyhkäisijöiden toiminta [19]

Kuvassa 3 esitetyt rinnakkais- ja sarjapyyhkäisy ovat tuijottavan ja pyyhkäisevän lämpökameran välimuotoja. Niissä saadaan kuva useammasta pisteestä kerrallaan, mutta koko kuvan muodostamiseksi laitteeseen tarvitaan myös pyyhkäisijät. Nykytekniikka mahdollistaa ilmaisimatriisien, joiden koko on 512x512 tai jopa 1024x1024 elementtiä, valmistuksen. Näi-

den sensorien etuna on paremman herkkyuden lisäksi se, ettei pyyhkäisymekaniikkaa tarvita, mikä laskee laitteen hintaa huomattavasti hienomekaniikkaan tukeutuvaan järjestelmään verrattuna. [19]

Lämpökameratekniikan käytössä laitteiden suorituskykyyn vaikuttavat muun muassa maalin lämpötila, pintamateriaalin emissiivisyys, koko, muoto, liike ja kontrasti. Tämän lisäksi suorituskykyyn vaikuttavat sääolosuhteet, näkyvyys sekä havaintoetäisyys. [43] Sotilaskäyttöön tarkoitettujen lämpökameroiden tulee taistelukentän epäpuhtauksien, kuten savun ja pölyn, takia kyetä toimimaan myös ylemmän ilmakehän ikkunan, eli 8 - 12  $\mu\text{m}$  aallonpituusalueella. Käytettävän lämpökameran käyttöympäristö ja -tarkoitus määrittää sen, minkälaisen spektrisen vasteen valittavan laitteen tulee kattaa. Edulliset olosuhteet voidaan luokitella ilmakehän ikkunoille. Taulukossa 1 on esitetty ilmakehän ikkunoiden soveltuvuus erilaiseen toimintaan. [14]

Taulukko 1: Ilmakehän ikkunoiden soveltuvuus IR-alueen tähystykseen erilaisissa olosuhteissa ja käyttötarkoituksissa [14]

	3 - 5 $\mu\text{m}$	8-12 $\mu\text{m}$
Meri-ilmast	x	
Kylmä ilmast		x
Pitkät etäisyydet	x	
Pöly ja savu taistelukentällä		x

Taulukon 1 jaottelu perustuu erilaisten olosuhteiden aiheuttamiin vaimennuksiin ilmakehässä. 8 - 12  $\mu\text{m}$ :n aallonpituusalueella toimivien lämpökameroiden pölyn ja savun läpäisy perustuu suhteellisen pitkän aallonpituuden parempaan läpäisyyn, kun savupartikkelien läpimitta on noin 0,5  $\mu\text{m}$  ja pölyn noin 1 - 10  $\mu\text{m}$ . 3 - 5  $\mu\text{m}$ :n alueella toimivat lämpökamerat taas toimivat paremmin meri-ilmastossa, koska suuri ilmankosteus aiheuttaa merkittävää vaimennusta 8 - 12  $\mu\text{m}$ :n alueella. Kylmän ilmastin suhteellisen vähäinen ilmankosteus mahdollistaa toiminnan 8 - 12  $\mu\text{m}$ :n alueella. [19]

Ympäristön olosuhteiden ohella lämpökameran aallonpituusalueen valintaan vaikuttaa todennäköisen kohteen lämpötila. Kohteet lähettävät lämpösäteilyä kaikilla aallonpituuksilla, mutta aallonpituus, jolla säteily on voimakkainta, riippuu lämpötilasta. Esimerkiksi kohteiden, joiden lämpötila on lähellä taustaympäristönsä lämpötilaa (noin 27 °C), lähettämän säteilyn aallonpituus on luonnossa ylemmän ilmakehän ikkunan alueella eli noin 10  $\mu\text{m}$ . 600 - 1000 °C lämpöisen kohteen lämpösäteilyn aallonpituus on vastaavasti alemman ilmakehän ikkunan

alueella. Erilämpöisten kohteiden laskennallisia lämpösäteilyn intensiteettimaksimeja on esitetty liitteessä 2. Lämpötilan intensiteettimaksimi saadaan Wienin siirtymälain mukaisesti kaavasta, jonka mukaan lämpötilan kasvaessa aallonpituus lyhenee [19]:

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \mu\text{m}, \text{ jossa } T \text{ on kohteen lämpötila Kelvineissä}$$

Lämpökameroiden yksityiskohtien erottelukyky paranee tulevaisuudessa infrapunailmaisimien koon ja matriisien pikselimäärien sekä yleisen laskentakapasiteetin kasvun seurauksena. Tämä pidentää lämpökameroiden luokittelu- ja tunnistusetäisyyksiä. Ilmaisimien koon kasvaessa myös laitteiden näkökenttä laajenee, mikä parantaa niiden käytettävyyttä ja käyttäjän tilannetietoisuutta. Jäähdytettyjen lämpökameroiden herkkyyttä ei enää juurikaan saada kasvatettua, joten laitteiden havaitsemisetäisyydet eivät kasva. Jäähdyttämättömien lämpökameroiden suorituskyky paranee edelleen, ja niitä aletaan käyttää enemmän perussovelluksissa, joilta vaaditaan pimeätoimintakykyä edullisesti. Samanaikaisesti usealla aallonpituuskaistalla toimivat kaksi- ja moniväri-ilmaisimet tulevat operatiiviseen käyttöön. Tällaiset laitteet kestävät hyvin soihtuhäirintää ja vaikeuttavat huomattavasti maakohteiden naamiointia. [33]

Yksittäisten laitteiden kehityksen ohella kehitetään havaintolaitteita, jotka yhdistävät edellä esitettyjen optronisten sensorien eli näkyvän valon (VIS), lähi-infrapunan (NIR) ja termisen infrapunan (TIR) ilmaisimien signaalit, ja tuovat ilmaisimien tuottamat kuvat yhdelle näytölle. Kyseisissä laitteissa yhdistyvät VIS-alueen hyvä resoluutio, NIR-alueen keinotekoisia kohteita korostava kontrasti ja TIR-alueen kuva, joka paljastaa lämpimät kohteet. Laitteet tulevat käyttöön 5 - 10 vuoden kuluttua, vaikka ensimmäisiä yhdistelmälaitteita on jo testattu. [33]

## 2.2 Sensorien tyypilliset käyttöperiaatteet panssaroiduissa ajoneuvoissa

Videokameroiden käytetään panssaroiduissa ajoneuvoissa tavallisesti pelkästään ajajan avustamiseen esimerkiksi peruuttamisessa, kuten CV90-sarjan vaunuissa. Kameran on linkitetty ajoneuvon sisällä oleviin näyttöihin. [4] Tosin Patria AMV-ajoneuvoon on mahdollisuus saada asennettua neljä videokameraa, joista kaksi kuvaa sivuille, yksi eteen ja yksi taakse. Näistä eteen ja taakse kuvaavia kameroita käytetään pääsääntöisesti ajajan avuksi, mutta sivuille kuvaavat kamerat parantavat miehistötilassa kuljetettavien sotilaiden tilannetietoisuutta ajoneuvon ympäristön tapahtumista. [8]

Videokameroiden tavoin valonvahvistimia käytetään nykyisin pääsääntöisesti ajoneuvon ajajan avustamiseen. Valonvahvistimella voidaan luoda ajajalle pimeätoimintakyky, koska va-



lonvahvistimella kyetään havaitsemaan kohteiden varjot. Tämä auttaa muun muassa ajolinjojen määrittämisessä [19]. Ajajan valonvahvistin on usein asennettu prisman paikalle. Valonvahvistimien käyttäminen asejärjestelmän osana, joko tähtäimenä tai muuhun havainnointiin, lämpökameran sijaan ei ole perusteltua. Tämä johtuu muun muassa siitä, että esimerkiksi valonvahvistimien havaintoetäisyydet ovat huomattavasti lämpökameroita heikompia [38].

