

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**HÄVITTÄJÄPARVEN OHJAAJIEN YHTEISEN TILANNETIETOISUUDEN MIT-  
TAAMINEN JA VAIKUTUS SUORITUSTASOON**

Diplomityö

Majuri  
Ville Uggeldahl

YEK 60  
Ilmasotalinja

Elokuu 2021

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi <b>Yleisesikuntaupseerikurssi 60</b>	Linja <b>Ilmasotalinja</b>
Tekijä <b>Majuri Ville Uggeldahl</b>	
Tutkielman nimi <b>HÄVITTÄJÄPARVEN OHJAAJIEN YHTEISEN TILANNETIETOISUUDEN MITTAAMINEN JA VAIKUTUS SUORITUSTASOON</b>	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n kurssikirjasto
Aika Elokuu 2021	Tekstisivuja 85 Liitesivuja 19
<b>TIIVISTELMÄ</b> <p>Tässä diplomityössä kehitetään TSA-mittausmenetelmä parven yhteisen tilannetietoisuuden mittaamiseksi ja todennetaan sen toiminta. Mittausmenetelmän avulla tutkitaan TSA:n (Team Situation Awareness) tarkkuuden vaikutusta parven suoritustasoon. TSA-mittausmenetelmän kehittämällä tuetaan Ilmavoimissa kehitettävää taktiikkaa.</p> <p>Työssä hyödynnetään kvalitatiivisten ja kvantitatiivisten menetelmien lisäksi operaatio-analyysin menetelmiä BOR:n (engl. Behavioural Operational Research) näkökulmasta. Kehitettävän TSA-mittausmenetelmän toiminta ja sensitiivisyys todennetaan Hävittäjäalentoilavueiden lentosimulaattoreissa toteutettavassa testaustapahtumassa. TSA-testaustapahtumaan osallistuu laivueiden F/A-18 Hornet -koulutettuja valmiusohjaajia sekä Pääjohtokeskusten taistelunjohtajia.</p> <p>Testaustapahtuman tulosten perusteella kyettiin todentamaan TSA-mittausmenetelmän käytännöllisyys ja toimivuus. Vaikka TSA-mittausmenetelmä kehitettiin ilmataisteluympäristöön ja todennettiin lentosimulaattoreissa suoritettussa BVR-hävittäjätaistelussa, sen käyttöperiaatteet eivät ole rajoitettuja tiettyyn toimintaympäristöön. Mittausmenetelmää voidaan hyödyntää myös Ilmavoimien ohjaajien koulutuksessa.</p> <p>TSA-testaustapahtumasta kerätyn aineiston analyysistä saaduilla tuloksilla kyettiin osoittamaan TSA:n tarkkuuden ja suoritustason välisen riippuvuussuhteen olevan neliöllinen. Vastaavaa tulosta ei ole aiemmin julkaistuissa tutkimuksissa löydetty.</p>	
<b>AVAINSANAT</b> Tilannetietoisuus, TSA, hävittäjätaistelu, suoritustaso	

# HÄVITTÄJÄPARVEN OHJAAJIEN YHTEISEN TILANNETIETOISUUDEN MITTAAMINEN JA VAIKUTUS SUORITUSTASOON

1.	JOHDANTO .....	1
1.1.	Tutkimuksen tausta ja aiemmat tutkimukset.....	5
1.2.	Käsitteet ja määritelmät.....	10
1.3.	Tutkimustehtävä ja tutkimuskysymykset.....	15
1.4.	Tutkimuksen näkökulma, rajaukset ja viitekehys .....	17
1.5.	Tutkimusmenetelmät.....	22
1.6.	Aineiston analysointi.....	24
1.7.	SA ja TSA .....	29
1.8.	Tutkimuksen vaiheet .....	32
1.8.1.	Vaihe 1 .....	33
1.8.2.	Vaihe 2 .....	33
1.8.3.	Vaiheet 3-5 .....	34
1.8.4.	Vaihe 6 .....	37
1.8.5.	Vaihe 7 ja 8 .....	38
1.8.6.	Vaihe 9 .....	41
1.8.7.	Vaihe 10 ja 11 .....	41
2.	TSA-MITTAUSMENETELMÄN KEHITTÄMINEN JA KÄYTTÖ.....	42
2.1.	Mittauslomakkeen kehittäminen .....	42
2.1.1.	Alustava lista TSA:n konsepteista ja attribuuteista.....	43
2.1.2.	Luonnoslista TSA:n konsepteista ja attribuuteista.....	43
2.1.3.	Potentiaalinen lista TSA:n konsepteista ja attribuuteista .....	43
2.1.4.	Lopullinen lista TSA:n konsepteista ja attribuuteista .....	44
2.2.	Mittauslomakkeen käyttäminen .....	45
3.	TSA-MITTAUSMENETELMÄN TESTAUSTAPAHTUMA .....	49
3.1.	Testaustapahtuman tavoitteet .....	49
3.2.	Testaustapahtuman osallistujat .....	49
3.3.	Testaustapahtuman toteutus .....	50
3.3.1.	Datan kerääminen.....	55
3.4.	Tulokset.....	56
3.4.1.	Suoritustason ja TSA-tarkkuusindeksin riippuvuus TSA-vaativuustasosta.....	57
3.4.2.	TSA-tarkkuusindeksin riippuvuus suoritustasosta.....	59
3.4.3.	Parven tappiot matalalla TSA-vaativuustasolla .....	63
3.4.4.	Parven tappiot keskikorkealla TSA-vaativuustasolla.....	64
3.4.5.	Parven tappiot korkealla TSA-vaativuustasolla.....	66

3.4.6.	Parven torjumat viholliskoneet matalalla TSA-vaativuustasolla.....	68
4.	DISKUSSIO.....	68
4.1.	TSA:n tarkkuuden ja suoritustason välinen riippuvuussuhde.....	68
4.2.	TSA-mittausmenetelmän toimivuuden ja käyttökelpoisuuden validointi lentosimulaattorissa.....	74
4.3.	Tutkimuksen tulosten luotettavuus ja validiteetti .....	78
4.4.	TSA-mittausmenetelmän sovellettavuus ja jatkokäyttö.....	81
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	82

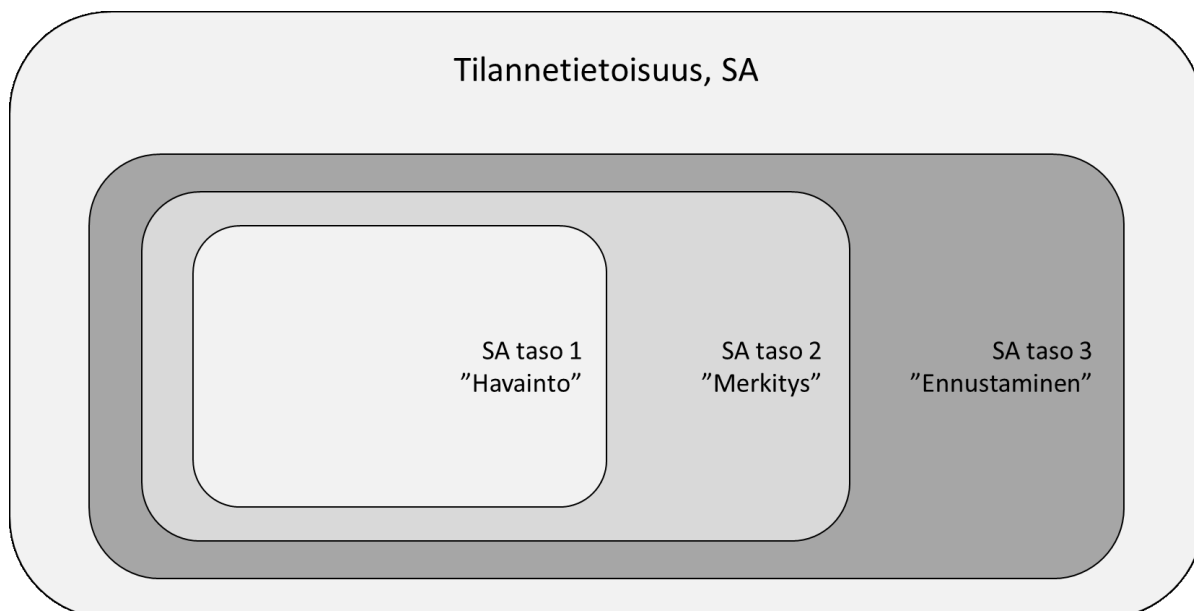
# HÄVITTÄJÄPARVEN OHJAAJIEN YHTEISEN TILANNETIETOISUUDEN MITTAAMINEN JA VAIKUTUS SUORITUSTASOON

## 1. JOHDANTO

*"Nykyään olen varma siitä, että 80% ampumistani viholliskoneista ei edes tiennyt minun olevan lähellä ennen kuin avasin tulen heitä kohti. Yksi tekijä auttoi minua enemmän kuin muut. Ymmärsin löytäväni viholliskoneet paljon tovereitani aiemmin. Lentäjä, joka näkee maalinsa ennen kuin tulee itse havaituksi, on saavuttanut jo puoli voittoa."* Näin toisen maailmansodan hävittäjä-ässä Erich Hartmann kertoo elämäkerrassaan. [1] Samaan johtopäätökseen päätyy myös Watts [2], joka tutki tappioiden syitä ilmataistelussa ajanjaksolla Vietnamin sota - toinen maailmansota. Watts arvioi tilannetietoisuuden puutteen olleen syynä tappioihin 80% kaikista tapauksista. Johtopäätöksissään Watts toteaa tilannetietoisuuden olevan hävittäjätaistelussa menestyksen kannalta teknologista kehitystä suuremmassa roolissa.

Nykyisten neljännen ja viidennen sukupolven hävittäjien lisääntyneet suorituskyvyt mahdollistavat entistäkin monimutkaisempien tehtävien suorittamisen. Tämä osaltaan aiheuttaa tehtävästä suoriutumisen näkökulmasta hävittäjiä lentäville ohjaajille muuttuneen haasteen. Vaikka hävittäjien operointi on kyetty nykyteknologialla tekemään helpommaksi fyysisten vaatimusten osalta, on ohjaajiin lennoilla kohdistuva kognitiivinen vaativuus samalla lisääntynyt [3]. Tämä on osaltaan vaikuttanut ohjaajien koulutukseen. Koulutuksen painopiste suunnataan nykyään enemmän kognitiivisten taitojen ja valmiuksien kehittämiseen kuin lentokoneen mekaanisen ohjaamistaidon kehittämiseen. Kognitiivisista tekijöistä tärkeimmiksi on tunnistettu hävittäjätaistelussa menestymisen kannalta tärkeimmiksi tekijöiksi ohjaajien tiedolliset valmiudet, tilannetietoisuus (situation awareness, SA) ja päätöksenteko. [4] [5]

Endsley [4] on määritellyt SA:lle kolmeen tasoon jakaantuvan mallin, joka on esitetty kuvassa 1. Tason 1 muodostaa havainto, joka sanansa mukaisesti tarkoittaa toimintaympäristöstä tehtyjä havaintoja. Taso 2 muodostuu, kun tehtyjen havaintojen sisältämää informaatiota prosessoiden tilanteelle muodostetaan merkitys. Tasolla 3 tarkoitetaan tilanteen ja sen kehittymisen ennustamista. SA esitellään tarkemmin luvussa 1.7.



Kuva 1: SA:n tasot mukailtu Endsley'n mallista [4].

Tilannetietoisuuden merkitys sodankäynnille, erityisesti puhuttaessa ilmasodankäynnistä ja ilmanherruuden tavoittelusta, on elintärkeä ja kaikkein tärkein osa hävittäjätaistelua, koska se mahdollistaa kill-chainin (F2T2EA) toteuttamisen [6]. Hävittäjätaistelu on monesti luonteeltaan kaottinen ja aikakriittinen toimintaympäristö, jossa menestys perustuu oikeisiin ja oikea-aikaisiin päätöksiin. Hyvän SA:n muodostaminen ja säilyttäminen on todennäköisin tapa päätyä toistuvasti tällaisiin päätöksiin. Sekavassa ja aikakriittisessä hävittäjätaistelussa parhaiten ymmärryksen ympäröivästä tilanteesta säilyttävä lentäjä tai lento-osasto, ovat todennäköisimpiä taistelun voittajia [7]. SA:n merkitys menestykselle ilmasodassa on tunnistettu jo ensimmäisessä maailmansodassa ja sen merkitys on jatkuvasti kasvanut [6]. Hävittäjätaistelua luonnehditaan joskus kolmiulotteisena shakkina, jossa pelin yksittäisillä toimijoilla on erilaisia ominaisuuksia. Ilmataistelussa ominaisuudet muodostuvat ohjaajien ja hävittäjien kokonaissuorituskyvyistä. Eri toimijoiden suorituskykyjä yhdistelemällä saadaan luotua monimutkaisia hyökkäys- ja puolustustaktiikoita. Kuten shakissa, myös hävittäjätaistelussa on lähes rajaton määrä erilaisia taktisia toimintavaihtoehtoja (taktiikoita) jotka yritetään salata vastustajalta. Jos omat ja vastustajan taktikat ja tavoitteet tunnetaan, on mahdollista valita erilaisista toimintavaihtoehtoista kaikkein tehokkaimmat. Hävittäjätaistelussa tätä ymmärrystä toimintaympäristön elementeistä, niiden välisistä vuorovaikutussuhteista ja taktisen tilanteen kehitymisestä kuvataan termillä SA. Ohjaajan tietäessä kaikki nämä hävittäjätaisteluun vaikuttavat tekijät, kykenee hän operoimaan hävittäjää tehokkaimmalla mahdollisella tavalla kyseisessä tilanteessa. Avain tämän onnistumiselle on tilannetietoisuus [6].

Yleisesti ottaen ilmaoperaatioilla tarkoitetaan niitä toimia ja tehtäviä, joissa käytetään ensisijaisesti Ilmavoimien yksiköitä yksittäisen taistelun tai sotilaallisen operaation tavoitteiden saavuttamiseksi. Näiden perusteella ilmaoperaatioille on määritetty keskeisiä rooleja. Yksi erityisasemassa oleva rooli on ilmanhallinta, jonka tarkoituksena on kiistää vastustajalta ilmatilan käyttö. [9] Hävittäjäparven tehtävänä on toimia osana Ilmavoimien operaatioita. Rauhan aikana hävittäjäparven toiminta on valmistautumista kriisin ajan tehtäviin osallistumalla lentokoulutukseen sekä taktiikan kehittämiseen. Ilmanhallinnan sekä yleisesti hävittäjätaistelun perustana on puolustuksellinen vastailmatoiminta (engl. Defensive Counter Air, DCA), jossa korostuu erityisesti ilmasta ilmaan -toiminta. Ilmasta ilmaan -toiminnalla tarkoitetaan hävittäjien kesken käytävää ilmataistelua, siten ollen hävittäjätaistelua. Ilmavoimien ilmaoperaatiot suunnitellaan aina tiettyihin olosuhteisiin, määritetyillä suorituskyvyillä ja tunnistettua uhkaa vastaan. [9]

Tiimi on kokonaisuus, joka koostuu kahdesta tai useammasta keskinäisessä vuorovaikutuksessa olevasta henkilöstä. Tiimin jäsenet työskentelevät dynaamisesti ympäristöönsä adaptoituen ja jokaiselle heistä on annettu oma tarkka roolinsa sekä tehtävänsä, jota suorittamalla kaikki pyrkivät yhteisen tavoitteen saavuttamiseen. [10] Hävittäjäparvi on ilmataistelussa tyyppillisesti käytettävä ryhmä eli tiimi. Parvi koostuu yhteensä neljästä hävittäjästä, joista jokaisesta operoi yksi ohjaaja. Jokaisella hävittäjäparvella on tavoite, joka tukee yksittäisen ilmataistelun tavoitetta ja edelleen koko ilmaoperaation tavoitetta. Tavoitteen, olosuhteiden sekä uhkan perusteella valitaan käytettävä taktiikka. Rauhan aikana kehitetään taktiikoita ja harjoitetaan ohjaajia tekemään oikeita taktisia päätöksiä. Huomattava osa ohjaajien oppimisesta tapahtuu lentotehtävien jälkeen suoritettavissa läpikäynneissä, joissa lentotehtävä käydään perusteellisesti läpi. Läpikäynnissä tarkastelun pääpaino on käsketyt taktiikan toteutuksessa ja tehtävän tavoitteen saavuttamisessa, joihin SA ja päätöksenteko olennaisesti liittyvät. Koulutuksella ja taktiikan kehittämisellä pyritään maksimoimaan ohjaajien suoritustaso. Suoritustasoa mitataan yleensä omien ja vihollisen tappioiden lukumääränä tai niiden suhteena. Lisäksi suoritustasoa voidaan mitata ohjaajien tehtävätyön edistymisenä. Tehtävätyö kuvaa toimia, joita parven jäsenet suorittavat tehtävän toteuttamiseksi. Tehtävätyön mittaamisen avulla voidaan muun muassa tehdä suoritustasoeroja tilanteissa, joissa omien ja vihollisen tappioissa ei ole eroja. Tehtävätyön edistymistä kuvataan niin sanottujen kill- ja live chainien avulla. Kill-chain on prosessi, jolla kuvataan tehtävän etenemisen vaiheita. Vastaavasti live-chain on prosessi, jolla kuvataan vihollisen hyökkäyksen etenemisen vaiheiden estämistä [55].

Hävittäjäparven ilmasta ilmaan -tehtävistä on eriteltävissä näköetäisyyden ulkopuolella (engl. Beyond Visual Range, BVR) ja sisäpuolella (engl. Within Visual Range, WVR) tapahtuva hävittäjätaistelu. WVR-hävittäjätaistelu on lähietäisyydellä tapahtuvaa ja näköhavaintoon sekä ilmataisteluliikehdintään perustuvaa taistelua. BVR-hävittäjätaistelu kokonaisuutena käsittää mm. lentokoneiden, ilmatorjuntaohjusjärjestelmien, valvontatutkien ja johtamispaikkojen lisäksi niitä operoivan henkilöstön. BVR-hävittäjätaistelussa lento-osasto pyrkii etsimään vihollisen oman koneensa sensoreita ja järjestelmiä hyödyntäen sekä torjumaan vihollisen laukaisemalla ilmasta ilmaan -ohjuksia. Torjunnan aikana lento-osasto pysyy näköetäisyyden ulkopuolella vihollisesta [12]. Nykyaikaisten hävittäjien ja niiden kauas laukaistavien ohjusten suorituskykyjen vuoksi on alettu kyseenalaistamaan tarvetta käydä WVR-hävittäjätaistelua [6]. Tässä tutkimuksessa hävittäjäparven yhteistä SA:ta (engl. team SA, TSA) tarkastellaan BVR-hävittäjätaistelussa. TSA esitellään tarkemmin luvussa 1.7.

Hävittäjätaistelua voidaan kuvata systeeminä, jossa sen elementit ovat keskenään vuorovaikutuksessa. Ilmataistelun elementtejä ovat hävittäjät ase- ja sensorijärjestelmineen, lentokoneita lentävät ohjaajat, valvonta-, johtamis- ja ilmatorjuntajärjestelmät sekä niitä operoiva henkilöstö. Elementtien välisen vuorovaikutuksen monimutkaisuus ja ajalliset viiveet tekevät ilmataistelusta monimutkaisen ja vaikeasti hallittavan systeemin, eli toimintaympäristön. [13] Hävittäjäparven tehtävänä on hallita ilmataistelua muodostamalla ja ylläpitämällä hyvän TSA:n ja tekemällä sen avulla oikeita ja oikea-aikaisia taktisia päätöksiä [14] [15] [16].

Jokaisella parven ohjaajalla on oma tilannetietoisuutensa hävittäjätaistelusta. Tämän lisäksi parvella on yhteinen tilannetietoisuus (engl. Team Situation Awareness, TSA). [17] Työskennellessään tiimin jäsenet suorittavat tehtävätyöskentelyä (engl. taskwork) sekä tiimityöskentelyä (engl. teamwork). Tehtävätyöskentely on suoraan kytköksissä suoritettavaan tehtävään sekä tavoitteeseen ja näin ollen saavutettavaan suoritustasoon [18] [19]. Tiimityöskentelyllä tarkoitetaan tiimin jäsenten ymmärrystä ja uskomusta tiimiin itseensä, suoritettaviin prosesseihin sekä niillä saavutettavaan tehokkuuteen [20] [21]. Sekä tehtävätyöhön, että tiimityöhön kuuluu tiimin tilannetietoisuuden muodostaminen ja ylläpito [22] [18] [23]. Parven toiminnalle asetetaan tavoitteet ilmaoperaatioiden ohjauksikäskyllä ATO (engl. Air Tasking Order). Tavoitteiden perusteella parvi valitsee lennolla käytettävät taktiikat, tekniikat ja proseduurit, eli TTP:n (engl. Tactics Techniques and Procedures). TTP valinta, toteutus ja toteutuksen seuranta ovat kytköksissä päätöksentekoon. Hyvä ja oikein perustein tehtävä päätös edellyttää hyvää tilannetietoisuutta [24]. Tässä työssä tarkastellaan parven yhteistä tilannetietoisuutta saavutetun suoritustason näkökulmasta.



Vaikka hyvä TSA edesauttaa parven oikeiden ja oikea-aikaisten taktisten päätösten tekoa, hyvä tai huono TSA ei automaattisesti johda hyviin tai huonoihin päätöksiin. Hyvällä TSA:lla voidaan tehdä huonoja päätöksiä ja päinvastoin. [26]. Monesti ilmataistelua tarkastellaan lopputuleman, kognitiivisen kuormituksen, (T)SA:n, normatiivisen suorituskyvyn tai tehtävätyön edistymisen kautta. Mansikka et al. [25] on esitellyt mittariston, joka huomioi kaikki em. tekijät ja muodostaa niiden avulla kokonaisvaltaisen käsityksen parven kokonaissuorituskyvystä. Tämä työ tukee mittariston kehitystyötä tuottamalla TSA:n mittausmenetelmän parven BVR taisteluun ja havainnollistamalla mittarin käytön

### 1.1. Tutkimuksen tausta ja aiemmat tutkimukset

Tässä luvussa esitellään tämän tutkimuksen taustalla vaikuttavat tekijät osana Puolustusvoimallista suorituskykyjen kokonaisvaltaista kehittämistä. Taustojen esittely tehdään Ilmavoimallisesta taktiikan kehittämisen näkökulmasta, jolla on myös liityntäpinta Ilmavoimissa suoritettavaan koulutukseen. Aiempien tutkimusten esittely keskittyy julkaistujen TSA-tutkimusten menetelmien ja niihin liittyvien haasteiden esittelyyn TSA:n mittaamisessa.

Puolustusvoimien ensimmäisenä pääprosessina on sotilaallisten suorituskykyjen kehittäminen, jonka alaprosessissa 1.2 kehitetään puolustusjärjestelmän käyttö- ja toimintaperiaatteita. Puolustusvoimien sotilaallista suorituskykyä tarkastellaan neljästä näkökulmasta, joita ovat vaikuttavuus-, kyvykkyys-, ratkaisu- ja elinjaksonäkökulma. Sotilaallisen suorituskykylähtöisen kehittämisen tarve perustuu aina määritettyihin uhkaskenaarioihin, jotka ovat tiettyihin olettamuksiin pohjautuvia uhkaennusteita. [27] Uhkaskenaarioiden ja TTP kehittämisen kannalta tämä tutkimus liittyy ratkaisunäkökulmaan, jolla vastataan kysymykseen miten ja millä ratkaisulla vaaditut suorituskyvyn kyvykkyudet toteutetaan. Ratkaisunäkökulma on riippuvainen toteutuksesta ja siinä on kahdeksan osatekijää. Osatekijöistä käytetään yhteisnimitystä DOTMLPFI, joka muodostuu sanoista: doktriini (käyttöperiaate), organisaatio, koulutus, materiaali, johtajuus, henkilöstö, infrastruktuuri ja yhteistoimintakyky [27]. Ilmataistelumenestystä luonnehtiva kokonaissuorituskyvyn mittaristo, ja sen osana TSA-mittausmenetelmä, tukee ensimmäistä pääprosessia mahdollistaen käyttöperiaatteiden, joukkojen ja sotavarusteiden kokonaisvaltaisen mittaamisen ja vertailun. Tämän työn näkökulmasta käyttöperiaatteiden mittaaminen ja vertailu on TTP kehitystyötä.

Ilmavoimissa kehitetään ja vertaillaan menetelmiä, sotavarustusta ja koulutusta. Menetelmät ovat käyttöperiaatteita, jotka käsittävät mm. TTP ja vakioidut menetelmät hävittäjätaistelussa. [28] Käyttöperiaatteiden mittaaminen ja vertailu liittyvät taktiikan kehittämiseen, jolloin mittariston avulla vertaillaan kahden tai useamman TTP:n hyvyttä keskenään [25]. Kehittäminen ja vertailu edellyttää sopivaa mittaristoa. Ilmataistelumenestystä luonnehtivassa mittaristossa olisi eduksi luotettavuuden ja vertailtavuuden kannalta, että tarkasteluissa voitaisiin hyödyntää samaa mittaristoa. [28] Tässä tutkimuksessa kehitettävä TSA mittausmenetelmä on osa kehitettävää ilmataistelumenestystä luonnehtivaa mittaristoa.

Hyvän SA:n mielletään yleisesti johtavan hyvään suoritustasoon. Hävittäjätaistelussa tosin ei voida suoraan todeta hyvän suoritustason olleen seurausta hyvästä SA:sta, koska suoritustason ja SA:n välinen suhde on kompleksinen. [17] Se voi olla heikko [29] [30] [31] [32] tai epäselvä ja kompleksinen [33] [34] [35] [36]. Näin ollen arvioitaessa suoritustasoa hävittäjätaistelussa, tulee arvioida prosessin lopputuloksen lisäksi myös sen välituotteita, joita ovat kognitiivinen kuormitus, (T)SA, normatiivinen suorituskky ja tehtävätyöskentely [37] [38] [25]. Hävittäjätaistelun välituotteista tässä tutkimuksessa käsitellään TSA:ta. Muut välituotteet esitellään tutkimuksen viitekehyksen yhteydessä luvussa 1.4.

Dynaamisessa ja epävarmuuksia sisältävässä hävittäjätaistelussa saavutettava menestys voi olla toisinaan sattumaa ja päinvastoin. Tästä johtuen on käytännön tarve kyetä luotettavasti arvioimaan ja mittaamaan parven yhteistä tilannetietoisuutta, jotta voidaan erotella taitavat ja hyvän TSA:n omaavat parvet onnekkaita ja huonon TSA:n omaavista parvista. TSA mittamalla kyetään myös arvioimaan ja vertailemaan saavutettuun suoritustasoon suhteutettuna eri TTP keskenään. Parven suoritustasoa kyetään myös parantamaan kehittämällä lentotehtävän läpikäynnin menetelmiä siten, että koko hävittäjätaistelu ja sen lopputulokseen vaikuttaneet tärkeät prosessit käydään läpi huolellisesti [39] [40].

TSA:ta on mitattu erilaisissa dynaamisissa ympäristöissä hyödyntäen erilaisia menetelmiä. Aikaisimmissa tutkimuksissa asiantuntijat ovat esimerkiksi päätelleet TSA:n hyvyyden havainnoimalla tehtävätyössä savutettua suoritustasoa. SA mittaamisen menetelmiä on myöhemmin täydennetty tehtävän jälkeen suoritettavalla strukturoidulla haastattelulla, koska ymmärrettiin ettei hyvä SA johda aina hyvään suoritustasoon. [41] Fowlkesin et al. [42] suorittamassa tutkimuksessa asiantuntijat hyödynsivät TSA arvioinnissa listaa, johon oli määritelty TSA:n muodostumisen kannalta tärkeitä tiimityötä ilmentäviä käyttäytymismalleja. Havaittujen käyttäytymismallien ilmetessä tai puuttuessa, kykenivät asiantuntijat arvioimaan tiimin suoritustasoa. Fowlkesin ja Wellensin käyttämien menetelmien etuina oli, että ne eivät häirineet tiimin työskentelyä tehtävän aikana. Havainnointiin perustuvien menetelmien haittoiksi voidaan todeta pelkkiin asiantuntijoiden havaintoihin perustuva subjektiivinen näkemys saavutetusta TSA:sta.

Gorman et al. [43] on kehittänyt TSA mittaukseen CAST-menetelmän (engl. Coordinated Awareness of Situation by Teams). Menetelmää hyödynnettiin tutkittaessa miehittämättömällä ilma-aluksella tehtäviä tiedustelulentoja V-simulaatioissa, jossa manipuloitiin lentäjien välistä informaation vaihtoa rajoittamalla kommunikaatiomahdollisuuksia. CAST-menetelmä pohjautuu havainnointiin, mutta ei ole niin strukturoitu kuin edellä mainitut, koska menetelmän testauksessa [44] havaittiin ettei haastaviin ja dynaamisiin olosuhteisiin ole määritettävissä vain tiettyjä arvioitavia tapahtumia. CAST-menetelmällä arvioitiin testauksessa vain tilanteita, joissa TSA:n muodostaminen oli haastavaa, kuten esimerkiksi järjestelmäviat tai muut selvästi normaalitoiminnoista poikkeavat tilanteet. Näin ollen menetelmä ei ole täysin soveltuva normaalitilanteissa käytettäväksi.

Endsley [45] kehittämä menetelmä TSA:n mittaukseen pohjautuu SAGAT-menetelmään (engl. Situation Awareness Global Assessment Technique), jolla arvioidaan yksittäisen henkilön SA:ta. SAGAT-menetelmä on kehitetty V-simulaatioissa käytettäväksi ja sitä käytetään pysäyttämällä simulaatio satunnaisin aikaväleihin kyselyn suorittamiseksi. Kyselyn yhteydessä simulaattorin näytöt sammutetaan vastausten antamisen ajaksi. Menetelmässä hyödynnetään määriteltyihin tilanteisiin luotuja strukturoituja kysymyksiä, jotka liittyvät toimintaympäristön havainnointiin. Kysymyksillä arvioidaan yksittäisten tiimin jäsenten SA:ta vallitsevasta tilanteesta, sen merkityksestä ja arviota tilanteen kehittymisestä. Vastausten perusteella arvioidaan tiimin jäsenten SA:n tarkkuutta [46]. TSA arvioidaan tiimin jäsenten yksilöllisten vastausten tarkkuuksista. Mitä useampi tiimin jäsen vastaa oikein TSA:ta koskeviin kysymyksiin, sitä paremmaksi TSA arvioidaan. Menetelmä vaatii aina tilanteen pysäyttämistä arvioinnin tekemiseksi, minkä vuoksi se on käytettävissä vain simulaatioissa. Esimerkiksi lentoturvallisuuden ylläpitämiseksi lentokoneen näyttöjä ei voi sammuttaa lennon aikana.

Hävittäjätaistelu dynaamisena ympäristönä aiheuttaa haasteen TSA-mittausmenetelmille. Cooke et al. [47], Bolstadin ja Endsleyn [46] sekä Sulistyawatin et al. [34] esittelemät menetelmät TSA:n mittaamiseksi vaativat simulaation pysäyttämisen tietojen keräämiseksi. Tilanteen pysäyttäminen hävittäjätaistelun aikana ei ole aina mahdollista tai suotavaa edes simulaattorissa. Täysin mahdotonta se on oikeilla koneilla lennettävien lentotehtävien aikana, eli L-simulaatioissa. Lisäksi Salmon et al. [48] kritisoivat tilanteen pysäyttämiseen liittyviä menetelmiä, koska vastaukset perustuvat täysin yksilön kykyyn muistaa kysymystä koskeva tilanne. Näin ollen he toteavat, ettei annettujen vastausten perusteella ole mahdollista varmasti määrittellä vastaajan SA:ta. Tämän vuoksi on myös kyseenalaista arvioida TSA:ta näillä menetelmillä niiden sisältämien epävarmuuksien vuoksi. Sulistyawati et al. [34] arvioivat myös suoritustasoa yhtenä TSA:ta määrittelevänä tekijänä, mikä on jo aiemmin mainittu osin harhaanjohtavaksi tavaksi [35].

Lentotehtävän häiriöttömän suorittamisen kannalta olisi parasta, että tehtävää ei keskeytetä missään vaiheessa tai puututa sen kulkuun. Itse- ja vertaisarvioinnin menetelmät mahdollistavat TSA:n mittaamisen lentotehtävän suorituksen jälkeen, esimerkiksi lentotehtävän läpikäynnin yhteydessä. Heikkoudeksi itse- ja vertaisarvioinneille todetaan niiden mittaavan pikemmin vastaajan itseluottamusta kuin SA:ta [49] [50].

Edellä esiteltiin olemassa olevia menetelmiä SA:n ja TSA:n mittaamiseksi. Niiden yhteydessä esiteltiin niihin liittyvät hyvät ja huonot puolet sekä mahdolliset mittaustulosten epävarmuutta tai varmuutta lisäävät tekijät. Lisäksi käsittelyssä otettiin huomioon menetelmien käytettävyyys V-simulaatioiden lisäksi myös L-simulaatioissa. Tässä tutkimuksessa kehitettävässä TSA-mittausmenetelmässä huomioidaan edellä mainitut hyvät ja huonot puolet erilaisista mittausmenetelmistä. Kehitettävää mittausmenetelmää käytetään lentotehtävän jälkeen asiantuntijan johdolla osana rutiininomaista lentotehtävän läpikäyntiä. Mittausmenetelmän osaksi muodostetaan mittauslomake. Lomakkeen kysymyksissä huomioidaan hävittäjätaistelun dynaaminen luonne, sille ominaiset ja tärkeät toiminnot sekä niiden merkitys SA:n muodostamiselle. Läpikäynnissä suoritettavan kyselyn tueksi kartoitetaan haastattelutapa, jolla tarkasteltavassa tilanteessa vaikuttanut tieto tai sen puute saadaan luotettavimmin elisitoitua. Tilanteessa vaikuttaneen tiedon elisitoinnin tueksi kehitetään lista syventävistä kysymyksistä, joita asiantuntija hyödyntää haastattelussa. Läpikäynneissä ohjaajien muistin tukena hyödynnetään lentotehtävän rekonstruktioita. Ohjaajilta saadut vastaukset syötetään vastauslomakkeelle ja niiden perusteella lasketaan yksittäisten ohjaajien SA:n tarkkuuden perusteella parven TSA. Tässä tutkimuksessa kehitettävää TSA-mittausmenetelmää hyödyntäen vältetään edellä esiteltyihin menetelmiin liittyvät heikkoudet sekä puutteet. Kehitettävällä TSA-mittausmenetelmällä käytetään luotettavasti määrittelemään TSA parven ohjaajilta saatujen vastausten perusteella.

Tutkimuksen lähdemateriaali koostuu kirjallisista lähteistä. Lähdemateriaalina käytetään tutkimuksen aihetta sivuavia ja siihen liittyviä tutkimusraportteja sekä artikkeleita. Alla on lueteltuna tämän tutkimuksen aihealueen keskeisimpiä teoksia. Teokset käsittelevät tilannetietoisuutta ja sen mittaamista, tiimityöskentelyä, suoritustason mittaamista sekä tiedon elisitointia SA:n arvioinnin apuna.

- Endsley, M. R. *A Survey of Situation Awareness Requirements in Air-to-Air Combat Fighters*. The International Journal of Aviation Psychology, 3(2), 1993, s.157-168.
- Lim, B-C., Klein, K. J. *Team mental models and team performance: A field study of the effects of team mental model similarity and accuracy*. Journal of Organizational Behaviour, 27, 2006, s. 403-418.
- Rouse, W. B., Cannon-Bowers, J. A., & Salas, E. *The role of mental models in team performance in complex systems*. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 22(6), 1992, s. 1296-1308.
- Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D., and Jalava, M. *Measurement of team performance in air combat – have we been underperforming?* Theoretical Issues in Ergonomics Science, 2020, s. 1-22.
- Hoffman, R., Lintern, G. *Eliciting and Representing the Knowledge of Experts*. Kirjassa Ericsson, K. A., Charness, N., Feltovich, P. J., Hoffman, R. R. (Toim.), The Cambridge handbook of Expertise and Expert Performance, s.203-223. USA: Cambridge University Press, 2006.
- Salas, E., Rosen, M. A., Burke, C. S., Goodwin, G. F., Fiore, S. M. *The Making of a Dream Team: When Expert Teams Do Best*. Kirjassa Ericsson, K. A., Charness, N., Feltovich, P. J., Hoffman, R. R. (Toim.), The Cambridge handbook of Expertise and Expert Performance, s.439-457. USA: Cambridge University Press, 2006.
- Langan-Fox, J., Anglim, J., & Wilson, J. R. *Mental models, team mental models, and performance: Process, development, and future directions*. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 14(4), 2004, s. 331-352.
- Stout, R. J., Cannon-Bowers, J. A., Salas, E., & Milanovich, D. M. *Planning, shared mental models, and coordinated performance: An empirical link is established*. Human factors, 41(1), 1999, s. 61-71.
- Endsley, M. R. *Toward a theory of situation awareness in dynamic systems*. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 37(1), 1995, s. 32-64.
- Prince, C., Ellis, E., Brannick, M., Salas, E. *Measurement of team situation awareness in low experience level aviators*. Int. J. Aviat. Psychol. 17 (1), 2007, s. 41-57. <https://doi.org/10.1080/10508410709336936>.
- Cooke, N., Stout, R., Salas, E. *Broadening the measurement of situation awareness through cognitive engineering methods*. Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet. 41 (1), 1997, s. 215-219. <https://doi.org/10.1177/107118139704100149>.

- Fowlkes, J., Lane, N., Salas, E., Franz, T., Oser, R. *Improving the measurement of team performance: the TARGETs methodology*. Mil. Psychol. 6 (1), 1994, s. 47-61. [https://doi.org/10.1207/s15327876mp0601\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327876mp0601_3).
- Bolstad, C., Endsley, M. *Measuring shared and team situation awareness in the army's future objective force*. Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet. 47 (3), 2003, s. 369-373. <https://doi.org/10.1177/154193120304700325>.
- Endsley, M. R. *Situation awareness global assessment technique (SAGAT)*. Proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference 3, 1998, s. 789-795. <https://doi.org/10.1109/NAECON.1988.195097>.
- 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 96, 2021.

## 1.2. Käsitteet ja määritelmät

Tässä tutkimuksessa esiintyy useita käsitteitä, termejä sekä lyhenteitä. Näiden ymmärtäminen on hävittäjätaistelun sekä tämän tutkimuksen kannalta välttämätöntä. Suurin osa hävittäjätaistelua ohjaavista asiakirjoista on julkaistu kansainvälisen yhteensopivuuden vuoksi englanniksi. Hävittäjätaistelun aikana parven ohjaajien radiokeskusteluissa käyttämä kieli on englanti. Näiden lisäksi koulutuksessa sekä taktisessa toiminnassa on Ilmavoimissa vakiintunut tapa käyttää englanninkielistä termistöä. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa on hyödynnetty englanninkielisiä kysymyslomakkeita sekä kuvia yhteneväisyyden säilyttämiseksi. Alla listattuna tässä tutkimuksessa esiintyvät tärkeimmät käsitteet ja määritelmät selityksineen.

### ATO, Air Tasking Order

Ilmaoperaation toimeenpanokäsky (ATO) on menetelmä, jolla annetaan puolustushaaroille, alayksiköille ja johtokeskuksille ilmaoperaatioon liittyvät taktiset tehtävät ja jaetaan niille tiedot käsketyistä lentosuoritteista, eri maaleja vastaan osoitetuista suorituskyvyistä ja/tai joukoista ja erikoistehtävistä. Käsky sisältää tavallisesti tarkat ohjeet kutsumerkeistä, maaleista ja johtokeskustoiminnasta sekä yleisiä ohjeita. [9] Ilmaoperaatikon käsikirja [51] tiivistää ATO:n olevan käsky, jolla toimeenpannaan ilmaoperaatio. Sen tärkein tehtävä on kohdentaa ja synkronoida ilmapuolustuksen resurssit ilmaoperaation tavoitteiden saavuttamiseksi ja tehtävien toteuttamiseksi komentajan tahdon mukaisesti.

## ATTRIBUUTTI

Tässä tutkimuksessa sanalla attribuutti tarkoitetaan kirjallisuuskatsauksesta tunnistettujen konseptien ominaisuuksia, jotka ovat pienimpiä mahdollisia ohjaajan havaittavissa olevia hävittäjätaistelun osia [52]. Attribuutteja voi olla useita yhtä konseptia kohden. Esimerkiksi konseptille 'oma parvi' määritellyjä attribuutteja ovat: 'TTP' ja 'Tasks'. Tässä tutkimuksessa käytettävät attribuutit ovat listattuna kuvassa 7 jossa näkyy myös niiden liittyminen tiettyyn konseptiin.

