

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**KRANAATINHEITINKOMPPANIAN TEKNISEN SUORITUSKYVYN MUUTOS
PANSARIJÄÄKÄRIPATALJOONAN HYÖKKÄYKSESSÄ AMOS-FIN- JÄRJES-
TELMÄN KÄYTTÖÖNOTON SEURAUKSENA**

Pro Gradu
Yliluutnantti
Timi Puhakka

Sotatieteiden maisterikurssi 5

Huhtikuu 2016

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Sotatieteiden maisterikurssi 5	Linja Kranaatinheitin opintosuunta
Tekijä Yliluutnantti Timi Puhakka	
Tutkielman nimi Kranaatinheitinkomppanian teknisen suorituskyvyn muutos panssarijääkäripataljoonan hyökkäyksessä AMOS-FIN- järjestelmän käyttöönoton seurauksena	
Oppiaine Sotatekniikka	Säilytyspaikka
Aika	Tekstisivuja Liitesivuja
TIIVISTELMÄ <p>Vuonna 1994 koettiin liikkuvuuden, suojan ja tulivoiman olevan tärkeimpiä kehitysaloja kranaatinheittimistön kehityksessä. Kehitystyön tuloksena syntyi AMOS-FIN-järjestelmä, jolla varustettujen kranaatinheitinkomppanioiden tuottaminen aloitettiin vuonna 2012. Kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanioita alettiin tuottaa panssarijääkäripataljoonille. Järjestelmä on kohdannut paljon kritiikkiä, joten tässä tutkimuksessa on selvitetty kasvattaako AMOS-FIN-järjestelmä kranaatinheitinkomppanian teknistä suorituskykyä verrattuna 120 KRH 92:lla varustettuun komppaniaan. Teknisen suorituskyvyn mittareina on käytetty liikkuvuutta, suojaa ja tulivoimaa.</p> <p>Tutkimus on tehty vertailututkimuksena käyttämällä suojan ja liikkuvuuden tutkimiseen kirjallisuusanalyysia sekä haastattelua ja tulivoiman mittaamiseen simulointia, joka toteutettiin Sandis-simulointityökalulla.</p> <p>Tutkimus osoittaa, että kokonaisuudessa AMOS-FIN-järjestelmä on kasvattanut panssarijääkäripataljoonan kranaatinheitinkomppanian teknistä suorituskykyä. Sekä liikkuvuus, että suoja ovat kasvaneet järjestelmän käyttöönoton myötä, mutta tulivoiman todettiin simuloinnin tulosten perusteella olevan heikompi, kuin 120 KRH 92:lla varustetulla komppanialla.</p>	
AVAINSANAT <p>kranaatinheitinpanssariajoneuvo, AMOS, tuliasema, tulijoukkue, vastatykistö, panssarijääkäri, kranaatinheitin, komppania, vedettävä, vertailu, liikkuvuus, suoja, tulivoima, tekninen, suorituskyky, Sandis, simulointi</p>	

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen rajaus ja tutkimusongelmat.....	2
1.2	Aikaisempi tutkimus, lähteet ja tutkimusmenetelmät	4
2	ASEJÄRJESTELMIEN OSAJÄRJESTELMIEN MUODOSTAMAT EROAVAISSUUDET TEKNISESSÄ SUORITUSKYVYSSÄ	8
2.1	Kranaatinheitinpanssariajoneuvo ja 120 KRH 92 yleisesti	8
2.2	AMOS-FIN ja 120 KRH 92 vertailu osajärjestelmittäin.....	9
2.3	Paikannus/ Navigointijärjestelmät ja menetelmät	14
2.4	Ammunnan hallinta- ja johtamisjärjestelmä (AHJO).....	21
3	KRANAATINHEITINKOMPPANIA PANSSARIJÄÄKÄRIPATALJOONAN HYÖKKÄYKSESSÄ.....	22
3.1	Kohtaamistaistelu	22
3.2	Valmisteltu hyökkäys	23
3.3	Sivustauhka	24
3.4	Torjuntaan ryhtyminen ja vastahyökkäyksen torjunta	25
4	VASTATYKISTÖTOIMINTA UHKANA.....	26
4.1	Vastatykistötoiminta käsitteenä.....	26
4.2	Vastatykistötutka	26
5	VASTATYKISTÖTOIMINNAN VAIKUTUSTEN MINIMOINTI.....	33
5.1	Suoja.....	33
5.2	Tulijoukkueen suoja	34
6	TULIVOIMA.....	37
6.1	Kranaatinheittimistön ja tulenjohdon ohjesäännöt	37
5.2	Taistelusimuloinnin perusteet.....	40
6.2	Epäsuoratuli Sandis simulaattorissa	42

6.3	Tulosten laskeminen simuloimalla.....	49
7	YHTEENVETO.....	52
8	LÄHTEET	54

KRANAATINHEITINKOMPPANIAN TEKNISEN SUORITUSKYVYN MUUTOS PANSSARIJÄÄKÄRIPATALJOONAN HYÖKKÄYKSESSÄ AMOS-FIN- JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTON SEURAUKSENA

1. JOHDANTO

Tulivoima, liikkuvuus, suoja. Näiden kolmen tekijän kehitykseen päätettiin vuonna 1994 luoda painopiste kranaatinheittimistön kehityksessä. Yhtenä ratkaisuna luotiin ”Advanced Mortar System” eli kehittynyt krh-järjestelmä. Peruskonseptina tälle järjestelmälle suunniteltiin: kaksi putkea, jotta saavutettaisiin suuri tulinopeus; 3000mm pitkät tuliputket, jolloin lähtönopeus ja siten myös kantama kasvaa; tela- tai pyöräajoneuvoalusta hyvän liikkuvuuden saavuttamiseksi sekä torniratkaisu vahvan suojauksen saavuttamiseksi.[29] Ensimmäinen järjestelmää käyttävä joukkotuotettu komppania aloitti koulutuksensa tammikuussa 2013 ja koulutettavan joukon johtajakoulutettavat heinäkuussa 2012. Kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanian(KRHPSAJONK) suorituskykyä on tutkittu tekniikan näkökulmasta verrattain vähän. Tehdyt tutkimukset ovat keskittyneet enemmän komppanian johtamiseen ja kouluttamiseen. Kranaatinheitinpanssariajoneuvoa itsessään on lukuisin kenttäkokein ja mittausten avulla tutkittu, lähinnä järjestelmän kehittämisvaiheessa valmistajan ja Puolustusvoimien toimesta, mutta komppanian toimintoja on alettu toteuttaa käytännössä ja osin myös teorian osalta vasta tammikuussa 2013. Kehitystyö jatkuu edelleen ja osin siitä syystä myös tarve järjestelmän sekä kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanian tutkimiselle on yhä olemassa.

Tällä tutkimuksella pyritään saamaan selville miten kranaatinheitinpanssariajoneuvo ja järjestelmää käyttävä komppania on kyennyt vastaamaan niihin kehityksen painopisteisiin, jotka vuonna 1994 koettiin tärkeimmiksi. Kranaatinheitinpanssariajoneuvot on sijoitettu panssarijääkäripataljooniin, joten järjestelmää tutkitaan sen mukaisessa toimintaympäristössä. Tuoko järjestelmä lisää tulivoimaa, liikkuvuutta ja suojaa kranaatinheittimistöön ja millä keinoin. Tutkimuksessa vertaillaan perinteisen vedettävän kranaatinheitinkomppanian ja kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanian vahvuuksia ja heikkouksia tekniikan näkökulmasta, jotta saataisiin selville kasvattiko järjestelmän hankinta kranaatinheittimistön teknistä suorituskykyä. Koska järjestelmä ei varsinaisesti vaikuta teknisestä näkökulmasta kuin komppanian tulijoukkueeseen/ tulijoukkueisiin, keskitytään tutkimuksessa niiden tutkimiseen, jättäen komentojoukkue ja huoltojoukkue pienemmälle huomiolle.

Kyseessä ollessa tekniikan tutkimus, jää tulijoukkueen taktinen käyttö ja koulutus pieneen osaan ja ennemminkin pyritään tutkimaan tulivoiman, liikkeen sekä suojan eroja vedettävän ja kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanioiden välillä. Taktiikkaa käsitellään yhdessä toimintaympäristön kanssa, kun selvitetään miten panssarijääkäripataljoonan olisi tarkoitus taistella. Taktiikka luo perustan tulenavaustapojen muodossa mahdollisimman suuren tulivaikutuksen saamiseen. On tutkittu, että ammuttaessa yhteen maalipisteeseen käytettävän tulimuodon valinnalla voidaan tulen vaikutus maalissa moninkertaistaa[23]. Niinpä tässä tutkimuksessa pyritäänkin käyttämään mahdollisimman hyvän tulivaikutuksen mahdollistavia tulenavaustapoja, jotta voidaan simuloida tulinopeuden suuria etuja.

1.1 Tutkimuksen rajaus ja tutkimusongelmat

Kranaatinheitinpanssariajoneuvolla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa AMOS-järjestelmällä varustettuja panssariajoneuvoja, ei esimerkiksi NEMO-järjestelmää.

Vedettävän kranaatinheitinkomppanian kalustona tutkimuksessa käytetään 120 KRH 92:ta ja järjestelmään lasketaan sisältyväksi yksi Sisu SA-150 ”Masi” per heitin, sillä kranaatinheittimellä itsellään ei liikehtimiskykyä ole.

Tulijoukkue käsittää kaikki kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanian epäsuorantulen aseet, vedettävässä komppaniassa tulijoukkue pitää sisällään kolmasosan epäsuorantulen aseista.

Tuliasematoiminta pitää sisällään tuliasemien tiedustelun ja valmistelun, asemaanajon, ampumatoiminnan ja aseman vaihdon eli toisin sanoen kaiken toiminnan, jota toteutetaan oltaessa tuliasema-alueella. Tämä luo ajallisen ja maastollisen toimintaympäristön erilaisilla järjestelmillä varustettujen komppanioiden tutkimiselle.

Tutkimuksessa käytetään seuraavia oletuksia:

Tutkimuksessa toimitaan ideaalitulanteessa, eli tulijoukkueiden ja vaunujen toiminnalla ei ole ulkopuolisia tai sisäisiä rajoittavia tekijöitä, vaan ne voivat toimia perustaistelumenetelmiensä mukaan.

Tulijoukkueiden henkilöstö on harjaantunutta ja osaa tehtävänsä, eikä näin aiheuta ylimääräistä viivettä tai vahinkoa optimaaliselle toiminnalle.

Viestiyhteydet ovat tutkimuksessa toiminnassa, siten etteivät ne aiheuta haittaa komppanian toiminnalle.

Tulenjohtopartio tutkimuksen simulointiosassa on harjaantunut ja paikantaa maalit tarkasti.

Tulijoukkueet toimivat tutkimuksessa komppanian alaisuudessa. Komppanian toimintaa ei esitellä tarkemmin, mutta joukkueet saavat tulikomentonsa virheettöminä ja suorittavat tulitoiminnan komppanian käskyjen mukaan.

Komppanian tulitoimintapaikan aiheuttamaa viivettä ei oteta tutkimuksessa huomioon, sillä tarkoitus on tutkia erilaisten asejärjestelmien suorituskykyä.

Tutkimuksen tehtävänä on selvittää miten kranaatinheittimistön teknistä suorituskykyä on kyetty kehittämään AMOS-FIN –järjestelmän avulla panssarijääkäripataljoonan viitekehityksessä ja onko saavutettu suorituskyky sellainen, että sitä ei olisi vedettävää heitintä päivittämällä voitu saavuttaa.

Järjestelmä mahdollistaa tuliaseiden vaihtamisen nopeassa syklissä ja tulitehtävien toteutuksen tulenavauspainotteisesti. Tässä tutkimuksessa ei tutkita kaikkia mahdollisia vaikuttavia tekijöitä järjestelmien suorituskykyjen välillä, vaan kehitystä tai eroja tutkitaan teknisen suorituskyvyn näkökulmasta ja näin ollen henkilöstön vaikutusta järjestelmien suorituskyvyssä ei tutkita vaan oletetaan niiden olevan aiemmin esitettyjen rajausten mukaiset. Suorituskyvyn muodostuminen on kuvattu kuvassa yksi.

Päätutkimuskysymys:

Miten kranaatinheitinkomppanian tekninen suorituskyky on muuttunut AMOS-FIN järjestelmän myötä panssarijääkäripataljoonassa?

Alakysymykset:

Millaiset ovat osajärjestelmien erot AMOS-FIN ja 120 KRH 92 järjestelmillä?

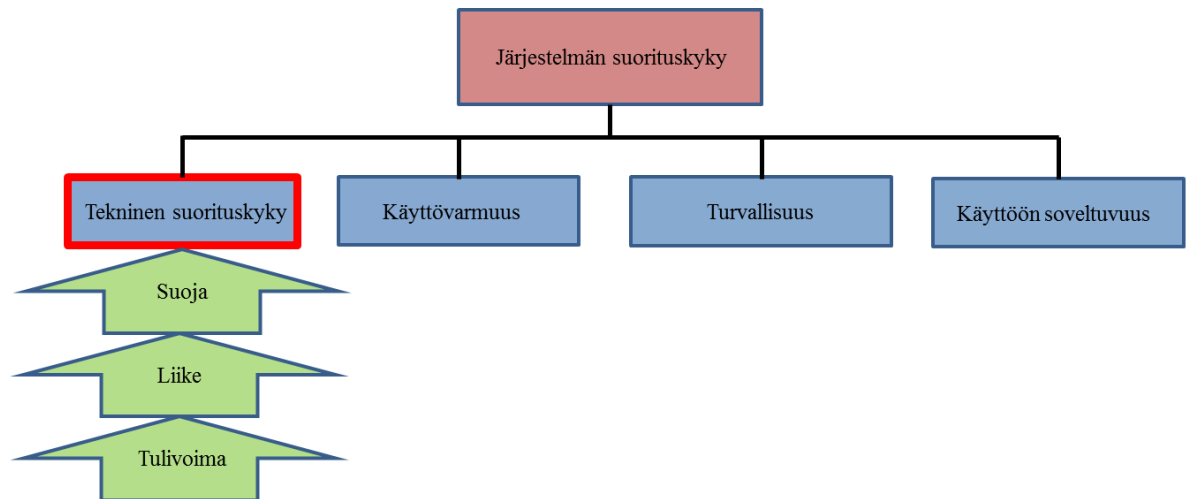
Millaisessa toimintaympäristössä järjestelmiä käytetään?

Kuinka nopeasti järjestelmillä voidaan vaihtaa tuliasemaa?

Millaisen uhan vastatykistöutkalla varustettu vihollisen tuliyksikkö aiheuttaa kranaatinheitinkomppanialle?

Miten eri järjestelmät tarjoavat suojaa sirpalekranaatteja vastaan?

Kummalla järjestelmällä kyetään tuottamaan samanlaisella tulitehtävällä viholliselle suuremmat tappiot?



Kuva 1. Järjestelmän suorituskyvyn muodostuminen [28]

1.2 Aikaisempi tutkimus, lähteet ja tutkimusmenetelmät

Kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppaniaa koskevia tutkimuksia on olemassa, mutta ne on tehty ennen vaunun sarjaversioiden luomista ja täten myös ennen yhtään koulutettua yksikköä. Ne on tehty usein johtamisen, kouluttamisen tai taktiikan näkökulmasta. Kuitenkin ne keskittyvät enemmän koko komppanian yleisiin periaatteisiin ja menetelmiin, kuin yksityiskohtaisemmin johonkin komppanian osa-alueeseen tai suorituskyvyn tekijään.

Aikaisempia tutkimuksia:

Tervonen, Petteri: Kranaatinheitinajoneuvoilla varustetun kranaatinheitinkomppanian käyttöperiaatteet sekä esitys kranaatinheitinkomppanian kokoonpanoksi ja sotavaruutukseksi prikaati 2005 organisaatioon. Esiupseerikurssin tutkielma, Operaatiotaito ja taktiikka. 1999.

Tervonen on työssään pyrkinyt selvittämään Pääesikunnan prikaati 2005:n kokeilukoonpanoasiakirjassa esitetyn kranaatinheitinkomppanian käyttöperiaatetta Etelä-Suomen olosuhteissa. Hän pyrki selvittämään tätä selvittämällä ensin 2000-luvun taistelun vaatimukset jääkäripataljoonalle ja kranaatinheitinkomppanialle sekä vastaako kranaatinheitinkomppanian kokeiluorganisaatio sille asetettuja vaatimuksia. Työssään hän tulee lopputulokseen, että kranaatinheitinkomppania kykenee kokoonpanonsa ja tärkeimmän varustuksensa puolesta suunniteltujen tehtävien toteuttamiseen.[22]

Tervosen tekemä tutkimus olisi sisältänyt paljon tätä tutkimusta hyödyttävää tietoa, jollei järjestelmä olisi läpikäynyt lukuisia muutoksia Tervosen tekemän tutkimuksen jälkeen. Tervosen tutkimuksessaan käsittelemä ajoneuvo ja organisaatio ovat päivittyneet niin moneen kertaan, että tutkimuksen anti ei ole tälle tutkimukselle merkittävä.

Ahvenainen, Henrik: AMOS-FIN:komppanian ammunnan topografinen ja ballistinen valmistelu. Pro Gradu. Tekniikan laitos. 2006.

Ahvenainen on tutkimuksessaan selvittänyt miten kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppaniassa suoritetaan ammunnan topografinen ja ballistinen valmistelu sekä miten ne poikkeavat perinteisestä vedettävästä komppaniasta. Hän on työssään myös tutkinut miten muuttuneet toimintatapamallit uuden ja vanhan komppanian välillä vaikuttavat saavutettavaan suorituskykyyn.[25]

Ahvenaisen työssä on perehdytty tarkasti yhteen koko komppanialla suoritettavaan ammunnan vaiheeseen. Kuitenkin työn hyöty tälle tutkimukselle jää vähäiseksi, sillä topografista ja ballistista valmistelua on tutkittu koko komppanialle, jolloin aihe laajenee siten, etteivät vaunuryhmien suorittamat tarkemmat toimenpiteet näy niin selkeästi tutkimuksessa. Lisäksi kuten Tervosenkin tutkimuksessa on tässäkin tutkimuksessa ollut tieto vanhemmasta vaunuversiosta, joka on muuttunut hyvin paljon tähän päivään mennessä.

Tutkimusmenetelminä työssä on käytetty kirjallisuusanalyysia, teemahaastattelua ja simulointia.

Kirjallisuusanalyysilla luodaan työn teoriapohja ja pyritään löytämään tekniseen suori-tuskykyyn vaikuttavat tekijät liikkeen ja suojan osalta. Lisäksi kirjallisuusanalyysin avulla selvennetään simulaattorin toimintaa ja sen avulla saatuja tietoja. Kirjallisuus-analyysi on tutkimuksessa eniten käytetty menetelmä, jonka avulla vastataan pääosaan tutkimuskysymyksistä. Kirjallisuusanalyysin lisäksi suojan arvioimiseen erilaisilla järjestelmillä on käytetty myös matemaattista analyysia.

Haastattelu on tutkimusmenetelmä, joka ymmärretään systemaattisena tiedonkeruun muotona. Sillä pyritään saamaan mahdollisimman päteviä ja luotettavia tietoja. [12] Haastatteluun ryhdytään tutkijan aloitteesta ja tutkija myös ohjaa haastattelun haluttuihin aiheisiin. [13]

Puolistrukturoitu haastattelu eli teemahaastattelu kohdennetaan teemoihin, jotka haastattelijalla on laatinut etukäteen teoreettisesta viitekehystä johonkin tiettyyn teemaan liittyen. Tutkija esittää pääasiassa avoimia kysymyksiä, joihin ei ole valmiita vastausvaihtoehtoja, vaan haastatteltava pystyy vastaamaan täysin oman kokemuksensa pohjalta ilman tutkijan tekemiä rajoituksia.[12]

Haastattelut täydentävät kirjallisuusanalyysin jättämiä aukkoja, johtuen siitä, että kra-naatinheitinpanssariajoneuvokomppanian tulijoukkueen tuliasematoiminnasta ei ole olemassa kirjoitettua opasta tai ohjesääntöä.