Lämpökameroita käytetään panssaroiduissa ajoneuvoissa asejärjestelmien tähtäiminä [26]. Toisaalta lämpötähtäintä voidaan hyödyntää esimerkiksi myös muiden sotilaiden tekemien havaintojen tarkastamiseen. Tyypillinen kannettava lämpökamera pystyy huononkin näkyvyyden vallitessa havaitsemaan kohteen noin 1,6 kilometrin päästä tunnistusetaisyyden ollessa noin 400 metriä [14]. Ajoneuvokäyttöön tarkoitettujen lämpökameroiden havaintoetäisyys voi olla jopa yli viisinkertainen kannettaviin järjestelmiin verrattuna. Tämä mahdollistaa esimerkiksi reilusti yli kilometrin päässä olevien tiedustelijoiden havaintojen varmistamisen suojassa kivääricaliiperisten aseiden suora-ammuntatulelta. Asejärjestelmän tähtäimen ohella lämpökameraa voidaan käyttää ajoneuvon johtajan erillisenä tähtäimenä, kuten saksalaisessa Puma-rynnäköpanssarivaunussa [9].

### **2.3 Tilannetietoisuutta parantavia sensorijärjestelmiä**

Patria XA-360:n modulaarisuuden ansiosta ajoneuvoon on mahdollista asentaa lähes minkälaisia sensoreita tahansa [40]. Tästä syystä kyseiseen ajoneuvoon on tarjolla useita erilaisia sensorijärjestelmiä useilta eri valmistajilta. Tässä kappaleessa käsitellään neljää erilaista esimerkkisensorijärjestelmää, joilla ajoneuvon tilannetietoisuutta on mahdollista parantaa. Osa näistä järjestelmistä on jo käytössä puolustusvoimilla.

SAS Situational Awareness System on saksalaisen Rheinmetall Defence Electronics GmbH:n valmistama videokamerajärjestelmä, joka tarjoaa 360° panoraamisen tilannekuvan ajoneuvon miehistölle. Järjestelmä koostuu kahdesta moduulista, jotka molemmat kattavat vaakatasossa 180° alueen. Yhdessä moduulissa on kolme korkearesoluutiokameraa, vaihtoehtoisesti videokamerat voidaan korvata jäädyttämättömillä lämpökameroilla. [27] Yhden moduulin sijoittaminen ajoneuvon molemmille kyljille mahdollistaisi tilannekuvan paremman muodostumisen ajoneuvon sisällä, jos monitorit sijoitettaisiin moduulien kanssa samoille kyljille ajoneuvon sisälle. Näin ollen kameroiden välittämä kuva näkyisi oikeasta suunnasta. Haasteita asialle luo kuitenkin monitoreiden koko ja niiden sijoittaminen siten, etteivät ne haittaa muuta toimintaa ajoneuvon sisällä. [4]

SAS-järjestelmään on mahdollista yhdistää myös muita sensoreita, joiden avulla ajoneuvon tilannetietoisuutta saadaan parannettua lisää. Järjestelmä on yhteensopiva Rheinmetallin valmistamien akustisten sensoreiden kanssa. Järjestelmään on myös mahdollisuus liittää laservaeroitin. Järjestelmässä on integroitu videoverkko, joka mahdollistaa sensorien tuottaman kuvan siirtämisen näyttöön, joka voi sijaita missä tahansa paikassa ajoneuvossa. Lisäksi järjestelmään voidaan asentaa maalin seurantatoiminto. [27] SAS-järjestelmä ei ole käytössä Suomen puolustusvoimien XA-360 -ajoneuvoissa. Järjestelmä on kuitenkin mahdollista asentaa kyseisiin ajoneuvoihin, koska sekä ajoneuvo että järjestelmä ovat modulaarisia. [27; 40]. Kuva järjestelmästä on liitteessä 1.

Puolustusvoimien CV9030-rynnäköpanssarivaunussa ajajan valonvahvistimena käytetään kreikkalaisvalmisteisen Theon Sensors'n NX-tuoteperheen valonvahvistinta. Vaikka kyseistä laitetta ei voida suoraan asentaa XA-360 -ajoneuvoon, voi NX-tuoteperheen valonvahvistimen kiinnitysmekanismin todennäköisesti kehittää yhteensopivaksi myös kyseessä olevaan ajoneuvoon. [38] Panssaroiduissa pyöräajoneuvoissa, kuten Piranha APC:ssa, käytetään NX-tuoteperheen valonvahvistimia. Kyseiset valonvahvistimet käyttävät mallista riippuen toisen tai kolmannen sukupolven valonvahvistinputkia. [11]

NX-valonvahvistimet ovat rakenteeltaan modulaarisia ja niissä kaikissa on sama biokulaarinen linssi- ja kotelokoonpano. Biokulaarinen linssikokoonpano mahdollistaa valonvahvistimen tuottaman kuvan katsomisen 50 mm etäisyydeltä, joka ei rasita silmiä liikaa. Tuoteperheen valonvahvistimien näkökenttä on  $44^{\circ} \times 35^{\circ}$  (korkeussuunta  $\times$  leveysuunta) ja ne painavat mallista riippuen 7,3 - 9,6 kg. Valonvahvistimen kiinnitysmekanismi mahdollistaa laitteen kääntämisen 45 astetta keskikohdasta sekä oikealle että vasemmalle. Laite voidaan kytkeä suoraan ajoneuvon sähköjärjestelmään (22 - 32 voltin tasavirta) tai sitä voidaan käyttää 3 ja 2,7 voltin paristoilla. [11] Kuva NX-valonvahvistimesta on liitteessä 1.

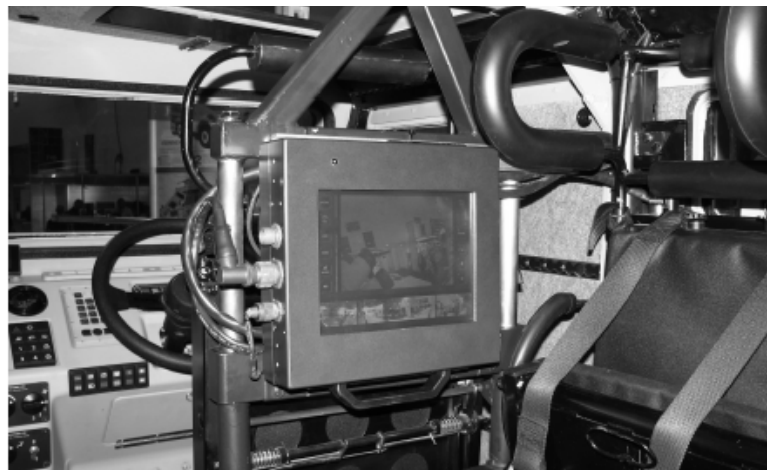
Patria XA-360:ssä käytössä olevaan Kongsberg Protector -torniin on asennettu Sagemin valmistama MATIS-tuoteperheeseen kuuluva lämpökamera [10; 22]. Tästä syystä MATIS-tuoteperheen lämpökamerat on valittu esimerkkisensoreiksi tähän tutkimukseen. MATIS-lämpökamerat toimivat aallonpituusalueella 3 - 5  $\mu\text{m}$  ja edustavat kolmannen sukupolven jäähdytettyjä lämpökameroita. [12; 30; 31] Ajoneuvokäyttöön tarkoitettut MATIS SP ja STD-lämpökamerat painavat 4,5 - 6 kilogrammaa [12]. Valmistaja lupaa MATIS SP ja STD-malleille yli 9 kilometrin havaintoetäisyyksiä, kun kohteena on taistelupanssarivaunu kameroiden tunnistusetäisyyden ollessa kolmesta yli viiteen kilometriin. SP-mallin laaja näkökenttä on  $9^{\circ}$  ja suurennettuna kapea näkökenttä  $3^{\circ}$ . Vastaavasti STD-mallin laaja näkökenttä on  $12^{\circ}$

ja kapea näkökenttä  $2,5^\circ$ . Elektroninen suurennus on molemmissa laitteissa kaksinkertainen. [12; 30; 31]

MATIS-tuoteperheen lämpökameroiden toimintaa rajoittaa se, että ne toimivat vain 3 - 5  $\mu\text{m}$  aallonpituusalueella. Käytettäessä pelkästään 3 - 5  $\mu\text{m}$  aallonpituusaluetta taistelukentän epäpuhtaudet, kuten pöly, voivat aiheuttaa ongelmia kohteen havaitsemisessa. Esimerkiksi Zeissin valmistaman ATTICA-P -lämpökamera toimii 8 - 12  $\mu\text{m}$  aallonpituusalueella. Kyseisen lämpökameran ilmaisin on MATIS-lämpökameroita suurempi (768x576 pikseliä) ja näkökenttä on suurennuksesta riippuen  $2,8 - 22,2^\circ$ . Laitteen näkökenttää voidaan tarpeen mukaan suurentaa joko kaksin- tai nelinkertaiseksi. Laitteessa on myös tehokas videoelektroniikka, joka pystyy käsittelemään dataa 200 megatavua sekunnissa (MB/s). Kyseiseen dataan sisältyy kuvankäsittely ja kameran ohjaus. ATTICA-P painaa alle 4,6 kilogrammaa ja se on käytössä ainakin Saksan puolustusvoimien rynnäkköpanssarivaunuissa. [9] Kuva MATIS- ja ATTICA-lämpökameroista on liitteestä 1.