## BIG TAC

BigTac on järjestelmään kytketty uhkaympäristöpalvelin, jolla pystytään luomaan harjoitukseen tarvittava virtuaalinen maalitoiminta. BigTac:n maalien toiminta on ohjelmoitavissa. [53]

## BVR-HÄVITTÄJÄTAISTELU

BVR-hävittäjätaistelu (engl. Beyond Visual Range) kokonaisuutena käsittää mm. lentokoneiden, ilmatorjuntaohjusjärjestelmien, valvontatutkien ja johtamispaiikkojen lisäksi niitä operoivan henkilöstön. BVR-hävittäjätaistelussa lento-osasto pyrkii etsimään vihollisen oman koneensa sensoreita ja järjestelmiä hyödyntäen sekä torjumaan vihollisen laukaisemalla ilmasta ilmaan -ohjuksia. Torjunnan aikana lento-osasto pysyy näköetäisyyden ulkopuolella vihollisesta. [12]

## DCA (Defensive Counter Air)

Puolustuksellinen vastailmatoiminta DCA on puolustuksellisten ilmaoperaatioiden tehtävätyyppi, johon sisältyy yhtenä tehtäväprofiilina ilmasta ilmaan -toiminta. Puolustuksellisen vastailmatoiminnan tarkoituksena on vastustajan ilmavoiman hyökkäyksen torjuminen tai vastustajan toiminnan rajoittaminen omassa ilmatilassa. Puolustuksellisella vastailmatoiminnalla suojataan omia kohteita vastustajan ilmasotatoimilta. Puolustuksellinen vastailmatoiminta on luonteeltaan hyökkääjän toimintaan reagoivaa ja se sitoo puolustajan resursseja. Puolustuksellinen vastailmatoiminta jaetaan aktiiviseen ja passiiviseen vastailmatoimintaan. Vastailmatoimintaan osallistuvat kaikki puolustushaarat, rajavartiolaitos ja siviiliviranomaiset ilmapuolustustehtävää toteuttaessaan. [51]

## DTT (Deployable Tactics Trainer)

DTT on tarkoitettu avustamaan verkotettua parin- tai parvenjohtajan lentokoulutusta. Simulaattorin teknisessä toteutuksessa on mallinnettu vain sellaiset asiat, joilla on katsottu olevan merkitystä kyseisen lentokoulutuksen läpiviemiselle. DTT:n tietokoneohjelmista on käytännössä sama kuin WTSAT:ssa. Laitteet ja kytkimet, jotka puuttuvat DTT:stä, ovat vain ohjelmallisesti asetettu oletusarvoihin. Tämän ansiosta kaikki käytössä oleva toiminnallisuus on yhtenevä WTSAT:n kanssa. [53]

## ILMAVOIMIEN TAKTINEN OHJEISTUS

Ilmavoimissa käytössä olevat ohjekirjat, jotka pitävät sisällään eri konetyyppien taktisen ohjeistuksen. TTP:t pohjautuvat kunkin konetyypin omiin ohjekirjoihin, suorituskykyihin sekä taktiseen käyttöön niin normaali- kuin poikkeusoloissa. [54]

## KILL-CHAIN, LIVE-CHAIN

Kill-chain on prosessi, jolla kuvataan hyökkäyksen etenemisen vaiheita. Vastaavasti live-chain on prosessi, jolla kuvataan hyökkäyksen etenemisen vaiheiden estämistä [55]. Kill-chainia voidaan kuvata myös prosessina, joka konkretisoi kill-chainin toteutuksen tehtävätyöskentelyyn. Sen vaiheita ovat Find, Fix, Track, Target, Engage ja Assess (F2T2EA). [56]

## KONSEPTI

Tässä tutkimuksessa sanalla konsepti tarkoitetaan kirjallisuuskatsauksesta tunnistettuja hävittäjätaistelulle merkityksellisiä osa-alueita, kuten esimerkiksi 'oma parvi', ja ne voivat sisältää useita attribuutteja [52]. Tässä tutkimuksessa käytettävät konseptit ovat listattuna kuvassa 7.



## MACE (Modern Air Combat Environment)

MACE on Battlespace Simulations -yhtiön kehittämä konstruktiivinen ja virtuaalisimulaatioita tukeva simulaatio- ja uhkaympäristö, jolla on kattava taistelujärjestelmien valikoima. MACE sisältää niin maahan sijoitetut kuin myös lentävät asejärjestelmien kokonaisuudet, joihin kuuluvat aseet, lavetit ja erityisesti elektronisen sodankäynnin järjestelmät. MACE omaa laajan kirjon tietokoneavusteisia, puoliautomatisoituja sotilaallisen suorituskyvyn sovelluksia, joilla on kattava ja käyttäjäystävällinen taistelujärjestelmien valikoima. MACE voi simuloida edistyneitä, viidennen sukupolven järjestelmiä, mukaan lukien matalan tutkapaikkipinta-alan lavetit sekä aktiiviset ja passiivisesti elektronisesti keilaavat tutkat (AESA- ja PESA-tutkat). MACE tukee Distributed Interactive Simulation (DIS) -arkkitehtuuria, joka sisältää simulointien hallinnan kannalta laajan valikoiman erilaisia tapoja simuloida. MACE sopii erinomaisesti yksittäisten skenaarioiden luomiseen, mutta myös monimutkaisten ilma- taisteluiden simulointiin. [57] Suomen ilmavoimille MACE on tullut hävittäjälentolaivueiden käyttöön vuoden 2018 keväällä.

## NORMATIIVINEN SUORITUSKYKY

Yleiskielellä normatiivinen tarkoittaa toimintaa, joka toteutetaan normeja tai standardeja noudattaen [58]. Ilmataistelussa normatiivinen suorituskyky kuvaa sitä, miten tarkasti ohjaaja noudattaa käskettyjä TTP:n sääntöjä. [35]

## OHJAAJA

Ohjaaja on sotilaslentäjätutkinnon suorittanut koulutettu lentäjä. Ohjaaja voi lennolla toimia saamansa lentotehtävän suorittamiseksi muun muassa ilma-aluksen päällikkönä. Ilma-aluksen päällikkö vastaa lentotehtävän valmistelusta, lennon suorittamisesta sekä lennon raportoinnista. Ilma-aluksen päälliköstä voidaan käyttää myös nimitystä ohjaaja. [59]

## OPERAATIOANALYYSI

Operaatioanalyysi on tieteenala, jossa hyödynnetään tieteellisiä menetelmiä päätöksenteon tuessa. Operaatioanalyysi on tieteellinen käytänte ja näkökulma ongelmien analysoimiseen sekä päätöksentekoon. Operaatioanalyysillä pyritään myös luomaan käsitys monimutkaisista tilanteista ja systeemeistä sekä ymmärtämään niiden rakenne. Syntyneen ymmärryksen perusteella ennustetaan systeemin toimintaa ja parannetaan sen suorituskykyä. Suuri osa tämän diplomityön simulaatioiden tulosten analyysistä tehdään analyttisillä ja laskennallisilla menetelmillä. [60]

## SA (Situation Awareness, Tilannetietoisuus)

SA on yhden näkemyksen mukaan kolmitasoinen kuvaus henkilön kyvystä havainnoida toimintaympäristöään (SA taso 1), ymmärtää havaitsemiensa elementtien ja ilmiöiden väliset merkitykset (SA taso 2) ja ennakoida toimintaympäristön lyhyen aikavälin muutokset (SA taso 3) [4].

## SAGAT (Situational Awareness Global Assessment Technique)

Endsleyn vuonna 1988 esittelemä tilannetietoisuuden (SA:n) mittaamisen menetelmä, joka on tarkoitettu erityisesti lentosimulaatioiden arviointiin. [4] [45] [61]

## SIMULAATTORI

Simulaattori on laite, järjestelmä tai tietokoneohjelma, jolla voidaan toteuttaa simulaatioita. Harjoittelutarkoituksessa simulaattori on laite, jossa mallinnetaan esimerkiksi lentotehtävän ominaisuuksia, jotka vaativat ihmisen toteuttamia toimia, jotta saavutetaan annetun lentotehtävän vaatimukset. [62]

## SIMULOINTI

Simulointi on todellisuuden jäljittelyä. Simulointia ja siihen liittyvää analyysia käytetään lisäämään ymmärrystä erilaisista ilmiöistä ja erilaisten systeemien toiminnasta. Lentokoulutuksessa käytettävien simulointimenetelmien tarkoituksena on harjoittaa tekemään parempia päätöksiä tai parantaa prosessin suorituskykyä esimerkiksi ohjaajien osaamista kehittämällä. [63]

## TAISTELUNJOHTAJA

Ilmavoimiin koulutettu henkilö, joka toimii maasta käsin tehtävään tukea parvea sen taistelussa. Taistelunjohtaja on normaalitilanteessa jatkuvassa kaksisuuntaisessa radioyhteydessä parven jäseniin sekä välittää taistelun kannalta kriittistä tietoa LINK16-järjestelmällä. (Tutkijan oma määritelmä)

## TTP (Tactics, Techniques and Procedures)

TTP:t ovat ennalta määritettyjä ilmasodassa käytettäviä taktiikoita, tekniikoita ja menetelmiä, jotka muodostuvat joukosta kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia TTP-sääntöjä. TTP:itä kehitetään koko ajan johtuen muun muassa uhkan sodankäyntikyvyn kehittymisestä sekä omien teknisten järjestelmien päivittämisestä. [54] [35]

## VALMIUSOHJAAJA

Valmiusohjaaja-nimitystä käytetään Ilmavoimien ohjaajasta, joka on suorittanut hyväksytysti vaaditun lentokoulutuksen toimiakseen Hävittäjälentolaivuuden sodan ajan kokoonpanossa siipimiehen roolissa kyseessä olevalla lentokalustolla. Valmiusohjaajalla on kelpoisuus toimia kaikissa tehtävissä ja kaikissa sääolosuhteissa yhtenä parven jäsenenä. [54]

## VASTAILMATOIMINTA

Vastailmatoiminnan päämääränä on hallita operaatioalueen ilmatilaa ilmassa tapahtuvan toiminnan kontrolloimiseksi. Ilmanhallinnan (control of the air) tarkoituksena on kiistää vastustajalta ilmatilan käyttö oman toiminnan suojaamiseksi ja oman vapaan ilmatilankäytön mahdollistamiseksi, jotta Puolustusvoimien suorituskykyjä voidaan käyttää operatiivisten tai taktisten tavoitteiden saavuttamiseen. Ilmanhallintaa pidetään yleisesti sotatoimien onnistumisen edellytyksenä, joten sen hankkiminen on ilmaoperaatioiden ja ilmapuolustuksen ensisijainen tavoite. Vastailmatoiminta jaetaan puolustukselliseen ja hyökkäykselliseen vastailmatoimintaan. [51]

## WTSAT (Weapon Tactics And Situational Awareness Trainer)

WTSAT on Boeing Companyn valmistama F/A-18-virtuaalisimulaattori, jota käytetään suomalaisten Hornet-ohjaajien perus- ja taktiseen koulutukseen sekä tilannetietoisuuden kehittämiseen lentokoulutuksessa [64]. WTSAT on pääkoulutukseen tarkoitettu simulaattori, joka sisältää ohjaamon, visuaalijärjestelmän sekä opettajan työaseman. Ohjaamo on tehty vastaamaan lentokoneen ohjaamoja ulkonäöltään, mittasuhteiltaan ja "käsituntumaltaan". Visuaalijärjestelmä luo nykyaikaisen, tarkan kopion ulkoisesta maailmasta maaston ja maalimallien suhteen. [53]

### 1.3. Tutkimustehtävä ja tutkimuskysymykset

Työn tutkimustehtävänä ja tavoitteena on kehittää mittausmenetelmä hävittäjäparven TSA:n ja sen tarkkuuden mittaamiseen. Mittausmenetelmä kehitetään BVR-hävittäjätaistelulle. Menetelmässä otetaan huomioon ohjaajien suoriutuminen sekä parven jäsenten tehtävätyöskentely ja tiimityöskentely. Mittausmenetelmä on osa Suomen ilmavoimissa kehitteillä olevaa ilmataistelumenestystä luonnehtivaa mittaristoa. Mittaristolla tuetaan sotavarusteiden, käyttöperiaatteiden ja koulutustason mittaamista sekä vertailua. Ilmavoimissa kehittäminen ja vertailu kohdistuvat käyttöperiaatteiden, sotavarustuksen ja koulutustason kehittämiseen. [25] Kehittämisen ja vertailun tueksi edellytetään luotettavaa mittaria.

Lisäksi työssä tutkitaan kehitettävän mittarin avulla TSA:n tarkkuuden suhdetta parven tehtävässä saavuttamaan suoritustasoon. Hävittäjätaistelussa suoritustasoa mitataan usein vertailemalla torjuttujen viholliskoneiden ja omien tappioiden lukumäärien suhdetta [25]. Tätä pudotussuhteeksi kutsuttua suhdelukua käytetään tässä tutkimuksessa suoritustason mittarina vertaillaessa TSA:n tarkkuuden ja suoritustason välistä riippuvuussuhdetta.

Tutkimuksen otsikko on:

## HÄVITTÄJÄPARVEN OHJAAJIEN YHTEISEN TILANNETIETOISUUDEN MITTAAMINEN JA VAIKUTUS PARVEN SUORITUSTASOON.

Tutkimuksen pääkysymys on:

Miten hävittäjäparven TSA:n tarkkuutta näköetäisyyden ulkopuolella tapahtuvassa hävittäjätaistelussa voidaan mitata ja millainen on TSA:n vaikutus parven suoritustasoon?

Tutkimuksen alakysymykset ovat:

1. Mitkä hävittäjätaistelun osa-alueet eli konseptit ja näiden ominaisuudet eli attributit ovat merkityksellisiä hävittäjäparven ohjaajien tilannetietoisuudelle näköetäisyyden ulkopuolella tapahtuvassa taistelussa?
2. Mitkä tilannetietoisuuden konseptit ja attributit tulee valita kehitettävään mittausmenetelmään ja miten TSA:n tarkkuuden mittaus toteutetaan häiritsemättä lento tehtävän suorittamista?
3. Millainen riippuvuussuhde parven TSA:n tarkkuudella ja suoritustasolla on?
4. Miten mittausmenetelmän toimivuus ja käyttökelpoisuus lentosimulaattorissa lennettävissä tehtävissä validoidaan?

Tutkimuksen kahteen ensimmäiseen alakysymykseen vastataan luvussa 2. Luvussa käsitellään kirjallisuuskatsauksena toteutettu konseptien ja attribuuttien valintaprosessi sekä TSA-mittausmenetelmän kehittäminen, joka sisältää myös mittausmenetelmän osana käytettävän kyselytekniikan. Luvussa 4 vastataan tutkimuksen kolmanteen ja neljänteen alakysymykseen luvussa 3.4 esitettyjen tulosten perusteella. Tutkimuksen pääkysymykseen vastataan luvun 5 johtopäätöksissä.

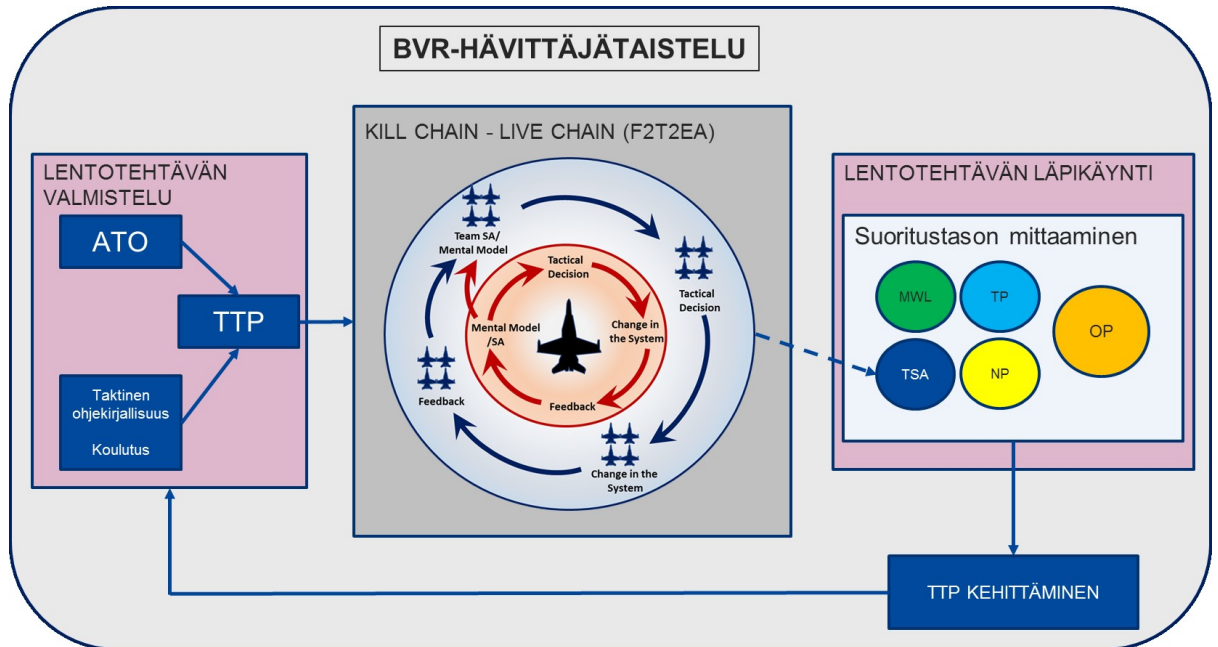
#### 1.4. Tutkimuksen näkökulma, rajaukset ja viitekehys

Tämä tutkimus muodostaa osan Ilmavoimissa suoritettavasta laajemmasta tutkimuskokonaisuudesta, jossa tutkitaan hävittäjälentäjien suorituskyvyn parantamista ilmataistelussa sekä suoritustasoa mittaavien menetelmien kehittämistä [25] Siten tämä tutkimus on osa Ilmavoimien ilmasotataktiikan kehittämistä.

Parven ohjaajien muodostamaa TSA:a mitataan tässä tutkimuksessa kehitettävällä mittausmenetelmällä. Mittausmenetelmän toimivuus todennetaan V-simulaatiossa hyödyntäen hävittäjälentolaivueiden koulutuskäytössä olevia lentosimulaattoreita. Lentosimulaattoreissa on mahdollista manipuloida lentotehtävän vaativuutta vaarantamatta lentoturvallisuutta. Samoin lentosimulaattoreissa kyetään toimimaan Ilmavoimissa käytössä olevien ja salaisiksi luokiteltujen uhkamallien, TTP:ien ja taktisen ohjekirjallisuuden mukaisesti operaatioturvallisuuden vaarantumatta. Mittausmenetelmää voidaan kuitenkin hyödyntää kaikissa L- ja V-simulaatioissa, joissa on mahdollisuus rekonstruoida lennetty lentotehtävä absoluuttisen totuuden tarkastelemiseksi (ground truth). L-simulaatio on simulaatio, joka tapahtuu todellisilla välineillä todellisessa ympäristössä ihmisten operoimana, mutta osittain simuloidusti. Esimerkkinä voidaan mainita tähän tutkimukseen viitaten ohjaajan oikeasta hävittäjästä simuloituna laukaistu ohjus oikeaa konetta kohti. V-simulaatiossa toimintaympäristö on tietokoneen luoma, mutta simulaattoria ohjaa ihminen. [65] Tässä tutkimuksessa lentosimulaattoreiden toimintaympäristö luodaan BigTac-uhkaympäristöpalvelimella, jolla pystytään luomaan harjoitukseen tarvittava virtuaalinen maalitoiminta sekä ohjelmoimaan niiden toiminta [53].

Tutkimuksen näkökulma on TSA:n merkitys ilmavoimallisen BVR-hävittäjätaistelun TTP:iden kehittämisessä ja parven suoritustason parantamisessa. Jotta lentotehtävälle asetetut tavoitteet saavutetaan, tulee parven ohjaajien koordinoita keskenään taistelun aikana tapahtuva toiminta. Lentotehtävää suorittaessaan parven jäsenet havainnoivat ympäristöönsä ja tunnistavat siihen sopivat TTP:t, valitsevat yhden TTP:n ja noudattavat sitä. Jos sopivaa TTP:tä ei löydy, pitää parven jäsenten keksiä sellainen. TTP:n noudattamisella mahdollistetaan parven kurinalainen ja säännönmukainen toiminta ominaisuuksiltaan kaootisessa ja ennalta-arvaamattomassa hävittäjätaistelussa. [37] TTP:n valinnan ja toteuttamisen edellytys on hyvä SA, jotta TTP:n valinta ja toteutus ei perustuisi pelkälle arvaukselle. Siten ollen TSA on tärkein osa parven kill-chainin toteutuksessa, koska se mahdollistaa lentokoneen ja sen järjestelmien, esimerkiksi asejärjestelmän, tehokkaan käytön ilmasodankäynnissä. [6] TSA:n merkitys konkretisoituu parven lentotehtävällä saavuttamassa suoritustasossa, mutta mitatusta suoritustasosta ei voida johtaa TSA:ta [26].

Tässä työssä suoritettava hävittäjäparven TSA:n mittaaminen rajataan käsittelemään toimintaa BVR-hävittäjätaistelussa. BVR-hävittäjätaistelun eri tehtävätyypeistä tarkastellaan ainoastaan DCA-toimintaa. Tarkastelu sijoittuu nykyhetken uhkamallin sekä taktista toimintaa ja ilmaoperaatioita ohjaavan kirjallisuuden osalta.



Kuva 2: Tutkimuksen viitekehys. Tämän tutkimuksen tuottamaa TSA-mittausmenetelmää hyödynnetään osana lentotehtävän läpikäyntiä. ATO: Air Tasking Order, TTP: Tactics Techniques and Procedures, F2T2EA: Find, Fix, Track, Target, Engage, Assess, MWL: Mental Work Load, TP: Task Performance, NP: Normative Performance, TSA: Team Situation Awareness, OP: Output Performance.

Kuvassa 1 on esitetty tutkimuksen viitekehys. Viitekehysten keskiössä on Ilmavoimien taktisen ohjeistuksen mukainen BVR-hävittäjätaistelu. Mansikka et al. [25] kehittämään ilmataistelun systeemimalliin pohjautuva parven suorituskykyymittariston hyödyntäminen on havainnollistettu osana lentotehtävän läpikäyntiä. Mittaristossa on viisi mittaria:

- OP mittaa parven työskentelyn lopputuotetta sille asetettujen tavoitteiden sekä annetun tehtävän suhteen. OP:lla voidaan mitata tiettyjä suureita, jotka asetetaan ennen lentotehtävän suorittamista ja ilmentävät ilmaoperaation haluttua lopputulosta, esimerkiksi pudotussuhde. [25]
- Ohjaajat hyödyntävät kognitiivisia resurssejaan tehtävätyöskentelyn yhteydessä. Kognitiiviset resurssit ovat rajallisia ja niiden riittävyys lentotehtävän suorittamiselle riippuu tehtävän asettamasta vaativuudesta, jolloin niillä on vaikutus ohjaajien kykyyn käsitellä informaatiota ja tehdä taktisia päätöksiä [66]. MWL mittaa ohjaajien kognitiivisten resurssien ja tehtävän asettaman vaativuuden välistä tasapainoa. [11] Hart & Staveland [67] suosittama menetelmä MWL mittaamiseksi on NASA-TLX (engl. National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index), joka on ohjaajille lennon jälkeen teetettävä kysely. Kysely kartoittaa ohjaajien kokemaa kuormitusta

kuudessa eri dimensiossa: henkinen, fyysinen, ajallinen, suoritustaso, ponnistelu ja turhautuminen.

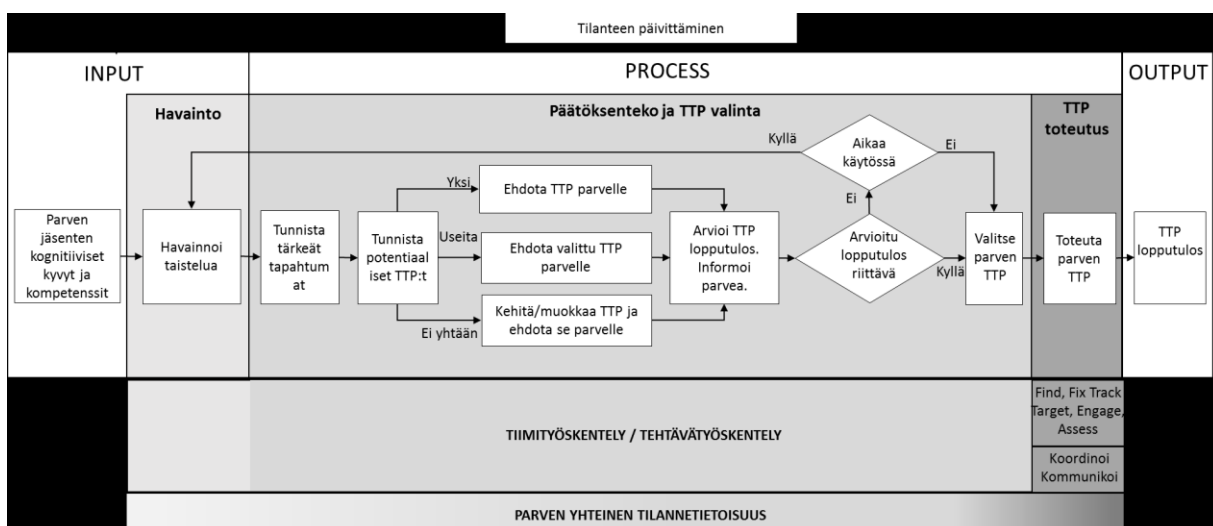
- TP mittaa parven tehtäväsuorituskykyä, joka saadaan mittaamalla kill- ja live -chainien toteutumista. Kill- ja live -chaineilla määritetään erilliset TP:t. TP kill mittaauksessa tunnistetaan maalia vastaan hyökätessä toteutuneiden kill-chainin vaiheita. TP live mittauksessa tunnistetaan hyökkäyksen kohteen live-chainin vaiheita. [25]
- NP mittaa normatiivista suorituskykyä, joka kuvaa parven jäsenten TTP:n noudattamisen tarkkuutta [37]. NP:n mittaamiseen on kehitteillä menetelmä, jolla normatiivista suorituskykyä pystytään mittaamaan.
- TSA mittaa parven yhteistä tilannetietoisuutta, johon tämä tutkimus tuottaa mittausmenetelmän.

Viitekehyksen mukainen BVR-hävittäjätaistelu voidaan lentotehtävän suorittamisen näkökulmasta jakaa kolmeen vaiheeseen: valmistelu, toteutus ja läpikäynti. Valmisteluvaiheessa parven ohjaajat perehtyvät lentotehtävälle asetettuihin tavoitteisiin ja tehtävään, jotka määrätään ATO:ssa, eli ilmaoperaation ohjauksikäskyssä. ATO määrittelee myös lentotehtävän suoritukselle kriittisiä tekijöitä, joista TTP:iden valinnan kannalta tärkeimpänä on uhka. Nämä ATO:n määrittelemät tekijät ja tehtävä huomioon ottaen parven johtaja suunnittelee lentotehtävällä käytettävät TTP:t. Valittaviin TTP:hin vaikuttaa myös taktisen ohjekirjallisuuden antamat ohjeet ja toimintamallit sekä koulutuksen aikana saadut kokemukset vastassa olevasta uhasta. Valmisteluvaihe päättyy parven yhteiseen tehtävänantoon, jossa parven johtaja käskää lennolla käytettävät TTP:t.

Lentotehtävän valmisteluvaiheen päätyttyä alkaa lentotehtävän toteutusvaihe. Toteutusvaiheessa parven toiminta keskittyy TTP valintaan ja toteuttamiseen. Ilmassa tapahtuvaa parven toimintaa kuvaa parhaiten kolmivaiheinen ja syklinen IPO-malli (engl. Input Process Output), joka havainnollistaa tiimityöskentelyn dynaamisen ja moniuloitteisen luonteen sekä eri osaprosessien tärkeyden tehokkuuden tavoittelussa [68] [69].

Kleinin [70] sekä osin myös Burke et al. [71] ja Cannon-Bowers, et al., [72] kuvailemassa IPO-mallissa hävittäjätaistelun tilasta tehdään havaintoja, joista parven jäsenet tunnistavat taistelun kannalta tärkeitä tapahtumia. Kuvassa 3 on esitetty IPO-malli. Malli esittää kolmivaiheisen parven ohjaajien tilannetietoisuuden käsittelyn TTP valintaan ja toteutukseen liittyen. Vaiheet ovat: havainto, päätöksenteko ja TTP:n valinta sekä TTP:n toteutus.

Ensimmäisessä vaiheessa parven ohjaajat havainnoivat ympäristöään ja pyrkivät tunnistamaan siitä parven toiminnan kannalta merkityksellisiä tapahtumia, kuten esimerkiksi viholliskoneita. Havaittuihin viholliskoneisiin liittyen parven ohjaajat tekevät toisessa vaiheessa TTP:n valintaan liittyen vertailua, jossa tehtyä havaintoa vertaillaan käskettyihin TTP:ihin. Jos sopivaa TTP:tä ei löydy, joutuvat parven ohjaajat muokkaamaan käskettyjä TTP:tä tai valitsemaan kokonaan uuden TTP:n. Toisessa vaiheessa parven ohjaajat pyrkivät myös ennustamaan TTP:iden mahdollisia lopputuloksia ennen TTP:n valintaa. Kolmannessa vaiheessa tilanteeseen parhaiten sopiva TTP toteutetaan. TTP:n toteutus on F2T2EA-prosessin toteutusta ja se aiheuttaa muutoksen hävittäjätaistelussa. Aiheutunut muutos pyritään havainnoimaan, jolloin uusi kolmivaiheinen sykli alkaa alusta. Edellä kuvattua havainnointia ja päätöksentekoa yhdistää parven TSA kuvan 3 esittämällä tavalla.



Kuva 3: Input-process-output malli parven TTP:n valinnasta hävittäjätaistelussa. Mukailtu Mansikka, Virtanen, Järvinen & Harris [73].



Lentotehtävän jälkeen parven suoriutumista tehtävässä ja tavoitteiden saavuttamista arvioidaan lentotehtävän läpikäynnissä. Arvioinnissa huomioidaan mitä ATO:ssa on käsketty ja onko käsketyt tavoitteet saavutettu. Tavoitteiden saavuttamisessa huomioidaan myös parven tehtävätyöskentely, jotta voidaan arvioida myös lennolle käskettyjä TTP:tä. Läpikäynnissä pääpaino on tehtävän suorittamiseen vaikuttaneiden tapahtumien syy-seuraus -suhteiden tarkastelussa, so. tilannetietoisuuden hyvyyden ja tarkkuuden tarkastelussa. Lentotehtävän läpikäynnissä kyetään tarkastelemaan TTP:n toimivuutta ja mahdollisuuksia kehittää sitä paremmaksi, jos päätöksenteon perustana oleva tilannetietoisuus kyetään luotettavasti todentamaan. Yhteisen tilannetietoisuuden tarkkuutta arvioidaan läpikäynnissä vertaamalla sitä hävittäjätaistelun todelliseen tilanteeseen, jossa ei ole mahdollisen havainnoitsijan tekemiä virheitä [25]. Tässä tutkimuksessa hävittäjätaistelun todellinen tila on nähtävillä simulaatiosta tehdyllä rekonstruktioilla, josta on tarkasteltavissa kaikki lennon tapahtumat sekä radioliikenne. Läpikäynti osoittaa kuinka hyvin ja mille tasolle ohjaajat olivat kyenneet muodostamaan päätöksiinsä vaikuttaneen yhteisen tilannetietoisuuden. Elisitoimalla ohjaajien päätöksentekoon vaikuttanut tieto on mahdollista ymmärtää ohjaajien päätöksenteon perusteet, eli tilannetietoisuus. Nämä käsitellään tarkemmin luvussa 1.7.

Taktiikan kehittämisen ja näin ollen myös suoritustason parantamisen näkökulmasta on tärkeää arvioida ja mitata päätöksenteon taustalla vaikuttanutta TSA:ta, jonka perusteella TTP on valittu. Kun analysoidaan perusteellisesti hävittäjäparven toimintaa sen erikseen mitattavien osakokonaisuuksien kautta, voidaan mahdollisesti sen suoritustasoa parantaa pelkästään yksittäisiä osakokonaisuuksia kehittämällä (vrt. [74]). Tässä tutkimuksessa mitattava osakokonaisuus on kuvan 2 mukaisesti TSA.

Hävittäjäparven TTP:iden kehittäminen tulee tehdä oikeilla perusteilla. Parven ohjaajien lennolla suorittama TTP:n valinta ja toteutus ovat kiinteästi yhteydessä päätöksentekoon tässä luvussa kuvatulla tavalla. Parven ohjaajien tekemien päätösten perustana on SA. TTP:tä toteuttamalla hävittäjätaistelussa tapahtuu muutoksia, joita parven ohjaajat havainnoivat, kunnes lentotehtävä on suoritettu. Tarkka TSA on parven tehtävän suorituksen kannalta tärkeä ja siksi sitä tulee kyetä mittaamaan. Hävittäjätaistelun taktiikan ja taistelutekniikan kehittäminen edellyttää objektiivisuutta, johon tämä tutkimus vastaa TSA-mittausmenetelmän kehittämisellä.

## 1.5. Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen menetelmällisten ratkaisujen kokonaisuus tarkoittaa tutkimusstrategiaa ja siitä on erotettavissa suppeampina käsitteinä tutkimusmetodeja eli tutkimusmenetelmiä. Tutkimusstrategian samoin kuin yksittäisten tutkimusmenetelmien valintaan vaikuttaa tutkimustehtävä tai tutkimusongelmat. [75] Tämä tutkimus on sotatekniikan soveltava tutkimus, jonka tavoitteena on kehittää mittausmenetelmä ja todentaa sen toimivuus hävittäjäparven TSA:n tarkkuuden mittaamiseksi. Tämän lisäksi tutkimuksessa pyritään selvittämään TSA:n vaikutusparven suoritustasoon.

Tutkimuskysymysten luonteen vuoksi niihin vastaaminen edellyttää useamman kuin yhden tutkimusmenetelmän käyttöä [76]. Tutkimuksessa hyödynnetään sekä kvalitatiivisia, että kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä toisiaan täydentävinä menetelminä, jotta tutkimuskysymyksiin kyetään vastaamaan luotettavasti. Kvalitatiivisin menetelmin taataan mitattavien asioiden tarkoituksenmukaisuus tutkimuksen ongelmien kannalta sekä mielekkyys tutkimushenkilöille. [75] Kvalitatiivisin menetelmin luodaan tutkimuksen teoriapohja. Määrällisessä eli kvantitatiivisessa tutkimuksessa teoriat ovat myös niitä, joista tutkimus alkaa ja mitattavat asiat muodostetaan yleensä teoriasta [77].

Vilka [77] tiivistää kvantitatiivisen tutkimuksen tarkoituksen olevan selittää, kuvata, kartoittaa, vertailla tai ennustaa ihmistä koskevia asioita tai luonnon ilmiöitä. Se pyrkii tulosten yleiseen kuvailuun numeraalisesti. Määrällisen tutkimuksen tavoitteena on löytää aineistosta yleisiä lainalaisuuksia. Tässä tutkimuksessa standardoidulla lomakkeella kerättävä tieto analysoidaan tilastollisin menetelmin. Analysoimalla kerättyä tietoa haetaan yleisiä lainalaisuuksia TSA:n ja suoritustason väliltä jäljempänä esiteltävillä analyysimenetelmillä. Samoin analyysillä pyritään todentamaan TSA-mittausmenetelmän sensitiivisyys ja luotettavuus.

Tutkimuksen tavoite ja kysymykset liittyvät ihmisten suorittamaan ongelmanratkaisuun, jonka tutkimisessa hyödynnetään operaatiotutkimusta. Sotilaallisessa kontekstissa operaatiotutkimuksesta käytetään nimitystä operaatioanalyysi. Operaatioanalyysi on tutkimusta, joka hyödyntää kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia menetelmiä mallintamisessa ja ongelmanratkaisussa. Operaatioanalyysi keskittyy ongelmanratkaisuun tosielämän tilanteissa, jonka vuoksi ihmisen käyttäytyminen tulee ottaa huomioon. [78] Operaatioanalyysin menetelmistä hyödynnetään BOR:a (engl. Behavioral Operational Research) tutkittaessa ihmisiä ongelmanratkaisuja päätöksentekotilanteessa. BOR:n tavoitteena operaatioanalyysissa on kehittää päätöksentekoa ja varmistaa hyödynnettävien mallien, esimerkiksi simulaatioiden, käytettävyys ihmisten käyttäytymistä käsittelevissä tutkimuksissa [78].

BOR:a hyödyntämällä varmistetaan tutkimuksessa tarvittava teoreettinen ja menetelmällinen operationalisointi yhdeksi kokonaisuudeksi. BOR:n avulla tuetaan TSA-mittausmenetelmän kehittämistä ja tutkimuskysymyksiin vastaamista varmistamalla tutkimuksen kokonaisuuden soveltuminen ihmisten tutkimukseen. [79] Tässä tutkimuksessa käytetään operaatioanalyysin menetelmistä simulaatiota. Simulaatiolla luodaan TSA-mittausmenetelmän testaustapahtumassa hyödynnettävät BVR-hävittäjätaistelun skenaariot. Kuten jo aiemmin on todettu, ohjaajat suorittavat hävittäjätaistelussa lentotehtävänsä aikana päätöksentekoa, joka on lentotehtävän suorittamiseen liittyvä ongelmanratkaisua. Lentotehtävän läpikäynnissä kerättävien tietojen luotettavuuden lisäämiseksi tulee ymmärtää ja osata ottaa huomioon inhimillisen toiminnan mahdollinen vaikutus ongelmanratkaisussa ja päätöksenteossa. BOR:n tavoitteena on huomioida inhimillinen toiminta ja inhimilliset tekijät osana tutkimusta [78].

Laadullisen ja määrällisen tutkimuksen yhdistämistä nimitetään mixed methods -tutkimukseksi. Mixed methods -tutkimuksessa on pyrkimyksenä luoda parempaa ymmärrystä tutkimusongelmista yhdistämällä laadullisen ja määrällisen tutkimuksen menetelmiä. Yhdistelmällä päästään parempaan lopputulokseen kuin laadullisella tai määrällisellä menetelmällä yksinään. Tähän liittyy myös heikkouksien poistaminen, joita syntyisi käyttämällä yksin laadullista tai määrällistä menetelmää. Mixed methods -lähestymistapa mahdollistaa sellaisten tutkimusongelmien asettamisen, joihin laadullinen tai määrällinen menetelmä ei yksinään kykene vastaamaan. [80] Laadullisen ja määrällisen tutkimuksen yhdistämistä voidaan Hirsjärvi, et al. [76] mukaan nimittää triangulaatioksi, sekastrategiaksi tai yhdistetyiksi operaatioiksi. Tavallisimmin näillä tarkoitetaan tutkimustulosten validiuden parantamisen tavoittelua ja ne perustuvat usean tutkimusmenetelmän käyttöön. [76] Tutkimusongelmat määräävät tässä tutkimuksessa käytettävät tutkimusmenetelmät.

Tässä tutkimuksessa kvalitatiivisella menetelmällä suoritetaan katsaus tutkimuksen aiheeseen liittyviin aiempiin tutkimuksiin sekä kirjallisuuteen. Katsauksen tavoitteena on määritellä tutkimuksessa tarvittava teoria BVR-hävittäjätaistelulle tärkeiden konseptien ja attribuuttien tunnistamiseksi. Tunnistettujen konseptien ja attribuuttien perusteella muodostetaan TSA-mittausmenetelmän osaksi mittauslomake. Kvantitatiivisin menetelmin testataan parven ohjaajien yhteisen tilannetietoisuuden mittausmenetelmän toimivuus, sensitiivisyys ja luotettavuus sekä mahdollinen TSA:n ja suoritustason välinen riippuvuussuhde.

## 1.6. Aineiston analysointi

Tässä kappaleessa esitellään tutkimuksen kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen aineiston analysoinnissa käytettävät menetelmät. Tarkempi tutkimuksen vaiheiden kuvaus esitellään kappaleessa 1.8, jossa havainnollistetaan, kuinka aineistoa on käsitelty missäkin vaiheessa ja minkä vuoksi.