Simulointi on yleisesti käytössä oleva termi, jolla tarkoitetaan asioiden jäljittelyä, mallintamista ja ratkaisemista virtuaaliympäristössä. Määritelmä itsessään on hyvin laaja, sisältäen miltei kaiken molekyyli-tason muutoksista maapallon ilmakehän muutosten vaikutusten laskentaan asti.[14]

Mallinnuksella tarkoitetaan jonkin järjestelmän, sen osan, luonnonilmiön tai prosessin kuvaamista matemaattiseen muotoon kirjoitetulla kuvauksella sen toiminnasta. Simuloinnilla pyritään tämän mallin käyttäytymistä arvioimaan ja sitä kautta myös ennustamaan luodun mallin käyttäytymistä. Oleellista luotettavan tuloksen saamiseen simulaatiossa on, etteivät simuloidut tulokset ole peräisin tietokoneen/vast. laskentatarkkuudesta vaan kuvaavat mallinnettavan järjestelmän käyttäytymistä.[15]

Eräänä simuloinnin taustana pidetään sitä, että kun jotain ongelmaa ei ole kyetty matemaattisesti ratkaisemaan, on jouduttu käyttämään simulointia, joka tosin usein myös hyödyntää matematiikkaa.[16]

Simuloinnilla tutkitaan, miten erilaisen tulenavauksen mahdollistava järjestelmä vaikuttaa tuotettaviin tappioihin verrattuna järjestelmään joka sisältää kolme ampuvaa putkea enemmän. Perusteet tulenavauksessa vaikuttaviin suureisiin kuten hajontaan ja kranaattien iskeytymiskulmiin hankitaan ammunnanhallinta- ja johtamisjärjestelmän (AHJO) avulla.

Simulointi toteutetaan Puolustusvoimien Teknisen Tutkimuskeskuksen kehittämällä Sandis-simulaattorilla, jonka epäsuoran tulen parametrit on saatu tehtyjen kenttäkokeiden perusteella.[17]

2 ASEJÄRJESTELMIEN OSAJÄRJESTELMIEN MUODOSTAMAT EROAVAISUUDET TEKNISESSÄ SUORITUSKYVYSSÄ

2.1 Kranaatinheitinpanssariajoneuvo ja 120 KRH 92 yleisesti

AMOS-FIN kranaatinheitinpanssariajoneuvo on yksi nykyhetken kehittyneimmistä kranaatinheitinjärjestelmistä.[30] Patria Hägglundsin valmistama pyöräalustainen ajoneuvo on varustettu pyörivällä tornilla, johon on integroitu kaksiputkinen AMOS- järjestelmä. Järjestelmää käyttää viisihenkinen miehistö, joka koostuu johtajasta, ampujasta, ajajasta, lataajasta ja apulataajasta. Ajoneuvo pystyy kuljettamaan mukanaan 48 kranaattia, joka on 0,4 tuliannosta ja, joista 26 voi olla pitkän kantaman laukauksia.[20] Tulenavaus voidaan suorittaa alle 30 sekuntia pysähtymisestä ja liikkeellelähtö alle 10 sekunnissa ammunnan loputtua. Jatkovaa tulinopeutta 12 laukausta minuutissa, voidaan ylläpitää 4 minuuttia.[21]

Pääaseistuksen lisäksi ajoneuvo on varustettu savukranaatinheittimillä, joilla voidaan aikaansaada nopeasti ajoneuvolle näkösuojaa antava savuverho ja näin tehostamaan ajoneuvon omasuojaa panssariteräskorin ja hyvien häiveominaisuuksien lisäksi. Panssariteräskori suojaa miehistöä tehokkaasti esimerkiksi miinoilta. Kranaatinheitinpanssariajoneuvolla voidaan ampua myös suora-ammuntaa. Vaikka epäsuoraa tulta voidaan ampua sekä johtajan, että ampujan puolelta, suora-ammuntaa voi ampua vain ampuja, sillä johtajan puolella tornia ei ole suora-ammuntatähtäintä.[18]

120 KRH 92 on laajasti Puolustusvoimissa käytössä oleva raskas kranaatinheitin. Se on suusta ladattava ja sen rekyylienergia ohjataan maassa olevaan vastimeen. 120 KRH 92 kuljetetaan tuliasemasta toiseen ajoneuvon vetämänä. Aseella toimii yleensä seitsemän hengen miehistö, joka koostuu heittimen johtajasta, suuntaajasta, apusuuntaajasta, lataajasta, panostajasta ja kolmesta ammusmiehestä, joista yksi toimii myös ajoneuvon kuljettajana[45]. Järjestelmän mukana pystytään kuljettamaan miehistön ja varusteiden lisäksi 0,1 tuliannosta, 12 kranaattia. Tulitoiminta valmisteluihin aseisiin ryhmityessä voidaan tulijoukkue koossa toteuttaa 6 minuutissa viimeisen ajoneuvon pysähtymisestä tyydyttävällä suunnalla ja 10 minuutissa tarkalla suunnalla.[45] Järjestelmän vetäjänä toimii kuorma-auto esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytettävä SISU SA-150 ”Masi”, joka on suomalaisen Sisu-Auton valmistama nelivetoinen panssaroidaton maastokuorma-auto[31].

2.2 AMOS-FIN ja 120 KRH 92 vertailu osajärjestelmittäin

Järjestelmien liikkuvuuden, suojan ja tulivoiman vertailun pohjana toimivat erilaisten teknologioiden muodostamat mahdollisuudet ja rajoitteet. Järjestelmät koostuvat useista osajärjestelmistä, joten osajärjestelmiä vertaamalla saadaan ensitieto siitä, millaisia eroja järjestelmien teknisessä suorituskyvyssä on.

Taulukko 1. Järjestelmien osajärjestelmien vertailu [18, 19, 20, 21, 26, 31, 32, 51]

LIKKUVUUS		
Osajärjestelmä	AMOS-FIN	120 KRH 92 + SISU SA-150
Moottori. Moottori tuottaa ajoneuvon liikuttamiseen tarvittavan tehon.	Kaksi tehoaluetta, jolloin maksimitehona 294kW/360kW ja suurimpana vääntömomenttina 1670Nm/1970Nm.	Maksimiteho 150kW ja suurin vääntömomentti 680Nm.
Polttoainejärjestelmä. Mahdollistaa moottorin käytön niin pitkään kuin järjestelmässä on polttoainetta.	Toimintasäde 800km.	Toimintasäde 800km.
Vaihteisto. Välittää moottorin tehon voimansiirtoon.	Automaattivaihteisto 7+1. Pitää sisällään hydraulisen hidastimen ja momentinmuuntimen. Lisäksi pakko-vaihteet eteen- ja taaksepäin.	Manuaalivaihteisto 6+1. Kaksiportainen alennusvaihte.
Voimansiirto. Välittää moottorin tuottaman tehon pyöriin.	Lukittavat pitkittäis- ja poikittaistasauspyörästöt.	Lukittavat poikittaistasauspyörästöt.
Pyörät ja pyöräntuennat. Välittävät moottorin tuottaman tehon maahan aikaansaaden liikkeen.	8 x Nokia MPT Agile. Rengaspaineensäätöjärjestelmä (CTIS)	4 x Nokia MPT Agile
Jousitus ja iskunvaimennus. Vaimentavat tien ja maaston epätasaisuudet ja mahdollis-	Hydropneumaattiset jousielementit kaikilla pyöräasemilla.	Lehtijouset jokaisella pyöräasemalla. Lisäksi etuakselilla hydrauliset iskunvaimen-

tavat jatkuvan maakosketuk- sen.		timet.
Jarrujärjestelmä.	Kaksi käyttöjarrupiiriä ja seisontajarrupiiri. Jarrujärjestelmä on täysin hydraulinen ja varustettu poiskytketävällä ABS- toiminnolla. Käytössä myös kääntöjarru, joka jarruttaa kaarteiden sisäpuolisia renkaita käännön aikana.	Paineilmatoimiset kaksipiiriset rumpujarrut.
<p>- Tehokas moottori mahdollistaa nopean liikkeen ja liikkeellelähdon. Lisäksi vääntö muodostaa yhdessä muiden osajärjestelmien kanssa liikehtimiskyvyn hankalassa maastossa.</p> <p>- Automaattivaihteisto poistaa kuljettajan tekemät vaihtovirheet ja on helpompi käyttää. Momentinmuunnin mahdollistaa automaattivaihteistossa vedon katkeamattomuuden. Hydraulinen hidastin tehostaa moottorijarrutusta.</p> <p>- Rengaspaineensäätöjärjestelmä mahdollistaa rengaspaineen muuttamisen aina ajoneuvon ollessa käynnissä, mukaan lukien liikkeen aikana. Tämä mahdollistaa liikkuvuuden optimoinnin vallitsevien olosuhteiden mukaan. Järjestelmällä voidaan myös syöttää jatkuvasti paineilmaa rikkoontuneeseen renkaaseen ja näin parantaa kykyä ajaa vioittuneella renkaalla.</p> <p>- Kääntöjarru mahdollistaa kääntösäteen pienentämisen ja vähentää näin useiden käännösten tekemisen tarvetta jyrkissä käännöksissä. Lisäksi hydraulinen jarrujärjestelmä on viiveetön toisin kuin paineilmatoiminen jarrujärjestelmä.</p>		
SUOJA		
Kori. Suojaa muita järjestelmiä ja miehistöä.	Kori on sirpalesuojattu ja luotisuojattu 7,62 kaliiberin aseita vastaan, lisäksi kori antaa miinasuojauksen. Ajoneuvon suojaustaso on tarvittaessa muutettavissa.	Teräsrakenteinen hytti ja lava. Lavan yläosa pressukangasta. Ei anna suojaa kuin säältä.
Palontorjuntajärjestelmä. Tunnistaa, ilmaisee ja sammuttaa mahdollisen ajoneuvopalon.	Palontorjuntajärjestelmä joka sammuttaa automaattisesti moottoritilassa syttyvän palon ja painokytintä käyt-	Käsisammutin

	tämällä miehistötilassa syttyvän palon. Lisäksi vaunusta löytyy kaksi käsisammutinta.	
NBC- järjestelmä. Huolehtii ajoneuvon sisäilman laadusta toimittaessa alueella, jossa jäämiä taisteluaineista.	NBC- järjestelmällä suojataan tarvittaessa miehistöä ydin-, biologisten ja kemiallisten aseiden vaikutukselta suodattamalla ajoneuvon tuleva ilma NBC- suodattimella ja ylipaineistamalla ajoneuvo. Ajoneuvon eri järjestelmien ilmankierto on suunniteltu siten, että kuumien pisteiden syntyminen ajoneuvon ulkopinnoille on minimoitu ja näin vaikeutettu ajoneuvon havaitsemista lämpötiedustelulla.	Ei NBC-järjestelmää. Taiste- lijoilla mahdollisuus käyttää henkilökohtaisen suojavaatetuksen kanssa järjestelmää.
Havainnointilaitteet. Optiset ja optroniset havainnointilaitteet tarjoavat mahdollisimman hyvän näkyvyyden ulos ajoneuvosta ilman että miehistön turvallisuus tai ajoneuvon suorituskyky heikentyy.	Ajoneuvon optronisia havainnointilaitteita ovat taustakamera ja ajajan periskoopin tilalle vaihdettava pimeänäkölaitte. Pimeänäkölaitte on Leican valmistama NAP5 – 14, jossa on sivusuunnassa 39° ja korkeusuunnassa 30° näkökenttä. Lisäksi laitetta voidaan kääntää sivusuunnassa ±30°. Myös yksi johtajan periskoopeista on vaihdettavissa pimeänäkölaitteeseen.	Mahdollisuus käyttää erillisiä valonvahvistinjärjestelmiä. Ei integroitu ajoneuvon tai heittimeen.
TULIVOIMA		
Asejärjestelmä.	Asejärjestelmä koostuu kak-	Asejärjestelmän pääosat

<p>Mahdollistaa ammuksen ampumisen.</p>	<p>siputkisesta 120mm AMOS B30 Mk.3 – kranaatinheittimestä. Ammusten lataaminen ja aseiden laukaisu tapahtuvat sähkömekaanisesti, mutta ne voidaan toteuttaa myös käsikäyttöisesti. Asejärjestelmä koostuu tuliputkista, savunpoistimista, lämpösuojista, hidastimista, palauttimista, peräkappaleista, sulkukappaleista, kehdoista, latauslaitteesta ja suuntausjärjestelmästä.</p>	<p>ovat putki ja peräkappale, tuki, vastin, ajopyörästä ja varusteet (ml. suuntain). Ammuksen lataaminen ja laukaiseminen toteutetaan käsikäyttöisesti.</p>
<p>Ammunanhallintajärjestelmä. Antaa oikeat ampuma-arvot aseelle ampumisen perustaksi.</p>	<p>Ammunanhallintakeskus (FCB) pitää sisällään ammunnanhallintatietokoneen (FCC) ja ammunnanohjausyksikön (FCU). Ammunnanhallintatietokone kerää signaalit ja tarkistaa tiedot AHJO:lta, suuntausjärjestelmästä, ohjaussauvoilta sekä ampujan, johtajan ja lataajan paneelikokoneisuuksilta. Tämän jälkeen ammunnanhallintatietokone käsittelee signaalit ja siirtää ne ohjaamaan suuntausjärjestelmää. Ammunnanohjausyksikkö sallii ammunnan, jos kaikki ampumiselle asetetut ehdot täyttyvät.</p>	<p>Arvot välitetään puheella tai datana heittimille, missä ne asetetaan manuaalisesti suuntain rummulle. Ei estettä ampumiseen väärin suunnatulla aseella.</p>
<p>Tähystysjärjestelmä. Tähystysjärjestelmän avulla</p>	<p>Suora-ammuntatähtäintä voidaan käyttää tähystyksen</p>	<p>Kiikarit, valonvahvistin. Ei etäisyyden mittaamiseen</p>

<p>voidaan havainnoida maale- ja suora-ammuntatulelle tai epäsuoralle tulelle.</p>	<p>ja maaliin tähtäämisen lisäksi myös etäisyyden mittamiseen, tähtäimeen integroidun laseretäisyysmittarin avulla. Suora-ammuntaa voidaan tähtäimen avulla suorittaa maksimissaan yhden kilometrin etäisyydellä oleviin maaleihin, mutta yhdistettynä ammunnanhallinta- ja johtamisjärjestelmään (AHJO) kyetään laseretäisyysmittarin antamasta tiedosta yhdistettynä muiden järjestelmien antamien tietojen kanssa muodostamaan maali epäsuoran tulen ampumista varten aina kymmenen kilometriin asti.</p>	<p>tarkoitettuja välineitä mittavaijeria lukuunottamatta.</p>
<p>Suuntausjärjestelmä. Suuntausjärjestelmällä toteutetaan tornin tai aseiden sivusuuntaus ja aseiden korkeussuuntaus.</p>	<p>Tornin suuntaus tapahtuu joko sähkömekaanisesti ohjaussauvoilla, puoliautomaattisesti ammunnanhallintajärjestelmästä tai mekaanisesti käsikampien avulla. Suuntausjärjestelmään kuuluu automaattinen suuntaus kuljetusasentoon, latausasentoon ja ampumasuuntaan. Suuntausjärjestelmä koostuu korkeussuuntausjärjestelmästä, sivusuuntausjärjestelmästä ja sivu-/korkeussuuntauksen hallintajärjestelmästä.</p>	<p>Suuntaus tapahtuu manuaalisesti tuen jalvoja siirtämällä ja tarkentamalla suuntaus sivusuuntaus-, korkeussuuntaus- ja taseuskoneistoa käyttämällä.</p>

EI KÄSITELTÄVÄT OSAJÄRJESTELMÄT		
Jäähdytysjärjestelmä.	Lämmitysjärjestelmä.	Ilmanvaihtojärjestelmä.
Sähköjärjestelmä.	Hydraulijärjestelmä.	Ilmastointijärjestelmä.
Ohjausjärjestelmä	Paineilmajärjestelmä.	Imu- ja pakojärjestelmä.
Edellä mainittuja osajärjestelmiä ei vertailtu, sillä ne lähinnä tukevat muiden osajärjestelmien toimintaa eivätkä näin ollen luo vertailupohjaa suojan, liikkuvuuden tai tulivoiman osalta.		

2.3 Paikannus/ Navigointijärjestelmät ja menetelmät

Paikannus- ja navigointitavat ovat yksi merkittävistä eroista perinteisen vedettävän kranaatinheitinkomppanian ja kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanian välillä, ainakin tämän hetkellä kalustolla toimittaessa. Kranaatinheitinpanssariajoneuvokompaniassa jokaisella ampuvalla aseella on oma inertiapaikannusjärjestelmänsä, kun taas vedettävällä komppanialla on parhaimmassakin tapauksessa yksi inertiapaikannusjärjestelmää käyttävä ajoneuvo koko komppaniassa. Pääsääntöisesti kuitenkin vedettävässä komppaniassa käytetään perinteisempiä menetelmiä eli käsisuuntakehämittausta ja suuntakehämittausta paikan ja suunnan saamiseksi. Inertiapaikannus on yleistymässä oleva tapa hankkia haluttu paikkatieto. Maavoimissa perinteisten keinojen ja satelliittipaikannuksen rinnalle tulee tai on tullut useisiin uusiin järjestelmiin inertiapaikannukseen perustuva paikkatietojärjestelmä. Inertiapaikannuksen edut perinteisiin karttaan tai taivaankappaleisiin perustuviin paikannustapoihin on nopeus ja helppous. Myös tarkkuus on usein inertiapaikannuksella parempi kuin perinteisin menetelmin saadussa paikkatiedossa. Etuna satelliittipaikannukseen taas on nykyajan elektroniseen sodankäyntiin nojaavassa toimintaympäristössä se, että inertiapaikannusjärjestelmiä on hyvin vaikea, ellei jopa mahdoton, häiritä elektronisesti, kun taas satelliittipaikannusjärjestelmien häirintä on vastapuolelle hyvin helppoa. Suomen Puolustusvoimissa yksi uusi Maavoimien inertiapaikannusjärjestelmä on Honeywell'in TALIN5000 (Tactical Advanced Land Inertial Navigator), jota on käytetty AMOS-FIN järjestelmässä.

Inertiapaikannus on kiihtyvyyksien mittaamiseen perustuva paikannusmenetelmä, jossa gyrokoopin tai lasergyrokoopin avulla saadaan suunta, johon kohdistuvaa kiihtyvyyttä seurataan. Tästä seuraa se, että inertiapaikannuksessa on tiedettävä lähtöpiste, josta mittausta tai paikan-

nusta lähdetään suorittamaan. Lähtöpisteestä paikkatieto voidaan inertiapaikannusjärjestelmän keräämän suunta- ja kiihtyvyydestiedon avulla ylläpitää käyttämällä hyväksi kinematiikan perusyhtälöiden avulla. Inertiapaikannusta voidaan käyttää maa-, ilma-, ja merialuksissa sekä ohjuksissa. Jopa avaruusaluksissa käytetään inertiaan pohjautuvia paikannusjärjestelmiä. Inertiapaikannuksen tarkkuus kärsii lähtöpisteestä kuljetun matkan kasvaessa. Tarkkuus voidaan ylläpitää suorittamalla nollanopeuskorjaus. Maa-ajoneuvot voidaan pysäyttää ja suorittaa korjaus siten. Lentokoneille tai ohjuksille nollanopeuskorjaus tehdään tutkan ja radion avulla etäältä, itse kohteen ollessa liikkeellä. [1] Osa järjestelmistä, kuten TALIN5000, kertoo käyttäjälle milloin nollanopeuskorjausta vaaditaan. Esimerkiksi AMOS kranaatinheitinpanssari-ajoneuvossa johtajan ja ampujan näytöille ilmestyy teksti ”Nollanopeuskorjaus vaaditaan! Pysäytä ajoneuvo!”. Tekstin ilmestyttyä ajoneuvo pysäytetään ja ilmoitetaan laitteelle painamalla ilmoituksen ”OK”-painiketta. Laite antaa tämän jälkeen joko luvan jatkaa tai ilmoittaa ajoneuvon olleen liikkeessä ja vaatii uuden korjauksen suorittamisen. Normaalisti siirryttäessä pitkiä matkoja nopeatahtisesti, eli käytännössä päällystetyllä tiellä, nollanopeuskorjaus vaaditaan 60 minuutin välein[2]. Maastossa liikuttaessa vaadittu korjausväli on huomattavasti pidempi.