#### 2.4 Sensorien kuvan siirtäminen ajoneuvon sisälle

Sensoreilla luotua tilannekuvaa on voitava siirtää myös ajoneuvossa mahdollisesti kuljetettaville sotilaille, joiden tilannetietoisuus perustuu tavallisesti tulkintaan ajoneuvon johtajan suullisesti välittämästä tilannekuvasta. Jalkaväen tilannetietoisuutta voidaan parantaa esimerkiksi liittämällä sensorit, kuten kamerat ja lämpökamerat, miehistötilassa oleviin näyttöihin. Useiden kameroiden tuottaman kuvan voi yhdistää yhdelle näytölle, jossa yhden kameran kuva näkyy isona ja muiden kameroiden kuvat pienempinä kuvina esimerkiksi pääkuvan alalaidassa. Näin tehtiin esimerkiksi Universal Engineeringin Ranger-ajoneuvossa. Kuten kuvasta 4 näkyy, kyseisen ajoneuvon miehistötilaan sijoitettu näyttö on kuitenkin melko pieni, mikä rajoittaa näytöltä tapahtuvan havainnoinnin lähimpänä näyttöä istuville henkilöille. [4]



Kuva 4. Kamerajärjestelmän esittely Universal Engineering Ranger-ajoneuvossa DSEI 2009 -näyttelyssä [4]

Videokuvaa voidaan siirtää sensoreilta ajoneuvoon analogisesti tai digitaalisesti. Analogisen videokuvan siirtämisessä videovirtaa siirretään sähköisenä signaalina yleensä joko koaksiaali-kaapelia tai kierrettyä parikaapelia pitkin. Ainoa tekninen haaste on saada sähköinen signaali kulkemaan haluttu matka. Kaapelointi on analogisessa kuvansiirrossa tähtiverkon muotoinen. Jokaiselle kameralle menee oma kaapelinsa tallenninlaitteelta tai videovaihteelta, eikä tiedonsiirtokapasiteetti muodostu tällöin ongelmaksi. Yleensä analogiset tiedonsiirron ongelmat johtuvat kaapelin katkeamisesta. [32]

Signaalin vaimennus määrittää analogisen kuvan siirtoetäisyyden. Koaksiaali- tai parikaapelia käytettäessä voidaan analogista kuvaa siirtää ilman erillistä signaalin välivahvistamista noin kaksisataa metriä. Välivahvistimia käyttäen voidaan siirtoetäisyyttä nostaa jopa kilometriin. Analogistakin kuvasignaalia voidaan siirtää valokaapelissa, jolloin siirtoetäisyydet voivat olla useita kilometrejä. Tämä vaatii kuitenkin valokaapelilähettimien ja vastaanottimien käyttöä. [32]

Verkkopohjaisessa tekniikassa kuvaa siirretään suoraan kameralta digitaalisessa muodossa verkon ylitse transmission control protocol / internet protocol -protokollaa (TCP/IP) hyödyntäen. Kyseistä tekniikkaa käytettäessä jokaisella verkon päätelaitteella, kuten kameroilla, reitittimillä ja näytöillä, on kiinteä IP-osoite, joiden avulla verkossa kulkeva tieto ohjautuu oikeisiin päätelaitteisiin. Digitaalisen kuvan siirtämistä tietoverkoissa rajoittaa eniten kaapeleiden ja siirtolaitteiden kapasiteetti. Suurin osa lähiverkoista on kaapeloitu siten, että suurin laskennallinen tiedonsiirtokapasiteetti on 100 Mbit/s. Tarvittavaan tiedonsiirtokaistan määrään (nopeuteen) vaikuttavat muun muassa verkossa olevien kameroiden määrä, pakkaustekniikan määräämä kuvatiedostojen koko ja kameroiden kuvatahti. Kahdeksan kameran videoverkolle riittää 100 Mbit/s:n lähiverkko. [3; 32]

### 3 AJONEUVO TIEDON LÄHTEENÄ JA VASTAANOTTAJANA

Ajoneuvon sensoreilla tuotettu tilannetieto on arvokasta ajoneuvon miehistön ohella ylemmälle johtoportaalalle ja muille taisteleville joukoille. Tästä syystä tilannetiedon välittäminen ajoneuvosta eteenpäin on hyvin tärkeää. Käytettävästä tiedonsiirtotekniikasta riippuen on kuitenkin päätettävä, mitä tietoa ajoneuvon ja eri johtoportaiden välillä halutaan siirtää. Tekniset ominaisuudet asettavat tämän suhteen tiettyjä rajoituksia, joita käsitellään tässä luvussa.

Käsiteltäessä tiedonsiirtoa ajoneuvon ja eri johtoportaiden välillä on tarkasteltava sekä tiedonsiirtoa ajoneuvosta että ajoneuvoon. Jos ajoneuvosta siirrettävä tieto on sensorien tuottamaa tilannekuvaa, voi ajoneuville lähetettävä tilannetieto olla esimerkiksi jääkäriyhmän johtajalta tulevaa tietoa vihollisesta tai ylemmältä johtoportaalta tulevaa tietoa eri joukkojen sijainnista. Teknisesti on kuitenkin yhdentekevää, mihin suuntaan tietoa siirretään. Valittava tiedonsiirtomenetelmä ei siis riipu siitä, onko ajoneuvo tiedon lähteenä vai vastaanottajana.

#### 3.1 Tiedon siirtäminen VHF-kenttäradioverkossa

Valmiusprikaatin kenttäradiojärjestelmä koostuu VHF- ja HF-taajuusalueen kenttäradioista ja niihin kytkettävistä laitteista. Käytössä olevat kenttäradiot ovat Tadiran-tuoteperheestä. VHF-radiona ajoneuvoissa on pääsääntöisesti käytössä vahvistimella varustettu ajoneuvoradio LV 341. Sotilasradioiden tiedonsiirtonopeudet ovat pieniä verrattuna nykyaikaisiin siviilitiedonsiirtoverkkoihin, mikä aiheuttaa haasteita sotilasradioiden käytettävyydelle tiedonsiirtoon. Puheen ja datan siirtäminen ajoneuvojen ja yksittäisten taistelijoiden välillä langattomasti onnistuu kuitenkin ilman kiinteää runkoverkkoa. [6] Tekninen kehitys ja kasvava tilannetietoisuuden merkitys taistelukentällä lisäävät vaatimuksia myös VHF-verkossa siirrettävälle tilannetiedolle.

Sotilasradioiden tiedonsiirtonopeuksien pienuus aiheuttaa rajoituksia sille, minkämuotoista tilannetietoa kannattaa ja on edes teknisesti mahdollista lähettää VHF-verkossa. Datan siirtokapasiteetti on sotilasradioilla vain muutamia kilobittejä sekunnissa [19]. Esimerkiksi YVI 2-järjestelmässä toimivalla MATI-liikenteellä kanavanopeus on vain 32 kbit/s ja käytössä olevien VHF-radioiden käytännön tiedonsiirtonopeus vain 2,4 - 9,6 kbit/s. [42] Kyseisiä nopeuksia voidaan kasvattaa käyttämällä uusia adaptiivisia modulointimenetelmiä, esimerkiksi monikantoaaltotekniikalla on saavutettu taktisen tiedonsiirron testeissä jopa 22,5 kbit/s nopeuksia noin 5 kHz kaistalla. Kaistanleveyttä kasvattamalla esimerkiksi 25 - 30 kHz:iin tiedonsiirtonopeus olisi yli 100 kbit/s. [34] Nykyisin esimerkiksi LV 241 ja 341

-radioissa teoreettiset datansiirtonopeudet ovat synkronisena 0,05 - 32 kbit/s ja asynkronisena 0,05 - 19 kbit/s [42]. Tämä ei vielä riitä videokuvan reaaliaikaiseen siirtämiseen, sillä pakkaamaton videokuvan kaistanleveys on noin 23 megabittia sekunnissa (Mbit/s) [4]. MPEG-2-standardilla pakatun, normaalilaatuisen televisiokuvan tiedonsiirtonopeuskin on vielä 3 - 5 Mbit/s [39].

