

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**HÄVITTÄJÄPARVEN NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN MITTAUSMENE-
TELMÄ**

Diplomityö

Majuri
Lauri Mäkinen

YEK 60
Ilmasotalinja

Elokuu 2021

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Yleisesikuntaupseerikurssi 60	Linja Ilmasotalinja
Tekijä Majuri Lauri Mäkinen	
Tutkielman nimi HÄVITTÄJÄPARVEN NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN MITTAUSMENETELMÄ	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n kirjasto
Aika Elokuu 2021	Tekstisivuja 81 Liitesivuja 2
TIIVISTELMÄ <p>Tässä diplomityössä esitellään hävittäjäparven normatiivisen suorituskyvyn (normative performance, NP) mittaamenetelmä. NP-mittausmenetelmään kuuluu hävittäjäparven toiminnan kannalta keskeiset ilmataistelun NP-elementit, niihin liittyvä arviointiasteikko sekä NP:n mittaaminen. Ilmataistelussa NP kuvaa miten tarkkaan hävittäjäparven jäsenet noudattavat käskettyjä TTP:itä (tactics, techniques and procedures). TTP:t ovat ennalta määritettyjä ilmataistelussa käytettäviä taktiikoita, tekniikoita ja menetelmiä. Ilman NP-mittausmenetelmää TTP:n hyvyyttä voitaisiin analysoida väärin perustein ja siitä saatettaisiin tehdä väärä johtopäätöksiä. NP-mittausmenetelmää ei Suomen ilmavoimilla ole aiemmin ollut eikä tällaista menetelmää ole aiemmin esitelty myöskään julkisessa tieteellisessä kirjallisuudessa.</p> <p>Työssä hyödynnetään operaatioanalyysin tutkimusmenetelmiä. NP-mittausmenetelmän toimivuuden todentamiseksi järjestetään testaustapahtuma, jonka ensimmäisessä vaiheessa parvi ohjaajia lentää ilmataistelulennon simulaattoreilla. Toisessa vaiheessa ryhmä arvioijia seuraa simulaattorilennon lentotallenteita ja arvioi yhden siipimiehen NP:tä. Lentotallenteilta arvioidaan TTP:n noudattamisen tarkkuutta ja mahdollisen TTP:n noudattamattomuuden vaikutuksia parven kykyyn toteuttaa TTP:tä.</p> <p>NP:n mittaaminen kyettiin toteuttamaan testaustapahtumassa laadukkaasti ja NP-elementit sekä arviointiasteikko osoittautuivat toimiviksi. NP-mittausmenetelmää voi käyttää päivittäisessä lentopalveluksessa, tutkimuksessa, kehittämisessä ja järjestelmien arvioinnissa. NP-mittausmenetelmän periaatteita hyödyntäen voidaan NP:n mittaamista laajentaa muihinkin puolustushaaroihin.</p>	
AVAINSANAT: ilmataistelu, hävittäjäparvi, normatiivinen suorituskyky, TTP, mallinnus, simulaatio	

HÄVITTÄJÄPARVEN NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN MITTAUSMENETELMÄ

Sisältö

1.	JOHDANTO	2
1.1.	Normatiivinen suorituskkyky ilmataistelussa	3
1.2.	Tutkimustehtävä ja tutkimuskysymykset.....	7
1.3.	Tutkimuksen näkökulma, viitekehys ja rajaus	9
1.4.	Tutkimustilanne ja lähdemateriaali	12
1.5.	Tutkimusmenetelmät.....	15
1.6.	Käsitteet ja määritelmät.....	22
1.7.	Tutkimuksen toteutus	26
2.	BVR-ILMATAISTELUN NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN ELEMENTIT ...	27
2.1.	NP-elementtien alustava lista.....	27
2.2.	NP-elementtien potentiaalinen lista	36
2.3.	NP-elementtien lopullisen listan muodostaminen.....	41
3.	NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN MITTAUSMENETELMÄ	46
3.1.	NP-elementtien lopullinen lista ja arviointiasteikko	46
3.2.	NP:n mittaaminen	48
4.	NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN MITTAUSMENETELMÄN TESTAAMINEN	51
4.1.	Testaustapahtuman osallistajat	51
4.2.	Testaustapahtuman koeasetelma	51
4.3.	Testaustapahtuman BVR-ilmataistelut	55
4.4.	Testaustapahtuman tulokset	58
5.	DISKUSSIO	67
5.1.	NP-mittausmenetelmän toimivuus	67
5.2.	NP-mittausmenetelmän soveltaminen.....	71
5.3.	NP-mittausmenetelmän luotettavuuden arviointi.....	73
5.4.	Jatkotutkimusmahdollisuudet.....	74
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET	77

DIPLOMITYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT LYHENTEET:

A/A: air-to-air

A/G: air-to-ground

ACO: airspace control order

AMRAAM: advanced medium-range air-to-air missile

ATO: air tasking order

BOR: behavioural operational research

BVR: beyond visual range

DBS: debrief station

DCA: defensive counter air

DOTMLPFI: doctrine, organization, training, material, leadership, personnel, facilities, interoperability

DTIC: defense technical information center

DTT: deployable tactics trainer

F2T2EA: find, fix, track, target, engage, assess

ID: identification

LVC: live, virtual, constructive

MACE: modern air combat environment

MWL: mental workload

NASA-TLX: national aeronautics and space administration - task load index

NP: normative performance

OP: output performance

Pk: probability of kill

Ps: probability of survival

ROE: rules of engagement

TSA: team situation awareness

TTP: tactics, techniques and procedures

TP: task performance

WTSAT: weapons tactics and situational awareness trainer

Tähän diplomityöhön liittyvät käsitteet ja määritelmät ovat osin englanninkielisiä. Työssä käytetään englanninkielisiä termejä ja lyhenteitä, kun niille ei ole vakiintuneita suomenkielisiä vastineita.

HÄVITTÄJÄPARVEN NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN MITTAUSMENETELMÄ

1. JOHDANTO

"Joku kuolee seuraavan kahden minuutin aikana, mutta se en ole minä enkä siipimieheni." Tämä on Yhdysvaltojen ilmavoimien F-16 lentäjän kapteeni Gary Northin kuuluisa lausahdus, ennen kuin hänestä tuli ensimmäinen lentäjä, joka ampui viholliskoneen alas uudella AMRAAM (advanced medium-range air-to-air missile) -ohjuksella. North oli partiointilennon yhteydessä suorittamassa ilmatankkausta Irakissa vuonna 1992, kun kuuli radiosta Irakin Mig-25 hävittäjän rikkovan lentokieltoaluetta. North sai hävittäjäparvella taistelunjohtajalta tehtävän torjua vihollisen Mig-25:n. North parvenjohtajana sekä hänen siipimiehensä saivat tankkauksen valmiiksi ja suuntasivat kohti lentokieltoaluetta, jossa vihollisen hävittäjä lensi. Hävittäjäparven kolmas ja neljäs jäsen aloittivat samanaikaisesti ilmatankkauksen. North käski siipimiehensä taktisen hajotuksen, jolla vihollisen hävittäjä saatiin pakotettua ilmataisteluun. North käski siipimiehensä aloittaa elektronisen häirinnän ja pyysi taistelunjohtajalta lupaa ampua. Luvan saatuaan North ampui ohjuksen kohti vihollisen hävittäjää ja muutamaa hetkeä myöhemmin hän näki ison tulipallon taivaalla. [1]

Hävittäjillä käytävä ilmataistelu vaatii lentäjiltä korkeaa suorituskykyä [2]. Hävittäjän suorituskyky perustuu sen aerodynaamisiin ominaisuuksiin ja työntövoimaan sekä sensoriteknologiaan, aseisiin, omasuoja- ja kommunikaatiojärjestelmiin että lentäjän päätöksentekoa tukeviin tilannekuvajärjestelmiin [3]. Ilmataistelu sisältää dynaamista, neljässä ulottuvuudessa (x, y, z ja aika) tapahtuvaa liikehdintää ja hävittäjän hallintaa, joka tapahtuu lähes aina suurella nopeudella. Tyypilliset ilmataistelulennot ovat lentäjien fyysisten ja kognitiivisten ominaisuuksien kannalta haastavia. Lentäjän matala suorituskyky sodan aikana voi johtaa tehtävän epäonnistumiseen. Tämän vuoksi lentäjien tulee ymmärtää mitä he tietävät, mitä he osaavat ja mitä he eivät osaa. Jotta tämä tavoite saavutettaisiin, pitää lentäjien suorituskykyä mitata. [2]

1.1. Normatiivinen suorituskyky ilmataistelussa

Nykyaikainen ilmataistelu sisältää parven kokoisia osastoja omia hävittäjiä, jotka taistelevat vihollisen lentokoneita vastaan näköetäisyyden ulkopuolella tapahtuvassa (beyond visual range, BVR) -ilmataistelussa [4]. Yleensä hävittäjäparvi koostuu neljästä koneesta, jotka muodostavat kaksi paria. Molemmissa pareissa on johtaja ja siipimies. Hävittäjäparveen kuuluu parvenjohtaja, siipimies, parinjohtaja sekä toinen siipimies. Parvenjohtajasta käytetään yleensä lyhennettä #1, parvenjohtajan siipimiehestä #2, parinjohtajasta #3 ja parinjohtajan siipimiehestä #4. BVR-ilmataistelussa hävittäjäparvi kommunikoi taistelunjohtajan kanssa. Kaksisuuntaisessa kommunikaatiossa taistelunjohtaja ja parvenjohtaja koordinoivat hävittäjäparven lentotehtävän suorittamista. Taistelunjohtaja antaa käskyjä ja suosituksia parvenjohtajalle. Parvenjohtaja antaa käskyt omalle siipimiehelle ja parinjohtajalle. Parinjohtaja antaa käskyt omalle siipimiehelle. [5][6]

BVR-ilmataistelussa oma hävittäjäparvi pyrkii havaitsemaan ja tunnistamaan vihollisen lentokoneet sekä ampumaan ne tutkahakuisella ilmataisteluohjuksella pysyen näköetäisyyden ulkopuolella [6][7]. BVR-ilmataistelussa hävittäjälentäjien toimintaympäristö on dynaaminen ja monimutkainen. BVR-ilmataistelu on omien ja vihollisen järjestelmien vuorovaikutusta. Ilmataistelun järjestelmät koostuvat lentokoneista, ilmatorjunta-, johtamis-, valvonta- ja häirintäjärjestelmistä. Ominaisuuksiensa vuoksi BVR-ilmataisteluun on valmistauduttava huolellisesti. [3][5]

Hävittäjäparvi saa tehtävänsä ilmaoperaation toimenpidekäskyssä (air tasking order, ATO) [8]. Annettuihin tehtäviin hävittäjäparvi valitsee ja käyttää soveltuvia käyttöperiaatteita, joista käytetään nimitystä TTP (tactics, techniques and procedures). TTP:t ovat ennalta määritettyjä ilmataistelussa käytettäviä taktiikoita, tekniikoita ja menetelmiä. [9]

TTP sisältää sarjan TTP-sääntöjä ja sääntöjen arvoja, joiden avulla hävittäjäparvi koordinoi toimintaansa [10][11]. TTP:t muodostuvat joukosta kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia TTP-sääntöjä [12]. Kvantitatiiviset TTP-säännöt sisältävät muuttujan ja sen arvon. Esimerkiksi "ohjuksen laukaisussa hävittäjän nopeus tulee olla vähintään 1.0 mach:a" on kvantitatiivinen TTP-sääntö, jossa 1.0 mach:a on säännön arvo. TTP-säännön arvo voi olla erittäin tarkkaan määritetty tai se voi olla epätarkka tai jopa tulkinnanvarainen. Kvalitatiivinen TTP-sääntö on sanallinen, eikä sisällä muuttujaa eikä arvoa. Kvalitatiivinen TTP-sääntö voi esimerkiksi olla "ohjaajan tulee ilmoittaa taktisesta tilanteestaan". [10] TTP:t sekä TTP-säännöt ja sääntöjen arvot ovat kalusto- ja ilmavoimakohtaisia.

TTP:n toteuttamiseen ja BVR-ilmataisteluun liittyy kill chain ja live chain. Kill chain on prosessi, jolla kuvataan hyökkäyksen etenemisen vaiheita. Vastaavasti live chain on prosessi, jolla kuvataan vihollisen hyökkäyksen etenemisen vaiheiden estämistä. [8]

Kill chain:n vaiheita ovat löydä (find), määritä (fix), seuraa (track), maalinna (target), hyökkää (engage) ja arvioi (assess). Kill chain tunnetaan myös nimellä F2T2EA. Find-vaiheen jälkeen maali on löydetty. Fix-vaiheen jälkeen maali on paikannettu ja tunnistettu. Track-vaiheen jälkeen maalista on muodostettu jatkuva seuranta. Mikäli maali havaitaan hävittäjä-tutkalla, find-, fix- ja track-vaiheet toteutuvat sensoritasolla lähes yhtäaikaaisesti. Target-vaiheen jälkeen maali on maalinnettu ja engage-vaiheen jälkeen maaliin on hyökätty. Tämä ei kuitenkaan vielä tarkoita, että maaliin olisi saatu vaikutusta. Assess-vaiheen jälkeen hyökkäyksen vaikutus ja uuden hyökkäyksen tarve on arvioitu. Live chain:n vaiheet ovat vastaavanlaiset kuin vastustajan kill chain:ssä, mutta siinä vastustajan kill chain prosessin eteneminen pyritään estämään. [12]

Hävittäjäparven toiminta ilmataistelussa voidaan jakaa tehtävätyöhön ja tiimityöhön. Tehtävätyö kuvaa toimia, joita parven jäsenet suorittavat tehtävän toteuttamiseksi. Tehtävätyö vaatii ymmärrystä tilanteesta ja muiden parven jäsenten tehtävistä. Tehtävätyöhön kuuluu muun muassa tiimin tilannetietoisuuden muodostaminen ja ylläpito, päämäärien ja tavoitteiden asettaminen, kommunikointi sekä tiimin jäsenten kognitiivisen kuormituksen hallinta päätöksenteon ja tehtävien toteuttamisen tukena. [13][14] Tehtävätyön ohella hävittäjäparvi tarvitsee myös tiimityötä. Siinä missä tehtävätyö kuvaa mitä tiimi tekee, niin tiimityö kuvaa miten tiimi toimii [15]. Tiimityö vaatii toisten parven jäsenten tuntemista ja parven jäseniin luottamista. Tiimityöhön kuuluu muun muassa tiimin jäsenten ja tiimin yhteisen tilannetietoisuuden muodostaminen ja ylläpito koskien tiimin sisäisiä toimintatapoja sekä toisten tiimin jäsenten ominaisuuksia. [13][16] Tässä työssä keskitytään ainoastaan hävittäjäparven tehtävätyöhön ja sen mittaamiseen.

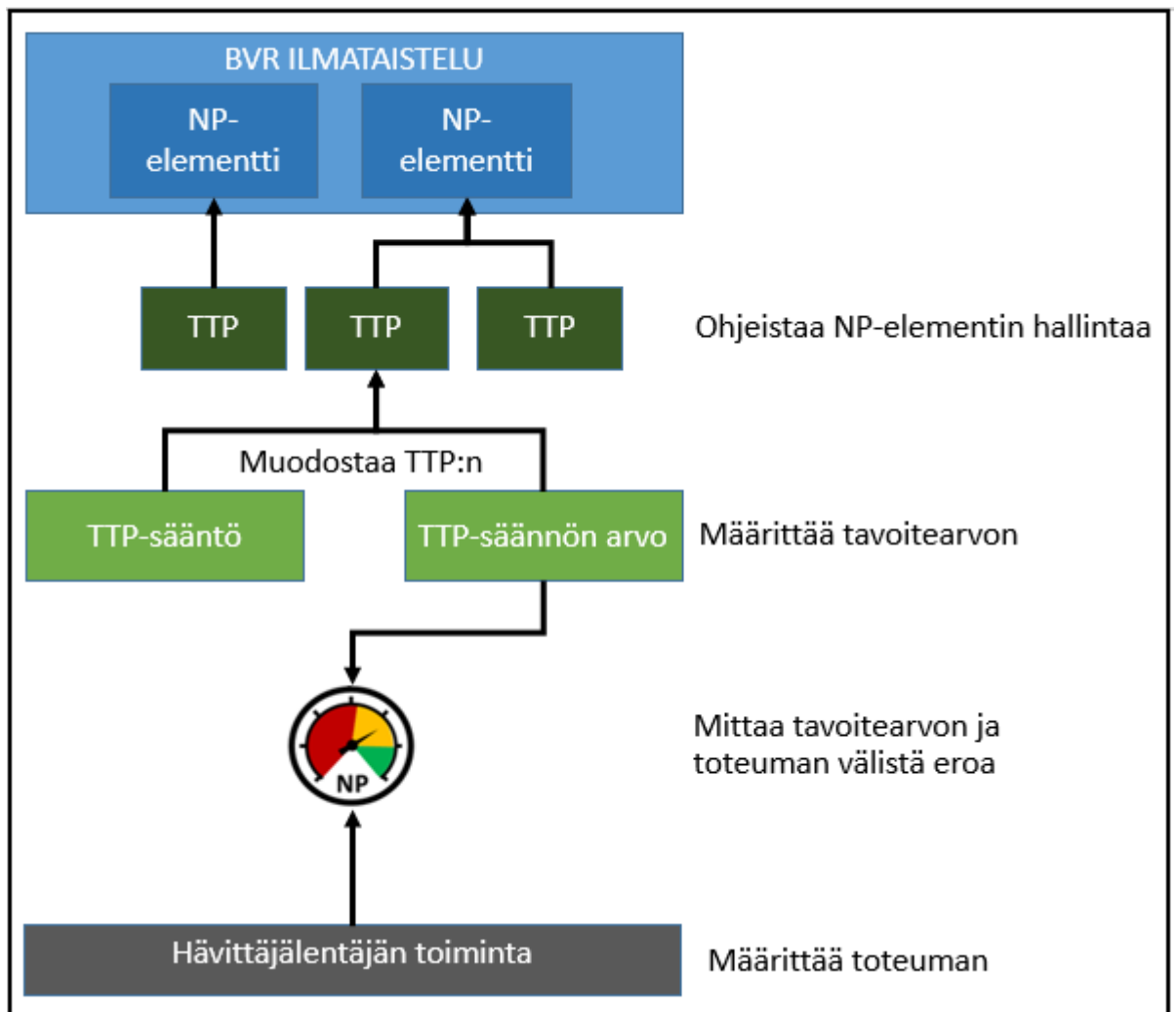
Hävittäjäparven tehtävätyön tulosta arvioidaan yleensä mittaamalla sen lopputuotetta (output performance, OP) ja vertaamalla sitä hävittäjäparven ATO:sta saamaan tehtävään ja sen tavoitteisiin. OP:ta voidaan kuvata esimerkiksi ilmavoittojen ja omien tappioiden määränä tai niiden suhteena. [10] Haluttu lopputuote voidaan kuitenkin saavuttaa virheellisillä päätöksillä ja toisaalta oikeilla päätöksillä saatetaan päätyä ei-toivottuun lopputulokseen [17]. OP mittaa siis vain pienen osan hävittäjäparven tehtävätyöstä. Pyrittäessä kokonaisvaltaisesti ymmärtämään hävittäjäparven suorituskykyä tulee parven tehtävätyön mittaamisessa huomioida parven kompetenssi, hävittäjän soveltuvuus tehtävään ja sovellettavat TTP:t. Tämän vuoksi tulee tarkastella myös tehtävätyön välituotteita ja prosessia, joiden avulla lopputuote saavutetaan. [10]

Mansikka, Virtanen, Harris ja Jalava ovat artikkelissaan: *Measurement of team performance in air combat - have we been underperforming?* luoneet ilmataistelusta systeemimallin ja kehittäneet hävittäjäparven tehtävätyön kokonaissuorituskykyä luonnehtivan mittariston. Kokonaissuorituskykyä mitattaessa otetaan huomioon samaan aikaan joukko, sotavarusteet ja TTP. Suorituskykymittaristo on viisiosainen ja OP:n lisäksi siihen kuuluu tehtäväsuorituskyky (task performance, TP), tiimin tilannetietoisuus (team situation awareness, TSA), kognitiivinen kuormitus (mental workload, MWL) ja normatiivinen suorituskyky (normative performance, NP). [10] Mittariston yksittäiset mittarit ja niiden käyttö esitellään tämän tutkimuksen viitekehystä koskevassa alaluvussa.

Sana normatiivinen tarkoittaa ohjeellista tai toimintaohjeen antavaa. Normatiivinen määrittelee miten jokin asia tulisi tehdä tai mikä olisi jossain asiassa noudatettava toimintaohje. [18] Termi normatiivinen suorituskyky on otettu päätöksenteon tutkimuksesta, jossa normatiivisen teorian malli kuvaa ideaalisten ja todellisten ihmisten päätösten eroa. Ideaaliset ihmiset tekevät täydellisiä, tiettyjen päätöksentekoon liittyvien oletuksien mukaisia päätöksiä, kun taas todelliset ihmiset eivät. Mitä lähempänä todellisten ihmisten päätökset ovat ideaalisten ihmisten päätöksiä, sitä parempi normatiivinen suorituskyky todellisilla ihmisillä on. [12] Tässä tutkimuksessa ja ilmataistelussa NP kuvaa miten tarkkaan hävittäjäparven jäsenet noudattavat käskettyjä TTP:itä.

Jotta NP:tä voidaan mitata, on ensin tunnistettava TTP:t ja TTP-säännöt, joiden noudattamisella on merkitystä hävittäjäparven tehtävän toteuttamiselle. TTP-säännöt ja sääntöjen arvot liittyvät ilmataistelun osapuoliin ja niiden toimintoihin. TTP-säännöt ja sääntöjen arvot voivat liittyä kill chain:n tai live chain:n yhteen tai useampaan vaiheeseen, mutta voivat olla myös niihin kuulumattomia. Tällöinkin ne vaikuttaa kill chain:ien tai live chain:ien vaiheisiin välillisesti. [10]

TTP-sääntöjen tavoin BVR-ilmataistelun elementit liittyvät ilmataistelun osapuoliin ja niiden toimintoihin. Hävittäjäparven tehtävän toteuttamiselle merkittävien TTP:iden ja TTP-sääntöjen tunnistamiseksi tässä tutkimuksessa kartoitetaan parven toiminnan kannalta keskeiset BVR-ilmataistelun elementit. Näistä NP:n mittaamiseen käytettävistä BVR-ilmataistelun elementeistä käytetään nimitystä NP-elementti, koska NP:tä mitataan arvioimalla niihin liittyvien TTP-sääntöjen ja sääntöjen arvojen noudattamista. Kuvassa 1 on yksinkertaistettuna tekstissä olevien käsitteiden suhde NP:n mittaamiseen.



Kuva 1. NP:n mittaaminen.

Tässä tutkimuksessa NP-elementtejä hyödyntämällä kehitetään uusi NP-mittausmenetelmä hävittäjäparven NP:n mittaamiseksi BVR-ilmataistelussa. Tässä työssä hävittäjäparvi tarkoittaa suomalaisten F/A-18 koneiden muodostamaa lento-osastoa. NP-mittausmenetelmään kuuluu hävittäjäparven toiminnan kannalta keskeiset NP-elementit, arviointiasteikko sekä NP:n mittaaminen. NP mitataan jokaiselta parven jäseneltä erikseen. NP:n mittaamisessa arvioidaan parven jäsenen TTP-sääntöjen ja sääntöjen arvojen noudattamista keskeisten NP-elementtien osalta. Arviointiasteikon mukaisesti jokaiselle NP-elementille annetaan NP-arvosana, joka kuvaa kunkin parven jäsenen TTP-säännön ja säännön arvon noudattamisen tarkkuutta. Yksinkertaisimmillaan arviointiasteikko kuvaa TTP:n noudattamista ja TTP:n noudattamattomuutta. Kuitenkin joskus voi olla tarve arvioida myös TTP:n noudattamattomuuden vaikutuksia parven kykyyn toteuttaa TTP:tä. Tällöin arviointiasteikon tulee sisältää erilaisia tasoja TTP:n noudattamattomuuden vaikutuksille. Tässä tutkimuksessa käytetään arviointiasteikkoa, jossa arvioidaan myös TTP:n noudattamattomuuden vaikutuksia. Tutkimuksessa toteutetaan NP-mittausmenetelmän testaustapahtuma ja tositetaan mahdollisuus arvioida yksittäisen ohjaajan NP lentotallenteilta siten, että lennon lentäneen ohjaajan ei tarvitse osallistua sen keräämiseen.

NP-mittausmenetelmä on oleellinen osa hävittäjäparven suorituskykymittaristoa - varsinkin taktiikan kehittämisen näkökulmasta. Tässä työssä kehitettävän NP-mittausmenetelmän avulla voidaan todentaa, onko hävittäjäparvi noudattanut käskettyjä TTP:itä ja millainen vaikutus TTP:n noudattamattomuudella on parvelle. Ilman mittausmenetelmää TTP:n hyvyyttä voitaisiin analysoida väärin perustein ja siitä saatettaisiin tehdä vääriä johtopäätöksiä [10]. NP-mittausmenetelmää ei Suomen ilmavoimilla ole aiemmin ollut eikä tällaista menetelmää ole aiemmin esitelty myöskään julkisessa tieteellisessä kirjallisuudessa.

1.2. Tutkimustehtävä ja tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen tutkimustehtävänä on kehittää tapa mitata hävittäjäparven normatiivista suorituskykyä BVR-ilmataistelulennolla. Tutkimuksen tavoitteena on kehittää normatiivisen suorituskyvyn mittausmenetelmä. Mittausmenetelmää voidaan käyttää Ilmavoimissa joukon, sotavarusteen ja TTP:n kehittämiseen ja vertailuun live (L)- ja virtual (V)-simulaattoreissa todentamaan hävittäjäparven normatiivinen suorituskyky.

Tutkimuksen otsikko on:

HÄVITTÄJÄPARVEN NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN MITTAUSMENETELMÄ

Pääkysymys: Miten hävittäjäparven normatiivista suorituskykyä voidaan mitata BVR-ilmataistelulennolla?

Alakysymykset:

1. Mistä NP-elementeistä BVR-ilmataistelu koostuu ja mitkä niistä ovat hävittäjäparven kannalta keskeisimmät?
2. Millainen NP-mittausmenetelmä on ja miten NP mitataan?
3. Miten NP-mittausmenetelmä toimii V-simulaatiolennolla?

Tutkimuksen ensimmäiseen alakysymykseen vastataan luvussa 2, jossa NP-elementit kartoitetaan kirjallisuudesta. Kartoituksen perusteella muodostetaan ensin NP-elementtien alustava lista, jonka jälkeen alustavaa listaa muokkaamalla muodostetaan NP-elementtien potentiaalinen lista. Luvussa 2 esitetään myös NP-elementtien painottaminen ohjaajaryhmällä. Kaikkein keskeisimmistä NP-elementeistä muodostetaan NP-elementtien lopullinen lista, jota käytetään NP-mittausmenetelmässä. Tutkimuksen toiseen alakysymykseen vastataan luvussa 3, jossa esitellään tutkimuksessa kehitettävä NP-mittausmenetelmä. Luvussa 4 esitellään NP-mittausmenetelmän testaustapahtuma ja testaustapahtuman tulokset. Tutkimuksen kolmanteen alakysymykseen vastataan luvussa 5. Luvussa 5 keskustellaan testaustapahtuman tuloksista ja NP-mittausmenetelmän toimivuudesta. Luvussa 5 käsitellään myös NP-mittausmenetelmän soveltamista koulutuksessa ja TTP:n kehittämisessä sekä arvioidaan tulosten luotettavuutta. Tutkimuksen pääkysymykseen vastataan luvussa 6, jossa esitellään tutkimuksen johtopäätökset.