Kvalitatiivisen aineiston analysointimenetelmänä käytetään systemaattista kirjallisuuskatsausta sisällönanalyysin keinoin. Tutkimukseen liittyy oleellisena osana kirjallisuuskatsaus, jonka tarkoituksena on näyttää, mistä näkökulmista ja miten kyseistä asiaa on aiemmin tutkittu ja miten suunnitteilla oleva tutkimus liittyy jo olemassa oleviin tutkimuksiin [81]. BVR-hävittäjätaistelulle merkityksellisimmiksi osoittautuvien asioiden löytyminen varmistetaan analysoimalla aineistojen sisäisistä variaatioista yleisimpiä johtopäätöksiä. Näin ollen hahmotetaan kokonaisuus ja huomio kyetään kiinnittämään aineistojen välisiin eroihin sekä yhtäläisyyksiin. Merkityksellisimmiksi todetuille asioille suoritetaan koodaus, jolla tunnistetaan ja nimetään aineistosta löytyneitä sisällöllisiä kokonaisuuksia. [81] Laadullinen sisällönanalyysi on hyvin lähellä teemoittelua, jossa aineistoista nostetaan esiin tutkimustehtävän kannalta keskeisiä asiakokonaisuuksia ja usein esiintyviä piirteitä. Sisällönanalyysiä ja teemoittelua käytetään usein synonyymeina toisilleen [82]. Sisällönanalyysin tavoite on luoda selkeä kuvaus tutkittavasta ilmiöstä kadottamatta aineiston sisältämää informaatiota [81]. Sisällönanalyysia voidaan jatkaa tuottamalla sanallisesti kuvattua aineistosta määrällisiä tuloksia. Aineisto ensin pirstotaan pienempiin osiin, käsitteellistetään ja lopuksi järjestetään uudelleen kokonaisuudeksi. [83] Perehtymällä aiemmin julkaistuihin tutkimuksiin sekä aihetta käsittelevään kirjallisuuteen, kartoitetaan hävittäjätaistelussa menestymisen kannalta tärkeitä kokonaisuuksia, eli konsepteja. Asiantuntijoiden avulla sekä tutkijan omalla asiantuntijuudella määritellään konseptien mitattavissa olevat ominaisuudet, eli attribuutit. Tärkeimmiksi tulkittavat attribuutit operationalisoidaan TSA:n mittaamisen mahdollistamiseksi.

TSA-mittausmenetelmän kehittäminen vaatii BVR-hävittäjätaistelun operationalisointia, jotta käytännössä tapahtuva TSA:n mittaaminen onnistuu. Määrällisessä tutkimuksessa muuttujat ovat usein käsitteellisiä, minkä vuoksi ne pitää rakenteellisesti purkaa ennen mittaamista pienempiin osa-alueisiin [84]. Tässä tutkimuksessa käsitteiden rakenteellisella purkamisella tarkoitetaan BVR-hävittäjätaistelulle merkityksellisten konseptien ja attribuuttien muodostamista. Operationalisointiin liittyen korostuu sisällönanalyysin merkitys hävittäjätaistelulle ja tilannetietoisuuden muodostamiselle tärkeiden osa-alueiden, ominaisuuksien ja toimintojen (konseptit ja attribuutit) määrittelyssä ja teemoittelussa. Operationalisoinnilla varmistetaan, että tiedetään mitä ja miten tutkitaan sekä mitä pitää mitata. Määrällisessä tutkimuksessa mitaus edellyttää käsitteiden määrittelemistä ennen tutkimusaineiston keräämistä. Käsitteet on määriteltävä sellaisiksi, että niitä voidaan mitata. Teoreettisten käsitteiden ja teorian muuttamista arkikielen tasolle ja mitattavaan muotoon kutsutaan operationalisoinniksi. [77]

Standardoidulla lomakkeella lentotehtävän läpikäynnin yhteydessä kerättävä aineisto muodostaa tutkimuksen kvantitatiivisen aineiston. Haastattelussa tulee kysyä vain tutkimuksen tarkoituksen ja ongelmanasettelun kannalta merkityksellisiä kysymyksiä, jolloin kysymyksille pitää löytyä perustelu tutkimuksen viitekehystä, tutkittavasta ilmiöstä ja siihen liittyvästä tiedosta [81]. Mittauslomakkeen valmistelussa korostuu onnistunut kirjallisuuskatsaus sekä sisällönanalyysin jälkeen suoritettava aineiston operationalisointi. Haastattelussa hyödynnetään CDM-menetelmää (engl. Critical Decision Method) vastausten laadun ja tarkkuuden varmistamiseksi. CDM-menetelmää hyödynnetään jälkikäteen suoritettavassa puolistrukturoidussa haastattelussa käyttäen syventäviä kysymyksiä käsiteltävästä aiheesta. CDM-menetelmän perimmäinen tarkoitus on mahdollistaa toiminnan aikaisen ajattelun ja päätöksenteon taustalla vaikuttaneiden asioiden syvällisempi käsitys sekä vallinnut tieto. [149] CDM-menetelmää ja sen käyttöä kuvataan tarkemmin luvussa 2.2.

Kvantitatiivinen aineisto analysoidaan tilastollisin menetelmin. SPSS on tilastoaineistojen analysointiin tarkoitettu ohjelma, jolla voidaan tehdä tilastollisen päättelyn vaatimia laskentoja. Tilastollisella päättelyllä tarkoitetaan päätelmien tekemistä perusjoukosta otetun otoksen perusteella. Olennaisesti tilastolliseen päättelyyn liittyy hypoteesien testaus. Hypoteesit valitaan tutkimukseen tutkijan tekemiin oletuksiin perustuen. Nollahypoteesiksi valitaan alkupeleistä oletusta vastaan oleva hypoteesi. Nollahypoteesi pyritään kumoamaan empiiristä aineistoa tutkimalla. Nollahypoteesille asetettu vastahypoteesi hyväksytään, jos nollahypoteesi saadaan kumottua. Joissain tutkimuksissa hypoteesin sijaan puhutaan merkitsevyydestä, jolloin puhutaan riippuvuuden merkitsevyydestä. [86] Tilastolliset merkitsevyydestestaukset kertovat millaisella varmuudella tiedot voidaan yleistää perusjoukon jäseniin. Merkitsevyydestestauksessa on käytössä kolme termiä kuvaamaan tulosten yleistettävyyden riskiä: [87]

- tilastollisesti melkein merkitsevä ( $p < 0.05$ )
- tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0.01$ )
- tilastollisesti erittäin merkitsevä ( $p < 0.001$ )

Merkitsevyystestejä on useita jakautuen ei-parametriisiin ja parametriisiin testeihin [87]. Tässä tutkimuksessa käytetään parametrisia testejä, joilla vertaillaan keskiarvoja.

Tilastollisen hypoteesin testaamiseksi aineistolle tehdään t-testi, jonka tarkoituksena on testata hypoteesin paikkansapitävyyttä. Toisin sanoen t-testillä varmistetaan, ettei havaittu tulos ole sattuman aikaansaama. [87] T-testin tekemiseksi tulee määritellä riippuva muuttuja sekä riippumaton muuttuja niiden välisten riippuvuussuhteiden selvittämiseksi. Riippumaton muuttuja selittää riippuvan muuttujan vaihtelua. Riippuville muuttujille lasketaan keskiarvo sekä keskijajonta t-testin suorittamista varten. Tässä tutkimuksessa riippumaton muuttuja on TSA-vaativuustaso ja riippuvia muuttujia ovat suoritustaso, eli pudotussuhde, sekä TSA-tarkkuusindeksi. TSA-vaativuustaso ja TSA-tarkkuusindeksi selvennetään luvussa 2. Tutkimuksen tilastolliset hypoteesit ovat:

- Nollahypoteesi ( $H_0$ ) kahden riippuvan muuttujan t-testissä keskiarvot ovat yhtä suuret.
- Vastahypoteesi ( $H_1$ ): kahden riippuvan muuttujan t-testissä keskiarvot ovat erisuuret.

Tilanteessa, jossa riippuvia muuttujia on useampi kuin yksi, tulee tehdä kahden riippuvan otoksen t-testi. Kahden riippuvan otoksen t-testillä tarkoitetaan mittaustilannetta, jossa samoja koehenkilöitä mitataan jonkin ajan kuluttua uudestaan. Vastauksena saatava p-arvo ilmentää todennäköisyyttä sille, että riippuvien muuttujien keskiarvojen poikkeama selittyy pelkästään otantavirheellä. Mitä pienempi p-arvo on tuloksena, sen vahvemmin osoitetaan keskiarvojen eron poikkeavan nolasta. [88] Mitattaessa toistuvasti eri käsittelyllä samaa tutkittavien joukkoa, puhutaan toistomittauksesta. Tällöin aineiston analyysimenetelmäksi sopii toistomittausten varianssianalyysi, jolla voidaan tutkia eri käsittelyjen vaikutuksia. [89] Tässä tutkimuksessa toistomittausten varianssianalyysillä tutkitaan TSA-vaativuustason säätelyn vaikutusta TSA-tarkkuusindeksiin sekä suoritustasoon. Tällä todennetaan aiheuttavatko myöhemmin esiteltävät TSA-vaativuustasot hypoteesin mukaisen vaikutuksen TSA-tarkkuusindeksiin ja suoritustasoon.

Korrelaatio tarkoittaa riippuvuussuhdetta. Korrelaatiokerroin kertoo numeroarvona kahden muuttujan välisen riippuvuuden. Korrelaatio kuvaa riippuvuuden suuntaa, voimakkuutta ja yhteisvaihtelun olemassaoloa. Suunta voi olla positiivinen tai negatiivinen, jossa positiivinen tarkoittaa muuttujien arvojen kasvavan samaan suuntaan. Negatiivisessa korrelaatiossa muuttujien arvot vähenevät samaan suuntaan. [84] Korrelaatiokerroimen arvo vaihtelee -1 ja 1 välillä ja se kuvaa verrattavien muuttujien välistä yhteyttä. Mitä lähempänä yhtä korrelaatiokerroimen arvo on, sitä voimakkaampi on muuttujien välinen yhteys. [87] Korrelaatio ei kuvaa asioiden välistä syy-seuraus -suhdetta, vaan ainoastaan muuttujien välistä lineaarista yhteyttä. Kausaalisuhte vuorostaan kuvaa oletettua vaikutussuhdetta selittävän eli riippumattoman ja selitettävän eli riippuvan muuttujan välillä. [84] Keskinäisen vaikutussuhteen tulkinta ei ole ongelmatonta. Tulkinnessa pitää ottaa huomioon mm. onko syy ja seuraus havaittavissa empiirisesti, onko yhteys selitettävissä kolmannella tekijällä ja onko vaikutussuhde syyn ja seurauksen välillä merkittävä. [84] Tässä tutkimuksessa korrelaatiokerrointa käytetään yhtenä keinona todennettaessa TSA-vaativuustasojen, TSA tarkkuusindeksiin ja suoritustason välisiä yhteyksiä. Näin ollen se on myös yksi keino mittarin sensitiivisyyden todentamiseksi.

Regressioanalyysin avulla tutkitaan yhden tai useamman selittävän muuttujan vaikutusta selitettävään muuttujaan ja sen erityinen etu on, että siinä voidaan tutkia yhtä aikaa monen selittävän muuttujan yhteyttä selitettävään muuttujaan. Tällöin tuloksista on todettavissa yksittäisen selittävän muuttujan yhteys selitettävään muuttujaan, kun muut tarkastelussa mukana olevat muuttujat on otettu huomioon. [90] Tässä tutkimuksessa testaustapahtuman tuloksille suoritetaan regressioanalyysi. Analyysin tavoite on selvittää onko parven lennoilla saavuttama suoritustaso selitettävissä parven TSA:n tarkkuudella. Regressioanalyysin tuloksena saadaan kahden muuttujan riippuvuutta kuvaava regressiomalli, josta on alla esimerkki.

- Lineaarinen regressiomalli, eli suoran yhtälö:  $Y = BX + C$ , jonka avulla Y saadaan laskettua X:n ollessa tunnettu. B kuvaa kulmakerrointa ja C on vakiotermi, joka kuvaa missä kohdassa suora leikkaa y-akselia. [91]

Lausekkeen avulla voidaan ennustaa toisen muuttujan arvoja ensimmäisen muuttujan arvojen perusteella. Jos muuttujien välinen riippuvuus on lineaarinen, on regressiomallina suora, jolla voi olla negatiivinen tai positiivinen kulmakerroin. [91]

Regressiomallia voidaan käyttää selittävänä mallina ja sillä voidaan selittää selitettävän muuttujan vaihtelua sitä paremmin mitä korkeampi selityskerroin. Regressiomallin selityskerroin (R) ilmaisee kuinka monta prosenttia jäännöseliösommasta saadaan mallin avulla selitettyä. Selityskerroin on mitta selitetyn vaihtelun prosenttiosuudelle ja mitta regressiomallin hyvyydelle. Mitä suurempi selityskerroin on, sitä parempi regressiomalli on. [91] Käytännössä regressiomallien selitysaste raportoidaan niin sanotulla  $R^2$ -kertoimella tai sen korjatulla versiolla ( $R^2_{adj}$ ) [90]. Analyysin tuloksena saatavalla regressiomallin selityskertoimella pyritään osoittamaan TSA-mittausmenetelmän sensitiivisyys ja reliabiliteetti.

Pelkkä selityskerroin ei kuitenkaan takaa mallin käyttökelpoisuutta. Käytännön sovelluksissa on tärkeintä, että malli toimii. Toimivan mallin perustana on oltava riittävät käytännön tilanteiden tuntemuksesta ja/tai teoriasta johdetut perustelut. Erityisesti selittävien muuttujien valinta täytyy olla hyvin perusteltu ja pohjautua tutkittavan asian teoreettiseen ymmärrykseen [90] [91].

Hyvässä regressiomallissa pitäisi olla mukana kaikki olennaisesti selitettävään muuttujaan vaikuttavat selittävät muuttujat. [91] Yksittäisten selittävien muuttujien merkitsevyys testataan t-testillä. T-testillä testataan muuttujan nollahypoteesia, jotta voidaan perustella muuttujan pitäminen mallissa tai sen poistaminen mallista. [91] Tässä tutkimuksessa selittävien muuttujien perustelu johdetaan testaustapahtuman tuloksista. Saaduista tuloksista pyritään osoittamaan selittävien muuttujien ja selitettävän muuttujan välinen mahdollinen riippuvuussuhde. Tämä on yksi regressiomallin merkitsevyydestä edeltävyysehdoista. [91] Jos malliin mukaan otettavien selittävien muuttujien valintaan liittyy epävarmuutta tai jos vain halutaan varmistua koko mallin tilastollisesta merkitsevyydestä, voidaan mallin merkitsevyyttä testata F-testillä. F-testin tulokset ovat luettavissa ANOVA-tilauksesta ja ne merkitään kirjaimella F [91].

Tässä tutkimuksessa tutkitaan TSA:n tarkkuusindeksin ja suoritustason välisen riippuvuussuhteen merkitsevyyttä. Tutkimuksen tulosten luotettavuuden ja mittarin sensitiivisyyden vuoksi sekä riippuvuussuhteen osoittamiseksi aineisto analysoidaan edellä mainituilla tavoilla.



## 1.7. SA ja TSA

SA on kyky nähdä ja ymmärtää [30] mitä havaittu informaatio merkitsee nyt ja tulevaisuudessa [92]. Gawron [93] määrittelee SA:n olevan tietoa, jota tarvitaan meneillään olevan tehtävän suorittamiseksi. Tilannetietoisuus mahdollistaa älykkään päättelyn, jossa havainnosta muodostetaan merkitys [94]. Carroll [95] on määritellyt SA:n olevan hävittäjätaistelussa ohjaajan suorittamaa jatkuvaa havainnointia itsestään ja lentokoneestaan suhteessa tehtävän, uhkan ja lentämisen muodostamaan dynaamiseen ympäristöön, kykyyn ennustaa niiden muutoksia ja lopuksi suorittaa tehtävänsä näiden perusteella.

Tilannetietoisuuden tunnistetusta tärkeydestä huolimatta, siitä julkaistu kirjallisuus on keskenään ristiriitaista, minkä vuoksi sitä on haasteellista verrata keskenään [96]. Myös Nofi [97] kirjoittaa SA:n luonteen ja SA-käsitteeseen liittyvän terminologian olevan osin epäselviä. Samassa yhteydessä hän kuitenkin mainitsee, että yleisellä tasolla ja kokonaisuutena tarkasteltaessa SA käsitetään samalla tavalla: se on dynaamisen prosessin lopputuote, joka perustuu toimintaympäristöstä tehtyihin havaintoihin, niille annettuihin merkityksiin ja ympäristön muuttuvasta tilasta tehtäviin ennustuksiin. Kaikki nämä vaikuttavat päätöksentekoon ja siten myös suoritettavaan tehtävään. Nofin määritelmä SA:sta on yhtenevä Endsleyn [4] vastaavan kanssa, jonka mukaan tilannetietoisuus voidaan jakaa kolmeen keskinäisesti hierakkiseen tasoon. Ensimmäinen taso (engl., SA level 1 "perception") on systeemin eri elementeistä tehdyt havainnot. Toinen taso (engl., SA level 2 "comprehension") on havainnoista muodostettu ymmärrys ja merkitys. Kolmas taso (engl., SA level 3 "prediction") on systeemin sekä sen elementtien tilan muutoksen ennustamista lähitulevaisuudessa. Tämän tutkimuksen tarkastelussa Endsleyn [4] mainitsema systeemi on hävittäjätaistelu ja elementit ovat sille tyypillisiä ja tärkeitä tapahtumia, toimijoita sekä toimintoja.

Tilannetietoisuus on käytännössä dynaamisesti päivittyvä mentaalinen malli toimintaympäristöstä [97]. Nofin näkemykseen yhtyvät myös muut tutkijat [98] [99]. He toteavat, että mentaaliset mallit koostuvat havaintoihin perustuen ja osa niistä on luonteeltaan ennustavia, jolloin ne ottavat huomioon kuinka toimintaympäristön osat ja tilat tulevat kehittymään. Mentaaliset mallit eivät ole pelkästään staattisia toimintaympäristöstä tehtyjä havaintoja, vaan niitä voidaan muokata tehtyjen havaintojen perusteella [100] [101] ja ne voivat luonnehtia toimintaympäristön osien keskinäistä vuorovaikutusta subjektiivisessa todellisuudessa [102] sekä kuinka systeemi, eli toimintaympäristö kokonaisuutena toimii [103]. Tässä tarkastelussa toimintaympäristön muodostaa BVR-hävittäjätaistelun. Neisserin havaintokehän (engl. Perceptual Cycle Model, PCM) mukaan SA perustuu mentaalisiin malleihin, joita esimerkiksi aiemmat kokemukset ja opitut asiat voivat muuttaa tai muokata [104] [105] [106] [107]. PCM:n mukaan ohjaajat hyödyntävät olemassa olevia mentaalisia mallejaan suunnatessaan huomiotaan havaintojen teossa sekä toimintaympäristöstä havaitun tiedon käsittelyssä [101].

Ohjaajien tieto sijaitsee pitkäkestoisessa muistissa sekä työmuistissa, joiden sisällä ja joiden välillä tiedot myös liikkuvat [108] [109]. Pitkäkestoisessa muistissa olevat tiedot ovat järjestettyinä mentaaliseksi malleiksi, joilla viitataan ohjaajien hävittäjätaistelun elementeistä, tehtävistä ja tapahtumaketjuista muodostamille tiedoille ja niiden jäsentelylle [110] [111]. Mentaaliset mallit eivät ole jatkuvassa käytössä. Johnson-Laird [112] on sanonut mentaalisten mallien koostuvan tiedoista ja taidoista, joita tarvitaan ymmärryksen luomiseen. Mentaaliset mallit eivät ole jatkuvassa käytössä. Työmuistissa käytettävä tieto perustuu aktivoituihin mentaalisiin malleihin, joilla ohjaajat pyrkivät ymmärtämään ja antamaan merkityksiä hävittäjätaistelulle [113]. Työmuistissa mentaalisia malleja päivitetään tehdyillä havainnoilla, jolloin tätä dynaamista tietoa voidaan käsitellä tilannetietoisuutena [4] [100] [32]. Pohjimmiltaan tilannetietoisuus on ohjaajan muodostamaa tietoa kyseisellä hetkellä ja lähitulevaisuudessa tapahtuvasta toiminnasta. SA:n hyvyyden määrittelee se miten tarkasti ohjaajan SA vastaa toimintaympäristön todellisia tapahtumia. [115] [102] [114].

Yhteisen tilannetietoisuuden määritelmässä on samoja määritelmällisiä haasteita kuin yksittäisten henkilöiden SA:ssa [97]. Määritelmään liittyen kirjallisuudesta löytyy useita määritelmiä, joilla kaikilla viitataan tiimin tai ryhmän muodostamaan yhteiseen tilannetietoisuuteen, mutta eri nimillä [116]. Hecker [117] rinnastaa yhteisen tilannetietoisuuden jaetuksi tiedoksi, Cooke et al. [118] sekä Kelly, et al. [119] jaetuksi kognitioksi ja Johnson & O'Connor [120] jaetuksi ymmärrykseksi. Näiden lisäksi tiimin yhteinen tilannetieto rinnastetaan tiimin mentaaliseksi malliksi [121] [122], tiimin tilannemalliksi [123] sekä TSA:ksi [124] [17]. Endsley [4] määrittelee TSA:n ilmentävän tehtävätyöskentelyyn vaadittavaa tiimin jäsenten SA:n hyvyttä eri tasoilla. Salas et al. [125] määrittelee TSA:n olevan tiimin jäsenten kesken jaettua tilanneymmärrystä tiettyinä ajan hetkenä. Salas et al. [85] toteaa TSA:n perustuvan tehtävän hoitamiseen vaadittavien tietojen vaihtamiselle tiimin jäsenten kesken. Yksittäisten tiimin jäsenten yhdistäessä omat SA:t yhdeksi yhtenäiseksi SA:ksi, voidaan puhua TSA:sta [97] [41].

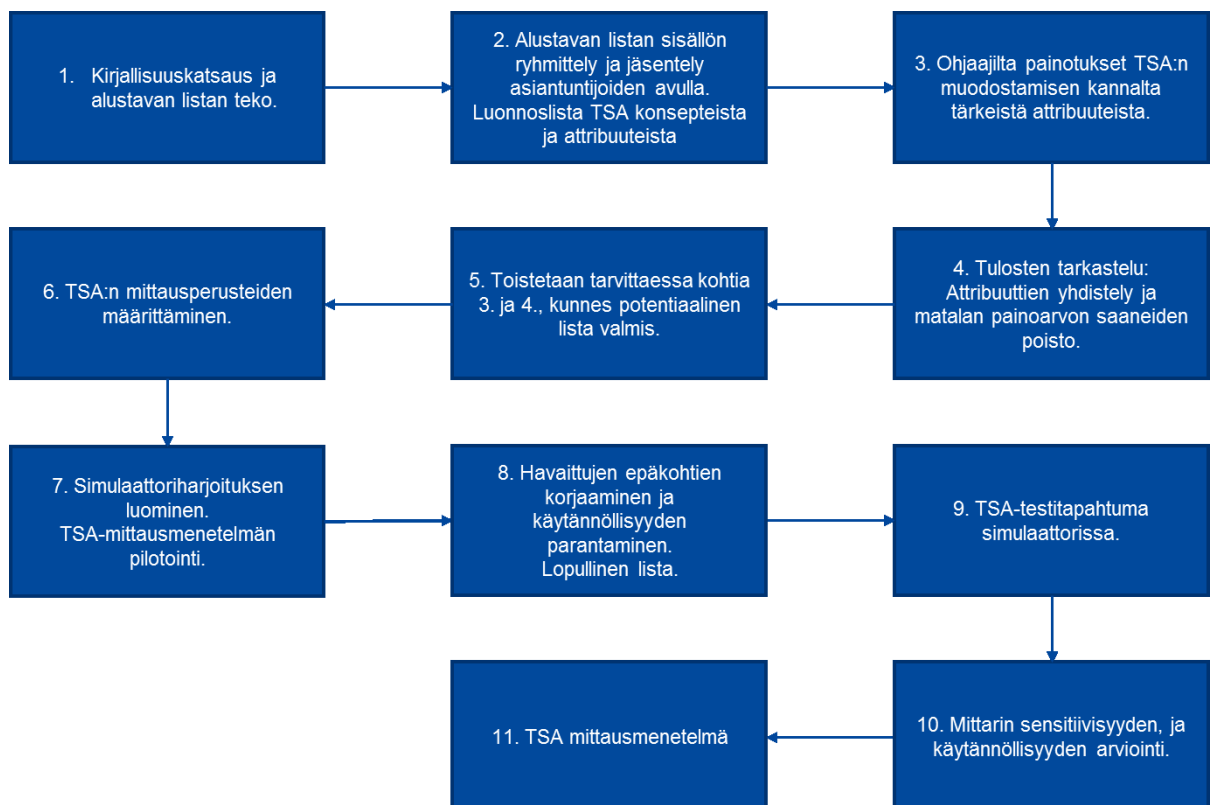
TSA on kuitenkin enemmän kuin pelkkä yksittäisten tiimin jäsenten SA:n summa [126]. Tiimin jäsenet ovat vuorovaikutuksessa keskenään, he tuntevat toisensa sekä heillä on yhdessä sovittu toimintatapa asetetun tavoitteen saavuttamiseksi. Keskinäisesti sovitun toimintatavan ja tiimin jäsenten välisen tiedonvaihdon myötä he kykenevät hyödyntämään toistensa kognitiivisia resursseja tehtävän suorittamiseksi. [17] [23] [127] Näin toimien tiimin jäsenet pystyvät kompensoimaan toistensa puutteita SA:ssa [128] ja parantamaan suoritustasoaan [39]. Näistä johtuen TSA:ta tulisikin arvioida kollektiivisena ominaisuutena ja tiimin suoritustasoon nähden [17].

Parvi tarvitsee TSA:ta hävittäjätaistelun havainnointiin, ymmärtämiseen ja ennustamiseen, jotta tilanteeseen sopiva TTP kyetään valitsemaan. [99]. TTP:tä noudattamalla parven jäsenet kykenevät muodostamaan pysyvyyttä ja ennustettavuutta muuten ennakoimattomassa ja kaoottisessa hävittäjätaistelussa [129]. Parven tehtävän toteutuksen kannalta TSA:n tarkkuus on merkittävä suoritustasoon vaikuttava tekijä [130].

## 1.8. Tutkimuksen vaiheet

Tämän tutkimuksen tavoite on kehittää uusi TSA-mittausmenetelmä osaksi ilmavoimallista suoritustasomittaristoa. Tavoitteen saavuttamisen tueksi on tärkeää vaiheistaa tutkimus. Tutkimus etenee vaiheittain, jotta olisi mahdollista osoittaa tutkimuksen teoriapohjan luominen, TSA-mittausmenetelmän sensitiivisyys ja käytettävyys sekä tulosten luotettavuus. Tutkimuksen vaiheet esitellään tässä luvussa yleisellä tasolla. Tarkempi esittely vaiheista 1-8 esitellään luvussa 2, jossa esitellään mittausmenetelmän kehittäminen kokonaisuutena. Vaihe 9 esitellään luvuissa 3.1 ja 3.2, joissa esitellään TSA-mittaustapahtuman toteutus. Vaihe 10 esitellään luvuissa 3.3 ja 4, jossa analysoidaan TSA-mittaustapahtumasta saatuja tuloksia. Luvussa 5 käsitellään tutkimusta kokonaisuutena ja saavuttiko tutkimus sille asetetut tavoitteet. Tutkimuksen vaiheistus on esitetty kuvassa 4, joka esittää tutkimuksen etenemisen kirjallisuuskatsauksesta varsinaisen TSA-mittausmenetelmän kehittämiseen ja todentamiseen.

Kuvassa 4 ja myöhemmin tässä tekstissä esiintyvillä alustavalla, luonnos-, potentiaalisella sekä lopullisella listalla tarkoitetaan TSA-mittausmenetelmän sisältämän vastauslomakkeen eri kehitysvaiheita. Eri nimillä korostetaan vastauslomakkeen sisällön kehittämisen vaiheita.



Kuva 4: Tutkimuksen vaiheet.

### 1.8.1. Vaihe 1

Tutkimus aloitetaan teoreettisen pohjan luomisella ja siihen liittyvien menetelmällisten valintojen teolla. Nämä valinnat tehdään vaiheen 1 alussa. Tämän tutkimuksen aiemmissa luvuissa on perusteltu menetelmien valintaa osana tutkimusta.

TSA-mittausmenetelmän sisällöllinen kehittäminen aloitetaan tekemällä ensimmäisessä vaiheessa laaja kirjallisuuskatsaus tilannetietoisuudesta ja siihen liittyvästä aiemmin tehdystä tutkimuksesta. Kirjallisuuskatsauksella kartoitetaan tilannetietoisuuden muodostumiseen ja ylläpitoon liittyviä asioita yleisellä tasolla. Tähän liittyen kartoitetaan lisäksi tilannetietoisuuden kannalta tärkeiksi koettuja asioita, toimijoita, toimintoja sekä tapahtumia hävittäjätaistelun näkökulmasta. Samalla perehdytään olemassa oleviin tilannetietoisuuden mittausmenetelmiin. Niiden edut ja haitat huomioimalla kyetään tukemaan tässä tutkimuksessa kehitettävää TSA-mittausmenetelmää.

Kirjallisuuskatsauksen painopiste luodaan kirjallisuuteen, joka käsittelee yksilöiden ja tiimien yhteisen tilannetietoisuuden muodostumista ja ylläpitoa dynaamisessa toimintaympäristössä. Tavoitteena tällä on määrittää TSA-mittausmenetelmän perusteita, jossa tärkeintä on tilannetietoisuudelle keskeisten asioiden ja yhteyksien hahmottaminen (vrt. [131]). TSA-mittausmenetelmän perusteiden selvittämiseksi pyritään vastaamaan kysymyksiin "mitä tutkitaan?" ja "mistä tutkittava ilmiö koostuu?" ja "millä tavalla tutkittavaa ilmiötä on tutkittu aiemmin?".

Ensimmäisen vaiheen päätteeksi laaditaan alustava lista BVR-hävittäjätaistelussa muodostettavaan ja ylläpidettävään tilannetietoisuuteen liittyvistä tärkeistä asioista. Listalla on yhteensä 313 kohtaa, jotka esitetään liitteessä 1.

### 1.8.2. Vaihe 2

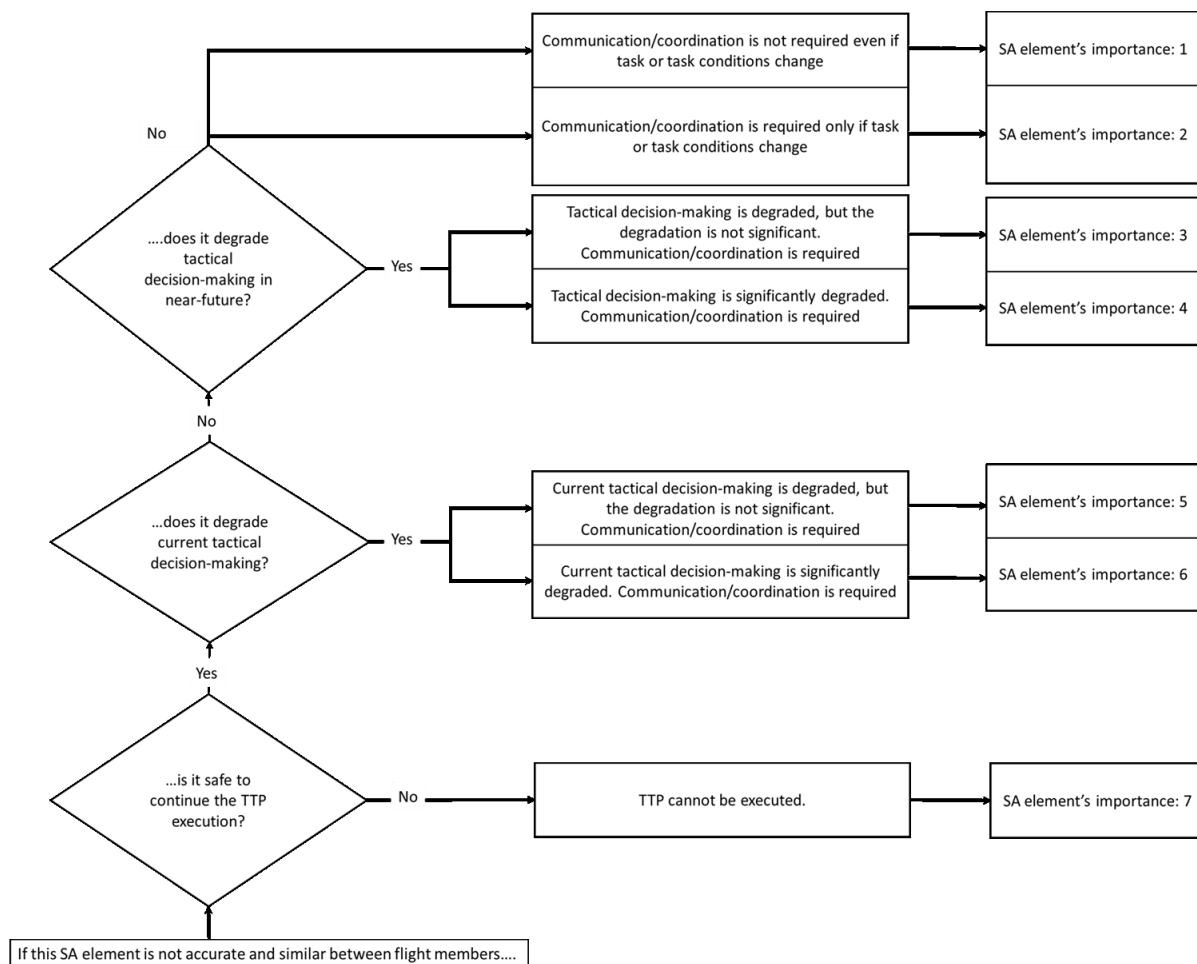
Toisessa vaiheessa alustavan listan sisältämät kohdat ryhmitellään ja yhdistellään kohtia asiantuntijoiden avulla BVR-hävittäjätaistelun kannalta olennaisiin kokonaisuuksiin. Samalla päällekkäiset kohdat poistetaan. Asiantuntijoina käytetään Ilmاتاistelukeskuksen henkilöstöä sekä Hävittäjälentolaivueissa työskenteleviä kokeneita ilmاتاisteluo-pettajia, jotka ovat päivittäin tekemisissä hävittäjätaistelun kouluttamisen kanssa. Myös tutkijan omaa ammattitaitoa ja kokemusta hyödynnetään konseptien ja attribuuttien muodostamisessa. Toinen vaihe päättyy TSA:n kannalta tärkeiden konseptien ja attribuuttien luonnoslistan muodostamiseen. Alustava lista on liitteenä 2 ja siinä konseptit esitetään lihavoidulla tekstillä. Konseptien alle on listattuna niihin liittyvät attribuutit.

### 1.8.3. Vaiheet 3-5

Vaiheet 3-5 ovat luonteeltaan iteratiivisia. Kolmannessa vaiheessa liitteen 2 mukainen luonnoslista jaetaan Hävittäjälentolaivueiden kaikille valmiusohjaajille. He antavat luonnoslistan jokaiselle kohdalle, eli attribuutille, painoarvot kuvassa 5 esitetyn vuokaavion perusteella. Painoarvojen antaminen ohjeistetaan perustumaan valmiusohjaajien omiin kokemuksiin aiemmin lennetyistä BVR-koulutuslennoista. Ohjeistus tarkennetaan siten, että heitä pyydetään analysoimaan kunkin kohdan tärkeyttä tilannetietoisuuden muodostamisessa ja ylläpidossa sekä kuinka tärkeää kyseisen tiedon jakaminen on parven jäsenten välillä.

Tarkastelu suoritetaan tyypilliselle hävittäjätaistelulle. Tavoitteena on saada annettujen painoarvojen avulla korostettua TTP:n toteuttamisen kannalta kaikkein tärkeimmiksi koettuja attribuutteja. Listan jokainen attribuutti arvioidaan erikseen. Tilannetietoisuuden muodostamisen ja ylläpidon kannalta tärkeimmiksi koetut asiat saavat painoarvon 7 ja vastaavasti vähiten tärkeimmät saavat painoarvon 1. Arvioinnin tekemisessä on mahdollista käyttää samaa painoarvoa useammin kuin kerran, joten useampi attribuutti saattaa saada saman arvosanan.

Valmiusohjaajien antamien painoarvojen perusteella luonnoslistaa muokataan. Asiantuntijoiden avustamana sekä tutkijan omalla ammattitaidolla, luonnoslistan attribuutteja muokataan ja yhdistellään sekä tarvittaessa poistetaan. Viidennen vaiheen lopussa luonnoslista nimetään potentiaalisesti listaksi, joka esitetään kuvassa 6.



Kuva 5: Potentiaalisen kysymyslistan painottamisessa käytetty vuokaavio. Luonnoslistan attribuutin arviointi aloitetaan vasemmalta alhaalta. Jokaisessa kohdassa esitetään kysymys attribuutin tärkeyden tarkastelemiseksi TTP:n toteuttamisen kannalta. Kysymykseen annetun vastauksen perusteella edetään vuokaavion mukaisesti, kunnes päädytään attribuutille annettavaan painoarvoon. Jokainen attribuutti arvioidaan samalla tavalla.

SA ELEMENT		#1	#2	#3	#4	SA element score
<b>Air unit's locations and flight parameters</b>						
1	Flight members know each other's positions and flight parameters with respect to mutual support and deconfliction					
2	Flight members know the friendly aircraft's (other than own flight), types, capabilities and positions relevant to flight and its tasks					
3	Flight members know the targeted and untargeted enemy groups relevant to flight and its tasks					
<b>Environment</b>						
4	Flight members know how terrain, weather (e.g. VMC/IMC layers, contrails, NVG visibility) and other environmental conditions affect the flight's tasks					
<b>Geography and Airspace</b>						
5	Flight members know the airspace restrictions and the content of ACO.					
<b>Enemy and Friendly Ground and Surface Forces</b>						
6	Flight members know the tactical enemy ground and surface information and activity pertinent to the mission.					
7	Flight members know the tactical friendly ground and surface information and activity pertinent to the mission.					
<b>Flight's system capability and limitations</b>						
8	Flight members know each other's offensive/defensive capabilities and restrictions, i.e. alibies.					
<b>Capabilities and potential of aircraft</b>						
9	Flight members know the non-friendly aircraft's positions relevant to flight and its tasks					
11	Flight members know the non-friendly aircraft's types and capabilities					
12	Flight members know the declarations of aircraft relevant to flight and its tasks					
<b>Enemy behaviour and manoeuvres</b>						
13	Flight members know the objective of enemy aircraft					
14	Flight members know the current enemy manoeuvres and tactics					
15	Flight members anticipate the near-future enemy manoeuvres and tactics					
16	Flight members know if enemy employs weapons against the flight					
<b>Tactics, goals and objectives</b>						
17	Flight members know each other's tasks and objectives					
18	Flight members know the directed tactics and flow					
19	Flight members anticipate flight's near-future tasks, tactics and flow					
20	Flight members know how the current risk level affects the flight's tactics					
<b>EW</b>						
21	Flight members know if EW affects its task and TTP					
<b>Search and Targeting</b>						
22	Flight members know each other's search responsibilities and detections					
23	Flight members know each other's targeting and sorting responsibilities					
24	Flight members know each other's targeting and sorting success					
<b>Weapons employment</b>						
25	Flight members know each other's ability to adhere to the shot doctrine					
26	Flight members know each other's actual and expected weapons employments					
27	Flight members know each other's weapon employment success					
Average TEAM score						

Kuva 6: Vaiheen 5 päätteeksi muodostettu potentiaalinen lista väittämistä ohjaajien tiedon elisitointiin. Kullakin parven ohjaajalla on oma vastaussarake. Vastaussarake on merkattu numerolla, joka tarkoittaa roolia parvessa alkaen parven johtajan numerosta #1. Väittämän toteutuessa syötetään arvoksi 1. Väittämän ollessa epätosi syötetään arvoksi 0. Viimeinen sarake oikealla laskee kunkin väittämän summan, joista lasketaan keskiarvo oikealla alas kohtaan "Average team score".