Pienten tiedonsiirtonopeuksien ja aikaisemmin puuttuneiden järjestelmien vuoksi tilannetietoa on perinteisesti siirretty panssariajoneuvojen ja muiden johtoportaiden välillä VHF-verkossa puheella. Puheella on mahdollista välittää nopeasti esimerkiksi vihollistilannetietoja jääkäriryhmän johtajalta ajoneuvoon ja ajoneuvosta taas ylemmille johtoportaille. Nykyisten digitaalisten sotilasradioiden, kuten edellä mainitun LV 341:n ja LV 241:n, puhe on koodattu delta-modulaatiolla 16 kbit/s nopeudella [19; 42]. Tämä mahdollistaa puheen siirtämisen salattuna radioiden SEC-moodissa. Kyseisissä radioissa voidaan myös käyttää niin sanottua vokooderia, eräänlaista puhekoodekkia, joka muuttaa puheen hitaaksi, mutta hyvin virheenkorjatuksi datansiirroksi. Vokooderin datansiirtonopeutena voi olla joko normaalisti käytetty 2,4 kbit/s tai 4,8 kbit/s. Käytettäessä vokooderia ajoneuvon ja ryhmän välinen kommunikaatio radiolla ei kuitenkaan onnistu, jos ryhmällä on käytössä lähiradio LV 141, koska kyseisessä radiossa ei ole vokooderia. [42]

Kenttäradioverkon datansiirtokyky on hyvin riippuvainen etäisyyksistä. Lyhyimmillä yhteys-etäisyyksillä, joilla on optinen yhteys vasta-asemaan, voidaan datansiirtonopeuksien olettaa olevan lähellä teoreettisen nopeuden luokkaa. VHF-kaluston teoreettiset datansiirtonopeudet ovat synkronisena jopa 32 kbit/s ja asynkronisena korkeimmillaan 19 kbit/s. [6] Elektronisella sodankäynnillä, varsinkin elektronisella vaikuttamisella, voidaan vaikuttaa merkittävästi radioyhteyksien toimivuuteen. Radioverkon häiritseminen laskee samalla radioverkon datansiirtokykyä. [19]

Elektroninen häirintä kohdistuu aina järjestelmien vastaanottimiin. Estävä häirintä on erityisen haavoittavaa kenttäradioverkon datansiirtoa ajatellen, koska se supistaa häiritävän järjestelmän maksimitoimintaetäisyyttä. [18] Häirityissä olosuhteissa edes optinen yhteys vastaan-asemaan ei takaa korkeimpia datansiirtonopeuksia. Kuitenkin Tadiran-tuoteperheen digitaaliset kenttäradiot mahdollistavat taajuushypinnän (AJ-moodi) käytön, jolla häirinnän vaikutusta saadaan vähennettyä [6]. Taajuushypintäisien radioiden lähettimissä ja vastaanottimissa on virheenkorjausyksiköt, jotka lisäävät radioiden häiriöiden ja häirinnän kestävyyttä. Siedettävissä oleva lähetteen bittivirhesuhde riippuu radiosta ja yhteyden tyypistä. Puheensierrossa nykyiset hyppivätaajuiset kenttäradiot pystyvät sietämään noin 40 prosenttia kanavista olevan

häirittynä, datansiirrossa sietokynnys riippuu pienimmästä sallitusta nettosiirtonopeudesta. [19]

Varsinkin kenttäradioiden taktinen tiedonsiirtokyky tulee tulevaisuudessa kasvamaan. Edellä mainittujen adaptiivisten modulointimenetelmien, kuten monikantoaalto tekniikan, käyttöönotto parantaa tiedonsiirtonopeuksia jopa satoihin kilobitteihin sekunnissa, kun kaistanleveyttä kasvatetaan esimerkiksi 25 - 30 kilohertsiin. Tiedonsiirtonopeutta rajoittaa käytännössä todellinen signaali-kohinasuhde (Signal-to-Noise Ratio, SNR), jolla tarkoitetaan hyötysignaalin ja siihen summautuneen kohinan suhdetta. [19; 34] Voidaan kuitenkin olettaa datansiirtonopeuden nousevan 2020-luvulla jopa megabittiin sekunnissa. Tämän edellytyksenä on kuitenkin se, että häirintä- ja häiriötilanne ei ole vaikea ja taajuuskaistaa on riittävästi käytettävissä. Adaptiivinen ja dynaaminen taajuudenhallinta uuden sukupolven sotilasaaltomuodoissa mahdollistaa käytettävissä olevien taajuuksien tehokkaan hyödyntämisen. [33]

Kasvavan siirrettävän datamäärän vuoksi VHF-radioverkon sijaan voi olla perusteltua käyttää USB-muistia tilannetiedon siirtämiseen. Toisin kuin VHF-radioverkko, USB-muistit mahdollistavat suuren datamäärän siirtämisen kerralla. Esimerkiksi Kingston DataTraveler 6000 USB-muistin tallennuskapasiteetti on maksimissaan 16 gigatavua (GB). Kyseisessä muistissa on sisäänrakennettu, 256 bittinen, Advanced Encryption Standardin (AES) mukainen salaus. Sisäänrakennettu salaus kuitenkin vaikuttaa muistien tallennuskapasiteettiin, sillä salaamattomiin muisteihin voidaan tallentaa jopa 256 GB dataa. [16; 17]

USB-muistien käyttäminen mahdollistaa esimerkiksi videokuvan siirtämisen taistelukentällä. DataTraveler 6000 -muistin lukunopeus on 11 megatavua sekunnissa (MB/s) [16], mikä on riittävä esimerkiksi MPEG-2 -pakatun videon suoratoistamiseen muistilta [39]. Samanlaatuisen videokuvan suorataallentaminen kyseiselle USB-muistille on teoreettisesti mahdollista (muistin kirjoitusnopeus 5 Mbit/s) [16]. Käytännössä videon suorataallentaminen muistille saattaa kuitenkin aiheuttaa haasteita.

USB-muistia voidaan käyttää tiedonsiirtovälineenä, koska esimerkiksi MATI-järjestelmän Johla 08-sovelluksen päätelaitteet ovat PC-laitteita. Johla 08 on Windows-pohjainen sovellus. [37] Päätelaitteina voidaan käyttää esimerkiksi Panasonicin valmistamia Toughbook CF-U1 ja CF-19 -tietokoneita [21]. CF-U1-mallissa on yksi USB 2.0-portti ja CF-19-mallissa yksi USB 2.0 sekä yksi USB 3.0 -portti [23; 24]. USB 2.0-laitteiden teoreettinen tiedonsiirtonopeus on 480 Mbit/s, kun taas USB 3.0-laitteiden vastaava arvo on 5,0 Gbit/s. [1; 36]

## 4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Perinteisesti panssaroitujen pyöräajoneuvojen tilannetietoisuus perustuu ajoneuvon johtajan ilman lisälaitteita tekemiin havaintoihin. Vaununjohtaja joutuu usein tekemään havaintoja pää ulkona vaunusta asettaen näin itsensä suojaattomaksi. Peruskokoonpanossa kyseisissä ajoneuvoissa ei välttämättä ole minkäänlaisia havainnointia parantavia sensoreita. Jos kyseessä on pyöräalustainen rynnäkköpanssarivaunu, on vaunun sisällä kuljetettavan jalkaväkiryhmän tilannetietoisuus erittäin rajoittunutta. Erilaisilla sensoriratkaisuilla voidaan kuitenkin parantaa merkittävästi niin vaunumiehistön kuin jalkaväkiryhmänkin tilannekuvaa ja -tietoisuutta.

Patria XA-360 tarjoaa hyvän alustan etenkin vaunumiehistön tilannetietoisuudelle ja sen parantamiselle. Kongsberg Protector -asejärjestelmään asennetut lämpö- ja videokamerat tarjoavat ajoneuvon johtajalle ja ampujalle tietoa vaunun lähistön tapahtumista ilman vaununjohtajan altistumista tulivaikutukseen. Haasteen aiheuttaa kuitenkin kyseisten sensorien näkökentän rajoittuminen siihen, mihin suuntaan asejärjestelmä ja sensorien optiikka on suunnattuna. Lisäksi saadun tiedon välittäminen ajoneuvossa kuljetettavalle jalkaväkiryhmälle riittävän yksityiskohtaisesti ja selkeästi on kehityskohde. Kuten luvussa 2.4 mainitaan, perustuu jalkaväkiryhmän tilannetietoisuus usein ajoneuvon johtajan suulliseen informaatioon, joka on kyseisen henkilön tulkintaa tapahtumista ja voi täten olla vääristynyttä.