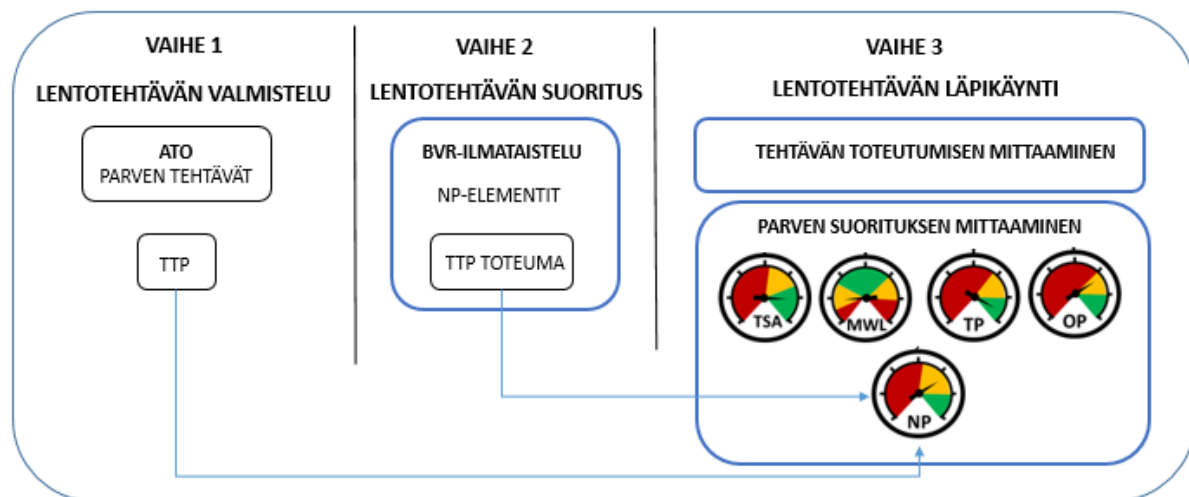
1.3. Tutkimuksen näkökulma, viitekehys ja raja

Sotilaallista suorituskykyä tarkastellaan Puolustusvoimissa neljästä näkökulmasta: vaikuttavuus, kyvykkyys, ratkaisu ja elinjakso. Vaikuttavuusnäkökulma vastaa kysymykseen "mitä vaikuttavuutta halutaan saada aikaan?". Kyvykkyysnäkökulma vastaa kysymykseen "mitä kyvykkyysnäkökulmaa tarvitaan vaikuttavuuden aikaansaamiseksi?". Ratkaisunäkökulma vastaa kysymykseen "miten ja millä ratkaisulla vaaditut suorituskyvyn kyvykkyudet toteutetaan?". Elinjaksonäkökulma vastaa kysymykseen "milloin suorituskyky on käytettävissä ja mitkä ovat sen kustannusvaikutukset?". Tämän tutkimuksen taustalla on ratkaisunäkökulma. Ratkaisunäkökulma on toteutusriippuvainen. Se kuvaa ratkaisun kahdeksan osatekijää ja niiden väliset suhteet. Ratkaisunäkökulman osatekijät ovat doktriini eli käyttöperiaate, organisaatio, koulutus, materiaali, johtajuus, henkilöstö, infrastruktuuri ja yhteistoimintakyky mukaan lukien informaatio. Osatekijöiden kokonaisuutta kuvataan lyhenteellä DOTMLPFI (doctrine, organization, training, material, leadership, personnel, facilities, infrastructure). [19]

Ilmavoimien tutkimus- ja kehittämistoiminnassa kehitetään ja vertaillaan joukkoja, sotavarusteita ja käyttöperiaatteita. Käyttöperiaatteisiin kuuluvat TTP- ja vakiomenetelmät, joiden tutkimus edellyttää mittaristoa kokonaissuorituskyvyn mittaamiseksi. On eduksi, jos eri tarkastelemissa voidaan hyödyntää samaa tai lähes samanlaista mittaristoa. [20]

Hävittäjäparven tehtävätyön kokonaissuorituskykyä mitattaessa otetaan huomioon samaan aikaan joukko, sotavarusteet ja käyttöperiaatteet. Joukon kehittämisessä ja vertaamisessa tyypillisiä käyttötilanteita ovat yksilö- ja joukkovertailut, sekä koulutuksen seuranta ja koulutusmenetelmien vertailu. Sotavarusteita mitattaessa verrataan eri sotavarusteiden tuottamaa suorituskykyä. Käyttöperiaatteiden kehittäminen ja vertailu liittyvät TTP:iden mittaamiseen, jolloin mittariston avulla verrataan kahden tai useamman TTP:n hyvyttä. [10]

Mittausmenetelmää käytetään Ilmavoimissa joukon, sotavarusteen ja TTP:n kehittämiseen ja vertailuun L- ja V-simulaatioissa. NP-mittausmenetelmän kehitystyön näkökulmana on TTP:iden kehittäminen ja vertaaminen L- ja V-simulaatioissa.



Kuva 2. Tutkimuksen viitekehys. Kuvassa esintyvät lyhenteet: ATO = air tasking order, TTP = tactics, techniques, procedures, BVR = beyond visual range, TSA = team situation awareness, MWL = mental workload, TP = task performance, OP = output performance, NP = normative performance.

Kuvassa 2 esitetyn tutkimuksen viitekehysten vaiheessa 1 kuvataan lentotehtävän valmistelu. Lentotehtävän valmistelussa pyritään varmistamaan, että parven jäsenet tietävät omat tehtävänsä ja vastuunsa [21]. Lentotehtävän valmistelu -vaiheessa parvi saa tehtävänsä ATO:sta. Parven tulee tehtävän valmistelussa huomioida muun muassa toimintaympäristö, uhka, sää ja omat joukot. Lisäksi parven tulee tehdä suunnitelma mahdollisten yllättävien tilanteiden varalle. [8] Tämän jälkeen parvenjohtaja määrittää minkälaisia TTP:itä noudattaen parvi tulee tehtävänsä suorittamaan. Lentotehtävän valmistelu -vaihe päättyy parven yhteiseen tehtävänantotilaisuuteen, jossa parvenjohtaja käsklee käytettävät TTP:t, niiden TTP-säännöt ja sääntöjen arvot.

Viitekehysten vaiheessa 2 kuvataan lentotehtävän suoritus. Lentotehtävän suoritus -vaiheessa parvi suorittaa lentotehtävänsä ja pyrkii lähtökohtaisesti noudattamaan ennalta määrättyjä TTP-sääntöjä ja sääntöjen arvoja. NP-elementtien TTP-sääntöjen ja sääntöjen arvojen noudattamisesta tai noudattamattomuudesta muodostuu toteuma, joka mitataan lentotallenteista lentotehtävän läpikäynti -vaiheessa.

Viitekehysten vaiheessa 3 kuvataan lentotehtävän läpikäynti. Lentotehtävän läpikäynti -vaiheessa parvi pitää yhteisen läpikäyntitilaisuuden. Tilaisuudessa analysoidaan, miten parvi suoriutui annetuista tehtävistä. Läpikäyntitilaisuuden tärkeimpinä tavoitteina on selvittää toteutuivatko lentotehtävän tavoitteet ja parvelle käsketyt tehtävät sekä määrittää mitä parvi voi tehdä vielä paremmin. [21]

Tehtävien toteutuminen ei vaikuta parven NP:hen. Läpikäyntitilaisuudessa hyödynnetään lentotallenteita ja lentokoneiden paikkatietoihin perustuvaa rekonstruktiota. Lentotallenteista ja lennon rekonstruktioista arvioidaan TTP-sääntöjen arvojen toteuma ja niitä verrataan käsketyihin TTP-sääntöjen arvoihin. NP mitataan arvioimalla käsketyin TTP-säännön arvon ja TTP-säännön arvon toteuman eroa. [10]

Parven työn lopputuote (OP) kuvaa parven suorituksen lopputuotteen ja asetettujen tavoitteiden ja tehtävien suhdetta. OP:n mittaamisen helpottamiseksi, tulee käytettävät mittarisuureet määrittää ennen lentoa. OP:ta mitattaessa voidaan esimerkiksi laskea ilmavoittoja ja omia tappioita tai niiden suhdetta, laskea ohjuskulutusta tai ilmatilan hallinnan tasoa. Mittarisuureiden on kuitenkin edustettava haluttua loppuasetelmaa ja ilmaoperaation komentajan tahtoa. [10]

Tehtävänsuorituskyky (TP) saadaan mittaamalla parven kill chain- ja live chain- prosessien toteutumista. TP määritetään erikseen kill ja live chain:lle, joten on erikseen TP kill ja TP live. TP kill:n mittauksessa maaliin kohdistuvasta hyökkäyksestä tunnistetaan kill chain:n vaiheiden toteutuminen ja TP live:n mittauksessa hyökkäyksen kohteen live chain:n vaiheiden toteutuminen. [12]

Tiimin tilannetietoisuus (TSA) on pitkäkestoisen muistin mentaalisten mallien, työmuistin tilannemallien ja havaintojen vuorovaikutuksesta rakentuva ymmärrys ympäristön tilasta ja sen odotettavista muutoksista [22]. Parven päätöksenteon kannalta on edullista, että parven jäsenten tilannetietoisuus on samanlainen ja oikea [23]. TSA:n mittaamiseen on kehitetty menetelmä, jolla parven jäsenten tilannetietoisuus kyetään mittaamaan [24].

Kognitiivinen kuormitus (MWL) kuvaa parven jäsenten kognitiivisten resurssien ja työn vaatimien resurssien eroa. Ilmataistelussa tämä vaikuttaa parven jäsenten kykyyn prosessoida informaatiota ja tehdä taktisia päätöksiä. [25] Tällä hetkellä suositeltavin mittausmenetelmä parven jäsenten MWL:n mittaamiseksi ilmataistelussa on NASA-TLX (national aeronautics and space administration - task load index) [26]. NASA-TLX on subjektiivinen mittausmenetelmä, jossa lennon jälkeen ohjaajilta kysytään mielipidettä tehtävän kognitiivisesta kuormituksesta kuuden eri dimension suhteen [27].

Tässä työssä on tehty kolme tutkimuksen kontekstiin liittyvää rajausta. Ilmataistelu on rajattu BVR-ilmataisteluun, joten näköetäisyyden sisäpuolella tapahtuvan ilmataistelun elementtejä ei huomioida NP-mittausmenetelmässä. Mittausmenetelmä kehitetään koskemaan ainoastaan hävittäjien ilmasta ilmaan (air-to-air, A/A) -ilmataistelua. Tämän lisäksi A/A-ilmataistelussa huomioidaan ainoastaan parven tehtävätyypeistä puolustuksellinen vastailmatoiminta (defensive counter air, DCA). Puolustuksellinen vastailmatoiminta sisältää aktiiviset ja passiiviset puolustukselliset toimet, joiden tarkoitus on havaita ja tunnistaa ystävällismieliseen ilmatilaan hyökkäämistä tai tunkeutumista yrittävät voimat, viedä asevaikutus niiden läheisyyteen ja tuhota ne tai tehdä ne muuten toimintakyvyttömiksi [28]. NP-mittausmenetelmän testauksessa arvioidaan vain yksittäisen ohjaajan NP:tä. Työssä kuitenkin esitellään miten yksittäisten ohjaajien NP:stä voidaan laskea koko parven NP.

1.4. Tutkimustilanne ja lähdemateriaali

Ohjaajien suorituskkyä ja ilmataistelua on tutkittu sekä teoreettisesti että empiirisesti jo yli 50 vuotta [29]. Lähdemateriaalia on paljon koskien ohjaajien tilannetietoisuutta, kuormittumista ja yleistä ihmisen suorituskkyä, sekä edellä mainittujen kokonaisuuksien vuorovaikutuksia [22][23][27].

Ilmataistelua ja sen sisältämiä elementtejä on tutkittu aiemminkin. Krusmark ja Schreiber esittelevät raportissaan: *The effectiveness of a traditional gradesheet for measuring air combat team performance in simulated distributed mission operations* (2004) arviointitaulukon, johon asiantuntijat ovat valinneet 40 mitattavaa indikaattoria parven ilmataistelusta [30]. Lista on kehitetty versio Waagin ja Houchin raportissaan: *Development of criterion measures of situation awareness for use in operational fighter squadrons* (1995) esittelemästä tilannetietoisuuden arviointikokonaisuudesta [31]. Tässä tutkimuksessa ilmataistelun elementtejä karroitetaan ensimmäistä kertaa TTP:n kehittämisen näkökulmasta.

Hävittäjäparven suorituskkyä on arvioitu yleisesti asiantuntijoiden toimesta. Arviointi on keskittynyt parven tehtävien suorittamiseen. [30][32] Esimerkiksi Svensson, Angelborg-Thanderz ja Wilson esittelevät artikkelissaan: *Models of pilot performance for systems and mission evaluation - psychological and psycho-physiological aspects* (1999) termin pilot performance eli ohjaajan suorituskky [32]. Myöhemmissä tutkimuksissaan he analysoivat myös ohjaajien MWL:n ja SA:n kognitiivisia vaatimuksia suhteessa käsketyin tehtäviin tavoitteisiin. Tutkimuksissa asiantuntijat arvioivat ohjaajien suoriutumista tehtäviin peilaten. [33][34]

Mansikka, Virtanen, Harris ja Salomäki määrittelevät artikkeleissaan: *Live-virtual-constructive simulation for testing and evaluation of air combat tactics, techniques and procedures part 1: assessment framework* (2019) ja *Live-virtual-constructive simulation for testing and evaluation of air combat tactics, techniques and procedures part 2: demonstration of framework* (2019) normatiivisen suorituskyvyn (NP) käsitteen ja testaavat sen mittaamista L-V-constructive (C)-simulaatiomallin kehittämisen yhteydessä. Näissä artikkeleissa on kuvattu NP-mittausmenetelmän periaate ja käyttötarkoitus. [12][35]

Mansikka, Virtanen, Harris ja Jalava tuovat artikkelissaan: *Measurement of team performance in air combat - have we been underperforming?* (2020) esille uuden näkökulman hävittäjäparven suorituskyvyn mittaamiseen. Heidän kehittämiensä ilmataistelun systeemimalli tukee aiempaa kokonaisvaltaisempaa suorituskymittausta etenkin TTP:n kehittämisen ja vertaamisen näkökulmasta. [10] Artikkelissa esiteltyjen mittareiden avulla TTP:n kehittämisessä ja vertaamisessa voidaan huomioida hävittäjäparven kokonaissuorituskyky. Jos esimerkiksi hävittäjäparvi ei noudata sovittuja TTP:eitä on mahdollista, että TTP:n hyvyyden arviointi tai vertailu tehdään väärin perustein [12]. Tarve NP-mittausmenetelmälle on siis ilmeinen. Tässä diplomityössä esitetyn kaltaista mittausmenetelmää ei ole julkisen ulkomaisen eikä julkisen tai turvaluokitellun kotimaisen aineiston mukaan esitelty.

NP-elementtien kartoittamiseksi ja NP-elementtien alustavan listan luomiseksi käytiin läpi useita ilmataisteluun, ohjaajan suorituskyyyn ja suorituskyvyn mittaamiseen liittyviä julkisia lähteitä. Lähdemateriaalin hakuun käytettiin Google Scholaria, yhdysvaltalaisesta sotatieteellisen tutkimuksen hakuportaalia (defense technical information center, DTIC) ja DORIA:a. Google scholarista ja DTIC:stä haettiin tieteellisiä artikkeleita ja tutkimusraportteja. DORIA:sta haettiin MPKK:n opinnäytteitä ja laitosten julkaisuja.

Alla on lueteltu lähteet, joista NP-elementtejä valittiin NP-elementtien alustavaan listaan:

1. Bennett Jr, W., Schreiber, B., Andrews, D. *Developing competency-based methods for near-real-time air combat problem solving assessment*. Computers in human behavior, 2002. Vol. 18, no. 6, p. 773-782.
2. Houck, M. R., Whitaker, L. A., Kendall, R. R. *An information processing classification of Beyond-Visual-Range air intercepts*. University of Dayton research institute. 1993. AL/HR-TR-1993-0061.

3. Houck, M., Thomas, G., Bell, H. *Training evaluation of the F-15 advanced air combat simulation*. University of Dayton research institute. 1991. AL-TP-1991-0047.
4. van der Pal, J., Boland, E., J., de Rivecourt, M. *Competency-based design of F-16 qualification training*. 2010. National aerospace laboratory NLR. NLR-TP-2009-373.
5. Krusmark, M., Schreiber, B., T., Bennett Jr., W. *The effectiveness of a traditional gradesheet for measuring air combat team performance in simulated distributed mission operations*. Air force research laboratory, Arizona. 2004. AFRL-HE-AZ-TR-2004-0090.
6. Symons, S., France, M., Bell, J., Bennett Jr, W. *Linking knowledge and skills to mission essential competency-based syllabus development for distributed mission operations*. Air force research laboratory, Mesa. 2006. AFRL-HE-AZ-TR-2006-0041.
7. Crane, P., Robbins, R., Bennett Jr, W. *Using distributed mission training to augment flight lead upgrade training*. Air force research laboratory, Mesa. 2001. AFRL-HE-AZ-TR-2000-0111.
8. Roessingh, J., Verhaaf, G. *Training effectiveness of embedded training in a (multi-) fighter environment*. National aerospace laboratory, Amsterdam. 2009. RTO-MP-HFM-169.
9. U.S. air force doctrine. *Annex 3-60 - Targeting*. Last update 15.3.2019. Curtis E. Lemay center.
10. Colegrove, C., M., Bennett Jr, W. *Competency-based training: adapting to warfighter needs*. Air force research laboratory, Mesa. 2006. AFRL-HE-AZ-TR-2006-0014.
11. Schreiber, B., Bennett Jr., W., Colegrove, C., Portrey, A., Greschke, D., Bell, H. *Evaluating pilot performance*. Kirjassa: Ericsson, K., A. Development of professional expertise. Cambridge. 2009. ISBN 978-0-511-59493-9.
12. U.S. air force manual 11-2F-16. *F-16-aircrew evaluation criteria*. Vol. 2. Department of the air force, Washington DC. 8.2.2019.

1.5. Tutkimusmenetelmät

Tutkimus on monimenetelmällinen tutkimus, jossa käytetään kahta eri aineistonhankintamenetelmää. Tutkimuksessa tehdään laadullinen kirjallisuuskatsaus ja aineisto kerätään lomakehaastatteluna. Tutkimuksen laadullisen aineiston analysoinnissa käytetään asiantuntijoiden tekemää aineistolähtöistä sisällönanalyysia ja hyödynnetään kyselytutkimusta. Lomakehaastattelun määrällinen aineisto analysoidaan tilastollisin menetelmin. Tässä tutkimuksessa hyödynnetään operaatioanalyysin menetelmistä mallinnusta ja simulointia. Kuvassa 3 on tutkimusmenetelmät jaettu tutkimuskysymysten ja tutkimuksen lukujen mukaan.

TUTKIMUSKYSYMYKSET	TUTKIMUS-MENETELMÄT	TUTKIMUKSEN LUVUT
<p>Pääkysymys:</p> <p>Miten hävittäjäparven normatiivista suorituskykyä voidaan BVR-ilmataistelulennolla mitata?</p>	<p>Kirjallisuuskatsaus, kysely, mallinnus, simulointi, lomakehaastattelu</p>	<p>LUKU 6</p>
<p>Alakysymykset:</p> <p>Mistä NP-elementeistä parven BVR-ilmataistelu koostuu ja mitkä niistä ovat parven kannalta keskeisiä?</p>	<p>Kirjallisuuskatsaus, kysely</p>	<p>LUKU 2</p>
<p>Millainen NP-mittausmenetelmä on ja miten sitä käytetään?</p>	<p>Mallinnus</p>	<p>LUKU 3</p>
<p>Miten NP-mittausmenetelmä toimii V-simulaatiolennolla?</p>	<p>Simulointi, lomakehaastattelu</p>	<p>LUKU 4 ja 5</p>

Kuva 3. Tutkimusmenetelmät suhteessa tutkimuskysymyksiin ja tutkimuksen lukuihin.

Monimenetelmällisessä tutkimuksessa käytettävät eri menetelmät voivat olla yhdistelmä sekä laadullisia eli kvalitatiivisia, että määrällisiä eli kvantitatiivisia menetelmiä. Kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen tutkimus ovat lähestymistapoja, jotka ovat toisiaan täydentäviä. Kvalitatiivista lähestymistapaa voidaan käyttää kvantitatiivisen tutkimuksen esikokeena, jolloin on tarkoitus taata, että mitattavat seikat ovat tarkoituksenmukaisia tutkimuksen ongelman kannalta.

[36]

Kirjallisuuskatsaus on tutkimusmenetelmä, jossa tutkitaan tehtyä tutkimusta. Kirjallisuudesta tunnistetaan ja tiivistetään tutkijoiden ja asiantuntijoiden julkaistu tutkimusaineisto. Tässä tutkimuksessa NP-elementtien kartoittamiseen käytetään kuvailevaa kirjallisuuskatsausta, jossa luodaan BVR-ilmataistelun elementeistä yleiskatsaus käyttämällä aineistoja ilman aineiston tarkkaa rajaamista. Näin toimittaessa tutkittava ilmiö kyetään kuvaamaan laajalaisesti ja sen ominaisuudet kyetään luokittelemaan. [37]

NP-elementtien valinnassa käytetään asiantuntijoiden aineistolähtöistä sisällönanalyysia. Aineistolähtöisessä sisällönanalyysissa pyritään luomaan tutkimusaineistosta teoreettinen kokonaisuus. Aineistolähtöisessä analyysissa käytetään induktiivisen päättelyn logiikkaa. Analyysissa tunnistetaan ensin NP-elementit, joista tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita. Valittuja NP-elementtejä pelkistetään ja samaa asiaa tarkoittavat NP-elementit yhdistetään samaan kategoriaan ja kategorialle annetaan sisältöä kuvaava nimi. [38] Tässä tutkimuksessa analyysin tekemiseen käytetään koulutettuja F/A-18 ohjaajia. NP-elementtien painottamisessa suoritetaan myös kyselytutkimus, jonka tarkoituksena on kerätä mielipiteitä useammalta ohjaajalta. Kyselyssä ohjaajat painottavat NP-elementtien tärkeyden BVR-ilmataistelussa. Painottamisen tueksi kyselyyn luodaan painottamisen asteikko. Painottamisella pyritään varmistamaan, että NP-elementtien lopulliseen listaan valikoituu vain parven toiminnan kannalta kaikkein keskeisimmät NP-elementit.

Tutkimuksen määrällinen aineisto kerätään lomakehaastatteluna. Haastattelulomakkeen kysymykset strukturoidaan ja määritetään etukäteen. Kaikilta kyselyyn vastaavilta kysytään samat kysymykset, samassa järjestyksessä ja samalla tavalla. [39] Lomakehaastattelusta saatu määrällinen aineisto kerätään datamatriisiksi ja analysoidaan tilastollisin menetelmin.

Tässä tutkimuksessa Fleissin Kappa:lla arvioidaan arvioijien välistä yksimielisyyttä. Fleissin kappa käytetään, kun arvioijia on enemmän kuin kaksi. Kappa-arvoa pidetään luotettavampana mittana kuin yksinkertaista prosentuaalista yhtäpitävyyttä, koska kappa-arvo ottaa huomioon sattuman. Sattumakorjatun yksimielisyyskertoimen ideana on se, että halutaan minimoida sattumalta tapahtuneen yksimielisyyden aiheuttama harha. Kappa-arvon laskeminen perustuu eroon yhtäpitävyyden (engl. overall agreement) ja oletetun sattumayhtäpitävyyden (engl. expected change agreement) välillä. [40]

Kuvassa 4 esitetään kappa-arvon laskentakaava, jossa P_o on yhtäpitävyys ja P_c on oletetun sattuman yhtäpitävyys. P_o on siis osuus, joista arvioijat ovat yhtä mieltä. P_c on osuus, joka voidaan saavuttaa sattumalta. [41]

$$\text{Kappa} = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}$$

Kuva 4. Kappa-arvon kaava [41].

Kappa-arvot voivat olla negatiivisia tai positiivisia ja ne voivat vaihdella välillä -1 ja +1. Kappa-arvojen merkitsevyyttä arvioidaan yleensä Koch ja Landisin tekemä asteikon mukaisesti, joka esitellään taulukossa 1. [42]

Taulukko 1. Kappa-arvojen yhtäpitävyys [42].

Kappan arvo	Yhtäpitävyyden voimakkuus
<0	Huono (engl. poor)
0.01-0.20	Heikko (engl. slight)
0.21-0.40	Kohtalainen (engl. fair)
0.41-0.60	Keskinkertainen (engl. moderate)
0.61-0.80	Hyvä (engl. substantial)
0.81-1.00	Erinomainen (engl. almost perfect)

Negatiivinen kappa-arvo viittaa sattumanvaraistakin huonompaan yhtäpitävyyteen. Nolla ilmaisee täysin sattumanvaraista yhtäpitävyyttä, joka voidaan saada aikaiseksi pelkällä sattumalla. Kappa-arvo yli 0.60 ilmaisee hyvää tai erinomaista yhtäpitävyyttä. [41]

Tässä tutkimuksessa kappa-arvot lasketaan NP-mittausmenetelmän testaustapahtumaan osallistuvien arvioijien NP-arvosanoista. Testaustapahtuman poikkeuksena on, että oikeat NP-arvosanat tiedetään, joten arvioijien antamia NP-arvosanoja verrataan myös oikeaksi tiedettyihin NP-arvosanoihin. Tilanteessa, jossa oikeita NP-arvosanoja ei tiedetä, arvioijien NP-arvosanojen oikeellisuus perustuu arvioijien yksimielisyyteen.

Kahden muuttujan suhdetta ja riippuvuutta kuvataan tässä tutkimuksessa Pearsonin korrelaatiokertoimella. Se on vähintään kahden intervalliasteikollisen muuttujan keskinäisen lineaarisen riippuvuuden voimakkuutta kuvaava tilastollinen tunnusluku. Jos korrelaatio on voimakasta, niin toisen muuttujan arvoista voidaan täsmällisesti päätellä toisen muuttujan arvot. Jos korrelaatio on heikko, niin muuttujien välillä ei ole yhteisvaihtelua. Tässä tutkimuksessa korrelaatiota lasketaan oikeille NP-arvosanoille ja testaustapahtumassa arvioijien antamille NP-arvosanoille. Korrelaation laskemiseksi määritetään ensin muuttujien kovarianssi. Sen avulla voidaan kuvata kahden muuttujan välisen suoraviivaisen riippuvuuden voimakkuutta. [43] Kovarianssin laskemisen kaava on esitetty kuvassa 5.

$$\text{kovarianssi}_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

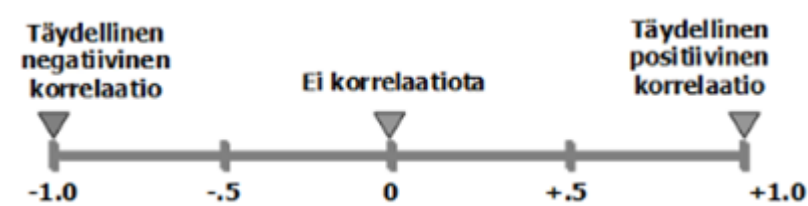
Kuva 5. Kahden muuttujan (x, y) välinen riippuvuden voimakkuus [44].

Kuvan 5 osoittajassa lasketaan x:n ja y:n arvojen poikkeamia keskiarvostaan kertomalla poikkeamat keskenään ja laskemalla tulot yhteen. Lopuksi keskimääräisen poikkeamien tulo jaetaan arvolla n-1, jossa n kuvaa otoskokoa. Tuloksena saadaan keskimääräinen poikkeamien tulo eli kovarianssi. Pearsonin korrelaatiokerroin (r) lasketaan jakamalla kovarianssi keskihajontojen tulolla. [45] Kaava Pearsonin korrelaatiokertoimen laskemiseksi on esitetty kuvassa 6.

$$r_{xy} = \frac{\text{kovarianssi}_{xy}}{s_x s_y}$$

Kuva 6. Pearsonin korrelaatiokerroin [44].

Pearsonin korrelaatiokerroin mittaa kahden muuttujan korrelaatiota välillä -1 - 1. "-1" kuvaa pistekuvion pisteiden sijaitsevan hajontakuviossa laskevalla suoralla ja "1" kuvaa pisteiden asettuvan nousevalle suoralle. Kun kaikki pisteet ovat suoralla, niin riippuvuus on täydellistä. Korrelaatiokertoimen ollessa "0" ei muuttujien välillä ole lineaarista riippuvuutta. [43] Kuvan 7 mukaisesti korrelaation etumerkki kuvaa onko riippuvuus negatiivista vai positiivista.



Kuva 7. Pearsonin korrelaatiokertoimen arvoväli [44].

Operaatiotutkimus on kokonaisuuden hahmottamisen ja päätöksenteon tukemisen tieteenala, jossa hyödynnetään tieteellisiä menetelmiä. Operaatioanalyysi on operaatiotutkimuksen soveltamista sotilasympäristössä. Operaatioanalyysin tavoitteena on edistää parempaa päätöksentekoa tuottamalla päätöksentekijöille kvantitatiivisia perusteita. Operaatioanalyysi hyödyntää matemaattisia menetelmiä ongelmien mallintamisen ja analysoinnin apuvälineenä. [46][47][48][49][50]

Tässä tutkimuksessa käytetään operaatiotutkimuksen menetelmistä mallinnusta ja simulointia. Mallintaminen on kokonaisuuden hahmottamisen työkalu. Tutkittava ilmiö mallinnetaan ensin sopivalla tarkkuudella, jonka jälkeen malli testataan simulaatiolla. [51] Pelkistettynä simuloinnilla tarkoitetaan todellisuuden jäljittelemistä [46]. Koulutussimulaattorit ovat simuloinnin alaluokka ja niiden käytön tarkoituksena on harjoittaa käyttäjiä tekemään parempia päätöksiä. Koulutussimulaattoreilla voi testata uusia konsepteja ja systeemejä sekä kerätä tietoa. [52] Tietokoneavusteisten simulaatioiden avulla voidaan laskea koehenkilöiden päätösten mukaisien toimien vaikutusta ja tuottaa siihen hallitusti satunnaisuutta [48][51].