#### 1.8.4. Vaihe 6

Vaiheessa 6 määriteltiin TSA-mittausmenetelmässä käytettävät arviointiperusteet ja arviointiasteikko. Kokonaisuutena vaihe 6 oli vaativa ja tärkeä vastauslomakkeen käytännöllisyyden ja koko tutkimuksen tavoitteen saavuttamisen kannalta. Kokonaisuuden kannalta tämän vaiheen aikana tulee huomioida mahdollinen TSA-mittausmenetelmän jatkokäyttö osana Ilmavoimien taktiikan kehittämistä. Kehitettävän TSA-mittausmenetelmän ja siihen sisältyvän vastauslomakkeen tulee olla käytännöllisiä.

TSA:n arviointiperusteiden määrittämisessä hyödynnetään asiantuntijoiden apua ja kirjallisuuskatsauksesta analysoitua teoriaa. Määrittely aloitetaan arvioimalla SA:n eri tasojen (level) erottelun kannalta käytännöllisintä tapaa toteuttaa arviointi. Arviointi tulee kyetä tekemään attribuuttikohtaisesti. Arviointiperusteiden lisäksi määritetään arviointiasteikko. Arviointiperusteiden ja -asteikon lisäksi määritellään myös tapa, jolla saadaan vaikutettua parvien TSA:n muodostumisen ja ylläpidon vaatavuustasoon lentotehtävän aikana. Asiantuntijoiden avustamana päätetään, että luontevin tapa manipuloida TSA:ta BVR-hävittäjätaistelun aikana on rajoittaa parven ohjaajien välistä informaation vaihtoa. Tähän tutkimukseen valitaan informaation rajoittamistavaksi LINK16-järjestelmä. LINK16-järjestelmään määritetään kolme eri toiminnallisuuden tasoa, jotka esitellään luvussa 3.3.

Arviointiasteikon lisäksi vakioidaan menetelmä, jolla ohjaajia läpikäynnissä haastatellaan. Haastattelumenetelmään olennaisesti liittyy tapa, jolla kysymyksiä esitetään. Kysymyksillä selvitetään ohjaajien päätöksenteon perusteena ollut tieto kunkin attribuutin arvioimiseksi. Harkitsemattomalla kysymyksenasettelulla vastaukset voivat jäädä vain "kyllä/ei" -tasolle, jolloin on haasteellista määrittää ohjaajan päätöksentekoon vaikuttanut tieto sekä arvioida ohjaajan SA:n tarkkuutta eri tasoilla. Haastattelussa käytettäväksi menetelmäksi valitaan CDM-menetelmä. Valinta perustuu kirjallisuudessa raportoituihin hyviin kokemuksiin CDM:n hyödyntämisestä tiedon elisitoinnin menetelmänä. CDM-menetelmä esitellään tarkemmin luvussa 2.2. Tiedon elisitoinnin tueksi tehtiin taulukon 1 esittämä lista syventävistä kysymyksistä. Vaiheen 6 yksityiskohtaisempi kuvaus kerrotaan luvussa 2.

Probe type	Probe content
Information	What information were you seeking and from where? What information, if any, did you combine to gain the necessary information? How reliable was the source information? What information, if any, was missing or conflicting? What information, if any, did you misinterpret and how? Did the information change the way you understood the situation, and how?
TTPs and options	How well did the environmental cues match with TTPs? What feasible TTPs did you identify? What TTP did you select and why? / Would you have selected a different TTP than the one that was directed and why? If the TTP was directed to you, did you know what it was? What was your understanding about the flight's TTP adherence and TTP progress? What contingency TTPs, if any, were you prepared to execute and why? What were the cues that you used as triggers for a contingency TTP and why?
Goals, priorities	What were your priorities during this incident and why? What were you trying to achieve and why?
Physical / time demand	If you experienced time/physical demand, how did it affect you?
Limitations / alibies	If you experienced perceptual/technical/cognitive limitations, what were they and how did they affect you?
Expectations	Compared to your expectations, how did the status of the attribute or the situation as a whole evolve? How did the mission brief prepare you for this incident?

Taulukko 1: Taulukko tiedon elisitoinnin tukena käytettävistä syventävistä kysymyksistä.

### 1.8.5. Vaihe 7 ja 8

Vaiheen 7 tavoitteena on tehdä TSA-mittausmenetelmän esitestaus simuloitussa BVR-hävittäjätaistelussa. Esitestaus toteutetaan samoissa olosuhteissa kuin TSA-testaustapahtuma. Vaiheen 8 tavoitteena on korjata esitestauksessa havaitut epäkohdat. Esitestaus on yleisesti käytetty menetelmä vastauslomakkeen muodostamisessa. Sen avulla kyetään todentamaan lomakkeen sisällön yhtenevyys tutkittavaan aiheeseen sekä kysymysten ymmärrettävyys. [132] Esitestauksen merkitys tutkimukselle on välttämätön. Sen tarkoitus on löytää ongelma-alueita, vähentää mittausvirheen mahdollisuutta ja pienentää testattavien kokemaa raskautta testaustilanteessa. Samoin on tarkoitus todentaa, että testattavat tulkitsevat kysymykset oikein ja varmistaa, että kysymykset eivät johdattele tai vaikuta testattavien antamiin vastauksiin. [133]

Kokonaisuutena vaiheiden 7 ja 8 tavoite oli harjaannuttaa tutkija TSA-mittausmenetelmän käyttöön sekä parantaa menetelmän käytettävyyttä. Samalla saatiin kerättyä havaintoja yleisistä järjestelyistä ja niiden toimivuudesta, kuten esimerkiksi yhteen lentotehtävän valmisteluun, suorittamiseen ja läpikäyntiin kuluva aika.

TSA-mittausmenetelmän esitestaus suoritetaan VERSI19-simulaattoriharjoituksessa Hävittäjälentolaivueiden tiloissa. Kyseinen harjoitus on asetelmaltaan aikanaan toteutettavaa TSA-testaustapahtumaa vastaava ja siihen osallistuva henkilöstö on Hävittäjälentolaivueiden valmiusohjaajista koostuva. Testattaville ei erikseen mainita kyseessä olevan TSA-mittausmenetelmän esitestaus, koska sen on todettu olevan toimivoin tapa testaajalle todentaa mahdolliset virheet ja epäkohdat. [134] Esitestauksella testataan potentiaalisen listan käytettävyyttä sekä ymmärrettävyyttä vastaavan koulutustason henkilöstöllä ja samoissa olosuhteissa, joissa varsinainen TSA-testaustapahtumakin suoritetaan.

Esitestauksen aikana tehtyjä havaintoja ja osallistujilta saatua palautetta analysoitiin. Merkittävin havainto oli, että potentiaalinen lista ei kyennyt erittelemään SA:n eri tasoja tarkasti ja sen sisältämien väitteiden sanamuoto aiheutti ymmärtämisen ongelmia vastaajissa. Syventävät kysymykset todettiin esitestauksen aikana toimiviksi ja niiden käyttö sujuvaksi. Potentiaalista listaa korjattiin ja muokattiin siten, että SA:n eri tasot kyettiin erittelemään kunkin attribuutin kohdalla. Toiminnallisuuden kannalta mittauslomaketta kehitettiin tukemaan paremmin hävittäjätaistelun dynaamista luonnetta. Hävittäjätaistelussa tulee toistuvasti kohtia, joissa läpikäynnissä joudutaan pohtimaan esimerkiksi parven TTP:tä. Potentiaalisessa listassa ei ollut mahdollisuutta arvioida samaa attribuuttia kuin kerran, minkä vuoksi sitä oli kehitettävä paremmin tarpeeseen vastaavaksi. Potentiaalista listaa kehitettiin muotoilemalla attribuutit uudestaan ja lisäämällä ne Excel-laskentataulukon pudotusvalikkoina. Pudotusvalikkoa käyttämällä aiemmin arvioidun attribuutin perään kyetään lisäämään uusi attribuutti tarkasteltua varten. Kuvassa 8 on esimerkki pudotusvalikosta sekä siihen valitusta attribuutista. Pudotusvalikon sisältämät attribuutit on esitetty kuvassa 7. Potentiaalisen listan muokkauksen jälkeen lista sai lopullisen muotonsa. Esitestauksen jälkeen muodostettua lopullista listaa käytetään yhdessä Excel-ohjelman kanssa TSA-mittausmenetelmän vastauslomakkeena. Vastauslomakkeen käytön tarkempi kuvaus attribuuttien arvioinnin ja tiedon elisitoinnin osalta kerrotaan luvussa 2.2.

Konsepti	Attribuutti
Own Flight	Positions
	Parameters
	Offensive Capabilities
	Defensive Capabilities
	Limitations
	Objectives
	Tasks (F2T2EA / Kill and Live Chain)
	TTP
	Weapon Effects
	EW Effects
Other Friendly Aircraft	Positions
	Parameters
	Offensive Capabilities
	Defensive Capabilities
	Limitations
	Objectives
	Tasks (F2T2EA / Kill and Live Chain)
	TTP
	Weapon Effects
	EW Effects
Non-Friendly Aircraft	Positions
	Types
	Capabilities
	Targeted / Untargeted Statuses
	Declarations
	Objectives
	Tactics and Maneuvering
	Weapon Effects
	EW Effects
	Friendly Forces (non-AC)
Types	
Offensive Capabilities	
Defensive Capabilities	
Limitations	
Activity	
EW Effects	
Non-Friendly Forces (non-AC)	Positions
	Types
	Offensive Capabilities
	Defensive Capabilities
	Limitations
	Activity
	EW Effects
Environment	Airspace Restrictions (ACO)
	Terrain
	Meteorological Conditions

Kuva 7: Esitestauksen jälkeen konseptit ja attribuutit listattiin kuvan esittämällä tavalla osaksi Excel-taulukon pudotusvalikkoa, josta niitä kykeni käyttämään joustavasti. Vasemmassa reunassa on eriteltyinä konseptit ja oikeassa reunassa kullekin konseptille määritetyt attribuutit.

Time	Concept & Attribute	Elicitation Data			TSA Accuracy Score		
10:00:10	Own Flight - Tasks (F2T2EA)	Accuracy			TSA LVL 1	TSA LVL 2	TSA LVL 3
		SA LVL 1	SA LVL 2	SA LVL 3	4	4	2
		#1 #2 #3 #4	#1 #2 #3 #4	#1 #2 #3 #4			
		1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 0 0			

Kuva 8: Kuvassa on esimerkki yhdestä tarkasteluun valitusta attribuutista tietynä ajanhetkenä, joka näkyy ensimmäisessä sarakkeessa "Time". Sarakkeessa "Concept & Attribute" näkyy tarkasteltava attribuutti "Tasks (F2T2EA)" ja konsepti "Own Flight", johon se liittyy. Elisitointia varten jokaiselle parven ohjaajalle on oma kohtansa, joihin tieto vastauksen perusteella syötetään. Sarake "Elicitation Data" jakaantuu kolmeen erilliseen sarakkeeseen "SA LVL 1-3". Näiden alle on eritelty parven jäsenille omat sarakkeet parven sisäisen roolin perusteella #1-#4. "TSA accuracy score" -sarakkeessa on TSA:n tarkkuuden kokonaispisteet eriteltyinä tasoille 1-3.

#### 1.8.6. Vaihe 9

Vaihe 9 koostuu kokonaisuudessaan TSA-testaustapahtuman toteutuksesta, joka järjestettiin Hävittäjälentolaiivueiden tiloissa viiden päivän aikana (vko 44/2020). Vaiheen 9 tarkka kuvaus kerrotaan luvuissa 3.1., 3.2. ja 3.3.

#### 1.8.7. Vaihe 10 ja 11

Vaiheet 10 ja 11 käsittävät TSA-testaustapahtumassa kerätyn aineiston käsittelyn ja analysoinnin luvussa 1.6 esitellyillä menetelmillä. Analyysin tavoitteena on testata TSA-mittausmenetelmän sensitiivisyys sekä käytännöllisyys. Vaiheen 10 tarkka kuvaus on luvussa 3.4., jossa esitetään TSA-testaustapahtumassa saatuja tuloksia. Vaiheen 10 lopussa arvioidaan myös TSA-mittausmenetelmän sensitiivisyyttä ja käytännöllisyyttä, joka tehdään luvussa 4 testaustapahtumasta saatujen tulosten perusteella. Vaiheen 11 tavoite on arvioida tutkimuksen tavoitteiden saavuttamista ja tulosten luotettavuutta ja tutkimuksen validiutta. Vaiheessa 11 pohditaan myös tutkimuksen toteutusta ja pääkysymykseen vastaamista sekä mahdollisia jatkotutkimustarpeita. Nämä käsitellään luvussa 5.

## 2. TSA-MITTAUSMENETELMÄN KEHITTÄMINEN JA KÄYTTÖ

Tässä luvussa esitellään TSA-mittausmenetelmän kehittäminen ja käyttäminen. Luvussa 2.1 esitellään kirjallisuuskatsaukseen perustuvan BVR-hävittäjätaistelua kartoittavan sisällönanalyysin tulos, jonka perusteella vastataan tutkimuksen ensimmäiseen alakysymykseen "Mitkä hävittäjätaistelun osa-alueet eli konseptit ja näiden ominaisuudet eli attribuutit ovat merkityksellisiä hävittäjäparven ohjaajien tilannetietoisuudelle näköetäisyyden ulkopuolella tapahtuvassa taistelussa?". Tutkimuksen toiseen alakysymykseen "Mitkä tilannetietoisuuden konseptit ja attribuutit tulee valita kehitettävään mittausmenetelmään ja miten TSA:n tarkkuuden mittaus toteutetaan objektiivisesti häiritsemättä lentotehtävän suorittamista?" vastataan luvussa 2.2., jossa kerrotaan kuinka tässä tutkimuksessa kehitettävää TSA-mittausmenetelmää käytetään.

TSA-mittausmenetelmän kehittäminen alkoi kirjallisuuskatsauksella ja päättyi TSA-testaustapahtumassa suoritettuun kokonaisuuden testaamiseen. TSA:n mittaamista varten kehitettiin menetelmä ohjaajien tiedon elisitoimiseksi ja ohjaajien tiedon dokumentoimiseksi. Ohjaajien tiedon elisitointi suoritettiin lentotehtävän läpikäynnissä. Elisitoinnin tarkoituksena oli selvittää mitä ohjaajat tiesivät aiemmin lennetyn lennon konsepteista ja niiden attribuuteista. Ohjaajien tiedon tarkkuus dokumentoitiin mittauslomakkeelle. Täytettyä mittauslomaketta käytettiin TSA-tarkkuusindeksin laskemisessa.

TSA-mittausmenetelmä on tässä tutkimuksessa kokonaisuus, jonka mittauslomake sekä tiedon elisitoinnin menetelmä yhdessä käytettäessä muodostavat. Mittauslomakkeen kehittäminen kuvataan vaiheittain luvussa 2.1. Tiedon elisitoinnin menetelmä mittauslomakkeen käytön osana kuvataan luvussa 2.2.

### 2.1. Mittauslomakkeen kehittäminen

Kuten jo aiemmissa luvuissa on todettu, BVR-hävittäjätaistelun lopputulema on riippuvainen parven ohjaajien tekemistä päätöksistä. Ohjaajien päätökset perustuvat heidän tilannetietoisuuteen. Ohjaajien tiedot ja ympäristöstä tehdyt havainnot toimivat BVR-hävittäjätaistelussa taktisten päätösten perustana. Taktiset päätökset ovat tyypillisesti TTP-valintoja. TTP-valinnoilla pyritään edistämään kill- ja live -chain prosesseja. Tässä tutkimuksessa kehitettävän TSA-mittausmenetelmän kehittämiseksi kartoitettiin BVR-hävittäjätaistelulle merkitykselliset konseptit sekä niiden attribuutit. Konseptien ja attribuuttien kartoitus tehtiin vaiheittain, kuten luvussa 1.8 on kerrottu. Kartoituksessa hyödynnettiin Langan-Fox et al. [52]2000, [98] ja Johnson et al. [135] aiemmin raportoimia menetelmiä.

### 2.1.1. Alustava lista TSA:n konsepteista ja attribuuteista

Kirjallisuuskatsaus aloitettiin tekemällä hakuja olemassa olevasta kirjallisuudesta käyttäen Google Scholaria (scholar.google.com), NATO:n tieteen ja teknologian organisaation hakukonetta (sto.nato.int) sekä Yhdysvaltojen puolustusministeriön ylläpitämää teknisten raporttien tietokantaa (discover.dtic.mil). Hakukoneita hyödyntäen lähempään tarkasteluun valikoitui noin 200 BVR-hävittäjätaistelun konsepteihin tai attribuutteihin viittaavaa tutkimusartikkelia (esim. [136] [137] [138] [115]), teknistä raporttia (esim. [139] [29]), sekä ilmavoimien ohjekirjoja (esim. [140] [141]). Tehdyn sisällönanalyysin perusteella kirjallisuudesta tunnistettiin yhteensä 313 BVR-hävittäjätaistelun konseptiksi tai sellaisen attribuutiksi tulkittavaa asiaa, tekijää tai toimintoa. Näistä tunnistetuista asioista muodostettiin liitteen 1 mukainen alustava mittauslomake. Mittauslomakkeen kehitysvaiheita kuvataan seuraavilla nimillä: alustava lista, luonnoslista, potentiaalinen lista ja lopullinen lista. Eri nimillä korostetaan vaiheittain tapahtuvaa lomakkeen sisällön ja käytännöllisyyden kehittämistä.

### 2.1.2. Luonnoslista TSA:n konsepteista ja attribuuteista

Seuraavaksi alustava mittauslomake annettiin Hävittäjälentolaivueiden kokeneille ilmataisteluoopettajille analysoitavaksi. Ilmataisteluoopettajat muodostivat BVR-ilmataistelun konseptit ja attribuutit yhdistelemällä, muokkaamalla ja poistamalla kirjallisuuskatsauksen perusteella muodostetun alustavan listan asioita, tekijöitä ja toimintoja. Tehdyn analysoinnin ja käsittelyn jälkeen listan sisältämien konseptien ja niiden attribuuttien validiuden analysointi annettiin tehtäväksi Ilmataistelukeskuksen OT&E-lentäjille. OT&E-lentäjät ovat operatiiviseen evaluointiin erikoistuneita ja koulutettuja koelentäjiä, joilla on asiantuntemus hävittäjätaistelun asettamista vaatimuksista lentokoneen järjestelmille, ohjaajalle sekä TTP:n toteutukselle. Tämän vaiheen päätteeksi muodostettiin liitteen 2 mukainen lista, jota kutsuttiin luonnoslistaksi.

### 2.1.3. Potentiaalinen lista TSA:n konsepteista ja attribuuteista

Kun luonnoslistan sisältämät kohdat ja niiden validius BVR-hävittäjätaistelulle ominaisina asioina oli analysoitu, Hävittäjälentolaivueiden ohjaajat painottivat potentiaalisen listan attribuutit sen perusteella, kuinka tärkeitä ne olivat tilannetietoisuuden muodostamisen ja ylläpidon kannalta. Attribuuttien tärkeyttä kuvaava painoarvo perustui laivueiden ohjaajien omiin kokemuksiin kunkin attribuutin tärkeydestä tyypillisessä BVR-hävittäjätaistelussa. Mitä tärkeämmäksi kyseisen tiedon tarkkuus koettiin parven toiminnan kannalta, sitä korkeampi painoarvo attribuutille annettiin.

Painoarvoja antoi yhteensä 61 valmiusohjaajaa, joiden keski-ikä oli 32,6 vuotta (keskihajonta 3,7). Mahdolliset painoarvot olivat välillä 1-7, jossa 1 kuvasi attribuutin vähäistä tärkeyttä ja 7 suurta tärkeyttä. Arvosteluasteikon tueksi painoarvoille kirjoitettiin sanalliset kuvaukset ja ne järjestettiin Cooper & Harper [142] mukaista mallia myötäillen hierarkkiseksi päätöspuuksi. Päätöspuu on esitetty kuvassa 5. Painoarvojen asettamisen jälkeen 11 kokenutta ilmataisteiluopettajaa sekä OT&E-koelentäjää analysoi painotettuja attribuutteja ja konsepteja. Painotettuja konsepteja yhdisteltiin ja pienen painoarvon konseptit ja niiden attribuutit hylättiin jatkotarkastelusta. Hylättäväksi valittiin painoarvon 2 tai 1 saaneet konseptit ja attribuutit, koska niillä ei annettujen painoarvojen perusteella tulkittu olevan merkitystä tilannetietoisuuden muodostamisessa ja ylläpidossa. Jäljelle jäi seitsemän konseptia ja yhteensä 30 attribuuttia, jotka järjestettiin tärkeysjärjestykseen. Konseptit ja attribuutit valittiin ja muotoiltiin siten, että ne eivät ole käytettävistä konetyypistä tai simulaattorista riippuvaisia. Jäljelle jääneistä konsepteista ja niiden attribuuteista käytetään nimitystä potentiaalinen lista, joka on esitetty kuvassa 6.

#### 2.1.4. Lopullinen lista TSA:n konsepteista ja attribuuteista

Potentiaalisen listan esitelmä suoritettiin Ilmavoimien taktisessa VERSI19-simulaattoriharjoituksessa. Tarkoituksena oli todentaa mahdollisia virheitä ja heikkouksia TSA-mittausmenetelmässä vastaavanlaisissa skenaarioissa ja olosuhteissa kuin TSA-testaustapahtumakin toteutettaisiin. Havaitut epäkohdat korjattiin tutkijan toimesta harjoituksesta saadun palautteen sekä tehtyjen havaintojen perusteella. Havaittujen epäkohtien perusteella potentiaalista listaa muokattiin siten, että siihen kyettiin arvioimaan SA:n eri tasot erikseen. Lisäksi listan käytännöllisyyttä kehitettiin vastaamaan hävittäjätaistelun luonnetta attribuuttien valinnan osalta. Epäkohtien poiston ja käytännöllisyyden parantamisen jälkeen lista oli kuvan 7 esittämässä lopullisessa muodossaan. Attribuuttien toiminnallisuuteen tehty parannus on esitetty kuvassa 8.



## 2.2. Mittauslomakkeen käyttäminen

Tämä luku esittelee TSA-mittausmenetelmän käytön osana lentotehtävien läpikäyntiä. Lentotehtävän läpikäynti on Hävittäjälentolaivueissa strukturoitu tapahtuma, jota johtaa ilmataisteluopettaja. Läpikäyntiä varten simulaattorin tai lentokoneiden tallenteita hyödyntäen muodostetaan suoritettujen lentotehtävien rekonstruktio, joka sisältää mm. lentokoneiden ohjaamovideoiden tallenteet, lentoradat korkeuksineen, tutkien muodostamat seurannat, LINK16-järjestelmän tiedot, sekä ammuttujen ohjusten simuloinnit. Rekonstruktion kokonaisvaltaisuuden vuoksi sitä usein nimitetään lentotehtävän absoluuttiseksi totuudeksi (engl. ground truth) [143]. TSA:n tarkkuus mitataan vertaamalla ohjaajien tietoa valittujen attribuuttien tilasta ja attribuuttien todellista tilaa. Mitä lähempänä ohjaajien tieto attribuuttien tiloista on niiden todellisia tiloja, sitä tarkempi TSA on.

Läpikäynnin aikana seurataan hävittäjätaistelun etenemistä rekonstruktion avulla. Ilmataisteluopettaja tunnistaa rekonstruktiosta parven toiminnan kannalta kriittisiä tilanteita ja tapahtumia. Tällaisia tapahtumia ovat mm. lentoturvallisuuteen, parven tehtävätyöskentelyyn tai tehtävästä suoriutumisen edellytyksiin vaikuttavat asiat. Parven TTP valinta ja sen toteutus ovat tyypillisiä esimerkkejä tehtävätyöskentelyn kannalta kriittisistä asioista tai tapahtumista [25]. Kun kriittinen asia tai tapahtuma on tunnistettu, ilmataisteluopettaja pysäyttää rekonstruktion.

Tässä työssä lennon rekonstruktio pysäytettiin tilanteissa, joihin liittyi TSA:n mittaamiseen käytettäviä attribuutteja. Pysäytyksen aikana lennonopettaja pyrki elisitoinnin avulla selvittämään ohjaajien tiedon attribuuteista. Tässä työssä tiedon elisitointiin käytettiin Critical Decision Method (CDM) menetelmää. CDM-menetelmään pohjautuvaa puolistrukturoitua haastattelua käytetään takautuvasti tapahtumien ja niissä vaikuttaneiden tietojen elisitointiin. Menetelmässä hyödynnetään syventäviä kysymyksiä asiantuntijoiden SA:n selvittämiseksi. Vastaavalla tavalla menetelmää ovat hyödyntäneet tutkimuksessaan Plant & Stanton [144]. Tämän tutkimuksen TSA-testaustapahtumassa hävittäjälaivueiden ilmataisteluopettajat suorittivat ohjaajien tiedon elisitoinnin. Ennen testaustapahtumaa kaikki tähän tutkimukseen osallistuneet ilmataisteluopettajat perehdytettiin kriittisten tapahtumien tunnistamiseen ja CDM-menetelmän käyttöön.

CDM-menetelmä jakaantuu neljään vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa määritellään tarkasteltava tilanne ja varmistetaan onko se havaittu. Toisessa vaiheessa määritellään tapahtumien kronologinen järjestys. Kolmannessa vaiheessa esitetään syventäviä kysymyksiä. Syventävien kysymysten tarkoituksena on edesauttaa tutkimuksen tavoitteiden saavuttamista, jolloin niiden tulee olla tarkasti määriteltyjä tutkimuksen aihealueeseen [145]. Tätä työtä varten valmistettiin 19 kappaletta BVR-hävittäjätaisteluun soveltuvaa syventävää kysymystä. Tässä työssä käytetyt syventävät kysymykset on esitetty taulukossa 1. Neljännessä vaiheessa esitetään 'mitä jos' -kysymyksiä.

Tässä työssä hyödynnetään CDM-menetelmää hieman muunnettuna (kts. [146]). CDM-menetelmän ensimmäinen ja toinen vaihe on tarkasteltavissa yhtäaikaaisesti lentotehtävän rekonstruktion sisältämän tiedon vuoksi. Lentotehtävän läpikäynnissä nämä vaiheet muodostavat tässä tutkimuksessa ensimmäisen vaiheen. Toinen vaihe läpikäynnissä sisältää syventävien kysymysten käytön, kuten myös kolmas vaihe. Kolmannessa vaiheessa esitetään myös 'mitä jos'-kysymykset. Erona CDM-menetelmän vaiheisiin on toisen vaiheen sisällyttäminen ensimmäiseen vaiheeseen ja neljännen vaiheen sisällyttäminen kolmanteen. Tämän johdosta CDM-menetelmän vaiheet kyetään tässä tutkimuksessa vaiheistamaan SA:n eri tasojen analysointiin. Kolmeen vaiheeseen jakaminen esitellään seuraavaksi.

Lennon läpikäynnin aikana ilmataisteluopettaja tunnistaa rekonstruktiosta tapahtumat, joihin liittyy TSA:n mittaamisessa käytettäviä attribuutteja, jotka on esitetty kuvassa 7. Tunnistessaan attribuutit ilmataisteluopettaja pysäyttää rekonstruktion. Rekonstruktion ollessa pysäytettyä ilmataisteluopettaja pyrkii CDM-menetelmän avulla elisitoimaan ohjaajien tiedon näitä attribuutteja koskien. Ilmataisteluopettaja kysyy valittuun attribuuttiin liittyen ohjaajilta ovatko he havainneet attribuutin mukaisen tilanteen oikein. Näin ilmataisteluopettaja pyrkii selvittämään, kuinka tarkka SA taso 1 ohjaajilla on. Ilmataisteluopettajan ei ole jokaisen attribuutin kohdalla välttämätöntä käyttää syventäviä kysymyksiä selvittääkseen ohjaajien SA tason 1 tarkkuutta. Ohjaajien SA tason 1 tarkkuus todennetaan vertaamalla sitä absoluuttiseen totuuteen. Ohjaajilla oleva SA tason 1 tarkkuutta kuvaava tieto voidaan tarkistaa esimerkiksi radio-keskusteluun tai LINK16-järjestelmän tuottamaan tietoon perustuen. Jos ohjaajalle kerrotaan tietoa viholliskoneen sijainnista ja hän löytää sen tutkallaan sekä kuittaa tapahtuman radiolla tai LINK16:lla, voidaan siihen perustuen todeta ohjaajan SA tason 1 olevan tarkka kyseisen attribuutin osalta. Mikäli ohjaajien tietoa ei voida yksiselitteisesti päättelämään ohjaajan toiminnasta, joudutaan käyttämään syventäviä kysymyksiä tarkkuuden selvittämiseksi.

Toisessa vaiheessa taulukon 1 mukaisia syventäviä kysymyksiä tarvitaan selvästi enemmän, kun määritellään ohjaajien saavuttamaa SA tason 2 tarkkuutta käsiteltävän attribuutin suhteen. Syventävillä kysymyksillä autetaan ohjaajaa sanoittamaan attribuutista muodostamaansa merkitystä, koska sitä ei ole välttämättä havaittavissa ohjaajan toiminnasta. Attribuutista muodostettu merkitys voi olla nimittäin niin sanottua hiljaista tietoa tai tietoa, jota ohjaaja ei tiedä tietävänsä. Siksi samaa asiaa kysytään eri tavoilla, jotta tieto kyetään verbalisoimaan. Samoin tällä kyselyllä varmistetaan ohjaajan tiedon tarkkuus attribuutista verrattuna attribuutin todelliseen tilaan. Tämän jälkeen ilmataisteluopettaja kykenee saatujen vastausten perusteella arvioimaan ohjaajan SA:n tason 2 saavuttamisen tai saavuttamatta jäämisen tarkasteltavasta attribuutista.

Kolmannessa vaiheessa arvioidaan ohjaajien SA tason 3 osalta. Tässä korostuu niiden syventävien kysymysten käyttö, joilla kyetään kartoittamaan ohjaajan tietoja tarkasteltavan tilanteen kehityksen seurannasta. Vaiheessa selvitetään millä tavoin ohjaaja on lennolla havainnoinut tai päätellyt tilanteen etenevän ja ohjaajan arviota verrataan absoluuttiseen totuuteen tarkkuuden toteamiseksi. Vastausten kannalta ei ole suotavaa esittää kysymyksiä tilanteen kehittymisestä heti tarkastelun alussa, koska tilannetta ei ole vielä tarkasteltu rekonstruktiolta. Syventävistä kysymyksistä ainoat puhtaasti tulevaisuutta koskevat kysymykset ovat ohjaajan varautumiseen liittyviä. Syventävät kysymykset kannattaa esittää tarkastelun lopuksi, jolloin ohjaaja on nähnyt taistelun todellisen tilan kehittymisen ja kykenee vertaamaan omaa tietoaan siihen. Syventävistä kysymyksistä ainoat selkeästi taistelun tilan kehittymiseen liittyvät kysymykset ovat ohjaajien tekemiin vaihtoehtoisin suunnitelmiin liittyviä 'mitä jos' -kysymyksiä.

Näillä vaiheilla käsitellään yksi attribuutti. Vaiheita toistetaan, kunnes kaikki pysäytyshetkenä tarkasteltavat attribuutit ja ohjaajien SA niistä on käsitelty. Tämän jälkeen läpikäyntiä jatketaan, kunnes ilmataisteluopettaja havaitsee uuden tapahtuman, johon liittyy TSA:n mittaamisessa käytettävä attribuutti tai attribuutteja. Uusi tapahtuma tarkastellaan attribuutin valinnasta alkaen samalla menetelmällä, kuten edellä on kuvattu. Tätä menetelmää toistetaan lentotehtävän päättymiseen asti, jotta kaikki attribuutit tulevat tunnistetuiksi ja arvioituiksi. Lentotehtävän läpikäyntiin varattu aika saattaa rajoittaa sen aikana tarkasteltavien attribuuttien määrää. Mitä enemmän aikaa on käytettävissä, sen kokonaisvaltaisemmin ohjaajien tiedot kyetään elisitoimaan.

Lentotehtävän läpikäynnissä arvioituja ohjaajien SA:n tasojen 1-3 tarkkuuksia hyödynnetään arvioitaessa parven TSA:ta. Kullekin attribuutille annettujen SA:n tasojen 1-3 tarkkuuksia hyödyntäen lasketaan kyseiselle attribuutille parven TSA:n arvot. TSA lasketaan SA:n arvoin tavoin erikseen kaikille kolmelle tasolle. Kuvan 8 osoittaman esimerkin tavoin kullekin ohjaajalle määritetään ensin SA:n arvo eriteltynä kaikille kolmelle SA:n tasolle. SA:ta arvotetaan mittauslomakkeelle seuraavasti:

- SA:n ollessa tarkka annetaan kyseiseen kohtaan arvoksi "1"
- SA:n ollessa epätarkka annetaan kyseiseen kohtaan arvoksi "0"

Tarkalla SA:lla mahdollistetaan hyvin perusteiden tehdyt päätökset. BVR-hävittäjätaistelussa tarvittavan SA:n tarkkuuden määrittelee vallitseva taktinen tilanne. Kun ohjaajien SA tasot 1-3 attribuuttia koskien on määritetty, voidaan siitä laskea kyseisen attribuutin TSA:n arvot tasolle 1-3. Tämä tapahtuu laskemalla yksilöllisten SA:n tasojen arvot yhteen. Saatu tulos on vastaavalle SA:n tasolle annettava TSA tason arvo. TSA tason arvo voi näin ollen vaihdella välillä 0-4. TSA:n arvo määritetään jokaiselle attribuutille ja jokaiselle SA tasolle. Kaikkien attribuuttien käsittelyn jälkeen kyetään laskemaan parvelle TSA tarkkuusindeksi kullekin TSA:n tasolle erikseen. TSA tason tarkkuusindeksi kuvaa kuinka monella parven jäsenistä on tarkka SA kyseisellä SA:n tasolla. TSA tason tarkkuusindeksi määritetään laskemalla kunkin TSA tason arvojen keskiarvot. Parven TSA tarkkuusindeksi lasketaan laskemalla keskiarvo kaikkien kolmen TSA:n tasojen arvoista. Tässä tutkimuksessa ei arvioida taistelunjohtajan toimintaa ja sen mahdollisia vaikutuksia parven TSA:han lentotehtävien aikana.

### **3. TSA-MITTAUSMENETELMÄN TESTAUSTAPAHTUMA**

#### **3.1. Testaustapahtuman tavoitteet**

TSA-mittausmenetelmän testaustapahtuman tavoitteena oli tutkia parven TSA:n tarkkuuden vaikutusta saavutettavaan suoritustasoon ja siten ollen niiden välistä mahdollista riippuvuussuhdetta. TSA:n tarkkuuden mittaaminen suoritettiin lentotehtävien läpikäynnissä jo aiemmin tässä tutkimuksessa kuvatulla tavalla. Suoritustason mittarina käytettiin lentotehtävillä saavutettua pudotussuhdetta, joka huomioi omat tappiot ja ammutut viholliskoneet. Yhden lentotehtävän aikana lennettiin yhteensä kuusi parven hyökkäystä. Hyökkäysten välillä vaihdeltiin TSA-vaativuustasoa, jotta TSA:n tarkkuuteen saatiin hajontaa. Todentamalla TSA-vaativuustason säätelyn tuottaneen halutun vaikutuksen TSA:n tarkkuuteen, voitiin todeta mittaustekniikan olevan sensitiivinen. Sensitiivisyyden toteaminen tehtiin kaikilta lentotehtäviltä kerättyjen TSA-tarkkuusindeksien välisiä korrelaatioita vertailemalla kullakin TSA-vaativuustasolla. Näin ollen sensitiivistä mittausmenetelmää hyödyntämällä voidaan todentaa TSA:n tarkkuuden ja suoritustason välinen riippuvuussuhde eri TSA-vaativuustasoilla. sekä vastata tutkimuksen kolmanteen alakysymykseen.

#### **3.2. Testaustapahtuman osallistujat**

Hävittäjälentolaiivueiden lentosimulaattoreissa toteutettuun testaustapahtumaan osallistui viiden päivän aikana yhteensä 39 miespuolista Ilmavoimien F/A-18 -ohjaajaa. Kaikilta testaustapahtumaan osallistuneilta henkilöiltä saatiin kirjallinen suostumus osallistumisesta testaustapahtumaan. Osallistuneiden ohjaajien keskimääräinen lentotuntikertymä F/A-18:lla oli 543 tuntia keskihajonnan ollessa 302 tuntia. Kaikilla ohjaajilla oli vaadittu koulutus sekä kelpuus toimia heille osoitetussa roolissa parven jäsenenä. Parven tehtävän toteutusta tuki jokaisessa lentotehtävässä yksi taistelunjohtaja. Taistelunjohtajalla oli vaadittu kelpuus johtaa parvea testaustapahtuman lentotehtävissä. Taistelunjohtajan toiminta ohjeistettiin noudattamaan voimassa olevaa taistelunjohtajan käsikirjaa, taktisia ohjeita sekä vakioituja menetelmiä.

### 3.3. Testaustapahtuman toteutus

TSA-mittaustekniikan testaustapahtuman järjestelyt toteutettiin yhteistyössä Hävittäjälentolaivueiden ja Pääjohtokeskusten kanssa. Laivueilta pyydettiin tukea toteutukseen varaamalla tutkijan käyttöön neljä simulaattoria ja yksi taistelunjohtopositio. Simulaattoreista 1-2 oli WTSAT-simulaattoreita ja loput olivat DTT-simulaattoreita. Taistelunjohtopositio on taistelunjohtajalle osoitettu paikka, josta hän kykenee johtamaan parvea ilman rajoitteita. Laivueiden simulaattorituloissa on tällaiset positiot varattuna tukemaan toimintaa. Simulaattorit ja taistelunjohtopositio oli mahdollista verkottaa keskenään, jolloin niillä voitiin toimia taistelunjohtajan johtamana parvikokonaisuutena samassa hävittäjätaistelussa, kuten oikeillakin koneilla. Henkilöstön suhteen laivueet tukivat testaustapahtumaa osoittamalla testaustapahtuman toteuttamiseen simulaattoria operoivan henkilön sekä valmiusohjaajillaan simulaattorin lennätyssuunnitelman toteuttamiseksi. Pääjohtokeskukset osoittivat molempiin laivueisiin testaustapahtuman ajaksi kaksi taistelunjohtajaa toimimaan parvien taistelunjohtajana lennettävissä skenaarioissa.

Aikataulullisesti TSA-testaustapahtuma suunniteltiin toteutettavaksi viiden arkipäivän aikana. VERSI19-harjoituksesta saatujen kokemusten perusteella kahdeksan tuntia päivässä todettiin riittäväksi, jotta saadaan lennettyä tutkimuksen kannalta vähintään minimimäärä parven lento-tehtäviä. Lentotehtävän toteutuksen aikataulutusta suunniteltiin seuraavasti:

- Lentotehtävää edeltävänä päivänä ohjaajat jaettiin parviin kelpoisuuksiensa mukaisiin tehtäviin ja heille kerrottiin yleiset ohjeet simulaatiosta sekä sen toteutuksesta.
- Ennen lentotehtävää perehtyminen lentotehtävän suorittamiseen liittyviin asiakirjoihin. Tämä oli mahdollista tehdä jo edeltävänä päivänä, koska ATO oli koko testaustapahtuman ajan muuttumaton.
- Parven lentotehtävän anto (brief) oli kestoltaan noin 15 minuuttia. Tähän varattu aika pidettiin lyhyenä, koska lentotehtävän aikainen taktinen toiminta pohjautui pääosin taktiseen ohjeistukseen ja sen mukaisiin vakioituihin toimintatapoihin. Käytössä oleva aika hyödynnettiin parven TTP:n valintaan ja ohjeistamiseen. Tehtävänannon jälkeen ohjaajat siirtyivät heille osoitettuihin lentosimulaattoreihin.
- Simulaatioiden alustus suoritettiin parven lentotehtävänannon päätyttyä. Tällä tarkoitetaan maalimallin ja WTSAT- sekä DTT -simulaattoreiden asetusten lataukset, kommunikaatio- ja asejärjestelmien valmistelut sekä simulaattoreiden verkottamista keskenään.
- Lentotehtävän suoritus simulaattoreissa kesti kokonaisuudessaan noin 60 minuuttia. Lentotehtävä sisälsi kuusi erillistä ja keskenään erilaista maalimallia. Maalimallilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa viholliskoneiden maantieteellistä sijaintia toisiinsa nähden sekä niiden toteuttamaa TTP:tä.
- Lentotehtävän läpikäynti kesti kokonaisuudessaan noin 60 minuuttia.