Inertiapaikannuksen matematiikka

Kuten aiemmin tutkimuksessa on esitetty, on inertiapaikannus hyvin pitkälti kinematiikan perusyhtälöihin nojaava paikannusmenetelmä. Integroimalla aluksen kokema kiihtyvyyttä voidaan kulloinkin paikkatieto saada seuraavalla kaavalla:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_0 + \mathbf{v}_0(t - t_0) + \int_{t'=t_0}^t dt' \int_{t''=t_0}^{t'} dt'' \mathbf{a}(t'') \quad [1]$$

$\mathbf{a}(t)$ = Aluksen kokema kiihtyvyys ajan funktiona

\mathbf{v}_0 = Alkunopeus

\mathbf{x}_0 = Lähtöpaikka hetkellä t_0

$\mathbf{x}(t)$ = On kyseisellä hetkellä oleva paikkavektori/paikkatieto

Inertiapaikannuksen tarkkuuden heiketessä laitteen vaatiessa nollanopeuskorjauksen, suorittaa laite ajoneuvon pysähtymisen jälkeen seuraavan yhtälön, jossa t_1 on pysähtymisen hetki:

$$\mathbf{v}(t_1) = \mathbf{v}_0 + \int_{t'=t_0}^{t_1} dt' \mathbf{a}(t) = \mathbf{0} \quad [1]$$

Kuten raportista ilmenee, tarvitaan kiihtyvyyden suunnan saamiseksi gyroskooppia, joka on siksi hyvin oleellinen osa inertiapaikannusjärjestelmää. Gyroskoopin kehitti ranskalainen fyysikko Leon Foucault vuonna 1852 demonstroidessaan maan pyörimisliikettä[3]. Gyroskooppi on inertiaalinen instrumentti, jolla voidaan aistia rotaatiota, jota voidaan käyttää lukuisin tavoin. Ensimmäinen gyroskooppi perustui pyörivän renkaan kulmamomenttiin. Kulmamomentti muodostuu massahitausmomentista ja pyörän kulmanopeudesta.

$$\mathbf{H} = I\boldsymbol{\omega}$$

H = Kulmamomentti

I = massahitausmomentti

ω = kulmanopeus

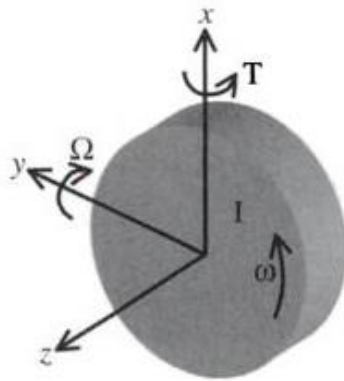
Newtonin liikkeenlakien mukaan esineen kulmamomentti pysyy muuttumattomana, ellei siihen vaikuta vääntömomentti. Jos vääntömomentti vaikuttaa samalla akselilla kuin kulmanopeus, se joko kiihdyttää tai jarruttaa esineen pyörimisliikettä, mitä on merkitty ensimmäisessä termissä myöhemmin esitettävässä yhtälössä. Kuitenkin, jos vääntömomentti kohdistuu kohtisuoraan pyörivän akselin suunnassa, pyörivään akseliin muodostuu prekessio¹, kuten yhtälön toisessa termissä on merkitty. Näiden vaikutukset on esitetty yhtälön alla olevassa kuvassa kaksi.[6]

$$\mathbf{T} = \frac{d\mathbf{H}}{dt} + \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{H}$$

T = vääntömomentti

Ω = Prekessio

¹ Pyörivän objektin hidas pyöriminen toisensuuntaisen akselin ympäri vääntömomentin johdosta. [4] Pyörimisakselin kiertyminen [5]



Kuva 2. Kulmamomentti ja vääntömomentti pyörivässä akselissa

Lasergyroskooppi perustuu puolestaan kahteen, vastakkaisiin suuntiin kulkeviin, lasersäteeseen. Jos kahteen vastakkaiseen suuntaan lähetetään valopulssi paikallaan olevassa silmukassa jonka säde on R , ne kulkevat saman matkan samalla nopeudella ja saapuvat loppupisteeseen samanaikaisesti.

Jos silmukka pyörähtää itse jossakin suunnassa, joutuu toinen valopulssi kulkemaan pidemmän matkan ja saapuu näin hieman toista myöhemmin loppupisteeseen.

Eli matemaattisesti tämä voidaan osoittaa siten, että kun ω merkitsee silmukan kulmanopeutta, johtaa se kehän tangentin loppupisteen nopeuden olevan $v = \omega R$ sekä valopulssien ja loppupisteen summan olevan $c-v$ myötäsuuntaisen pulssin osalta ja $c+v$ vastasuuntaisen pulssin osalta. Molemmat pulssit aloittavat $2\pi R$ alkuerotuksella loppupisteestä, joten matka-ajan erotus on:

$$\Delta t = 2\pi R \left(\frac{1}{c-v} - \frac{1}{c+v} \right) = \frac{4\pi R v}{c^2 - v^2} = \frac{4A\omega}{c^2 - v^2}$$

jossa $A = \pi R^2$ on silmukan rajaama alue. Vastaava vaihe-ero valon taajuudessa radiaaneja / sekunti on $\Delta\phi = v\Delta t$, ja koska $v = 2\pi c/\lambda$, voidaan ero kirjoittaa muotoon $(8\pi A c \omega / \lambda) / (c^2 - v^2)$. [7]

TALIN 5000

TALIN5000 asennetaan kiinteästi osaksi järjestelmää, jonka suuntaa ja paikkaa sen on tarkoitus mitata [8]. TALIN5000 on laserhyriin ja kiihtyvyyssantureihin perustuva inertiajärjestelmä johon voidaan liittää GPS, sanomalaite, LV141, LV241, AHJO-tietokone ja lähtönopeustutka. [8] Se on käytössä AMOS-FIN kranaatinheitinpanssariajoneuvossa, jossa se on integroitu

osaksi muita järjestelmiä sen käytön helpottamiseksi. Myös tykistön ja heittimistön paikantamisajoneuvot käyttävät samaa laitetta. Sen etuina on nopeus, luotettavuus ja käytön helppous alustamisen jälkeen. Kuten monissa muissakin Puolustusvoimien uusissa laitteissa ja järjestelmissä, juuri alustus on eniten aikaa, vaivaa ja tietämystä/osaamista vaativa vaihe. Kun laite on saatu toimintakuntoon, käytännössä sen käyttäjän ei tarvitse enää tehdä muuta kuin lukea koordinaatit ja suunta käyttölaitteelta. AMOS-FIN kranaatinheitinpanssariajoneuvossa sen käyttö on yhdistetty AHJO:n (Ammunnanhallinta ja johtamisjärjestelmään), joten johtaja voi seurata reaaliaikaisesti kartalla vaunun suuntaa ja paikkaa. Näin johtaja myös huomaa onko paikantamislaitteen koordinaatteja tarpeen päivittää. Päivittämisen tarve ilmenee, jos vaunu ei kartalla ole yhtenevässä paikassa oikean sijainnin kanssa. Ampumatoiminnassa johtajan tai ampujan ei tarvitse TALIN:in antamia tietoja seurata ja kirjata mihinkään, vaan FCC (Fire Control Computer) poimii ne suoraan paikannuslaitteelta ja ohjaa aseensa ja AHJO:n toimintaa sen mukaan.

2.1.1.1 TALIN 5000 sisältämät osakokonaisuudet

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1. Inertiayksikkö | INU= Inertial Navigation Unit |
| 2. Johtajan käyttölaite | CDU= Commander Display Unit |
| 3. Kuljettajan käyttölaite | DDU= Driver Display Unit |
| 4. Matka-anturi | VMS= Vehicle Motion Sensor |
| 5. Kirjoitin | |
| 6. Prisma | |
| 7. Kaapeloinnit | |
| 8. Mahdollisuus GPS:n käyttöön | |

Kaikkien TALIN5000 yksiköiden kohdalla ei käytetä kaikkia osakokonaisuuksia.[9]

Esimerkiksi GPS kytkös ei ole mahdollinen 155K98:ssa, kuljettajan käyttölaitetta ei käytetä paikantamisajoneuvossa ja AMOS-FIN kranaatinheitinpanssariajoneuvossa INU ja VMS ovat kytketty muuhun järjestelmään ja näin ollen ainoana käytössä. AMOS-FIN vaunuissa on kuitenkin mahdollisuus kytkeä GPS tukemaan inertiapaikannuslaitetta.

Paikantamisajoneuvo on ainoa järjestelmä joka käyttää kirjoitinta ja prismaa hyväksi omassa toiminnassaan.

2.1.1.2 TALIN 5000 ominaisuudet

- Laitteisto on itsenäinen inertiamittauskokonaisuus
- Pitää sisällään kolme kehä/rengaslaserhyrrää

- Sisältää kolme kiihtyvyyssanturia
- On suojattu Elektromagneettiselta pulssilta (EMP)
- VMS kytkettynä suurin sallittu ajonopeus 120 km/h
- Toimintajännite 24 V ja kulutus 2 Ah (INU 28 W, CDU<24 W, VMS<0,75 W)
- Normaali pohjoistusaika 15 minuuttia ja pikapohjoistus 1 minuutti
- Tarkkuus < 1 piiru (maantieteellinen leveysaste maksimissaan 70 astetta)

[9]

Pohjoistusaika saattaa vaihdella normaali pohjoistuksessa alle viidestä minuutista ilmoitettuun viiteentoista minuuttiin. Loppukäyttäjien havaintojen mukaan pohjoistus ei kestä pääosassa alustuksista viittätoista minuuttia, vaan viidestä kymmeneen minuuttia. Pikapohjoistus saattaa tapahtua jopa sekunneissa, siten että jos käyttäjä ei tiedä laitteen pohjoistavan itseään normaalin pikapohjoituksen yhteydessä muutamassa sekunnissa, saattaa käyttäjä olettaa ettei laite suorita pohjoistusta lainkaan.

Alle yhden piirun tarkkuus johtuu laitteen käyttämästä asteikosta. TALIN5000 on Yhdysvaltalaisen Honeywell Aerospace'n valmistama ja käyttää näin ollen NATO-standardin mukaista 6400 piirun jakoista ympyrää, eikä Puolustusvoimien 6000 piirun mukaista jakoa. NATO-standardin mukaisessa jaossa TALIN5000:n tarkkuus on noin 1 piiru.

Käyttö

Toimintaperiaate

- Paikantamislaitte suunnastetaan hyrräyksikön pohjoistus- toiminnon avulla. (AMOS vaunulla AHJO → Päivitä TALIN)
- Kiihtyvyyssanturien ja laserhyrrien avulla mitataan maapallon pyörimisakselin suunta.
- Inertiatekniikka tunnistaa liikkeen kiihtyvyyssantureilla kolmen koordinaattiakselin suunnassa suhteessa maapallon pintaan.
- Kiihtyvyyssanturien akseleiden suunnat määritetään kolmella laserhyrrällä.
- Paikka määritetään kiihtyvyyksistä mitatun kuljetun matkan ja laserhyrrien mittaamien kulmapoikkeamien avulla. [10]

Käsisuuntakehämittaus (KS-mittaus) ja suuntakehämittaus (SK-mittaus) ovat perinteisiä monikulmiomittausmenetelmiä. Monikulmiomittauksen periaatteena on, että tunnetun pisteen ja

mitattavan pisteen väliltä valitaan sopivia taitepisteitä, joiden yhdysviivat, sivut, muodostavat monikulmion. Monikulmion jokaisen sivun pituus ja suunta mitataan. Näin saatujen lukujen avulla voidaan määrittää joko piirtämällä tai laskemalla pisteiden väliset koordinaattierot. Kun kaikkien taitepisteiden väliset koordinaattierot on määritetty, tiedetään koordinaattimuutos tunnetun pisteen ja mitattavan pisteen välillä ja näin kyetään mitattavan pisteen koordinaatit määrittämään. Tätä menetelmää käytetään eri tavoin halutun nopeuden, tarkkuuden ja käytettävien välineiden mukaan. Mittauksen lähtö- ja sulkupisteinä voidaan käyttää karttakoordinaatistossa toimittaessa tarkkuusvaatimuksen mukaisia karttapisteitä, kartan kiintopisteluetelosta saatuja pisteitä, runkopistelueltelosta saatuja pisteitä tai mitattuja pisteitä, joiden mittauksien tiedot tunnetaan. Mittausten suunnat määritetään vaaditun mittaustarkkuuden mukaan joko taivaankappaleiden, runkopisteiden ja kiintopisteiden, kiinnityspisteiden, hyrräsuuntakehän, paikantamislaitteen, kartan tai pohjoisneulan avulla. Mittaus on suljettava sulkupisteeseen, jonka koordinaatit tunnetaan ainakin samalla tarkkuudella kuin lähtöpisteen koordinaatit. Vastaavasti suunta on suljettava pisteeseen, jonka suunta tunnetaan samalla tarkkuudella kuin määritetty lähtösuunta. Suunta suljetaan lähtöpisteeseen vain silloin, kun sitä ei muuten voida tehdä riittävällä tarkkuudella.[10]

Käsisuuntakehämittauksella määritetään paikannettavan pisteen koordinaatit. Käsisuuntakehämittaus aloitetaan koordinaateiltaan tunnetusta tarkasta pisteestä. KS-mittauksessa taitepisteiden väliä kutsutaan askeleeksi, jonka pituus on yleensä 50 metriä ja se mitataan mittavaijerilla. Askelten suunnat mitataan käsisuuntakehällä neulalukuina. Mitatut suunnat ja etäisyydet kirjataan ja niiden avulla mittaustasoa hyväksikäyttäen lasketaan taitepisteiden väliset koordinaattierot. Mittausnopeus riippuu maastosta, säästä ja tilanteesta, mutta valoisalla se on noin kolme ja pimeällä kaksi kilometriä tunnissa. KS-mittauksen virhe kasvaa mittausetäisyyden pidentyessä. Mittausta voidaan pitää hyväksyttävänä, jos sulkuvirhe ei ole kilometrin matkalla suurempi kuin 30 metriä, kahden kilometrin matkalla suurempi kuin 40 metriä tai kolmen kilometrin matkalla suurempi kuin 60 metriä.[10] KS-mittauksen avulla pystytään tuottamaan tulijoukkueelle tarkka paikkatieto, mutta suuntaa ei käsisuuntakehällä voi siirtää. Käsisuuntakehän suunnalla voidaan ampua lyhyille etäisyyksille, mutta ampumaetäisyyden kasvaessa suunnan virheen vaikutus korostuu. Käsisuuntakehän antaman suunnan tarkkuus on ± 5 pientä, joten sen antama suunta on tyydyttävä[26]. Parhaat edellytykset tulitoiminnalle on topografisen valmistelun ollessa tarkka.[26]

Suuntakehämittauksessa määritetään paikannettavien pisteiden koordinaatit ja lisäksi välitetään suunta tulijoukkueiden peruspisteille. SK-mittauksen lähtöpiste valitaan kuten käsisuun-

takehämittauksessakin ja lisäksi määritetään lähtösuunta kiintopistetietojen, hyrräsuuntakehän tai taivaankappalemittauksen avulla. Mittaus itsessään toteutetaan samoin kuin käsisuuntakehämittaus, askelten pituudet kuitenkin pyritään saamaan vähintään 60 metrin mittaisiksi, mieluiten 100 – 300 metrin mittaisiksi. Mittausnopeus on hyvissä olosuhteissa noin puolitoista kilometriä tunnissa, mutta kaikissa olosuhteissa vähintään kilometri tunnissa. Mittaus suljetaan pisteeseen, jossa sekä suunta että koordinaatit tunnetaan samalla tarkkuudella kuin lähtöpisteessä. Suunta voidaan myös sulkea esimerkiksi taivaankappalemittauksella. Mittaus on onnistunut ja tarkka, kun suunnan sulkuvirhe on alle 2 piirua ja koordinaattien sulkuvirhe alle 30 metriä.[10]

2.4 Ammunnan hallinta- ja johtamisjärjestelmä (AHJO)

Ammunnan hallinta- ja johtamisjärjestelmä (AHJO) on pääasiallinen järjestelmä ampuma-arvojen määrittämiseen ja tulitoiminnan johtamiseen sekä vedettävällä kranaatinheitinkompanialla että kranaatinheitinpanssariajoneuvokompanialla. Kranaatinheitinpanssariajoneuvossa AHJO on suoraan linkitetty muihin järjestelmiin, jolloin paikkatietoa ja suuntausarvoja ei tarvitse käsitellä manuaalisesti, vaan järjestelmä poimii tarvitsemana tiedot itse. Tämä vähentää mahdollisia ampuma-arvojen virhesyöttöjä suuntaukseen ja nopeuttaa hieman toimintaa, mutta näiden merkitys teknisen suorituskyvyn näkökulmasta ei ole merkittävä.

Järjestelmien erot teknologisesti tarkasteltuina ovat suuret, mutta onko vaikutus toivottu? Pelkkä järjestelmien tekninen tarkastelu ei vielä paljasta, onko uuden järjestelmän mukaan tuonti ollut tarpeen ja onko sillä saavutettu sellainen edistys teknisessä suorituskyvyssä, mitä vanhaa järjestelmää päivittämällä ei olisi kyetty tuottamaan. Jotta teknisen suorituskyvyn erojen hyötyjä voidaan tarkastella, on selvítettävä toimintaympäristö, johon uudella teknologialla pyritään tuottamaan lisää suorituskykyä.

3 KRANAATINHEITINKOMPPANIA PANSSARIJÄÄKÄRIPATALJOONAN HYÖKKÄYKSESSÄ

Tuliyksiköiden tehtävänä hyökkäystaisteluissa on tukeminen taktisella tulenkäytöllä ja poikkeustapauksissa suora-ammunnoin. Tulenkäytön painopiste on vaikuttaminen tuhoamisalueilla. Aluevastuussa olevat joukot tukevat hyökkävää joukkoa epäsuoralla tulella tuliyksiköiden kantamien puitteissa.[24] Kranaatinheitinkomppanian käyttötapa hyökkäyksessä riippuu hyökkäyksen laadusta ja suorittavasta joukosta. Tarkasteltaessa Karjalan Prikaatin hyökkäviä joukkoja yleisin taistelun aloitus hyökkäyksessä on kohtaamistaistelu, johtuen pyrkimyksestä nopeaan liikkeeseen lähtöalueelta taistelukosketukseen asti[47]. Pyrittäessä nopeaan liikkeeseen suoja säilyttäen, yritetään jalkauttaminen tehdä mahdollisimman myöhään, jolloin valmistellussakin hyökkäyksessä riskinä on taistelun alkaminen ennen suunniteltua murtokohtaa kohtaamistaistelun omaisesti. Mekanisoidulle joukolle on tärkeää kokonaisuutena kyetä suoraviivaiseen, häikäilemättömään ja aloitteen tempaavaan toimintaan yllättävissäkin tilanteissa, jotta joukkoa kyetään käyttämään täysipainoisesti.[47] Tässä luvussa selvitetään millaisia vaatimuksia kranaatinheitinkomppaniaan kohdistuu hyökättäessä osana panssarijääkäripataljoonaa.