Tässä tutkimuksessa simulaatiot toteutetaan V-simulaatioilla. Simulaatiot toteutetaan BOR:n (Behavioural Operational Research) näkökulmasta. Tämä tarkoittaa operaatioanalyysissä ihmisten toiminnan ja inhimillisten tekijöiden huomiointia. BOR:n tarkoituksena on lisätä käsitystä inhimillisten käyttäytymistekijöiden vaikutuksesta ongelmanratkaisussa ja päätöksenteossa hyödynnettäviin malleihin ja simulaatioihin. [53]

Ilmataisteluympäristössä simulaattori on laite, jolla mallinnetaan ilmataistelua monitahoisena ilmiönä. Harjoittelutarkoituksessa simulaattorilla jäljitellään erilaisia toimintaympäristöjä ja mallinnetaan ohjaajille erilaisia lentotehtäviä. Harjoitustoiminnan tarkoituksena on lisätä ymmärrystä erilaisista ilmiöistä, erilaisten systeemien toiminnasta ja harjoituttaa ohjaajien päätöksentekoa. [52] Tämän tutkimuksen luvussa 4 esitetyssä testaustapahtumassa käytetään kahden erilaista koulutussimulaattoria.

WTSAT (weapons tactics and situational awareness trainer) on Boeing Companyn valmistama F/A-18 virtuaalisimulaattori, jota käytetään Hornet-ohjaajien kouluttamiseen. Ohjaamo on tehty vastaamaan lentokoneen ohjaamoja ulkonäöltään ja mittasuhteiltaan. Tärkeimpien lentokonejärjestelmien käyttö- ja näyttölaitteet on mallinnettu ohjaamoon ja ohjaustuntuma on kehitetty vastaamaan oikean lentokoneen lentotuntumaa. Simulaattorin visuaalijärjestelmä ja uhkageneraattori tuottavat nykyaikaisen ja tarkan kopion ulkoisesta maailmasta maastoiheen ja maalimalleineen. Visuaalikuvan näyttöalueen laajuus on sivusuunnassa 216 astetta ja korkeussuunnassa 141,5 astetta. Simulaattoriin kuuluu myös opettajan työasema, josta voi hallinnoida yksittäistä simulaattoria, verkotettua harjoitusta ja maalien toimintaa. [54] Kuvassa 8 on WTSAT-simulaattori ja opettajan työasema.



Kuva 8. WTSAT ja opettajan työasema.

DTT (deployable tactics trainer) on Boeing Companyn valmistama F/A-18 virtuaalisimulaattori, joka on tarkoitettu avustamaan verkotettua lentokoulutusta. Simulaattorissa on mallinnettu ainoastaan sellaiset tekijät, joilla on merkitystä taktisessa lentokoulutuksessa. DTT:n ohjelmisto ja toiminnallisuudet ovat kuitenkin samanlaiset WTSAT:n kanssa. DTT:n ohjaamon muodostaa sauva, kaasuvivut, polkimet ja kaksi LCD-näyttöä. Alempi LCD-näyttö on kosketusnäyttö, jossa esitetään lentämisen kannalta tärkeimmät näytöt. DTT:ssä voidaan myös käyttää virtuaalilaseja, jotka mahdollistavat 360 asteisen visuaalinäytön. DTT on kuvassa 9. [54]



Kuva 9. DTT.

MACE (modern air combat environment) on Battlespace Simulations Inc. -yhtiön kehittämä konstruktiivinen simulaatio- ja uhkaympäristö. MACE:en voidaan joustavasti luoda erilaisia uhkia ja sitä voidaan käyttää virtuaalisimulaattoreiden uhkageneraattorina. MACE sisältää sekä lentävien, että maahan sijoitettujen järjestelmien simuloinnin. Tässä tutkimuksessa virtuaalisimulaattoreiden uhkaympäristö luodaan MACE:lla. MACE sopii yksittäisten skenaarioiden luomiseen, mutta myös monimutkaisten ilmataisteluiden simulointiin. [55] Simulaattoreihin on yhdistetty myös DBS (debrief station), jonka avulla simulaattoreilla lennetyt lennot pystytään käymään läpi erillisessä tilassa ja erillisiltä näytöiltä [54].

1.6. Käsitteet ja määritelmät

BVR-ILMATAISTELU

BVR-ilmataistelussa oma hävittäjäparvi pyrkii havaitsemaan ja tunnistamaan vihollisen lentokoneet sekä ampumaan ne tutkahakuisella ilmataisteluohjuksella pysyen näköetäisyyden ulkopuolella [6][7]. Yhdellä BVR-ilmataistelulennolla voi olla useampi BVR-ilmataistelu.

Tyypillisesti BVR-ilmataistelussa hävittäjäparven ensisijaisena tavoitteena on pyrkiä saavuttamaan mahdollisimman suuri tuhoamistodennäköisyys (probability of kill, P_k) ja selviytymistodennäköisyys (probability of survival, P_s) [5]. P_k kuvaa todennäköisyyksien yhdistelmää, jolla ammuttu ohjus osuu maaliin. Siihen vaikuttavat muun muassa ohjuksen ohjautumisen todennäköisyys ja ohjuksen lähisytyttimen toiminnan todennäköisyys. P_s kuvaa hävittäjän ja ohjaajan kykyä selviytyä ilmataistelussa siten, että oma kone ei tuhoudu. TTP:n kehittämisen perusajatus on hävittäjäparven P_k :n ja P_s :n maksimoiminen. [11]

HÄVITTÄJÄPARVI

Yleensä hävittäjäparvi koostuu neljästä koneesta, jotka muodostavat kaksi paria. Molemmissa pareissa on johtaja ja siipimies. Parveen kuuluu parvenjohtaja, siipimies, parinjohtaja ja toinen siipimies. Parvenjohtajasta käytetään yleensä lyhennettä #1, parvenjohtajan siipimiehestä #2, parinjohtajasta #3 ja parinjohtajan siipimiehestä #4. BVR-ilmataistelussa hävittäjäparvi kommunikoi taistelunjohtajan kanssa. Kaksisuuntaisessa kommunikaatiossa taistelunjohtaja ja parvenjohtaja koordinoivat hävittäjäparven lentotehtävän suorittamista. Taistelunjohtaja antaa käskyjä ja suosituksia parvenjohtajalle. Parvenjohtaja antaa käskyt omalle siipimiehelle sekä parinjohtajalle. Parinjohtaja antaa käskyt omalle siipimiehelle. [5][6] Tässä tutkimuksessa hävittäjäparvesta käytetään myös nimitystä parvi.

LIVE - VIRTUAL - CONSTRUCTIVE -SIMULAATIOT

Live (L)-simulaatiossa oikeat ihmiset operoivat oikeita järjestelmiä todellisessa ympäristössä. Esimerkki L-simulaatiosta on tilanne, jossa koulutettu ohjaaja lentää F/A-18:sta. Virtual (V)-simulaatioissa oikeat ihmiset operoivat simuloituja järjestelmiä simuloidussa ympäristössä, jossa on konstruktivisia elementtejä. On myös mahdollista, että V-simulaatiossa simuloidut ihmiset operoivat todellisia järjestelmiä. Constructive (C)-simulaatiossa simuloidut ihmiset operoivat simuloituja järjestelmiä simuloidussa ympäristössä. Hävittäjäparven suorituskyky-mittaristoa käytetään ainoastaan L- ja V-simulaatioissa, joissa järjestelmiä operoi oikea ihminen. [12]

LVC-simulaatio sisältää ihmisiä, todellisia ja simuloituja järjestelmiä, jotka ovat verkottuneita keskenään luoden simuloidun toimintaympäristön [11]. L-V-C on yhdistelmä eri simulaatioita, joita käytetään iteratiivisesti ja vaiheittain [10].

OHJAAJA

Ohjaaja on sotilaslentäjätutkinnon suorittanut lentäjä. Koulutettu lentäjä voi toimia saamansa lentotehtävän suorittamiseksi ilma-aluksen päällikkönä. Sotilasilma-aluksen päällikkönä voi toimia ohjaaja, jolla on ilma-aluksen tyyppikelpuus sekä lentotehtävän vaatima lentotutkintoma ja -koulutus. Ilma-aluksen päällikkö vastaa lentotehtävän valmistelusta, lennon suorittamisesta ja lennon raportoinnista. [56] Puhkielessä ja tässä tutkimuksessa ohjaajasta käytetään myös nimitystä lentäjä.

TIIMI

Tiimi on vähintään kahden ihmisen ryhmä, joilla on toisiaan täydentäviä taitoja. Tiimi on sitoutunut yhteiseen päämäärään, tavoitteisiin ja toimintamalliin. Tiimi toimii yhdessä tuottaakseen tuotteita tai palveluita ja pitää itseään yhteisvastuullisena suorituksistaan. Tiimin tehokkuus on kyky, jolla tiimi suorittaa käsketyt tehtävät. Tiimin jäsenet ovat riippuvaisia toisistaan pyrkimyksessään saavuttaa yhteinen tavoite tai saada käsketty tehtävä suoritetuksi. [57] Tässä tutkimuksessa tiimiksi kutsutaan parvea, joka sisältää neljä ohjaajaa.

Hävittäjäparven toiminta ilmataistelussa voidaan jakaa tehtävätyöhön ja tiimityöhön. Tehtävätyö kuvaa toimia, joita parven jäsenet suorittavat tehtävän toteuttamiseksi. Tehtävätyö vaatii ymmärrystä tilanteesta ja muiden parven jäsenten tehtävistä. Tehtävätyöhön kuuluu muun muassa TSA:n muodostaminen ja ylläpito, päämäärien ja tavoitteiden asettaminen, kommunikointi sekä tiimin jäsenten MWL:n hallinta päätöksenteon ja tehtävien toteuttamisen tukena. [13][14]

Tehtävätyön ohella hävittäjäparvi tarvitsee myös tiimityötä. Siinä missä tehtävätyö kuvaa mitä tiimi tekee, niin tiimityö kuvaa miten tiimi toimii. [15] Tiimityö vaatii toisten parven jäsenten tuntemista ja parven jäseniin luottamista. Tiimityöhön kuuluu muun muassa tiimin jäsenten ja tiimin yhteisen SA:n muodostaminen ja ylläpito koskien tiimin sisäisiä toimintatapoja sekä toisten tiimin jäsenten ominaisuuksia. [13][16]

TTP (tactics, techniques and procedures)

TTP:t ovat ennalta määritettyjä ilmataistelussa käytettäviä taktiikoita, tekniikoita ja menetelmiä. TTP:itä kehitetään jatkuvasti, johtuen muun muassa uhkan sodankäyntikyvyn kehitymisestä sekä omien järjestelmien päivittymisestä. [9] TTP sisältää sarjan TTP-sääntöjä ja sääntöjen arvoja, joiden avulla hävittäjäparvi koordinoi toimintaansa [10][11]. TTP:t muodostuvat joukosta kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia TTP-sääntöjä [12]. Kvantitatiiviset TTP-säännöt sisältävät muuttujan ja sen arvon. Kvalitatiiviset TTP-säännöt ovat sanallisia, eikä sisällä muuttujaa tai arvoa. [10]

Ilmataistelun aikana hävittäjäparvi havainnoi toimintaympäristöä ja tunnistaa potentiaalisia TTP:itä, jotka mahdollistaisivat halutun lopputuloksen. Valittua TTP:tä toteuttaessaan hävittäjäparvi arvioi jatkuvasti, onko valittu TTP tilanteen kannalta sopiva. Kun TTP on toteutettu, niin hävittäjäparvi aloittaa uudestaan TTP:iden tunnistamisen ja TTP:n valinnan. Hävittäjäparven kannalta ilmataistelu on jatkuvaa TTP:n valintaa, toteuttamista ja sen arviointia. Jos hävittäjäparvi noudattaa ennalta määrättyä TTP:tä, parven jäsenet kykenevät ennakoimaan toistensa käyttäytymistä. [12]

NORMATIIVINEN SUORITUSKYKY (NP)

Sana normatiivinen tarkoittaa ohjeellista tai toimintaohjeen antavaa. Normatiivinen määrittelee miten jokin asia tulisi tehdä. [18] NP kuvaa ideaalisten ja todellisten ihmisten päätösten eroa. Ideaaliset ihmiset tekevät täydellisiä, tiettyjen päätöksentekoon liittyvien oletuksien mukaisia päätöksiä, kun taas todelliset ihmiset eivät. Mitä lähempänä todellisten ihmisten päätökset ovat ideaalisten ihmisten päätöksiä, sitä parempi NP todellisilla ihmisillä on. [12] Tässä tutkimuksessa ja ilmataistelussa NP kuvaa miten tarkkaan hävittäjäparven jäsenet noudattavat käskettyjä TTP:itä. NP-mittari on viisiosaisen hävittäjäparven tehtävityön suorituskykymittariston yksi mittari [10].

NP-ELEMENTTI

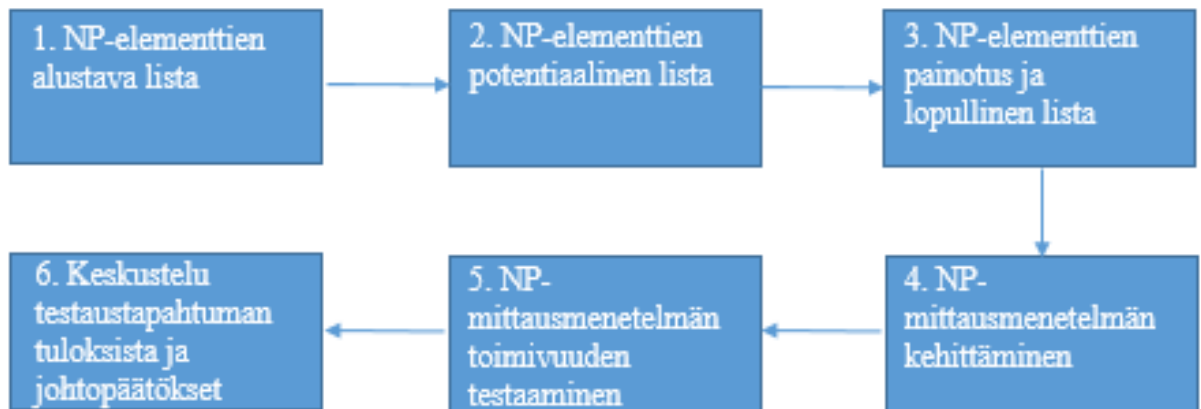
BVR-ilmataistelu muodostuu elementeistä, jotka liittyvät ilmataistelun osapuoliin ja niiden toimintoihin. Elementeistä käytetään nimitystä NP-elementti. Hävittäjäparven NP mitataan arvioimalla parven jäsenten NP-elementteihin liittyvien TTP-sääntöjen ja sääntöjen arvojen noudattamista. Tässä tutkimuksessa kartoitetaan hävittäjäparven kannalta keskeiset ilmataistelun NP-elementit.

NP-MITTAUSMENETELMÄ

NP-mittausmenetelmään kuuluu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementit, niihin liittyvä arviointiasteikko ja NP:n mittaaminen. NP-mittausmenetelmä on oleellinen osa hävittäjäparven suorituskykymittaristoa. NP-mittausmenetelmän avulla voidaan todentaa, onko hävittäjäparvi noudattanut käskettyjä TTP:itä. Ilman mittausmenetelmää TTP:n hyvyttä saatetaan analysoida väärin perustein ja siitä voitaisiin tehdä väärä johtopäätöksiä. Ilmavoimissa NP-mittausmenetelmää voidaan käyttää joukkojen, sotavarusteiden ja TTP:iden vertailuun ja kehittämiseen L- ja V- simulaatioissa. [10]

1.7. Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksen toteutus voidaan jakaa kuuteen vaiheeseen. Tutkimuksen tavoitteena on kehittää NP-mittausmenetelmä ja todentaa testaustapahtumassa NP-mittausmenetelmän toimivuus. Kuvassa 10 on esitetty tutkimuksen toteutuksen vaiheet.



Kuva 10. Tutkimuksen toteutuksen vaiheet.

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa hävittäjäparven BVR-ilmataistelun NP-elementtejä kartoitetaan kirjallisuudesta ja luodaan NP-elementtien alustava lista. Alustavan listan NP-elementit yhdistetään ja pelkistetään. Toisessa vaiheessa asiantuntijaryhmän avulla alustavasta listasta muodostetaan NP-elementtien potentiaalinen lista. Vaiheessa 3 ohjaajaryhmälle teetetään kysely, jossa NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementit painotetaan niiden tärkeyden mukaan BVR-ilmataistelussa. Sen jälkeen muodostetaan NP-elementtien lopullinen lista. Nämä tutkimuksen vaiheet kuvataan luvussa 2. NP-elementtien lopullinen lista esitellään luvussa 3.

Vaiheessa 4 kehitetään NP:n mittaamisen perusteet, johon kuuluu arviointiasteikko sekä ohjeet NP:n mittaamisesta ja tulosten analysoinnista. Nämä tutkimuksen vaiheet kuvataan luvussa 3. Vaiheessa 5 toteutetaan testaustapahtuma, jossa todennetaan NP-mittausmenetelmän toimivuutta. Testaustapahtumassa lennetään ensin parven V-simulaatiolento ja sen jälkeen lentotallenteilta ja lennon rekonstruktioista arvioidaan yhden parven jäsenen NP. Nämä tutkimuksen vaiheet ja testaustapahtuman tulokset kuvataan luvussa 4. Vaiheessa 6 keskustellaan testaustapahtuman tuloksista ja NP-mittausmenetelmän toimivuudesta. Tämän lisäksi käsitellään myös NP-mittausmenetelmän soveltamista koulutuksessa ja TTP:n kehittämisessä sekä arvioidaan testaustapahtuman tulosten luotettavuutta. Nämä tutkimuksen vaiheet kuvataan luvussa 5. Lopuksi kirjoitetaan tutkimuksen johtopäätökset. Nämä kuvataan luvussa 6.

2. BVR-ILMATAISTELUN NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN ELEMENTIT

Tässä luvussa esitellään parven toiminnan kannalta keskeisten NP-elementtien valinta. Työn vaiheisiin kuuluu NP-elementtien kartoittaminen kirjallisuudesta, NP-elementtien alustava listan muodostaminen, NP-elementtien potentiaalisen listan muodostaminen, NP-elementtien painottaminen ja lopulta keskeisten NP-elementtien valinta lopulliseen listaan. Luvussa 2 vastataan tutkimuksen ensimmäiseen alakysymykseen, eli "mistä NP-elementeistä BVR-ilmataistelu koostuu ja mitkä niistä ovat hävittäjäparven kannalta keskeisimmät?".

2.1. NP-elementtien alustava lista

NP-elementtien kartoittamiseksi ja NP-elementtien alustavan listan muodostamiseksi toteutettiin kirjallisuuskatsaus koskien ilmataistelua, ohjajan suorituskykyä ja suorituskyvyn mittaamista. Kirjallisuuskatsaukseen sisällytettiin yhteensä 43 julkista tutkimusraporttia, taktista ohjetta ja vertaisarvioitua artikkelia. Kirjallisuuskatsauksessa käytetyt hakusivustot ja -portaalit, sekä alustavan NP-elementtien listan muodostamisessa käytetyt lähteet on esitelty alaluvussa 1.4. Lähteistä listattiin kaikki BVR-ilmataisteluun liittyvät NP-elementit.

Taulukossa 2 on esitetty kirjallisuuskatsauksen avulla löydetty 131 NP-elementtiä. NP-elementit suomennetaan ja määritellään jäljempänä. NP-elementit on järjestetty kill chain:n vaiheisiin liittyviin elementteihin ja kill chain:n vaiheisiin kuulumattomiin elementteihin, jotka kuitenkin vaikuttavat kill chain:n vaiheisiin välillisesti.

Taulukko 2. Kirjallisuuskatsauksen avulla löydetty NP-elementit. NP-elementit suomennetaan ja määritellään jäljempänä.

Find, fix, track, target (F2T2) vaiheisiin liittyvät NP-elementit	Engage, assess (EA) vaiheisiin liittyvät NP-elementit	Kill chain:iin kuulumattomat NP-elementit
multibogey employment [58]	missile employment [58]	chaff / flare employment [58]
BVR employment [58]	weapon employment [59]	all aspect defense [58]
radar lookout [58]	weapons employment [30]	tactical EW system assessment [58]
radar sorting [58]	clear avenue of fire [30]	reaction to air interceptors [58]
electronic ID [58]	judgment [30]	reaction to SAMs [58]

fulfill targeting responsibility [59]	weapons employment [4]	intraflight communication [58]
check targeting criteria [59]	engage criteria [60]	dissimilar air combat tactics [58]
apply ROE matrix [59]	assessment [60]	tactical intercept [58]
fulfill sorting responsibility [59]	weapons employment [62]	tactical formation [58]
target [59]	weapon selection and release [62]	electronic combat [58]
localize threats [59]	assess [63]	egress tactics [58]
identify target [59]	weapons employment [65]	low altitude tactics [58]
radar mechanics [30]		separation [58]
range control [30]		mutual support [58]
azimuth control [30]		employment of effective formations to counter EW [58]
utilizing correct mode [30]		all-aspect tactics [58]
tactical intercept [30]		all-aspect maneuvers [58]
detection [30]		all-aspect (counter-) countermeasures [58]
targeting [30]		execute flow plan [59]
sorting [30]		assessment on the merge (VID) [59]
ROE adherence [30]		assess threat [59]
ID adherence [30]		assess own status [59]
Engagement decision [4]		deploy self protecting means [59]
radar operations [4]		energy management [59]
commit criteria [60]		maneuvering [59]
ROE [60]		monitoring systems [59]
sorts targets [60]		abort criteria [59]
radar mechanization [60]		execute defensive reaction plan [59]
builds picture [60]		assess battle damage [59]
radar mechanization [61]		formation flying [59]
target/sort [61]		formation [30]

search targets [62]		intercept geometry [30]
detect targets [62]		low altitude intercepts [30]
localize targets [62]		chaff, flares [30]
identification [62]		communications [30]
targeting [62]		radio discipline [30]
detection [63]		GCI Interface [30]
positive identification [63]		spike awareness [30]
focus sensors to obtain target location and other information [63]		E-, F-, & N-Pole [30]
satisfy ROE [63]		egress - separation [30]
obtain and maintain track [63]		post merge maneuvering [30]
operate onboard sensors [6]		mutual support [30]
radar mechanization [65]		visual lookout [30]
sensor management [65]		fuel management [30]
		flight discipline [30]
		situation awareness [30]
		gameplan [4]
		communication [4]
		comm standards [60]
		formation [60]
		reforms [60]
		intercept geometry [60]
		time restrictions [60]
		mutual support [61]
		work with AWACS [61]
		share information [62]
		monitor the ownship energy state [62]
		team co-ordination [62]
		manage offensive and defensive weapons engagement zones (WEZ) properly [64]

		amount of time spent in adversary's engagement zone [64]
		control intercept geometry [2]
		react to electronic countermeasures [6]
		integrate onboard data [6]
		communicate [6]
		fly formation [6]
		fly offensive profile [6]
		RWR interpretation [6]
		fly defensive profile [6]
		tactical comm [65]
		visual lookout [65]
		ingress [65]
		egress [65]
		offensive maneuvering [65]
		defensive maneuvering [65]
		C2 integration [65]

Alustavan NP-elementtien listan muodostamiseksi taulukon 2 NP-elementeistä samankaltaiset yhdistettiin. Samankaltaisuus tarkoittaa sitä, että elementit ovat joko täysin samoja tai kuuluvat toimintoina saman NP-elementin alle. Tämän jälkeen alustavaan listaan valittiin ainoastaan ne NP-elementit, jotka kuuluvat A/A BVR-ilmataisteluun sekä puolustukselliseen vastailmatoimintaan. NP-elementit muotoiltiin sellaisiksi, että ne selkeästi kuvaavat BVR-ilmataistelun osapuolten toimintoja. Karsinnan ja yhdistelyn jälkeen jäljelle jääneistä 21 NP-elementistä muodostettiin NP-elementtien alustava lista. Alla olevassa luettelossa on NP-elementtien alustavan listan NP-elementit suomennoksineen ja määritelmineen.

1. Weapon selection (suom. aseiden valinta)

Nykyaikaisessa hävittäjässä on ohjaajalla yleensä käytössään A/A-ilmataisteluun erilaisia aseita mukaan lukien tykki, infrapunaohjus ja tutkaohjus. Ohjaajan tulee valita tilanteeseen sopiva ase ennen ammuntaa.

2. Weapon launch (suom. ammunta)

BVR-ilmataistelussa hävittäjäparvi vaikuttaa maaliin ampumalla ohjuksen. Ammuntaan liittyy parametreja, jotka tulee tarkistaa ennen laukaisua. Esimerkiksi valitun aseiden hyväksytyt ampuma-alue käsittää joukon ammuntaan vaikuttavia parametreja, kuten ammutakulman ja ammuntaetäisyyden. Ammutakorkeus on myös yksi keskeinen ammuntaan liittyvä parametri. Ohjus pyritään ampumaan myös mahdollisimman korkealta, koska tällöin ohjuksen kantama on mahdollisimman suuri.

3. Weapon support (suom. ohjuksen päivittäminen)

Ammunnan jälkeen ohjuksen ohjautumistodennäköisyyttä pyritään parantamaan päivittämällä ohjukselle maalin paikkatietoa datalinkin välityksellä. Maalin paikkatiedon päivittäminen lopetetaan, kun ohjuksen kyky itsenäiseen hakeutumiseen on päivittämisen avulla saatu riittäväksi.

4. Radar and other sensors mechanization during search (suom. tutkan ja muiden sensoreiden käyttö etsinnän aikana)

BVR-ilmataistelussa hävittäjäparven ensimmäinen tehtävä on saada havainto maalista. Hävittäjäparvi ei voi hyökätä tai puolustautua viholliselta, josta sillä ei ole havaintoa. BVR-ilmataistelussa etsintä suoritetaan pääasiallisesti tutkan avulla. Etsintään hävittäjäparvi hyödyntää taistelunjohtajan antamia tietoja sekä muita koneen sensoreita. Etsintä on kill chain:n ensimmäinen vaihe.

5. Radar and other sensors mechanization during track (suom. tutkan ja muiden sensoreiden käyttö seurannan aikana)

BVR-ilmataistelussa seurannan avulla pyritään maalista saamaan mahdollisimman tarkat tiedot ammuntaa varten. Seuranta on kill chain:n kolmas vaihe.

6. Radar and other sensors mechanization during target (suom. tutkan ja muiden sensoreiden käyttö targetoinnin aikana)

BVR-ilmataistelussa hävittäjäparvi jakaa maalit keskenään. Jaon tarkoituksena on valita, kuka hävittäjäparven jäsenistä hyökkää mihinkin maaliin. Jaon jälkeen parven jäsenet targetoituvat sovittuihin maaleihin. Targetointi on prosessi, jossa valitaan ja priorisoidaan maalit, sekä päätetään miten niihin vaikutetaan. Targetointi vaatii ohjaajalta tutkan ja muiden sensoreiden käyttöä. Targetointi on kill chain:n neljäs vaihe.

7. Radar and other sensors mechanization during assess (suom. tutkan ja muiden sensoreiden käyttö arvioinnin aikana)

Ammunnan jälkeen ohjuksen ohjautumistodennäköisyyttä pyritään parantamaan päivittämällä ohjukselle maalin paikkatietoa datalinkin välityksellä. Maalin paikkatiedon päivittäminen lopetetaan, kun ohjuksen kyky itsenäiseen hakeutumiseen on päivittämisen avulla saatu riittäväksi. Päivittämisen aikana ja sen jälkeen ohjaaja arvioi ohjuksen ohjautuvuuden todennäköisyyttä ja uudelleen hyökkäyksen tarvetta. Arviointi on kill chain:n kuudes vaihe. Asevaikutuksen arvioiminen ja todentaminen suoritetaan yhteistyössä hävittäjäparven ja taistelunjohtajan kanssa.

8. Electronic protection (suom. elektroninen puolustautuminen)

Elektroninen sodankäynti sisältää kaikki ne toimet, joissa hyödynnetään sähkömagneettista energiaa tai hallitaan sähkömagneettista spektriä. Elektroninen puolustautuminen ja elektroninen hyökkäys muodostavat elektronisen sodankäynnin pääluokat. Elektronisen puolustautumisen keinoilla pyritään estämään vihollisen kill chain tai sen vaihe. Elektroniseen puolustautumiseen voidaan käyttää esimerkiksi omasuojaan tarkoitettua häirintälähetintä, silppua tai soihtuja. Häirintälähettimellä voidaan estää ohjuksen hakeutuminen häiritsemällä joko ampuvan koneen tutkaa tai ohjuksen tutkaa. Silppu on alumiinista heitettä, jolla on itsessään tutkaheijaste. Sen avulla pyritään luomaan harhamaaleja ampuvan koneen tutkaan tai ohjuksen tutkaan. Soihtu on tarkoitettu infrapunaohjusten harhauttamiseen.

9. Electronic attack (suom. elektroninen hyökkääminen)

Elektronisen hyökkäämisen keinoilla pyritään estämään tai lamauttaa vihollisen ilmapuolustuksen osia ja heikentämään kohteen tilannetietoisuutta. Ilmapuolustukseen kuuluun muun muassa ilmavalvonta, ilmatorjunta ja hävittäjätorjunta. Elektroniseen hyökkäykseen voidaan käyttää siihen tarkoitettuja lentokoneita. Esimerkkinä elektroniseen hyökkäykseen erityisesti suunnitellusta konetyypistä on EA-18G ”Growler”, joka sisältävää elektroniseen hyökkäämiseen tarkoitettuja järjestelmiä.