TSA-testaustapahtuman lentotehtävän aikataulu sekä toimintaa ohjaavat asiakirjat olivat Ilmavoimien standardia noudattelevia.

Lentotehtävien aikana lennettävien maalimallien järjestystä tai sisältöä ei kerrottu ohjaajille etukäteen. Samoin peräkkäisten lentotehtävien aikana lennettävien maalimallien sekä TSA-vaativuustasojen järjestys satunnaistettiin, jotta mahdollinen testaustapahtuman aikainen oppiminen maalien käyttäytymisestä saataisiin minimoitua. Suunniteltaessa otettiin huomioon tarve saada TSA-vaativuustasot jakautumaan tasaisesti kaikille kuudelle maalimallille testaustapahtuman aikana. Toisin sanoen, kukin lentotehtävä koostui kuudesta erilaisesta parven hyökkäyksestä, johon paritettiin yksi maalimalleista. Kussakin hyökkäyksessä vaihdeltiin myös TSA-vaativuustasoa. Lentotehtävien sisällä lennettävien lentojen järjestys ja TSA-vaativuustasot satunnaistettiin, kuvan 9 mukaisella tavalla. Lennätysjärjestyksen perusteella parville jaettiin järjestysnumerot, joiden perusteella lennätysjärjestyksestä kyettiin tarkastamaan vuorossa oleva maalimalli ja mihin TSA-vaativuustasoon se pitäisi parittaa. Simulaattorien operaattori, eli simulaation käynnistämisestä ja valvonnasta vastuussa oleva henkilö, hyödynsi lennätysjärjestystä alustaessaan simulaatioita. Parven järjestysnumeron perusteella simulaattorin operaattori latsi oikean maalimallin sekä kertoi ohjaajille lentotehtävän aikana sallitun TSA-vaativuustason.

Testaustapahtumassa lennettiin yhtäaikaaisesti neljällä lentokoulutussimulaattorilla. Hävittäjä-lentolaivueiden lentokoulutuskäytössä olevia lentosimulaattoreita on kahdenlaisia: Weapon Tactics And Situation Awareness Trainer (WTSAT) ja Desk Top Trainer (DTT). WTSAT:n ohjaamo on näyttöineen ja toimintoineen oikeaa konetta vastaava. Ohjaajalle simulaattorissa tuotettava visuaalinäyttö on puolipallon muotoinen ja laajuudeltaan se on 216 astetta. DTT:ssä osa ohjaamon fyysisistä käyttölaiteista on korvattu kosketusnäytöllä, jonka välityksellä hallinnoidaan hävittäjätaistelussa tarvittavia ohjaamon toimintoja. Ohjaajalle tuotetaan 360 asteen näyttö VR-lasien (engl. Virtual Reality) avulla. Molemmissa simulaattoreissa on täysin toimivat ja oikean koneen kanssa yhtenevät HOTAS-toiminnot (engl. Hands On Throttle And Stick), joilla ohjaajan on mahdollista käyttää simulaattorin asejärjestelmiä irrottamatta käsiä ohjaussauvalta tai kaasukahvalta. Simulaattorit ovat verkotettavissa keskenään, jolloin niillä voidaan lentää parvikokonaisuuksina samassa hävittäjätaistelussa. Simulaattoreihin on simuloitu vastaavat järjestelmät kuin oikeissa koneissa ja näin ollen ne mahdollistavat ohjaajien ja taistelunjohtajan välisen kommunikoinnin radioitse, kuten myös tiedonvaihdon LINK16-järjestelmän välityksellä.

Taistelunjohtajan positio vastasi käyttöliittymältään ja toiminnallisuudeltaan operatiivisessa käytössä olevaa positiota. Taistelunjohtajan näytöille tuotettiin parven toiminta-alueelta simuloitujen ilma- ja valvontatutkien tuottamaa ilmatilannekuvaa.

Simulaation viholliskoneet, eli konstruktiiviset lentokoneet, tuotettiin BigTac-tietokoneella. Tutkija oli ohjelmoinut BigTacin konstruktiivisille lentokoneille käyttäytymismallin. Tätä käyttäytymismallia kutsutaan viholliskoneiden taktiikaksi, eli TTP:ksi. Viholliskoneiden maantieteellistä alkutilannetta ja niiden simulaation aikana toteuttamaa TTP:tä kutsutaan yhdessä maalimalliksi. Vihollisen toteuttamien maalimallien perusteella ohjelmoitiin kuusi erilaista skenaariota. Skenaarioissa viholliskoneiden käyttäytymismallit olivat Ilmavoimissa käytössä olevan uhkamallin mukaisia. Skenaarioiden välinen ero oli lentotehtävän alkuun ohjelmoitu viholliskoneiden maantieteellinen sijainti toisiinsa nähden. Viholliskoneiden lukumäärä, etäisyys parveen aloituksessa, käyttäytymismalli sekä niiden käyttämät ase- ja sensorijärjestelmät olivat kaikissa skenaarioissa samat. Viholliskoneille oli ohjelmoitu säilymään jatkuva sensorihavainto parven koneista kaikissa skenaarioissa. Tämä ohjelmointisääntö oli voimassa viholliskoneiden lentäessä kohti parven koneita.

Parven toiminnan ja TSA:n kannalta kaikki maalimallit olivat keskenään yhtä haastavia. Kaikki kuusi erilaista maalimallia arvioitiin ja ohjelmoitiin simulaatioon keskenään yhtä haastaviksi. Lentotehtävien sisällä tapahtuvien vaativuustasojen muutoksen aiheutti ainoastaan ennalta suunnitellut ja toteutetut TSA-vaativuustason manipuloinnit.

TSA:n mittaamiseksi valittiin riippuviksi muuttujiksi TSA-tarkkuusindeksi ja suoritustaso, eli pudotussuhde. Riippumattomaksi muuttujaksi valittiin TSA-vaativuustaso. Parven edellytyksiä muodostaa ja ylläpitää TSA:ta lennon aikana, muuteltiin manipuloimalla LINK16-järjestelmän toiminnallisuutta lentojen välillä. LINK16-järjestelmän manipuloinnilla rajoitettiin sen välityksellä tuotettavaa informaatiota alla esitetyllä tavalla, jolloin TSA:lle muodostui korkea, keskikorkea ja matala vaativuustaso.

- Matalan TSA-vaativuustason lentotehtävissä LINK16-järjestelmän viestiliikenne sallittiin parven koneiden sekä taistelunjohtajan ja parven koneiden välillä.
- Keskikorkean TSA-vaativuustason lentotehtävissä parven koneiden ja taistelunjohtajan välinen LINK16-yhteys estettiin. Parvella säilytettiin edelleen kyky parven sisäiseen tiedonvälitykseen LINK16-järjestelmällä.
- Korkean TSA-vaativuustason lentotehtävissä LINK16-järjestelmä poistettiin käytöstä kokonaan.

Kaikissa kolmessa TSA-vaativuustasossa säilytettiin jatkuva kyky sekä parven sisäiseen, että parven ja taistelunjohtajan väliseen kommunikointiin radiolla.



Testaustapahtumaan valmisteltiin yhteensä kuusi maalimallia lennettäväksi yhden parven suorituksen, eli lentotehtävän aikana. Täten parvet lensivät yhden suorituksen aikana kuusi hyökkäystä, jolloin jokainen TSA-vaativuustaso lennettiin kahteen kertaan. Kuvan 9 mukaisella lennätysjärjestyksellä varmistettiin lentotehtävien aikana lennettävien maalimallien tasainen jakautuminen TSA-vaativuustasojen kesken. Kunkin lentotehtävän aikana parville kerrottiin LINK16-järjestelmän toiminnallisuuden taso ennen hyökkäyksen aloitusta. Simulaation alkamisen jälkeen parven ilmassa suorittamaa toimintaa ei ohjattu tai rajattu tutkijan toimesta. Keskeytyskriteereiksi lentotehtävälle asetettiin seuraavat kolme ehtoa:

- kaikki viholliskoneet on torjuttu
- kaikki parven koneet on torjuttu
- simulaation aloituksesta on kulunut 10 minuuttia

Testaustapahtumassa lensi yhteensä 15 parvea, joista 11 parvea lensi kaikki kuusi maalimallia yhden lentotehtävän aikana. Hävittäjälentolaivueiden henkilöstösuunnitelmista johtuvien aikarajoitteiden vuoksi neljä parvea lensi vain kolme maalimallia yhden lentotehtävän aikana. Näiden neljän parven kohdalla lennettiin kutakin TSA-vaativuustasoa yhden kerran.

	MAALIMALLI	1	2	3	4	5	6
PARVI 1	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea	Keskikorkea	Matala	Korkea
	MAALIMALLI	6	1	2	3	4	5
PARVI 2	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea	Keskikorkea	Matala	Korkea
	TEHTÄVÄ	5	6	1	2	3	4
PARVI 3	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea	Keskikorkea	Matala	Korkea
	MAALIMALLI	4	5	6	1	2	3
PARVI 4	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea	Keskikorkea	Matala	Korkea
	MAALIMALLI	3	4	5	6	1	2
PARVI 5	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea	Keskikorkea	Matala	Korkea
	MAALIMALLI	2	3	4	5	6	1
PARVI 6	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea	Keskikorkea	Matala	Korkea
	MAALIMALLI				3	2	1
PARVI 7	TSA vaatavuus				Keskikorkea	Matala	Korkea
	MAALIMALLI	1	6	5	4	3	2
PARVI 8	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea	Keskikorkea	Matala	Korkea
	MAALIMALLI	2	1	6	5	4	3
PARVI 9	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea	Keskikorkea	Matala	Korkea
	MAALIMALLI	3	2	1	6	5	4
PARVI 10	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea	Keskikorkea	Matala	Korkea
	MAALIMALLI	4	3	2	1	6	5
PARVI 11	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea	Keskikorkea	Matala	Korkea
	MAALIMALLI	5	4	3	2	1	6
PARVI 12	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea	Keskikorkea	Matala	Korkea
	MAALIMALLI	1	2	3			
PARVI 13	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea			
	MAALIMALLI	6	1	2			
PARVI 14	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea			
	MAALIMALLI	5	6	1			
PARVI 15	TSA vaatavuus	Keskikorkea	Matala	Korkea			

Kuva 9: Testaustapahtumassa toteutunut lennätysjärjestys. Parven järjestysnumerot on esitetty vasemmassa sarakkeessa. Kunkin parven riville on eritelty lentotehtävällä lennettävien maalimallien järjestys sekä niihin liitetyt TSA-vaativuustasot. Parvet 7 ja 13-15 lensivät kukin vain kolme maalimallia.

Lentotehtävien sisältämät kuusi lentoa alkoivat aina tilanteesta, jossa parvi oli siirtymässä omalle vastuualueelleen, jonne viholliskoneet suuntautuivat. Parven maantieteellinen sijainti, lentomuoto sekä korkeus ja nopeus olivat kaikkien lentojen aloituksissa samat. Parven lentojen aloitustilanteet vastasivat tilannetta, jossa yleisimmin toiminta-alueelle siirrytään ja taistelu aloitetaan. Viholliskoneiden toiminta alkoi automaattisesti valitun skenaarion perusteella ja noudatti ohjelmoitua käyttäytymismallia. Kaikilla lennoilla vallitsi samat sää- ja valaistusolosuhteet. Lennon aikana parven tavoitteena oli torjua alueelleen suuntautuvat viholliskoneet ja säilyä hengissä. Viholliskoneilla vastaavasti tavoitteena oli torjua parvi kokonaisuudessaan.

### 3.3.1. Datan kerääminen

Lentotehtävän päätyttyä ohjaajat poistuivat lentosimulaattoreistaan ja suorittivat lentotehtävän läpikäynnin. Läpikäynnin tueksi koostettiin lentosimulaattoreiden tallenteista rekonstruktio, jonka avulla parven ohjaajien lennoilta tekemiä muistiinpanoja kyettiin täydentämään. Rekonstruktioista oli havainnoitavissa muun muassa kaikkien koneiden sijainti, ohjaajille välitetty ilmatilannekuva, radioliikenne, lentosimulaattoreiden ohjaamoiden näyttöjen tallenteet, ohjaajan tekemät toimenpiteet sekä ammutut ohjukset lentoratoineen. Näin ollen rekonstruktion tukemana oli mahdollista tarkastaa kaikki lentotehtävän tapahtumat.

Lentotehtävän läpikäynnin johti laivueen henkilöstöön kuuluva ilmataisteluopettaja. Tehtävänä hänellä oli tarkkailla läpikäynnin etenemistä sekä pysäyttää rekonstruktio tehtävän toteutumisen kannalta kriittisiksi katsomissaan kohdissa. Yleisimmät kriittiset kohdat liittyivät ohjaajien tekemiin TTP:n valintapäätöksiin. Pysäytyksen yhteydessä ilmataisteluopettaja valitsi kuvan 7 mukaiselta listalta kriittiseksi tunnistettua tilannetta vastaavan attribuutin. Kyseisestä attribuutista käytiin ilmataisteluopettajan johdolla keskustelu CDM-haastattelulle ominaisesti neljässä vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa käsiteltiin kyseisen tapahtuman tunnistaminen. Toinen vaihe tapahtumalle määrittyi kaikkien tarkkaillessa rekonstruktion etenemistä. Tämän vuoksi erillistä aikajanan asettamista ei ollut tarpeen tehdä. Kolmas vaihe käsitti syventävien kysymysten esittämisen. Tässä vaiheessa tavoitteena oli selvittää tilanteessa vaikuttanut ohjaajan tieto, joka voi olla hänen itsensä tiedostamatonta. Tieto voi olla myös selkeää, jota ohjaaja ei ilman ulkopuolista apua kykene verbalisoimaan. Viimeisessä vaiheessa esitettiin vaihtoehtoisiiin tapahtuman kulkuihin liittyviä kysymyksiä. Näillä tarkoitetaan tarkastelussa olevaan tilanteeseen liittyviä mahdollisia varautumissuunnitelmia, jos tilanne olisi-kin edennyt toisin.

Lentotehtävän läpikäynnin tarkoituksena oli selvittää mitä lennoilla oli tapahtunut ja verrata sitä ohjaajien muodostamiin havaintoihin. Tämän mahdollistamiseksi ohjaajilla oli kaikissa vaiheissa mahdollisuus käyttää lentotehtävän rekonstruktioita muistiinpanojensa ja muistinsa tukena. Rekonstruktioita oli mahdollista kelata eteen- ja taaksepäin ohjaajien tarpeiden mukaisesti. Tällä mahdollistettiin ennen kaikkea päätöksentekoon vaikuttaneen tiedon kattava läpikäynti sekä syvälinen käsittely. Kunkin attribuutin osalta käydyn keskustelun perusteella, CDM-haastattelua hyödyntäen, ilmataisteluopettaja pyrki selvittämään ohjaajan päätöksenteon perusteena olleen tiedon, toisin sanoen tilannetietoisuuden tason ja oikeellisuuden.

Saamiensa vastausten perusteella ilmataisteluopettaja arvioi käsittelyssä olleeseen attribuutin liittyvän tiedon tarkkuuden. Yhden attribuutin osalta suoritettiin tiedon tarkkuuden arviointi aina kaikille parven ohjaajille. Arvioinnissa tarkastelun painopiste oli kunkin attribuutin osalta määrittää minkä SA:n tason ohjaaja siitä oli kulloinkin saavuttanut sekä oliko SA tarkka. Syventävien kysymysten merkitys tiedon elisitoinnissa ja ohjaajan muistin tukemisessa korostui erityisen paljon määriteltäessä SA:n tasojen 2 ja 3 saavuttamista. Niiden avulla kyettiin varmistamaan ohjaajan attribuutille antama merkitys sekä kuinka tilanteen kehittymistä kyettiin ennakoimaan. Arvioidessaan ohjaajan saavuttamaa SA:n tasoa, ilmataisteluopettaja arvioi samalla sen tarkkuutta. Tämä tarkastelu tehtiin vertaamalla ohjaajan antamia vastauksia rekonstruktion ilmentämään taistelun todelliseen tilaan, jotta voitiin todentaa SA:n olleen tarkka tai epätarkka. Ohjaajakohtaisen SA:n tason ja sen tarkkuuden arvioinnin jälkeen, merkittiin arvioidut tulokset mittauslomakkeelle. Mittauslomakkeelle merkittiin tulokset luvun 2.2 esittelemällä tavalla. Tämän jälkeen tulosten perusteella laskettiin attribuutille TSA:n tarkkuusindeksi jokaiselle SA:n tasolle erikseen. Yhden attribuutin käsittely päättyi TSA:n tarkkuusindeksin ollessa laskettu. Tämän jälkeen lentotehtävän läpikäyntiä jatkettiin normaalisti ja edellä kuvattu prosessi toistettiin samalla tavalla jokaisessa ilmataisteluopettajan havaitsemassa kriittisessä kohdassa. Yhden lentotehtävän läpikäyntiin käytettiin aikaa maksimissaan 60 minuuttia. Testaustapahtumassa yhden lentotehtävän aikana tunnistettujen arviointia vaativien kriittisten kohtien lukumäärä oli keskimäärin 73 kappaletta.

### 3.4. Tulokset

Tämän luvun tavoite on tuottaa tulokset, joilla mahdollistetaan vastaaminen tutkimuksen kolmanteen alakysymykseen: "*Millainen riippuvuussuhde parven TSA:n tarkkuudella ja suoritustasolla on?*". Vastaus kysymykseen esitetään luvussa 4. Vastaus pyritään saamaan analysoimalla TSA-testaustapahtumasta kerättyä aineistoa tilastollisin menetelmin.

TSA-mittausmenetelmän toiminta pyritään todentamaan luvussa 3.4.1. esitettyjen tulosten perusteella. Luvussa analysoidaan suoritustason ja TSA-tarkkuusindeksin riippuvuutta TSA-vaativuustasosta. Analyysillä pyritään todentamaan miten TSA-vaativuustason manipulointi vaikutti TSA:n tarkkuuteen ja suoritustasoon. Lisäksi analysoidaan kykenikö TSA-mittausmenetelmä tunnistamaan TSA:n tarkkuuden vaihtelut, kun TSA-vaativuustason manipulaatiota tehtiin. Suoritustason mittarina käytetään parven saavuttamaa pudotussuhdetta. Analyysin tuloksia tarkastelemalla pyritään todentamaan TSA-mittausmenetelmän toiminta ja sensitiivisyys. Lisäksi pyritään todentamaan TSA-vaativuustason säätelyn onnistuminen testaustapahtuman simulaatioissa.

TSA:n tarkkuuden vaikutusta suoritustasoon analysoidaan luvussa 3.4.2. regressioanalyysistä saatujen tulosten perusteella. Luvussa vertaillaan TSA-tarkkuusindeksin ja omien tappioiden välistä riippuvuussuhdetta kaikilla kolmella TSA-vaativuustasolla. Tavoitteena on tulosten perusteella osoittaa kuinka TSA-tarkkuusindeksi vaikuttaa parven suoritustasoon.

TSA-tarkkuusindeksin ja suoritustason välistä riippuvuutta analysoidaan myös luvuissa 3.4.3.-3.4.5., joissa parven suoritustasoa pyritään selittämään myös erillisillä TSA:n tasojen 1-3 tarkkuusindekseillä kaikilla kolmella TSA-vaativuustasoilla. Suoritustason mittarina käytetään parven omia tappioita. Luvun 3.4.6. tarkastelussa pyritään selittämään torjuntaja TSA-tarkkuusindeksin avulla matalalla TSA-vaativuustasolla. Tavoitteena on tutkia TSA-tarkkuusindeksin eri tasojen vaikutusta suoritustasoon.

Arvioinnin ja analyysin yksikkönä käytettiin parvea. Tapahtumassa parvia lensi yhteensä 15 kappaletta (N=15).

### 3.4.1. Suoritustason ja TSA-tarkkuusindeksin riippuvuus TSA-vaativuustasosta

Testaustapahtuman mittauslomakkeiden tulosten perusteella tarkasteltiin suoritustason ja TSA:n riippuvuutta TSA-vaativuustasoista. Suoritustason ja TSA-tarkkuusindeksin tuloksista muodostettiin otosryhmät. Otosryhmät olivat toisistaan riippuvia, koska eri TSA-vaativuustasojen tarkasteltavat tulokset kerättiin samoilta henkilöiltä. Jokaiselta TSA-vaativuustasolta mitatulle TSA-tarkkuusindeksille, omille tappioille ja torjunnoille laskettiin keskiarvo sekä keskihajonta. Toistomittausten varianssianalyysillä tutkittiin onko ryhmien keskiarvoilla tilastollisesti merkitsevää eroa. Sillä siis todennettiin, että TSA-vaativuustason säätely simulaatioissa oli onnistunut, minkä todentaminen oli edellytys parivertailun toteuttamiselle. Ryhmien keskiarvoille suoritettiin parivertailu kahden riippuvan muuttujan t-testillä. T-testillä tutkittiin, että oliko kahden riippuvan ryhmän keskiarvot yhtä suuret. T-testin tavoitteena oli tunnistaa parit, eli ryhmät, joiden keskiarvoissa tilastollisesti merkitsevää eroa löytyy tai ei löydy.

Näillä tilastollisilla testeillä varmennettiin, että TSA-vaativuustasoa säätelemällä tutkittavassa joukossa tapahtui samanlaisia ja oletetun kaltaisia muutoksia TSA-tarkkuusindeksissä ja suoritustasossa. Edellä mainittujen lisäksi tehtiin regressioanalyysi, jossa tarkasteltiin omien tappioiden ja torjuntajen sekä TSA-tarkkuusindeksin välistä riippuvuussuhdetta. Muodostetulla regressiomallilla pyrittiin selvittämään TSA-tarkkuusindeksin vaikutus parven suoritustasoon. Regressiomallissa selitettävänä muuttujana käytettiin omia tappioita ja torjuntaja, eli toisin sanoen parven suoritustasoa. Selittävänä muuttujana käytettiin TSA-tarkkuusindeksiä.

TSA-tarkkuusindeksien keskiarvoilla oli tilastollisesti merkitsevä ero eri TSA-vaativuustasoilla ( $F_{2,13}=473.562$ ;  $p<0.001$ ;  $\eta_p^2= 0.971$ ), katso taulukko 2. Taulukossa 2 esitetään kaikilta TSA-testaustapahtumassa lennetyiltä lentotehtäviltä lasketut keskiarvot (M) sekä keskihajonta (SD) TSA-tarkkuusindeksille, omille tappioille ja torjutuille viholliskoneille. Lasketut arvot on eriteltyinä TSA-vaativuustasoille. TSA-tarkkuusindeksien keskiarvoja verrattiin TSA-vaativuustasojen suhteen muodostetuissa ryhmissä. Suoritettujen parivertailujen tulokset olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä ( $p<0.001$ ). TSA-tarkkuusindeksien todettiin pienenevän lentotehtävän TSA-vaativuustason noustessa. Tämä osoittaa mittaustekniikan toimineen ja TSA-vaativuustason manipuloimiseksi valitun tavan tuottaneen halutun vaikutuksen TSA-tarkkuusindeksiin.

Taulukko 2: TSA-tarkkuusindeksien, parven omien tappioiden ja torjuttujen viholliskoneiden keskiarvo (M) ja keskihajonta (SD) kullakin TSA-vaativuustasolla.

TSA vaativuustaso	TSA tarkkuusindeksi		Parven omat tappiot		Torjutut viholliskoneet	
	M	SD	M	SD	M	SD
Matala	3.54	0.22	0.40	0.69	6.40	0.60
Keskikorkea	2.58	0.45	0.70	0.84	5.53	1.82
Korkea	1.72	0.44	0.97	1.16	5.57	1.59

Parven omilla tappioilla todettiin olevan tilastollisesti merkitsevä ero eri TSA-vaativuustason lentojen välillä ( $F_{2,13}=6.168$ ;  $p<0.026$ ;  $\eta_p^2= 0.306$ ). Parivertailujen perusteella ainoat tilastollisesti merkitsevät erot omien tappioiden välillä todettiin lentotehtävillä, joissa TSA-vaativuustaso oli joko matala tai korkea. Kun verrattiin parven torjumien viholliskoneiden lukumäärän keskiarvojen eroja eri TSA-vaativuustason lentotehtävien välillä, havaittiin tilastollisesti melkein merkitsevä ero ( $F_{2,13}=4.249$ ;  $p<0.058$ ;  $\eta_p^2= 0.233$ ). Parivertailujen perusteella torjuttujen viholliskoneiden lukumäärän välille ei muodostunut tilastollisesti merkitsevää eroa.

### 3.4.2. TSA-tarkkuusindeksin riippuvuus suoritustasosta

TSA tarkkuusindeksin ja parven omien tappioiden välisessä vertailussa tunnistettiin tilastollisesti erittäin merkitsevä neliöllinen riippuvuussuhde jokaisella TSA-vaativuustasolla (Matala TSA vaativuustaso:  $R=0.929$ ;  $R^2=0.863$ ;  $R^2_{adj}=0.841$ ;  $F_{2,12}=37.955$ ;  $p<0.001$ ; Keskikorkea TSA vaativuustaso:  $R=0.821$   $R^2=0.674$ ;  $R^2_{adj}=0.620$ ;  $F_{2,12}=12.428$ ;  $p<0.001$ ; Korkea TSA vaativuustaso:  $R=0.724$ ;  $R^2=0.476$ ;  $R^2_{adj}=0.726$ ;  $F_{2,12}=7.353$ ;  $p<0.01$ ). Taulukossa 3 esitetään TSA-vaativuustasoille eriteltyinä regressiolaskennan tulokset, jossa TSA-tarkkuusindeksiä ja parven omia tappioita käytettiin selittävinä muuttujina. Taulukkoon 3 eriteltyt arvot ovat regressiomallin selityskerroin (R), regressiomallin selitystasetta raportoiva kerroin ( $R^2$ ) ja sen korjattu versio ( $R^2_{adj}$ ), mallin tilastollista merkitsevyyttä osoittava F-testin tulos ( $F_{2,12}$ ) ja p-arvo.

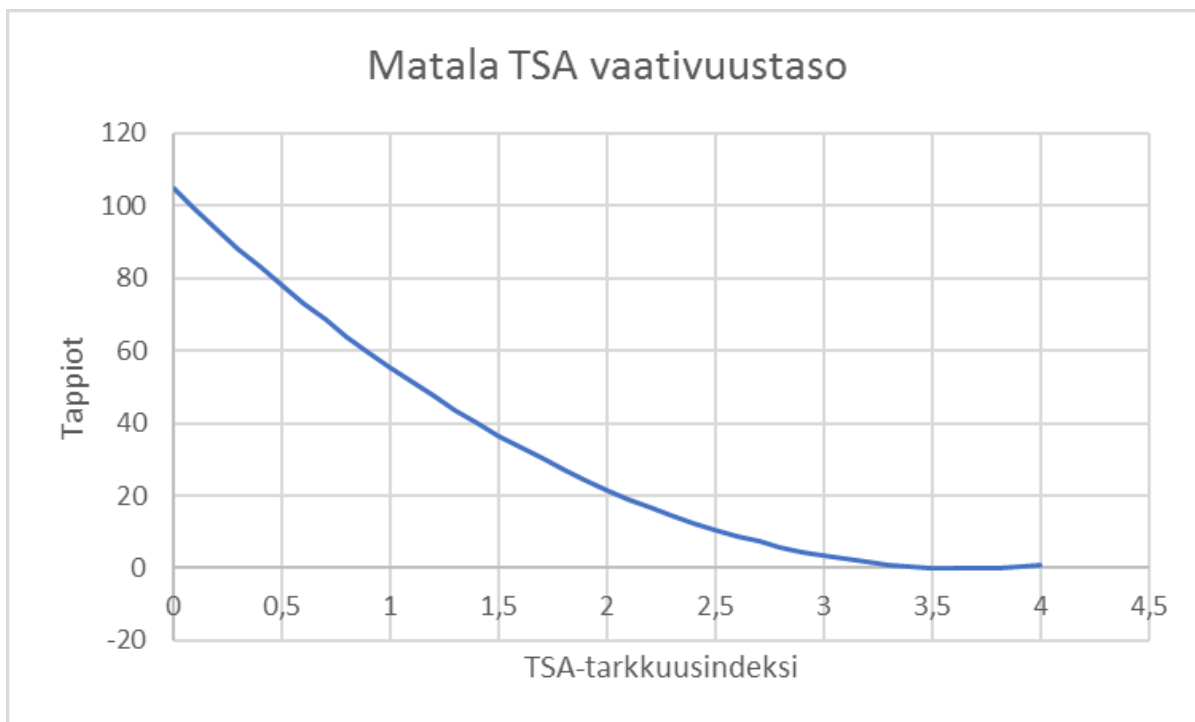
Taulukko 3: TSA-tarkkuusindeksin ja parven tappioiden välisen vertailun tulokset eriteltyinä TSA-vaativuustasojen suhteen. N=15.

TSA vaativuustaso	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	F <sub>2, 12</sub>	p
Matala	0.929	0.863	0.841	37.955	<0.001
Keskikorkea	0.821	0.674	0.620	12.428	<0.001
Korkea	0.724	0.476	0.726	7.353	<0.01

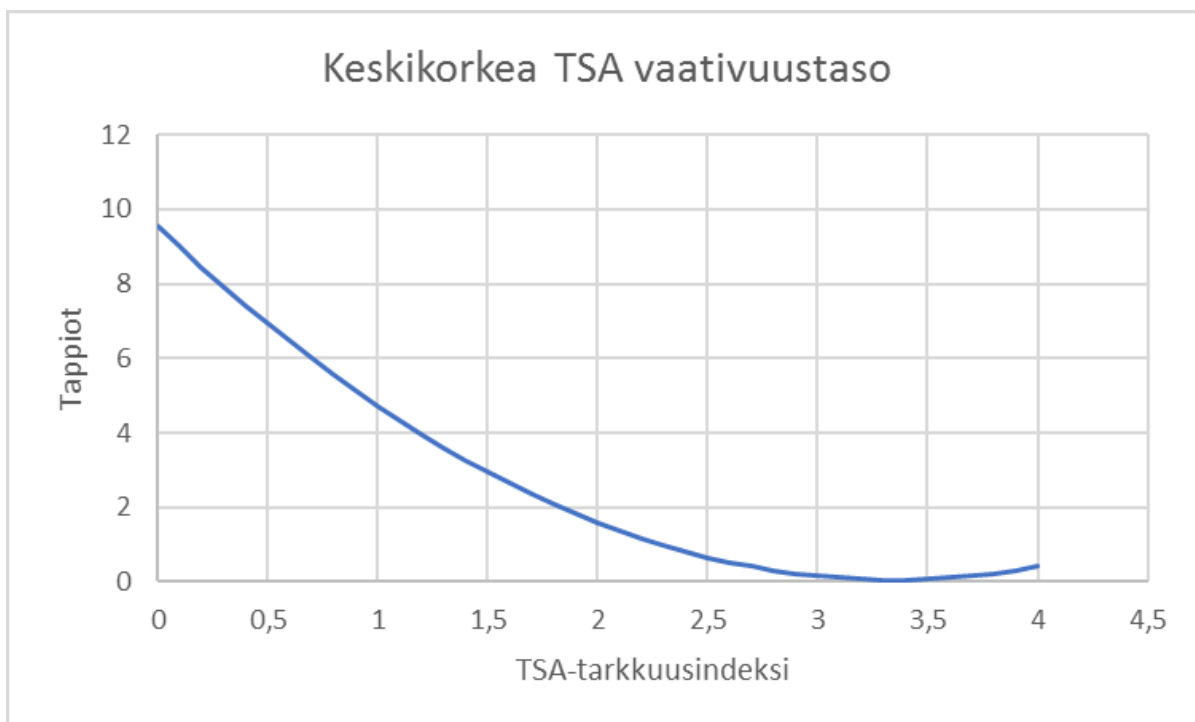
Parven omien tappioiden riippuvuutta TSA-tarkkuusindeksistä kuvasi parhaiten neliöllinen malli:

- Matala TSA vaativuustaso: Omat tappiot = TSA-tarkkuusindeksi\* $-56.899$  + TSA-tarkkuusindeksi<sup>2</sup> \*  $7.734$  +  $104.519$
- Keskikorkea TSA vaativuustaso: Omat tappiot = TSA-tarkkuus indeksi\* $-5.678$  + TSA-tarkkuusindeksi<sup>2</sup> \*  $0.849$  +  $9.549$
- Korkea TSA-vaativuustaso: Omat tappiot = TSA-tarkkuusindeksi\* $-7.581$  + TSA-tarkkuusindeksi<sup>2</sup> \*  $1.581$  +  $9.023$ ).

Kuvissa 10, 11 ja 12 on esitetty edellä mainitut neliölliset mallit. Kuvissa olevat kuvaajat on piirretty TSA-tarkkuusindeksin arvoille 0-4 regressiomallin kaavalla.

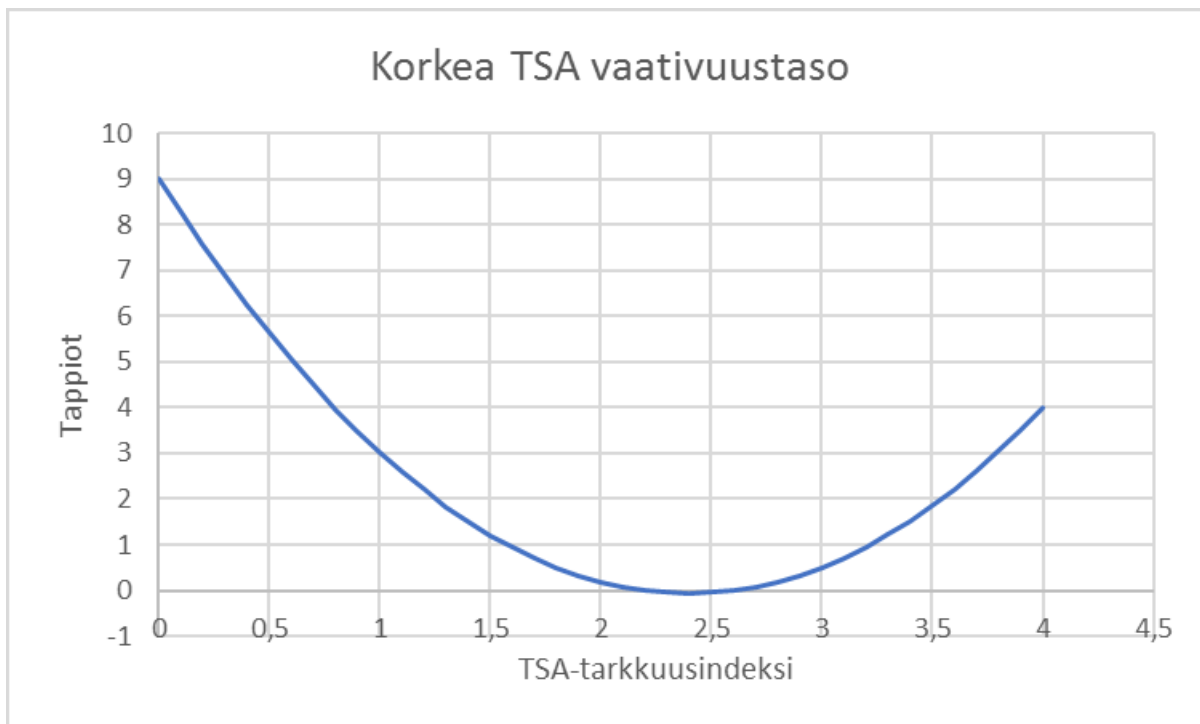


Kuva 10: Parven tappioiden riippuvuus TSA-tarkkuusindeksistä matalan TSA-vaativuustason lennoilla. Pystyakselilla on kaikkien matalan TSA-vaativuustasojen lentojen yhteenlaskettujen tappioiden lukumäärä ja vaaka-akselilla on TSA-tarkkuusindeksi. Matalan TSA-vaativuustason lennoilla TSA-tarkkuusindeksin keskiarvo oli 3.54 ja keskihajonta 0.22. TSA-tarkkuusindeksin minimi oli 2.60 ja maksimi 3.91.





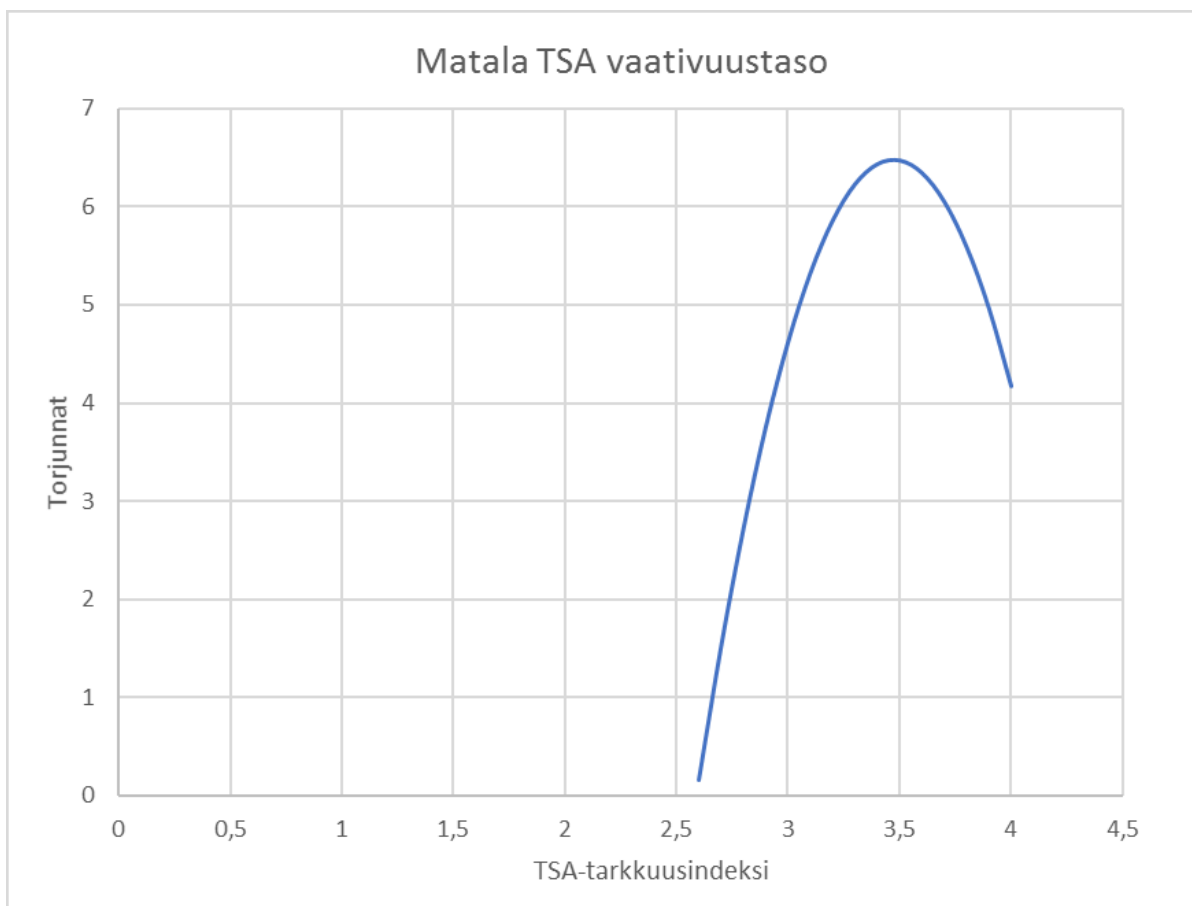
Kuva 11: Parven omien tappioiden riippuvuus TSA-tarkkuusindeksistä keskikorkean TSA-vaativuustason lennoilla. Pystyakselilla on kaikkien keskikorkean TSA-vaativuustasojen lentojen yhteenlaskettujen tappioiden lukumäärä ja vaaka-akselilla on TSA-tarkkuusindeksi. Keskikorkean TSA-vaativuustason lennoilla TSA-tarkkuusindeksin keskiarvo oli 2.58 ja keskihajonta 0.45. TSA-tarkkuusindeksin minimi oli 1.23 ja maksimi 3.47.