3.1 Kohtaamistaistelu

Kuten edellä on todettu, on kohtaamistaistelu todennäköisimmin odotettavissa oleva taistelun laji hyökättäessä panssarijääkäripataljoonan osana. Kranaatinheitinkomppanialle se tarkoittaa sitä, että kärjen aloittaessa taistelu, on tulijoukkueet saatava nopeasti asemaan ja ampumavalmiiksi, jotta taistelua kyetään tukemaan. Jos kohtaaminen tapahtuu paljon ennen suunniteltua murtokohtaa tai kranaatinheitinkomppanian etäisyys kärkeen on pitkä, on tulijoukkueita siirrettävä taistelun edetessä, mahdollisesti useitakin kertoja. Kohtaamisen tapahtuessa muutoin valmistellussa hyökkäyksessä pääjoukon osalta siirtyessä lähtöasemaan, voi tämä tarkoittaa kranaatinheitinkomppanialle tai sen osalle uuden perussuunnan määrittämistä, ennen kuin taistelussa olevaa joukkoa voidaan tukea. Vedettävä kranaatinheitinkomppania ryhmittyy pika-asemiin kymmenessä minuutissa, josta se voi levittäytyä tulijoukkueittain valmisteltuihin asemiin[46]. Pika-aseamista seuraavaan asemaan siirtyminen voidaan aloittaa tulijoukkueen toimesta noin viiden minuutin kuluttua asemasta lähdön aloittamisesta. Saavuttuaan uudelle alueelle, ajaa tulijoukkue asemaan kuudessa minuutissa viimeisen ajoneuvon pysähtyttyä ja

saavuttaa tarkat ampumaperusteet kymmenessä minuutissa viimeisen ajoneuvon pysähtymisestä[46]. Kranaatinheitinpanssariajoneuvo pystyy aloittamaan tulitoiminnan kolmessakymmenessä sekunnissa tulikomennon saapumisesta sen ollessa liikkeellä[18]. Aika, jossa kaikki kolme ajoneuvoa ajetaan tuliasemaan syrjään marssireitiltä ja ovat valmiita aloittamaan tulitoiminnan, on näin ollen jossain kolmenkymmenen sekunnin ja minuutin välillä. Hajauttaminen omille tuliasema-alueille voidaan aloittaa kymmenessä sekunnissa viimeisestä laukauksesta, jos latausasemia ei ole perustettu tai jos ne on purettu ennen viimeistä tulikomentoa. Jos latausasemat ovat perustettuina, voidaan siirtyminen aloittaa noin viidestä kymmeneen minuuttia siirtymiskäskyn jälkeen.[55]

3.2 Valmisteltu hyökkäys

Valmisteltu hyökkäys on alueellisille taisteluosastoille se hyökkäyksen laji jota pyritään toteuttamaan johtuen ajoneuvokaluston mahdollisuuksista suojan tarjoamiseen ja vaikuttamiseen ajoneuvosta käsin. Operatiivisilla joukoilla sitä on haastavampi toteuttaa, johtuen pyrkimyksestä siirtyä lähtöalueelta mahdollisimman nopeasti kosketukseen. Valmistellussa hyökkäyksessä alueelle viedään ensin suojaava osa, joka suojaa hyökkäykseen ryhmittymisen. Tällöin joko koko tuliyksikkö tai sen osa viedään alueelle, jolloin se voi valmistella asemat ja tukea suojaavia osia. Siirrettäessä koko tuliyksikkö kerralla alueelle, ei pääjoukolla ole marsin aikana kranaatinheitinkomppanian tukea, vaan sen on tällöin tukeuduttava muihin tuliyksiköihin. Tuotaessa pääjoukon mukana osa tuliyksiköstä, esimerkiksi kaksi tulijoukkuetta, on tuliyksikkö kokonaisuudessaan ampumavalmis noin viidessätoista minuutissa alueelle saapumisesta, kun asemat ovat valmisteltuja. Valmistellussa hyökkäyksessä suojaavan osan joutuessa taisteluun, sitä tukemassa oleva tuliyksikön osa on hyvin altis vastatykistötoiminnalle, sillä se saattaa joutua tukemaan taisteluja tällöin pitkään ilman mahdollisuuksia tuliasemien vaihtoon. Lisäksi tukevan osan ollessa pieni, ei vastatykistötoiminnallekaan ole useita maaleja, vaan se kyetään keskittämään. Jos alue mahdollistaa, pyritään valmistellussa hyökkäyksessä tuliasemaryhmitukseen, jossa jokaisella aseella olisi useita tuliasemia vastatykistötoiminnan vaikutusten pienentämiseksi. Kuitenkin jos suojaavia osia on tukemassa vaikka yksi tulijoukkue, yhden aseiden siirtyminen tuliasemasta toiseen vie noin kymmenen minuuttia, jolloin se on poissa ampumatoiminnasta. Vastaavassa tapauksessa kranaatinheitinpanssariajoneuvo voi vaihtaa jatkuvassa sykliissä tuliasemia ja tukea tarvittaessa myös tuliasemien väliltä.

3.3 Sivustauhka

Hyökkäys pyritään aina suuntaamaan vihollisen sivustaan, jolloin se ei kykene käyttämään joukkojaan parhaalla mahdollisella tavalla hyökkääjää vastaan. Tästä johtuen hyökkäyksen suuntautuessa väärään kohtaan tai alkaessa saada syvyyttä vihollisen ryhmyksessä, syntyy mahdollisuus sivustauhkaan, myös tukevia osia vastaan. Vihollinen saattaa myös suunnata maahanlaskun hyökkäävien joukkojen selustaan. Tällöin kranaatinheitinkomppanian osat saattavat joutua turvautumaan suora-ammuntaan. Vedettävällä kalustolla toimittaessa suora-ammunta on sinänsä hämäävä termi, että ammunta toteutetaan edelleen yläkulmilla ja epäsuoran lentoradan kautta. Sivusuunta saadaan suora-ammunnassa suuntaamalla heitin perusluke- milla suoraan suuntaimeen näkyvään maaliin, maalin suunnassa näkyvään pisteeseen tai maalin ja suuntaimen kautta kulkevalle suoralle asetettuun kiinnityspisteeseen[26]. Ampumaetäisyys saadaan joko arvioimalla tai mittaamalla, minkä jälkeen etäisyydelle valitaan oikea panos ja suuntaimelle asetetaan sopiva koro, jolla heitin suunnataan.[26] Tällaisessa tilanteessa heittimen johtajan tai tulijoukkueen johtajan on arvioitava maalin etäisyys, sillä tulijoukkueella ei ole välineitä etäisyyden mittaamiseen mittavaijeria lukuun ottamatta. Lisäksi jos halutaan muun komppanian tukevan taistelua, on maalin koordinaatit otettava kartasta, jotta tukeminen onnistuu ja tällöin tarkkuus ei monesti ole toivottu. Komppanian muut aseet eivät myöskään välttämättä pysty suoraan ampumaan uuteen suuntaan, vaan vaaditaan uusien perussuuntien tekemistä ja mahdollisesti raivauksia. Tällöin tukemisen alkamiseen menee useita minutteja. Kranaatinheitinpanssariajoneuvossa on suora-ammuntakyky, jolloin kranaatit ammutaan 5.panoksella suoraan kohteeseen suora-ammuntatähtäintä käyttäen. Suora-ammuntatähtäintä voidaan käyttää tähyttämiseen, tähtäämiseen ja etäisyyden mittaamiseen[20]. Mitattaessa maalin etäisyys suora-ammuntatähtäimellä epäsuoraa tulta varten, laskee ammunnan hallintaja johtamisjärjestelmä maalin koordinaatit, minkä jälkeen ne voidaan välittää muille vaunuille.[20] Vaunut eivät tarvitse perussuuntia, joten ne pystyvät tukemaan heti kun ovat sellaisessa paikassa, josta ampuma-ala sen mahdollistaa. Ampuja pystyy suora-ammunnassa mittaamaan etäisyyden maaliin juuri ennen laukaisua, joten liikkuvaankin maaliin kyetään saamaan ajantasainen etäisyystieto. Loppukäyttäjien havaintojen mukaan ammuttaessa suora-ammuntaa paikallaan olevaan maaliin 400-500 metrin etäisyydellä osumaprosentti on 95-100% ja ammuttaessa sivuttaissuunnassa 15km/h liikkuvaa maalia 300 metrin etäisyydellä osumaprosentti on 80%. [55] Näillä perusteilla voitaneen todeta, että kranaatinheitinpanssariajoneuvo komppaniolla pystytään reagoimaan yllättävästä suunnasta tapahtuvaan toimintaan selvästi nopeammin ja tehokkaammin.

3.4 Torjuntaan ryhmittäminen ja vastahyökkäyksen torjunta

Päästäessä tavoitteeseen hyökänneet joukot ryhmittäytyvät puolustukseen ja valmistautuvat ottamaan vastaan vihollisen vastahyökkäyksen. Vastahyökkäys alkaa tulivalmistelulla, joka kohdistuu etulinjan joukkoihin ja tuliyksiköihin[48]. Tulivalmistelu jatkuu vielä ensimmäisten joukkojen hyökätessä, siirtyen silloin vaikuttamaan etulinjasta taaempaan oleviin kohteisiin.[48] Todennäköisesti vastahyökkäys aloitetaan suhteellisen nopeasti puolustukseen ryhmittämisen jälkeen, jolloin suuriin linnoitustöihin ei jää kovin paljoa aikaa, joten ainakaan kaikkia heittimien asemia tuskin ennätetään linnoittaa. Vihollinen tiedustelee alueen tarkkaan ennen vastahyökkäyksen alkua, löytääkseen tuliyksiköt ja etulinjan. Tiedustelun perusteella ammuttava tulivalmistelu on tarkka, joten huomattaessa tiedustelu ajoissa voidaan aseet siirtää toisiin tuliasemiin, jotta tulivaikutus kyetään väistämään. Jos tiedustelulla varmennetaan vielä juuri ennen tulivalmistelun alkua kohteiden sijainti, voidaan tulivaikutus suunnata oikeaan paikkaan. Tässä vaiheessa on riskialtista jättää suojainen asema ja lähteä siirtymään, jolloin ainoa suoja on ajoneuvon ja liikkeen antama suoja. Vedettävällä komppanialla tämä tarkoittaa noin 20 -30 minuutin mittaista toimintaa, jossa poistutaan tuliasemasta, siirrytään ja ajetaan ampumavalmiiksi uuteen tuliasemaan[46].

Alettaessa tukea vastahyökkäyksen torjumista, suoritetaan kranaatinheitinkomppaniassa puolustuksen mukaista tuli- ja tuliasematoimintaa. Vastahyökkäystä tuetaan hyvin todennäköisesti myös vastatykistötutkan käytöllä, sillä silloin se kyetään tuomaan melko lähelle hyökkäyksen etureunaa ja näin ollen hyödynnettyä sen tehokasta kantamaa täysipainoisesti. Tuliyksiköiden eliminoiminen vähentää hyökkääjän tappioita ja helpottaa näin sen pyrkimyksiä päästä tavoitteeseen. Koska hyökkäyksen jälkeen alueella tuskin on muita tuliyksiköitä vastatykistötutkan kantaman sisällä, voidaan vastatykistötoiminnassa keskittyä kranaatinheitinkomppaniin vaikuttamiseen. Tämä tarkoittaa kranaatinheitinkomppanian osalta sitä, että sen tulisi pyrkiä pysymään mahdollisimman paljon liikkeellä, jotta ammutut laukaukset jotka jäljitetään tutkalla, eivät saattaisi heitinmiehistöä vastaiskun kohteeksi.

Nopea tulenavaus liikkeen jälkeen ja varsinkin nopea liikkeellelähtö ampumisen jälkeen on perusteltavissa nykyaikaisen vastustajan taktiikalla. Vastustajan kaikkeen toimintaan liittyy jatkuva tiedustelu, johon olennaisena osana liittyy maasta ja ilmasta tehty elektroninen tiedustelu[27]. Tiedustelu mahdollistaa välittömän tulenkäytön. Lisäksi vastustajan epäsuoran tulen tärkein tehtävä on vastatykistö- ja kaukotoiminta. Vastustajan vastatykistötoiminnalle on

ominaista hyvä maalitiedustelukyky, tulenaloituksen nopeus, hetkellinen tulen teho, tarkkuus ja ulottuvuus sekä tuliasemien valmisteluajojen lyhyys.[27] Kaikkiin näihin pyritään vastaamaan väistämällä nopeasti tulitoiminnan jälkeen.

Vastatykistötoiminta muodostuu kaikissa hyökkäystavoissa ja hyökkäyksen vaiheissa suureksi uhaksi kranaatinheitinkomppanialle, myös hyökkäyksen onnistuessa niin hyvin, etteivät vihollisen jalkaväkijoukot pääse suoraan kosketukseen kranaatinheitinkomppanian kanssa. Tämän takia on syytä tutkia tarkemmin millaisen uhan vastatykistötoiminta ja varsinkin vastatykistötutka aiheuttavat kranaatinheitinkomppanialle.

4 VASTATYKISTÖTOIMINTA UHKANA

4.1 Vastatykistötoiminta käsitteenä

Vastatykistötoiminnan tarkoituksena on tuhota tai lamauttaa tykistön, raketinheittimistön ja kranaatinheittimistön sekä ohjus- ja rakettiliikkeen tuliasemat.[49] Epäsuoran tulen joukkoihin kohdistuu erittäin suurella todennäköisyydellä vastatykistötoimintaa, sillä taistelukentällä viholliseen kohdistetusta tulivaikutuksesta tykistön, raketinheittimistön ja tykistöohjusten osuus on jopa 80%.[50] Vastatykistötoiminnassa on sekä havaitsemisuhka että vaikuttamisuhka, jotka kranaatinheittimistön tapauksessa ovat yleisimmin lentoratatutka ja tykistöpatteristo. Havaitsemisuhassa keskeistä on aika joka kuluu havainnosta tai havainnoista siihen, että tulokset ovat lähetettävissä eteenpäin tulkittaviksi[50]. Tästä ajasta voidaan käyttää nimitystä järjestelmäviive. Tällaisen viiveen arvellaan lentoratatutkalla olevan noin 10 minuuttia.[50] Periaatteessa vaikuttaminen voidaan aloittaa heti tämän jälkeen, mutta laskettaessa mukaan suuntaamiseen ja ammusten lentoon kuluva aika, alkaa tuli tällöin todennäköisesti aikaisintaan 13 minuuttia havaitsemisesta.

4.2 Vastatykistötutka

Vastatykistötutkat saivat alkunsa hieman ennen toisen maailmansodan alkua. Tuolloin oli tarve kehittää tutka lentokoneita vastaan ja tätä kehitettiin nopeasti myös laivastolle ja rannikkotykistölle tulenjohtotutkaksi. Tulenjohtotutka havaitsi näköetäisyyden ulkopuolelta ohimenneiden laukausten aiheuttaman loiskahduksen vedessä, jolloin niiden avulla voitiin ohjata tuli maaliinsa. Vastatykistöllinen toiminnan mahdollisuus huomattiin lähellä rintamalinjoja

toimineissa ilmatorjuntajoukoissa, jotka saivat havaintoja kranaatinheitinten ammuksista ja pystyivät seuraamaan niitä. Tämä johtui todennäköisesti kranaatin pyrstöstä, jonka ”evät” muodostivat kulmakuutioheijastimen, joka nimensä mukaisesti heijasti signaalin voimakkaasti takaisin. Nämä sattumat saivat aikaan kehityksen täysin kranaatinheitinten paikantamiseen tarkoitettujen tutkien osalta. Kranaatinheitinten paikat oli helppo löytää, jopa analogisten tietokoneiden laskennalla, koska kranaattien lentorata noudattaa melko tarkoin matemaattista paraabelia. Myös yli 45° lentoradalla ampuneiden haupitsien paikat pystyttiin näillä välineillä löytämään.[33] Näin ollen kranaatinheitinten rooli vastatykistötutkan historiassa on suuri, jopa suurempi kuin tykkien, vaikka nykyään tykistö onkin tutkien ensisijainen kohde. Kuitenkin jo 1960-luvun tutkilla on ollut helppo löytää kranaatinheitimet, mikä ei ole muuttunut tähän päiväänkään mennessä. Mikä on muuttunut, on se, että nykyään vastatykistötutkat pystyvät paikantamaan useiden samanaikaisten laukausten lähtö- ja päätymspaikat.[33]

Periaatteena vastatykistötutkan toiminta on hyvin yksinkertainen. Havaitaan ammus ilmasta ja seurataan sitä niin kauan, että voidaan muodostaa käsitys sen lentoradasta. Kun lentorata on saatu selville, voidaan sitä seurata taaksepäin aina lähtöpaikkaansa asti.

Nykyisillä laitteilla tämä käy automatisoidusti ja helposti, mutta kehityksen alkuvaiheessa haasteena oli ammuksen löytäminen lentoradaltaan, pitäen samalla oma tutka piilossa vihollisen elektronisilta vastatoimilta. Nykyisin käytettäessä vaiheohjattuja tutkia, pystytään kattamaan laaja alue ja havaita siltä tarkasti oleelliset kohteet ja jättää epäoleelliset kohteet, kuten lentokoneet huomiotta.

Vastatykistötutkan mahdolliset käyttöetäisyydet muodostuvat pitkälti ammusten tutkapoikkipinta-alan mukaan. Tutkapoikkipinta-ala on suurin raketinheitinten raskailla ammuksilla (esim. 227mm 0,018m), lähes yhtä suuri raketinheitinten kevyemmällä ammuksilla ja kranaatinheitinten ammuksilla (0,009m ja 0,01m) ja selvästi pienempi tykistön ammuksilla (0,001m). Näin ollen heittämiä ja raketinheitimiä pystytään jäljittämään jopa yli 50 kilometrin etäisyydeltä ja tykistöä noin 30 kilometrin etäisyydeltä. Paras tarkkuus saavutetaan kuitenkin lähempää ampuvia aseita, sillä paikannuksen tarkkuus on verrannollinen paikannuksen etäisyyteen. Paikannuksen tarkkuutta kuvataan yleensä CEP –luvulla.[33] CEP – lyhenne muodostuu sanoista circular error probable, ja se tarkoittaa lukua jolla arvioidaan esimerkiksi ammuksen todennäköistä osumistarkkuutta. CEP:in määritelmän mukaan puolet ammuksista osuu CEP:n säteisen ympyrän sisään eli mitä suurempi CEP sitä huonompi tarkkuus. Esimerkkinä CEP 100 metriä, niin 50% ammuksista osuu 100 metrin säteelle kohteesta ja loput siitä normaalijakautuneesti, siten että 300 metrin säteelle tulisi jo osua 99,8% ammuksista.[34] Nykyisissä vastatykistötutkissa CEP on yleensä 0,3-0,4% mittausetäisyydestä.[33]

Tutkittaessa tarkemmin vastatykistötutkan tarkkaa toiminta periaatetta, käytetään esimerkkitutkana Yhdysvaltojen armeijan AN/TPQ-37 vastatykistötutkaa ja sen toimintaa, näin ollen kaikki esitetyt periaatteet tutkan toiminnasta eivät välttämättä ole samat kaikkien tutkamallien kanssa.

Tutka suorittaa viisi perusaskelta määrittääkseen vihollisen ampumasijainnin:

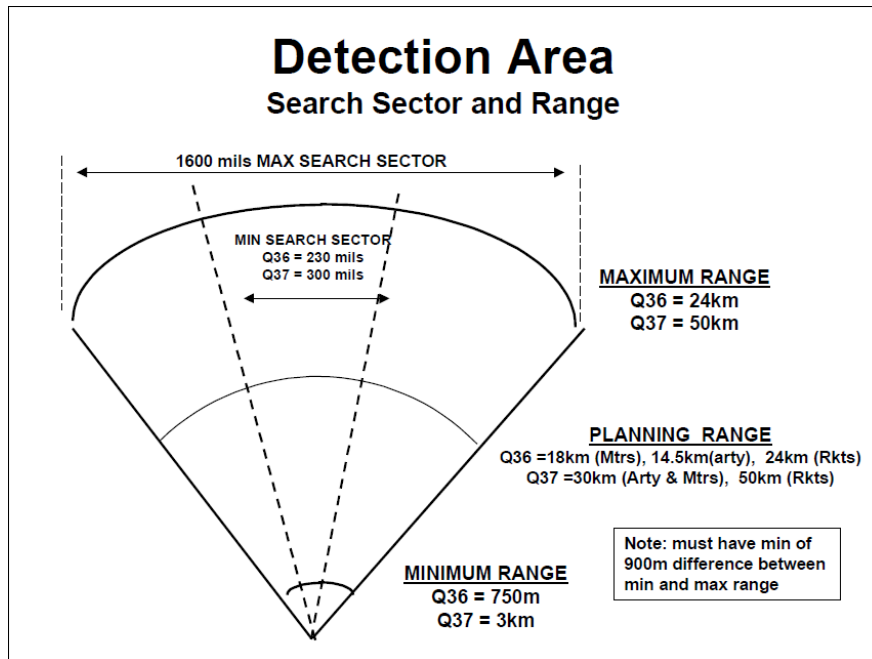
1. Laatii etsintäverkon.
2. Varmentaa etsintäverkon läpäisyn.
3. Vahvistaa lentoradan.
4. Seuraa ammusta.
5. Ekstrapoloi ammuksen lähtöpaikan ja määrittää osuman arviokohdan.

Monien ehtojen tulee täytyä, jotta tutka onnistuu määrittämään ampuneen aseiden sijainnin ja ammuksen maahan tulo pisteen. Ensimmäiseksi etäisyys ammukseseen tulee olla sellainen, että tutkasäteet osuvat kohteeseen lentoradan nousuvaiheessa. Käytettäessä ”vihollismoodia” eli vastaantulevien ammusten/ vihollisen ampumien ammusten etsintä moodia, tutka havaitsee ainoastaan nousevalla radalla olevat kohteet. (Vihollismoodi on päällä pääosan ajasta käytettäessä vastatykistötutkaa.) Lisäksi ammuksen tulee olla riittävän iso luodakseen tutkaheijasteen ja liikkua nopeudella joka on tutkan toimintaparametrin sisällä, jotta tutka voi havaita ammuksen. Kun tutka näkee kohteen se määrittää kohteen lentoradan. Kohteella täytyy olla ballistinen lentorata tai tutka hylkää sen. Kun kohde on havaittu, pitää sitä seurata riittävän pitkä aika, jotta tutka saa laskettua ratkaisun. Seuranta-ajan pituus määräytyy tutkan tyyppin mukaan, tässä riittävän pitkä aika on 5-8 sekuntia. Tutka voi määrittää sijainteja vain esineistä, joiden mallit ovat tutkan teknisen kyvyn ymmärrettävissä ja läpäisevät tutkan havaintoalueen.[35]

Tutkan havaintoalue on kolmiulotteinen alue, jonka määrittävät minimi ja maksimi kantama, etsintäalue ja tutkan pystypyyhkäisy. Tutkan maksimi kantama ei ole täysin ehdoton, vaan se on etäisyys jolla havaitsemisen todennäköisyys laskee niin alas, ettei sitä voi käyttää suunnittelutarkoituksiin. Kuitenkin, kohteita voidaan havaita myös pidemmältä etäisyydeltä. Vastavuoroisesti kaikkia kohteita kantaman sisältä ei havaita.[35] Tutkan havaintoaluetta on havainnollistettu kuvassa 3.