10. Use of tactical radios (suom. taktisten radioiden käyttö)

BVR-ilmataistelussa hävittäjän taktisia radioita käytetään taktiseen kommunikointiin yleensä hävittäjäparven jäsenten välillä, sekä parven ja taistelunjohtajan välillä. Kommunikoinnin tarkoituksena on koordinoida hävittäjäparven toimintaa. Hävittäjässä voi olla useita taktisia radioita. Kommunikoinnissa käytetään taktista fraseologiaa. Fraseologia on taktisessa ohjeistuksessa käsketty joukko sanontoja ja termejä, joiden avulla on mahdollista kommunikoida lyhyesti ja yksiselitteisesti.

11. Use of datalink (suom. datalinkin hyödyntäminen)

Datalinkin avulla hävittäjäparven jäsenet ja taistelunjohtaja vaihtavat digitaalista informaatiota keskenään. Informaatiota tuotetaan muun muassa koneen sensoreilla ja maassa olevilla sensoreilla. Tuotettu informaatio välitetään datalinkin avulla parven jäsenille ja taistelunjohtajalle. BVR-ilmataistelussa datalinkkiä voidaan hyödyntää muun muassa targetoimiseen ja ohjuksen ohjautuvuuden arviointiin.

12. Mutual support management (suom. keskinäisen tuen hallinta)

Keskinäisen tuen hallinta tarkoittaa hävittäjäparven koneiden kykyä suojata toisiaan asevaikutuksilta. Tuki määritetään tyypillisesti hävittäjäparven koneiden välisenä etäisyytenä.

13. Geometry and mission flow management (suom. geometrian hallinta)

BVR-ilmataistelussa ilmatilaa hyödynnetään kolmiulotteisesti. Geometrian hallitsemiseksi käytetään päätöksentekoaikaväilyä ja geometrian ohjeita. Päätöksentekoaikaväilyt määritetään uhkaperusteisesti. Geometrian hallinta käsittää myös hävittäjäparven sisäisen hyökkäysmuodon säilyttämisen.

14. Enemy weapon engagement zone management (suom. vihollisen ampumasektorin hallinta)

Vihollisen ampumasektorin hallinta on kolmiulotteista liikehdintää, jonka avulla pyritään estämään vihollista pääsemästä hyväksytylle ammunta-alueelle. Tehokkain keino hallita vihollisen ampumasektoria on pysyä vihollisen ohjuksen kantaman ulkopuolella.

15. Own weapon engagement zone management (suom. oman ampumasektorin hallinta)

Oman ampumasektorin hallinta on kolmiulotteista liikehdintää, jonka tavoitteena on päästä hyväksytylle ammunta-alueelle.

16. Deconfliction management (suom. yhteentörmäysvaaran välttäminen)

BVR-ilmataistelussa pyritään välttämään omia tappiota. Yhteentörmäys hävittäjäparven koneiden välillä johtaa yleensä kahden koneen menetykseen, tai ainakin niiden tehtävän keskeytymiseen. Yhteentörmäysvaaran välttäminen toteutetaan yleensä korkeusporrastuksella, mutta se voidaan toteuttaa myös sivuttais- tai pitkittäisporrastuksella. Korkeusporrastuksena käytetään yleensä 1000 jalkaa (300m) koneiden välillä. Sivuttaisporrastus on yleensä vähintään 5 merimailia (n.10km). Se voi perustua radiosuunnistuslaitteisiin, datalinkin tuottamaan tietoon tai ohjaajan antamiin ilmoituksiin. Pitkittäisporrastus voi perustua radiosuunnistuslaitteisiin, datalinkin tuottamaan tietoon tai joissain tilanteissa aikaan.

17. Fuel management (suom. polttoaineen kulutuksen hallinta)

Ohjaaja voi hallita polttoaineen kulutusta lentokorkeutta ja nopeutta muuttamalla. Polttoaineen kulutus on kriittinen tekijä nykyaikaisen hävittäjän operoinnissa.

18. SA building (suom. tilannetietoisuuden rakentaminen)

BVR-ilmataistelussa tilannetietoisuus käsittää havainnot ilmataistelun toimijoiden ja elementtien tilasta, ymmärryksen niiden välisistä suhteista, sekä niiden tilojen muutosten ennakkoinnin. Hävittäjäparvi muodostaa tilannetietoisuuden vaihtamalla ja välittämällä informaatiota taktisten radioiden ja datalinkin välityksellä. Tilannetietoisuus on kriittinen elementti hävittäjäparven päätöksenteon kannalta.

19. ID (identification) matrix management (suom. ID (tunnistus) -matriisin hallinta)

Tehdyt havainnot (katso kohta 4: "Radar and other sensors mechanization during search) pitää tunnistaa. Tunnistamisessa havainnoista hankittuja tietoja verrataan ID-matriisiin. ID-matriisissa kerrotaan ehdot, joiden perusteella havainnolle annetaan luokitus. Luokituksen avulla havainnot jaotellaan esimerkiksi neutraaleihin, omiin ja vihollisen lentokoneisiin. Maalin tunnistamiseen käytetään samoja laitteita ja järjestelmiä kuin etsimiseen. Tunnistamiseen voidaan käyttää esimerkiksi omatunnuslaitetta tai alueellista tunnistusta ilmatilan koordinaatikäskyssä (airspace control order, ACO) määritettyjen alueiden perusteella.

20. ROE (rules of engagement) matrix management (suom. ROE (voimankäytön sääntöjen) -matriisin hallinta)

Voimankäytön säännöt määrittävät millaista voimaa saa käyttää ja ketä vastaan. Kun havainnolle on annettu luokitus, niin ROE-matriisi määrittää millaista voimaa sitä vastaan saa käyttää. Esimerkiksi jos maali tunnistetaan viholliseksi, hävittäjäparvi saa aloittaa hyökkäyksen sille annettujen voimankäytön sääntöjen mukaisesti. Yleensä ROE-matriisi kieltää voimankäytön neutraaliksi tunnistettuja havaintoja vastaan.

21. External guidance management (e.g. ATO, ACO, taistelunjohtaja) (suom. ulkoisen ohjauksen hallinta)

Hävittäjäparvi saa ohjausta tehtävien suoritukseen ATO:sta, ACO:sta ja taistelunjohtajalta. ATO:ssa on tehtävän suoritukseen liittyvää ohjausta. ACO:ssa on ohjattu ilmatilan käyttöä kaikkien sitä käyttävien toimijoiden kesken. Lennon aikana tilanteenmukaista ohjausta tulee yleensä taistelunjohtajan kautta.

Alustavan NP-elementtien listan muodostamisen tavoitteena oli valita kirjallisuuskatsauksen avulla löydetystä NP-elementeistä tarkoituksenmukaiset elementit. Käytettävyyden lisäämiseksi NP-elementtejä yhdisteltiin mielekkäiksi kokonaisuuksiksi. Seuraavassa alaluvussa esitetään, miten NP-elementtien alustavasta listasta muodostettiin NP-elementtien potentiaalinen lista.

2.2. NP-elementtien potentiaalinen lista

Alustavan listan 21 NP-elementtiä kirjoitettiin asiantuntijaryhmän toimesta hävittäjäparven toimintaa ja TTP:n noudattamista kuvaaviksi väittämiksi. NP-elementit ryhmiteltiin merkityksiensä mukaan seuraaviin osakokonaisuuksiin: general (yleinen), aircraft maneuver (lentokoneen liikehtely), aircraft systems (lentokoneen järjestelmät), electronic warfare (elektroninen sodankäynti), communications (inter- and intra-flight) (kommunikaatio (lento-osaston ulkoinen ja sisäinen)), find, fix & target (löydä, määritä ja maalinna) ja engage and assess (hyökkää ja arvioi). Osa NP-elementeistä yhdistettiin yhteen väittämään, osa NP-elementeistä hylättiin ja joidenkin NP-elementtien kieliasua muotoiltiin. Jäljelle jääneistä NP-elementeistä muodostettiin 17 väittämän NP-elementtien potentiaalinen lista. Taulukossa 3 esitellään, miten NP-elementtien alustavan listan elementtejä käsiteltiin muodostettaessa NP-elementtien potentiaalista listaa. NP-elementtien potentiaalinen lista on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 3. NP-elementtien potentiaalisen listan muodostaminen.

NP-elementtien alustavan listan NP-elementti	Toimenpide muodostettaessa NP-elementtien potentiaalista listaa
1. Weapon selection	Yhdistetty NP-elementtien alustavan listan elementin numero 2 kanssa, koska ase- valinta on toimenpiteenä pieni ja se tehdään ennen ammuntaa. Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 14.
2. Weapon launch	Yhdistetty NP-elementtien alustavan listan elementin numero 1 kanssa, koska ase- valinta on toimenpiteenä pieni ja se tehdään ennen ammuntaa. Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 14.
3. Weapon support	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 15.
4. Radar and other sensors mechanization during search	Yhdistetty NP-elementtien alustavan listan elementtien numeroiden 18, 19 ja 20 kanssa, koska ne tapahtuvat yleensä peräkkäin ja osin myös samanaikaisesti ja ovat siten osa yhtä NP-elementtiä. Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 12.
5. Radar and other sensors mechanization during track	Jätettiin pois listalta, koska nykyaikaisessa tutkassa kill chain:n vaihe track eli seuranta ei aiheuta ohjaajalle mitään toimenpidettä ja ei tällöin sisällä TTP-sääntöjä tai sääntöjen arvoja.
6. Radar and other sensors mechanization during target	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 13.

7. Radar and other sensors mechanization during assess	Arvioinnissa on kaksi osaa, joista ensimmäisessä ohjaaja ilmoittaa ohjuksen ohjautuvuuden todennäköisyyden omalle hävittäjäparvelleen. Tämän jälkeen hävittäjäparvi ja taistelunjohtaja pyrkii saamaan indikaatioita mahdollisesta osumisesta. Kun osumisen arviointi on saatu suoritettua, niin hävittäjäparvi päättää jatkotoimenpiteistä. Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementit numerot 16 ja 17.
8. Electronic protection	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 9.
9. Electronic attack	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 8.
10. Use of tactical radios	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 10.
11. Use of datalink	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 11.
12. Mutual support management	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 2.
13. Geometry and mission flow management	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 4.
14. Enemy weapon engagement zone management	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 5.
15. Own weapon engagement zone management	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 6.
16. Deconfliction management	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 3.
17. Fuel management	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen

	listan NP-elementti numero 7.
18. SA building	Yhdistetty NP-elementtien alustavan listan elementtien numeroiden 4, 19 ja 20 kanssa, koska ne tapahtuvat yleensä peräkkäin ja osin myös samanaikaisesti ja ovat siten osa yhtä NP-elementtiä. Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 12.
19. ID matrix management	Yhdistetty NP-elementtien alustavan listan elementtien numeroiden 4, 18 ja 20 kanssa, koska ne tapahtuvat yleensä peräkkäin ja osin myös samanaikaisesti ja ovat siten osa yhtä NP-elementtiä. Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 12.
20. ROE matrix management	Yhdistetty NP-elementtien alustavan listan elementtien numeroiden 4, 18 ja 19 kanssa, koska ne tapahtuvat yleensä peräkkäin ja osin myös samanaikaisesti ja ovat siten osa yhtä NP-elementtiä. Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 12.
21. External guidance management	Muodostettu NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti numero 1.

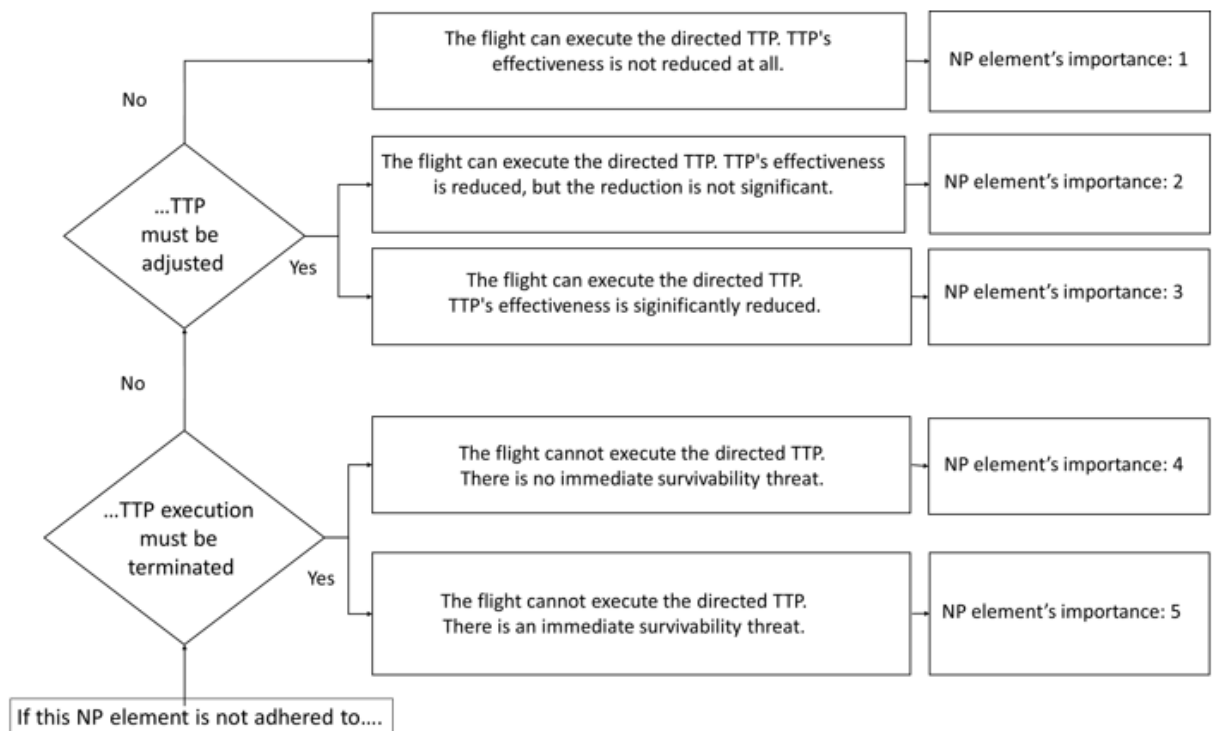
Taulukko 4. NP-elementtien potentiaalinen lista.

ID	NP element
	GENERAL
NP1	Flight members comply with any external guidance (e.g. ATO, ACO, GCI, MC) that restricted or guided TTP execution.
	AIRCRAFT MANEUVER
NP2	Flight members maintain mutual support as directed by TTP.
NP3	Flight members maintain deconfliction and comply with the deconfliction procedures as directed by TTP.
NP4	Flight members follow the intercept geometry and mission flow as directed by TTP.
NP5	Flight members manage the enemy weapon engagement zones (e.g., stiff arming, defensive maneuvers, speed, aspect) as directed by TTP
NP6	Flight members manage their own weapon engagement zones (e.g. altitude, range, speed, aspect) as directed by TTP.
	AIRCRAFT SYSTEMS
NP7	Flight members manage their fuel as directed by TTP.
	ELECTRONIC WARFARE
NP8	Flight members conduct electronic attack as directed by TTP.
NP9	Flight members conduct electronic protection (e.g. chaff, flare and self-protection jamming) as directed by TTP.
	COMMUNICATIONS (inter- and intra-flight)
NP10	Flight members use tactical radios and brevity as directed by TTP.
NP11	Flight members use datalink as directed by TTP.
	FIND, FIX & TARGET
NP12	Flight members comply with their search, ID, ROE and SA building responsibilities as directed by TTP.
NP13	Flight members comply with their targeting and sorting responsibilities as directed by TTP.
	ENGAGE & ASSESS
NP14	Flight members employ weapons as directed by TTP (e.g., launch range, weapon type, shot doctrine).
NP15	Prior TTG=0, flight members conduct weapon support (e.g. DL support, snip timing,) as directed by TTP.
NP16	Prior TTG=0, flight members assess weapon Pk (e.g. trashed evaluation) as directed by TTP.
NP17	At or after TTG=0, the flight members assess weapon effect and make follow-on flow decisions / recommendations as directed by TTP.

NP-elementtien potentiaalista listaa jatkokäsiteltiin NP-elementtien lopullisen listan muodostamiseksi. Seuraavassa alaluvussa esitellään NP-elementtien lopullisen listan NP-elementtien valinta, sekä toimenpiteet joiden avulla lista muodostettiin.

2.3. NP-elementtien lopullisen listan muodostaminen

NP-elementtien lopullisen listan muodostamiseksi NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementit painotettiin niiden tärkeyden mukaan. NP-elementtien tärkeyttä määritettäessä arviointiin, millainen vaikutus niiden noudattamattomuudella on hävittäjäparven TTP:n toteutuksella ja parven tehokkuudelle tyypillisellä BVR-ilmataistelulennolla. Hävittäjäparven tehokkuus kuvasi parven kykyä tuottaa viholliselle tappioita ilman omia tappioita. Kullekin NP-elementille annettiin painoarvo väliltä 1-5 siten, että 1 kuvasi pientä tärkeyttä ja 5 kuvaa suurta tärkeyttä. Painoarvot kerättiin 20 koulutetulta hävittäjäohjaajalta. Painottamisen tueksi ohjaajille annettiin verbaalinen kuvaus mahdollisista noudattamattomuuden seurauksista ja kutakin seurausta vastaava painoarvo. Kuvaukset ja niitä vastaavat painoarvot rakennettiin hierarkkisen päätöspuun muotoon mukailien Cooper-Harperin asteikkoa. [66][67] Päätöspuu on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. NP-elementtien painottamisen tukena käytetty hierarkkinen päätöspuu.

Painoarvoja annettaessa ohjaajat arvioivat ensin pitääkö TTP:n toteuttaminen keskeyttää, jos kutakin NP-elementtiä ohjaavaa TTP:tä ei noudateta. Mikäli noudattamattomuus aiheuttaa TTP:n toteuttamisen keskeyttämisen, ohjaajat arvioivat muodostuuko TTP:n noudattamattomuudesta välitön riski selviytymiselle. Jos TTP:n noudattamattomuudesta aiheutui välitön selviytymisriski, NP-elementti sai painoarvon 5. Jos sen sijaan TTP:n noudattamattomuudesta aiheutui TTP:n toteuttamisen keskeytyminen, mutta ei välitöntä selviytymisriskiä, NP-elementti sai painoarvon 4. Mikäli TTP:n noudattamattomuus ei aiheuttanut TTP:n toteuttamisen keskeyttämistä, ohjaajien tehtävänä oli arvioida, muodostuuko noudattamattomuudesta tarve muokata TTP:tä. Jos tarve muodostuu ja samalla hävittäjäparven tehokkuus merkittävästi heikkenee, sai NP-elementti painoarvon 3. Mikäli tarve TTP:n muokkaamiselle ei merkittävästi heikentänyt hävittäjäparven tehokkuutta, NP-elementti sai painoarvon 2. Jos TTP:n noudattamattomuus ei vaikuttanut TTP:n toteutukseen tai hävittäjäparven tehokkuuteen, sai kyseinen NP-elementti arvon 1. Ohjaajien antamien painoarvojen perusteella kullekin NP-elementille laskettiin painoarvojen keskiarvo. NP-elementtien painoarvojen keskiarvot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. NP-elementtien painoarvojen keskiarvot.

	NP element	Importance in a typical BVR mission
NP1	Flight members comply with any external guidance (e.g. ATO, ACO, GCI, MC) that restricted or guided TTP execution.	2,85
	AIRCRAFT MANEUVER	
NP2	Flight members maintain mutual support as directed by TTP.	2,7
NP3	Flight members maintain deconfliction and comply with the deconfliction procedures as directed by TTP.	3,45
NP4	Flight members follow the intercept geometry and mission flow as directed by TTP.	3,4
NP5	Flight members manage the enemy weapon engagement zones (e.g., stiff arming, defensive maneuvers, speed, aspect) as directed by TTP	4,15
NP6	Flight members manage their own weapon engagement zones (e.g. altitude, range, speed, aspect) as directed by TTP.	3,1
	AIRCRAFT SYSTEMS	
NP7	Flight members manage their fuel as directed by TTP.	2,45
	ELECTRONIC WARFARE	
NP8	Flight members conduct electronic attack as directed by TTP.	2,5
NP9	Flight members conduct electronic protection (e.g. chaff, flare and self-protection jamming) as directed by TTP.	2,6
	COMMUNICATIONS (inter- and intra-flight)	
NP10	Flight members use tactical radios and brevity as directed by TTP.	2,2
NP11	Flight members use datalink as directed by TTP.	2,9
	FIND, FIX & TARGET	
NP12	Flight members comply with their search, ID, ROE and SA building responsibilities as directed by TTP.	3,85
NP13	Flight members comply with their targeting and sorting responsibilities as directed by TTP.	3,35
	ENGAGE & ASSESS	
NP14	Flight members employ weapons as directed by TTP (e.g., launch range, weapon type, shot doctrine).	3,1
NP15	Prior TTG=0, flight members conduct weapon support (e.g. DL support, snip timing,) as directed by TTP.	2,95
NP16	Prior TTG=0, flight members assess weapon Pk (e.g. trashed evaluation) as directed by TTP.	2,5
NP17	At or after TTG=0, the flight members assess weapon effect and make follow-on flow decisions / recommendations as directed by TTP.	2,9

NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementtien painottamisen ja painoarvojen keskiarvojen laskemisen jälkeen 4 hengen asiantuntijaryhmä edelleen yhdisteli ja poisti NP-elementtejä NP-elementtien lopullisen listan muodostamiseksi. Asiantuntijaryhmä arvioi NP-elementin tärkeyttä kuvaavan painoarvojen keskiarvon 2,0 olevan riittävä peruste NP-elementin valitsemiseen NP-elementtien lopulliselle listalle. Pienin NP-elementin saama painoarvojen keskiarvo oli 2,2. Taulukossa 6 esitellään, miten potentiaalisen listan NP-elementtejä käsiteltiin NP-elementtien lopullisen listan muodostamiseksi.

Taulukko 6. NP-elementtien lopullisen listan muodostaminen.

NP-elementtien potentiaalisen listan NP-elementti	Toimenpide muodostettaessa NP-elementtien lopullista listaa
NP1: External guidance management (2,85)	NP-elementti jätetään pois listalta, koska se ei ole TTP:hen sisältyvä, vaan ulkoinen tekijä.
NP2: Mutual support management (2,7)	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 7.
NP3: Deconfliction management (3,45)	NP-elementti jätetään listalta pois. Lentoturvallisuus on enemmänkin kulttuuria, jota sotilasilmailun parissa ylläpidetään koulutuksella ja asennekasvatuksella [68]. Lentoturvallisuuden säilyttämiseksi hävittäjäparvella on erilaisia TTP-sääntöjä ja sääntöjen arvoja, mutta ne ovat TTP:stä riippumatta lähes aina samoja.
NP4: Geometry and mission flow management (3,4)	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 8. Termi "mission flow" vaihdetaan termiin "timeline". Uusi termi kuvaa paremmin geometriassa käytettäviä päätöksentekoaikavälisiä.
NP5: Enemy weapon engagement zone management (4,15)	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 9.

NP6: Own weapon engagement zone management (3,1)	<p>Yhdistetty NP-elementtien potentiaalisen listan elementin numero 14 kanssa, koska ohjaaja pyrkii pääsemään ampumasektoriin ampuakseen.</p> <p>Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 4.</p>
NP7: Fuel management (2,45)	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 10.
NP8: Electronic attack (2,5)	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 11.
NP9: Electronic protection (2,6)	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 12.
NP10: Use of tactical radios (2,2)	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 13.
NP11: Use of datalink (2,9)	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 14.
NP12: Searching, ID matrix management, ROE matrix management, SA building (3,85)	<p>NP-elementistä "Etsintä" sekä "ID-/ROE-matriisi" jaetaan erillisiksi NP-elementeiksi. "Tilannetietoisuuden rakentaminen" jätetään listalta pois, koska TSA:n mittaamiseen on kehitetty oma mittausmenetelmä [24].</p> <p>Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementit numerot 1 ja 2.</p>
NP13: Targeting, sorting (3,35)	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 3.
NP14: Weapon employment (3,1)	Yhdistetty NP-elementtien potentiaalisen listan elementin numero 6 kanssa, koska ohjaaja pyrkii pääsemään ampumasektoriin ampuakseen.

	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 4.
NP15: Weapon support (2,95)	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 5. Lauseen alkuosa "Prior TTG=0" jätetään pois tarpeettomana.
NP16: Weapon Pk assessment (2,5)	Muodostettu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementti numero 6. Lauseen alkuosa "Prior TTG=0" jätetään pois tarpeettomana. Pk muutetaan Pg:ksi, koska ohjaaja arvioi ohjuksen ohjautumistodennäköisyyttä.
NP17: Weapon effect assessment (2,9)	NP-elementti jätetään listalta pois, koska indikaatioita ohjuksen mahdollisen osumisen vaikutuksista pyrkii saamaan koko hävittäjäparvi ja taistelunjohtaja. Tämä ei ole yksittäisen parven jäsenen tehtävä.

NP-elementtien lopullisen listan NP-elementit muotoiltiin TTP:n noudattamista kuvaaviksi väittämiksi. NP-elementit kirjoitettiin lausemuotoon ja imperfektiin. Lisäksi väittämät kirjoitettiin koskemaan yksittäistä parven jäsentä. Väittämien muotoilua yleistettiin siten, että ne ovat sovellettavissa monenlaisiin BVR-ilmataisteluihin ja erilaisiin TTP-sääntöjen arvoihin. Esimerkiksi NP-elementti "Flight member conducted electronic protection (e.g. chaff, flare, and self-protection jamming) as directed by TTP?" ei ota kantaa missä tilanteessa ja millaista häirintää TTP-sääntö ohjeistaa käyttämään. Taulukossa 7 esitellään NP-elementtien lopullinen lista. Taulukko 7 on luvussa 3, jossa esitellään NP-mittausmenetelmä.

Luvussa 2 kartoitettiin NP-elementtejä kirjallisuudesta. Kirjallisuudesta löytyi 131 NP-elementtiä. Kartoitetuista NP-elementeistä muodostettiin ensin alustava lista ja sitten asiantuntijaryhmän avulla NP-elementtien potentiaalinen lista. NP-elementtien lopulliseen listaan valittiin painottamisen jälkeen lopulta 14 keskeisintä NP-elementtiä, jotka ovat osa NP-mittausmenetelmää. NP-elementtien lopullinen lista esitellään seuraavassa luvussa.

3. NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN MITTAUSMENETELMÄ

Tässä luvussa esitellään hävittäjäparven NP-mittausmenetelmä. NP-mittausmenetelmään kuuluu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementit, niihin liittyvä arviointiasteikko sekä NP:n mittaaminen. Luvussa vastataan tutkimuksen toiseen alakysymykseen eli "millainen NP-mittausmenetelmä on ja miten NP mitataan?". Kysymykseen vastataan esittelemällä NP-elementtien lopullinen lista, NP:n mittauksessa käytettävä arviointiasteikko ja NP:n mittaaminen käytännössä.

3.1. NP-elementtien lopullinen lista ja arviointiasteikko

Luvussa 2 esiteltiin NP-mittausmenetelmässä käytettävien NP-elementtien valinta. Taulukossa 7 on NP-elementtien lopullinen lista.

Taulukko 7. NP-elementtien lopullinen lista.

NP elements	
FIND, FIX, TRACK & TARGET	
1	Flight member complied with his search responsibilities as directed by TTP.
2	Flight member complied with his ID and ROE responsibilities as directed by TTP.
3	Flight member complied with his targeting and sorting responsibilities as directed by TTP.
ENGAGE & ASSESS	
4	Flight member employed weapons as directed by TTP (e.g. shot doctrine, WEZ management).
5	Flight member conducted weapon support as directed by TTP (e.g. DL support, snip timing).
6	Flight member assessed weapon P _g as directed by TTP (e.g. trashed evaluation).
GENERAL	
7	Flight member maintained mutual support unless otherwise approved as directed by TTP (e.g. split criteria).
8	Flight member followed the intercept geometry and timeline as directed by TTP (e.g. formation).
9	Flight member managed the enemy weapon engagement zones (e.g., stiff arming, defensive maneuvers, speed, aspect) as directed by TTP.
10	Flight member managed his fuel as directed by TTP.
11	Flight member conducted electronic attack as directed by TTP.
12	Flight member conducted electronic protection (e.g. chaff, flare and self-protection jamming) as directed by TTP.
13	Flight member used tactical radios and brevity as directed by TTP.
14	Flight member used datalink as directed by TTP.