Digitaalisten videokameroiden käyttö panssaroitujen pyöräajoneuvon tilannetietoisuuden parantajana on mahdollista vain hyvien valaistus- ja sääolosuhteiden aikana. Kameroiden toiminta perustuu näkyvän valon aallonpituuksiin, eikä niillä ole minkäänlaista pimeätoimintakykyä ilman lisälaitteita. Kameroiden tarjoama värikuva voi kuitenkin lisätä tietyissä tapauksissa ajoneuvon miehistön tilannetietoisuutta, koska kameroiden erottelukyky on pääsääntöisesti hyvä.

Videokameroita hyödyntävistä sensorijärjestelmistä Rheinmetallin SAS on valmistajan mukaan monipuolinen järjestelmä, johon voidaan liittää useita erilaisia lisälaitteita. Järjestelmän kameroihin on mahdollista liittää jäähdyttämättömät lämpökameramoduulit, joiden käytöllä järjestelmään saadaan pimeätoimintakyky ja mahdollistetaan esimerkiksi naamioituneiden kohteiden havaitseminen lähes olosuhteista riippumatta. SAS:n modulaarisuus lisää järjestelmän huollettavuutta ja käytettävyyttä, koska se voidaan asentaa lähes mihin tahansa ajoneuvossa, ja rikkoontunut moduuli voidaan vaihtaa ilman, että koko järjestelmää on korjattava. Myös täyden 360° panoraamakuvan luominen vaatii vain kaksi kameramoduulia, jotka on asennettava ajoneuvon ulkopuolelle. Yhden kameramoduulin asentaminen kummallekin ajo-



neuvon kyljelle mahdollistaa ajoneuvon ympäristön tarkkailemisen riippumatta asejärjestelmän ja ajoneuvon liikkeistä.

SAS-järjestelmän sensoreilla tuotetun kuvan siirtäminen sensoreilta ajoneuvoon on toteutettu sisäänrakennetulla videoverkolla, joka mahdollistaa kuvan siirtämisen näyttöihin, jotka on voitu asentaa mihin tahansa ajoneuvossa. Tämän lisäksi järjestelmän suorituskykyä on mahdollista parantaa useilla lisäominaisuuksilla, joiden ostaminen järjestelmään lisännee kuitenkin kustannuksia liikaa. Edellä mainittujen jäähdyttämättömien kameramoduulien hankkiminen järjestelmään on kuitenkin perusteltua, jos järjestelmä asennetaan esimerkiksi XA-360-alustalle. Sekä näkyvän valon että termisen infrapunan alueella toimivien sensoreiden käyttö mahdollistaa kohteiden varmemman havaitsemisen ja tunnistamisen verrattuna vain yhden sensorin tuottamaan havaintoon.

Valonvahvistimet ovat yleisimpiä pimeänäkölaitteita, ja niiden käyttäminen tilannetietoisuuden parantamiseksi on perusteltua esimerkiksi lämpökameroihin verrattuna edullisen hinnan ja kevyen painon vuoksi. Valonvahvistimia käytetään jo nykyisin panssaroiduissa pyöräajoneuvoissa ajajan pimeänäkölaitteena. Tämä tulee jatkossakin olemaan valonvahvistimen pääkäyttökohde, koska näkyvän valon aallonpituudet, joita laite käyttää, eivät suodatu ajoneuvon lasipinnoista. Valonvahvistimen käyttöä ajajan pimeänäkölaitteena tukee myös valonvahvistimien tekninen kehitys, jonka suunta on kohti laitteita, joiden näkökenttä on nykyisiä laitteita laajempi. Tämä mahdollistaa ajajan paremman keskittymisen itse ajamiseen, koska laitetta ei tarvitse kääntää. Esimerkiksi Theon NX-valonvahvistinta on ajoittain käännettävä haluttuun suuntaan, koska laitteen näkökenttä on kapea. Kyseisen kaltaisten laitteiden käyttäminen ajajan valonvahvistimena on kuitenkin toistaiseksi perusteltua.

Valonvahvistimilla on myös mahdollista parantaa esimerkiksi ajoneuvossa kuljetettavan jalkaväkiryhmän tilannetietoisuutta hankkimalla jokaiselle ryhmän sotilalle oma laite. Tämän seurauksena jokaiselle ryhmän jäsenelle luotaisiin pimeätoimintakyky ja he voisivat tähyttää ajoneuvon ympäristöä esimerkiksi ajoneuvon prismojen kautta. Valonvahvistimien käytettävyyttä rajoittaa kuitenkin se, että ne ovat hyvin herkkiä valomäärän äkillisille muutoksille, kuten suuliekeille, räjähdyksille tai ajovaloille. Valonvahvistimien käyttäminen päiväsaikaan on mahdotonta, koska liiallinen valomäärä saattaa vahingoittaa laitetta. Vastaavasti valonvahvistimet eivät toimi täysin valottomissa olosuhteissa. Näistä syistä valonvahvistinten käyttäminen tilannetietoisuuden parantajina on perustelematonta, jos tavoitteena on saada yksittäisellä sensorilla aikaiseksi paras mahdollinen tilannekuva.

XA-360:n kokoonpanoon kuuluu lämpökamera, mutta se on käytössä asejärjestelmän tähtäimenä, mikä heikentää laitteen käytettävyyttä tilannetietoisuuden parantamiseksi. Lämpökamera on riippuvainen asejärjestelmän liikkeistä, eikä sillä täten ole mahdollista tähyttää muita kohteita, kun asejärjestelmää käytetään. Tähän haasteeseen on useissa panssaroiduissa ajoneuvoissa vastattu asentamalla ajoneuvon johtajalle oma tähystyslaite, joka on usein lämpökamera.

Ajoneuvon johtajan lämpökameraa harkittaessa tarkastelu tulee kohdistaa nykyaikaisiin, kolmannen sukupolven lämpökameroihin. Kolmannen sukupolven laitteiden tekniset ominaisuudet ovat huomattavasti toisen sukupolven laitteita parempia, ja tästä syystä laitteiden suorituskyky on parempi kuin toisen sukupolven laitteilla. Yhtenä harkittavana vaihtoehtona tulee olla puolustusvoimilla jo käytössä olevan MATIS-tuoteperheen lämpökamerat. Tuoteperheen laitteet ovat melko suorituskykyisiä valmistajan ilmoittamien havainto- ja tunnistusetäisyyksien mukaan. Tämän lisäksi valmistajan mukaan MATIS-lämpökamerat ovat edullisia. Laitteet ovat myös hyvin kevyitä, josta syystä niiden asentaminen johtajan erilliseksi tähystimeksi ei vaikuta juurikaan asejärjestelmän painoon.

MATIS-tuoteperheen laitteiden heikkoutena on niiden melko pienet ilmaisimien koot ja näkökentän suppeus verrattuna eräisiin laitteisiin, kuten Zeissin ATTICA-tuoteperheeseen. Lisäksi MATIS-lämpökamerat toimivat 3 - 5  $\mu\text{m}$ :n aallonpituusalueella ja ovat täten herkkiä taistelukentällä esiintyville epäpuhtauksille, kuten pölylle ja savulle. Käytettävän laitteen tulisi toimia myös ylemmän ilmakehän ikkunan eli 8 - 12  $\mu\text{m}$ :n alueella. Tämä kuitenkin nostaa laitteiden hintaa, koska ylemmässä ikkunassa toimivien laitteiden linssi joudutaan valmistamaan kalliimmasta materiaalista kuin alemmassa ikkunassa toimivien.

Suomen olosuhteet huomioon ottaen käytettävän lämpökameran ei ole ehdottomasti toimittava sekä 3 - 5 että 8 - 12  $\mu\text{m}$ :n aallonpituusalueella. Ylemmän ilmakehän ikkunan alueella toimiva lämpökamera on ominaisuuksiltaan sopivampi Suomen olosuhteisiin kuin MATIS-lämpökamerat, ainakin teoriassa. 8 - 12  $\mu\text{m}$ :n aallonpituusalueella toimivat laitteet soveltuvat ilmakehän ikkunan ominaisuuksien puolesta hyvin kylmään ilmastoon. Myös pölyn ja savun aiheuttama vaimennus ei ole yhtä merkittävää ylemmässä ilmakehän ikkunassa. Heikkoutena ikkunan alueella on kuitenkin pitkille etäisyyksille tähyttäminen, mutta Suomen maaston peitteisyys ei usein mahdollista pitkiä tähytsetäisyyksiä. 8 - 12  $\mu\text{m}$ :n alueella toimivat laitteen käyttämistä tukee myös todennäköisten kohteiden lämpösäteilyn intensiteettimaksimi, joka on noin 9  $\mu\text{m}$ .