Kuva 12: Parven omien tappioiden riippuvuus TSA-tarkkuusindeksistä korkean TSA-vaativuustason lennoilla. Pystyakselilla on kaikkien korkean TSA-vaativuustasojen lentojen yhteenlaskettujen tappioiden lukumäärä ja vaaka-akselilla on TSA-tarkkuusindeksi. Korkean TSA vaativuustason lennoilla TSA tarkkuusindeksin keskiarvo oli 1.72 ja keskihajonta 0.44. TSA-tarkkuusindeksin minimi oli 0.92 ja maksimi 2.55.

Parven tappioiden lukumäärä oli pieni lennoilla, joissa TSA-tarkkuusindeksi oli korkea. Tämä toistui eri TSA-vaativuustasojen lennoilla, kuten kuvat 10, 11 ja 12 osoittavat. Parven taistelun kannalta TSA-tarkkuusindeksin parantumisesta saavutettiin suhteellisesti paras hyöty jo matalimmalla TSA-tarkkuusindeksin tasolla tapahtuneella nousulla. Saavutettava hyöty taistelulle pieneni TSA-tarkkuusindeksin edelleen parantuessa.

Matalan TSA-vaativuustason lennoilta löydettiin merkittävä neliöllinen riippuvuussuhde TSA-tarkkuusindeksin ja torjuttujen viholliskoneiden lukumäärän väliltä. Matala TSA-vaativuustaso:  $R=0.659$ ;  $R^2=0.435$ ;  $R^2_{adj}=0.341$ ;  $F_{2,12}=4.613$ ;  $p<0.05$ . Torjuttujen viholliskoneiden ja TSA-tarkkuusindeksin välistä riippuvuutta kuvaa parhaiten neliöllinen malli (Matala TSA-vaativuustaso: Ammutut viholliskoneet =  $TSA\text{-tarkkuusindeksi} * 57.558 + TSA\text{-tarkkuusindeksi}^2 * -8.287 - 93.472$ ), katso kuva 13. Kuvan 13 kuvaajan piirtoalue käsittää lennoilla saavutettujen TSA-tarkkuusindeksien minimin ja maksimin väliset arvot.



Kuva 13: Neliöllinen malli, joka kuvaa torjuttujen viholliskoneiden lukumäärän ja TSA-tarkkuusindeksin välistä riippuvuutta matalan TSA-vaativuustason lennoilta. Pystyakselilla on torjuttujen viholliskoneiden lukumäärän keskiarvo kaikilta matalan TSA-vaativuustason lennoilta ja vaaka-akselilla TSA-tarkkuusindeksin keskiarvo vastaavilta lennoilta. TSA-tarkkuusindeksin minimi oli 2.60 ja maksimi 3.91.

Keskikorkean tai korkean TSA vaativuustason lennoilta ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta torjuttujen viholliskoneiden lukumäärän ja TSA-tarkkuusindeksin väliltä. TSA-tarkkuusindeksin paranemisesta saavutettu hyöty matalan TSA-vaativuustason lentotehtävissä oli suhteellisesti suurin matalilla TSA-tarkkuusindeksin tasoilla tapahtuneilla muutoksilla. TSA-tarkkuusindeksin edelleen parantuessa, pieneni saavutettava hyöty, kuten kuva 13 osoittaa.

TSA tasojen 1-3 tarkkuusindeksien riippuvuussuhdetta parven saavuttamaan suoritustasoon tutkittiin regressioanalyysistä saatujen tilastollisesti merkitsevien tulosten perusteella. Jokaiselle TSA tason 1, 2 ja 3 tarkkuusindeksien keskiarvoille toteutettiin askeltava regressioanalyysi. Analyysissä TSA-tarkkuusindeksien tasoille eriteltyjä keskiarvoja testattiin regressiomalliin hyväksyttäviksi vaihtoehtoisiksi selittäviksi muuttujiksi TSA-tarkkuusindeksin keskiarvon lisäksi. Regressiomalliin hyväksyttiin kaikki tilastollisesti merkitsevät muuttajat ( $p < 0.05$ ). P-arvon  $> 0.1$  saaneet muuttajat poistettiin mallista. Seuraavissa alaluvuissa esitellään analyysistä saadut tulokset.

### 3.4.3. Parven tappiot matalalla TSA-vaativuustasolla

Parven tappioita selittävinä muuttujina käytettiin TSA tasojen 1, 2 ja 3 tarkkuusindeksejä. Muuttujien keskinäisessä vertailussa niiden todettiin olevan keskenään vahvasti korreloivia. Taulukossa 3 on esitetty parven tappioiden keskiarvo sekä keskihajonta kaikilta matalan TSA-vaativuustason lentotehtäviltä. Taulukossa 5 on esitettynä TSA-tarkkuusindeksien korrelaatiot omien tappioiden kanssa TSA:n tasoilla 1, 2 ja 3. Selittävien muuttujien todettiin olevan myös keskenään voimakkaasti korreloivia, joka nähdään taulukossa 5 esitetyistä korrelaatiokertoimista.

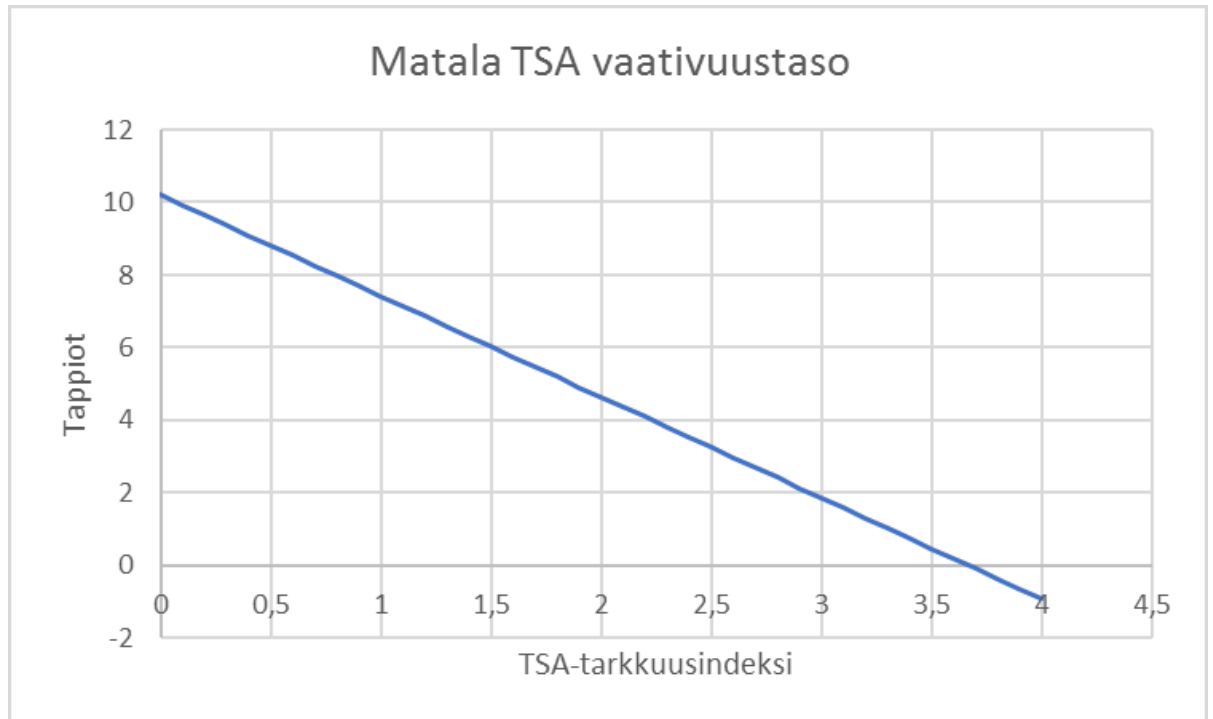
Taulukko 4: TSA tasojen 1, 2 ja 3 tarkkuusindeksien sekä omien tappioiden keskiarvo (M) ja keskihajonta (SD), kun TSA-vaativuustaso on matala. N=15.

	M	SD
Omat tappiot	0.40	0.69
TSA taso 1	3.67	0.21
TSA taso 2	3.63	0.23
TSA taso 3	3.33	0.29

Taulukko 5: Parven omien tappioiden ja TSA tasojen 1, 2 ja 3 tarkkuusindeksien välinen korrelaatio sekä selittävien muuttujien keskinäinen korrelaatio. N=15; \* $p < 0.01$ ; \*\* $p < 0.001$ .

	Omat tappiot (matala TSA vaativuustaso)	TSA taso 1	TSA taso 2
TSA taso 1	-0.79**		
TSA taso 2	-0.73**	0.88**	
TSA taso 3	-0.66**	0.59*	0.81*

Viimeiseen matalan TSA-vaativuustason regressioanalyysiin valittiin selittäväksi muuttujaksi ainoastaan TSA tason 1 tarkkuusindeksi, koska selittävät muuttujat olivat keskenään voimakkaasti korreloivia. Regressioanalyysin perusteella parven omien tappioiden ja TSA tason 1 tarkkuuden väliltä löytyi tilastollisesti merkitsevä lineaarinen riippuvuussuhde ( $R=0.830$ ;  $R^2=0.689$ ;  $R^2_{adj}=0.604$ ;  $F_{3,11}=8.113$ ;  $p<0.01$ ). Parven omien tappioiden ja TSA tason 1 tarkkuusindeksin riippuvuussuhdetta kuvaa seuraava regressiomalli: parven omat tappiot = TSA taso 1 tarkkuusindeksi \*  $-2.780 + 10.199$ . Regressiomallin kuvaaja on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14: Parven tappioiden lukumäärän riippuvuussuhde TSA tason 1 tarkkuusindeksistä matalan TSA-vaativuustason lennoilla. Pystyakselilla on parven tappioiden lukumäärän keskiarvo kaikilta matalan TSA-vaativuustason lennoilta ja vaak akselilla TSA tason 1 tarkkuusindeksin keskiarvo vastaavilta lennoilta.

#### 3.4.4. Parven tappiot keskikorkealla TSA-vaativuustasolla

Taulukossa 6 on esitetty keskikorkean TSA-vaativuustason lentotehtävien TSA-tarkkuusindeksien sekä omien tappioiden keskiarvot ja keskihajonnat. Kuten matalan TSA-vaativuustason lentotehtävillä, myös keskikorkean TSA-vaativuustason lentotehtävillä TSA-tarkkuusindeksit korreloivat voimakkaasti parven tappioiden lukumäärän kanssa. Korrelaatio oli voimakas kaikilla TSA tasoilla 1, 2 ja 3 kuten taulukko 7 osoittaa. Keskikorkealla TSA-vaativuustasolla myös eri TSA tasojen tarkkuusindeksit olivat keskenään voimakkaasti korreloivia, joka nähdään taulukossa 7 esitetyistä korrelaatiokertoimista.

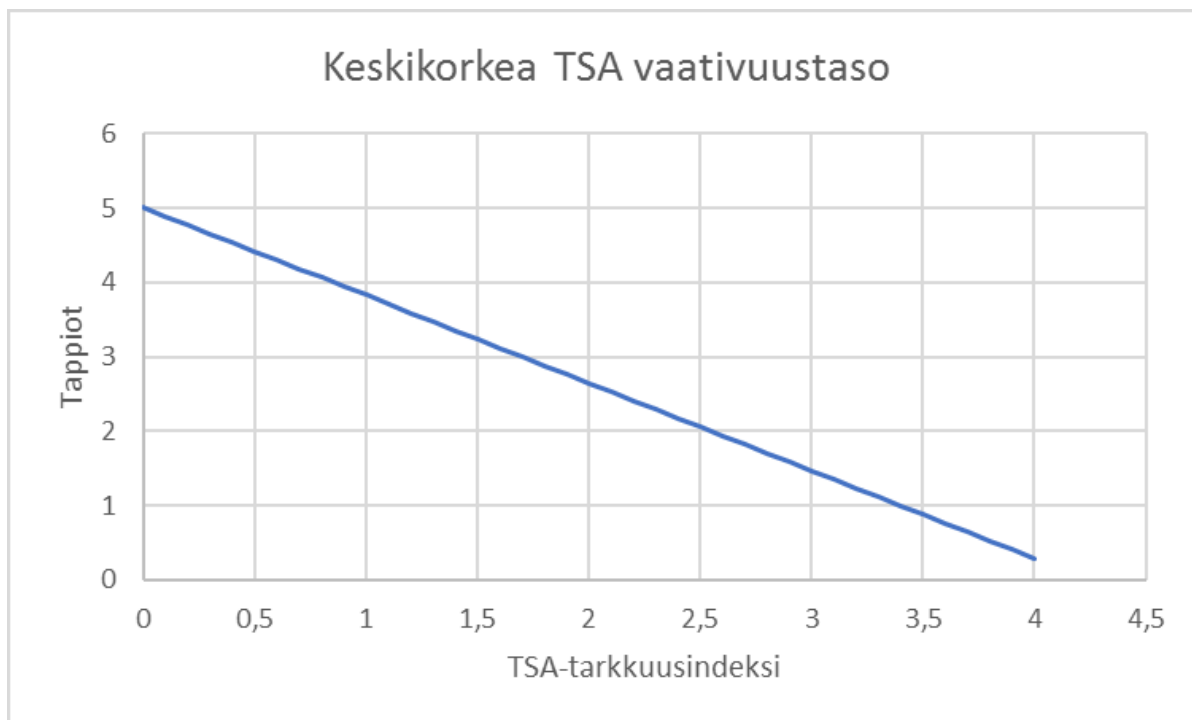
Taulukko 6: TSA tasojen 1, 2 ja 3 tarkkuusindeksien sekä omien tappioiden keskiarvo (M) ja keskihajonta (SD), kun TSA-vaativuustaso on keskiparva. N=15.

	M	SD
Omat tappiot	0.70	0.84
TSA taso 1	3.08	0.48
TSA taso 2	2.97	0.55
TSA taso 3	1.70	0.46

Taulukko 7: Parven omien tappioiden ja TSA tasojen 1, 2 ja 3 tarkkuusindeksien välinen korrelaatio sekä selittävien muuttujien keskinäinen korrelaatio. N=15; \*p<0.05; \*\*p<0.01; \*\*\*p<0.001.

	Omat tappiot (keskiparva TSA vaativuustaso)	TSA taso 1	TSA taso 2
TSA taso 1	-0.81***		
TSA taso 2	-0.80***	0.98***	
TSA taso 3	-0.48*	0.63**	0.50*

Viimeiseen keskiparvan TSA-vaativuustason regressioanalyysiin valittiin selittäväksi muuttujaksi ainoastaan TSA tason 1 tarkkuusindeksi, koska selittävät muuttujat olivat keskenään voimakkaasti korreloivia. Regressioanalyysin perusteella parven omien tappioiden ja TSA tason 1 tarkkuusindeksin väliltä löytyi tilastollisesti merkitsevä lineaarinen riippuvuussuhde ( $R=0.815$ ;  $R^2=0.664$ ;  $R^2_{adj}=0.572$ ;  $F_{3,11}=7.235$ ;  $p<0.01$ ). Parven omien tappioiden ja TSA tason 1 tarkkuusindeksin riippuvuussuhdetta kuvaa seuraava regressiomalli: parven omat tappiot = TSA taso 1 tarkkuusindeksi\* - 1.181 + 5.008. Regressiomallin kuvaaja on esitetty kuvassa 15, josta nähdään parven TSA tason 1 tarkkuusindeksin kasvun vaikutus omien tappioiden lukumäärään.



Kuva 15: Parven tappioiden lukumäärän riippuvuussuhde TSA tason 1 tarkkuusindeksistä keskikorkean TSA-vaativuustason lennoilla. Pystyakselilla on parven tappioiden lukumäärän keskiarvo kaikilta keskikorkean TSA-vaativuustason lennoilta ja vaaka-akselilla TSA tason 1 tarkkuusindeksin keskiarvo vastaavilta lennoilta.

### 3.4.5. Parven tappiot korkealla TSA-vaativuustasolla

Taulukossa 8 on esitetty korkean TSA-vaativuustason lentotehtävien TSA-tarkkuusindeksien sekä omien tappioiden keskiarvot ja keskihajonnat. Kuten matalan ja keskikorkean TSA-vaativuustason lentotehtävillä, myös korkean TSA-vaativuustason lentotehtävillä TSA-tarkkuusindeksit korreloivat voimakkaasti parven tappioiden lukumäärän kanssa. Poikkeuksen tähän teki TSA tason 3 tarkkuusindeksi, joka jäi TSA-testaustapahtuman lentotehtävien arviointien perusteella saavuttamatta korkean TSA-vaativuustason lennoilla, mikä nähdään taulukosta 8. Korrelaatio oli voimakas molemmilla TSA tasoilla 1 ja 2 kuten taulukko 9 osoittaa. Korkealla TSA-vaativuustasolla myös TSA tasojen 1 ja 2 tarkkuusindeksit olivat keskenään voimakkaasti korreloivia, joka nähdään taulukossa 9 esitetyistä korrelaatiokertoimista.

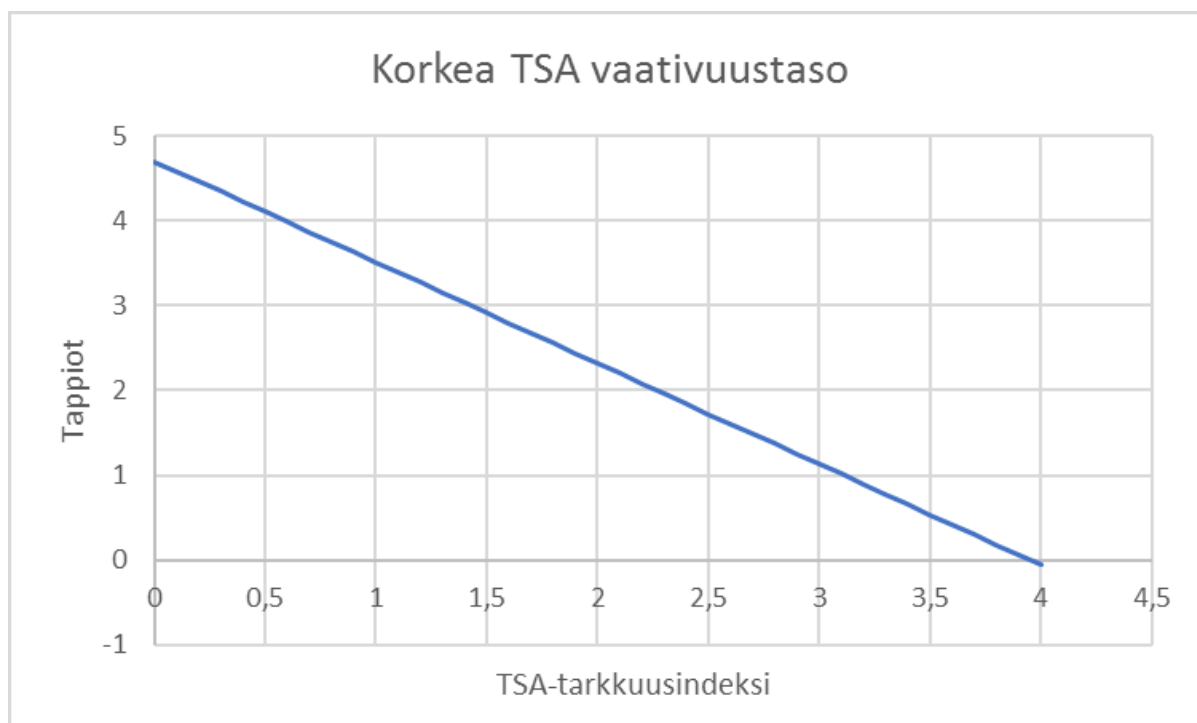
Taulukko 8: TSA tasojen 1, 2 ja 3 tarkkuusindeksien sekä omien tappioiden keskiarvo (M) ja keskihajonta (SD), kun TSA-vaativuustaso on korkea. N=15.

	M	SD
Omat tappiot	0.97	1.16
TSA taso 1	2.71	0.58
TSA taso 2	2.42	0.78
TSA taso 3	0.00	0.00

Taulukko 9: Parven omien tappioiden ja TSA tasojen 1, 2 ja 3 tarkkuusindeksien välinen korrelaatio sekä tarkkuusindeksien keskinäinen korrelaatio. N=15; \*p<0.05; \*\*p<0.01.

	Omat tappiot (korkea TSA vaativuustaso)	TSA taso 1	TSA taso 2
TSA taso 1	-0.72**		
TSA taso 2	-0.68*	0.91**	
TSA taso 3	0.00	0.00	0.00

Viimeiseen korkean TSA-vaativuustason regressioanalyysiin valittiin selittäväksi muuttujaksi ainoastaan TSA tason 1 tarkkuusindeksi, koska selittävät muuttujat olivat keskenään voimakkaasti korreloivia. Regressioanalyysin perusteella parven omien tappioiden ja TSA tason 1 tarkkuusindeksin väliltä löytyi tilastollisesti merkitsevä lineaarinen riippuvuussuhde ( $R=0.726$ ;  $R^2=0.526$ ;  $R^2_{adj}=0.448$ ;  $F_{3,11}=6.670$ ;  $p<0.01$ ). Parven omien tappioiden ja TSA tason 1 tarkkuusindeksin riippuvuussuhdetta kuvaa seuraava regressiomalli: parven omat tappiot = TSA taso 1 tarkkuusindeksi\* - 1.192 + 4.706. Regressiomallin kuvaaja on esitettyinä kuvassa 16, josta nähdään parven TSA tason 1 tarkkuusindeksin kasvun vaikutus omien tappioiden lukumäärään.



Kuva 16: Parven tappioiden lukumäärän riippuvuussuhde TSA tason 1 tarkkuusindeksistä korkean TSA-vaativuustason lennoilla. Pystyakselilla on parven tappioiden lukumäärän keskiarvo kaikilta korkean TSA-vaativuustason lennoilta ja vaakakselilla TSA tason 1 tarkkuusindeksin keskiarvo vastaavilta lennoilta.

### 3.4.6. Parven torjumat viholliskoneet matalalla TSA-vaativuustasolla

Matalan TSA-vaativuustasojen lentotehtävien TSA-tarkkuusindeksien ja parven torjumien viholliskoneiden välille tunnistettiin tilastollisesti merkitsevä neliöllinen riippuvuussuhde. Tästä huolimatta, TSA tasojen 1, 2 ja 3 tarkkuusindekseille suoritetuilla erillisillä regressio-analyyseilla ei saavutettu tilastollisesti merkitseviä tuloksia.

## 4. DISKUSSIO

Tässä luvussa vastataan tutkimuksen kolmanteen alakysymykseen: *"Millainen riippuvuussuhde parven TSA:n tarkkuudella ja suoritustasolla on?"* sekä neljänteen alakysymykseen: *"Miten mittausmenetelmän toimivuus ja käyttökelpoisuus lentosimulaattorissa lennettävissä tehtävissä validoidaan?"*. Kolmanteen alakysymykseen vastataan analysoimalla TSA-testaustapahtuman tuloksia. Neljänteen alakysymykseen vastataan analysoimalla TSA-testaustapahtuman tulosten lisäksi myös mittausmenetelmän kehittämistä ja käyttöä. Näiden lisäksi tässä luvussa pohditaan myös tutkimuksen tulosten luotettavuutta ja validiteettia sekä TSA-mittausmenetelmän sovellettavuutta.

### 4.1. TSA:n tarkkuuden ja suoritustason välinen riippuvuussuhde

TSA:n vaikutusta parven suoritustasoon analysoitiin TSA-testaustapahtumasta saatujen tulosten perusteella. Analysoinnissa käytettiin ohjaajien SA:n perusteella laskettua TSA-tarkkuusindeksin keskiarvoa. Analyysissa suoritustason suureina käytettiin parven omien tappioiden ja torjuttujen viholliskoneiden lukumäärien keskiarvoa. Lasketut keskiarvot esitetään taulukossa 2.



TSA-testaustapahtumassa yhteensä 15 neljän F/A-18-koneen parvea lensi simuloituja BVR-hävittäjätaistelutehtäviä. Testauksen toteutusta varten valmisteltiin käytettäväksi kolme TSA-vaativuustasoa. TSA-vaativuustasojen väliset erot toteutettiin LINK16-järjestelmän sallimaa informaatiota manipuloimalla. LINK16-järjestelmän mahdollistamaa tiedonvaihtoa parven ohjaajien kesken sekä ohjaajien ja taistelunjohtajan välillä manipuloitiin ennalta määritetyllä tavalla. Tiedonvaihtoa rajoittamalla toteutettiin kolmessa vaiheessa tapahtunut ja nousujohtainen TSA-vaativuustason kasvattaminen. TSA-vaativuustasoa manipuloitiin soveltaen tapaa, jota myös Gorman et. al. [44] [43] käyttivät omassa tutkimuksessaan, jossa manipulointi toteutettiin tiimin jäsenten välistä koordinoitua sekä tiedonvaihtoa vaikeuttamalla kolmella eri tasolla: helppo, keskivaikea ja vaikea. Kaikki parvet lensivät lentotehtäviensä aikana kaikilla kolmella TSA-vaativuustasolla. Kokonaisuutta tarkasteltaessa havaittiin TSA-vaativuustason kasvun yhteydessä tapahtunut TSA:n tarkkuuden heikkeneminen. Samoin parven omat tappiot lisääntyivät ja torjuttujen viholliskoneiden lukumäärät pienentyivät TSA-vaativuustason kasvaessa. Tämä pudotussuhteen heikkeneminen suhteessa TSA-vaativuustason kasvuun on havaittavissa taulukosta 2. Tutkimuksen neljännen alakysymyksen kannalta tämä tarkoittaa, että testaustapahtuman simulaatioissa käytetty TSA-vaativuustason säätely oli onnistunut ja TSA-mittausmenetelmä oli sensitiivinen. Tämän todentaminen oli edellytys aineiston analysoinnin jatkamisen kannalta, mutta se oli tärkeä myös TSA-mittausmenetelmän toimivuuden ja käytökelpoisuuden arvioinnin kannalta.

TSA:n vaikutusta suoritustasoon tutkittiin kaikilla kolmella TSA-vaativuustasolla erikseen. Ensin tehtiin toistomittausten varianssianalyysi. Sen avulla todettiin TSA-vaativuustasojen säätelyn onnistuminen TSA-testaustapahtuman simulaatioissa. Tämän jälkeen tehtiin kahden riippuvan muuttujan t-testillä parivertailu. Sen avulla määritettiin riippuvien ryhmien keskiarvojen perusteella ryhmät, joiden keskiarvoissa löytyy tai ei löydy tilastollisesti merkitsevää eroa. T-testin jälkeen tehtiin regressioanalyysi. Sen avulla määritettiin omien tappioiden ja torjuntujen sekä TSA-tarkkuusindeksin välinen riippuvuussuhde. Muodostetulla regressiomallilla arvioitiin TSA-tarkkuusindeksin vaikutusta parven suoritustasoon. Regressiomallissa selitettävänä muuttujana käytettiin omia tappioita ja torjuntuja, eli toisin sanoen parven suoritustasoa. Selittävänä muuttujana käytettiin TSA-tarkkuusindeksiä. Regressioanalyysillä saadut tulokset on esitetty taulukossa 3. Taulukon tuloksista on havaittavissa regressiomallin suuri selityskertoimen. Tämä tarkoittaa, että TSA-tarkkuusindeksillä pystytään selittämään omien tappioiden lukumäärä luotettavasti.

Testaustapahtuman tulosten analysoinnin perusteella TSA-tarkkuusindeksin ja omien tappioiden välisen riippuvuussuhteen havaittiin olevan tilastollisesti erittäin merkitsevä kaikilla TSA-vaativuustasoilla, kuten taulukosta 3 on havaittavissa. TSA-tarkkuusindeksin ja omien tappioiden välisen riippuvuussuhteen todettiin olevan lineaarisen sijaan neliöllinen, jolloin TSA-tarkkuusindeksin pienimmiltä arvoilta tapahtuneella kasvulla oli voimakkain vaikutus suoritustasoon, joka on havaittavissa kuvista 10, 11 ja 12. Vaikutus suoritustasoon pieneni TSA-tarkkuusindeksin arvon edelleen kasvaessa. Kuvassa 10 on havaittavissa tappioiden suuri lukumäärä (yli 4) pienimmällä havaitulla TSA-tarkkuusindeksin arvolla. Tähän saattaa olla syynä testaustapahtumassa kahdella lennolla koetut ongelmat LINK16-järjestelmässä, jolloin ilmatilannekuva ei välittynyt parven ohjaajille, vaikka olisi pitänyt. Tilanne vastasi TSA-vaativuustasoltaan tällöin 'korkeaa', vaikka sen olisi pitänyt olla 'matala'. Tämä mahdollinen poikkeama ei kuitenkaan mitätöi regressiomallia, koska sen selityskerroin on korkea.

Matalan TSA-vaativuustason lennoilta löydettiin tilastollisesti merkittävä neliöllinen riippuvuussuhde TSA-tarkkuusindeksin ja torjuttujen viholliskoneiden lukumäärän väliltä, joka on havainnollistettu kuvassa 13. Vastaavaa tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta ei löytynyt keskikorkean tai korkean TSA-vaativuustason lennoilta. Tilastollisesti merkitseviä tuloksia ei löydetty, koska ohjaajilla oli koko ajan käytössään LINK16-järjestelmän välittämänä ilmatilannekuva, jonka tukemana he kykenivät havainnoimaan ja seuraamaan maalien toimintaa jatkuvasti. Tämän vuoksi tilannetietoisuus matalan TSA-vaativuustason simulaatioissa oli koko ajan hyvä ja tarkka kaikilla TSA tasoilla. Kuvasta 13 on havaittavissa, että TSA-tarkkuusindeksin paranemisella matalimmilla tasoilla oli suurempi vaikutus parven torjumien viholliskoneiden lukumäärään kuin korkeammalla TSA tarkkuudella tapahtuneella muutoksella. Suhteellinen vaikutus torjuntojen lukumäärän kasvuun oli noin 2-3 kertaa suurempi TSA-tarkkuusindeksin noustessa arvosta 2.5 arvoon 3.0:een kuin TSA-tarkkuusindeksin noustessa arvosta 3.0 arvoon 3.5.

Tutkimuksessa tutkittiin erillisillä regressioanalyseillä myös TSA tasojen 1-3 tarkkuusindeksien vaikutusta suoritustasoon kaikilla kolmella TSA-vaativuustasolla erikseen. Analyysillä vertailtiin onko TSA:n tasoilla keskenään erilaiset vaikutukset suoritustasoon. Selittäviksi muuttujiksi regressiomalliin hyväksyttiin kaikki tilastollisen merkitsevyyden saaneet ( $p < 0.05$ ) selittävät muuttujat. TSA-tarkkuusindeksit korreloivat kaikilla TSA-vaativuustasoilla voimakkaasti tappioiden lukumäärän kanssa, kuten taulukot 5, 7 ja 9 osoittavat. Poikkeuksen tekee korkea TSA-vaativuustaso, jolla TSA taso 3 jäi kokonaan saavuttamatta. Selittävät muuttujat korreloivat keskenään voimakkaasti kaikilla TSA-vaativuustasoilla, minkä vuoksi vain TSA tason 1 tarkkuusindeksi valittiin regressioanalyysiin selittäväksi muuttujaksi. Kaikilta TSA-vaativuustasoilta löydettiin tilastollisesti merkitsevä lineaarinen riippuvuussuhde TSA tason 1 tarkkuusindeksin ja suoritustason väliltä. Kuvat 14, 15 ja 16 osoittavat TSA tason 1 tarkkuusindeksin kasvun vähentävän tappioiden lukumäärää lineaarisesti. Tämä tarkastelu vahvistaa kahden edellä mainitun tarkastelun tuloksia, joissa TSA:n tarkkuuden paraneemisella todettiin olevan suoritustasoa parantava vaikutus. Vaikutus on joko tappioiden lukumäärää pienentävä tai torjuntujen lukumäärää kasvattava.

Taulukko 8 osoittaa ohjaajilla olleen haasteita saavuttaa SA:n taso 3 korkean TSA-vaativuustason lentotehtävillä. SA:n tason 3 saavuttamisen ja ylläpitämisen helppous matalan TSA-vaativuustason lentotehtävillä voidaan selittää pääasiassa kahdella asialla. Ensinnäkin parven jäsenillä oli lähes jatkuva kyky seurata viholliskoneiden liikehdintää ja sijaintia ohjaamossa olevien laitteidensa välityksellä. Tässä LINK16-järjestelmän välityksellä saadulla ilmatilannekuvalla oli suuri merkitys. Toiseksi viholliskoneiden käyttämät TTP:t olivat samankaltaisia, joihin parven ohjaajat olivat tottuneet koulutuksensa aikana. Ohjaajat kykenivät heti lentotehtävän alusta asti toteamaan viholliskoneiden käyttävän totuttua TTP:tä niiden käyttäytymisen perusteella, mikä helpotti viholliskoneiden liikehdinnän ja taktiikan ennakoimista. Keskikorkean TSA-vaativuustason lentotehtävillä TSA tason 3 muodostaminen ja ylläpito oli haastavampaa. Osaston ohjaajien piti muodostaa yhteinen taktinen tilannekuva ainoastaan radiokeskustelujen sekä osaston muiden koneiden tutkien tuottamien seurantojen perusteella. Korkean TSA-vaativuustason lentotehtävillä kunkin parven ohjaajan piti muodostaa ja ylläpitää kolmiulotteinen ilmatilannekuva perustuen ainoastaan radiokeskusteluihin sekä oman koneen tutkan tuottamiin seurantoihin. Koska ohjaajien ja taistelunjohtajan väliseen keskusteluun oli käytössä vain kaksi radiokanavaa, saturoituivat ne nopeasti samanaikaisten lähetysten vuoksi. Huomioiden edellä mainitut asiat, voidaan todeta ohjaajilla olleen käytössä rajoitettu tietomäärä korkean TSA-vaativuustason lentotehtävillä. Tämän vuoksi he joutuivat lentotehtävän aikana toteuttamaan kognitiivisesti kuormittavaa mentaalista simulointia ylläpitääkseen kolmiulotteista ilmatilannekuvaa jatkuvasti muuttuvasta taktisesta tilanteesta. SA:n taso 3 vaatii aina tämän, mutta nyt tehdyn TSA:n manipuloinnin seurauksena informaatio oli vähäisempää ja sen vuoksi edellytykset saada tarkka ilmatilannekuva muodostettua oli epätodennäköisempää. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset tason 3 TSA-tarkkuusindeksien osalta osoittavat, että tason 3 saavuttaminen oli erittäin vaikea, ellei jopa mahdoton tehtävä, jopa kokeneille hävittäjäohjaajille. Tämä on todettavissa taulukosta 8.

Tutkimuksessa havaittu TSA:n ja suoritustason välinen neliöllinen riippuvuussuhde on esitetty kuvissa 10, 11, 12. Riippuvuussuhdetta voidaan selittää tarkastelemalla parvien toteuttamaa TTP:tä omien tappioiden välttämisen näkökulmasta. Maalimallista riippumatta parven koneet olivat aina tietyn etäisyyden päässä maalikoneista lentotehtävien alkaessa. Tämä mahdollisti parvelle riittävän ajan etsiä mahdolliset viholliskoneet sekä seurata niitä omilla sensoreillaan TSA-vaativuustasosta riippumatta. Havaittuaan viholliskoneet oli parven ohjaajilla tavoitteena torjua mahdollisimman monta viholliskonetta. Simulaation maalimalli toteutti viholliskoneille vastaavan kaltaisen toimintaperiaatteen ja kohteina oli parven koneet. Kun viholliskoneet löysivät itselleen maalin ja ammunta-arvot täyttyivät, suorittivat viholliskoneet omia ammuntojaan. Koska molemmat osapuolet ampuivat toisiaan suorituskyyviltään lähes tasavertaisilla ohjuksilla ja suunnilleen samanaikaisesti, oli parven ohjaajien suoritettava koneillaan puolustuksellinen liike vihollisen ohjusammuntojen eväämiseksi ja pysyäkseen hengissä. Yksinkertaisimmillaan puolustuksellinen liike on koneen lentosuunnan vaihtaminen loittonevaksi viholliskoneeseen nähden. Tällä tavoitellaan joko ohjuksen ammuntaetäisyyden ulkopuolella pysymistä tai ammutun ohjuksen kinemaattista väistöä. Kinemaattisessa väistössä vihollisen jo ampuma ohjus ei lentosuunnan ja etäisyyden vuoksi enää kykene saavuttamaan maaliaan. Väistön tehdessään parven ohjaajat joutuivat luopumaan ammunnan kohteena olevan viholliskoneen seurannasta kesken ohjuksen lennon. Toisin sanoen ohjaajilla ei ollut mahdollista seurata ohjuksen mahdollista osumaa maaliinsa ennen omaa väistöliikettä, jos LINK16 välittämä informaatio oli estetty. Puolustuksellisen väistön jälkeen parvi pyrki torjumaan jäljelle jääneet viholliskoneet. Viholliskoneiden etsintä oli aloitettava väistön jälkeen alusta. Jos verrataan käytössä ollutta etäisyyttä ja sen sallimaa aikaa ensimmäiseen hyökkäykseen, oli jatkoohyökkäyksessä etäisyys viholliskoneisiin merkittävästi pienentynyt. Tästä johtuen parven omin sensorein suoritettuun viholliskoneiden etsintään käytettävissä oleva aika ei ollut aina riittävä ennen etäisyyttä, josta tuli suorittaa uudestaan puolustuksellinen väistö. Matalan TSA-vaativuustason lentotehtävillä parvilla oli väistönkin aikana mahdollista ylläpitää TSA:a viholliskoneiden sijainnista ja liikehtelystä tukeutumalla LINK16 tuottamaan tilannekuvaan. Korkean TSA-vaativuustason lentotehtävillä parven jäsenillä ei ollut kykyä vastaanottaa ilmatilannekuvaa LINK16 välittämänä. Tällöin heidän oli tukeuduttava taistelunjohtajan puheella tuottamaan ilmatilannekuvaan sekä omilla sensoreillaan etsiä mahdolliset viholliskoneet. Omin sensorein tuotettu ilmatilannekuva vaati parven ohjaajilta aina kääntymisen kohti viholliskoneita, jolloin koneiden välinen etäisyys alkoi välittömästi pienenemään. Viholliskoneet oli ohjelmoitu säilyttämään jatkuva sensorihavainto parven koneista, jolloin niiden SA säilyi jatkuvasti riittävänä toteuttamaan ohjelmoitua TTP:tä. Niillä oli välitön kyky aloittaa ampuminen torjujien tullessa ohjusten ampumaetäisyyden sisäpuolelle. Viholliskoneilla ei kulunut aikaa torjujien etsimiseen, jolloin niillä oli ajallisesti etulyöntiasema. Kokonaisuutena TSA:n

manipuloinnilla onnistuttiin saamaan suuri vaikutus parven taistelussa selviytymiseen, joka on nähtävissä taulukosta 2. Parven tappiot lisääntyivät ja torjunnat vähenivät TSA-vaativuustason kasvaessa. Tämä vaikutus korostui aina parven suoritettua ensimmäiset puolustukselliset väistönsä, mikä on todettavissa kuvasta 12. Korkean TSA-vaativuustason lennoilla edellä kuvattu kohti lentäminen, ammunta ja väistö näkyvät kuvassa 12 siten, että TSA-tarkkuusindeksin jatkuvasti kasvaessa ei kyetä välttämään kuitenkaan tappioita. Parven on puolustauduttava maalien ampumilta ohjuksilta, jolloin he joutuvat uhkasta pois lentäessään epäedulliseen asemaan tilannetietoisuuden kannalta eivätkä näin ollen täysin kykene ylläpitämään tilannetietoisuuttaan tapahtumista. Lentotehtävän aloituksesta alkaneeseen ensimmäiseen hyökkäykseen ja siinä saavutettuihin viholliskoneiden torjuntoihin TSA:n manipuloinnilla oli vain pieni vaikutus.

BVR-hävittäjätaistelu on dynaamista toimintaa epävarmassa ympäristössä, jossa onnistuminen tai epäonnistuminen voi olla sattuman kauppaa. Erityisesti dynaamisissa olosuhteissa suoritetuissa tutkimuksissa SA:n ja suoritustason välinen riippuvuussuhde on todettu heikoksi tai epäselväksi. [30] [32] [35] [33] Yleisesti ottaen tutkimukset SA:n ja suoritustason välisestä riippuvuussuhteesta perustuvat implisiittisesti lineaarisen riippuvuussuhteen tarkasteluun korrelaatio- ja regressioanalyysin keinoin [32]. Kirjallisuudessa esitetyt korrelaatiokertoimet vaihtelivat yleisimmin 0.2-0.5 välillä [33] [34] [32] [31] [29]. Toisaalta pienimmillään havaitut korrelaatiokertoimet ovat olleet jopa 0.07 [31]. Tästä tutkimuksesta saadut tulokset osoittivat TSA:n tarkkuuden ja suoritustason välisen riippuvuussuhteen olevan voimakkaasti neliöllinen, kuten kuvista 10, 11 ja 12 on todettavissa. Saadut tulokset pohjautuvat neliölliseen regressioanalyysiin ja ne korostuivat erityisesti vertailtaessa suoritustasoa parven omien tappioiden lukumäärään.

Tutkimuksesta saatujen tulosten perusteella voidaan tutkimuksen kolmanteen alakysymykseen vastata. TSA:n ja suoritustason välillä on neliöllinen riippuvuussuhde.

#### 4.2. TSA-mittausmenetelmän toimivuuden ja käyttökelpoisuuden validointi lentosimulaattorissa

Tässä tutkimuksessa esiteltiin TSA-mittausmenetelmän kehittäminen ja todennettiin sen käyttö simulaattorissa. TSA-mittausmenetelmän testaustapahtumasta saatujen tulosten perusteella tutkittiin TSA:n vaikutusta parven suoritustasoon. Tulosten perusteella arvioitiin TSA-mittausmenetelmän sensitiivisyyttä sekä käytettävyyttä osana lentotehtävien läpikäyntiä.

TSA-mittausmenetelmän kehittämiseksi analysoitiin SA:ta ja TSA:ta käsittelevää kirjallisuutta. Kirjallisuuskatsauksen tarkoitus oli analysoida tutkittavaan aiheeseen liittyvää teoriaa sekä kuinka TSA:ta on aiemmin tutkittu. Teoriaan perehtymällä ja sitä analysoimalla löydettiin BVR-hävittäjätaistelulle tärkeät konseptit ja attribuutit. Kirjallisuuskatsauksen tavoite oli myös selvittää olemassa olevien TSA:ta mittaavien menetelmien heikkoudet ja vahvuudet, jotta kehitettävässä TSA-mittausmenetelmässä vältettiin heikkoudet ja hyödynnettiin vahvuudet. Konseptien ja attribuuttien analysointi ja muokkaus tehtiin iteratiivisesti asiantuntijoita hyödyntäen, kuvan 4 mukaisessa järjestyksessä.

Työssä muodostettiin mittauslomakkeen kehittämiseksi yhteensä 4 listaa: alustava lista, luonnoslista, potentiaalinen lista ja lopullinen lista. Liitteenä 1 oleva alustava lista muodostettiin siten, että toteutettiin kirjallisuuskatsaus olemassa olevaan kirjallisuuteen, josta sisällönanalyysillä tunnistettiin yhteensä 313 BVR-hävittäjätaistelun konseptiksi tai sellaisen attribuutiksi tulkittavaa asiaa, tekijää tai toimintoa. Liitteen 2 mukainen luonnoslista muodostettiin siten, että alustava lista annettiin Hävittäjälentolaivueiden kokeneille ilmataisteluopettajille analysoitavaksi. Ilmataisteluopettajat muodostivat BVR-ilmataistelun konseptit ja attribuutit yhdistelemällä, muokkaamalla ja poistamalla alustavan listan asioita, tekijöitä ja toimintoja. Tehdyn analysoinnin ja käsittelyn jälkeen lomakkeen sisältämien konseptien ja niiden attribuuttien validiuden analysointi annettiin tehtäväksi Ilmataistelukeskuksen OT&E-lentäjille. Kuvan 6 mukainen potentiaalinen lista muodostettiin siten, että Hävittäjälentolaivueiden ohjaajat painottivat luonnoslistan attribuutit sen perusteella, kuinka tärkeitä ne olivat tilannetietoisuuden muodostamisen ja ylläpidon kannalta. Attribuuttien tärkeyttä kuvaava painoarvo perustui laivueiden ohjaajien omiin kokemuksiin kunkin attribuutin tärkeydestä tyypillisessä BVR-hävittäjätaistelussa. Painoarvojen asettamisen jälkeen 11 kokenutta ilmataisteluopettajaa sekä OT&E-koelentäjää analysoi painotettuja attribuutteja ja konsepteja. Painotettuja konsepteja yhdisteltiin ja pienen painoarvon konseptit ja niiden attribuutit hylättiin jatkotarkastelusta. Jäljelle jääneet konseptit ja attribuutit järjestettiin tärkeysjärjestykseen. Konseptit ja attribuutit valittiin ja muotoiltiin siten, että ne eivät ole käytettävästä konetyypistä tai simulaattorista riippuvaisia. Kuvan 8 esittämä lopullinen lista muodostettiin siten, että potentiaaliselle listalle suoritettiin esitestaus Ilmavoimien taktisessa VERSII19-simulaattoriharjoituksessa. Esitestauksen yhteydessä potentiaalista listaa kyettiin testaamaan CDM-menetelmää varten kehitetyillä syventävillä kysymyksillä, jotka esitetään taulukossa 1. Samalla laivueiden ilmataisteluopettajat harjaantuivat CDM-menetelmän käyttöön, kuten myös TSA-mittausmenetelmän kokonaisuuteen. Esitestauksessa havaitut epäkohdat korjattiin tutkijan toimesta harjoituksesta saadun palautteen sekä tehtyjen havaintojen perusteella. Havaittujen epäkohtien perusteella potentiaalista listaa muokattiin siten, että siihen kyettiin arvioimaan SA:n eri tasot erikseen. Lisäksi listan käytännöllisyyttä kehitettiin vastaamaan hävittäjätaistelun luonnetta attribuuttien valinnan osalta. Epäkohtien poiston ja käytännöllisyyden parantamisen jälkeen lista oli kuvan 8 esittämässä lopullisessa muodossaan. Attribuuttien toiminnallisuuteen tehty parannus on esitetty kuvassa 9. Mittauslomakkeen muodostamiseksi käsitelty teoria oli tutkimuksen kannalta riittävä ja sen muodostamista tuki eri vaiheiden iteratiivisuus yhdessä esitestauksen kanssa.



TSA-mittausmenetelmän validointi toteutettiin simuloitussa BVR-hävittäjätaistelussa Hävittäjälentolaivueiden lentosimulaattoreissa. Tässä tutkimuksessa kehitettyä TSA-mittausmenetelmää käytettiin lentotehtävän läpikäynnissä, jolla mahdollistettiin lentotehtävän häiriötön suorittaminen. Lentotehtävän läpikäynnistä vastuussa ollut ilmataisteluopettaja johti läpikäyntiä. Hän pysäytti lentotehtävästä muodostetun rekonstruktion tarkastelua varten taistelun kannalta kriittisiksi toteamissaan kohdissa. Tarkasteluun valittu attribuutti käsiteltiin haastatteleamalla parven ohjaajia hyödyntäen CDM-menetelmää. Haastattelun tavoite oli selvittää ohjaajan attribuuttiin liittynyt tieto, jotta SA:n tarkkuutta voitiin arvioida. Haastattelusta saamiensa vastausten perusteella ilmataisteluopettaja kykeni arvioimaan yksittäisten ohjaajien SA:n tarkkuuden tutkimusta varten kehitetylle mittauslomakkeelle. Ohjaajien tietoja verrattiin rekonstruktion tietoon, jonka perusteella määritettiin ohjaajan SA:n tarkkuus käsiteltävästä attribuutista. Kun attribuutti oli käsitelty, rekonstruktio käynnistettiin. Se pysäytettiin uudestaan, kun löytyi seuraava kriittinen kohta. Pysäytetyssä kohdassa uusittiin edellä kuvattu attribuutin tarkastelu. Tätä kokonaisuutta toistettiin, kunnes lentotehtävän kaikki kriittiset kohdat ja niissä esiintyneet attribuutit oli käsitelty. Lentotehtävän läpikäynnin päätyttyä parvelle laskettiin TSA-tarkkuusindeksi mittauslomakkeelle syötettyjen yksittäisten ohjaajien SA:n arvojen perusteella. Yksittäisten ohjaajien SA:n tarkkuus arvioitiin kuhunkin attribuuttiin liittyen erikseen ja kaikille SA:n tasoille eriteltyinä. Arviointi tehtiin elisitoituun tietoon perustuen kuvan 8 esittämää esimerkkiä mukaillen. Attribuutti sai arvon 1 SA:n ollessa tarkka tai arvon 0 sen ollessa epätarkka. Kun kaikkien ohjaajien yksittäiset SA:n tarkkuudet attribuutista oli arvioitu kaikille SA:n tasoille, laskettiin niistä kyseisen attribuutin TSA:n tarkkuus TSA:n tasoille 1-3 summaamalla yksittäisten ohjaajien tulokset. Laskemalla lentotehtävän attribuuttien TSA:n tarkkuuden keskiarvot TSA:n tasoille erikseen, saatiin TSA:n tasojen 1-3 tarkkuusindeksit. Laskemalla keskiarvo lentotehtävän kaikkien attribuuttien TSA:n tarkkuuden arvoista, saatiin parven TSA-tarkkuusindeksi.

Tutkimuksessa käytetyt lentosimulaattorit olivat koulutuskäyttöön suunniteltuja. Simulaattoreiden toiminnallisuudet ja järjestelmät olivat vastaavia kuin oikeissa lentokoneissa. WTSAT-simulaattoreissa käyttöliittymät vastasivat oikeiden lentokoneiden käyttöliittymiä. DTT-simulaattoreissa osa käyttöliittymistä oli toteutettu kosketusnäytöillä. Simulaattorit verkotettiin keskenään, jolloin niillä oli mahdollista operoida parvikokonaisuutena. BigTac-uhkapalvelimella simulaatioihin ohjelmoitiin uhka, joka vastasi Ilmavoimien taktisen kirjallisuuden mukaista uhkaa asejärjestelmiltään ja taktiikoiltaan.

TSA-mittausmenetelmän tulee perustua teoriasta tunnistettuihin tosiasioihin, jotta sillä saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina sekä arvioida menetelmän soveltuvuutta. Mittausmenetelmän suunnittelussa tulee huomioida olemassa olevien menetelmien heikkoudet ja vahvuudet sekä toimintaympäristö, jossa mittausmenetelmää käytetään, jotta menetelmän käyttö ei vaikuta suorituksesta mitattaviin tuloksiin. Mittausmenetelmän tukena käytettävän kyselytekniikan tulee mahdollistaa ohjaajien attribuutteja koskevan tiedon elisitointi. TSA:ta käsitellään tässä tutkimuksessa parven jäsenten yhteisenä tietona ja siksi sen arvioimiseksi tulee kyetä hyödyntämään tiedon elisitoinnin menetelmiä. Tiedon elisitointi on Fowlkes et al. [42] mukaan menetelmä, jolla ihmisiä autetaan sanoittamaan omat tietonsa esimerkiksi tehtävän suorittamiseen liittyen. Hävittäjätaistelussa tarvittavan TSA:n elisitoinnista on tehty useita tutkimuksia, kuten esimerkiksi Cooke et al. [124] ja Hoffman et al. [147]. Tiedon elisitoinnin menetelmää hyödyntämällä ohjaajien vastausten laatu ja SA:n tarkkuuden arvioinnin luotettavuus paranee, jolloin TSA-mittausmenetelmän luotettavuus paranee. Tässä tutkimuksessa käytettiin tiedon elisitointiin CDM-menetelmää. Ohjaajien SA:n arvioinnin tukena on myös oltava rekonstruktio suoritetusta tehtävästä. Rekonstruktion avulla verrataan ohjaajien vastausten tarkkuus absoluuttiseen totuuteen. Vertailun avulla määritetään SA:n tarkkuus.

Esitestauksella kyetään todentamaan kehitettävän TSA-mittausmenetelmän mahdolliset kehittämistarpeet ja reagoimaan niihin ennen tutkimuksen testaustapahtuman toteutusta. Tässä tutkimuksessa kehitetty ja testaustapahtumassa validoitu TSA-mittausmenetelmä sisältää tässä luvussa mainitut asiat, minkä perusteella mittausmenetelmän voidaan todeta olevan soveltuva TSA:n mittaamiseen.

### 4.3. Tutkimuksen tulosten luotettavuus ja validiteetti

Tässä alaluvussa käsitellään ensin tutkimuksen kvalitatiivisen osuuden ja sen jälkeen kvantitatiivisen osuuden luotettavuus ja validiteetti. Lopuksi käsitellään koko tutkimuksen luotettavuutta ja validiteettia.

Hirsjärvi et al. [75] kertoo kvalitatiivisen tutkimuksen luotettavuudella ja validiteetilla olevan eriäviä tulkintoja, koska kyseiset termit ovat omaksuttu kvantitatiivisen tutkimuksen piiristä. Kvalitatiivisen tutkimuksen luotettavuutta ja validiutta ei voida arvioida samalla tavalla kuin kvantitatiivista tutkimusta [148]. Luotettavuutta ja validiutta tulee kuitenkin arvioida myös kvalitatiivisessa tutkimuksessa ja yhtenä sopivana tapana esitetään [75] tutkimuksen toteutuksen selostuksen tarkkuuden pohtimista. Tähän sisältyy myös tutkittavan aiheen kuvaus, siihen liitetyt selitykset sekä aineistosta tehtyjen tulkintojen keskinäinen yhteensopivuus. Aineistolle tehdystä analyysistä on keskeistä pohtia siitä tehtyjä luokitteluja perusteluineen.

Tämän tutkimuksen kvalitatiivinen osuus muodosti koko tutkimuksen teoriapohjan. Kvalitatiivisen aineiston analysointiin valittu menetelmä koettiin onnistuneeksi ja perustelluksi. Systemaattisesti toteutetulla kirjallisuuskatsauksella kyettiin muodostamaan käsitys SA:sta ja TSA:sta sekä niiden merkityksestä BVR-hävittäjätaistelulle. Kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin myös olemassa oleviin TSA-mittausmenetelmiin niiden toteutustavan, heikkouksien ja vahuuksien selvittämiseksi. Lisäksi kirjallisuudesta etsittiin soveliaista tiedon elisitoinnin menetelmää hyödynnettäväksi TSA-mittausmenetelmässä. Teoriasta määriteltiin BVR-hävittäjätaistelun kannalta tärkeät konseptit ja attribuutit. Niiden laadullisen arvioinnin toteutti kokeneet ilmataisteluopettajat yhdessä OT&E-koelentäjien kanssa. Laivueiden valmiusohjaajien attribuuttien tärkeydelle BVR-hävittäjätaistelun suhteen antamalla painoarvoilla kyettiin tarkentamaan ja varmentamaan mittausmenetelmässä hyödynnettäviä attribuutteja. SA:ta ja TSA:ta käsittelevien osuuksien raportointi koettiin hankalaksi. Vaikuttavana tekijänä oli kirjallisuuden laajuus ja kirjallisuudessa esiintyvien SA:han rinnastettavien termien määrä. SA ja TSA kyettiin molemmat selventämään tutkimuksen toteuttamisen kannalta riittävälle tasolle raportoinnin hankaluudesta huolimatta. Tutkimuksen vaiheet kuvattiin kuitenkin tarkasti ja toteutuksessa kunkin vaiheen aikana suoritettiin iteratiivisesti konseptien ja attribuuttien käsittelyä sekä painoarvojen antamista. Lisäksi tässä tutkimuksessa kyettiin todentamaan teorian analysoinnin onnistuminen ja TSA-mittausmenetelmän käytettävyyden VERSI19-harjoituksen yhteydessä suoritettussa esitestauksessa. Samassa harjoituksessa kyettiin myös todentamaan tiedon elisitointiin valitun CDM-menetelmän käyttökelpoisuus osana TSA-mittausmenetelmää. Harjoituksessa TSA-mittausmenetelmässä havaittuihin epäkohtiin kyettiin puuttumaan ja korjaamaan ne ennen varsinaista TSA-testaustapahtumaa, mikä lisäsi tutkimuksen validiteettia ja tulosten luotettavuutta. Näiden edellä kuvattujen prosessien aikana mahdolliset virheet olisivat varmasti tulleet havaituiksi. Teorian pirstaleisuudesta huolimatta sillä ei koeta olevan merkittävää vaikutusta tutkimuksen luotettavuuteen tai validiteuteen.

Kvantitatiivisen tutkimuksen luotettavuudella tarkoitetaan tutkimuksen kykyä antaa tuloksia, jotka eivät ole sattumanvaraisia. Tutkimuksen tulosten kannalta luotettavuudella tarkoitetaan tulosten pysyvyyden arviointia mittauksesta toiseen, jolloin kyseessä on tutkimuksen toistettavuus. Tutkimus on luotettava ja tarkka, jos toistamalla tutkimus saadaan sama lopputulos tutkijasta riippumatta. [77] [75] Tutkimuksen luotettavuutta tulee arvioida tutkimusta tehdessä sekä sen jälkeen suoritettavassa tarkastelussa. Luotettavuuden tarkastelussa kiinnitetään erityisesti huomiota mittaukseen liittyviin asioihin sekä tutkimuksen toteutuksen tarkkuuteen [77]. Tutkimuksen luotettavuutta parantaa oikein perustein tehty mittausmenetelmän valinta, joka soveltuu tutkimuksen kohteen mittaamiseen. Luotettavuutta vastaavalla tavalla heikentää väärin perustein valittu epäkäytännöllinen mittari. [87]

Kvantitatiivisen tutkimuksen validiteetilla tarkoitetaan tutkimuksen kykyä mitata sitä, mitä tutkimuksessa oli tarkoitus mitata. Tähän vaikuttaa tutkijan kyky operationalisoida tutkittavaan aiheeseen liittyvä teoria ja muodostaa siitä kokonaisuus, jolla mittaus tehdään. Tutkimus on validi, jos tutkija on välttänyt systemaattiset virheet teorian käsittelyssä. [77] Mittauksesta saatujen tulosten päteviksi toteaminen edellyttää myös, että vastaajat ovat ymmärtäneet esimerkiksi heiltä kysytyt kysymykset tutkijan tarkoittamalla tavalla [75].

Lentotehtävän läpikäynnissä käytetty CDM-menetelmä on todettu toimivaksi tiedon elisitoinnin menetelmäksi. CDM-menetelmää hyödynnettiin yhdessä taulukon 1 mukaisten syventävien kysymysten kanssa. Niiden yhdistelmällä ja rekonstruktion tukemana kyettiin selvittämään mahdollisimman tarkasti ohjaajien toimintaan kussakin tilanteessa vaikuttanut tieto, jonka perusteella ohjaajien SA arvioitiin. Tämä kyettiin tekemään lentotehtävän läpikäynnissä, jolloin lentotehtävän kulkuun ei tarvinnut puuttua. CDM-menetelmää hyödyntäen kyettiin myös varmistamaan, että ohjaajan vastaus ei kuvasta pelkästään hänen itseluottamusta. Kvantitatiivisen aineiston keräämisen osalta toistettavuutta rajoittaa osin hävittäjätaistelulle kriittisten tapahtumien tunnistaminen rekonstruktiosta. Kriittisten tapahtumien tunnistaminen vaatii kattavaa kokemusta hävittäjätaistelusta, jotta mahdollinen tunnistamisen epätarkkuus kyetään välttämään. Tästä syystä TSA-mittausmenetelmää on suotavaa käyttää ilmataisteluopettajan johdolla. Ilmavoimien standardissa lentotehtävien läpikäynnissä sitä johtaa ilmataisteluopettaja, joka lyhyellä perehdytyksellä kykenee hyödyntämään TSA-mittausmenetelmää.

TSA-testaustapahtumassa kerätty kvantitatiivinen aineisto analysoitiin vaiheittain käyttäen soveltuvia tilastollisia menetelmiä. Ensimmäiseksi todennettiin muodostettujen otosryhmien keskiarvojen tilastollinen merkitsevyys, jolla varmistettiin TSA-mittausmenetelmän sensitivisyys TSA-vaativuustasojen säätelylle sekä TSA-vaativuustason säätelyn onnistuminen. Seuraavassa vaiheessa otosryhmien keskiarvoille suoritettiin kahden riippuvan muuttujan t-testi. T-testillä tunnistettiin parit, eli otosryhmät, joiden keskiarvoissa oli tai ei ollut tilastollista merkitsevyyttä. Regressioanalyysillä osoitettiin luvussa 3.4 TSA:n tarkkuuden vaikutus suoritustasoon. Analysointimenetelmien vaiheittaisella käytöllä parannettiin tulosten luotettavuutta. Kvantitatiivisen aineiston analysointi kuvattiin selkeästi kaikissa vaiheissa ja tulosten esittäminen on tehty havainnollistavasti. Nämä lisäävät tutkimuksen validiutta sekä tutkimuksen toistettavuus paranee. TSA-testaustapahtumasta saatujen luotettavien tulosten perusteella kyettiin vastaamaan tutkimuskysymyksiin.

Tutkimuksen pää- ja alakysymyksiin kyettiin vastaamaan luotettavasti hyödyntämällä eri tutkimus- ja analysointimenetelmiä. Tutkimustulosten luotettavuutta ja validiutta lisää tutkimuksessa käytetyt useat toisiaan täydentävät menetelmät. Yhdistelemällä kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia menetelmiä on mahdollista saavuttaa parempia tuloksia kuin vain yhdellä menetelmällä. Tutkimustulosten luotettavuutta ja validiutta korostaa tämän tutkimuksen aineistosta laaditun artikkelin hyväksyntä *Applied Ergonomics* vol.96 (2021):ssa julkaistuun artikkeliin: *Team situation awareness accuracy measurement technique for simulated air combat - Curvilinear relationship between awareness and performance* [17]. *Applied Ergonomics* on vertaisarvioitu julkaisu, jonka Impact Factor on 3.145. Vertaisarvioiden perusteella työn teorian käsittely, aineiston analysointi ja tulosten esittäminen oli suoritettu *Applied Ergonomics*:n tieteellisten laatuvaatimusten mukaisesti.

#### 4.4. TSA-mittausmenetelmän sovellettavuus ja jatkokäyttö

Tässä tutkimuksessa kehitettyä TSA-mittausmenetelmää voidaan käyttää muissakin TSA:ta tutkivissa tutkimuksissa, joissa tehtävän suorittamista ei voida tai ei ole soveliasta keskeyttää tietojen keräämiseksi. Vaikka TSA-mittausmenetelmä kehitettiin ilmataisteluympäristöön ja todennettiin lentosimulaattoreissa suoritettussa BVR-hävittäjätaistelussa, sen käyttöperiaatteet eivät ole rajoitettuja tiettyyn toimintaympäristöön. TSA-mittausmenetelmää voidaan tarvittaessa hyödyntää myös muiden tiimien tilannetietoisuuden mittaamisessa vaihtamalla TSA-mittausmenetelmän mittauslomakkeen attribuutit kunkin tiimin toimintaympäristöön soveltuviksi. Attribuuttien määrittelyssä voidaan hyödyntää samaa menetelmää kuin tässä tutkimuksessa käytettiin. Lisäksi suoritetusta tehtävästä tulee kyetä muodostamaan rekonstruktio tarkkuuden mittaamiseksi.

Kun HX-hanke valmistuu ja Hornetin korvaajia otetaan käyttöön Ilmavoimissa, on TSA-mittausmenetelmän avulla mahdollista kouluttaa ohjaajia tehokkaammin, kun kyetään selvittämään tarkasti ohjaajien tilannetietoisuus ja miten se on vaikuttanut TTP:n valintaan sekä toteutukseen. HX-kandidaatit edustavat kaikki Hornetia uudempaa hävittäjä sukupolvea. Niiden järjestelmät kykenevät tuottamaan ja esittämään enemmän informaatiota kuin Hornetin järjestelmät, jolloin informaation hallinnan vaikutus SA:n muodostamiseen ja ylläpitoon muuttuneeksi haastavammaksi. TSA-mittausmenetelmällä on mahdollista seurata ohjaajien kykyä muodostaa ja ylläpitää SA:ta ja TSA:ta harjaannuttaessa uusien järjestelmien käyttöön. TSA-mittausmenetelmän avulla voidaan nopeuttaa ja tehostaa uuden järjestelmän täysimittaista käyttöönottoa.

Tutkimuksen näkökulmana oli taktiikan kehittäminen. Näkökulmasta huolimatta TSA-mittausmenetelmää voidaan hyödyntää taktiikan kehittämisen lisäksi myös Ilmavoimien ohjaajien koulutuksessa. Lentotehtävien läpikäynneissä analysoidaan lentotehtävän tapahtumia ja analysointi on samankaltaista taktiikan kehittämisessä ja koulutuksessa. TSA-mittausmenetelmää käytetään osana lentotehtävän läpikäyntiä. Taktiikan kehittäminen on myös oppimista ja siten koulutuksellisia elementtejä sisältävää toimintaa, jolloin tämän tutkimuksen tuloksia sekä kehitettyä mittausmenetelmää voidaan hyödyntää taktiikan kehittämisen lisäksi myös ohjaajien koulutuksessa.

Ilmavoimissa koulutusta annetaan sekä simulaattoreilla, että lentokoneilla suoritettavilla lentotehtävillä. Simulaattoreissa olosuhteet kyetään luomaan oikeita lentoja vastaaviksi. Simulaattoreilla ja lentokoneilla suoritettujen lentotehtävien läpikäynti ovat sisällöltään samanlaisia. Tutkimuksessa kehitetty TSA-mittausmenetelmä validoitiin Ilmavoimien simulaattoreissa. TSA-mittausmenetelmän todentaminen tehtiin ympäristössä, joka vastaa Ilmavoimissa annettavaa hävittäjälentäjien koulutusta. Tässä tutkimuksessa kehitettyä mittausmenetelmää voidaan käyttää myös L-simulaatioissa, koska kehitetty TSA-mittausmenetelmä ei edellytä tehtävän keskeyttämistä. L-simulaatioissa tehtävän keskeyttäminen ei yleensä ole mahdollista.

Tässä tutkimuksessa kehitettyä TSA-mittausmenetelmää voidaan käyttää Hävittäjälentolaiivueissa sekä taktiikan kehittämisessä, että ohjaajien koulutuksessa. Lentotehtävien läpikäyntiä kyetään parantamaan hyödyntämällä TSA-mittausmenetelmää. Se mahdollistaa syvällisemmän keskustelun lentotehtävän tapahtumista ja siten edistämään oppimista.

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa vastataan tutkimuksen pääkysymykseen. Lisäksi pohditaan tutkimuksen heikkouksia ja vahvuuksia sekä mahdollisia tutkimuksen jatkokehitysehdotuksia ja kehitysnäkymiä TSA-mittausmenetelmän hyödyntämiselle. Tutkimuksen tavoite oli vastata pääkysymykseen:

*Miten hävittäjäparven TSA:n tarkkuutta näköetäisyyden ulkopuolella tapahtuvassa hävittäjätaistelussa voidaan mitata ja millainen on TSA:n vaikutus parven suoritustasoon?*

Tutkimuksen pääkysymykseen saatiin vastaus. Tässä tutkimuksessa esitettyjen tulosten perusteella TSA:ta BVR-hävittäjätaistelussa voidaan mitata tätä tutkimusta varten kehitetyllä TSA-mittausmenetelmällä. TSA-mittausmenetelmää voidaan hyödyntää L- ja V-simulaatioissa. TSA:n tarkkuuden arvioimiseksi tulee käytössä olla rekonstruktio suoritetusta tehtävästä.

TSA-testaustapahtuman tuloksista kyettiin osoittamaan TSA:n ja suoritustason välillä olevan neliöllinen riippuvuussuhde. Yleisimmin TSA:n ja suoritustason suhteen on luultu olevan lineaarinen. Lisäksi tutkimuksen tuloksista kyettiin havaitsemaan TSA-tarkkuusindeksin alimmilla arvoilla tapahtuvan muutoksen suhteellisesti suurempi vaikutus suoritustasoon kuin ylemmillä arvoilla.

Tutkimuksessa todennetun TSA-mittausmenetelmän kehittäminen aloitettiin kirjallisuuskatsauksella. Kirjallisuuskatsauksella ja asiantuntijoiden sekä laivueiden ohjaajien tukemana saatiin muodostettua BVR-hävittäjätaistelun konseptit ja attribuutit osaksi mittauslomaketta. Mittauslomakkeen yhteyteen kartoitettiin haastattelutekniikka. Kirjallisuuden ja aiempien tutkimusten perusteella valikoitiin CDM-menetelmä TSA-mittausmenetelmän haastattelutekniikaksi. CDM:ää käyttäen kyettiin elisitoimaan ohjaajien tieto, jonka perusteella oli mahdollista arvioida ohjaajien SA kunkin attribuutin osalta. Ohjaajien yksilöllisistä SA:sta laskettiin TSA ja se kyettiin erittelemään SA:n tavoin kolmelle eri tasolle. Testaustapahtumasta kerätty aineisto analysoitiin soveliailla tilastollisilla menetelmillä. Analyysistä saatujen tulosten perusteella kyettiin vastaamaan tutkimuksen kysymyksiin luotettavasti.

Tutkimuksen heikkoutena voidaan mainita BigTac:n ohjelmointimahdollisuuksien sekä toiminnallisuuksien rajallisuus. Ilmavoimien taktisessa ohjekirjallisuudessa on kehittyneempiä uhkia, eli kehittyneemmällä ase- ja sensorijärjestelmillä varustettuja lentokoneita, kuin mitä BigTac kykenee simuloimaan. Kehittyneemmän uhkan suorituskyvyillä saattaa olla vaikutus TSA:n muodostamiselle ja ylläpidolle. Lisäksi BigTac ei simuloi joka kerta täysin realistisesti torjujen ja viholliskoneiden ampumia ohjuksia, mikä saattaa vääristää lennon lopputulosta. Käyttämällä kehittyneempää MACE:a (engl. Modern Air Combat Environment) on mahdollista ohjelmoida simulaatioon kehittyneempi uhka, kuten myös hyödyntää realistisempaa ohjusten laukaisun jälkeistä ohjautumista. Jatkokehityksenä tälle tutkimukselle ehdotetaan TSA-mittausmenetelmän todentamista MACE:lla ohjelmoitua kehittyntä uhkaa vastaan. Jatkotutkimuksessa voisi olla myös mahdollista sisällyttää taistelunjohtotoiminnan arviointi osaksi TSA-mittausmenetelmää. Tilanteissa, joissa ohjaajilla ei ole ilmatilannekuvaa LINK16 välittämänä, korostuu taistelunjohtajan parvelle radioitse antama tuki.

Omien tappioiden välttäminen todettiin riippuvaiseksi TSA:n tarkkuudesta. Tässä tutkimuksessa kehitettyä TSA-mittausmenetelmää tulisi tutkia lisää tehtävillä, joissa voimasuhteita kasvatetaan lentojen välissä viholliskoneiden eduksi. Samoin mittausmenetelmää tulisi hyödyntää Ilmavoimien riskienhallinnan päätöksentekopisteiden selkeyttämiseksi. Voimassa olevaa Ilmavoimien taktista ohjekirjallisuutta kyettäisiin tulosten perusteella tarkentamaan tai täydentämään ja siten parantamaan ilmaoperaatioiden suunnittelua, toteutusta ja toteutuksen aikaista valvontaa.

Tutkimuksessa kehitetyn TSA-mittausmenetelmän etuna aikaisempiin menetelmiin verrattuna on se, että toimintaa lentosimulaattoreissa ei tarvinnut keskeyttää missään lentotehtävän vaiheessa. Tällöin simulaatio sai kehittyä omaa tahtiaan, ohjaajien tehtävä- ja tiimityöskentely jatkui häiriöttä sekä päätöksentekoon ja SA muodostamiseen käytettävissä oleva aika ei muuttunut pysäytysten vuoksi. Kun huomioidaan TSA:n dynaaminen luonne ja sen muodostumiseen kuluva aika, antoi mittausmenetelmä ohjaajille mahdollisuuden keskittyä hävittäjätaistelun suorittamiseen ja tilannetietoisuuden muodostamiseen todellisuutta vastaavien tilanteiden aikana.

Tässä tutkimuksessa kehitetty menetelmä vastaa laivueissa käytössä olevaa lentotehtävien läpikäynnin kaavaa. TSA:a arvioitiin ohjaajien antamien vastausten perusteella eikä sitä päätelty saavutetusta suoritustasosta tai asiantuntijoiden tekemistä havainnoista. Arvioinnin tukena hyödynnettiin tiedon elisitointiin tarkoitettua ja hyväksi havaittua CDM-menetelmää. TSA:n tarkkuuden määrittelyn tukena käytettiin suoritettun lentotehtävän rekonstruktioita. Tällä vältettiin ongelmia, joita pelkkään suoritustasoon pohjautuva TSA:n arviointi aiheuttaa. Tutkimuksessa käytetyssä mittaustekniikassa oli huomioitu Endsleyn [4] malli SA:sta. Mittausmenetelmän käyttö pohjautui CDM:ään, joka on tiedon elisitoinnin menetelmä [144] [145] [146].

Koulutuksen näkökulmasta mittausmenetelmä mahdollistaa tehokkaamman koulutuksen, kun ilmataisteluopettajalla on läpikäynnissä käytössään mittausmenetelmä, jolla oppilaan toimintaa voidaan luotettavasti mitata. Sen välityksellä voidaan havaita esimerkiksi puutteita järjestelmien seurannassa, minkä vuoksi esillä olevaa informaatiota ei havaita tai siitä tehdään väärä tulkinta. Samalla menetelmä tarjoaa mahdollisuuden seurata oppilaan kehittymistä SA muodostamisen suhteen.



Koska TSA:n arviointi itsessään on hävittäjätaistelun läpikäynnin keskiössä, pitäisi tämän tutkimuksen mittausmenetelmää hyödyntäen olla mahdollista kiinnittää parven jäsenten huomio tapahtumiin ja toimintoihin, jotka ovat olleet TSA:n kannalta tärkeitä. Taktiikan kehittämisen näkökulmasta tämä antaa lisäarvoa lentotehtävän läpikäyntiin synnyttämällä rakentavaa keskustelua TSA:n tasosta ja mihin ilmassa tehdyt päätökset ovat pohjautuneet sekä mitä niistä on seurannut. Näin toimimalla on paremmat perusteet arvioida esimerkiksi TTP:n soveltuvuutta tai paremmuutta verrattuna toiseen TTP.

Tätä tutkimusta varten kehitettiin TSA-mittausmenetelmä, jonka toiminta todennettiin onnistuneesti TSA-testaustapahtumassa. Teorian analysoinnilla sekä testaustapahtuman tulosten perusteella tehdyillä analyyseillä voidaan luotettavasti todeta TSA-mittausmenetelmän toimivan. TSA-mittausmenetelmän avulla saatiin selitettyä suoritustason ja TSA:n välillä vallinnutta epäselvyyttä, jossa niiden välisen riippuvuuden ollaan kuviteltu olevan lineaarinen. Tässä tutkimuksessa kehitetyn mittausmenetelmän avulla tunnistettiin TSA:n ja suoritustason välillä vallitseva neliöllinen riippuvuussuhde. Suoritettun kirjallisuuskatsauksen perusteella tällaista ei ole aiemmin tunnistettu. Ilman tätä tutkimusta ja siinä kehitettyä TSA-mittausmenetelmää TSA:n ja suoritustason välinen riippuvuussuhde olisi jäänyt löytymättä.

## LÄHTEET

- [1] Toliver, R. F., & Constable, T. J. (1970) *The Blond Knight of Germany: A Biography of Erich Hartmann*. Blue Ridge Summit, PA: McGraw Hill, p. 173.
- [2] Watts., B., D. (2007) *Six Decades of Guided Munitions and Battle Networks: Progress and Prospects*. Center for Strategic and Budgetary Assessments. Washington, s. 45-55.
- [3] Li, W.-C., & Harris, D. (2008). *The evaluation of the effect of a short aeronautical decision-making training program for military pilots*. *The International Journal of Aviation Psychology*, 18(2), s. 135-152.
- [4] Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), s. 32-64.
- [5] Svenmarckt, P., & Dekker, S. (2003). *Decision support in fighter aircraft: from expert systems to cognitive modelling*. *Behaviour & Information Technology*, 22(3), s. 175-184.
- [6] Wills, C. (2015) *Unmanned Combat Air Systems in Future Warfare - Gaining Control of the Air*. UK: Palgrave Macmillan. ISBN: 978-1-137-49849-6.
- [7] Stillion, J. (1999) *Blinding the Talons: The Impact of Peace Operations Deployments on USAF Fighter Crew Combat Skills*. PhD Thesis, Santa Monica, CA: RAND Graduate School, s. 80.
- [8] Wills, C. (2015) *The Role of Air and Space Power and Control of the Air*. UK: Palgrave Macmillan. ISBN: 978-1-137-49849-6.
- [9] Ilmasotaohjesääntö, Kenttäohjesääntö 3.3. *Ilmapuolustus ja ilmaoperaatiot*, TLIV käyttö rajoitettu, Pääesikunta, 2019. Materiaali tutkijan hallussa.
- [10] Salas, E., C. Bowers, S. Cannon-Bowers, and S. Tannenbaum. (1992) "Toward an Understanding of Team Performance and Training." *In Teams: Their Training and Performance*, Toimittanut R. Swezey and E. Salas, 3–29. Norwood, NJ: Ablex.
- [11] Mansikka, H., Simola, P., Virtanen, K., Harris, D. & Oksama, L. (2016) *Fighter pilots' heart rate, heart rate variation and performance during instrument approaches*. *Ergonomics* 59 (10): s. 1344-1352. doi:10.1080/00140139.2015.1136699.

- [12] Paddon, H. G. (1977) *Maneuvering Target Simulation for Testing the Terminal Guidance of Air-to-Air Missiles*. Päättötyö, Air Force Institute of Technology. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a039757.pdf>.
- [13] Sterman, J. D. (2001). *System dynamics modeling: tools for learning in a complex world*. California management review, 43(4), s. 8-25.
- [14] Cannon-Bowers, J. A., & Salas, E. (1998). *Individual and team decision making under stress: Theoretical underpinnings*. Making decisions under stress: Implications for individual and team training. s. 17-38: American Psychological Association.
- [15] Fischer, U., Orasanu, J., & Wich, M. (1995). *Expert pilots' perceptions of problem situations*. Paper presented at the Eighth International Symposium on Aviation Psychology.
- [16] Temucin, T. (2018). *Multi-Criteria Decision Making: A Cast Light Upon the Usage in Military Decision Process*. Kirjassa H. Tozan & M. Karatas (Toim.), Operations Research for Military Organizations, s. 156. Hershey PA, USA: IGI Global.
- [17] Mansikka, H., Virtanen, K., Uggeldahl, V., Harris, D. (2021) "*Team Situation Awareness Accuracy Measurement Technique for Simulated Air Combat - Curvilinear Relationship Between Awareness and Performance*". Applied Ergonomics 96 (2021) 103473.
- [18] Lim, B-C, Klein, K. (2006) *Team mental models and team performance: A field study of the effects of team mental model similarity and accuracy*. Journal of Organizational Behaviour, 27, s. 403-418.
- [19] Marks, M., J. Mathieu, and Zaccaro, S. (2001) "*A Temporally Based Framework and Taxonomy of Team Processes*." The Academy of Management Review 26 (3): s. 356-376. doi:10.2307/259182.
- [20] Mohammed, S., Klimoski, R. & Rentsch, J. (2000) "*The Measurement of Team Mental Models: We Have No Shared Schema*." Organizational Research Methods 3 (2), s.123-165. doi:10.1177/109442810032001.
- [21] Rouse, W. B., Cannon-Bowers, J. A., & Salas, E. (1992). *The role of mental models in team performance in complex systems*. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 22(6), s. 1296-1308.
- [22] Smith, E., & Borgvall, J. (2007) *Team Collective Performance Measurement*. Report number RTO-TR-HFM-121-Part 2. UK: Bedfordshire.