NP-elementtien lopullisen listan NP-elementit on ryhmitelty yleisiin ja kill chain:n vaiheisiin liittyviin NP-elementteihin. Ensimmäinen ryhmä sisältää kolme NP-elementtiä, jotka liittyvät kill chain:n vaiheisiin: "find fix, track, target". Toinen ryhmä käsittää kill chain:n vaiheet: "engage & assess" ja sisältää kolme näihin vaiheisiin liittyvää NP-elementtiä. Kolmannen ryhmän "general" NP-elementteihin on sisällytetty live chain:n vaiheisiin liittyvät, ja muut ilmataistelun osapuolten keskeisiin toimintoihin liittyvät NP-elementit.

NP-elementtien ryhmillä on toiminnallisia eroavaisuuksia. Kill chain:n vaiheisiin liittyvät NP-elementit ovat linkittyneinä toisiinsa. Jos esimerkiksi NP-elementti "search" epäonnistuu, niin seuraavien kill chain:n vaiheisiin liittyvien TTP-sääntöjen noudattamista kuvaavat NP-elementit muodostuvat merkityksettömiksi. "General" ryhmän NP-elementit liittyvät jatkuvasti käytössä oleviin TTP:ihin, eivätkä ne liity välittömästi kill chain:iin. Tämän ryhmän NP-elementeistä on jatkuvasti tapahtuvia. Esimerkiksi NP-elementtiin "flight member managed his fuel as directed by TTP" liittyvä TTP-sääntö on jatkuvasti aktiivinen, eikä se suoraan liity kill chain:n vaiheisiin. Puutteellinen polttoaineen hallinta voi kuitenkin välillisesti vaikuttaa kill chain:iin.

NP arvioidaan lennon jälkeen ohjaajan lentotallenteilta ja lennon rekonstruktiosta. Tässä työssä NP:tä mitattaessa arvioidaan, miten hyvin ohjaaja noudatti NP-elementtiin liittyvää TTP-sääntöä ja säännön arvoa, ja millainen vaikutus mahdollisella noudattamattomuudella oli hävittäjäparven TTP:n toteuttamiseen. NP mittaaminen suoritetaan lennon jälkeen vertaamalla käsketyin TTP-säännön arvoa ja ohjaajan todellisuudessa noudattamaa TTP-säännön arvoa. Mitä lähempänä ohjaajan todellisuudessa noudattama TTP-säännön arvo on käskettyä TTP-säännön arvoa, sitä korkeampi on NP. Kutakin NP-elementtiä koskeva NP arvioidaan asteikolla 0-3, jossa 0 kuvaa matalaa NP:tä ja 3 kuvaa korkeaa NP:tä. Jokaiseen NP-arvosanaan liittyy sanallinen kuvaus TTP:n noudattamattomuuden vaikutuksista: 3= TTP:tä noudatettiin; 2= TTP:tä ei noudatettu, mutta noudattamattomuudella ei ollut vaikutusta TTP:n toteuttamiseen; 1= TTP:tä ei noudatettu ja noudattamattomuudella oli negatiivinen vaikutus TTP:n toteuttamiseen, mutta vaikutus ei ollut merkittävä; 0= TTP:tä ei noudatettu ja noudattamattomuudella oli negatiivinen vaikutus TTP:n toteuttamiseen, vaikutus oli merkittävä. Tässä työssä käytetyn NP-elementin arviointiasteikko on kuvassa 12.

Rating scale
0= Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is significant.
1= Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is not significant.
2= Did not adhere to TTP. No impact on TTP execution.
3= Did adhere to TTP.

Kuva 12. NP-elementin arviointiasteikko.

Arvioinnin tavoitteena on antaa ohjaajalle kutakin NP-elementtiä koskeva NP-arvosana. NP-arvosana kuvaa miten hyvin ohjaaja noudatti NP-elementtiin liittyvää TTP-sääntöä ja säännön arvoa.

3.2. NP:n mittaaminen

Hävittäjäparvi suorittaa ennen lentoa tehtävänannon, jossa parvi määrittää TTP-säännöt ja säännöille arvot. Ilmavoimilla on käytössä taktinen ohjeistus, jossa määrätään TTP:t ja niiden oletusarvot. Hävittäjäparvi käyttää TTP-säännön oletusarvoa, jos tehtävänannossa ei muuta määrätä. Eri parven jäsenillä voi olla samaan TTP-sääntöön erilaiset arvot noudatettavinaan. Hävittäjäparven NP:n laskemisessa on tärkeää, että tiedetään mitä arvoja parven jäsenten on tullut noudattaa. NP:n mittausta varten TTP:n sääntöjen arvojen tulee olla määritettynä riittävän tarkasti. Esimerkiksi "taktisen ohjeistuksen mukaan" annettu TTP-säännön arvo voi aiheuttaa tulkintavaikeuksia määritettäessä mihin taktisen ohjeistuksen TTP-säännön arvoon ohjaajan toteuttamaa TTP-säännön arvoa tulisi verrata.

NP:n arvioijana voi toimia lennon lentänyt ohjaaja tai joku muu koulutettu hävittäjäohjaaja. Jos arvioinnin suorittaa joku muu kuin lennolla mukana ollut ohjaaja, niin lento kannattaa katsoa lentotallenteilta ensin kokonaisuudessaan kerran läpi, jotta arvioija saa kokonaiskuvan lennon tapahtumista. Tämä on edellytys sille, että arvioija kykenee arvioimaan TTP:n noudattamattomuuden vaikutuksia.

Tämän tutkimuksen testaustapahtumassa lentotallenteet ja lennon rekonstruktio pysäytetään noin minuutin välein ja pysäytystä edeltäneen minuutin ajalta arvioidaan siipimiehen toiminnasta löydetty NP-elementit. NP-elementeistä arvioidaan ainoastaan ne, mitkä arvioijat löytävät. Arvioija vertaa kuhunkin NP-elementtiin liittyvää TTP-säännön käskettyä arvoa, sekä ohjaajan TTP-säännön arvon toteutusta. Arvioija arvioi myös mahdollisen TTP-säännön noudattamattomuuden vaikutuksia. Arvioija antaa jokaiselle NP-elementille NP-arvosanan kuvan 12 arviointiasteikon mukaisesti. Kun kaikki pysäytystä edeltäneen minuutin aikana havaitut NP-elementit ja niiden TTP-sääntöjen mahdollinen noudattamattomuus on arvioitu, lentotallenteita ja lennon rekonstruktioa toistetaan minuutti. Menettelyä jatketaan, kunnes NP-arvosana on annettu parven jokaisen jäsenen kaikkien lennon aikana käyttämien NP-elementtien mukaisille TTP-sääntöjen arvoille.

NP-arvosanat kerätään keräyslomakkeelle. Kuvassa 13 on esimerkki arvioinnin keräyslomakkeesta. Keräyslomakkeen ensimmäisessä sarakkeessa on numeroidut NP-elementtien väittämät. Toiseen sarakkeeseen kirjataan tehtävänannossa NP-elementeille annetut TTP-säännöt ja sääntöjen arvot. Sarakkeisiin 3-5 merkitään erikseen jokaisesta BVR-ilmataistelusta suoritetuille NP-elementeille NP-arvosana. Jokaiselle ohjaajalle täytetään oma lomake.

NP-elements		TTP-rule and rule value:	BVR air combat 1:	BVR air combat 2:	BVR air combat 3:
FIND, FIX, TRACK & TARGET					
1	Flight member complied with his search responsibilities as directed by TTP.				
2	Flight member complied with his ID and ROE responsibilities as directed by TTP.				
3	Flight member complied with his targeting and sorting responsibilities as directed by TTP.				
ENGAGE & ASSESS					
4	Flight member employed weapons as directed by TTP (e.g. shot doctrine, WEZ management).				
5	Flight member conducted weapon support as directed by TTP (e.g. DL support, snip timing).				
6	Flight member assessed weapon Pq as directed by TTP (e.g. trashed evaluation).				
GENERAL					
7	Flight member maintained mutual support unless otherwise approved as directed by TTP (e.g. split criteria).				
8	Flight member followed the intercept geometry and timeline as directed by TTP (e.g. formation).				
9	Flight member managed the enemy weapon engagement zones (e.g., stiff arming, defensive maneuvers, speed, aspect) as directed by TTP.				
10	Flight member managed his fuel as directed by TTP.				
11	Flight member conducted electronic attack as directed by TTP.				
12	Flight member conducted electronic protection (e.g. chaff, flare and self-protection jamming) as directed by TTP.				
13	Flight member used tactical radios and brevity as directed by TTP.				
14	Flight member used datalink as directed by TTP.				

Rating scale
0= Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is significant.
1= Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is not significant.
2= Did not adhere to TTP. No impact on TTP execution.
3= Did adhere to TTP.

Kuva 13. Esimerkki arvioinnin keräyslomakkeesta.

Kun jokaisen parven jäsenen NP-arvosanat on kirjattu arviointilomakkeelle, jokaisen parven jäsenen NP-arvosanoista lasketaan keskiarvo. Parven jäsenten keskiarvoista lasketaan koko hävittäjäparven NP-arvosanojen keskiarvo, joka on hävittäjäparven lentokohtainen NP-indeksi. NP-indeksiin lisäksi parven jäsenten NP-arvosanoista voidaan laskea jokaiselle NP-elementille keskiarvo. NP-arvosanoista voi laskea keskiarvot myös jokaiselle kill ja live chain:lle tai NP:tä voi tarkastella ajan funktiona. BVR-ilmataistelun dynaamisuuden takia NP-arvosanojen keskiarvon laskeminen jokaiselle kill chain:lle voi kuitenkin olla työlästä. Kaikki NP-arvosanat 1 ja 0 kannattaa ottaa lisätarkasteluun, koska niihin liittyvä ohjaajien toiminta on vaikuttanut negatiivisesti TTP:n toteuttamiseen. Tarkastelussa kannattaa selvittää, johtuiko huono NP-arvosana virheellisestä toiminnasta vai oliko noudattamattomuus seurausta tietoisesta valinnasta. Esimerkiksi jos TTP-säännön mukaisesti käytetään matalia lentokorkeuksia, niin ohjaaja ei välttämättä pysty noudattamaan "polttoaineen kulutuksen hallinnan" TTP-sääntöä. Tällöin voidaan päätyä johtopäätökseen, että kyseistä TTP:tä ei kyetä toteuttamaan kyseisillä TTP-säännöillä ja sääntöjen arvoilla.

NP-indeksin lisäksi voidaan laskea hävittäjäparvelle TTP:n noudattamisen prosenttiosuus. Jos käytettiin arviointiasteikkoa 0-3, niin ensin pitää laskea kaikkien parven jäsenten NP-arvosanojen määrät NP-arvosanalle 3, joka kuvaa TTP:n noudattamista sekä NP-arvosanoille 2, 1, ja 0, jotka kuvaavat TTP:n noudattamattomuutta. Esimerkiksi jos parven jäsenten yhteenlaskettu NP-arvosanan 3 määrä on 30 ja NP-arvosanojen 2, 1 ja 0 määrä on 20, niin NP-indeksin prosenttiosuus saadaan jakamalla NP-arvosanan 3 määrä kaikkien NP-arvosanojen määrällä ja kertomalla tulos sadalla. Esimerkkitapauksessa $30/50 \times 100 = 60$, joten hävittäjäparvi noudatti TTP:tä 60-prosenttisesti. NP-indeksin prosenttiosuuksia laskiessa arviointiasteikosta pitää siis huomioida NP-arvosanat, joilla TTP-sääntöjä noudatettiin, ja NP-arvosanat, joilla TTP-sääntöjä ei noudatettu. Parven keskiarvoja laskiessa kannattaa myös laskea parven keskihajonta. Keskihajonta tuo lisätietoa päätöksentekijälle parven TTP:n noudattamisesta.

NP:lle ei ole olemassa globaalia raja-arvoa, joka määrittäisi noudatettiinko TTP:tä vai ei [10]. Koulutuksessa NP-indeksin raja-arvosta voi päätöksen tehdä esimerkiksi ilmataisteluopettaja ja TTP:n kehittämisessä sen voi asettaa kehitystyöstä vastaava asiantuntija. Lopullinen päätös on aina subjektiivinen ja tilanneriippuvainen.

NP-mittausmenetelmää käytetään Ilmavoimissa joukon, sotavarusteen ja TTP:n kehittämiseen ja vertailuun. Käytettäessä tutkimuksen viitekehyksessä kuvattua hävittäjäparven tehtävätyölle luotua suorituskykymittaristoa, mittareille määritetyt kriteerit muodostavat monikriteeriverailun osakriteerit. Tällöinkin eri mittareiden raja-arvot määrittää päätöksentekijä. [10]

Tässä luvussa esiteltiin NP-mittausmenetelmä. NP-elementtien lopullisen listan lisäksi esiteltiin niihin liittyvä arviointiasteikko, NP-arvosanojen keräyslomake ja NP:n mittaaminen. NP:n mittaamiseen kuuluu TTP-sääntöjen ja sääntöjen arvojen määrittäminen ja niiden noudattamisen arviointi sekä hävittäjäparven NP-indeksin laskeminen. Lisäksi tässä luvussa esiteltiin, mitä johtopäätöksiä NP-arvosanojen ja NP-indeksin perusteella voi ja ei voi tehdä. Luvussa vastattiin tutkimuksen toiseen alakysymykseen eli millainen NP-mittausmenetelmä on ja miten NP mitataan. Seuraavassa luvussa NP-mittausmenetelmän toimivuutta testataan V-simulaatiolennolla.

4. NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN MITTAUSMENETELMÄN TESTAAMINEN

Tässä luvussa esitellään NP-mittausmenetelmän testaustapahtuma. Testaustapahtuman tarkoituksena on vastata tutkimuksen kolmanteen alakysymykseen eli "miten NP-mittausmenetelmä toimii V-simulaatiolennolla?". Testaustapahtuma suoritetaan kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa parvi ohjaajia lentää BVR-ilmataistelulennon simulaattoreilla. Lennolla parven ohjaajat lentävät käskettyjen TTP-sääntöjen ja sääntöjen arvojen mukaan, pois lukien toinen siipimies, joka on käsketty lentämään yksi BVR-ilmataistelu korkealla NP:llä, yksi BVR-ilmataistelu keskinkertaisella NP:llä ja yksi BVR-ilmataistelu matalalla NP:llä. Testaustapahtuman toisessa vaiheessa ryhmä arvioijia seuraa simulaattorilennon lentotallenteita ja arvioi siipimiehen NP:tä.

4.1. Testaustapahtuman osallistajat

Testaustapahtuman ensimmäisessä vaiheessa lennetään yksi simulaattorilento, johon pyydetään neljä koulutettua ja palveluksessa olevaa F/A-18 ohjaajaa. Ohjaajista yksi on parvenjohtaja, yksi on parinjohtaja ja kaksi ovat siipimiehiä. Ohjaajien keski-ikä on 29.32 vuotta (keskihajonta = 2.50) ja keskimääräinen lentokokemus F/A-18 kalustolla 362.50 tuntia (keskihajonta = 199.23).

Testaustapahtuman toisessa vaiheessa 25 koulutettua ja palveluksessa olevaa F/A-18 ohjaajaa toimivat arvioijina ja katsovat simulaattorilennon lentotallenteita ja lennon rekonstruktiota. Arvioijien keski-ikä on 32.12 vuotta (keskihajonta = 3.55) ja keskimääräinen lentokokemus F/A-18 kalustolla 628.80 tuntia (keskihajonta = 317.70). Arvioijien tehtävänä on seurata ja arvioida parven toisen siipimiehen NP:tä. Kaikki arviointia suorittavat ohjaajat olivat koulutettuja lentämään koeasetelmassa käytettäviä TTP:eitä.

4.2. Testaustapahtuman koeasetelma

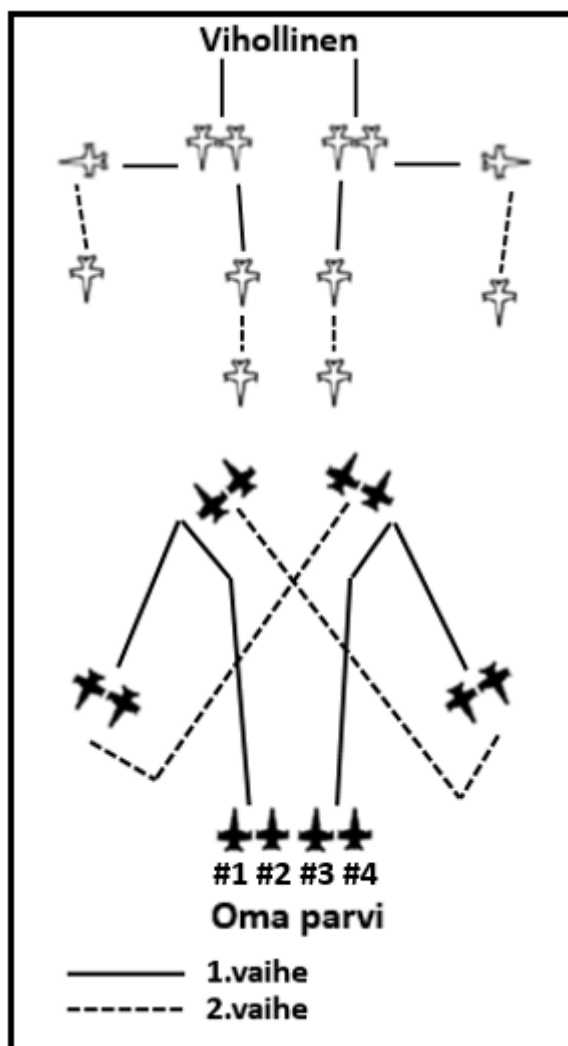
Simulaattorilennolla ohjaajat lentävät BVR-ilmataistelulennon parvena WTSAT- ja DTT-simulaattoreilla, jotka ovat linkitettyinä toisiinsa. MACE-simulaattorilla simuloidaan konstruktiivisia viholliskoneita. BVR-ilmataistelun aikana simuloitu näkyvyys on yli 10km, tuulen nopeus on nolla, taivas on pilvetön ja turbulenssia ei ole. Simulaatio toteutetaan päivällä ja vuodenaika on kesä. Operaatioalue on yksi Ilmavoimien käytössä olevista harjoitusalueista.

Parvessa on #1 parvenjohtaja, #2 siipimies, #3 parinjohtaja ja #4 siipimies. Parvella on käytössä Link16-johtamisjärjestelmä, jolla parannetaan ohjaajien tilannekuvaa ja kommunikoidaan taistelunjohtajan ja muiden järjestelmään liittyneiden toimijoiden kanssa. Taistelunjohtaja johtaa parven taistelua puheella ja Link16-johtamisjärjestelmällä.

Ennen simulaattorilentoa parvelle pidetään tehtävänantotilaisuus, jossa käydään läpi lennon yleistiedot sekä TTP-säännöt ja sääntöjen arvot seuraaviin asiakokonaisuuksiin liittyen:

- lentotehtävän numero,
- operaation tavoite,
- toiminta-alue,
- vihollinen eli uhka,
- parven etsintäsopimus,
- targetointi ja maalienjako,
- ID- ja ROE-kriteerit,
- ammutadoktriinit ml. päivittäminen ja arviointi,
- parven keskinäinen tuki,
- käytettävät taistelutekniikat,
- noudatettavat etäisyydet,
- polttoaineen kulutuksen hallinta,
- elektroninen sodankäynti,
- radioiden ja brevityn käyttö sekä
- datalinkin käyttö.

Simulaattorilennolla luodaan kolme samanlaista aloitustilannetta. Viholliskoneiden toiminta on ohjelmoitu samanlaiseksi jokaiseen BVR-ilmataisteluun. Parven tehtävänä on viholliskoneiden tuhoaminen. Yksittäinen BVR-ilmataistelu on jaettu kahteen ennalta käskettyyn vaiheeseen, jonka jälkeen parvi aloittaa tilanteenmukaisen toiminnan, jos viholliskoneita on vielä tuhoamatta. Kuvassa 14 on piirrettyä aloitustilanne ja kaksi ensimmäistä parven vaihetta.



Kuva 14. BVR-ilmataistelun aloitustilanne ja kaksi ensimmäistä ennalta käskettyä vaihetta. Kuva ei ole mittakaavassa.

BVR-ilmataistelun alussa viholliskoneet ja oma parvi ovat noin 70NM etäisyydellä toisistaan. Viholliskoneet lentävät kohti omaa parvea. Viholliskoneet lentävät kahdessa ryhmässä, joissa sekä vasemmassa että oikeassa ryhmässä on kummassakin kaksi konetta. Ryhmien välinen etäisyys on noin 15NM. Ennalta suunnitellulla etäisyydellä kaksi viholliskonetta, yksi molemmista ryhmistä, kääntävät ohjaussuuntaa siten, että toinen lentää vasempaan ja toinen oikeaan. Noin 30 sekuntia tämän jälkeen koneet kääntävät uudestaan kohti parvea.

Oma parvi lähtee suorittamaan tehtävää kohti vihollista. Aloitustilanteessa oman parven koneet ovat käsketyssä TTP-säännön mukaisessa lentomuodossa ja lentokorkeudessa sekä lentävät TTP-säännön käskemällä nopeudella. Ensimmäisessä tutkahyökkäyksessä maalit jaetaan siten, että #1 ja #2 targetoituvat vasempaan ryhmään ja #3 ja #4 targetoituvat oikeaan ryhmään. Tämä on kuvattu kuvassa 14 yhtenäisellä mustalla viivalla. Toisessa tutkahyökkäyksessä oman parven koneet suorittavat ristiintargetoinnin jäljellä oleviin vihollisen koneisiin. Tämä on kuvattu kuvassa 14 mustalla katkoviivalla. Tämän jälkeen parven toiminta muuttuu tilanteenmukaiseksi.

Parvelle on tehtävänannossa määritetty TTP-säännöt ja säännöille arvot. BVR-ilmataistelun aikana muut ohjaajat, pois lukien #2, pyrkivät noudattamaan annettuja arvoja. #2 siipimies on käsketty lentämään yksi BVR-ilmataistelu korkealla NP:llä, yksi BVR-ilmataistelu keskinkertaisella NP:llä ja yksi BVR-ilmataistelu matalalla NP:llä. Esimerkiksi matalan NP:n BVR-ilmataistelussa siipimiehelle on annettu tehtäväksi targetoitua väärään maaliin. BVR-ilmataisteluja toistetaan niin kauan, että siipimiehen NP on halutun kaltainen. Tämän jälkeen lento taltioidaan arviointia varten. Testaustapahtumassa ei lasketa NP-indeksiä parvelle.

Simulaattorilennon BVR-ilmataisteluiden lentotallenteet ja lennon rekonstruktio käydään läpi asiantuntijaryhmän toimesta. Asiantuntijaryhmä arvioi kollektiivisesti siipimiehen NP:n kolmessa eri BVR-ilmataistelussa. Nämä NP-arvosanat toimivat vertailukohteina testaustapahtuman toisen vaiheen arvioijien NP-arvosanoille. Asiantuntijaryhmän NP-arvosanoja kutsutaan tässä tutkimuksessa nimellä referenssiarvosanat.

Testaustapahtuman toisessa vaiheessa BVR-ilmataisteluiden lentotallenteet ja lennon rekonstruktio esitetään arvioijille satunnaisessa järjestyksessä. Arvioijien tehtävänä on löytää ja arvioida siipimiehen BVR-ilmataisteluista NP-elementit taulukon 7 mukaisesti. Arvioijat katsovat BVR-ilmataistelun ensin kertaalleen läpi, jonka aikana on mahdollisuus tehdä muistiinpanoja. Toisella kerralla lentotallenteet ja lennon rekonstruktio pysäytetään noin minuutin välein. Pysäytystä edeltäneen minuutin ajalta arvioidaan siipimiehen toiminnasta löydetty NP-elementit. NP-elementeistä arvioidaan ainoastaan ne, mitkä arvioijat löytävät. Arviointia jatketaan, kunnes BVR-ilmataistelu päättyy ja siipimiehen kaikki löydetty NP-elementit on arvioitu. NP-arvosanojen keräyslomake kuvassa 15.

NP elements		Arviointihetket						
		1	2	3	4	5	6	7
FIND, FIX, TRACK & TARGET								
1	Flight member complied with his search responsibilities as directed by TTP.							
2	Flight member complied with his targeting and sorting responsibilities as directed by TTP.							
3	Flight member complied with his ID and ROE responsibilities as directed by TTP.							
ENGAGE & ASSESS								
4	Flight member employed weapons as directed by TTP (e.g. shot doctrine, WEZ management).							
5	Flight member conducted weapon support as directed by TTP (e.g. DL support, snip timing).							
6	Flight member assessed weapon Pg as directed by TTP (e.g. trashed evaluation).							
GENERAL								
7	Flight member maintained mutual support unless otherwise approved as directed by TTP (e.g. split criteria).							
8	Flight member followed the intercept geometry and timeline as directed by TTP (e.g. formation)							
9	Flight member managed the enemy weapon engagement zones (e.g., stiff arming, defensive maneuvers, speed, aspect) as directed by TTP							
10	Flight member managed his fuel as directed by TTP.							
11	Flight member conducted electronic attack as directed by TTP.							
12	Flight member conducted electronic protection (e.g. chaff, flare and self-protection jamming) as directed by TTP.							
13	Flight member used tactical radios and brevity as directed by TTP.							
14	Flight member used datalink as directed by TTP.							

Rating scale:

3 = Did adhere to TTP.

2 = Did not adhere to TTP. No impact on TTP execution.

1 = Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is not significant.

0 = Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is significant.

Kuva 15. Testaustapahtumassa käytettävä yksittäisen BVR-ilmataistelun keräyslomake. Numeroiduissa sarakkeissa on jokaiselle arviointivälille ja NP-elementille oma arviointikohtansa.

Kun siipimiehen NP kaikissa BVR-ilmataisteluissa on arvioitu, saatuja arvioita verrataan referenssiarvosanoihin. Tämän lisäksi arvioijien antamia NP-arvosanoja verrataan toisiinsa. Testaustapahtumassa käytettävä ennakkotietolomake on liitteessä 1 ja palautelomake liitteessä 2. Ennakkotietolomakkeessa arvioijilta kerätään lentoerote, F/A-18 lentotunnit ja lentokoulutus-taso. Palautelomakkeessa arvioijilta kerätään sanallinen palaute NP-mittausmenetelmän käytettävyydestä ja NP-elementeistä.

4.3. Testaustapahtuman BVR-ilmataistelut

Ensimmäisessä BVR-ilmataistelussa siipimiehellä oli korkea (HI) NP. Ensimmäinen BVR-ilmataistelu kesti 5 min 32s, sisälsi viisi arviointihetkeä ja siinä oli 44 arvioitavaa NP-elementtiä. Taulukossa 8 on HI NP:n BVR-ilmataistelun referenssiarvosanat.

Taulukko 8. HI NP:n BVR-ilmataistelun referenssiarvosanat.

NP elements		Arviointihetket				
		1	2	3	4	5
FIND, FIX, TRACK & TARGET						
1	Flight member complied with his search responsibilities as directed by TTP.	3		3	3	
2	Flight member complied with his targeting and sorting responsibilities as directed by TTP.	3			2	
3	Flight member complied with his ID and ROE responsibilities as directed by TTP.	2			2	
ENGAGE & ASSESS						
4	Flight member employed weapons as directed by TTP (e.g. shot doctrine, WEZ management).		3		3	
5	Flight member conducted weapon support as directed by TTP (e.g. DL support, snip timing).		3			3
6	Flight member assessed weapon Pg as directed by TTP (e.g. trashed evaluation).		3			3
GENERAL						
7	Flight member maintained mutual support unless otherwise approved as directed by TTP (e.g. split criteria).	3	3	3	3	3
8	Flight member followed the intercept geometry and timeline as directed by TTP (e.g. formation).	3	3	3	3	3
9	Flight member managed the enemy weapon engagement zones (e.g., stiff arming, defensive maneuvers, speed, aspect) as directed by TTP.	2	3		3	3
10	Flight member managed his fuel as directed by TTP.	3	3	3	3	3
11	Flight member conducted electronic attack as directed by TTP.					
12	Flight member conducted electronic protection (e.g. chaff, flare and self-protection jamming) as directed by TTP.		3		3	3
13	Flight member used tactical radios and brevity as directed by TTP.	3	3		3	3
14	Flight member used datalink as directed by TTP.	3	3	3	3	3

Rating scale:

3 = Did adhere to TTP.

2 = Did not adhere to TTP. No impact on TTP execution.

1 = Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is not significant.

0 = Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is significant.

Toisessa BVR-ilmataistelussa siipimiehellä oli keskinkertainen (MED) NP. Siipimies lensi live chain:n vaiheet TTP-sääntöjen mukaisesti, mutta ei noudattanut TTP-sääntöjä ja sääntöjen arvoja muun muassa kill chain:ssä ja kommunikaatiossa. Kill chain:n vaiheissa siipimies etsi maaleja väärältä korkeusalueelta ja targetoitui väärään maaliin. Kommunikaatioon siipimies käytti väärää radiota ja väärää taktista fraseologiaa. Toinen BVR-ilmataistelu kesti 7 min 28s, sisälsi seitsemän arviointihetkeä ja siinä oli 58 arvioitavaa NP-elementtiä. Taulukossa 9 on MED NP:n BVR-ilmataistelun referenssiarvosanat.

Taulukko 9. MED NP:n BVR-ilmataistelun referenssiarvosanat.