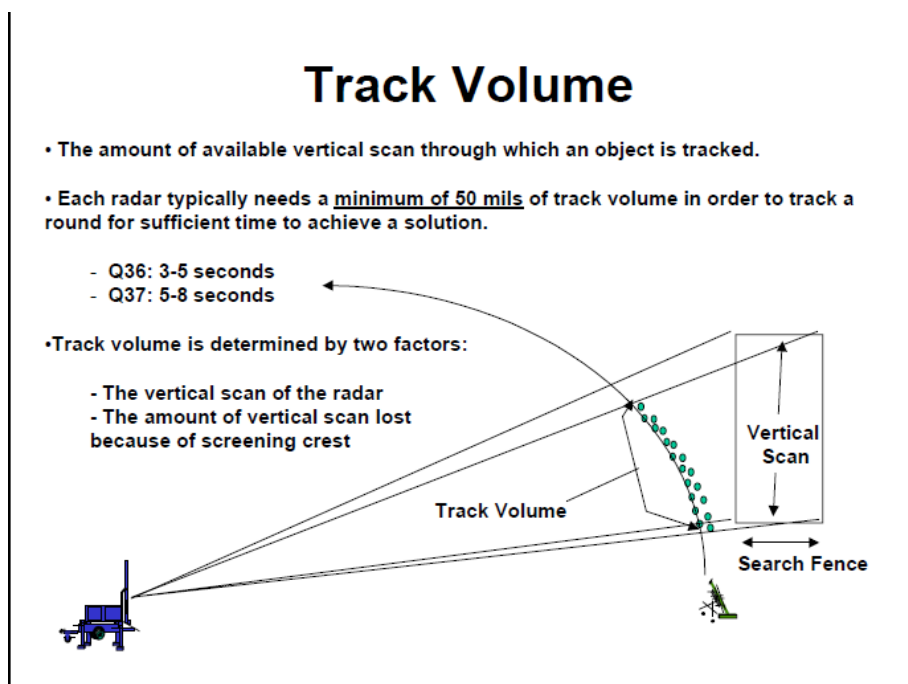
Etsintäsektori on se alue vasemmalle ja oikealle tutkan atsimuuttisuunnasta, jolla tutka voi havaita kohteita. Se voi olla maksimissaan 1600 piirua (NATO, 6400 jakoinen, eli noin 90

astetta) ja sitä voidaan pienentää taktiseen tilanteeseen perustuen.[35]



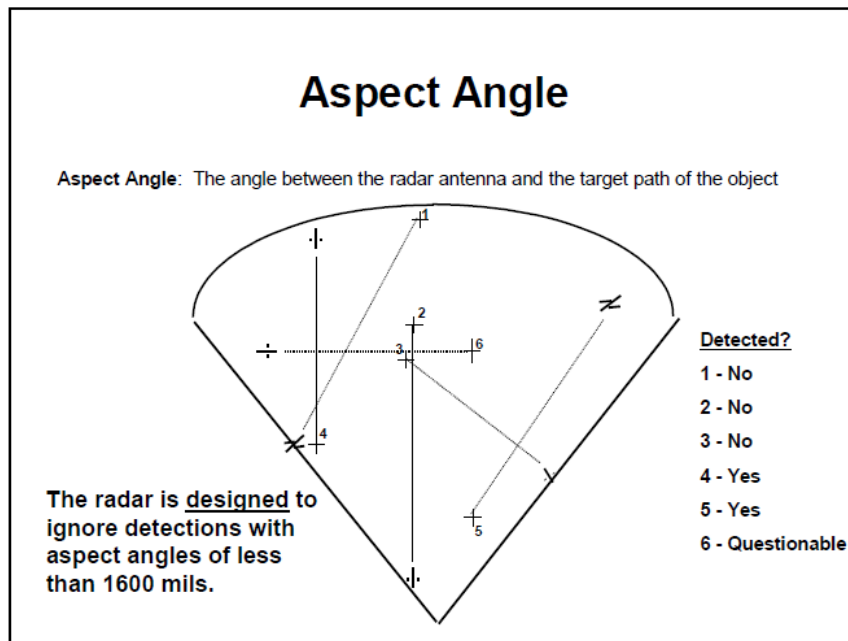
Kuva 3. Etsintäsektorin ja kantaman rajoitukset [35]

Tutkan pitää olla riittävä pystypyyhkäisy kohdissa, joissa ammus etenee havaintoalueen poikki, jotta tutka pystyy seuraamaan sitä ja laskemaan tulokset ammuksen lähtö- ja loppupaikasta. Käytössä olevan pystypyyhkäisy määrää kutsutaan ratavolyymiksi. Tutkat vaativat vähintään 50 piirua (NATO, noin 2,8 astetta) ratavolyymia jäljittääkseen ammusta riittävän pitkään ratkaisun saavuttamiseksi.[35] Tätä on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. Ratavolyymi [35]

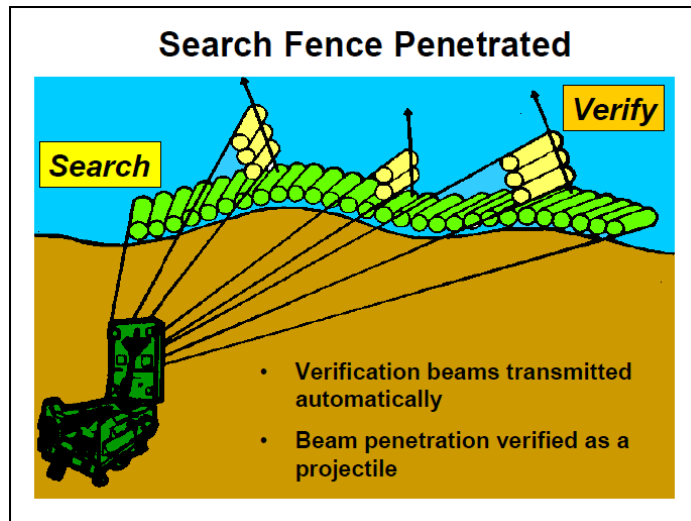
On vielä kaksi muuta tärkeää tekijää, jotka vaikuttavat tutkan kykyyn havaita, seurata ja saavuttaa ratkaisu kohteesta. Ne ovat asentokulma ja kohteen nopeus. Asentokulma on kulma tutkan antennin ja mitattavan kohteen reitin välissä. Asentokulman pitää olla yli 1600 piirua (NATO eli 90 astetta). Tämä tarkoittaa sitä, että ammuksen on tultava tutkaa kohden. Ammukset, joiden asentokulma on lähellä 1600 piirua, eivät välttämättä tule havaituiksi. Kulman vaikutusta havaitsemiseen on esitetty kuvassa 5. Kohteen nopeus pitää myös ottaa huomioon. Nopeuden pitää olla tietyn tutkan nopeuden kynnyksarvojen minimin ja maksimin välillä. Esimerkissä olevalla tutkalla välillä 130 m/s – 1500 m/s.[35]



Kuva 5. Asentokulma [35]

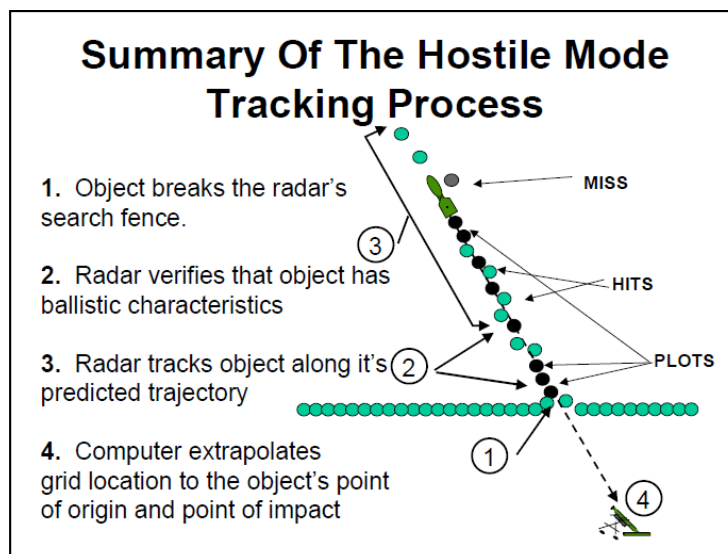
Etsintäverkon luominen oli ensimmäinen askel, jonka tutka tekee havaitessaan kohdetta. Tutka tekee tämän lähettämällä joukon säteitä, jotka mukautuvat maastoon. Kun kohde läpäisee etsintäverkon, tutka määrittää kohteen nopeuden, korkeuden, etäisyyden ja atsimuutin. Tutka käyttää tätä informaatiota ennustaakseen kohteen seuraavan sijainnin ja lähettää varmistussä-

teitä selvittääkseen onko kohteella ballistinen lentorata.[35] Tämä on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Etsintäverkko ja lentoradan varmistus [35]

Jos ballistinen lentorata varmentuu, tutka lähettää joukon seurantasäteitä. Nämä säteet tuottavat tutkalle vaadittavan tiedon, jotta tutka pystyy matemaattisesti ekstrapoloimaan laukaisu- ja osumapisteen. Tämä on esitetty kuvassa 7. Tutka lakkaa lähettämästä seurantasäteitä, jos ratkaisu saadaan laskettua, tulee viisi peräkkäistä ”ohilaukausta”, seuraava ennustetun lentoradan päivytyspiste on vasemmalta tai oikealta tutkan etsintäsektorin ulkopuolella tai seuraava ennustetun lentoradan päivytyspiste on yläpuolella tai alapuolella tutkan korkeuskynnyksistä.[35]



Kuva 7. Yhteenveto tutkan toiminnasta [35]

Maalien hankinta kenttätykistölle on hyvin tärkeässä roolissa kohdennettaessa resursseja, sillä ilman tarkkaa maalitietoa epäsuoran tulen järjestelmillä on hyvin rajallinen arvo. Vastatykis-

tötutkat ovatkin tärkeä työkalu maalittamisessa, ja ne ovat tärkeimpiä keinoja paikantaa vastustajan epäsuoran tulen järjestelmiä.

Vastatykistötutkan tehtäväjärjestys pitää sisällään:

- Vihollisen epäsuorantulen järjestelmien paikallistamisen ja niistä tykistömaalin tiedustelun.
- Vihollisen epäsuorantulen järjestelmien paikallistamisen ja niihin tulitehtävien tuottamisen.
- Omien tykkien ja heitinten rekisteröinnin ja säätämisen.
- Omien joukkojen tulituksen paikkojen validioimisen.
- Tuottaa omille joukoille maalitietoa ja informaatiota, jolla mahdollistetaan omien joukkojen suojelutoimenpiteet samalla, kun vaikutetaan vihollisen epäsuorantulen järjestelmiin tuli-iskuilla.[35]

Tutkia operoi yleensä 4-8 taistelijaa, vaikka tutkan käyttämiseen tarvitaankin vain yksi. Tutkan pitää tarkkoja tuloksia tuottaakseen tietää tarkasti oma paikkansa ja olla tarkasti suunnattu. Pääosassa tutkista onkin sisäänrakennettuna inertianavigointijärjestelmä, jonka toimintaa tuetaan GPS:llä.

Paikantamisen jälkeisen toiminnan määrittää sillä hetkellä voimassaoleva voimankäytönsäädös. Joissain armeijoissa tutkat voivat lähettää maalitietoja suoraan vastatykistöyksiköille ja käskää niitä ampumaan, kun taas toisissa ne saavat välittää tietoa vain esikuntiin, joissa tehdään ratkaisut jatkotoimista.

Vastatykistötutkat ovat tykistön ja ilmaiskujen ensisijaisia kohteita ja helppoja havaita sekä paikallistaa, jos vihollisella on kunnollinen elektronisen tiedustelun kyky. Tämä pitääkin ottaa huomioon tutkien käyttöä suunnitellessa, jotta niitä voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti, kuitenkin pitäen tutkat turvassa vihollisen vastavaikuttamiselta.[35]

Tiedettäessä vastatykistötutkan luoma uhka yhdessä epäsuoran aseiden kanssa on syytä tarkastella, miten vastatykistötoiminnan uhkaa kyetään pienentämään. Kyetessä pienentämään vastatykistötoiminnan vaikutuksia omiin tukeviin osiin, voidaan taata omille taisteleville joukoille riittävä määrä epäsuoraa tulta myös taistelujen loppuvaiheessa.

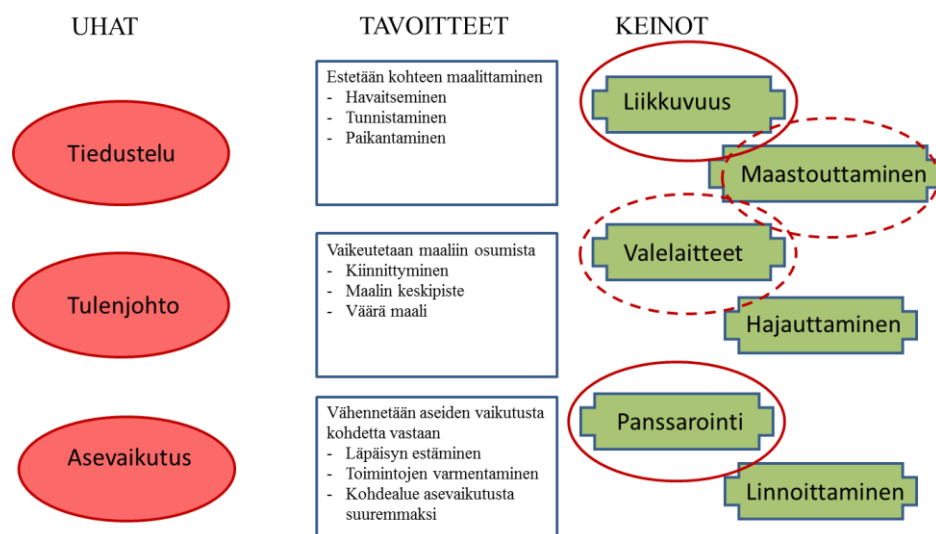
5 VASTATYKISTÖTOIMINNAN VAIKUTUSTEN MINIMOINTI

5.1 Suoja

Suoja voidaan jakaa passiiviseen ja aktiiviseen suojaan. Aktiivisella suojautumisella pyritään estämään hyökkääjän toiminta välittömällä torjuntatoimenpiteillä. Passiivisella suojautumisella pyritään estämään oman toiminnan havaitseminen, vähintään vaikeuttaa tar-kan maalipisteen määrittämistä ja lisätä kohteen kestävyyttä asevaikutusta vastaan.[43]

Aktiivisen suojautumisen toimenpiteinä käsitetään omasuojajärjestelmä, jonka tavoitteena on saada vastustajan asevaikutus harhautumaan maalista häiritsemällä asetta tai sitä ohjaavaa lavettia, jolloin kyseessä on soft-kill-järjestelmä, tai jonka tavoitteena on tuhota ase tai ammus ennen kuin se vaikuttaa suojattavaan kohteeseen, jolloin kyseessä on hard-kill-järjestelmä. Tällaisia omasuojajärjestelmiä on lähinnä kalliiden ilma-alusten ja laivaston alusten suojajärjestelminä ilma- ja merimaaliohjuksia vastaan.[44] Aktiivisia omasuojajärjestelmiä on käytössä nykyisin myös useissa taistelupanssarivaunuissa. Kuitenkaan kummassakaan tässä tutkimuksessa tutkittavista järjestelmistä sellaista ei ole, joten suojan osalta keskitytään tässä tutkimuksessa passiiviseen suojaan ja suojautumiseen.

Passiivinen suoja voidaan edelleen osiin, jolloin on mahdollista muodostaa kokonaiskuva passiivisesta suojasta. Passiivisen suojan keinoja ovat liikkuvuus, maastouttaminen, valelaitteiden käyttö, hajauttaminen, panssarointi ja linnoittaminen.[43] Passiivisen suojan kokonaiskuva on esitetty kuvassa kahdeksan.



Kuva 8. Passiivisen suojan kokonaiskuva.[43] Kuvassa ympyröity kiinteällä viivalla keinot joihin vaikuttaa teknisesti ja katkoviivalla keinot joihin osin mahdollista vaikuttaa teknisesti

5.2 Tulijoukkueen suoja

Tutkittaessa tulijoukkueen mahdollisuuksia suojautua vihollisen asevaikutukselta, on todettava, että pääosin joukkueen suoja perustuu taktiikkaan ja koulutukseen. Teknisillä ratkaisulla pystytään kuitenkin vaikuttamaan merkittävästi eri suojakeinoihin. Kuten edellä on esitetty, on liikkuvuuteen ja panssarointiin helpoin vaikuttaa teknisellä kehityksellä. Toki erilaisilla teknologisilla ratkaisulla voidaan parantaa maastouttamisen tasoa tai valelaitteiden uskottavuutta. Pääosin näitä keinoja voidaan kuitenkin tukea niin vahvasti taktisella tasolla ja toteuttaa samankaltaisina useille järjestelmille, että niihin ei tässä tutkimuksessa ole syytä syventyä. Hajauttaminen ja linnoittaminen ovat niin ikään toteutettavissa kaikille järjestelmille, joten niihinkään ei tässä tutkimuksessa ole syvennytty.

Liikkuvuuden osalta on jo tässä tutkimuksessa esitetty, miten kauan kestää aseman vaihtaminen kaikkine vaiheineen vedettävällä heitinkalustolla sekä kranaatinheitinpanssariajoneuvolla. Niinpä tässä luvussa syvennyttään panssarointiin ja siihen miten pitkälle kranaateista suojattava kohde on vietävä, jotta panssarointi pysäyttää sirpaleet. Vertailussa käytetään matemaattista analyysia. Vertailtavina kohteina ovat Sisu SA-150, jonka kori on rakennettu teräksestä, joka on arviolta sentin paksuista rakenteissa sekä AMOS-FIN, jonka kori on rakennettu panssariteräksestä, jota on korissa yhteensä noin kaksi ja puoli senttiä jaettuna kahteen kerrokseen[20, 31]. Rakenneaineiden kovuuksien mittarina on käytetty tässä tutkimuksessa Brinellin kovuuslukua, joka on panssariteräkselle BH 377-415 ja teräkselle HB 150.[53, 54] Esimerkki ammuksena käytetään Neuvostoliittolaista OF 540 ammusta, joka on 152 mm sirpaleammus ja jota joidenkin lähteiden mukaan on yhä käytössä Venäjän armeijan tykistöllä. Keskiveretosirpaleen massa OF 540:stä on 2,24 unssia (n.63,5g) ja lähtönopeus 3450 jalkaa sekunnissa (n. 1051 m/s)[54].

Sirpaleen läpäisykyky tiettyihin aineisiin voidaan laskea kahden kaavan avulla. Teräkseen tapahtuva läpäisy voidaan laskea kaavalla:

$$X = 0.21 W_f^{0.33} V_{sf}^{1.22}$$

jossa X on sirpaleen läpäisymatka (tuumaa), W_f on sirpaleen massa (unssia) ja V_{sf} on sirpaleen iskunopeus (10^3 kertaisena jalkaa per sekunti). Jos X on suurempi kuin suojaavan rakenteen paksuus, tapahtuu läpäisy. [54]

Muille teräksille voidaan saman asian ratkaisemiseksi käyttää kaavaa:

$$X' = X \exp[8.77 \cdot 10^{-6}(B'^2 - B^2) - 5.41 \cdot 10^{-3}(B' - B)]$$

jossa X' on sirpaleen läpäisymatka (tuumaa), X on sirpaleen läpäisymatka teräksessä (tuumaa), B on Birnelliin kovuus teräkselle (BH, Birnell Hardness) ja B' on toisen teräksen kovuus (BH). [54]

Ensimmäiseksi on syytä määrittää ns. ”nollakohdan” arvo eli sirpaleiden läpäisy 6 metrin siällä ammuksen räjähdyspaikasta, jolloin sirpaleen iskunopeus voidaan esittää sirpaleen lähtönopeutena.

$$\text{Teräs: } X = 0,21 \times 2,24^{0,33} \times 3,45^{1,22} = 1,24148 \text{ tuumaa (3,1534 cm)}$$

$$\text{Panssariteräs: } X' = 1,24148 \times e^{[0,00000877 \times (142129 - 22500) - 0,00541 \times (377 - 150)]} = 1,038 \text{ tuumaa (2,63 cm)}$$

Jo tässä kohtaa voidaan todeta, että kranaatinheitinpanssariajoneuvolla ei tarvitse kovin paljon kauemmas liikkua, jotta keskivertosirpale ei enää lävistä sitä. Lisäksi tässä laskussa ei ilmene viistotuksien ja muun materiaalin antama lisäsuoja, jota ajoneuvossa on. Toki on syytä muistaa, että kranaatista muodostuu suurella todennäköisyydellä myös suurempia sirpaleita, joiden läpäisykyky on parempi. Eikä kaikkien sirpaleiden ole läpäistävä panssaria vaurioittaakseen ajoneuvoa, sillä ajoneuvon pintakerroksesta löytyy runsaasti vaurioituvaa materiaalia kuten renkaat, prismat ja antennit. Miehistölle kuitenkin panssariajoneuvo antaa melko hyvän suojan sirpaleita vastaan, myös vaikutuksen osuessa lähelle.