Edellisessä kappaleessa mainittujen asioiden takia MATIS-lämpökameroiden ohella on tarkasteltava Zeissin ATTICA-P -lämpökameran käytettävyyttä XA-360:n lämpökamerana. Kuten luvusta 2.4 käy ilmi ATTICA-P käyttää 8 - 12  $\mu\text{m}$ :n aallonpituuksia ja laitteen erottelukyky on MATIS-lämpökameroita parempi, koska laitteen ilmaisimen koko on suurempi. ATTICA-P tarjoaa teoriassa parempaa tilannekuvaa kuin MATIS-lämpökamerat, koska laitteissa on paremman ilmaisimen lisäksi MATIS-lämpökameroita laajempi näkökenttä.

Lämpökameroiden kehityksen takia on arvioitava, milloin on perusteltua hankkia uusia järjestelmiä puolustusvoimille. Laitteiden erottelukyky paranee, ja käyttöön tulevat kaksi- ja moniväri-ilmaisimet, jotka tuovat lisäarvoa tilannetietoisuuden paranemiselle erilaisten kohteiden havaitsemisen kautta. Tämän lisäksi etenkin jäädyttämättömien lämpökameroiden suorituskyky paranee. Kyseiset laitteet ovat halvempia kuin perinteiset, jäädytetyt lämpökamerat. Alemmat yksikköhinnat mahdollistavat useampien laitteiden hankkimisen. Onkin arvioitava, saadaanko tilannetietoisuutta parannettua enemmän pienellä määrällä huipputeknisiä laitteita, jotka ovat kalliita, vai suurella määrällä edullisia laitteita, joiden suorituskyky ei täysin vastaa parhaimpia laitteita.

Tutkimukseen valituista kolmesta optronisesta sensorista suurimman yksittäisen hyödyn tilannetietoisuuden parantamiselle tarjoaa lämpökamera, koska sitä voidaan käyttää riippumatta valaistusolosuhteista. Sen havaintoetäisyydet ovat myös huomattavasti parempia kuin esimerkiksi valonvahvistimilla. Kuitenkin tulevaisuudessa joko seuraavan panssaroidun pyöräajoneuvon hankinnan tai XA-360-kaluston modernisoinnin yhteydessä on tarkasteltava VIS-, NIR- ja TIR-alueen kuvat yhdistäviä sensorijärjestelmiä. Yksittäisten optronisten sensorien kehityksen hidastuessa eri sensorien kuvia yhdistelevien laitteiden merkitys korostunee. Kyseiset laitteet ovat kuitenkin markkinoille tullessaan todennäköisesti kalliita verrattuna perinteisiin optronisiin sensoreihin. Laitteiden hinta nousseekin karsivaksi tekijäksi harkittaessa niiden hankkimista puolustusvoimille.

Sensorien kuva on voitava ensisijaisesti siirtää ajoneuvon sisälle, jossa sillä voidaan parantaa jalkaväkiryhmän tilannetietoisuutta merkittävästi. Teknisesti videokuvan siirtäminen ajoneuvon asennetuista sensoreista ajoneuvon sisälle on melko yksinkertaista. Kuvaa on mielekäntä siirtää digitaalisesti esimerkiksi TCP/IP-protokollaa käyttäen ajoneuvoon asennettuihin näyttöihin. Ajoneuvoon on kuitenkin vaikea asentaa riittävän suuria näyttöjä, jotta kuva olisi koko miehistön katseltavana. Näytön kuvan katseleminen rajoittuukin lähes pelkästään näytön vieressä istuville sotilaille. Tästä syystä asennettaessa näyttöjä esimerkiksi XA-360

-ajoneuvoon on mietittävä, onko yksi näyttö, joka asennetaan jalkaväkiryhmän johtajan lähettyville, riittävä tilannetiedon välittymisen kannalta.

Tarkasteltaessa sensoreilla luodun tilannetiedon siirtämistä ajoneuvosta esimerkiksi ylemmälle johtoportaalle on tärkein tiedonsiirtokanava tällä hetkellä kenttäradioverkko. Nykyinen radiotekniikka kuitenkin aiheuttaa rajoitteita siirrettävän tiedon koolle, eikä mahdollista vielä esimerkiksi videokuvan siirtämistä, varsinkaan reaaliajassa. Videokuvan siirtämistä mielekkäämpää VHF-radioverkossa on paikkatiedon siirtäminen pienemmän siirrettävän datan määrän takia. Tästä syystä puolustusvoimilla on käytössä MATI-järjestelmään kuuluva Johla08-sovellus, jolla tilannetiedon siirto tapahtuu radioteitse symboleina.

Esimerkiksi paikkatiedon siirtäminen MATI-järjestelmässä tapahtuu johtamissanomana (JOSA), joka välitetään palvelimien kautta karttasovellukselle. JOSA-formaatin käyttäminen taktisissa verkoissa on perusteltua sen pienen kokonsa vuoksi. JOSA-muotoinen paikkatietolähete varaa kaistaa 506 b/s, kun lähetetään yksi paikkatietolähete viiden sekunnin välein. JOSA-muotoinen kymmenen sanoman ryhmäviesti varaa kaistaa 131 b/s. [6] Toisin sanoen 2 kilobitin kokoisien JOSA-sanomien välittäminen VHF-verkkoa pitkin vie teoriassa noin 15 sekuntia, kun paikkatietolähete lähetetään kymmenen sanoman ryhmäviestinä.

USB-muistien käyttö tilannetiedon siirtämiseen mahdollistaa sensoreilla tuotetun videokuvan siirtämisen eteenpäin, toisin kuin VHF-verkko. Esimerkiksi video- tai lämpökameralla tuotetulla videokuvalla voi olla suurta hyötyä etenkin ylemmälle johtoportaalle. Muistien tallennuskapasiteetti on jo tällä hetkellä riittävä videokuvan tallentamiselle ja se tulee tekniikan kehittyessä todennäköisesti kasvamaan entisestään. Myös USB-porttien tekniset ominaisuudet mahdollistavat nopeankin tiedonsiirron tietokoneen ja USB-muistien välillä.

USB-muistia käytettäessä tilannetiedon siirtämiseen on huomioitava tiedon mahdollinen joutuminen viholliselle. Tämä on etenkin tärkeää, jos muistilla siirretään tietoja omien joukkojen sijainnista. Tästä syystä valittaessa käytettävää USB-laitetta on huomioitava laitteeseen tallennettavan tiedon salaaminen. Paras vaihtoehto lienee laite, jossa salaus on sisäänrakennettuna ominaisuutena. Tämä kuitenkin pienentää USB-muistin tallennuskapasiteettia, kuten luvussa 3.1 on esitetty.

USB-muistin käyttö tiedonsiirtoon taistelukentällä edellyttää taistelulähetin käyttöä. Tämä aiheuttaa tiedonsiirtoon viiveen, joka saattaa olla kriittinen varsinkin liikesodankäyntiä ajatellen. Oikean tilannekuvan ja tilannetietoisuuden muodostumiselle on tärkeää mahdollisimman reaaliaikaisen tiedon saaminen taistelevilta joukoilta ylemmälle johtoportaalalle. Sama pätee myös ylemmän johtoportaan alaisilleen jakamaan tilannetietoon, josta ei ole hyötyä esimerkiksi hyökkäyksessä, jos tieto on useita tunteja vanhaa. Tilanne on sama esimerkiksi siirrettäessä paikkatietoa USB-muistilla. Vaikka esimerkiksi 2 kilobitin kokoisen JOSA-sanoman siirtäminen PC:ltä USB-muistille vie vain 0,4 millisekuntia käytettäessä esimerkkimuistia, kestää muistin siirtäminen joukkueesta komppanian johtamispaikalle todennäköisesti useita minuutteja. Tästä syystä paikkatiedon siirtäminen USB-laitteilla ei ole perusteltua, koska tieto saadaan siirrettyä reaaliaikaisesti JOSA-sanomana VHF-radioverkkoa pitkin jo tällä hetkellä.