NP elements		Arviointihetket						
		1	2	3	4	5	6	7
FIND, FIX, TRACK & TARGET								
1	Flight member complied with his search responsibilities as directed by TTP.	1	1	2	2	2	1	1
2	Flight member complied with his targeting and sorting responsibilities as directed by TTP.	1	1				1	2
3	Flight member complied with his ID and ROE responsibilities as directed by TTP.		3				3	3
ENGAGE & ASSESS								
4	Flight member employed weapons as directed by TTP (e.g. shot doctrine, WEZ management).							2
5	Flight member conducted weapon support as directed by TTP (e.g. DL support, snip timing).							2
6	Flight member assessed weapon Pg as directed by TTP (e.g. trashed evaluation).							2
GENERAL								
7	Flight member maintained mutual support unless otherwise approved as directed by TTP (e.g. split criteria).	3	3	3	3	3	3	3
8	Flight member followed the intercept geometry and timeline as directed by TTP (e.g. formation).	3	3	3	3	3	3	3
9	Flight member managed the enemy weapon engagement zones (e.g., stiff arming, defensive maneuvers, speed, aspect) as directed by TTP.	3	3	3	3	3	3	3
10	Flight member managed his fuel as directed by TTP.	3	3	3	3	3	3	3
11	Flight member conducted electronic attack as directed by TTP.							
12	Flight member conducted electronic protection (e.g. chaff, flare and self-protection jamming) as directed by TTP.		3					3
13	Flight member used tactical radios and brevity as directed by TTP.	2	1				1	2
14	Flight member used datalink as directed by TTP.	2	2	2	2	2	2	2

Rating scale:

3 = Did adhere to TTP.

2 = Did not adhere to TTP. No impact on TTP execution.

1 = Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is not significant.

0 = Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is significant.

Kolmannessa BVR-ilmataistelussa siipimiehellä oli matala (LOW) NP. Siipimies jätti noudattamatta useiden NP-elementtien TTP-sääntöjä ja sääntöjen arvoja. BVR-ilmataistelu päättyi siihen, että siipimies sai osuman vihollisen ampumasta ilmataisteluohjuksesta. Kolmas BVR-ilmataistelu kesti 7 min 5s, sisälsi seitsemän arviointihetkeä ja siinä oli 51 arvioitavaa NP-elementtiä. Taulukossa 10 on LOW NP:n BVR-ilmataistelun referenssiarvosanat.

Taulukko 10. LOW NP:n BVR-ilmataistelun referenssiarvosanat.

NP elements		Arviointihetket						
		1	2	3	4	5	6	7
FIND, FIX, TRACK & TARGET								
1	Flight member complied with his search responsibilities as directed by TTP.	1	1	2	2	0	0	0
2	Flight member complied with his targeting and sorting responsibilities as directed by TTP.						0	0
3	Flight member complied with his ID and ROE responsibilities as directed by TTP.						1	1
ENGAGE & ASSESS								
4	Flight member employed weapons as directed by TTP (e.g. shot doctrine, WEZ management).							
5	Flight member conducted weapon support as directed by TTP (e.g. DL support, snip timing).							
6	Flight member assessed weapon Pq as directed by TTP (e.g. trashed evaluation).							
GENERAL								
7	Flight member maintained mutual support unless otherwise approved as directed by TTP (e.g. split criteria).	3	1	2	3	3	3	2
8	Flight member followed the intercept geometry and timeline as directed by TTP (e.g. formation).	3	1	2	3	3	2	0
9	Flight member managed the enemy weapon engagement zones (e.g., stiff arming, defensive maneuvers, speed, aspect) as directed by TTP.	2	2	3	3	3	3	1
10	Flight member managed his fuel as directed by TTP.	3	3	3	3	3	3	3
11	Flight member conducted electronic attack as directed by TTP.							
12	Flight member conducted electronic protection (e.g. chaff, flare and self-protection jamming) as directed by TTP.		2					0
13	Flight member used tactical radios and brevity as directed by TTP.	2	3					1
14	Flight member used datalink as directed by TTP.	2	2	2	2	1	1	1

Rating scale:

3 = Did adhere to TTP.

2 = Did not adhere to TTP. No impact on TTP execution.

1 = Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is not significant.

0 = Did not adhere to TTP. Negative impact on TTP execution. Impact is significant.

4.4. Testaustapahtuman tulokset

Simulaattorilennon BVR-ilmataistelut sisälsivät yhteensä 153 siipimiehen NP-elementtiä. HI NP:n BVR-ilmataistelussa kaikki arvioijat löysivät 31 NP-elementtiä ilmataistelun 44:stä NP-elementistä. MED NP:n BVR-ilmataistelussa kaikki arvioijat löysivät 40 NP-elementtiä ilma- taistelun 58:stä NP-elementistä. LOW NP:n BVR-ilmataistelussa kaikki arvioijat löysivät 29 NP-elementtiä ilmataistelun 51:stä NP-elementistä. Taulukossa 11 on kaikkien arvioijien löytämät NP-elementit, NP- elementtien kokonaismäärät ja kaikkien arvioijien löytämien NP- elementtien prosenttiosuus NP-elementtien kokonaismäärästä.

Taulukko 11. Lopullisen listan NP-elementit. NP- elementtien kokonaismäärät (N) BVR-ilmataisteluissa, kaikkien arvioijien löytämät NP-elementit (LKM) ja kaikkien arvioijien löytämien NP-elementtien prosenttiosuus NP-elementtien kokonaismäärästä (%).

NP elements		N	LKM	%
	FIND, FIX, TRACK & TARGET			
1	Flight member complied with his search responsibilities as directed by TTP.	17	10	59
2	Flight member complied with his targeting and sorting responsibilities as directed by TTP.	8	5	63
3	Flight member complied with his ID and ROE responsibilities as directed by TTP.	7	2	29
	ENGAGE & ASSESS			
4	Flight member employed weapons as directed by TTP (e.g. shot doctrine, WEZ management).	3	3	100
5	Flight member conducted weapon support as directed by TTP (e.g. DL support, snip timing).	3	3	100
6	Flight member assessed weapon Pg as directed by TTP (e.g. trashed evaluation).	3	3	100
	GENERAL			
7	Flight member maintained mutual support unless otherwise approved as directed by TTP (e.g. split criteria).	19	19	100
8	Flight member followed the intercept geometry and timeline as directed by TTP (e.g. formation).	19	14	74
9	Flight member managed the enemy weapon engagement zones (e.g., stiff arming, defensive maneuvers, speed, aspect) as directed by TTP.	18	6	33
10	Flight member managed his fuel as directed by TTP.	19	17	90
11	Flight member conducted electronic attack as directed by TTP.	0	0	0
12	Flight member conducted electronic protection (e.g. chaff, flare and self-protection jamming) as directed by TTP.	7	2	29
13	Flight member used tactical radios and brevity as directed by TTP.	11	6	55
14	Flight member used datalink as directed by TTP.	19	10	53

Yhteensä kolmessa BVR-ilmataistelussa kaikki arvioijat löysivät 100 NP-elementtiä, joka oli 65,36% kaikista BVR-ilmataisteluiden sisältämistä NP-elementeistä. Nämä 100 kaikkien löytämää NP-elementtiä otettiin mukaan jatkotarkasteluun.

Taulukossa 12 on HI NP:n BVR-ilmataistelun NP-elementtien referenssiarvosanat ja arvioijien antamat NP-arvosanat NP-elementeille, jotka kaikki arvioijat löysivät. Harmaalla värillä on korostettu arvioijien antamat NP-arvosanat, jotka ovat samat kuin referenssiarvosanat. Ensimmäisessä sarakkeessa on NP-elementti, toisessa sarakkeessa on referenssiarvosana NP-elementille ja sarakkeissa 3-28 on arvioijien antamat arvosanat. Taulukon toiseksi viimeisessä sarakkeessa on arvioijien lukumäärä, jotka antoivat saman NP-arvosanan kuin NP-elementin referenssiarvosana. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on referenssiarvosanan kanssa saman NP-arvosanan antaneiden arvioijien prosenttiosuus kaikista arvioijista.

Taulukko 12. HI NP:n BVR-ilmataistelun referenssiarvosanat ja arvioijien antamat NP-arvosanat NP-elementeille, jotka kaikki arvioijat löysivät. NP-elementti (NP), referenssiarvosana NP-elementille (RA), arvioijien antamat arvosanat, arvioijien lukumäärä (LKM), jotka antoivat saman NP-arvosanan kuin NP-elementin referenssiarvosana ja referenssiarvosanan kanssa saman NP-arvosanan antaneiden arvioijien prosenttiosuus kaikista arvioijista (%).

NP	RA	ARVIOIJIEN ANTAMAT NP-ARVOSANAT																				LKM	%					
1	3	3	3	2	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	17	68
2	3	3	2	1	3	1	2	2	1	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	3	2	3	8	32
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
4	2	3	2	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	2	3	2	3	2	3	3	11	44
5	2	2	2	3	2	3	2	1	1	2	3	2	3	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	3	2	2	16	64
6	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	19	76
7	3	3	2	3	3	2	2	3	3	2	3	2	2	2	2	3	3	1	2	3	3	3	3	2	3	3	14	56
8	3	3	2	2	3	2	2	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	18	72
9	3	3	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	20	80
10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96
11	3	3	2	2	3	3	3	2	2	1	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	19	76
12	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96
13	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96
14	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96
15	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96
16	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	22	88
17	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96
18	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	22	88
19	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96
20	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	22	88
21	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	23	92
22	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	18	72
23	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
24	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96
25	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
26	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
27	3	3	2	2	3	3	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	18	72
28	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96
29	3	3	2	3	3	3	3	3	3	1	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	22	88
30	3	3	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	23	92
31	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	22	88

Taulukossa 12 on kuvattu HI NP:n BVR-ilmataistelun NP-elementit, jotka kaikki arvioijat löysivät. Keskimäärin 21 arvioijaa, eli 84% antoi saman NP-arvosanan kuin referenssiarvosana.

Taulukossa 13 on MED NP:n BVR-ilmataistelun NP-elementtien referenssiarvosanat ja arvioijien antamat NP-arvosanat NP-elementeille, jotka kaikki arvioijat löysivät. Harmaalla värillä on korostettu arvioijien antamat NP-arvosanat, jotka ovat samat kuin referenssiarvosanat. Ensimmäisessä sarakkeessa on NP-elementti, toisessa sarakkeessa on referenssiarvosana NP-elementille ja sarakkeissa 3-28 on arvioijien antamat arvosanat. Taulukon toiseksi viimeisessä sarakkeessa on arvioijien lukumäärä, jotka antoivat saman NP-arvosanan kuin NP-elementin referenssiarvosana. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on referenssiarvosanan kanssa saman NP-arvosanan antaneiden arvioijien prosenttiosuus kaikista arvioijista.

Taulukko 13. MED NP:n BVR-ilmataistelun referenssiarvosanat ja arvioijien antamat NP-arvosanat NP-elementeille, jotka kaikki arvioijat löysivät. NP-elementti (NP), referenssiarvosana NP-elementille (RA), arvioijien antamat arvosanat, arvioijien lukumäärä (LKM), jotka antoivat saman NP-arvosanan kuin NP-elementin referenssiarvosana ja referenssiarvosanan kanssa saman NP-arvosanan antaneiden arvioijien prosenttiosuus kaikista arvioijista (%).

NP	RA	ARVIOIJIEN ANTAMAT NP-ARVOSANAT																				LKM %						
1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	1	1	2	2	1	1	18	72
2	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	1	1	2	2	1	1	17	68
3	1	1	1	0	1	0	1	2	1	0	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	0	14	56
4	2	2	1	2	2	1	1	2	2	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3	1	2	3	3	3	1	3	9	36
5	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	2	1	0	1	17	68
6	1	1	1	0	1	1	1	2	1	1	2	2	3	3	2	1	3	2	3	1	1	1	3	3	1	1	13	52
7	3	3	3	3	3	1	2	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	21	84
8	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	3	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	0	15	60
9	2	2	1	0	2	1	2	3	2	2	2	3	1	2	2	2	2	2	1	1	2	3	2	2	1	2	15	60
10	2	2	2	0	3	1	2	2	3	3	3	2	1	3	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	11	44
11	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
12	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	24	96
13	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	22	88
14	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	22	88
15	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	22	88
16	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	20	80
17	3	3	3	1	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	20	80
18	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
19	3	3	2	2	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	1	3	3	19	76
20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
21	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2	3	2	3	3	1	1	1	2	3	3	3	3	3	17	68
22	3	3	2	2	3	2	3	1	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	1	1	3	1	2	2	3	3	13	52
23	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	1	2	2	3	3	3	2	2	2	3	2	3	3	3	17	68
24	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	2	2	2	3	3	2	2	3	2	3	3	2	3	3	16	64
25	3	2	2	3	3	1	3	1	3	3	3	3	2	1	3	3	3	2	2	2	3	2	3	2	3	3	14	56
26	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
27	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
28	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
29	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
30	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
31	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
32	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	25	100
33	3	3	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3	2	2	3	3	1	3	3	3	3	3	17	68
34	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	1	2	3	2	2	2	3	3	2	2	3	3	16	64	
35	1	1	2	1	1	2	1	3	1	1	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	2	3	3	2	1	1	8	32
36	2	2	1	1	2	2	1	2	3	2	2	3	1	3	2	2	2	0	2	1	2	3	2	2	2	3	14	56
37	2	2	1	2	2	2	1	3	2	2	2	3	1	2	2	2	2	0	2	0	2	3	3	2	1	1	14	56
38	2	2	1	1	2	2	2	3	3	2	2	3	1	3	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	3	2	15	60
39	2	2	1	1	2	2	1	3	3	2	2	3	1	3	2	2	2	1	1	1	2	2	3	2	2	2	13	52
40	2	2	1	3	2	2	1	3	3	2	2	3	1	2	2	2	3	2	2	1	2	3	3	2	2	3	13	52

Taulukossa 13 on kuvattu MED NP:n BVR-ilmataistelun NP-elementit, jotka kaikki arvioijat löysivät. Keskimäärin 18 arvioijaa, eli 72% antoi saman NP-arvosanan kuin referenssiarvosana.

Taulukossa 14 on LOW NP:n BVR-ilmataistelun NP-elementtien referenssiarvosanat ja arvioijien antamat NP-arvosanat NP-elementeille, jotka kaikki arvioijat löysivät. Harmaalla värillä on korostettu arvioijien antamat NP-arvosanat, jotka ovat samat kuin referenssiarvosanat. Ensimmäisessä sarakkeessa on NP-elementti, toisessa sarakkeessa on referenssiarvosana NP-elementille ja sarakkeissa 3-28 on arvioijien antamat arvosanat. Taulukon toiseksi viimeisessä sarakkeessa on arvioijien lukumäärä, jotka antoivat saman NP-arvosanan kuin NP-elementin referenssiarvosana. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on referenssiarvosanan kanssa saman NP-arvosanan antaneiden arvioijien prosenttiosuus kaikista arvioijista.

Taulukko 14. LOW NP:n BVR-ilmataistelun referenssiarvosanat ja arvioijien antamat NP-arvosanat NP-elementeille, jotka kaikki arvioijat löysivät. NP-elementti (NP), referenssiarvosana NP-elementille (RA), arvioijien antamat arvosanat, arvioijien lukumäärä (LKM), jotka antoivat saman NP-arvosanan kuin NP-elementin referenssiarvosana ja referenssiarvosanan kanssa saman NP-arvosanan antaneiden arvioijien prosenttiosuus kaikista arvioijista (%).

NP	RA	ARVIOIJIEN ANTAMAT NP-ARVOSANAT																				LKM	%							
1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	2	1	1	1	17	68			
2	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	2	1	1	1	0	1	0	1	1	2	1	1	1	16	64		
3	0	1	0	0	0	1	1	2	0	0	1	1	1	2	2	1	1	2	2	0	1	1	2	2	2	2	6	24		
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	2	1	1	0	14	56	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	21	84	
6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96	
7	3	3	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	22	88
8	3	2	2	1	3	1	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	18	72	
9	3	3	2	1	3	1	3	3	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3	2	3	2	2	3	3	2	3	15	60		
10	2	2	2	1	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	1	3	3	2	3	3	3	3	3	2	1	7	28		
11	2	3	2	1	3	1	3	0	3	3	0	3	3	3	0	1	2	3	2	0	2	2	3	3	1	3	5	20		
12	1	1	1	0	2	0	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	0	2	1	1	1	2	1	17	68		
13	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	23	92	
14	2	2	2	2	2	1	2	3	3	3	2	3	3	1	1	2	3	2	0	3	2	1	2	2	2	3	12	48		
15	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	2	2	1	1	18	72		
16	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	76	
17	3	3	1	1	3	1	3	3	2	2	2	3	2	1	1	2	2	3	0	2	3	2	3	2	2	3	9	36		
18	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	12		
19	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96		
20	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96		
21	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96		
22	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96		
23	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96		
24	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	96		
25	3	3	2	1	2	1	2	3	3	1	3	2	1	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	15	60			
26	1	1	1	0	0	1	0	1	2	0	1	1	1	1	2	0	2	0	1	3	1	3	2	0	2	0	10	40		
27	1	1	0	1	1	2	1	3	2	3	1	3	1	2	2	1	2	1	1	2	2	3	2	1	2	3	10	40		
28	1	1	0	2	1	2	0	2	3	3	2	1	1	3	1	1	2	0	0	1	1	2	1	1	2	0	10	40		
29	1	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	8	32		

Taulukossa 14 on kuvattu LOW NP:n BVR-ilmataistelun NP-elementit, jotka kaikki arvioijat löysivät. Keskimäärin 16 arvioijaa, eli 64% antoi saman NP-arvosanan kuin referenssiarvosana.

Taulukon 15 ensimmäisessä sarakkeessa on referenssiarvosanojen lukumäärät NP-arvosanoittain jatkotarkasteluun otettujen NP-elementtien osalta. Taulukon 15 toisessa sarakkeessa on arvioijien antamien NP-arvosanojen keskiarvot ja arvioijien antamien NP-arvosanojen keskihajonnat näille referenssiarvosanojen eri NP-arvosanoille.

Taulukko 15. Referenssiarvosanojen lukumäärät (N) NP-arvosanoittain ja arvioijien antamat NP-arvosanojen keskiarvot (ka) ja keskihajonnat (s).

Referenssiarvosanat		Arvioijien antamat NP-arvosanat	
NP-arvosana	N	ka	s
0	4	0.50	0.44
1	15	1.05	0.50
2	15	2.09	0.26
3	66	2.83	0.21

Taulukosta 15 on nähtävissä, että referenssiarvosanoissa NP-arvosana 0 annettiin neljälle NP-elementille. Näille NP-elementeille arvioijat antoivat keskiarvollisesti NP-arvosanan 0.50 ja NP-arvosanojen keskihajonta oli 0.44. Referenssiarvosanoissa NP-arvosana 1 annettiin 15 NP-elementille. Näille NP-elementeille arvioijat antoivat keskiarvollisesti NP-arvosanan 1.05 keskihajonnan ollessa 0.50. Referenssiarvosanoissa NP-arvosana 2 annettiin 15 NP-elementille. Näille NP-elementeille arvioijat antoivat keskiarvollisesti NP-arvosanan 2.09 ja NP-arvosanojen keskihajonta oli 0.26. Referenssiarvosanoissa NP-arvosana 3 annettiin 66 NP-elementille. Näille NP-elementeille arvioijat antoivat keskiarvollisesti NP-arvosanan 2.83 keskihajonta ollessa 0.21.

Taulukon 16 ensimmäisessä sarakkeessa on lueteltu eri BVR-ilmataistelut. Taulukon toisessa sarakkeessa on referenssiarvosanojen keskiarvot ja keskihajonnat eri BVR-ilmataisteluille. Taulukon kolmannessa sarakkeessa on arvioijien antamien NP-arvosanojen keskiarvot ja keskihajonnat eri BVR-ilmataisteluille.

Taulukko 16. BVR-ilmataistelut. Referenssiarvosanojen ja arvioijien antamien NP-arvosanojen keskiarvot (ka) ja keskihajonnat (s) eri BVR-ilmataisteluissa.

BVR-ilmataistelu	Referenssiarvosanat		Arvioijien antamat NP-arvosanat	
	ka	s	ka	s
HI	2.93	0.25	2.82	0.42
MED	2.45	0.75	2.39	0.84
LOW	1.86	1.16	1.82	1.18

Taulukosta 16 nähdään, että arvioijien antamat NP-arvosanat olivat varsin lähellä referenssiarvosanoja. HI NP:n BVR-ilmataistelussa referenssiarvosanojen keskiarvo oli 2.93 ja arvioijien NP-arvosanojen keskiarvo oli 2.82. Molempien lukujen keskihajonta pysyi välillä 0.25-0.42. Keskinäisen NP:n BVR-ilmataistelussa referenssiarvosanojen keskiarvo oli 2.45 ja arvioijien NP-arvosanojen keskiarvo oli 2.39. BVR-ilmataistelun keskihajonnat olivat välillä 0.75- 0.84. Matalan NP:n BVR-ilmataistelussa referenssiarvosanojen keskiarvo oli 1.86 ja arvioijien NP-arvosanojen keskiarvo oli 1.82. Keskihajonnat olivat välillä 1.16-1.18.

Asiantuntijaryhmän määrittämät referenssiarvosanat toimivat tässä tutkimuksessa vertailukohteina. Aineisto analysoitiin SPSS-ohjelmistolla. Tässä tutkimuksessa arvioijien välistä yksimielisyyttä arvioitiin Fleissin Kappa:lla. Taulukossa 17 ensimmäisessä sarakkeessa on referenssiarvosanojen lukumäärät NP-arvosanoittain. Toisessa sarakkeessa on arvioijien antamien NP-arvosanojen keskiarvot, keskihajonnat, kappa-luvut ja kappa-lukujen P-arvot. Kolmannessa sarakkeessa on arvioijien antamien NP-arvosanojen prosenttiosuudet referenssiarvosanoista sekä keskiarvon että keskihajonnan osalta.

Taulukko 17. Referenssiarvosanojen lukumäärät (N) NP-arvosanoittain. Arvioijien antamien NP-arvosanojen keskiarvot (ka), keskihajonnat (s), kappa-luvut (K) ja kappa-lukujen P-arvot (P). Arvioijien antamien NP-arvosanojen prosenttiosuus referenssiarvosanoista sekä keskiarvon (ka) että keskihajonnan osalta (s).

Referenssiarvosanat		Kappa-luvut				Prosenttiosuus	
NP-arvosana	N	ka	s	K	P	ka	s
0	4	0.50	0.44	0.454	<0.001	60.00	26.73
1	15	1.05	0.50	0.323	<0.001	52.27	18.39
2	15	2.09	0.26	0.189	<0.001	49.60	13.02
3	66	2.83	0.21	0.552	<0.001	85.28	16.27
kaikki	100	1.62	0.35	0.398	<0.001	73.96	22.88

Taulukon 17 mukaisesti, laskettu kokonais Kappa osoittaa kohtalaista (engl. fair) yksimielisyyttä arvioijien välillä. Referenssiarvosanat 0 ja 3 Kappa osoittaa keskinkertaista (engl. moderate) yksimielisyyttä sekä referenssiarvosanoille 1 ja 2 yksimielisyys on kohtalaista (engl. fair) ja heikkoa (engl. slight). (Landis #65) Taulukossa 17 on esitetty arvioijien ja referenssiarvosanojen suhde. Arvioijien antamat NP-arvosanat olivat välillä 49.60% ja 85.28%, keskiarvon ollessa 73,96%.

Pearsonin korrelaatiokertoimella laskettiin korrelaatio referenssiarvosanoille ja arvioijien antamille NP-arvosanoille. Kahden muuttujan välinen korrelaatio on tilastollisesti merkittävä ($r=0.933$, $N=100$, $p<0.001$).

Tässä luvussa kuvattiin testaustapahtuman osallistujat, koeasetelma, V-simulaatiolennon BVR-ilmataistelut ja testaustapahtuman tulokset. Tuloksissa on kuvattuna jatkotarkasteluun otetut NP-elementit kolmessa BVR-ilmataistelussa. NP-elementtien referenssiarvosanoja verrataan arvioijien antamiin NP-arvosanoihin. Tämän lisäksi vertaillaan arvioijien antamien NP-arvosanojen keskiarvoja eri BVR-ilmataisteluiden osalta. Arvioijien yksimielisyyttä kuvataan Fleissin Kappalla ja korrelaatiota referenssiarvosanojen ja arvioijien antamien NP-arvosanojen välillä. Testaustapahtuman tuloksista keskustellaan luvussa 5.

5. DISKUSSIO

Tässä luvussa keskustellaan testaustapahtuman tuloksista ja NP-mittausmenetelmän toimivuudesta, sekä arvioidaan testaustapahtuman tulosten luotettavuutta. Luvussa käsitellään myös NP-mittausmenetelmän soveltamista koulutuksessa ja TTP:n kehittämisessä. Luvussa vastataan tutkimuksen kolmanteen alakysymykseen, eli "miten NP-mittausmenetelmä toimii V-simulaatiolennolla?".

5.1. NP-mittausmenetelmän toimivuus

Tässä tutkimuksessa ja ilmataistelussa NP kuvaa miten tarkkaan hävittäjäparven jäsenet noudattavat käskettyjä TTP:itä. NP mitataan arvioimalla NP-elementteihin liittyvien TTP-sääntöjen ja sääntöjen arvojen noudattamista. NP-mittausmenetelmän avulla voidaan todentaa, onko hävittäjäparvi noudattanut käskettyjä TTP:itä. NP:n mittaamisessa arvioidaan sekä TTP-säännön noudattamisen tarkkuutta, että TTP-säännön noudattamattomuuden vaikutuksia parven kykyyn toteuttaa TTP:tä. Ilman NP-mittausmenetelmää on vaarana, että TTP:n, joukon ja sotavarusteen hyvyyttä arvioidaan väärin perustein ja hyvyydestä tehdään vääriä johtopäätöksiä [10]. Esimerkiksi joukolla voi olla hyvä OP, vaikka se ei noudata TTP:tä tai päinvastoin. Toisaalta TTP tai sotavaruste saatetaan arvioida huonoksi, vaikka havaittu huonous johtuu huonosta NP:stä.

Tutkimuksessa kehitettyä NP-mittausmenetelmää ja muita hävittäjäparven suorituskykymittariston mittareita on suositeltavaa käyttää samaan aikaan. Suorituskykymittariston tulokset antavat asiantuntijalle kokonaisvaltaista tietoa TTP:n hyvyydestä. Suorituskykymittariston avulla on mahdollista todeta, jos TTP on liian haastava johtuen esimerkiksi siitä, että hävittäjäparven tilannetietoisuus ei ole riittävä tai kognitiivinen kuormitus on liian korkea. Hävittäjäparven NP voi näissä tapauksissa olla hyvä tai huono, mutta ainoastaan mittariston osamittareiden tuloksia kokonaisvaltaisesti tarkastelemalla on mahdollista saada käsitys TTP:n hyvyydestä. [10]

BVR-ilmataistelu on systeeminä dynaaminen ja kompleksinen. Ilmataistelun elementtien vuorovaikutussuhteet ovat monimutkaisia ja niissä voi olla viiveitä. Tämän takia myös hävittäjäparven toiminnan syy-seuraussuhteita voi olla vaikea tunnistaa. [10] TTP:n noudattamattomuuden seuraukset ovat yleensä objektiivisesti ja yksiselitteisesti todennettavissa lentotallenteilta ja lennon rekonstruktioista. Seurausten syy-yhteys tiettyyn TTP-säännön noudattamattomuuteen perustuu kuitenkin yleensä subjektiiviseen arvioon ja syy-yhteys on harvoin yksiselitteinen. Tarkastellaan esimerkiksi tilannetta, jossa BVR-ilmataistelussa vihollisen ohjus tuhoaa parven jäsenen koneen. Kuvitellaan, että tilannetta edeltää tapahtumaketju, jossa parven jäsen ei ole noudattanut päätöksentekoaikaisuuksiin liittyviä TTP-sääntöjen arvoja, ei ole käyttänyt TTP-sääntöjen mukaisia elektronisen puolustautumisen keinoja eikä ole noudattanut käskettyjä etsinnän, taktisen kommunikaation, datalinkin hyödyntämisen ja vihollisen ampu-masektorin hallinnan TTP-sääntöjä ja sääntöjen arvoja. Kaikki TTP-sääntöjen noudattamattomuudet ovat siis saattaneet vaikuttaa seuraukseen, mutta on hankalaa määrittää objektiivisesti ja yksiselitteisesti missä määrin kukin yksittäinen noudattamattomuus vaikutti seuraukseen. Joskus NP-elementtejä pitää arvioida myös yhdessä, jotta syy-seuraussuhteet ja vaikuttavuus tulevat oikein tulkittua.