Sisu SA-150:lle sen sijaan on vielä laskettava etäisyys, jolla keskivertosirpale ei enää lävistä sitä. Tiedettäessä sallittu maksimiläpäisy (1cm = 0,3937 tuumaa), voidaan aiemmin esitetyn kaavan avulla johtaa kaava, josta saadaan suurin sallittu iskunopeus:

$$V_{sf} = \frac{1,22 \sqrt{0,3937}}{0,21 W_f^{0,33}} = 1,14844 \times 10^3 \text{ fps (349,91 m/s)}$$

Koska sirpaleen iskunopeus on riippuvainen räjähdysten ja kohteen välisestä etäisyydestä,

voidaan läpäisyn saavuttamisen maksimietäisyys johtaa kaavasta:
$$V_{sf} = V_{0f} e^{-0,004 \left(\frac{R_f}{W_f^{1/3}} \right)}$$
,

jossa V_{0f} on alkunopeus, R_f on räjähdysten ja kohteen välinen etäisyys ja W_f sirpaleen massa. [54]

Tällöin voidaan muodostaa kaava määrittämään etäisyyttä, jolloin:

$$R_f = W_f^{1/3} \frac{\ln \frac{V_{sf}}{V_{or}}}{-0,004}, \text{ josta saadaan } R_f = 359,806 \text{ jalkaa eli } 109,67 \text{ metriä.}$$

Tästä pystytään toteamaan, että vedettävällä kalustolla pitäisi päästä yli sadan metrin päähän lähimmästä kranaatin iskemästä, jotta ajoneuvo antaa suojaa heitinryhmälle.

Lyhyenä yhteenvetona suojista voitaneen todeta, että vedettävällä kalustolla toimittaessa on päästävä iskemistä noin 5 kertaa pidemmän matkan päähän kuin kranaatinheitinpanssariajoneuvolla, jotta ajoneuvosta saadaan suojaa. Kun tähän yhdistetään liikkeen tarjoama suoja, muodostuu kranaatinheitinpanssariajoneuvon suojakerroin selkeästi vedettävää kalustoa paremmaksi, sillä paremmin suojaava panssari voidaan siirtää nopeammin tuliasemasta toiseen kuin heikommin suojaava panssari.

Suoja ja liikkuvuus pitävät kranaatinheitinjoukot hengissä ja toimintakykyisinä taistelualueella, mutta kranaatinheittimistön tärkeimpänä tehtävänä on tukea taistelua epäsuoralla tulella, joten viimeisenä teknisen suorituskyvyn mittarina on syvennyttävä tulivoimaan ja sen eroihin kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanialla ja vedettävällä kranaatinheitinkomppanialla. Kranaatinheitinpanssariajoneuvolla kyetään ampumaan useita kranaatteja tulenavaukseen, mutta vedettävässä komppaniassa on kolme ampuvaa putkea enemmän. Niinpä simuloinnin avulla selvitetään kuinka paljon tulenavauksella voidaan kompensoida aseiden puutetta erilaisissa tilanteissa.

6 TULIVOIMA

Perustan kranaatinheitinkomppanian tulen aloittamiselle antavat Kranaatinheittimistön ammumatoiminnan käsikirja sekä tulenjohdon ohjesäännöt. Tulenavauksen merkitys on hyvin suuri tarkasteltaessa tulivoimaa, sillä suurin osa epäsuoralla tulella aiheutetuista tappioista syntyy ensimmäisen kymmenen sekunnin kuluessa tulenavauksesta[36]. Aina ei ole kuitenkaan tehokkainta aloittaa ammuntaa ryöppynä, varsinkin jos vastustaja on jo kosketuksessa tai siihen on kohdistettu epäsuoraa tulta ja se on sen johdosta maastoutunut. Tällöin on tärkeämpää saada tulivaikutus viholliseen mahdollisimman nopeasti, vaikkei sen teho niin suuri olisi-kaan. Tähän ajatukseen pohjautuen tutkitaan tässä luvussa simuloinnin avulla, miten yhdenai-kaisten maahan osuvien kranaattien määrä tulitehtävän aloituksessa vaikuttaa maalin tappioi-hin, maalin ollessa varautumaton tulivaikutukseen ja maalin ollessa suojautuneena. Vastaa-vasti verrataan tulitoiminnan nopeutta vedettävän kranaatinheitinkomppanian ja kranaatinhei-tinpansariajoneuvokomppanian välillä. Tulenavauksen vaikutusta tutkitaan tässä tutkimuk- sessa Puolustusvoimien Teknisen Tutkimuskeskuksen kehittämällä Sandis-simulaattorilla, jonka epäsuorantulen käyttäytymismalli on saatu kenttäkokeiden perusteella[17]. Sandis sopii hyvin tähän tutkimukseen, sillä se on tehty vertailevaan tutkimukseen, jolloin lopputulosten suhteellinen ero on absoluuttisia arvoja merkittävämpi.[37]

6.1 Kranaatinheittimistön ja tulenjohdon ohjesäännöt

Kranaatinheitinkomppaniassa voidaan tuli aloittaa komppanian yhteislaukauksena, joukkueit- tain tai heittimittäin.[26] Kranaatinheitinpansariajoneuvokomppanian sisältäessä vain yhden tulijoukkueen rajautuu tulenavaus siis komppanian yhteislaukaukseen ja vaunuittain aloituk- seen. Suositeltavin tapa komppaniana suoritettavaan tulenavaukseen vaunujen ollessa ha- jautettuna on aloittaa tuli tuloaikaan sitoen, jolloin vaunujen sijainnista johtuvat lentoaikojen muodostamat poikkeamat saapumisajassa saadaan poistettua.

Tuli aloitetaan komppanian yhteislaukauksena, kun tulenjohtaja haluaa ammuttavan:

- kerran
- 2-10 kerran eriä
- väliajoin
- pikatarkistuksen
- tulimuodoista iskun, peitteen tai ryöpyn

[26]

Kertoja ammuttaessa ammutaan aina komppanian yhteislaukauksena, myös tulikomennon ollessa korjauskomento.[26]

2-10 kerran eria ammuttaessa ensimmäisellä tulikomennolla aloitetaan tuli komppanian yhteislaukauksena, jonka jälkeen jatketaan ampumista heittimittäin. Aloitettaessa suoraan uuteen maaliin 2-10 kerran erillä, on kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanialla pyrittävä aloittamaan ammunta ryöppynä.[26]

Väliajoin ammuntaa toteutettaessa ammutaan jokainen kerta käsketyin väliajoin tuliyksikön yhteislaukauksena.[26]

Pikatarkistus on käytännön tasolla sama kuin ammuttaisiin komppaniana kerta, pois lukien silloin kun kyseisistä tuliasemista ammutaan ensimmäistä kertaa. Tällöin tulitoimintaupseeri ammuttaa pikatarkistukseen yhteislaukauksena vakautuslaukauksen sekä yhteislaukauksena pikatarkistuksen ja ilmoittaa tulenjohtajalle ampuvansa pikatarkistuksen vakautus mukana.[26] Kranaatinheitinpanssariajoneuvolla ei lähtökohtaisesti ammuta tarkistusammuntoja, mutta ne on mahdollista toteuttaa myös kyseisellä järjestelmällä. Tällöin ei kuitenkaan tarvita vakautuslaukauksia edes uudesta asemasta ammuttaessa. Lisäksi tarkistusammunnat pysyvät voimassa vaikka vaunu vaihtaisikin tuliasemaa sen tuliasema-alueen sisällä, josta tarkistusammunnat on suoritettu.

Tulimuodoista isku ja peitettä ammuttaessa komppania aloittaa tulimuodon ampumisen yhteislaukauksella ja tasan minuutin kuluttua lopettaa tulimuodon ampumisen yhteislaukauksena. Välissä ammuttavat laukaukset ammutaan heittimittäin niin, että ne jakaantuvat tasaisesti ammuttavan minuutin ajalle. Kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanialla isku ja peite pyritään aloittamaan ryöppynä.[26]

Ammuttaessa vedettävällä kranaatinheitinkomppanialla ryöppyä, kaksi ensimmäistä kertaa ammutaan yhteislaukauksena eri lentoradoille. Yhteislaukausten väli on panosten lentoaikojen erotus. Mikäli ampumaetäisyys ei mahdollista kahden ensimmäisen kerran ampumista eri lentoradoille, ryöppy aloitetaan yhteislaukauksella ja loput ammutaan heittimittäin.[26] Kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanialla ryöpyn ensimmäinen laukaus ammutaan joko komppanian yhteislaukauksena tai heittimittäin yhteisellä tuloajalla. Aloitustavasta riippumatta ryöpyn seuraavat laukaukset ammutaan vaunuittain omille lentoradoilleen paitsi, jos vaunu ei ole sellaisessa tuliasemassa, josta pystyy alakulma-ammuntaan, jolloin viimeinen kerta ammutaan edellisen kerran kanssa samalle lentoradalle.

Vedettävällä komppanialla voidaan heittimittäin ampumisen lisäksi ampua joukkueittain.[26] Kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppania sisältää vain yhden tulijoukkueen, joten se toteuttaa joukkueittain ammutettavat ammunnatkin vaunuittain.

Kranaatinheitinkomppanialla ammutaan joukkueittain tulitoimintaupseerin johdolla silloin, kun tulenjohtaja haluaa ammuttaa kertoja väliajoin. Tulenjohtaja voi halutessaan myös kommentaa vain yhden joukkueen ampumisen komppanian sijaan.[26]

Kranaatinheitinkomppania aloittaa tulen heittimittäin kun:

- tulitoimintaa jatketaan korjaustulikomennon jälkeen 2-10 kerran eriä ampumalla
- ammutaan lähialueen tulitus
- ammutaan torjunta
- maalin laatuna on maahanlasku.

[26]

Korjaustulikomentoa edeltää aina ammuttu tulitehtävä samaan maaliin, joten silloin on mielekästä aloittaa tuli korjattuna kohdalleen mahdollisimman nopeasti sen sijaan, että odotettaisiin koko tuliyksikön valmiina oloa, kun tulen kohde on jo todennäköisesti maastoutunut.

Lähialueen tulitus vastaa käytännön toteutukseltaan korjaustulikomennon ampumista. Lähialueen tulitusta käytetäänkin kertomaan tuliyksikölle, että tuli on osunut maalipisteeseen ja korjauskomento johtuu maalipisteen alueen lähistöllä olevasta toisesta maalista. Näin menettelemällä saavutetaan jälleen aikavoitto verrattuna uuden maalin tulikomennon luomiseen. Lisäksi tällä tavoin vältytään sekoittamasta AHJO:n tulenjohtorekisteriä, joka ottaa huomioon tulenjohtajan tekemät korjauskomennot uusia tulikomentoja samalta tulenjohtajalta vastaanottaessa.

Torjunnan eli tulimuoto esteen ampuminen toteutetaan heittimittäin, sillä kuten tulimuodon nimikin osoittaa, tulisi torjunnan olla viimeinen lukko estämässä vastustajaa murtamasta omaa puolustusta. Toisin sanoen estettä ammuttaessa oletetaan tuliyksikössä, että estettä ammuttavan tulenjohtajan joukko on pulassa, eikä tilannetta saada hallintaan kevyemmin keinoin. Tällöin pyritään saamaan alueelle nopeasti tulivaikutusta, joka heti hidastaisi vastustajan liikettä ja niin paljon tulivaikutusta, että vastustajan hyökkäys saataisiin pysähtymään.

Maahanlasku maalin laatuna johtaa tulen avaukseen heittimittäin pitkälti samasta syystä kuin tulimuoto estekin. Maahanlaskuun on kyettävä vaikuttamaan nopeasti, sillä se on lyhytkestoinen tapahtuma ja sillä saattaa olla ratkaiseva merkitys oman taistelun kannalta, varsinkin jos se suuntautuu omien joukkojen selustaan. Pystymällä vaikuttamaan maahanlaskuun riittävän nopeasti, saatetaan kyetä estämään suurimman osan joukosta maahan saattaminen. Kranaatinheitinpanssariajoneuvolla oltaessa otollisessa paikassa, voidaan maahanlaskuun vaikuttaa myös suora-ammunnan avulla tehokkaasti.

5.2 Taistelusimuloinnin perusteet

Taistelua simuloitaessa kyse on pitkälti erilaisten differentiaaliyhtälöiden ratkomisesta.[38] Differentiaaliyhtälöllä tarkoitetaan matemaattista yhtälöä, jossa esiintyy tuntematon yhden tai useamman muuttujan funktio ja sen derivaattoja.[39] Näiden yhtälöiden ratkomiseen käytetään yleisimmin Eulerin, Heunin ja Runge-Kuttan menetelmiä, jotka ovat differentiaaliyhtälöiden ratkomisen perusmenetelmiä. Taistelusimulaatioissa käytetään yleisimmin Eulerin menetelmää. Sandis käyttää kuitenkin Heunin menetelmää, joka tunnetaan toisella nimellään parannettuna Eulerin menetelmänä. Heunin menetelmä laskee yhtälön kuten Eulerin menetelmänkin, mutta korjaa sitä ennustearvolla. Sandiksessa käytössä oleva menetelmä on hieman sovellettu versio perinteisestä Heunin menetelmästä.[38]

Perusyhtälöt

Kaikki yhtälöt lähtevät liikkeelle alkuarvosta ja eroavaisuudet lasketaan käyttäen yhtälöä ensin pisteessä $(y(t_0), t_0)$ ja sen jälkeen seuraavassa pisteessä, joka tulee olemaan edellinen piste + eroavaisuudet. Eri menetelmillä on erilaiset tavat arvioida eroavaisuuksia y :ssä yhden aika-askeleen Δt aikana. Funktio y voi olla moniarvoinen, jolloin $y(t_0)$ on vektori.

Eulerin menetelmässä eroavaisuudet Δy lasketaan suoraan yhtälöstä:

$$\frac{dy}{dt} = f(y, t) \approx \frac{\Delta y}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta y \approx f(y, t) \cdot \Delta t$$

ja kaava seuraaville arvoille $y_{n+1} = y(t_{n+1}) = y(t_n + \Delta t)$ on

$$y_{n+1} = y_n + \Delta t \cdot f(y_n, t_n).$$

Heunin menetelmä (paranneltu Euler) korjaa tulosta käyttämällä ennustearvoa:

$$y_{n+1}^* = y_n + \Delta t \cdot f(y_n, t_n). \\ y_{n+1} = y_n + \frac{1}{2}\Delta t \cdot [f(y_n, t_n) + f(y_{n+1}^*, t_{n+1})] \quad [38]$$

Aika-askeleet ja virheanalyysi

Heunin menetelmän virhettä voidaan arvioida. Virheen arvioinnin kaava pitää sisällään oletuksen, että funktio f on differentioituva ja sen toisen sekä neljännen derivaatan arvot eivät muutu nopeasti. Jos nämä olosuhteet pysyvät, voidaan virhettä arvioida käyttämällä simuloituja arvoja. Simulaatio lasketaan aika-askeleella $2\Delta t$ saaden tulokseksi y^{**} ja aika-askeleella Δt saaden tulokseksi y^* . Kun askeleen pituus kaksinkertaistuu, virhe tulee suurin piirtein 4

kertaa suuremmaksi Heunin menetelmälle. Siten saadaan yksinkertainen virhekaava Heunin menetelmälle: $\varepsilon \approx \frac{1}{3}(y^* - y^{**})$ [38]

Laskettaessa nämä kaksi arvoa ja saataessa pienempi virhearvo, kuin mikä on hyväksyttävä, on aika-askel riittävän lyhyt. Koska lyhyemmät aika-askleet johtavat pidempiin simulointiaikoihin, on hyvin toivottavaa pitää aika-askel mahdollisimman pitkänä.[38]

Taistelusimulaation erityispiirteet

Kun taistelusimulaatio ohjelma kirjoitetaan, simulaation matemaattinen idea on periaatteessa melko yksinkertainen. Kaikki tieto yksiköistä taktiikoineen ja aseineen sisällytetään funktioon f ja ratkaistaan differentiaaliyhtälö Eulerin menetelmän mukaisesti numeerisesti. Simulaatio ja kaikki taistelun vaikutukset kehittyvät askel askeleelta simulaation koodauksen määrittämien sääntöjen mukaan.[38]

Oikeassa taistelussa yksikön toiminta voi muuttua yhdessä tai kahdessa sekunnissa tai se voi viedä tunteja riippuen yksikön koosta ja aseistuksesta. Esimerkiksi, kun väijyttävä yksikkö aloittaa ampumisen vihollista kohti, tilanne muuttuu ja siten muuttuvat myös taistelusimulaatiossa kaikki arvot funktiossa f . Siten funktio f ei ole differentioituva noissa tilanteissa ja perinteinen virheanalyysi differentiaaliyhtälöille ei enää päde. Siten perinteiset menetelmät ja niiden askelkoon valvonta ei ole suoraan käytettävissä.[38]

Tämän ongelman välttämiseksi Sandiksessa on käytössä muunneltu Heunin menetelmä. johon on lisätty aseselektiiviset painokertoimet jokaisen aika-askelen alku- ja loppupisteen arvoille. Kaava aseselektiiviseen ennustaja-korjaaja-menetelmään on:

$$y_{n+1}^* = y_n + \Delta t \cdot f(y_n, t_n).$$

$$y_{n+1} = y_n + \Delta t \cdot [w_s f(y_n, t_n) + w_e f(y_{n+1}^*, t_{n+1})].$$

missä w_s on aika-askelen alkupisteen painokerroin ja w_e on aika-askelen loppupisteen painokerroin; $w_s + w_e = 1$. Painokertoimet on laskettu kenttäkokeiden ja muiden simulaatioiden avulla.[38]

Jos esimerkiksi tykistöyksikkö ampuu kranaatteja siten, että kaikki ammuksot osuvat maaliin aika-askelen alkupisteessä, kaikki vahinko kohteelle lasketaan käyttäen joukkojen olotilaa aika-askelen alkupisteen aikana: $w_s = 1$ ja $w_e = 0$. Jos sama määrä ammuksia osuu maaliin koko aika-askelen mittaisena aikana, joukot voivat suojautua aika-askelen aikana. Tämä voidaan yhdistää integraalialgoritmiin käyttämällä aseselektiivisiä painokertoimia aika-askelen molemmissa päädyissä, vastaamaan asevaikutusta aika-askelen aikana.[38]

6.2 Epäsuoratuli Sandis simulaattorissa

Kohteen tappo todennäköisyyden määrittäminen.