- [23] Cannon-Bowers, J. A., Salas, E., Converse, S. (1993) *Shared mental models in expert team decision making*. Kirjassa Castellan, N. J. J., Individual and group decision making, s.221-246. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [24] Prince, C., & Salas, E. (1998). *Situation assessment for routine flight and decision making*. International Journal of cognitive ergonomics, 1(4), s. 315-324.
- [25] Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D., and Jalava, M. (2020). *Measurement of team performance in air combat – have we been underperforming?* Theoretical Issues in Ergonomics Science, s. 1-22. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2020.1779382>.
- [26] Li, W.-C., and D. Harris. 2006. “*Pilot Error and Its Relationship with Higher Organizational Levels: HFACS Analysis of 523 Accidents.*” Aviation, Space, and Environmental Medicine 77 (10), s. 1056–1061.
- [27] Sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmä, PVOHJEK-PE, HO46. Helsinki, Pääesikunnan suunnitteluosasto, 31.5.2018.
- [28] Jalava, M. *Ilmataistelumenestystä luonnehtiva mittaristo taktiikka-, kalusto- ja koulutusvertailuihin*. Pirkkala, 7.2.2019. Ilmataistelukeskus. Ilmataistelukeskuksen tutkimusten esitysmateriaali. Materiaali tutkijan hallussa.
- [29] Fracker, M. (1991) *Measures of Situation Awareness: An Experimental Evaluation*. Report No. AL-TR-1991-0127. Wright-Patterson Air Force Base, OH: Human Engineering Division, Armstrong Laboratory.
- [30] Endsley, M. R., & Garland, D. J. (2000). *Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [31] Strybel, T., Vu, K., Kraft, J., Minakata, K. (2008) *Assessing the situation awareness of pilots engaged in self spacing*. Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet. 52 (1), s.11-15. <https://doi.org/10.1177/154193120805200104>.
- [32] Endsley, M. (2019) *A systematic review and meta-analysis of direct objective measures of situation awareness: a comparison of SAGAT and SPAM*. Hum. Factors 63 (1), s. 124-150. <https://doi.org/10.1177/0018720819875376>.
- [33] Durso, F., Hackworth, C., Truitt T., Crutchfield, J., Nikolic, D., & Manning C. (1998) *Situation awareness as predictor of performance for en-route air traffic controllers*. Air Traffic Control Quarterly, 6(1), s. 1-20. <https://doi.org/10.2514/ATCQ.6.1.1>.
- [34] Sulistyawati, K., Wickens, C. & Chui, Y. (2009) *Exploring the concept of team situation awareness of pilots engaged in self spacing*. Journal of Cognitive Engineering and

Decision Making, 3(4), s. 309-330.

<https://doi.org/10.1518/155534309X12599553478791>.

- [35] Mansikka, H., Virtanen, K., & Harris, D. (2019a) *Dissociation Between Mental Workload, Performance, and Task Awareness in Pilots of High Performance Aircraft*. IEEE Transactions on Human-Machine Systems.
- [36] Joffe, A., Wiggins, M. (2020) *Cross-task cue utilisation and situational awareness in learning to manage a simulated rail control task*. Appl. Ergon., vol 89, s.1-9. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103216>.
- [37] Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D., Salomäki, J. (2019b). *Live-virtual-constructive simulation for testing and evaluation of air combat tactics, techniques and procedures, part 1: assessment framework*. Journal of defense modeling and simulation. DOI: 10.1177/1548512919886375.
- [38] Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D. and Salomäki J. (2019c). *Live-virtual-constructive simulation framework for testing and evaluation of air combat tactics, techniques and procedures, Part 2: Demonstration of Framework*. Journal of Defence Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology. DOI:10.1177/1548512919886378.
- [39] Salas, E., Rosen, M. A., Burke, C. S., Goodwin, G. F., Fiore, S. M. (2006) *The Making of a Dream Team: When Expert Teams Do Best*. Kirjassa Ericsson, K. A., Charness, N., Feltovich, P. J., Hoffman, R. R. (Toim.), The Cambridge handbook of Expertise and Expert Performance, s. 439-457. USA: Cambridge University Press.
- [40] Smith-Jentsch, K. Zeisig, R. L., Acton, B., McPherson, J. A. (1998) *Team dimensional training: A strategy for guided team self-correction*. Kirjassa Salas, E., Cannon-Bowers, J. A. (Toim.) Making decisions under stress: Implications for individual and team training, s. 271-297. Washington, DC: American Psychological Association.
- [41] Wellens, A. (1993) *Group situation awareness and distributed decision making: from military to civilian applications*. Kirjassa: Castellan Jr., N.J. (Toim.), Individual and Group Decision Making: Current Issues. Lawrence Erlbaum Associates Inc, Hillsdale, NJ, s. 267-291. <https://doi.org/10.4324/9780203772744>.
- [42] Fowlkes, J., Lane, N., Salas, E., Franz, T., Oser, R. (1994) *Improving the measurement of team performance: the TARGETs methodology*. Mil. Psychol. 6 (1), s. 47-61. [https://doi.org/10.1207/s15327876mp0601\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327876mp0601_3).

- [43] Gorman, J., Cooke, N. & Winner, J. (2006) *Measuring team situation awareness in decentralized command and control environments*. Ergonomics, 49(12-13), s. 1312-1325. <https://doi.org/10.1080/00140130600612788>.
- [44] Gorman, J., Cooke, N., Pederson, H. & DeJoode, J. (2005) *Coordinated awareness of situation by teams (CAST): Measuring team situation awareness of a communication glitch*. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 49(3), s. 274-277. <https://doi.org/10.1177/154193120504900313>.
- [45] Endsley, M. (1998) *Situation awareness global assessment technique (SAGAT)*. Proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference 3, s. 789-795. <https://doi.org/10.1109/NAECON.1988.195097>.
- [46] Bolstad, C., Endsley, M. (2003) *Measuring shared and team situation awareness in the army's future objective force*. Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet. 47 (3), s. 369-373. <https://doi.org/10.1177/154193120304700325>.
- [47] Cooke, N., Stout, R., Salas, E. (1997) *Broadening the measurement of situation awareness through cognitive engineering methods*. Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet. 41 (1), s. 215-219. <https://doi.org/10.1177/107118139704100149>.
- [48] Salmon, P. M., Stanton, N. A., Walker, G. H., Jenkins, D., Ladva, D., Rafferty, L. & Young, M. (2009) *Measuring Situation Awareness in Complex Systems: Comparison of measures study*. International Journal of Industrial Ergonomics, vol 39, issue 3, s.490-500.
- [49] Lichacz, F. (2006) *An examination of situation awareness and confidence within a distributed information sharing environment*. Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet. 50 (3), s. 344-348. <https://doi.org/10.1177/154193120605000328>.
- [50] Prince, C., Ellis, E., Brannick, M., Salas, E. (2007) *Measurement of team situation awareness in low experience level aviators*. Int. J. Aviat. Psychol. 17 (1), s. 41-57. <https://doi.org/10.1080/10508410709336936>.
- [51] Ilmaoperaatikon käsikirja (IOPKK 2019), TLIV käyttö rajoitettu, Maanpuolustuskorkeakoulu, 30.8.2019. Materiaali tutkijan hallussa.
- [52] Langan-Fox, J., Code, S., Langfield-Smith, K. (2000) *Team mental models: techniques, methods, and analytic approaches*. Hum. Factors 42 (2), s. 242-271. <https://doi.org/10.1518/001872000779656534>.
- [53] *Hornet F/A-18C Simulaattorijärjestelmä: Käyttäjän ohjekirja*. Puolustusvoimien Logistiikkalaitos, versio 2.0, MLU2 25X, 2016.

- [54] *Ilmavoimien taktinen ohjekirjallisuus*, 1.1.2021. Lähdeviitettä ei nimetä erikseen joh-  
tuen ohjekirjallisuuden turvaluokituksesta.
- [55] Joint publication 3-30. *Joint air operations*. (2019) Washington DC: Joint Chiefs of  
Staff.
- [56] Means, C. D., Darling, E. & Perron, J. (2004) *Applying Cognitive Work Analysis to  
Time Critical Targeting Functionality*. Mitre Technical Report.
- [57] Battlespace Simulations, Inc. *Modern Air Combat Environment (MACE) User's Man-  
ual*, version R1 - 2017.
- [58] [Viitattu 3.11.2020] Saatavilla: [https://www.merriam-  
webster.com/dictionary/normative](https://www.merriam-webster.com/dictionary/normative).
- [59] *Sotilasilmalukäsikirja (SIK)*, HO075 PVHSMK-ILMAVE, Ilmavoimien esikunta,  
24.6.2018.
- [60] The Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS).  
*What is Operations Research*. [Viitattu 4.7.2021]. Saatavilla:  
<https://www.informs.org/about-informs/what-is-operations-research>.
- [61] Jones, D., & Kaber, D. (2004) *Situation awareness measurement and the situation  
aware-ness global assessment technique*. Handbook of human factors and ergonomics  
methods, s.42-41. [Viitattu 19.3.2021] Saatavilla:  
[https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780429205712/chapters/10.1201/978020348  
9925-53](https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780429205712/chapters/10.1201/9780203489925-53).
- [62] *DoD Modeling and Simulation (M&S) Glossary*, DOD 5000.59-M. (1998) 176 s. [Vii-  
tattu 17.6.2021] Saatavilla: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a349800.pdf>.
- [63] Chung, C.A. (2003) *Simulation Modelling Handbook: A Practical Approach*. Dan-  
vers: CRC Press. ISBN 978-0849312410.
- [64] Mansikka, H. (2016) Väitöskirja: *Fighter Pilot's Performance and Mental Workload*,  
*Coventry institute*. 133s. Aineisto on tutkijan hallussa.
- [65] Hodson D., Hill R. (2014) *The art and science of live, virtual, and constructive simulation  
for test and analysis*. Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Method-  
ology, Technology 2014, Vol. 11(2), s. 77-89.
- [66] Wickens, C. (2002) *Multiple resources and performance prediction*. Theoretical issues  
in ergonomics science. Vol. 3, no. 2, s. 159-177. DOI: 10.1080/14639220210123806.
- [67] Hart, S., Staveland, L. (1988) *Development of NASA-TLX (task load index): results of  
empirical and theoretical research*. Advances in psychology. Vol. 52, s. 139-182.

- [68] Guzzo, R. A., Dickson, M. W. *Teams in organizations: Recent research on performance and effectiveness*. Annual Review of Psychology, 47, 1996, s. 307-338.
- [69] Salas, E., Stagl, K. C., Burke, C. S., Goodwin, G. F. (2007) *Fostering team effectiveness in organizations: Toward an integrative theoretical framework of team performance*. Nebr Symp Motiv, 52, s. 185-243. PMID: 17682335.
- [70] Klein, G. A. (1993). *A recognition-primed decision (RPD) model of rapid decision making*. Kirjassa G. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C. Zsombok (Toim.), Decision making in action: Models and methods, Vol. 5, s. 138-147. Norwood, NJ: Ablex.
- [71] Burke, C. S., Stagl, K., Salas, E., Pierce, L., Kendall, D. (2006) *Understanding team adaptation: A conceptual analysis and model*. Journal of Applied Psychology, 91(6), s.1189-1207. DOI: 10.1037/0021-9010.91.6.1189.
- [72] Cannon-Bowers, J. A., Tannenbaum, S. I., Salas, E., Volpe, C. E. (1995) *Defining the competencies and establishing team training requirements*. Kirjassa Guzzo, R., Salas, E. (Toim.) Team Effectiveness and decision making in organizations. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- [73] Mansikka, H., Virtanen K., Järvinen J., & Harris, D. *Team performance in air combat: a teamwork perspective* (artikkeli valmistelussa)
- [74] Jaiswal, N. K. (1997). *Military operations research: Quantitative decision making* (s. 6-7). USA: Kluwer Academic Publishers.
- [75] Hirsjärvi Sirkka, Remes Pirkko, Sajavaara Paula. *Tutki ja kirjoita*. Porvoo: Tammi, 2016.
- [76] Hirsjärvi Sirkka, Hurme Helena. *Tutkimushaastattelu*. Tallinna: Raamatutrukikoda, 2014.
- [77] Vilkkä Hanna. *Tutki ja mittaa*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 2007.
- [78] Hämäläinen Raimo. P., Luoma, J., Saarinen, E. (2013) *On the importance of behavioral operational research: The case of understanding and communicating about dynamic systems*. European Journal of Operational Research, 228(3), s. 623-634.
- [79] Franco, L.A. & Hämäläinen, R.P. (2015). *Behavioural operational research: Returning to the roots of the OR profession*. European Journal of Operational Research. doi:10.1016/j.ejor.2015.10.034.
- [80] Creswell, J., W. (2009) *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed-Method Approaches*. SAGE Publication: 3. painos. <https://doi.org/10.2307/1523157>.



- [81] Tuomi Jouni, Sarajärvi Anneli. *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi, 2018.
- [82] Seppänen, J. *Visuaalinen kulttuuri. Teoriaa ja metodeja mediakuvan tulkitsijalle*. Tampere: Vastapaino, 2005.
- [83] Saaranen-Kauppinen, A., Puusniekka, A. (2006) *KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto* [verkkopublication]. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>. [Viitattu 3.5.2021].
- [84] Alkula, T., Pöntinen, S. & Ylöstalo, P. *Sosiaalitutkimuksen kvantitatiiviset menetelmät*. Helsinki: WSOY, 1995.
- [85] Salas, E., Sims, D., Burke, C. (2005) *Is there a big five in teamwork?* Small Group Res. 36 (5), s. 555-599. <https://doi.org/10.1177/1046496405277134>.
- [86] Taanila, A. *Tilastollinen päättely*. Akin menetelmäblogi, 2020. <https://taanila.fi/paattely.pdf>.
- [87] Valli, R. *Johdatus tilastolliseen tutkimukseen*. Jyväskylä: PS-Kustannus, 2. painos, 2015.
- [88] Taanila, A. *Akin Menetelmäblogi - Kahden riippuvan otoksen vertailu*. (2012) <<https://tilastoapu.wordpress.com/2012/02/14/kahden-riippuvan-otoksen-vertailu/>>. [Viitattu 3.5.2021].
- [89] Taanila, A. *Akin Menetelmäblogi - Kahden riippuvan otoksen vertailu*. (2013) <<https://tilastoapu.wordpress.com/2013/02/10/toistomittausten-variانسsianalyysi/>>. [Viitattu 3.5.2021]
- [90] Mattila, M. (2003) *Regressioanalyysi*. Teoksessa *Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>. [Viitattu 3.5.2021].
- [91] Taanila, A. *Lineaariset regressiomallit*. Akin menetelmäblogi, 2020. <https://taanila.fi/regressio.pdf>
- [92] Endsley, M., Jones, W. (2001) *A model of inter and intra-team situation awareness: implications for design, training and measurement*. Kirjassa: McNeese, M., Salas, E., Endsley, M. (Toim.), *New Trends in Cooperative Activities: Understanding System Dynamics in Complex Environments*. Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, CA, s. 46-67.
- [93] Gawron, V. J. (2019). *Human Performance and Situation Awareness Measures*. Boca Raton, FL: CRC Press.

- [94] Baumgartner, N., Retschitzegger, W. (2006) *A Survey of Upper Ontologies for Situation Awareness*. Proceedings of the 4<sup>th</sup> IASTED International Conference on Knowledge Sharing and Collaborative Engineering.
- [95] Carroll, L. A. (1992) *Desperately seeking SA*. TAC Attack (TAC SP 127-1), 32, s. 5-6. <https://www.semanticscholar.org/paper/Desperately-seeking-SA-Carroll/>. [viitattu 6.5.2021].
- [96] Salmon, P. M., Stanton, N. A., Walker, G. H., Jenkins, D., Ladva, D., Rafferty, L. & Young, M. (2009) *Measuring Situation Awareness in Complex Systems: Comparison of measures study*. International Journal of Industrial Ergonomics, vol 39, issue 3, s. 490-500.
- [97] Nofi, A., A. *Defining and Measuring Shared Situational Awareness*. (2000) Center for Naval Analyses, USA: Virginia.
- [98] Langan-Fox, J., Anglim, J., & Wilson, J. R. (2004). *Mental models, team mental models, and performance: Process, development, and future directions*. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 14(4), s. 331-352.
- [99] Rouse, W. B., & Morris, N. M. (1986). *On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models*. Psychological bulletin, 100(3), s. 349.
- [100] Endsley, M. R. (2000). *Situation models: An avenue to the modeling of mental models*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- [101] Neisser, U. (1976). *Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology*: WH Freeman/Times Books/Henry Holt & Co.
- [102] Wickens, C. D., Lee, J., Liu, Y., & Becker, S. G. (2004). *An introduction to human factors engineering*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- [103] Stout, R. J., Cannon-Bowers, J. A., Salas, E., & Milanovich, D. M. (1999). *Planning, shared mental models, and coordinated performance: An empirical link is established*. Human factors, 41(1), s. 61-71.
- [104] Bainbridge, L. (1991). *Mental models and cognitive skills: the example of industrial process operation*. In A. Rutherford & Y. Rogers (Toim.), *Models in the mind* s. 119-144. New York, NY, USA: Academic Press.
- [105] Craig, K. J. W. (1943). *The nature of explanation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- [106] Glenberg, A. M., & Langston, W. E. (1992). *Comprehension of illustrated text: Pictures help to build mental models*. *Journal of memory and language*, 31(2), s. 129-151.
- [107] Moray, N. (1996). *A taxonomy and theory of mental models*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- [108] Wickens, C. (1991). *Processing Resources and Attention*. Kirjassa: Damos, D. (Toim.), *Multiple-Task Performance*: s. 3-34. Taylor and Francis, London.
- [109] Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). *Human memory: A proposed system and its control processes*. Kirjassa: K. W. Spence (Toim.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, s. 89-195. New York: Academic Press.
- [110] Gilbert, S. (2011). *Models-based science teaching: Understanding and using mental models*. Arlington, VA: NSTA press.
- [111] Wilson, J. R., & Rutherford, A. (1989). *Mental models: Theory and application in human factors*. *Human Factors*, 31(6), s. 617-634.
- [112] Johnson-Laird, P. (1989). *Mental models*. Kirjassa: M. Posner (Toim.), *Foundations of Cognitive Science*, s. 469-499. Cambridge, MA: MIT Press.
- [113] Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [114] Bell, H.H. & Lyon, D.R., (2000), *Using Observer Ratings To Assess Situation Awareness*, Kirjassa: M.R. Endsley (Toim.) *Situation Awareness Analysis and Measurement*, Mahwah, NJ: LEA, s. 129-146.
- [115] Endsley, M. R. (1993) *A Survey of Situation Awareness Requirements in Air-to-Air Combat Fighters*. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(2), s. 157-168.
- [116] Harris, D. (2011). *Human Performance on the Flight Deck*. Ashgate Publishing, Ltd, Farnham, UK.
- [117] Hecker, A. (2012) *Knowledge beyond the individual? Making sense of a notion of collective knowledge in organization theory*. *Organ. Stud.* 33 (3), s. 423-445.  
<https://doi.org/10.1177/0170840611433995>.
- [118] Cooke, N. J., Salas, E., Cannon-Bowers, J. A., Stout, R. J. (2000) *Measuring team knowledge*. *Human Factors*, 42, s. 151-173. (Google Scholar, SAGE Journals).
- [119] Kelly, B. C., Badum, A., Salas, E., Burke, C. S. (2005) *Shared cognition: Can we all get on the same page?* Artikkelisi esitely 20<sup>th</sup> Annual Conference for the Society of Industrial Organizational Psychology. Los Angeles, CA.

- [120] Johnson, T., O'Connor, D. (2008) *Measuring team shared understanding using the analysis-constructed shared mental model methodology*. Perform. Improv. Q. 21 (3), 113–134. <https://doi.org/10.1002/piq.20034>.
- [121] Klimoski, R., Mohammad, S. (1994) *Team Mental Model: Construct or Metaphor?* Journal of Management, 20, s. 403-437.
- [122] van der Haar, S., Segers, M., Jehn, K., Van den Bossche, P. (2015) *Investigating the relation between team learning and the team situation model*. Small Group Res. 46 (1), s. 50-82. <https://doi.org/10.1177/1046496414558840>.
- [123] Cooke, N., Stout, R., Salas, E. (2017) *A knowledge elicitation approach to the measurement of team situation awareness*. Kirjassa: Cooke, N., Stout, R., Salas, E. (Toim.), Situation Awareness. Routledge, London, s. 157-182. <https://doi.org/10.4324/9781315087924>.
- [124] Cooke, N., Stout, R., Salas, E. (2001). *A knowledge elicitation approach to the measurement of team situation awareness*. Kirjassa: McNeese, M., Endsley, M., Salas, E. (Toim.), New Trends in Cooperative Activities: System Dynamics in Complex Settings. Human Factors, Santa Monica, CA, s. 114-139.
- [125] Salas, E., Prince, C., Baker, D., Shrestha, L. (1995) *Situation awareness in team performance: implications for measurement and training*. Hum. Factors 37 (1), s. 123-136. <https://doi.org/10.1518/001872095779049525>.
- [126] Stanton, N., Salmon, P., Walker, G., Salas, E., Hancock, P. (2017) *State-of-science: situation awareness in individuals, teams and systems*. Ergonomics 60 (4), s. 449-466. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1278796>.
- [127] Entin, E. E., Serfaty, D. (1999) *Adaptive team coordination*. Human Factors: The Journal of the human Factors and Ergonomics Society, 41, s. 312-325.
- [128] Stanton, N., Stewart, R., Harris, D., Houghton, R., Baber, C., McMaster, R., Salmon, P., Hoyle, G., Walker, G., Young, M., Linsell, M., Dymott, R., Green, D. (2006) *Distributed situation awareness in dynamic systems: theoretical development and application of an ergonomics methodology*. Ergonomics (49), s. 1288-1311. <https://doi.org/10.1080/00140130600612762>.
- [129] Rajabally, E., Valiusaityte, I., Kalawsky, R. (2009). *Aircrew performance measurement during simulated military aircrew training: a review*. Proceedings of the AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference 5829–5838. <https://doi.org/10.2514/6.2009-5829>.

- [130] Langan-Fox, J., Anglim, J., Wilson, J. (2004) *Mental models, team mental models, and performance: process, development, and future directions*. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries 14 (4), s. 331-352.  
<https://doi.org/10.1002/hfm.20004>.
- [131] Vehkalahti, K. *Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät*. Kimmo Vehkalahti ja Oy Finn Lectura Ab, 2014.
- [132] Brinkmann, S., Kvale, S. *Doing interviews*. UK: SAGE Publications, 2018.
- [133] Ruel, E., Wagner III, W. E., Gillespie, B. (2016) *The Practice of Survey Research: Theory and Applications*. USA: SAGE publications.
- [134] Presser, S., Rothgeb, J. M., Couper, M. P., Lessler, J. T., Martin, E., Martin, J., Singer, E. *Methods for testing and evaluating survey questionnaires*. USA, New Jersey: Wiley & Sons Inc., 2004.
- [135] Johnson, T., Lee, Y., Lee, M., O'Connor, D., Khalil, M., Huang, X. (2007) *Measuring sharedness of team-related knowledge: design and validation of a shared mental model instrument*. Hum. Resour. Dev. Int. 10 (4), s. 437-454. <https://doi.org/10.1080/13678860701723802>.
- [136] NATO, 1995. *Situation Awareness: Limitations and Enhancement in the Aviation Environment*. Canada Communication Group, Quebec, Canada.  
<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a305000.pdf>.
- [137] Endsley, M., Garland, D. (Toim.) (1995) *Experimental Analysis and Measurement of Situation Awareness*. Embry-Riddle Aeronautical University Press, Daytona Beach, FL. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a522540.pdf>.
- [138] Gilson, R., Garland, D., Koonce, J. (Toim.), (1994) *Situation Awareness in Complex Systems*. Embry-Riddle Aeronautical University Press, Daytona Beach, FL.  
<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a281448.pdf>.
- [139] Vidulich, M., Dominguez, C., Vogel, E., McMillan, G. (Toim.) (1994) *Situation Awareness: Papers and Annotated Bibliography*. Wright-Patterson Air Force Base. Armstrong Laboratory, Human Engineering Division, OH. Report No. AL/CF-TR-1994-0085.
- [140] Korean Air Force, 2005. *Korean Air Force Tactics, Techniques and Procedures 3-3. Basic Employment Manual F16C*. [Viitattu 17.6.2021].  
<http://falcon.blu3wolf.com/Docs/Basic-Employment-Manual-F-16C-RoKAF.pdf>.

- [141] Royal Norwegian Air Force, 2001. *Royal Norwegian Air Force Tactics, Techniques and Procedures 3-3. Basic Employment Manual F16C*. [Viitattu 17.6.2021].  
<https://www.87th.org/sites/default/files/Downloads/Training/extratrainig/Basic%20Employment%20Manual%20AFTTP%203-3%20Vol%205%20.pdf>
- [142] Cooper, G., Harper, R. (1969) *The Use of Pilot Rating in the Evaluation of Aircraft Handling Qualities*, Report No: NASA TN D-5153. Moffett Field. National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Center, CA.
- [143] Waag, W., Houck, M. (1994) *Tools for assessing situational awareness in an operational fighter environment*. Aviat Space Environ. Med. 65 (5, Sect 2, Suppl. 1), A13–A19.
- [144] Plant, K., Stanton, N. (2015) *The process of processing: exploring the validity of Neisser's perceptual cycle model with accounts from critical decision-making in the cockpit*. Ergonomics 58 (6), s. 909–923.  
<https://doi.org/10.1080/00140139.2014.991765>.
- [145] Klein, G., Armstrong, A. (2004) *Critical decision method*. Kirjassa: Stanton, N., Brookhuis, K., Salas, E., Hendrik, H.W. (Toim.), Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods. CRC Press, London, UK, s. 347–356.
- [146] Crandall, B., Klein, G., Klein, G., Hoffman, R. (2006) *Working Minds: A Practitioner's Guide to Cognitive Task Analysis*. MIT Press, Cambridge, MA.
- [147] Hoffman, R., Crandall, B., Shadbolt, N. (1998) *Use of the critical decision method to elicit expert knowledge: a case study in the methodology of cognitive task analysis*. Hum. Factors 40 (2), s. 254-276. <https://doi.org/10.1518/001872098779480442>.
- [148] Eskola, J., Suoranta, J. *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*. Tampere: Vastapaino, 1998.
- [149] Fowlkes, J. E., Salas, E., Baker, D. P., Cannon-Bowers, J. A., & Stout, R. J. (2000). The utility of event-based knowledge elicitation. *Human factors*, 42(1), s. 24-35.

## LIITE 1

## ALUSTAVA LISTA

1.	On-board sensors.
2.	Visual cueing and perceptions
3.	Flight members
4.	Ground-controlled intercept (GCI)/airborne warning and control systems (AWACS)
5.	Targeting, sorting, or tally
6.	Radar situation awareness
7.	G-awareness
8.	Terrain avoidance
9.	Flight path deconfliction
10.	Maintain aircraft control
11.	Monitor, manage, and maintain sufficient fuel
12.	Threat awareness/detection/defense
13.	Position awareness of other flight members and the threat
14.	Flight's and the threat's weapons capability
15.	Attack axis
16.	Targeting
17.	Weapons employment
18.	Ability to prosecute the attack and/or disengage
19.	Navigation position awareness,
20.	RWR awareness

21.	Altitude awareness
22.	Awareness of the man-machine interface
23.	Awareness of aircraft performance
24.	Symbology awareness
25.	Airspeed, altitude, and fuel.
26.	On board radar
27.	Support assets
28.	Mutual support
29.	Radio discipline
30.	Radar search
31.	Communication of offensive and defensive information to the flight
32.	Egress direction
33.	Awareness of lead's position
34.	Fuel Awareness
35.	Understanding of where friends and foes are relative to their own position
36.	Spatial: Locations relative to self/world
37.	Spatial:Distances relative to self/world
38.	Spatial:Heights relative to self/world
39.	Temporal: Long term planned schedule
40.	Temporal:Near-future expected/projected events and trends
41.	Temporal:Arrival times
42.	Temporal:Deadlines



43.	Temporal:Windows of opportunity
44.	Temporal:Time pressures
45.	Temporal:Possible changes
46.	Temporal:Revisions to schedule
47.	States and events: sensor detections
48.	States and events: tactical developments
49.	States and events: threat status
50.	States and events: system status
51.	States and events: alerts
52.	States and events: warnings
53.	States and events: emergencies
54.	Identities: friendlies
55.	Identities: flight
56.	Identities: support
57.	Identities: enemies
58.	Identities: targets
59.	Identities: threats
60.	Identities: neutrals
61.	Identities: unknowns
62.	Behaviours: maneuvers
63.	Behaviours: actions
64.	Behaviours: unfolding patterns

65.	Behaviours: approaching/threatening/attacking/evading
66.	Meanings: interpreted probabilities
67.	Meanings: threat level
68.	Meanings: risk levels
69.	Meanings: safety margins
70.	Meanings: significance of data
71.	Meanings: links between different factors
72.	Meanings: the big picture
73.	Intentions: friendly intentions
74.	Intentions: enemy intentions
75.	Response options: possible courses of action
76.	Projected situations: likely outcomes of own and other's actions
77.	Metacognition: awareness of quantity/quality of own knowledge state
78.	Metacognition: subjective confidence in own SA
79.	Metacognition: awareness of unknown aspects
80.	Metacognition: estimating what others know and don't know
81.	Goals: new objectives
82.	Goals: intentions
83.	Goals: priorities
84.	General traits: discipline
85.	General traits: decisiveness
86.	General traits: Tactical knowledge

87.	General traits: Time sharing ability
88.	General traits: spatial ability
89.	General traits: Reasoning ability
90.	Tactical game plan: developing plan
91.	Tactical game plan: executing plan
92.	Tactical game plan: Adjusting plan on-the-fly
93.	System operation: Radar
94.	System operation: EW
95.	System operation: overall wpn system proficiency
96.	Communication: quality
97.	Communication: ability to effectively use information
98.	Information interpretation: interpreting vertical situation display
99.	Information interpretation: interpreting threat warning system
100.	Information interpretation: Ability to use controller information
101.	Information interpretation: Integrating overall information
102.	Information interpretation: radar sorting
103.	Information interpretation: analyzing engagement geometry
104.	Information interpretation: threat prioritization
105.	Tactical employment BVR: targeting decision
106.	Tactical employment BVR: fire-point selection
107.	Tactical employment - General: maintain track of bogeys/friendlies
108.	Tactical employment - General: lookout

109.	Tactical employment - General: defensive reaction
110.	Tactical employment - General: mutual support
111.	Composite 3D image of entire situation
112.	Assimilation of information from multiple sources
113.	Knowledge of spatial position or geometric relationships among tactical entities
114.	Periodic mental update of dynamic situation
115.	Prioritiation of information and actions
116.	Decision making quality and timeliness
117.	Projection of situation in time
118.	Determine point of max PK: Relative positions
119.	Determine point of max PK: Heading
120.	Determine point of max PK: altitude
121.	Determine point of max PK: attitude
122.	Determine point of max PK: airspeed
123.	Determine point of max PK: Flight path
124.	Determine point of max PK: weapon selected
125.	Determine point of max PK: Envelope
126.	Determine point of max PK: Pk
127.	Determine point of max PK: Point of decreasing Pk
128.	Employ weapons: Weapon selected
129.	Employ weapons: weapon active/lock on
130.	Employ weapons: Time to impact

131.	Employ weapons: Pk
132.	Employ weapons: Kill assessment
133.	ID (friendly, flight, threat)
134.	Aircraft type
135.	Aircraft flight envelope
136.	Pilot experience
137.	Location
138.	Range
139.	Azimuth
140.	Range
141.	Altitude awareness
142.	Attitude
143.	Heading
144.	Aspect
145.	Acceleration
146.	Time until intercept other aircraft
147.	Opening/closing velocity
148.	G's
149.	Center of gravity
150.	Vertical velocity
151.	Thrust level
152.	Time until ground impact

153.	Current fuel level
154.	Bingo fuel level
155.	Fuel flow rate
156.	Time and distance possible on fuel available
157.	Sensor search volume
158.	Sensor search mode
159.	Sensor limitations
160.	Detections
161.	Lock-ons
162.	Sort assignemet
163.	Weapon type selected
164.	Weapon position selected
165.	Weapon quantity
166.	Weapons launch envelope
167.	Time until other aircraft in weapons range
168.	Ability to launch on other aircraft
169.	Current target
170.	Current missile Pk
171.	Time until weapons employment
172.	Anticipated firing position
173.	Targeted to whom
174.	Emissions

175.	EWS mode
176.	Comm/nav frequencies
177.	IFF code
178.	IFF reply
179.	Number and type of expendables
180.	Jamming effects
181.	Jammed by whom
182.	Currently jamming whom
183.	System status
184.	Impact of system degraage/malfunctioning
185.	Current maneuver
186.	Future maneuver
187.	Current activity (engaged, free etc)
188.	Future activities, intentions, objectives
189.	Energy state
190.	Tactical posture (offensive/defensive)
191.	Advantage/disadvantage against others
192.	Priority threat
193.	Priority threat imminence
194.	Mission timing status
195.	Survivablity
196.	Confidence level of information

197.	Terrain
198.	FEBA location
199.	Objective location
200.	Home location
201.	Waypoint locations
202.	Landmark locations
203.	AWACS location
204.	Tanker location
205.	Safe areas
206.	Troops etc.
207.	Ground obstacle location/height
208.	GCI net detections
209.	Ground threat type
210.	Ground threat ID
211.	Ground threat active/not active
212.	Ground threat location
213.	Ground threat detection volume
214.	Ground threat weapons volume
215.	Missile location
216.	Missile time to impact
217.	Missile target
218.	Missile origin



219.	Missile active/lock-on
220.	Sun
221.	Clouds
222.	Weather
223.	Prevailing visibility
224.	Status: COM/NAV
225.	Sub-system functioning
226.	Emissions/Signature
227.	Sun
228.	Knowledge of ownship
229.	Aircraft detection range
230.	Aircraft weapons range
231.	Ownship
232.	Frienlies including location
233.	Weapons
234.	Systems
235.	Spatial attributes
236.	Ground Forces
237.	Terrain features
238.	reference points
239.	Airborne missiles' location and status
240.	Priority of threats

241.	Imminence of threats
242.	Threat knowledge
243.	Capabilitites
244.	Objectives
245.	Projection of threat actions
246.	Projection of friendly actions
247.	Knowing where friendlies are
248.	Knowing what friendlies are doing
249.	Knowing where hostiles are
250.	Knowing what hostiles are doing
251.	Knowing what my flight knows
252.	Knowing our options
253.	Knowing what other flights know
254.	Knowing what other flights are doing
255.	Knowing what knowledge is not known or missing
256.	Relative spatial position
257.	Changes in relative spatial positions
258.	Closure rates
259.	Ownship weapons envelopes
260.	Target Aspect Angles
261.	Estimated enemy Weapons envelopes
262.	Perceived enemy tactics

263.	General threat location(s), relative to a fixed point
264.	Number of threat formations
265.	General altitude of threat formations
266.	General direction of threat movement
267.	Differentiation of enemy bomber from fighter formations
268.	Relative location of wingman'
269.	General operating status of wingman relative to mission plan
270.	Changes to previous information
271.	Direction of threat movement
272.	Number of threat formations
273.	Location of threat(s), relative to a fixed point
274.	Geometric relationships between F-15C flight and threats
275.	Range to nearest threat
276.	Azimuth of threat(s)
277.	Altitude of threat(s)
278.	Identity of threat aircraft by type (e.g., Flanker)
279.	Observed threat tactics
280.	Weapons launches against F-15C flight
281.	Tactic being executed
282.	Operating status of wingman (offensive, defensive)
283.	Range, altitude, and azimuth of closest threat
284.	Range, altitude, azimuth, and aspect of target(s),

285.	Untargeted threats
286.	Identity of threat fighters
287.	Threat tactics
288.	Threat reactions to F-15C flight's missile launches
289.	Results of F-15C flight's missile launches (i.e., chaff,ECM, maneuvering)
290.	Weapon launches against F-15C flight
291.	Results of F-15C flight's attacks
292.	Threat reactions to F-15C flight's attacks
293.	Updated location of wingman,
294.	Target mission
295.	Target type
296.	IFF
297.	Target radar on/off
298.	Target heading (ingress/egress)
299.	Did you correctly perceive your flight members' and your position with respect to the selected tactic?
300.	Did you correctly perceive the positions and geometries of the groups relevant to your current task?
301.	Did you correctly perceive the declaration and type of the groups relevant to your current task?
302.	Did you correctly perceive which groups relevant to your current task were targeted and non-targeted?
303.	Did you correctly perceive your flight members' and your own search/targeting task?

304.	Did you correctly comprehend the timeline, and your flight members' and your position within it?
305.	Did you correctly comprehend the flight's TTP and game plan?
306.	Did you correctly comprehend if the flight was following the directed TTP/game plan?
307.	Did you correctly comprehend how the threat presentation evolved during the engagement?
308.	Did you correctly comprehend your flight members' and your own tactical status?
309.	Did you correctly project how the engagement would evolve?
310.	Did you correctly anticipate the actions, roles and duties of your flight members?
311.	Did you correctly anticipate the TTP and game plan related to ranges and other decision points?
312.	Were you able to generate alternative courses of actions or TTP modifications against possible threat presentation changes?
313.	Did the final outcome of the engagement match the outcome you had anticipated?

## LIITE 2

## LUONNOSLISTA

<b>Flight members' location and flight parameters</b>
Flight knew its members' 3D position relative to self/world
Flight had correct type and level of mutual support
Flight members' flight paths were deconflicted
Flight members knew each others flight parameters (attitude, heading, aspect, acceleration, Vc, G)
Flight members knew each others ID
<b>Other friendly air assets' locations and IDs</b>
Flight knew the identities and 3D positions of relevant friendlies (other than own flight) relative to self/world.
<b>Environment</b>
Flight knew the current lightness and how it affected the flight
Flight knew the current cloudiness and how it affected the flight
Flight knew the current Wx and how it affected the flight
Flight knew the terrain and terrain features
Flight knew the relevant ground obstacles' locations and heights
<b>Geography</b>
Flight knew the FEBA location
Flight knew the objective location
Flight knew the homebase location
Flight knew the relevant waypoints and reference points
Flight knew the relevant landmark locations
Flight knew the safe areas
Flight knew the relevant reference points

<b>Ground Forces</b>
Flight had the necessary knowledge of friendly ground and sea units
Flight knew the ground threats' locations
Flight knew the ground threats' capabilities
Flight knew the ground threats' statuses (active/not active)
<b>Flight's capability</b>
Flight knew its members' weapons quantities and capabilities
Flight knew its members' onboard system's statuses (nav, comm, sensors, weapons, EW)
Flight knew its members' experience and proficiency levels
Flight knew its members' fuel flow and fuel available
Flight knew its members' tactical statuses
<b>Information interpretation: Integrating overall information</b>
Flight knew its members' visual cues and perceptions
Flight knew its members' offboard (radio and datalink) information
Flight knew its members' onboard sensor information
Flight knew the status of its members' EW systems
<b>Capabilities and potential of enemy aircraft</b>
Flight knew the enemy aircraft's spatial positions or geometric relationships relative to self/flight.
Flight knew the priorities of enemy aircraft
Flight knew the identities of enemy aircraft (groups) by type (e.g., Flanker)
Flight knew the weapons capability and WEZ of enemy aircraft
Flight knew the threat skill level
Flight knew the declarations of enemy aircraft
Flight knew the number of enemy aircraft and groups

<b>Enemy behaviour and manoeuvres</b>
Flight knew the direction of enemy movement
Flight knew the enemy mission and intentions
Flight knew the enemy manoeuvres and tactics
Flight knew the weapon launches by enemy
Flight knew the enemy emissions
Flight anticipated enemy actions
<b>Tactics, goals and objectives</b>
Flight knew the current tactics and flow
Flight knew the changes to tactics, goals and objectives
Flight knew the composite 3D image of entire situation (the big picture)
Flight anticipated flight member's activities, flight's future tactics and flow
Flight anticipated the progression and outcome of an attack
Flight knew the alternative courses of action and options
Flight knew its survivability probability
<b>EW</b>
Flight knew which flight members were electronically attacked and by whom
Flight knew which flight members were electronically attacking whom
Flight knew the impact of electronic attack/defence on friendlies/enemy
<b>Search</b>
Flight knew its member's detections
Flight knew its members' detection probabilities
Flight knew its members' search volumes
Flight knew its members' search modes
Flight knew its members' search responsibilities



<b>Targeting</b>
Flight knew its members' targeting and sorting responsibilities
Flight knew its members' targeting and sorting success
Flight knew the utargeted groups
<b>Weapons employment</b>
Flight knew its members' ability to employ weapons/LAR
Flight knew its members' actual/projected launch points/times
Flight knew the weapons (position) employed by its members
Flight knew its members' inflight missiles' statuses (TTG, HPRFR etc)
Flight knew its members' inflight missiles' Pgs
Flight knew its members' weapon employment success (kill assessment)
Flight knew its members' weapon employment/ attack impacts on enemy activity
<b>Metacognition (knowledge about knowledge)</b>
Flight had knowledge about what was known and what was not known (by flight members)
Flight had knowledge about quality and significane of information
Flight had knowledge about confidence in information