Tässä tutkimuksessa kirjallisuudesta kartoitettiin hävittäjäparven toiminnan kannalta keskeisiä NP-elementtejä. Kirjallisuudesta löytyi 131 NP-elementtiä, joista NP-elementtien lopulliseen listaan valittiin 14 NP-elementtiä. Lopullisen listan NP-elementtien valinnassa ja muotoilussa hyödynnettiin asiantuntijaryhmää ja palveluksessa olevia hävittäjäohjaajia. Testaustapahtumassa testattiin NP-mittausmenetelmän toimivuutta. Testaustapahtumassa #2 siipimiehen lentotallenteilta ja lennon rekonstruktioista todennettiin 153 NP-elementtiä. NP-elementeistä arvioijat löysivät ja arvioivat 95,4%. Tulokset indikoivat NP-elementtien olevan arvioijien löydettävissä. NP-elementit olivat tuttuja koulutetuille hävittäjäohjaajille ja lennolle osallistumattomat arvioijat kykenivät ne pääosin tunnistamaan. Testaustapahtumassa arvioijilta kysytyssä vapaassa palautteessa ei ilmennyt uusia tai vaihtoehtoisia NP-elementtejä. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että lopullisen listan NP-elementit ovat käyttökelpoisia ja kattavia NP-mittausmenetelmässä käytettäväksi.

Kaikki arvioijat löysivät 100 NP-elementtiä, joka oli 65,36% kaikista BVR-ilmataisteluiden sisältämistä NP-elementeistä. Taulukon 11 mukaiset ja kaikkien arvioijien arvioimat 100 NP-elementtiä otettiin jatkotarkasteluun. Jatkotarkastelun tulokset osoittivat, että arvioijien arvioinnit eivät merkittävästi poikenneet referenssiarvosanoista. Taulukoiden 12, 13 ja 14 referenssiarvosanoista ja arvioijien antamista NP-arvosanoista 73% oli samoja. Tuloksia tukee myös referenssiarvosanojen ja arvioijien antamien NP-arvosanojen korrelaatio, joka oli tilastollisesti merkittävä ($r=0.933$, $p<0.001$).

66 referenssiarvosanaa "3" arvioitiin arvioijien toimesta 1424 kertaa NP-arvosanaksi "3", 194 kertaa NP-arvosanaksi "2", 32 kertaa NP-arvosanaksi "1", mutta ei kertaakaan NP-arvosanaksi "0". Arviointiasteikossa "3" tarkoittaa, että TTP:tä noudatettiin. Vaikka arvioijat eivät minkään NP-arvosanan "3" osalta olleet täysin yksimielisiä, on huomattavaa, että NP-arvosanoissa oli vain vähän suuria poikkeamia referenssiarvosanoista. Tulos osoittaa, että arvosanan "3" osalta 86.3% tapauksissa arvioijat olivat yksimielisiä.

15 referenssiarvosanaa "2" arvioitiin arvioijien toimesta 116 kertaa NP-arvosanaksi "3", 194 kertaa NP-arvosanaksi "2", 58 kertaa NP-arvosanaksi "1" ja 7 kertaa NP-arvosanaksi "0". Arviointiasteikossa "2" tarkoittaa, että TTP:tä ei noudatettu, mutta sillä ei ole vaikutusta hävittäjäparven TTP:n toteuttamiselle. Referenssiarvosanan "2" kohdalla hajontaa oli selvästi enemmän kuin referenssiarvosanan "3" kohdalla. Joissain NP-elementeissä oli enemmän kuin yksi TTP-sääntö noudatettavana. Hajonnan voidaan olettaa johtuvan siitä, että jos NP-elementin yhtä TTP-sääntöä noudatetaan arvioinnin aikavälillä, mutta toista TTP-sääntöä ei noudateta, niin arviointi aiheuttaa hajontaa. Tämän perusteella voidaan olettaa, että yhdellä arvioinnin aikavälillä kannattaa arvioida yhden NP-elementin osalta vain yhtä TTP-sääntöä kerrallaan. Arvioinnin subjektiivisuus korostuu, kun TTP-säännön noudattamattomuuden vaikutukset ovat hävittäjäparven TTP:n toteuttamiseen vähäiset. Arvioinnin subjektiivisuutta voidaan vähentää käskemällä riittävän tarkat TTP-sääntöjen arvot. Näin meneteltäessä tulkittavaikeuksia ei todennäköisesti ilmene ja tällöin arvioinnin hajonta pienenee.

15 referenssiarvosanaa "1" arvioitiin arvioijien toimesta 25 kertaa NP-arvosanaksi "3", 57 kertaa NP-arvosanaksi "2", 199 kertaa NP-arvosanaksi "1" ja 94 kertaa NP-arvosanaksi "0". Arviointiasteikossa "1" tarkoittaa, että TTP:tä ei noudatettu ja noudattamattomuudella oli negatiivinen vaikutus TTP:n toteuttamiseen, mutta vaikutus ei ollut merkittävä. 78,2% arvioijista arvioi TTP:n noudattamattomuuden vaikutukset negatiivisiksi, osa merkittäviksi ja osa ei. Tulosten valossa on mahdollista, että arvioijien oli haasteellista määrittää NP-arvosanoja "1" ja "0" erottava sana "merkittävä" (engl. significant). Tulos kuitenkin osoittaa, että arvioijien käsitys negatiivisista vaikutuksista oli samankaltainen. Arviointiasteikkoon sana "merkittävä" valittiin siksi, että ohjaajien oletettiin osaavan määrittää mikä on ilmataistelussa merkittävää ja mikä ei. Arviointiasteikon sanavalinnalla pyrittiin parantamaan arviointiasteikon yleistettävyyttä siten, että vaikutuksia voidaan arvioida monenlaisissa ilmataistelutilanteissa.

Neljää referenssiarvosanaa "0" ei arvioitu arvioijien toimesta kertaakaan NP-arvosanaksi "3", mutta ne arvioitiin 10 kertaa NP-arvosanaksi "2", 30 kertaa NP-arvosanaksi "1" ja 60 kertaa NP-arvosanaksi "0". Arviointiasteikossa "0" tarkoittaa, että TTP:tä ei noudatettu ja noudattamattomuudella oli negatiivinen vaikutus TTP:n toteuttamiseen, vaikutus oli merkittävä. Referenssiarvosanan "0" NP-elementeissä siipimiehen TTP-sääntöjen rikkomukset ja vaikutukset olivat merkittäviä. 90 % arvioijista arvioi vaikutukset negatiivisiksi ja 60% negatiivisiksi sekä merkittäviksi. Havaintojen perusteella vaikuttaa siltä, että arvioijien mielestä merkittävää on ainakin se, jos TTP-säännön noudattamattomuus aiheuttaa hävittäjäparvelle tappioita. Näin tapahtui parvelle LOW NP:n BVR-ilmataistelussa.

Yhteenvedona arviointiasteikosta voidaan sanoa, että arviointiasteikon ääripäissä olevat NP-arvosanat "3" ja "0" arvioidaan melko luotettavasti. Taulukon 17 mukaiset arvioijien antamien NP-arvosanojen prosenttiosuudet tukevat tätä johtopäätöstä. Taulukon 15 ja 17 tulokset myös osoittavat, että arvioinnin hajontaa lisäsivät tilanteet, joissa arvioidaan TTP:n noudattamattomuuden vaikutusten merkittävyyttä. Taulukossa 17 olevat arvioijien yksimielisyyttä kuvaavat NP-arvosanojen kappa-luvut myös tukevat tätä päätelmää. On kuitenkin huomattava, että Fleissin kappa soveltuu tilanteisiin, jossa ei tiedetä referenssiarvosanoja. Tässä työssä referenssiarvosanat tiedettiin, joten kappa-arvot eivät tuo merkittävää lisäarvoa.

Tuloksista voidaan nostaa esiin se, että yhtään referenssiarvosanaa "3" ei arvioitu "0":ksi eikä yhtään referenssiarvosanaa "0" arvioitu "3":ksi. Kokonaisuutena voidaan sanoa, että asiantuntijaryhmän ja arvioijien välillä vallitsi kohtalainen yhteisymmärrys TTP:n noudattamisesta ja noudattamattomuudesta ja sen vaikutuksista. Testaustapahtuman tulokset indikoivat myös TTP-sääntöjen ja sääntöjen arvojen onnistunutta asettelua. Voidaan olettaa, että vaikka tiettyjen tilanteiden osalta NP-elementtien arvioinnissa on hajontaa, niin TTP:n kehityksen kannalta merkittävät NP-elementit tulevat esille.

NP-mittausmenetelmää kyetään testaamaan NP manipulaation ja referenssiarvosanojen avulla. Testaustapahtumassa #2 siipimies käskettiin lentämään eri BVR-ilmataisteluissa HI, MED ja LOW NP:llä. NP manipulaatio onnistui ja taulukosta 16 nähdään, että arvioijien antamat NP-arvosanat olivat varsin lähellä referenssiarvosanoja kaikissa eri BVR-ilmataisteluissa.

NP:n mittaaminen kyettiin toteuttamaan testaustapahtumassa laadukkaasti ja NP-elementit sekä arviointiasteikko osoittautuivat toimiviksi. Tämän diplomityön pohjalta on tehty käsikirjoitus, joka on parhaillaan vertaisarvioitavana [70].

5.2. NP-mittausmenetelmän soveltaminen

TTP:n kokonaisvaltaisessa kehittämisessä ja vertaamisessa on suositeltavaa käyttää kaikkia lopullisen listan NP-elementtejä. NP-mittausmenetelmä soveltuu hyvin myös koulutukseen, jossa lopullisen listan NP-elementtejä voi muokata lennon ja tarpeen mukaan. Koulutuslennolle voidaan valita ne NP-elementit, joita tietyllä lennolla halutaan mitata ja jotka tukevat lennon koulutustavoitteita. NP-elementtien hyödyntäminen koulutuksessa parantaa lentotehtävän läpikäynnin laatua kohdentamalla lennon lentäneiden ohjaajien huomiota lennon kannalta keskeisiin taktisiin tapahtumiin. NP:tä voi lennon jälkeen verrata lennon koulutuksellisiin tavoitteisiin, jotka on kirjoitettu ilmavoimallisiin lentokoulutusohjelmiin. Näin voidaan varmistua, että haluttu oppiminen on tapahtunut ja tavoitteet on saavutettu mitattujen NP-elementtien osalta.

Arviointiasteikkona saattaa joskus olla perusteltua käyttää yksinkertaisempaa versiota, jos joukon, sotavarusteen ja TTP:n kehittämisessä ja vertaamisessa päätöksentekijä hyväksyy yksinkertaisemman NP-indeksin tai jos koulutuksessa riittää TTP:n noudattamisen tai noudattamattomuuden määrittäminen. Yksinkertaisemmassa arviointiasteikossa on ainoastaan NP-arvosanat "0" ja "1". Tällöin NP-arvosana "0" tarkoittaa, että TTP:tä ei noudatettu ja NP-arvosana "1" tarkoittaa, että TTP:tä noudatettiin. Yksinkertaisemmassa arviointiasteikossa ei tarvitse tehdä analyysiä noudattamattomuuden vaikutuksista, mutta silläkin saadaan mitattua hävittäjäparven NP-indeksi. Toisaalta jos vaikutusten arviointia ei tehdä, niin ei tiedetä miten TTP-säännön noudattamattomuus vaikutti hävittäjäparven TTP:n toteuttamiseen. Tällöin NP-indeksi ei anna asiantuntijalle kokonaisvaltaista ymmärrystä hävittäjäparven NP:stä ja TTP:n noudattamattomuuksien vaikutuksista. Suositeltavaa on käyttää tässä tutkimuksessa käytettyä arviointiasteikkoa.

Jos NP-mittausmenetelmää käytetään TTP:n kehittämiseen, niin arviointiasteikkoon voi lisätä myös lisävaihtoehdon. Vaihtoehto on, että TTP:tä ei noudatettu mutta vaikutus oli positiivinen hävittäjäparven tehtävien toteuttamiseen. Jos noudattamattomuuden vaikutus oli positiivinen, voi sillä olla merkitystä TTP:n kehitystyölle. Esiin voi nousta asioita, jotka toteuttamalla hävittäjäparvi saavuttaa paremman Pk:n tai Ps:n. Tämä lisävaihtoehto nousi esiin yhdestä testautapahtuman palautelomakkeesta.

Testaustapahtumassa käytettiin kuvan 15 mukaista keräyslomaketta, joka toimi hyvin. Keräyslomake oli yksinkertaistettu versio luvussa 3 esitetystä keräyslomakkeesta. Luvun 3 keräyslomakkeella varmistetaan, että tehtävänannossa määrätyt TTP-säännöt ja sääntöjen arvot kirjataan parven jäsenten toimesta omiin lappuihin. Lentotehtävän läpikäynnissä kannattaa käyttää samaa lomaketta, johon TTP-säännöt ja sääntöjen arvot on kirjattu. Tämä helpottaa arviointia. Käytettäessä arviointiasteikkoa 0-3 keräyslomakkeeseen saattaa olla perusteltua lisätä tyhjä tekstikenttä, johon arvioija voi antaa lisätietoja TTP:n noudattamattomuuksien vaikutuksista. Lisätietoja voidaan hyödyntää joukkojen, sotavarusteiden ja TTP:iden kehittämisessä ja vertaamisessa.

NP:n arviointi voidaan suorittaa eri aikaväleillä. Arviointi voidaan suorittaa lennon eri vaiheiden jälkeen tai jokaisen kill chain:n vaiheen muutoksen jälkeen. Pitää kuitenkin huomata, että mitä pidempi arvioitava aikaväli on, niin sen epätarkempaa mittaaminen on. Epätarkkuutta aiheuttaa erityisesti tilanne, jossa samaan NP-elementtiin liittyvää TTP:tä on toteutettu useammin kuin kerran yhdellä arviointivälillä. Yleensä BVR-ilmataistelun aikana parven jäsenellä on useampi kill chain hallinnoitavana [12]. Esimerkiksi jos parven jäsen hyökkää samaan aikaan kahta eri maalia vastaan, on parven jäsenellä hallinnoitavanaan kaksi kill chain:ia. Tämä saattaa aiheuttaa NP:n arvioinnissa ristiriitaa, jos toinen ammunta suoritettiin TTP-säännön arvon mukaan, mutta toinen ammunta ei. Testaustapahtuman perusteella suositeltavinta on pysäyttää lentotallenteiden toisto ja arvioida NP aina, kun lentotallenteilla havaitaan suoritettu NP-elementti. Tällöin varmistetaan mahdollisimman tarkka NP:n mittaustulos.

Kaikki testaustapahtuman tulokset puoltavat sitä, että NP-mittausmenetelmä soveltuu myös L-simulaatioihin. L-simulaatioissa toteutetaan vastaavat tehtävänanto- ja lentotehtävän läpikäyntitilaisuuDET kuin V-simulaatioissa. Sen lisäksi L-simulaatioissa käytetään yleensä samoja lentotehtävän läpikäyntiin tarkoitettuja laitteita, jotka mahdollistavat tarkan arvioinnin tekemisen. Testaustapahtumassa NP arvioitiin ja laskettiin yhdelle parven jäsenelle. Samalla menetelmällä NP voidaan laskea koko hävittäjäparvelle, käyttämällä luvussa 3 esitettyjä periaatteita NP-indeksin laskemisesta.

5.3. NP-mittausmenetelmän luotettavuuden arviointi

Validiteetti ilmaisee sen, miten hyvin tutkimuksessa käytetty mittausmenetelmä mittaa juuri sitä tutkittavan ilmiön ominaisuuksia, mitä on tarkoituskin mitata [69]. Tutkimuksessa kehitetyn NP-mittausmenetelmän tarkoituksena on mitata hävittäjäparven NP:tä. Kuten luvussa 2 on kuvattu, NP-elementtien valinta tehtiin läpinäkyvästi ja monipuolisesti, koska kaikki NP-elementtien valintojen vaiheet ja listat on raportoitu tutkimuksessa. Valinnoissa hyödynnettiin asiantuntijaryhmää ja koulutettuja F/A-18 ohjaajia. NP-elementtien valintaa voidaan pitää tältä osin luotettavana.

Arvioijille annettiin noin 10 minuutin alustus NP-mittausmenetelmästä ja arvioitavasta simulaattorilennosta. Arvioijilta kysytyssä vapaassa palautteessa pyrittiin saamaan palautetta NP-elementeistä ja NP-mittausmenetelmän käytettävyydestä. NP-elementtien osalta tuli kehitysehdotuksia, jotka koskivat NP-elementtien "polttoaineen kulutuksen hallinta" ja "elektroninen hyökkääminen" tarpeellisuutta. Palautteiden perusteella oli pääteltävissä, että NP-mittausmenetelmä on sekä NP-elementtien että NP:n mittaamisen osalta käyttötarkoitukseensa nähden riittävän yksinkertainen. Palautteet osoittavat NP-mittausmenetelmän toimivuutta käyttöliittymän ja käytettävyyden kannalta.

NP-mittausmenetelmän toimivuutta todennettiin V-simulaatiolennolla. Testaustapahtuma osoitti, että NP-mittausmenetelmä on rakennettu siten, että se vastaa käyttötarkoitustaan ja tuottaa oikean laatuista tuloksia. On kuitenkin huomattava, että toimivuuden testaaminen voitaisiin tehdä myös L-simulaatiolennolla ja koko hävittäjäparvelle, jolloin NP-mittausmenetelmän käyttökohteet monipuolistuisivat ja luotettavuus kasvaisi.

V-simulaatiolento toteutettiin BOR:n näkökulmasta, joka tarkoittaa operaatioanalyysissä ihmisten toiminnan ja inhimillisten tekijöiden huomiointia [53]. Testaustapahtumassa arviointi suoritettiin 1-2 hengen ryhmissä. Järjestelyllä pyrittiin ehkäisemään arvioijien vaikuttaminen toistensa vastauksiin. NP-arvosanojen keräämisen yhteydessä arvioijat eivät saaneet kysyä mitään eivätkä voineet pysäyttää, kelata tai tarkentaa lentotallenteita tai lennon rekonstruktioita. Testaustapahtumassa järjestettiin 19 erillistä arviointitapahtumaa. Tässä työssä BOR:n näkökulmaa hyödynnettiin yhdistämällä inhimillinen päätöksenteko ja ihmisen toiminta mallinuksen kanssa.

Tutkimuksen reliabiliteetti ilmaisee sen, miten luotettavasti ja toistettavasti käytetty mittausmenetelmä mittaa haluttua ilmiötä [36]. Testaustapahtuman lennon ohjaajat valittiin satunnaisesti. Lentotehtävä oli tyypillinen BVR-ilmataistelu, jossa sekä TTP-säännöt ja sääntöjen arvot olivat taktisen ohjeistuksen mukaisia. Simulaattorilennon reliabiliteettia lisäsi siipimiehen käsketyt NP:t eri BVR-ilmataisteluissa. Tällä haluttiin testata käytettävää arviointiasteikkoa, varsinkin NP:n noudattamattomuuden vaikutusten eli NP-arvosanojen 2, 1 ja 0 osalta. Referenssiarvosanojen ja arvioijien antamien NP-arvosanojen keskiarvot osoittavat, että arviointiasteikko ymmärrettiin hyvin. Toisaalta noudattamattomuuden vaikutusten subjektiivinen arviointi lisää NP-arvosanojen keskihajontaa, koska hävittäjäparven toiminnan syy-seuraussuhteita voi olla haastava määrittää. Testaustapahtuman tulokset sekä referenssiarvosanoille ja arvioijien antamille NP-arvosanoille laskettu Pearsonin korrelaatiokertoimen tilastollinen merkittävyys indikoivat NP-mittausmenetelmän olevan luotettava. Reliabiliteetin parantamiseksi testaustapahtuma olisi voitu toistaa ajallisella porrastuksella, mutta sitä ei tehty ajanpuutteen vuoksi. Toinen testaustapahtuma olisi antanut lisää tuloksia NP-mittausmenetelmän toistettavuudesta. L- ja V-simulointimenetelmiä käyttämällä mahdolliset virheet ja virheiden vaikutukset voitaisiin havaita.

Testaustapahtumaan osallistuneet arvioijat olivat koulutettuja F/A-18 hävittäjäohjaajia. Kokenein ohjaaja oli lentänyt 1250 tuntia ja kokemattomin 210 tuntia. Tutkimuksen testaustapahtuma osoitti, että testaustapahtumaan osallistuneet arvioijat kykenivät tunnistamaan NP-elementit lentotallenteilta ja lennon rekonstruktioista kokemuseroista huolimatta ja antamaan NP-elementeille NP-arvosanat, jotka olivat lähellä referenssiarvosanoja. Tulos lisää NP-mittausmenetelmän yleistettävyyttä ja käytettävyyttä.

Kokonaisuutena NP-mittausmenetelmän validiteetti on hyvä, koska tutkimusote ja siinä käytetyt menetelmät vastaavat tutkittavaa ilmiötä. Lisäksi testaustapahtuman kohderyhmä ja kysymykset olivat oikeita testaustapahtuman tulosten perusteella. Testaustapahtuman olosuhteet pyrittiin vakioimaan ja samalla tekemään niistä toistettavat reliabiliteetin parantamiseksi.

5.4. Jatkotutkimusmahdollisuudet

Mansikka, Virtanen, Harris ja Jalava ovat artikkelissaan: *Measurement of team performance in air combat - have we been underperforming?* kehittäneet hävittäjäparven tehtävätyön kokonaissuorituskykyä luonnehtivan mittariston. Suorituskykymittaristo on viisiosainen ja NP:n lisäksi siihen kuuluvat OP, TSA, MWL ja TP mittarit. [10]

Tässä työssä kehitettiin NP-mittausmenetelmä. OP kuvaa hävittäjäparven suorituksen lopputuotteen ja asetettujen tavoitteiden ja tehtävien suhdetta. OP:ta mitattaessa voidaan laskea esimerkiksi ilmavoittoja ja omia tappioita tai niiden suhdetta, laskea ohjuskulutusta tai ilmatilan hallinnan tasoa. [10] TSA:n mittaamiseen on kehitetty menetelmä, jolla parven jäsenten tilannetietoisuus kyetään mittaamaan [24]. MWL kuvaa parven jäsenten kognitiivisten resurssien ja työn vaatimien resurssien eroa [25]. Tällä hetkellä suositeltavin mittausmenetelmä parven jäsenten MWL:n mittaamiseksi ilmataistelussa on NASA-TLX [26]. NASA-TLX on subjektiivinen mittausmenetelmä, jossa lennon jälkeen ohjaajilta kysytään mielipidettä tehtävän kognitiivisesta kuormituksesta kuuden eri dimension suhteen [27]. TP saadaan mittaamalla hävittäjäparven kill chain- ja live chain- prosessien toteutumista [10]. TP:n mittaamiseen ei ole esitelty mittaria julkisen ulkomaisen tai kotimaisen aineiston mukaan. TP-mittarin kehittämisessä voi noudattaa tämän tutkimuksen testaustapahtuman peruseriaatetta referenssiarvosanojen ja arvioimisen suhteen.

Tässä työssä arvioitiin vain yhden siipimiehen NP:tä. Perusteltua olisi arvioida koko hävittäjäparven NP ja laskea hävittäjäparvelle NP-indeksi L-simulaatiolennolla. Koko hävittäjäparvea voisi arvioida tämän työn peruseriaatteiden mukaisesti. Tutkimuksessa voisi testata myös tässä työssä esitelty NP-keräyslomake.

Pyrittäessä kokonaisvaltaisesti ymmärtämään hävittäjäparven suorituskykyä tulee parven tehtävätyön mittaamisessa huomioida parven kompetenssi, hävittäjän soveltuvuus tehtävään ja sovellettavat TTP:t. Tämän vuoksi tulee tarkastella myös tehtävätyön välituotteita ja prosessia, joiden avulla lopputuote saavutetaan. Kokonaissuorituskykyä mitattaessa hävittäjäparven suorituskykymittariston mittareita tulee käyttää samaan aikaan. [10] Hävittäjäparven L-simulaatiolennolle voisi lisätä mukaan muitakin hävittäjäparven suorituskykymittariston mittareita. Mittareiden hyödyntäminen päivittäisessä lentopalveluksessa mahdollistaisi jatkuvan kokonaissuorituskyvyn mittaamisen. Samalla olisi mahdollista mitata esimerkiksi TTP:n hyvyttä.

NP-mittausmenetelmän kannalta olisi hyödyllistä jatkotutkia NP-elementtejä ja varmistaa, että NP-elementtien lopullisen listan NP-elementit ovat oikeat. Jatkotutkimuksessa testattaisiin valitsevatko arvioijat samat NP-elementit kuin mitkä NP-elementtien lopullisessa listassa on, jos pitäisi etsiä TTP:n toteutuksen kannalta merkityksellisiä elementtejä. Arvioijina voisi toimia kokeneita F/A-18 ohjaajia. Tämä voitaisiin toteuttaa tämän tutkimuksen testaustapahtuman V-simulaatiolennon lentotallenteilla ja lennon rekonstruktioilla.

NP:n mittaamisen periaatteet ovat laajennettavissa myös maa- ja merivoimiin. Mittaus vaatii, että saadaan toiminta taltioitua ja on olemassa jonkinlainen TTP sekä tunnetaan referenssiarvot. Ilmavoimissa NP-mittausta voitaisiin hyödyntää taistelunjohtamisessa. Taistelunjohtajan toiminnoista voidaan BVR-ilmataistelussa määrittellä keskeiset NP-elementit, määrittää referenssiarvot ja taltioida toiminta. Tämän lisäksi NP-mittari voidaan rakentaa tyypilliselle ilmasta-maahan (air-to-ground, A/G) -lennolle, joka oli rajauksena tässä työssä.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tutkimustehtävänä oli kehittää tapa mitata hävittäjäparven normatiivista suorituskkyä BVR-ilmataistelulennolla. Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää NP-mittausmenetelmä. Diplomityön pääkysymyksenä oli "miten hävittäjäparven normatiivista suorituskkyä voidaan mitata BVR-ilmataistelulennolla?". Pääkysymystä tuettiin kolmella alakysymyksellä:

1. Mistä NP-elementeistä BVR-ilmataistelu koostuu ja mitkä niistä ovat hävittäjäparven kannalta keskeisimmät?
2. Millainen NP-mittausmenetelmä on ja miten NP mitataan?
3. Miten NP-mittausmenetelmä toimii V-simulaatiolennolla?

Tämän diplomityön luvussa 3 esiteltiin hävittäjäparven NP-mittausmenetelmä. NP-mittausmenetelmään kuuluu NP-elementtien lopullisen listan NP-elementit, niihin liittyvä arviointiasteikko sekä NP:n mittaaminen. NP-mittausmenetelmän kehittämisessä käytettiin operaatiotutkimuksen menetelmistä mallinnusta. NP-mittausmenetelmä kehitettiin sopimaan kaikkiin A/A BVR-ilmataistelulentoihin. NP:n mittaaminen rajattiin koskemaan hävittäjäparven DCA-tehtävätyyppejä. Tutkimuksen näkökulmana oli TTP:iden kehittäminen ja vertaaminen L- ja V-simulaatioissa. Jos TTP:itä kehitetään ilman parven NP:n mittaamista, ei voida tietää onko TTP hyvä vai huono, koska ei tiedetä noudattivatko ohjaajat käskettyä TTP:tä [10]. NP-mittausmenetelmän avulla, hävittäjäparven normatiivisesta toiminnasta saadaan hyvä käsitys.

NP-mittausmenetelmän testaustapahtumassa käytettiin operaatiotutkimuksen menetelmistä simulointia. Tutkittava ilmiö mallinnettiin ensin sopivalla tarkkuudella, jonka jälkeen malli testattiin simulaatiolla. [51] NP-mittausmenetelmän toimivuutta todennettiin V-simulaatiolennolla. Testaustapahtuma suoritettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa parvi ohjaajia lensi BVR-ilmataistelulennon simulaattoreilla. Parven toisen siipimiehen NP:tä manipuloitiin siten, että hän lensi yhden BVR-ilmataistelun korkealla NP:llä, yhden keskinkertaisella NP:llä ja yhden matalalla NP:llä. Asiantuntijaryhmä arvioi kollektiivisesti siipimiehen NP:n kolmessa eri BVR-ilmataistelussa. Annetut NP-arvosanat toimivat referenssiarvosanoina testaustapahtuman toisen vaiheen arvioijien NP-arvosanoille. Testaustapahtuman toisessa vaiheessa ryhmä arvioijia seurasi simulaattorilennon lentotallenteita ja arvioi siipimiehen NP:tä.

Tämän työn ensimmäiseen alakysymykseen vastattiin luvussa 2, jossa esiteltiin NP-elementtien valinta. Kirjallisuuskatsauksen perusteella löydetystä BVR-ilmataistelun elementteistä muodostettiin NP-elementtien alustava lista. Alustavan listan NP-elementeistä asiantuntijaryhmä kokosi NP-elementtien potentiaalisen listan, jossa NP-elementit muotoiltiin TTP:n toteuttamista kuvaaviksi väittämiksi. 20 F/A-18 ohjaajaa painotti potentiaalisen listan NP-elementit TTP:n toteuttamisen tärkeyden näkökulmasta. Painottamisen jälkeen muodostettiin NP-elementtien lopullinen lista, johon valittiin 14 hävittäjäparven toiminnan kannalta keskeisintä NP-elementtiä. NP-elementtien lopullinen lista on taulukossa 7. Lentoturvallisuus jätettiin lopulliselta listalta pois. Se on enemmänkin kulttuuria kuin yksittäinen NP-elementti, jota sotilasilmailun parissa ylläpidetään koulutuksella ja asennekasvatuksella [68]. Lentoturvallisuuden säilyttämiseksi hävittäjäparvella on erilaisia TTP-säännön arvoja, mutta ne ovat TTP:stä riippumatta lähes aina samoja. Varsinkin L-simulaatioissa lentoturvallisuutta arvioidaan koko ajan ilman NP:n mittaamistakin.