Kohteen tappo todennäköisyys voidaan laskea, kun on määritetty vaikuttavan sirpaleen minimimassa sekä niiden määrä räjähdyksessä. Näiden laskeminen on esitetty myöhemmin tässä luvussa. Kun tiedetään vaikuttavan sirpaleen minimimassa ja kuinka paljon tällaisia sirpaleita räjähdyksessä syntyy, lasketaan kuinka suuri osa osuu maalin pintaelementtiryhmiin[45]. Pinta-ala, joka näkyy kohteesta, räjähdyspisteestä katsottaessa on

$$A_1 = \vec{r}^0 \cdot \vec{\alpha} = a \cos \delta$$

missä \vec{r}^0 = yksikkövektori kohteesta räjähdyspisteeseen, $\vec{\alpha}$ = kohteen aluevektori ja δ = kohteen normaalin ja vektorin \vec{r}^0 välinen kulma.[45]

Alue, jolle sirpaleet leviävät, muodostaa pallomaisen segmentin kohteen etäisyydelle. Pallomaisen segmentin pinta-ala on

$$A_2 = 2\pi d^2 (\cos \beta_a - \cos \beta_b)$$

missä d = kohteen keskipisteen ja räjähdyspisteen välinen etäisyys, β_a = sirpaleviuhkan aloituskulma ammuksen ollessa liikkeellä ja β_b = sirpaleviuhkan loppukulma ammuksen ollessa liikkeellä.[45]

Sirpaleiden oletetaan jakautuvan tasaisesti segmenttiin, joten se osa sirpaleista, jotka osuvat kohteeseen p , lasketaan vastaavien pinta-alojen suhteena:

$$\frac{A_1}{A_2}$$

$$p = A_2$$

Kohteeseen osuvien sirpaleiden määrä on kaikkien vaikuttavien sirpaleiden määrä kerrottuna p :llä. Kun kaikkia yksittäiset kohteet on tutkittu, voidaan laskea koko maaliin osuvien vaikuttavien sirpaleiden määrä laskea.[45]

$$S_{tot} = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n p_i N_{mi}$$

missä S_{tot} = koko maaliin osuvien vaikuttavien sirpaleiden määrä

S_i = kohteeseen i osuvien vaikuttavien sirpaleiden määrä

n = maalissa olevien kohteiden määrä

p_i = osa sirpaleista jotka osuvat kohteeseen i

N_{mi} = Vaikuttavien sirpaleiden määrä kohteen i etäisyydellä räjähdyksestä

Niille kohteille, jotka eivät näy räjähdyspisteestä, on asetettava arvo $S_i = 0$.[45]

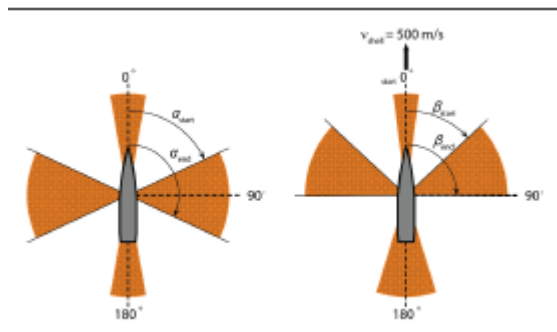
Oletettaessa että vähintään yksi vaikuttava sirpale on riittävästi tappamaan maalin, maalin tappo todennäköisyys on

$$P_{kill} = 1 - e^{-Stot}. [45]$$

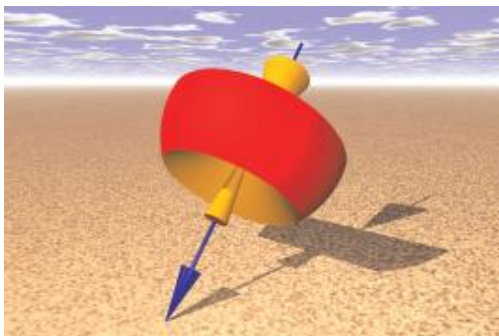
Sandiksessa käytettävä fysikaalinen vaikutusmalli pitää sisällään neljä komponenttia: ammuksen sirpalekuvion, sirpaleen hidastuvuusmallin, sirpaleen läpäisymallin ja maalelementtimallin. Tätä vaikutusmallia voidaan pitää hyvänä mittarina epäsuoran tulen tarkastelussa, sillä sen avulla saadut tulokset verrattuna kenttäkokeista saatuihin tuloksiin olivat keskimääräisenä absoluuttisena virheenä 1.1% poikkeavat. Mitään systemaattista virhettä ei testeissä havaittu. Vertailun vuoksi vastaavat keskimääräiset absoluuttiset virheet olivat cookie-cutter-menetelmällä 7,2% ja Carletonin menetelmällä 4,1%. [41]

Ammuksen sirpaloituminen

Fysikaalisissa vaikutusmallissa sirpaloituva ammus on kuvannettu sirpaleviuhkojen avulla, jotka on mallinnettu pallomaisiin alueisiin. Sirpaleviuhkojen kulmat muuttuvat ammuksen nopeuden muuttuessa ja sirpaleiden lopullinen alkunopeus muodostuu ammuksen nopeudesta ja sirpaleiden alkunopeudesta staattisessa tapauksessa. Kuvissa yhdeksän ja kymmenen on kuvattu sirpaleviuhkojen muodostuminen ja mallinnus Sandis-simulaattorissa. [41]



Kuva 9. Sirpaleviuhkan muodostuminen paikallaan (vasen) ja liikkeessä (oikea) [41]

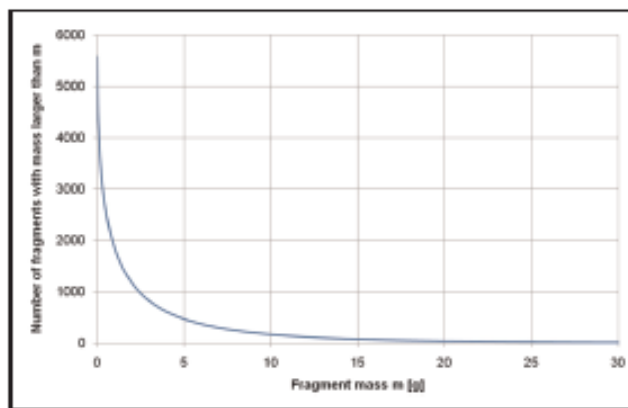


Kuva 10. Kolmiulotteinen kuvaus sirpaleviuhkoista liikkeessä olevasta ammuksesta siten, kuin ne on mallinnettu Sandiksessa [41]

Jokaisella sirpaleviuhkalla on tietty määrä sirpalemassan jakautumista ja sirpaleiden alkunopeus. Sirpaleammuksen luomien sirpaleiden massajakaumaa voidaan esittää Mottin jakauman mukaan. Mottin jakauma ilmaistaan yleensä muodossa:

$$N(m) = N_0 \exp\left(-\sqrt{\frac{2m}{m_{avg}}}\right)$$

Missä $N(m)$ on sellaisten sirpaleiden lukumäärä, joiden massa on suurempi tai yhtä suuri kuin m , N_0 on sirpaleiden kokonaismäärä ja m_{avg} on keskimääräinen sirpaleen massa. Kuvassa yksitoista on esitetty heittimen kranaatin sirpaleiden massojen jakautuminen Mottin jakauman mukaan.[41]



Alarivillä esitetty sirpaleen massa m (g)

Pystypalkissa esitetty sellaisten sirpaleiden määrä joiden massa on suurempi kuin m (kpl)

Kuva 11. 120mm kranaatinheittimen ammuksen sivuviuhkan sirpaleiden massajakauma esitettynä Mottin jakauman mukaisesti. Sirpaleiden kokonaislukumäärä $N_0 = 5580$ ja keskimääräinen sirpaleen massa $m_{avg} = 1,63\text{g}$ [41]

Sirpaleen läpäisymalli

Maalieleментit on kuvannettu eri suunnista panssarin paksuuden ja haavoittuvien alueiden avulla. Sirpaleiden läpäisykyky on laskettu läpäisy-yhtälön avulla. Seuraavassa esitetty läpäisy-yhtälö on Rilben yhtälö. Muita läpäisyn tutkimiseen käytettäviä yhtälöitä ovat esimerkiksi Thorin yhtälöt.[41]

Sirpaleen läpäisykyky on Rilben kaavan mukaan

$$g = qv^2m^{\frac{1}{3}},$$

missä q on sirpaleen ja maalin materiaaleista riippuva painokerroin, v sirpaleen etenemisnopeus ja m sirpaleen massa.[40]

Sirpaleen hidastuvuusmalli

Hidastuvuusmalli kuvaa sirpaleiden hidastuvuutta ilmanvastuksen takia. Sitä käytetään laskemaan sirpaleiden iskunopeutta, kun alkunopeus, sirpaleen massa ja muoto sekä etäisyys iskemän ja maalin välillä tunnetaan.[41] Hidastuvuusmalli perustuu oletussirpaleen, jonka massa on m_{ref} , hidastuvuuteen.[45]

Sirpaleen nopeus etäisyydellä s on

$$v(s) = (v_0 + v_2) \exp\left(-\frac{1}{c_1} \left(\frac{m_{ref}}{m}\right)^{\frac{1}{3}} s\right) - v_2$$

missä v_0 on alkunopeus, v_2 ja c_1 ovat hidastuvuutta kuvaavia vakioita (oletuksena $c_1 = 17,51\text{m}$, $v_2 = 17\text{m/s}$) ja m_{ref} oletussirpaleen massaa ($m_{ref} = 0,4\text{g}$).

Massan suureneminen kasvattaa suorasti sirpaleen läpäisykykyä, kuten ensimmäisestä kaavasta nähdään, ja epäsuorasti kasvattamalla sirpaleen nopeutta toisena esitetyn kaavan mukaan.[40]

Kahden edellä esitetyn yhtälön avulla voidaan laskea pienimmän vaikuttavan sirpaleen massa.[41] Pienimmän vaikuttavan sirpaleen massan tietäminen on oleellista, jotta voidaan jättää huomiotta sitä pienemmät sirpaleet ja laskemaan ainoastaan vaikuttavien sirpaleiden jakautumaa ja siten kyeten myös laskemaan kranaatin vaikuttavaa kantamaa.

Jatkamalla Mottin jakaumayhtälöä, sirpaleet saavuttavat suurimman massansa kun $N_{m_max} = 1$, tarkoittaen

$$m_{max} = \frac{1}{2} m_{avg} (\ln(N_0))^2. \quad [40]$$

Sirpale, jolla on suurin massa, on myös pisimmälle vaikuttavana pysyvä. Sirpale on vaikuttava etäisyydelle s , jos

$$g = \left((v_0 + v_2) \exp\left(-\frac{1}{c_1} \left(\frac{m_{ref}}{m}\right)^{\frac{1}{3}} s\right) - v_2 \right)^{\frac{1}{3}} m^{\frac{1}{3}} \geq g_{min},$$

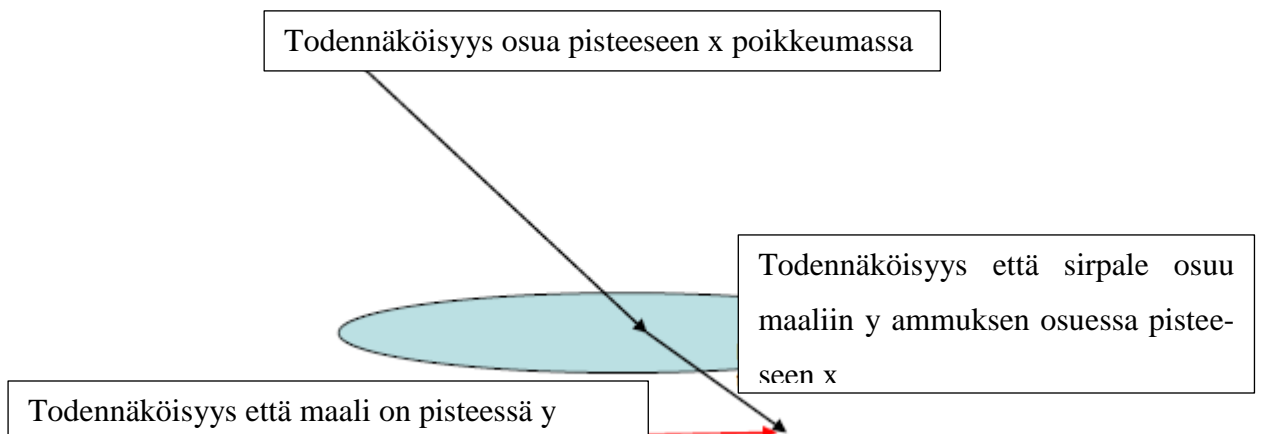
missä g_{min} on pienin vaadittu läpäisykyky, jotta sirpale olisi edelleen vaikuttava. Siten suurin etäisyys, jolla sirpaleet voivat olla vaikuttavia saadaan yhtälöstä:

$$g \left((v_0 + v_2) \exp\left(-\frac{1}{c_1} \left(\frac{m_{ref}}{m_{max}}\right)^{\frac{1}{3}} s\right) - v_2 \right)^{\frac{1}{3}} m_{max}^{\frac{1}{3}} = g_{min}$$

ja siten suurin etäisyys on

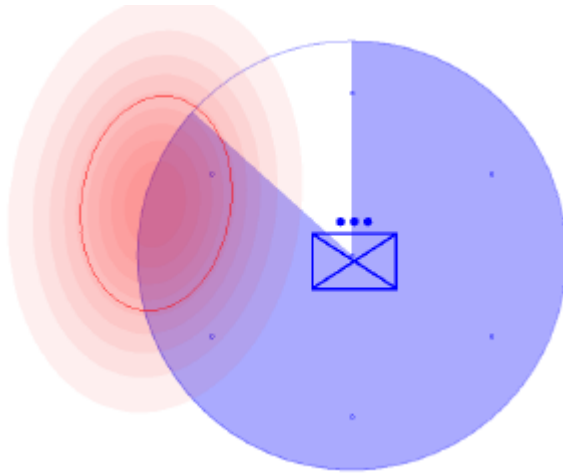
$$s = c \left(\frac{m_{\max}}{m_{\text{ref}}} \right)^{\frac{1}{3}} \ln \left(\frac{v_0 + v_2}{\frac{g}{qm_{\max}^3} + v_2} \right) \quad .[40]$$

Sandis-simulaattorissa sekä maaleilla että kranaatin iskemäpisteillä on todennäköisyysjakaumat. Molemmat jakaumat yhdistetään simulaattorissa. Jos maalin ja kranaatin välinen etäisyys on suurempi kuin sirpaleiden tehokas etäisyys, kranaatti ei aiheuta minkäänlaista vahinkoa maaliin. Muulloin simulaattori laskee pienimmän vaikuttavan sirpaleen massan ja Mottin jakaumaa käyttäen vaikuttavien sirpaleiden lukumäärän. Kun tiedetään sirpaleiden lukumäärä, niiden leviämialue ja maalin paikka, voidaan maalin tuhoamisen todennäköisyys laskea. Todennäköisyyksien yhdistäminen on esitetty kuvassa kaksitoista.[40]



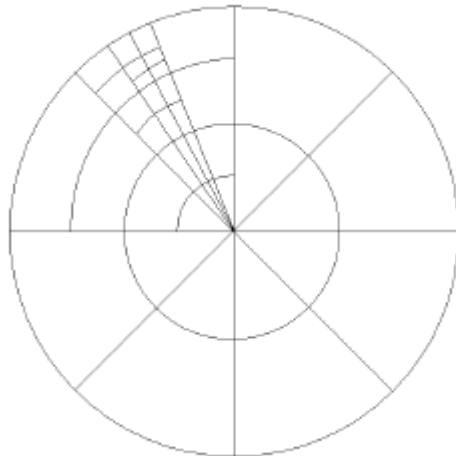
Kuva 12. Osumatodennäköisyyden laskennan perusteet [40]

Vaikka nämä jakaumat ovat jatkuvia teoriassa, niin numeeriset laskelmat ovat luonteeltaan erillisiä. Sen sijaan, että koko alue olisi yritetty jakaa suhteellisen pieniin osiin, yksiköt on mallinnettu rajallisella määrällä laskentapisteitä. Nykyisessä mallissa niitä on seitsemän, joista keskimmaisella on suurempi painoarvo kuin muilla.[40] Esimerkki laskentapisteiden sijainnista on esitetty kuvassa kolmetoista.



Kuva 13. Kuvankaappaus Sandis-simulaattorista, jossa jalkaväki joukkueeseen kohdistuu vaikutus. Laskentapisteet asetettu näkyville [40]

On tärkeää, että laskennassa käytetään adaptiivisia integraaleja, jotta saadaan tarkkoja tuloksia niiden pisteiden ympäriltä, jossa laskennalla on merkitystä. eikä tuhlaa aikaa niihin alueisiin, joissa ei tapahdu vahinkoa. Lyhyesti ilmaistuna adaptiivinen integraatio tarkoittaa integrandin rekursiivista halkaisua kunnes palaset ovat riittävän pieniä, että niiden absoluuttinen ja suhteellinen virhe on riittävän pieni pysymään annettujen marginaalien sisällä. Tämä johtaa harvaan aluejakoon, joista osassa funktio on lähes vakio ja osassa loppumaton. Integrandin aluejako on esitetty kuvassa neljätoista.[40]

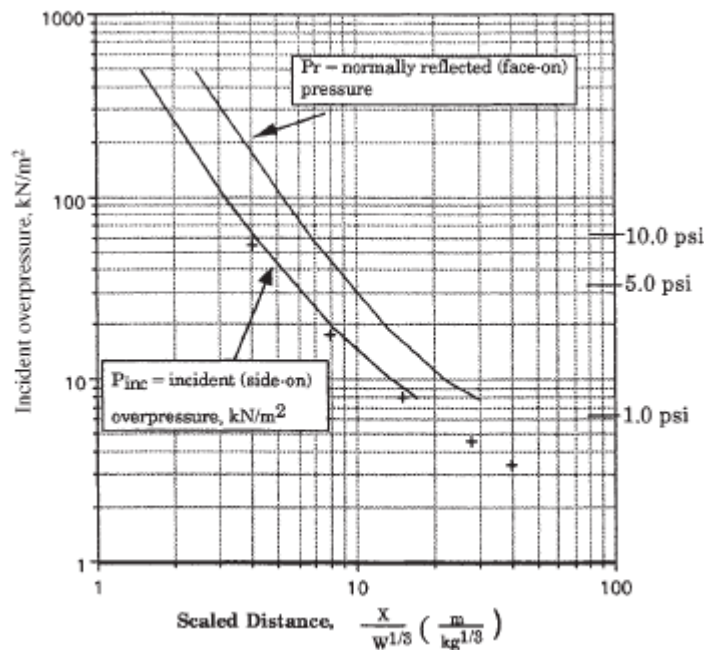


Kuva 14. Integrandin jako sektoreihin [40]

Jokaista laskentapistettä kohden alue jaetaan muutamaan sektoriin. Lopulta, kun laskenta on tehty integroimalla sektorit ja rekursiivisesti halkaisemalla ne pienemmiksi kunnes virhe on riittävän pieni.[40]

Suorat osumat ja paineaallon vaikutukset

Sirpalevaikutuksen lisäksi Sandis laskee myös todennäköisyydet suorille osumille ja maalin vahingoittumiselle paineaallosta. Sen laskeminen tapahtuu yksinkertaisesti laskemalla kranaatin osumisen todennäköisyys tietylle säteelle maalista. Suoran osuman tapauksessa se saadaan suoraan maalin paikasta. Laskettaessa vaikutussädettä paineaallolle, riippuu se räjähtävästä materiaalista kranaatissa ja kohteen paineenkestokyvystä ”Perry’s Chemical Engineer’s Handbook”-ssa esitetyn tiedon mukaan.[40] Kirjassa esitetty kaavio on esitetty kuvassa viisi-toista.



Kuva 15. Kaavio paineen ja etäisyyden suhteesta pintaräjähdyksessä [42]

Kaaviosta lineaarinen regressio antaa kaavan

$$sd = k \frac{m^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{p}},$$

missä sd on suurin kuolettavan paineen etäisyys, m räjähdysaineen massa kranaatissa, p riittävä paine tappamaan kohteen ja $k = 32,87$ määritetty kaltevuuskulma. Yleensä nämä vaikutukset ovat merkityksettömiä, mutta esimerkiksi raskaasti panssaroituja kohteita vastaan ne voivat muodostaa eron nollan ja x tappo todennäköisyyden välillä.[40]

6.3 Tulosten laskeminen simuloimalla

Tulivoiman selvittämiseksi simulaatioissa käytetään kolmenlaista skenaariota. Yhdessä toteutetaan kohtaamistaistelun mukaista toimintaa, jolloin viholliset ovat panssaroidussa ajoneuvossa kranaattien osuessa joukkoon. Toisessa valmistellun hyökkäyksen mukainen, jossa vihollinen on kaivautunut maahan avopoteroihin jo ennen tuli-iskun alkua. Kolmannessa torjutaan vihollisen vastahyökkäystä, jolloin joukot ovat pystyssä ensimmäisten iskemien saapessa ja suojautuvat sen jälkeen painanteisiin ennen seuraavia iskemiä. Kaikissa tapauksissa maalina käytetään mekanisoitua joukkuetta.

Simulointeja tehdessä on tiettyjä arvoja vakioitu, jotta tuliyksiköiden tulokset olisivat mahdollisimman hyvin vertailtavissa. Kaikki kranaatit ammutaan samalta etäisyydeltä ja suunnalta vihollisesta. Tällöin ammusten tulokulmat ovat vain kranaatin panoksesta riippuvaisia ja ne ovat laskettavissa helposti. Hajontana käytetään molemmilla tuliyksiköillä samoin perustein laskettua todennäköistä poikkeamaa. Kaikki simuloinnit toteutetaan niin, että maalin keskipiste ja iskemäkeskeispiste ovat samoissa koordinaateissa.

Tämän tutkimuksen simuloinnissa on käytetty seuraavia arvoja:

Ampumaetäisyys 3500 metriä.

Kaikkiin maaleihin ammutaan 5 tuliyksikön kertaa. Kranaatinheitinpanssariajoneuvokompanialla toteutetaan ammunnanaloitus aina ryöppynä, jolloin jokainen vaunu ampuu kolme laukausparia. Loput kaksi kertaa ammutaan ryöpyn viimeisillä arvoilla. Ammuntoihin lasketaan siis osumia kolmella eri ajanhetkellä, joista ensimmäiseen lasketaan 18 kranaattia kolmella eri tulokulmalla, 6 kranaattia kullakin kulmalla ja muihin ajankohtiin 6 kranaattia viimeisen arvon tulokulmalla.

Ryöppyyn ammutaan yläkulmilla 5.panoksella sekä 2.panoksella ja alakulmilla 2.panoksella. Vedettävällä kompanialla ammutaan 5 tuliyksikön kertaa, jolloin lasketaan osumia viidellä eri ajanhetkellä, 9 kranaattia jokaisella ajanhetkellä ja jokaisella ajanhetkellä sama tulokulma.

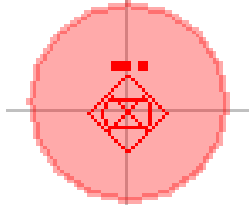
Ilman ryöppyä toteutettavat komennot toteutetaan 5.panoksella

Ammusten tulokulmat 3500 metrin etäisyydelle: yläkulmilla 5.panos 80 astetta, 2.panos 68 astetta ja alakulmilla 2.panos 28 astetta.

Kranaatinheitinkomppanian iskemähajonnan todennäköinen pituuspoikkeama on 0,9% ampumaetäisyydestä ja leveyspoikkeama 0,4%[26]. 3500 metrin ampumaetäisyydellä pituuspoikkeama on 31,5 metriä ja leveyspoikkeama 14 metriä.







Ammusten räjähtämiskorkeutena on käytetty 0,3 metriä, sillä kranaatinheittimen sirpaleam-
mus on 690mm pitkä sytyttimen kanssa[52], jolloin suurin räjähdys tapahtuu noin 0,3 metrin
korkeudessa.

Mekanisoidun joukkueen vahvuus on 20 taistelijaa.



Kuva 16. Joukkueen ikoni Sandis-simulaattorissa, kun siihen ei vielä ole vaikutettu

Taulukko 2. Simuloinnin antamat tappioiden odotusarvot 20 taistelijan vahvuiselle
mekanisoidulle joukkueelle

	KRHPSAJONK	KRHK
KOHTAAMISTAISTELU		
Vaikutus		
Kiireellinen	0,18	0,26
Ei kiireellinen	0,70	1,04
Lievä	2,11	3,11
Kuollut	0,53	0,78
Yhteensä	3,51	5,19
VALMISTELTU HYÖKKÄYS		
Vaikutus		
Kiireellinen	0,26	0,36
Ei kiireellinen	1,04	1,44
Lievä	3,11	4,32
Kuollut	0,78	1,08
Yhteensä	5,19	7,21
VASTAHYÖKKÄYKSEN TORJUNTA		
Vaikutus		

Kiireellinen	0,31	0,40
Ei kiireellinen	1,24	1,61
Lievä	3,72	4,84
Kuollut	0,93	1,21
Yhteensä	6,20	8,06

Simuloinnin antamat tulokset osoittavat, että suurempi määrä ampuvia putkia ja siten suurempi määrä ammuttuja kranaatteja takaavat suuremmat tappiot. Vaikka kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppania kykeneekin tulenavauksessa tuottamaan suuremmat tappiot, ei tappioiden tuotossa silti yllätä samaan kuin ampumalla perinteisemmällä menetelmällä 15 kranaattia enemmän maalin alueelle. Toki on huomattava, että tappiot sellaisinaan eivät välttämättä kerro täyttä totuutta, sillä vihollisen toiminta simulaatiossa on melko yksioikoista. Kuitenkin kahden asejärjestelmän vertailussa, varsinkin kun ne käyttävät samaa ampumatarviketta, simuloinnin tulosta voidaan pitää uskottavana. Tappioiden määrän ero ei kuitenkaan johdu pelkästään ammutusta kranaattimäärästä. Koska kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppaniassa piti joidenkin suunnitelmien mukaan olla neljä vaunua kolmen sijaan, toteutettiin yksi simulaatioista myös neljällä vaunulla. Tällöin ampuvien putkien määrä oli vain yhtä pienempi kuin vedettävällä komppanialla ja näin ollen maaliin toimitettiin vain viisi kranaattia vähemmän. Kolmella vaunulla kyseisessä simulaatiossa saatiin tappiomääräksi 6,20 ja vedettävällä komppanialla 8,06. Neljällä vaunulla toimivalla komppanialla tappio määräksi saatiin 6,62. Tästä voitaneen päätellä, että ammusten tulokulmalla on suurempi merkitys tuotettujen tappioiden määrässä, kuin varsinaisesti ammuttujen kranaattien kokonaismäärällä. Vedettävä komppania ampuu kaikki laukauksensa yläkulmilla ja saavuttavat näin ollen 70-80 sateen tulokulman kaikille laukauksille. Kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanialla jatkettaessa tulitoimintaa suoraan ryöpyn jälkeen pääosa kranaateista saapuu maaliin alle 30 asteen tulokulmalla, jolloin sirpaleviuhka ei suuntaudu kohteisiin vaan maahan ja taivaalle. Kuitenkin on todettavissa myös, että päätös jättää komppanioista yksi vaunu pois ei heikentänyt merkittävästi komppanian suorituskykyä.

7 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksena pyrkimyksenä oli selvittää kasvoiko kranaatinheitinkomppanian tekninen suorituskyky AMOS-FIN-järjestelmän myötä panssarijääkäripataljoonassa. Tutkimuksessa keskityttiin vertailemaan suorituskykyä hyökkäyksessä, sillä hyökkäys on panssarijääkäripataljoonan päätaistelulaji. Teknisen suorituskyvyn mittareina käytettiin liikkuvuutta, suojaa ja tulivoimaa, joita mitattiin kirjallisuusanalyysin, haastattelun ja simuloinnin avulla.

Liikkuvuuden kannalta voidaan todeta, että ampumavalmiuden saavuttaminen ja tuliaseman vaihtaminen tapahtuvat AMOS-FIN-järjestelmällä huomattavasti nopeammin. Näin pystytään väistämään vihollisen vastavaikuttamista tehokkaasti ja tuottamaan omille joukoille tukea nopeasti. Tukemisen nopea aloituskyky korostuu erityisesti kohtaamistaistelussa, jolloin heittämiä ei ole todennäköisesti kyetty viemään tuliasemiin etukäteen. Lisäksi tällöin mahdollistetaan omien joukkojen tukeminen tehokkaasti marssin aikana pataljoonan omalla tuliyksiköllä. AMOS-FIN-järjestelmän liikkuvuus mahdollistaa myös nopeamman reagoinnin mahdollisiin sivustauhkiin tai maahanlaskun rajoittamistehtäviin. Tämän kaltaisissa tehtävissä AMOS-FIN:in suora-ammuntakyky antaa mahdollisuuden tehokkaaseen vaikuttamiseen myös liikkuvia joukkoja vastaan. Liikkuvuuden osalta AMOS-FIN-järjestelmä on siis kasvattanut kranaatinheitinkomppanian teknistä suorituskykyä.

Suojan osalta, puhtaasti tekniseltä kantilta katsottuna, on kranaatinheitinpanssariajoneuvo huomattavasti iskunkestävämpi kuin vedettävä heitin tai lähinnä sen miehistö. Vedettävällä heittimistöllä on pyrittävä saavuttamaan suoja muualta kuin panssaroinnista tai nopeasta väistämiskyvystä, joten suojan saavuttaminen on enemmän hyvän taktiikan ja taistelutekniikan kehittämisessä kuin teknisissä ratkaisuissa. Linnoittaminen ja hajauttaminen tarjoavat hyvin suojaa vedettävälle heittimistölle, mutta niitä on haastavaa toteuttaa hyökkäyksessä. Puolustusvoimilla on käytössä siirrettäviä ballistisia suojalevyjä, joilla suoja voidaan panssaroinnin osalta kasvattaa, mutta ne taas huonontavat liikkuvuutta. Kranaatinheitinpanssariajoneuvo tarjoaa melko hyvän suojan miehistölle niin tulitoiminnan aikana kuin liikkeessäkin ja kykenee siirtymään nopeasti pois vaaralliselta alueelta tarvittaessa. Suojankin osalta voidaan siis todeta AMOS-FIN-järjestelmän kasvattaneen kranaatinheitinkomppanian teknistä suorituskykyä.

Tulivoiman osalta tulos oli siinä mielessä yllättävä, että usein tutkimuksissa mainitaan nimenomaan tulenavauksen muodostavan pääosan tuotettavista tappioista. Simuloinnin avulla saaduista tuloksista voidaan kuitenkin todeta, että vaikka tulenavauksessa saavutettiin hieman suurempi tappioiden tuottavuus, niin jatkotulenkäyttö tuotti perinteisellä menetelmällä noin

10% suuremmat tappiot kaikissa tapauksissa. Tämän huomattiin johtuvan enemmän kranaattien pienestä tulokulmasta kuin ammuttujen kranaattien määrän erosta. Jatkossa olisikin syytä pohtia miten tulikomento suoritetaan loppuun, kun se aloitetaan ryöppynä. Ryöppynä aloittaminen vaikutti kuitenkin oleva toimiva ratkaisu, sillä tällöin ensimmäiseen iskun voitiin todeta olevan tehokkaampi vaikka ampuvia putkia olikin vähemmän. Tulivoiman osalta tässä tutkimuksessa voidaan todeta, että AMOS-FIN-järjestelmä ei kasvattanut kranaatinheitinkomppanian teknistä suorituskykyä vaan heikensi sitä noin kymmenellä prosentilla.

Tämän tutkimuksen perusteella AMOS-FIN-järjestelmä kasvatti panssarijääkäripataljoonan kranaatinheitinkomppanian teknistä suorituskykyä, vaikka tulivoima heikkenikin 120 KRH 92 järjestelmällä toimivaan komppaniaan verrattuna. Panssarijääkäripataljoonan hyökkäyksen perustuessa aggressiiviseen liikkeeseen, on tärkeää että kranaatinheitinkomppania kykenee liikkumaan tuettavien yksiköiden kanssa ja aloittamaan tukemisen nopeasti. Hyökätessä vihollisen linjojen läpi on aina riskinä, että selustaan jää vihollisen joukkoja. Tällöin parempi panssarointi vähentää omia tappioita ja kyky nopeaan liikkeeseen ja tulenavaukseen yhdistettynä tehokkaaseen suora-ammuntakykyyn mahdollistaa uhan poistamisen, jotta päätehtävää päästään jatkamaan nopeasti.

Jatkotutkimustarpeeksi jää se, miten kranaatinheitinpanssariajoneuvokomppanian tulivoimaa saadaan kasvatettua vähintään vedettävän kranaatinheitinkomppanian tasolle. Tässä tutkimuksessa ei otettu kantaa myöskään siihen, onko AMOS-FIN-järjestelmä paras vaihtoehto vedettävälle kranaatinheitinille, vaan se on selvitettävä jossain toisessa tutkimuksessa.

8 LÄHTEET

- [1] Wikipedia, inertiasuunnistus
- [2] Raskas patteriston paikantamisajoneuvon käyttö-ohje, 2013
- [3] <http://www.biography.com/people/1%C3%A9on-foucault-40760>
- [4] Google-kääntäjä (englanninkielinen määritelmä precession-sanalle)
- [5] <http://www.suomisanakirja.fi/prekessio>
- [6] James J. Allen: Micro electro mechanical system design, s. 318 - 319. CRC Press, 2005
- [7] <http://www.mathpages.com/rr/s2-07/2-07.htm>
- [8] PVTOK EL 9:001 TALIN5000 –paikantamislaitteet. HJ1079. Maavoimien Materiaalilaitoksen Esikunta, Järjestelmäosasto. Tampere 21.11.2013
- [9] TALIN5000 Lyhyt käyttöohje (versio 4 21.3.2005)
- [10] Mittaustoiminnan käsikirja, Maavoimat, 2012
- [11] Tulasemaryhmän maastovihko, taktiikan sivuainetyö, yliluutnantti Lauri Mattila, 2015
- [12] <http://www.kamk.fi/opari/Opinnaytetyopakki/Teoreettinen-materiaali/Tukimateriaali/Aineiston-keruumenetelmat/Haastattelu>
- [13] <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/38214/stadia-1210852529-2.pdf?sequence=1>
- [14] Taistelun ja logistiikan simulointi; Jyri Lempiäinen; Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos; Ylöjärvi 2005
- [15] Tutkimusseminaari Mallinnus ja simulointi; Juhani Hämäläinen & Riitta Lähdemäki-Taipalus; Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos; Ylöjärvi 2002
- [16] Kvantitatiiviset tutkimusmenetelmät operaatiotaidon ja taktiikan tutkimuksessa; Erikois-tutkija Jussi Metteri; Taktiikan laitos; Helsinki 2006
- [17] Sandis Military Operation Analysis Tool, toinen pohjoismainen sotilasanalyysin konfrenssi, Esa Lappi, Tukholma 17 -18.11.2008
- [18] XA-361-AMOS Kranaatinheitinpanssariajoneuvo käyttö- ja huolto-ohjekirja, ajoneuvo, julkaisunumero: D511064_C; Patria Hägglunds Oy, Tampere 17.12.2012
- [19] Leica NAP5-14 Night-Driving Periscope, Operating Instructions for Night-Driving Periscope, Leica Vectronix AG, Heerbrugg – Switzerland 2002
- [20] XA-361-AMOS Kranaatinheitinpanssariajoneuvo käyttö- ja huolto-ohjekirja, torni, julkaisunumero: D511058_D; Patria Hägglunds Oy, Tampere 18.12.2012

- [21] AMOS Käyttäjäkurssi luentokalvot, Jan Vidfelt (Patria) Matias Laakso (Patria) Bo Lundberg (BAE), Hämeenlinna 20-31.8.2012
- [22] Kranaatinheitinjouevoilla varustetun kranaatinheitinkomppanian käyttöperiaatteet sekä esitys kranaatinheitinkomppanian kokoonpanoksi ja sotavarustukseksi prikaati 2005 organisaatioon. Esiupseerikurssin tutkielma, Operaatiotaito ja taktiikka, Kapteeni Petteri Tervonen 1999
- [23] Maavoimien uuden taistelutavan vaikutus kranaatinheitinkomppanian tulen tehoon, Esiupseerikurssin tutkielma, Sotatekniikka, Kapteeni Paavo Kärnä, 2012
- [24] Maavoimien alueellisten joukkojen jääkäripataljoonan taisteluosaston ohje (JPTSTOS-O-ALJO), Maavoimien Esikunta, Mikkeli, 2013
- [25] AMOS-FIN:komppanian ammunnan topografinen ja ballistinen valmistelu, Pro Gradu, Tekniikan laitos, Yliluutnantti Henrik Ahvenainen 2006.
- [26] Kranaatinheittimistön ampumatoiminnan käsikirja, Maavoimien Esikunnan Henkilöstöosasto, Helsinki 2009
- [27] Kranaatinheitinopas II, Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus, Vaasa 1997
- [28] OHJE HJ1054, PVLOGLOHJEK LOGJ 004 Järjestelmien käyttövarmuuden hallinta, Pääesikunta Logistiikkaosasto, Helsinki, 2015
- [29] Tampellasta Patriaan 70 vuotta suomalaista raskasta aseenvalmistusta, Vesa Toivonen, Apali Oy, Hämeenlinna 2003
- [30] Future Mortar Systems, Radoš Rončević, Mirko Jezdimirović, Miodrag Lisov Military Technical Institute, Belgrade, Ana Brkušnin Technical Test Center Belgrade, 5th International scientific conference on defensive technologies OTEH 2012, Belgrad 18-19 syyskuuta 2012
- [31] https://fi.wikipedia.org/wiki/Sisu_SA-150
- [32] <http://www.puolustusvoimat.fi/> (Maavoimat, Perustietoa, Maavoimien kalustoa, Jalkaväki, Kranaatinheittimistö, Raskas kranaatinheitin 120 KRH)
- [33] http://en.wikipedia.org/wiki/Counter-battery_radar
- [34] fi.wikipedia.org/wiki/CEP
- [35] armypubs.army.mil/doctrine/DR_pubs/dr_a/pdf/fm3_09x12.pdf
- [36] Yhtymän tulenjohtamisen kehityssuuntia 2020-luvulle mentäessä, Jukka Saarela, Maanpuolustuskorkeakoulu, Helsinki 2007
- [37] Taistelumallinnustyökalu Sandis 2009, Käyttöopas PVTT
- [38] A Weapon-Selective Predictor-Corrector Method for Combat Simulations, Risto Bruun; Esa Lappi, 2nd Nordic Military Analysis Symposium, Tukholma, Marraskuu 17-18, 2008
- [39] <https://fi.wikipedia.org/wiki/Differentiaaliyhtälö>

- [40] Simulating indirect fire – a numerical model and validation through field tests, Esa Lappi; Olli Pottonen; Sami Mäki; Kosti Jokinen; Olli-Pentti Saira; Bernt M. Åkesson; Marko Vulli, 2nd Nordic Military Analysis Symposium, Tukholma, Marraskuu 17-18, 2008
- [41] Validating indirect fire models with field experiments, Journal of Defense Modeling and Simulation, 10(4), Bernt M Åkesson; Esa Lappi; Ville H. Pettersson; Eric Malmi; Sampo Syrjänen; Marko Vulli; Kari Stenius, Lokakuu 2013,
- [42] Perry's Chemical Engineer's Handbook, Robert H. Perry; Don W. Green, McGraw-Hill, 7th edition, 1997
- [43] Passiivisen suojan konsepti, Yleisesikuntamajuri Mika Hyytiäinen, Maavoimaesikunta, 1995
- [44] Digitaalinen taistelukenttä – Informaatioajan sotakoneen tekniikka, Jyri Kosola; Tero Solante, Tekniikan laitos, Helsinki 2000
- [45] Lanchester and Beyond: A workshop on operational analysis methodology – A method to calculate the lethality of fragmenting ammunition; PVTJ Julkaisuja 11, Tapio Heininen, Helsinki 2006
- [46] Kranaatinheitinlaitteiden tuliasematoiminnan käsikirja, Kapteeni Petteri Iivonen, Maasotakoulu, Lappeenranta, 2015
- [47] Karjalan Jääkäriprikaatin hyökkäystaistelun sotataidollinen tarkastelu, Kapteeni Markus Wahlstein, Yleisesikuntaupseerikurssi 55, Helsinki 2011
- [48] Taisteluosaston kranaatinheitinkomppanian tuliasematoiminta, Kapteeni Kimmo Ruotsalainen, Esiupseerikurssi 66, Helsinki, 2014
- [49] Kenttätykistön taisteluohjesääntö, Tykistöjoukkojen johtaminen ja tulenkäyttö, Pääesikunta, Vaasa, 1997
- [50] Tykistöpatteriston suojautuminen vastatykistötoiminnalta, Pro Gradu –tutkielma, Kadettikersantti Lauri Torniainen, Helsinki, 2009
- [51] 120 KRH 92, 92 76 ja 85 92 Käsittely- ja huolto-ohjekirja, Puolustusvoimien materiaalilaitoksen esikunta, Aseosasto, Tampere, 1996
- [52] Tutkintaselostus B3/2005Y, Kranaatinheitinonnettomuus Rovajärven ampuma-alueella 2.12.2005, Onnettomuustutkintakeskus, Helsinki, 2007
- [53] <http://www.leecosteel.com/mil-a12560-steel-plate.html>
- [54] Modern Protective Structures, Theodor Krauthammer, CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, Yhdysvallat, 2008
- [55] Haastattelu, Ylikersantti Sami Rautiainen, AMOS tulijoukkueen kouluttaja, Karjalan Prikaati, Kotka, 10.3.2016 (Aineisto tutkijan hallussa)