#### **4.1 Jatkotutkimuksen tarve**

Kandidaatintutkielmalle asetetun laajuuden takia tämä tutkimus rajattiin käsittelemään optronisia sensoreita. Tästä syystä työssä ei ollut mahdollista antaa kokonaisvaltaista kuvaa erilaisista sensoreista, joilla on mahdollista luoda ja parantaa panssaroidun pyöräajoneuvon tilannetietoisuutta. Jatkettaessa tutkimusta panssaroitujen pyöräajoneuvojen tilannetietoisuudesta tutkimukseen on otettava huomioon esimerkiksi tutka- ja akustiset sensorit ja arvioida niiden tuomaa lisäarvoa tilannetietoisuuden muodostumiselle ajoneuvon miehistölle. Tämän lisäksi on tarkasteltava sensorifuusion tarjoamia mahdollisuuksia tilannekuvan ja sitä kautta tilannetietoisuuden parantamiselle. Sensorifuusion avulla voidaan havaita sellaisia kohteita, joita ei yhdellä sensorilla havaita.

Tämän tutkimuksen pääpaino on tilannetietoisuutta parantavissa sensoreissa. Tästä syystä tiedonsiirtotekniikoiden tarkastelu rajattiin vain kahteen erilaiseen tekniikkaan. Jatkotutkimusta ajatellen on tärkeää tutkia tarkemmin tiedonsiirtotekniikoiden käytettävyyttä tilannetiedon siirtämiseen taistelukentällä. Muun muassa erilaisten langattomien lähiverkkoratkaisujen kehittyminen, ja niiden adaptoiminen myös puolustusteollisuuden käyttöön on tutkimuskohde, joka on otettava huomioon. Esimerkiksi ad hoc -verkkojen kehittyminen ja käyttöönotto puolustusvoimissa aiheuttaa tarpeen tarkastella kyseisiä tekniikoita tilannetiedon välittämiseen. Ad hoc -tekniikka mahdollistaa suuren tiedonsiirtokapasiteetin suhteellisen pienillä lähetystehoilla ja on siten hyvin merkittävä kehitysaskel ajateltaessa sensoreilla luodun tiedon välittämiseen eri johtoportaille. Tämän lisäksi erilaisilla langattomilla lähiverkoilla on mahdollista vastata VHF-radioverkkoa vaivaavaan pienen siirtonopeuden ongelmaan, mutta verkkoratkaisujen kantama on ainakin nykyisellään melko lyhyt.

Lähiverkkojen lyhyen kantaman asettamaan haasteeseen olisi mahdollista vastata esimerkiksi käyttämällä satelliittipuhelimia siirtämään tietoa ajoneuvon ja muiden toimijoiden välillä. Tutkittaessa satelliittipuhelimien käytettävyyttä tässä tarkoituksessa on arvioitava, minkälainen käytettävyys satelliiteilla on kriisin aikana. Tämän asian huomioiminen on tärkeää, etenkin tarkasteltaessa kyseisten laitteiden käytettävyyttä puolustusvoimien näkökulmasta.

Suoraan sotilaskäyttöön suunniteltujen verkkoratkaisujen lisäksi myös kaupallisten siviiliratkaisujen soveltuvuutta tiedonsiirtoon taistelukentällä on tarkasteltava. Esimerkiksi WiMAX-tekniikan hyödyntäminen tiedonsiirrossa panssaroidusta pyöräajoneuvosta mahdollistaa ainakin teoriassa reaaliaikaisen videokuvan siirtämisen taistelukentällä. Tekniikka tarjoaa teoriassa kaksisuuntaiseen liikennöintiin 75 Mbit/s nopeuden, joka on riittävä pakkaamattoman videokuvan siirtämiseen. [29] Kaupallisten ratkaisujen hyödyntäminen voi olla myös varsinaista sotilasratkaisua edullisempi vaihtoehto.

## LÄHTEET

- [1] *A Technical Introduction to USB2.0.* [viitattu 10.8.2012] Saatavissa: [http://www.usb.org/developers/usb20/developers/whitepapers/usb\\_20g.pdf](http://www.usb.org/developers/usb20/developers/whitepapers/usb_20g.pdf)
- [2] AXIS Communications. *CCD and CMOS sensor technology*, Technical white paper. [viitattu 10.5.2012] Saatavissa: [http://www.axis.com/files/whitepaper/wp\\_ccd\\_cmos\\_40722\\_en\\_1010\\_lo.pdf](http://www.axis.com/files/whitepaper/wp_ccd_cmos_40722_en_1010_lo.pdf)
- [3] AXIS Communications. *Technical guide to network video. Technologies and factors to consider for the successful deployment of IP-based security surveillance and remote monitoring applications.* [viitattu 19.1.2013] Saatavissa: [http://www.axis.com/files/brochure/bc\\_techguide\\_33334\\_en\\_0811\\_lo.pdf](http://www.axis.com/files/brochure/bc_techguide_33334_en_0811_lo.pdf)
- [4] Bull, P., Eliasson, P. & Norsell, M. *Tactical Optical Information System – improving situational awareness inside an APC.* In: International Society of Military Sciences Conference 2010, Stockholm, 10-11. November 2010. Stockholm, Sweden.
- [5] Hamamatsu Photonics K. K. *High Sensibility Cameras: Principle and Technology.* [viitattu 10.5.2012] Saatavissa: [http://jp.hamamatsu.com/resources/products/sys/pdf/eng/e\\_dctn1.pdf](http://jp.hamamatsu.com/resources/products/sys/pdf/eng/e_dctn1.pdf)
- [6] Hirvonsalo, JM. *Sotilaan paikkatiedon siirtäminen tietoverkoissa.* Pro gradu. Helsinki, 2011. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 69 s.
- [7] Hölttä, N. *Yhtymän esikunnan tilanneymmärryksen kehittäminen operaatioiden johtamisessa.* YEK-diplomityö. Helsinki, 2009. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos. 95 s.
- [8] IHS Jane's : Defence & Security Intelligence & Analysis. *Patria Land Systems Armoured Modular Vehicle.* [viitattu 27.4.2012] Saatavissa: [http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/yb/jaa/jaa\\_1183.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=Patria%20AMV&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod\\_Name=JAA&](http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/yb/jaa/jaa_1183.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=Patria%20AMV&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JAA&)
- [9] IHS Jane's: C4ISR & Mission systems: Land. *ATTICA family of thermal imagers.* [viitattu 8.8.2012] Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1498008&Pubabbrev=JC4IL>

- [10] IHS Jane's: Jane's Armour and Artillery Upgrades. *Kongsberg M151 PROTECTOR remote weapon station*. [viitattu 7.5.2012] Saatavissa: [http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/yb/jaau/jaau9289.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=Protector&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod\\_Name=JAAU&](http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/yb/jaau/jaau9289.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=Protector&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JAAU&)
- [11] IHS Jane's: Electro-Optic Systems. *NX-family of driver's night viewers*. [viitattu 16.5.2012] Saatavissa: [http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/yb/jeos/jeos8333.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=Theon%20sensors%20NX&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod\\_Name=JEOS&](http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/yb/jeos/jeos8333.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=Theon%20sensors%20NX&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JEOS&)
- [12] IHS Jane's: Jane's Electro-Optic Systems. *Sagem MATIS family of third-generation thermal imagers*. [viitattu 16.5.2012] Saatavissa: [search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/yb/jeos/jeos8059.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=Sagem%20matis&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod\\_Name=JEOS&](http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/yb/jeos/jeos8059.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=Sagem%20matis&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JEOS&)
- [13] Jormakka J. *On the Role of Situational Awareness*. In: Jormakka, J. & Oksa, S. (eds.). *Towards Better Situational Awareness*, Helsinki: Edita Prima Oy 2008. p. 4-10. ISBN 978-951-25-1878-4
- [14] Kakkola, T. *Valonvahvistimet ja lämpökamerat: optronisten laitteiden toiminnan perusteet ja kehitysnäkymät*, Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, Helsinki 2001. 48 s. ISBN 951-25-1216-5
- [15] Karsikas, J. *Maavoimien verkostokeskeisen tiedonsiirtojärjestelmän arkkitehtuuri ja sen toteuttaminen*, YEK-diplomityö. Helsinki, 2007. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 153 s.
- [16] *Kingston DataTraveler 6000*. [viitattu 10.8.2012] Saatavissa: [http://www.kingston.com/datasheets/dt6000\\_us.pdf](http://www.kingston.com/datasheets/dt6000_us.pdf)
- [17] *Kingston DataTraveler HyperX 3.0*. [viitattu 22.9.2012] Saatavissa: [http://www.kingston.com/datasheets/dthx30\\_us.pdf](http://www.kingston.com/datasheets/dthx30_us.pdf)
- [18] Kosola, J & Jokinen, J. *Elektroninen sodankäynti osa 1 - taistelun viides dimensio*. Helsinki: Edita Prima Oy 2004. 223 s. ISBN 951-25-1554-7



- [19] Kosola, J. & Solante, T. *Digitaalinen taistelukenttä, informaatioajan sotakoneen tekniikka*. 2. painos. Helsinki: Edita Prima Oy 2003. 532 s. ISBN 951-25-1449-4
- [20] Lappalainen, E., Jormakka, J. *Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa*. Helsinki: Edita Prima Oy 2004. 203 s. ISBN 951-25-1540-7
- [21] *MATI 1 M T29JJ, Tekninen ohje, digitaalinen radio, kenttäradio LV241*. Versio 1.5.1. Maavoimien esikunta, 2010. TLL IV
- [22] Mussaari, J. *Nykyaikaisten tiedusteluajoneuvojen sensorijärjestelmät ja niiden käyttömahdollisuudet valmiusprikaatissa*. Kadettitutkielma. Helsinki, 2005. Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos. 41 s. TLL IV
- [23] *Panasonic Toughbook CF-19*. [viitattu 10.8.2012] Saatavissa: <http://rmm.toughbook.eu/printpdf/3730>
- [24] *Panasonic Toughbook CF-U1*. [viitattu 10.8.2012] Saatavissa: <http://rmm.toughbook.eu/printpdf/1060?vid=12696>
- [25] Poynton, C. *A Technical Introduction to Digital Video*. New York: John Wiley & Sons 1996. 320 p. ISBN 0-471-12253-X [viitattu 10.5.2012] Saatavissa: [http://www.poynton.com/PDFs/TIDV/Basic\\_principles.pdf](http://www.poynton.com/PDFs/TIDV/Basic_principles.pdf)
- [26] Rantakari, R. *Possibilities of improving situational awareness of the Tank Crew*. In: Jormakka, J. & Rissanen, A. (eds.). State-of-the-Art in Sensors, No 24 in Report Series 1, Military technology research. Helsinki: Edita Prima Oy 2006. p. 62-76. ISBN 951-25-1650-0
- [27] Rheinmetall Defence Electronics GmbH. *SAS Situational Awareness System*. [viitattu 18.12.2012] Saatavissa: [http://www.rheinmetall-defence.com/en/media/editor\\_media/rm\\_defence/pdfs/produktpdfs/elektrooptischekomponenten/D100e0212\\_SAS.pdf](http://www.rheinmetall-defence.com/en/media/editor_media/rm_defence/pdfs/produktpdfs/elektrooptischekomponenten/D100e0212_SAS.pdf)
- [28] Richardson, M. A. et al. *Surveillance and target acquisition systems*. Second Edition. London: Brassey's 1997. 260 s. ISBN 1-85753-137-X
- [29] Saarelainen, T. *Equipment for better Situational Awareness for future warriors in different levels*. In: Jormakka, J. & Oksa, S. (eds.). Towards Better Situational

- Awareness, Report Series 1 No 29. Helsinki: Edita Prima Oy 2008. p. 107-119. ISBN 978-951-25-1878-4
- [30] Sagem. *MATIS 32, Small-package cooled thermal imager*. [viitattu 7.5.2012] Saatavissa: [http://www.sagem-ds.com/IMG/pdf/D1382E\\_MATIS\\_32.pdf](http://www.sagem-ds.com/IMG/pdf/D1382E_MATIS_32.pdf)
- [31] Sagem. *MATIS STD, Multipurpose cooled thermal imager*. [viitattu 7.5.2012] Saatavissa: [http://www.sagem-ds.com/IMG/pdf/D1380E\\_MATIS\\_STD.pdf](http://www.sagem-ds.com/IMG/pdf/D1380E_MATIS_STD.pdf)
- [32] Sallinen, P. *Kameravalvontaopas*. Espoo: Sähköinfo Oy 2011. 83 s. ISBN 978-952-231-048-4
- [33] *Sotatekninen arvio ja ennuste 2025, STAE 2025, osa 1. Teknologian kehitys*. Kari, M., Hakala, A., Pääkkönen, E., Pitkänen, M. (toim.). Helsinki: Edita Prima Oy 2008. 564 s. ISBN 978-951-25-1888-3
- [34] *Sotatekninen arvio ja ennuste 2025, STAE 2025, osa 2. Puolustusjärjestelmien kehitys*. Kari, M., Hakala, A., Pääkkönen, E., Pitkänen, M. (toim.). Helsinki: Edita Prima Oy 2008. 279 s. ISBN 978-951-25-1890-6
- [35] *Sotilaselektronikkaopas*. Helsinki: Pääesikunta, 1985. 470 s. ISBN 951-25-0323-9
- [36] *SuperSpeed USB*. [viitattu 10.8.2012] Saatavissa: <http://www.usb.org/developers/ssusb>
- [37] *Taistelunjohtojärjestelmän käyttöohje*. Versio 0.3. Maavoimien esikunta, 2011. STIV
- [38] Theon Sensors. *Night Driver's Viewers*. [viitattu 10.5.2012] Saatavissa: <http://www.theon.com/wp-content/uploads/2010/06/Night-Drivers-Viewers.pdf>
- [39] Tudor, P.N. *MPEG-2 Video Compression*. Electronics & Communication Engineering Journal. 1995. Vol. 7 (6), p. 257-264. [viitattu 8.8.2012] Saatavissa: [http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/papers/paper\\_14/paper\\_14.shtml](http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/papers/paper_14/paper_14.shtml)
- [40] Valtanen, T. *Modulaariset taisteluajoneuvot – soveltuvuus ja käytettävyys suomalaisissa panssari- ja mekanisoiduissa joukoissa*. Kandidaatintutkielma. Helsinki, 2005. Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos. 24 s.

- [41] Valtioneuvoston selonteko VNS 6/2004. *Suomen turvallisuus- ja puolustuspolitiikka 2004*. [Viitattu 7.5.2012] Saatavissa: [http://www.defmin.fi/files/240/2493\\_2161\\_Selonteko\\_2004\\_1\\_.pdf](http://www.defmin.fi/files/240/2493_2161_Selonteko_2004_1_.pdf)
- [42] Vankka, J. *Maavoimien taktisen verkon tekniikat ja standardit*. Riihimäki: Viestirykmentti, Viestikoulu, 2009. 383 s. ISBN 978-951-25-2025-1
- [43] *Yleinen ase- ja asejärjestelmäopas*. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy 2001. 391 s. ISBN 951-25-1277-7

## LIITELUETTELO

Liite 1. Kuvia esimerkkisensoreista

Liite 2. Eriämpöisten kohteiden laskennallisia lämpösäteilyn intensiteettimaksimeja



Kuva 5. Rheinmetall SAS Situational Awareness System [27]



Kuva 6. Theon Sensors NX-145 -valonvahvistin [38]



Kuva 7. Sagem MATIS SP -lämpökamera [30]



Kuva 8. Sagem MATIS STD -lämpökamera [31]



Kuva 9. Zeiss ATTICA-P -lämpökamera [9]

Taulukko 2. Erilämpöisten kohteiden laskennallisia säteilyn intensiteettimaksimeja

<b>Kohde:</b>	<b>Lämpötila (K)</b>	<b>Intensiteettimaksimi (µm)</b>
Ihminen	300 K	9,7
Panssarivaunu	300 K	9,7
Rakettimoottori	2000 K	1,4
Rakennus	280 K	10,35

Intensiteettimaksimit on laskettu Wienin siirtymälain pohjalta kaavalla

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}, \text{ jossa } T \text{ on kohteen lämpötila Kelvineinä}$$

Ihmisen ja panssarivaunun säteilemä lämpötila on noin 27 °C eli 300 K. Esimerkiksi rakettimoottorin lämpötila on noin 1730 °C eli 2000 K. [19; 28] Rakennuksen lämpötilana on käytetty arviota, että rakennus on ympäristön lämpötilassa (6,5 °C eli 280 K).