Luvussa 3 vastattiin tutkimuksen toiseen alakysymykseen. Tutkimuksen testaustapahtumassa käytettiin arviointiasteikkoa, joka on kuvassa 12. NP:tä mitattaessa arvioitiin, miten hyvin ohjaaja noudatti NP-elementtiin liittyvää TTP-sääntöä ja säännön arvoa, ja millainen vaikutus mahdollisella noudattamattomuudella oli hävittäjäparven TTP:n toteuttamiseen. NP mittaaminen suoritetaan lennon jälkeen vertaamalla käsketyin TTP-säännön arvoa ja ohjaajan todellisuudessa noudattamaa TTP-säännön arvoa.

Testaustapahtumassa todennettiin NP-mittausmenetelmän toimivuutta. Työn kolmanteen alakysymykseen vastattiin luvussa 5, jossa testaustapahtuman tuloksista keskusteltiin. Testaustapahtumassa siipimiehen lentotallenteilta ja lennon rekonstruktioista todennettiin 153 NP-elementtiä. NP-elementeistä arvioijat löysivät ja arvioivat 95,4%. Tulokset indikoivat NP-elementtien olevan arvioijien löydettävissä. NP-elementit olivat tuttuja koulutetuille hävittäjäohjaajille ja lennolle osallistumattomat arvioijat kykenivät ne pääosin tunnistamaan. Testaustapahtumassa arvioijilta kysytyssä vapaassa palautteessa ei ilmennyt uusia tai vaihtoehtoisia NP-elementtejä. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että lopullisen listan NP-elementit ovat käyttökelpoisia ja kattavia NP-mittausmenetelmässä käytettäväksi. Kaikki arvioijat löysivät 100 NP-elementtiä, joka oli 65,36% kaikista BVR-ilmataisteluiden sisältämistä NP-elementeistä. Taulukon 11 mukaiset ja kaikkien arvioijien arvioimat 100 NP-elementtiä otettiin jatkotarkasteluun. Jatkotarkastelun tulokset osoittivat, että arvioijien arvioinnit eivät merkittävästi poikenneet referenssiarvosanoista. Taulukoiden 12, 13 ja 14 referenssiarvosanoista ja arvioijien antamista NP-arvosanoista 73% oli samoja. Tuloksia tukee myös referenssiarvosanojen ja arvioijien antamien NP-arvosanojen korrelaatio, joka oli tilastollisesti merkittävä ($r=0.933$, $p<0.001$).

Testaustapahtumasta voidaan kokonaisuutena sanoa, että asiantuntijaryhmän ja arvioijien välillä vallitsi yhteisymmärrys TTP:n noudattamisesta ja noudattamattomuudesta. Tulokset indikoivat myös TTP-sääntöjen ja sääntöjen arvojen onnistunutta asettelua. Voidaan olettaa, että vaikka tiettyjen tilanteiden osalta NP-elementtien arvioinnissa on hajontaa, niin TTP:n kehityksen kannalta merkittävät NP-elementit tulevat esille. NP:n mittaaminen onnistui testaustapahtumassa, jossa NP arvioitiin yhdelle parven jäsenelle. Hävittäjäparven NP-indeksiä ei tutkimuksessa laskettu. NP-mittausmenetelmän validiteettia parantaa se, että testaustapahtuman kohderyhmä oli juuri se, kenelle NP-mittausmenetelmä on tarkoitettu käytettäväksi. Tutkimusote ja siinä käytetyt menetelmät vastaavat tutkittavaa ilmiötä. Reliabiliteetin parantamiseksi testaustapahtuman olosuhteet pyrittiin vakioimaan ja samalla tekemään niistä toistettavat.

Hävittäjäparven tehtävyyden kokonaissuorituskykyä luonnehtiva suorituskykymittaristo on viisiosainen ja NP:n lisäksi siihen kuuluvat OP, TSA, MWL ja TP mittarit [10]. Muut mittarit on kehitetty, mutta TP:n mittaamiseen ei ole esitelty mittaria julkisen ulkomaisen tai kotimaisen aineiston mukaan. TP-mittarin kehittämisessä voi noudattaa tämän tutkimuksen testaustapahtuman peruseriaatetta referenssiarvosanojen ja arvioimisen suhteen. NP-mittausmenetelmän kannalta olisi hyödyllistä jatkotutkia NP-elementtejä ja varmistaa, että NP-elementtien lopullisen listan NP-elementit ovat oikeat. Jatkotutkimuksessa testattaisiin valitsevatko arvioijat samat NP-elementit kuin mitkä NP-elementtien lopullisessa listassa on, jos pitäisi etsiä TTP:n toteutuksen kannalta merkityksellisiä elementtejä.

Tämän tutkimuksen NP-mittausmenetelmällä parannetaan Puolustusvoimien sotilaallista suorituskykyä ratkaisunäkökulman osatekijöiden kautta. Osatekijöiden kokonaisuutta kuvataan lyhenteellä DOTMLPFI [19]. Ilmavoimien tutkimus- ja kehittämistoiminnassa kehitetään ja vertaillaan joukkoja, sotavarusteita ja käyttöperiaatteita [20]. NP-mittausmenetelmää voidaan hyödyntää muidenkin osatekijöiden kehittämisessä. Pyrittäessä kokonaisvaltaisesti ymmärtämään hävittäjäparven suorituskykyä tulee parven tehtävyyden mittaamisessa huomioida parven kompetenssi, hävittäjän soveltuvuus tehtävään ja sovellettavat TTP:t [10]. Näissä NP:n mittaaminen on kriittistä, mutta vielä liian vähän hyödynnettyä. Jos NP:tä ei mitata, niin on vaarana, että huono TTP päätyy operatiiviseen käyttöön, hävittäjän suorituskykyä ei hyödynnetä optimaalisesti tai parven TTP:n vastaista toimintaa ei havaita.

NP:n mittaamisen periaatteet ovat laajennettavissa maa- ja merivoimiin. Puolustusvoimien vakiintuneissa käytännöissä NP:n mittaaminen tarkoittaa lähinnä joukkotuotannon koulutussomittauksia. Niissä mitataan, että tehdäänkö kuin on ohjeistettu, opetettu ja käsketty. Tässä työssä esitellyn mittausmenetelmän periaatteita hyödyntäen voidaan NP:n mittaamista suorittaa kaikkialla, jossa on toiminnalle säännöt ja mittaaminen kyetään suorittamaan toiminnan jälkeen.

Ilmataistelua ja sen sisältämiä elementtejä on tutkittu aiemminkin [30][31]. Tässä tutkimuksessa ilmataistelun elementtejä kartoitettiin ensimmäistä kertaa TTP:iden kehittämisen näkökulmasta. Tyypillisesti BVR-ilmataistelussa hävittäjäparven ensisijaisena tavoitteena on pyrkiä saavuttamaan mahdollisimman suuri Pk ja Ps [5]. TTP:n kehittämisen perusajatus on hävittäjäparven Pk:n ja Ps:n maksimoiminen. [11] Tämä huomioitiin työssä, kun NP-elementtejä painotettiin koulutetuilla hävittäjäohjaajilla ja niitä valittiin lopulliseen listaan. Lopullisen listan NP-elementeistä kuusi on suoranaisesti kill chain:iin liittyviä ja kolme NP-elementtiä on suoranaisesti live chain:iin liittyviä. NP-elementtien valinta tukee tutkimuksen näkökulman toteutumista NP-mittausmenetelmässä.

Hävittäjäparven matala suorituskkyky sodan aikana voi johtaa tehtävän epäonnistumiseen. Tämän vuoksi ohjaajien tulee ymmärtää mitä he tietävät, mitä he osaavat ja mitä he eivät osaa. Jotta tämä tavoite saavutettaisiin, pitää ohjaajien suorituskkykyä mitata. [2] NP:n mittaaminen todentaa ohjaajille miten TTP:tä toteutettiin. Tarkempi analyysi mahdollisesta TTP:n noudattamattomuudesta auttaa ohjaajia ymmärtämään omia heikkouksiaan ja täten parantamaan suorituskkykyään. Testaustapahtumassa käytetyn arviointiasteikon perusteella TTP:n noudattamattomuudet havaitaan ja vaikutukset arvioidaan. Arviointiasteikon käytettävyyttä osoittaa se, että asiantuntijaryhmän ja arvioijien välillä vallitsi testaustapahtumassa kohtalainen yhteisymmärrys TTP:n noudattamisesta sekä noudattamattomuudesta ja sen vaikutuksista.

Testaustapahtumassa siipimiehen NP manipulaatio onnistui ja taulukosta 16 nähdään, että arvioijien antamat NP-arvosanat olivat varsin lähellä referenssiarvosanoja kaikissa eri BVR-ilmataisteluissa. Referenssiarvosanojen merkitys koetilanteen tuloksille on suuri. Taulukkoja 12, 13 ja 14 tutkimalla huomataan, että eri BVR-ilmataisteluissa on yksittäisiä NP-elementtejä, jotka pääosa arvioijista on arvioinut eri NP-arvosanalla kuin referenssiarvosana. Näiden NP-elementtien kohdalla voidaan epäillä referenssiarvosanan oikeellisuutta. Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että referenssiarvosanoja määritettäessä pitää noudattaa erityistä tarkkuutta ja huolellisuutta.

Hävittäjäparven kokonaissuorituskyvyn mittaamisen suoritusmittaristo soveltuu L- ja V-simulaatioihin [10]. LVC-simulaatio sisältää ihmisiä, todellisia ja simuloituja järjestelmiä, jotka ovat verkottuneita keskenään luoden simuloitun toimintaympäristön. LVC-simulaatiot nähdään tulevaisuudessa osana koulutusta sekä osana TTP:iden kehittämis- ja vertailutoimintaa. [11] LVC:tä on viime vuosina kehitetty entistä realistisemmaksi ja verkottumista on parannettu. LVC:n kehittämisessä tulisi keskittyä siihen mitä tietoja LVC-simulaatioista tarvitsemme. LVC-simulaatioiden tavoitteena on tehdä ohjaajista parempia. Suorituskyvyn mittaaminen on rajoittunut subjektiiviseen mittaamiseen. Käyttäjien keskuudessa on tarve objektiiviselle ja automaattiselle suorituskyvyn mittaamiselle. [2] OP:n mittaaminen on tehty automaattiseksi ja tieto on saatavilla, kun lasketaan ilmavoittoja ja omia tappiota. Automaattinen NP:n mittaaminen on haastavampaa. NP:n mittaamisessa tulee tietää mitä tapahtui ja mitä piti tapahtua, jotta TTP:n toteuttamista voidaan arvioida. On kuitenkin epätodennäköistä, että kaskettyjen TTP:iden toteutus ja hävittäjäparven NP-indeksi tullaan automaattisesti ja objektiivisesti arvioimaan LVC-simulaatiosta lähitulevaisuudessa. Kuitenkin tässä työssä kehitetyt NPElementtien noudattamista kuvaavat väittämät voivat olla hyödyllisiä, kun automaattisia NP:n mittaamisen algoritmeja kehitetään.

Hävittäjäparven suorituskykyä on arvioitu yleisesti asiantuntijoiden toimesta. Arviointi on keskittynyt parven tehtävien suorittamiseen. [30][32][33][34] Tarve NP-mittausmenetelmälle on ollut ilmeinen. Tässä diplomityössä esiteltiin NP-mittausmenetelmä, jolla hävittäjäparven normatiivista suorituskykyä voidaan mitata BVR-ilmataistelussa. Yleistettävät ja julkiset NPElementit mahdollistavat konetyyppi- ja käyttäjäkohtaisten sekä yleensä turvaluokiteltujen TTP-sääntöjen noudattamisen arvioinnin yhteismitallisesti BVR-ilmataistelulennolla. V-simulaatiolennolla testattua NP-mittausmenetelmää voi käyttää päivittäisessä lentopalveluksessa, tutkimuksessa, kehittämisessä ja järjestelmien arvioinnissa. NP auttaa käyttäjää saamaan kokonaisvaltaisen kuvan parven normatiivisesta toiminnasta ilmataistelussa ja auttaa käyttäjää välttämään virheellisten johtopäätösten tekemisen. NP-mittausmenetelmän periaatteita hyödyntäen voidaan NP:n mittaamista laajentaa muihinkin puolustushaaroihin. Suomen ilmavoimilla ei ole aiemmin tällaista menetelmää ollut ja aiemmin tällaista ei ole myöskään esitelty julkisessa tieteellisessä kirjallisuudessa. Tästä diplomityöstä on tehty käsikirjoitus ja se on submitoitu 2021. Käsikirjoitus on parhaillaan vertaisarvioitavana [70].

LÄHTEET

- [1] McCarthy, D. *The Raptors: All F-15 and F-16 aerial combat victories*. 1. painos. Schiffer publishing Ltd, 2017. 192 p. ISBN 978-0764352430.
- [2] Schreiber, B., Bennett Jr., W., Colegrove, C., Portrey, A., Greschke, D., Bell, H. *Evaluating pilot performance*. Kirjassa: Ericsson, K., A. Development of professional expertise. Cambridge. 2009. ISBN 978-0-511-59493-9.
- [3] Puranen, L., Takanen, J., Välimäki, P., Immonen, P., Rautalahti, J., Eskelinen, S., Junttila, J., Seppälä, P. *Esiselvitys Hornet-kaluston suorituskyvyn korvaamisesta*. 1.painos. Helsinki. Puolustusministeriö. 2015. 68 s. ISBN 978-951-25-2680-2.
- [4] Bennett Jr, W., Schreiber, B., Andrews, D. *Developing competency-based methods for near-real-time air combat problem solving assessment*. Computers in human behavior, 2002. Vol. 18, no. 6, p. 773-782.
- [5] Schreiber, B., Schroeder, M., Bennett W. Jr. *Distributed mission operations within simulator training effectiveness*. The international journal of aviation psychology. 2011. Vol. 21, no.3, p. 254-268. DOI: 10.1080/10508414.2011.582448
- [6] Houck, M. R., Whitaker, L. A., Kendall, R. R. *An information processing classification of Beyond-Visual-Range air intercepts*. University of Dayton research institute. 1993. AL/HR-TR-1993-0061. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA266927.pdf>.
- [7] Paddon, H. G. *Maneuvering target simulation for testing the terminal guidance of air-to-air missiles*. Pro gradu. Ohio, 1977. Air force institute of technology. 183 p. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a039757.pdf>.
- [8] Joint publication 3-30. *Joint air operations*. Washington DC: Joint Chiefs of Staff, 2019. p. 134.
- [9] Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D. *Dissociation between mental workload, performance and task awareness in pilots of high performance aircraft*. Institute of electrical and electronics engineers transactions on human-machine systems. Vol. 49, no 1, p. 1-9. 2019. DOI: 10.1109/THMS.2018.2874186.
- [10] Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D., Jalava, M. *Measurement of team performance in air combat - have we been underperforming?* Theoretical issues in ergonomics science. 2020. DOI 10.1080/1463922X.2020.1779382. ISSN 1464-536X.
- [11] Salomäki, J. *Live-virtual-constructive -simulaatiomalli ilmataistelutaktiikan kehittämiseen*. Diplomityö. Helsinki, 2019. Maanpuolustuskorkeakoulu. Sotatekniikka. 95 s.

- [12] Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D., Salomäki, J. *Live-virtual-constructive simulation for testing and evaluation of air combat tactics, techniques and procedures, part I: assessment framework*. Journal of defense modeling and simulation. 2019. DOI: 10.1177/1548512919886375.
- [13] Smith, E., Borgvall, J., Lif, P. *Team and collective performance measurement*. 2007. Defence science and technology laboratory. Bedfordshire, UK. RTO-TR-HFM-121-Part II.
- [14] Lim, B-C., Klein, K. *Team mental models and team performance*. 2006. Journal of organizational behavior. Vol. 27, no. 4, p. 403-418. DOI: 10.1002./job.387.
- [15] Marks, M., Mathieu, J., Zaccaro, S. *A temporally based framework and taxonomy of team processes*. The academy of management review. 2001. Vol. 26, no. 3, p. 356. DOI:10.2307/259182.
- [16] Cannon-Bowers, J., Salas, E., Converse, S. *Shared mental models in expert team decision making*. Kirjassa: Castellan, J. Individual and group decision making. 1. painos. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1993. p. 221-246. ISBN 0-8058-1090-0.
- [17] Li, W.-C., Harris, D. *Pilot error and its relationship with higher organizational levels: HFACS analysis of 523 accidents*. Aviation space and environmental medicine. 2006. Vol. 77, no. 10. p. 1056-1061.
- [18] Tieteen termipankki. *Filosofia: normatiivisuus*. [viitattu 6.7.2021]. Saatavissa: <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Filosofia:normatiivisuus>
- [19] Sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmä, PVOHJEK-PE, HO46. Helsinki: Pääesikunnan suunnitteluosasto, 31.5.2018.
- [20] Jalava, M. *Ilmataistelumenestystä luonnehtiva mittaristo taktiikka-, kalusto- ja koulutusvertailuihin*. Pirkkala, 7.2.2019. Ilmataistelukeskus. Ilmataistelukeskuksen tutkimusten esitysmateriaali. Materiaali tutkijan hallussa.
- [21] Royal Korean air force (RoKAF). *Basic employment manual F-16C Korean air force tactics, techniques and procedures, 3-3*. 2005. [viitattu 26.03.2021] Saatavissa: <http://falcon.blu3wolf.com/Docs/Basic-Employment-Manual-F-16C-RoKAF.pdf>.
- [22] Endsley, M. *Toward a theory of situation awareness in dynamic systems*. Human factors. 1995. Vol. 37, no. 1, p. 32-64. DOI: 10.1518/001872095779049543.
- [23] Salas, E., Prince, D., Baker, D., Shrestha, L. *Situation awareness in team performance: implications for measurement and training*. Human factors. 1995. Vol. 7, no. 1, p. 123-126. DOI: 10.1518/001872095779049525.

- [24] Mansikka, H., Virtanen, K., Uggeldahl, V., & Harris, D. *Team situation awareness accuracy measurement technique for simulated air combat - curvilinear relationship between awareness and performance*. Applied ergonomics. 2021. DOI: 10.1016/j.apergo.2021.103473.
- [25] Wickens, C. *Multiple resources and performance prediction*. Theoretical issues in ergonomics science. 2002. Vol. 3, no. 2, p. 159-177. DOI: 10.1080/14639220210123806.
- [26] Hart, S., Staveland, L. *Development of NASA-TLX (task load index): results of empirical and theoretical research*. Advances in psychology. 1988. Vol. 52, p. 139-182. DOI: 10.1016/S0166-4115(08)62386-9.
- [27] Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D. *Comparison of NASA-TLX scale, modified cooper-harper scale and inter-beat interval as measures of pilot mental workload during simulated flight tasks*. Ergonomics. 2018. Vol. 62, no. 2, p. 246-254.
- [28] AAP-06. NATO glossary of terms and definitions. Edition 2013. NATO standardization agency (NSA). [viitattu 29.03.2021]. Saatavissa: https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/Other_Pubs/aap6.pdf
- [29] Breck, F., Miller, D. *Aircrew performance measurement in the air combat maneuvering domain: a critical review of the literature*. Amstrong laboratory, air force systems command. 1991. AL-TR-1991-0042/AD B158404.
- [30] Krusmark, M., Schreiber, B., T., Bennett Jr., W. *The effectiveness of a traditional gradesheet for measuring air combat team performance in simulated distributed mission operations*. Air force research laboratory, Arizona. 2004. AFRL-HE-AZ-TR-2004-0090. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/pdfs/ADA428119.pdf>
- [31] Waag, W., L., Houck, M., R. *Development of criterion measures of situation awareness for use in operational fighter squadrons*. In AGARD conference proceedings 575 Situation awareness: limitations and enhancement in the aviation environment, Neuilly-sur-Seine, France, 1995. Advisory group for aerospace research & development.
- [32] Svensson, E., A., I., Angelborg-Thanderz, M. Wilson, G., F. *Models of pilot performance for systems and mission evaluation - psychological and psychophysiological aspects*. 1999. AFRL-HE-WPTR-1999-0215. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/pdfs/ADA374852.pdf>

- [33] Svensson, E., A., I., Wilson, G., F. *psychological and psychophysiological models of pilot performance for systems development and mission evaluation*. The international journal of aviation psychology. 2009. Vol. 12, no. 1, p. 95-110. DOI: 10.1207/S15327108IJAP1201_8.
- [34] Wilson, G., F. *An analysis of mental workload in pilots during flight using multiple psychophysiological measures*. The international journal of aviation psychology. 2002. Vol. 12, no. 1, p. 3-18. DOI: 10.1207/S15327108IJAP1201_2.
- [35] Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D., Salomäki, J. *Live-virtual-constructive simulation for testing and evaluation of air combat tactics, techniques and procedures, part 2: demonstration of framework*. Journal of defense modeling and simulation. 2019. DOI: 10.1177/1548512919886378.
- [36] Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. *Tutki ja kirjoita*. 21.painos. Helsinki: kustannusosakeyhtiö Tammi, 2016. 464 s. ISBN 978-951-31-4836-2.
- [37] Salminen, A. *Mikä kirjallisuuskatsaus?* Vaasan yliopiston julkaisuja. Vaasa, 2011. [viitattu 03.04.2021]. https://www.univaasa.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf
- [38] Tuomi, J., Sarajärvi, A. *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. 6.painos. Helsinki: kustannusosakeyhtiö Tammi, 2009. 205 s. ISBN 978-951-3199-53-1.
- [39] Vilkkä, H. *Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet*. 1.painos. Jyväskylä: kustannusosakeyhtiö Tammi, 2007. 189 s. ISBN 978-951-26-5641-7.
- [40] Laerd statistics. *Fleiss" kappa using SPSS statistics*. 2019. Statistical tutorials and software guides. [viitattu 2.7.2021]. Saatavissa <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/fleiss-kappa-in-spss-statistics.php>.
- [41] Sim, J. & Wright, C., C. *The kappa statistic in reliability studies: use, interpretation and sample size requirements*. Physical therapy. 2005. Vol. 85, p. 257-268.
- [42] Landis, J. & Koch, G. *The measurement of observer agreement for categorical data*. Biometrics, 1977. Vol. 33, no. 1, p. 159-174. DOI: 10.2307/2529310.
- [43] Laerd statistics. *Pearson's product moment correlation*. 2020. Statistical tutorials and software guides. [viitattu 3.7.2021]. Saatavissa <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/pearson-correlation-coefficient-statistical-guide.php>.
- [44] Akin menetelmäblogi. *Korrelaatiokertoimen tulkinta*. 2016. [viitattu 3.7.2021]. Saatavissa: <https://tilastoapu.wordpress.com/korrelaatiokertoimen-tulkinta/>.

- [45] Tilastokeskus. *Johdatus tilastotieteeseen*. [viitattu 3.7.2021]. Saatavissa: https://tilastokoulu.stat.fi/verkkokoulu_v2.xql?course_id=tkoulu_tilaj&lesson_id=4&subject_id=4&page_type=sisalto.
- [46] Lehtinen, M. *Operaatioanalyysia sotilaille*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos, 2003. 69 s. ISBN 951-25-1461-3.
- [47] Rantapelkonen, J., Koistinen, L. *Pohdintoja sotatieteellisistä käsitteistä*. Julkaisusarja 2: no. 1. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos, 2016. ISBN 978-951-25-2820-2.
- [48] Ikonen, I. *Operaatioanalyysin käsite sotilaallisessa kontekstissa*. Diplomityö. Helsinki, 2017. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 108 s.
- [49] Jaiswal, N.K. *Military operations research: quantitative decision making*. New York: Springer US, 1997. 388 p. ISBN 978-0-7923-9858-5.
- [50] The Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). *What is operations research*. [Viitattu 27.03.2021]. Saatavissa: <https://www.informs.org/about-informs/what-is-operations-research>.
- [51] Lappalainen, E., Jormakka, J. *Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa*. Julkaisusarja 5, no.1. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, 2004. 203 s. ISBN 951-25-1540-7.
- [52] Chung, C.A. *Simulation modelling handbook: a practical approach*. Danvers: CRC Press, 2003. 608 p. ISBN 978-0-849-31241-0.
- [53] Hämäläinen, R., Luoma, J., Saarinen, E. *On the importance of behavioral operational research: the case of understanding and communicating about dynamic systems*. European journal of operational research, 2013. Vol. 228, no. 3, p. 623-634.
- [54] SimSME Oy. *Hornet F/A-18 C simulaattorijärjestelmän käyttäjän ohjekirja*. Versio 2.0. 18.04.2016. Puolustusvoimien logistiikkalaitos.
- [55] Battlespace simulations Inc. *Modern air combat environment (MACE) user's manual*. Version R1 - 2019.
- [56] Sotilasilmalukäsikirja (SIK), PVHSMK-ILMAVE, HO475. Tikkakoski: Ilmavoimien esikunta, 24.6.2018.
- [57] Katzenbach, J., Smith, D. *Tiimit ja tulokset yrityksissä*. 5. painos. Porvoo: WSOY, 1998. 309 s. ISBN 978-951-02-3292-7.

- [58] Houck, M., Thomas, G., Bell, H. *Training evaluation of the F-15 advanced air combat simulation*. University of Dayton research institute. 1991. AL-TP-1991-0047. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA241675.pdf>
- [59] van der Pal, J., Boland, E., J., de Rivecourt, M. *Competency-based design of F-16 qualification training*. 2010. National aerospace laboratory NLR. NLR-TP-2009-373. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/53034068.pdf>
- [60] Symons, S., France, M., Bell, J., Bennett Jr, W. *Linking knowledge and skills to mission essential competency-based syllabus development for distributed mission operations*. Air force research laboratory, Mesa. 2006. AFRL-HE-AZ-TR-2006-0041. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/pdfs/ADA453737.pdf>
- [61] Crane, P., Robbins, R., Bennett Jr, W. *Using distributed mission training to augment flight lead upgrade training*. Air force research laboratory, Mesa. 2001. AFRL-HE-AZ-TR-2000-0111. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/pdfs/ADA394919.pdf>
- [62] Roessingh, J., Verhaaf, G. *Training effectiveness of embedded training in a (multi-) fighter environment*. National aerospace laboratory, Amsterdam. 2009. RTO-MP-HFM-169. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/pdfs/ADA567736.pdf>
- [63] U.S. air force doctrine. *Annex 3-60 - Targeting*. Last update 15.3.2019. Curtis E. Lemay center.
- [64] Colegrove, C., M., Bennett Jr, W. *Competency-based training: adapting to warfighter needs*. Air force research laboratory, Mesa. 2006. AFRL-HE-AZ-TR-2006-0014. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/pdfs/ADA469472.pdf>
- [65] U.S. air force manual 11-2F-16. *F-16-aircrew evaluation criteria*. Vol. 2. Department of the air force, Washington DC. 8.2.2019.
- [66] Wierwille, W. & Casali, J. *A Validated rating scale for global mental workload measurement applications*. Proceedings of the human factors society annual meeting. 1983. Vol. 27, no. 2, p. 129-133. DOI: 10.1177/154193128302700203.
- [67] O'Donnell, R., D. & Eggemier, F., T. *Workload assesment methodology*. Handbook of perception and human performance. Vol. 2. Ch 42 Cognitive processes and performance. 1994.
- [68] Sotilasilmailun lentoturvallisuuskäsikirja, PVHSMK-ILMAVE, HR612. Tikkakoski: Ilmavoimien esikunnan lentoturvallisuusyksikkö, 9.6.2021.
- [69] Vehkalahti, K. *Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät*. 1.painos. Helsinki: Oy Finn Lectura Ab, 2014. ISBN 978-951-792-649-2.

- [70] Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D. & Mäkinen, L. *Measurement of normative performance in simulated air combat*. 2021. *Aerospace medicine and human performance*. (submitted for publication).

LIITE 1

ENNAKKOTIETOLOMAKE

Majuri Lauri Mäkisen YEK60 diplomityön simulaatio:

HÄVITTÄJÄPARVEN NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN MITTAUSMENETELMÄ

HOX! Osallistuminen on vapaaehtoista.

1. LENTOEROTE:

2. LENTOTUNNIT (HN): FLH

3. LENTOKOKEMUS/KOULUTUS (ympyröi): VALMIUSOHJAAJA / PARINJOHTAJA /
TYYPPIOPETTAJA / PARVENJOHTAJA / ILMATAISTELUOPETTAJA

LIITE 2

PALAUTELOMAKE

Majuri Lauri Mäkisen YEK60 diplomityön simulaatio:

HÄVITTÄJÄPARVEN NORMATIIVISEN SUORITUSKYVYN MITTARI

LYHYT SANALLINEN ARVIO MITTARISTA:

KÄYTETTÄVYYS:

NP-ELEMENTIT: