

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**HÄVITTÄJÄOHJAAJAN KOGNITIIVISEN KUORMITUKSEN TASON MITTAA-
MINEN NASA-TASK LOAD INDEX JA MODIFIED COOPER-HARPER
-MITTAREILLA F/A-18-VIRTUAALISIMULAATTORISSA**

Pro gradu -tutkimus

Yliluutnantti

Jouni Rapikisto

SM4

Ilmasotalinja

Huhtikuu 2015

Kurssi SM4	Linja Ilmasotalinja
Tekijä Yliluutnantti Jouni Rapikisto	
Opinnäytetyön nimi HÄVITTÄJÄOHJAAJAN KOGNITIIVISEN KUORMITUKSEN TASON MITTAAMINEN NASA-TASK LOAD INDEX JA MODIFIED COOPER-HARPER -MITTAREILLA F/A-18-VIRTUAALISIMULAATTORISSA	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotilaspedagogiikka	Säilytyspaikka Maanpuolustuskorkeakoulun Kurssikirjasto
Aika Huhtikuu 2015	Tekstisivuja 31 Liitesivuja 2
<p>TIIVISTELMÄ</p> <p>F/A-18-monitoimihävittäjän ohjaajan tehtävän kognitiiviset vaatimukset ovat korkeat. Kognitiivisen kuormituksen taso vaikuttaa hävittäjäohjaajan suoritustasoon ja subjektiivisiin tunteuksiin. Yerkesin ja Dodsonin periaatteen mukaisesti erittäin matala tai erittäin korkea kuormituksen taso laskee suoritustasoa. Optimaalinen kuormituksen taso ja suoritustaso saavutetaan jossain ääripäiden välillä. Hävittäjäohjaajan kognitiivisen kuormituksen tasoon vaikuttaa lentotehtävän suorittamiseen vaadittava henkinen ponnistelu. Vaadittavan ponnistelun taso riippuu tehtävien vaatimustasosta ja määrästä, tehtäviin käytettävissä olevasta ajasta sekä yksilöllisistä ominaisuuksista.</p> <p>Tutkimuksessa mitattiin kognitiivisen kuormituksen tasoa subjektiivisen arvioinnin menetelmällä NASA-TLX (<i>National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index</i>) ja MCH (<i>Modified Cooper-Harper</i>) -mittareilla. Tutkimuksessa selvitettiin mittareiden havaintoarvojen muutosta, sensitiivisyyttä ja yhdenmukaisuutta kognitiivisen kuormituksen tason muuttuessa.</p> <p>Tutkimuksen mittauksiin osallistui 35 Suomen ilmavoimien aktiivisessa palveluksessa olevaa F/A-18-monitoimihävittäjäohjaajaa. Koehenkilöiden lentotuntien keskiarvo F/A-18-monitoimihävittäjällä oli 598 tuntia ja keskihajonta 445 tuntia. Koehenkilöiden tehtävänä oli lentää F/A-18-virtuaalisimulaattorilla 11 ILS (<i>Instrument Landing System</i>) -mittarilähestymistä eri aloitusetäisyyksiltä kiitotien kynnyksestä. Kognitiivisesti kuormittavan mittarilähestymistehtävän aikana kuormituksen tasoa nostettiin lisätehtävillä ja vähentämällä tehtäviin käytettävissä olevaa aikaa. Koehenkilöitä pyydettiin ponnistelemaan mahdollisimman paljon tehtävien suorittamisen aikana hyvän suoritustason ylläpitämiseksi.</p> <p>Tulosten perusteella mittareiden havaintoarvot muuttuivat kognitiivisen kuormituksen tason muuttuessa. Käytettävissä olevan ajan vaikutus kognitiivisen kuormituksen tasoon oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Mittarit olivat sensitiivisiä kognitiivisen kuormituksen tason muutokselle ja antoivat yhdenmukaisia havaintoarvoja.</p>	
Avainsanat F/A-18, hävittäjäohjaaja, tiedonkäsittely, kognitiivinen kuormitus, kognitiivinen psykologia, MCH, Modified Cooper-Harper, NASA-TLX.	

1.	JOHDANTO	1
1.1.	Tutkimuksen tausta ja tavoite	2
2.	TUTKIMUKSEN VIITEKEHYS	5
2.1.	Kognitiivinen kuormitus	6
2.2.	Kognitiivisen kuormituksen mittaaminen	9
2.2.1.	NASA-TLX ja MCH -mittarit	12
2.3.	Hävittäjäohjaajan tiedonkäsittely	13
3.	MENETELMÄT	19
3.1.	Aineiston analyysi	21
4.	TULOKSET	23
5.	POHDINTA	27
6.	LÄHTEET	32
7.	LIITTEET	36
7.1.	LIITE 1. NASA-TLX.	36
7.2.	LIITE 2. MCH.	37

HÄVITTÄJÄOHJAAJAN KOGNITIIVISEN KUORMITUKSEN TASON MITTAAMINEN NASA-TASK LOAD INDEX JA MODIFIED COOPER-HARPER -MITTAREILLA F/A-18-VIRTUAALISIMULAATTORISSA

1. JOHDANTO

”Häiriöilmoitus: Käyttöhäiriö, tarkkaamattomuus ylikuormitustilanteessa.

Lensin välilähestymiskorkeuden alapuolelle mittarilähestymisen aikana. Tutkakierroksen perusosan aikana Tampere-Pirkkalan lentoaseman kiitotielle 24 (ILS Y 24) sain selvityksen liukua 3000 jalan korkeudelta 2000 jalan korkeudelle sekä kaartaa suunnasta 320 suuntaan 270. Aloitin liu’un ja kaartamisen samanaikaisesti. Tein samanaikaisesti mittarilähestymiseen liittyviä toimenpiteitä. Hetken kuluttua huomasin laskeutuvani läpi selvitetystä 2000 jalan korkeudesta. Kone oli liian suurella 15 asteen liukukulmalla sekä kallistettuna 45 astetta. Oikaisin koneen välittömästi ja korkeus kävi alimmillaan 1500 jalassa. Jatkoin oikaisun jälkeen normaalisti laskuun. Virhe johtui ensisijaisesti keskittymisestä vääriin asioihin ja tilanetietoisuuden puutteesta. Myötävaikuttavana tekijänä oli huonohko lentotuntuma kahden viikon lentotauon jälkeen.”

Tämä on Suomen ilmavoimien F/A-18-monitoimihävittäjän ohjaajan häiriöilmoituksena raportoima käyttöhäiriö. Käyttöhäiriöillä tarkoitetaan lentotehtävän aikana esiintyneitä poikkeamia, jotka ovat vaikuttaneet lentotehtävän suorittamiseen. Käyttöhäiriöiden syyt luokitellaan teknisistä vioista, valvonta- tai johtamisjärjestelmästä, säästä, ulkopuolisista tekijöistä tai inhimillisistä tekijöistä johtuviksi. Käyttöhäiriöiden raportoinnilla pyritään parantamaan len-

toturvallisuutta sekä ehkäisemään vaaratilanteita ja lento-onnettomuuksia. Niiden avulla pyritään tuomaan ohjaajien tietoisuuteen tilanteet lentotehtävien suorittamisessa, jotka saattavat johtaa esimerkiksi inhimillisistä tekijöistä (*Human Factors*) johtuviin virheisiin. (Ilmavoimien lentoturvallisuusupseerin henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Ilmailussa inhimillisillä tekijöillä tarkoitetaan ihmisestä johtuvien tekijöiden vaikutusta esimerkiksi lento-onnettomuuksiin. Hävittäjäkoneen ja sen järjestelmien operoinnin vaatimukset saattavat ylittää hävittäjäohjaajan tiedonkäsittelyn kapasiteetin. Sen seurauksena saattaa olla hävittäjäohjaajan inhimillisistä tekijöistä johtuva inhimillinen virhe, joka voi johtaa lentotehtävän suorittamisen epäonnistumiseen. Inhimillisistä tekijöistä johtuvat virheet ovat ilmailussa maailmanlaajuisesti merkittävänä osatekijänä tai syynä vaaratilanteisiin sekä lento-onnettomuuksiin (Civil Aviation Authority 2002, 7).

Ilmavoimien lentoturvallisuusupseerin (henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015) mukaan inhimillisistä tekijöistä johtuvat virheet muodostavat vuosittain noin 30 prosenttia ilmavoimissa raportoiduista käyttöhäiriöistä. Lentoturvallisuuden ja sen kehittämisen näkökulmasta inhimilliset tekijät ovat siis merkittävässä osassa. Hävittäjälentämisen viitekehyksessä inhimillisiksi virheiksi luokiteltavat käyttöhäiriöt muodostuvat pääasiassa havaitsemiseen, tarkkaavaisuuteen, työmuistiin ja päätöksentekoon liittyvistä osa-alueista. Inhimillisistä tekijöistä johtuvat virheet muodostavat vuosittain noin 20 prosenttia F/A-18-monitoimihävittäjän operoimiseen liittyvistä käyttöhäiriöistä. (Henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Edellä esitetyssä häiriöilmoituksessa hävittäjäohjaajan kognitiiviset toiminnot eli tiedonkäsittely, kuten havaitseminen, tarkkaavaisuus, työmuisti sekä päätöksenteko ovat ylikuormittuneet. Tiedonkäsittelyn kuormituksen seurauksena kognitiivisen kuormituksen taso on noussut korkeaksi. Sen seurauksena hävittäjäohjaajan suoritustaso on laskenut ja mittarilähestymisen välilähestymissegmentin suorittaminen on epäonnistunut. Seurauksena on ollut lentotilan hallinnan osittainen menetys ja vaaratilanne.

1.1. Tutkimuksen tausta ja tavoite

Haaviston ja Oksaman (2007) mukaan puolustusvoimissa on paljon erilaisia sosioteknisiä järjestelmiä, joissa operaattorit työskentelevät modernien teknisten järjestelmien sekä laitteiden parissa. Osa tehtävistä on erittäin vaativia ja monimutkaisia, joissa päätöksiä joudutaan tekemään nopeasti ja epävarman tiedon perusteella. Tämänkaltaisen tehtävän äärimmäisenä

esimerkkinä on hävittäjäohjaajan tehtävä. Hävittäjäohjaajan tehtävässä kuormittuminen aiheutuu fyysisten vaatimusten lisäksi kognitiivisista vaatimuksista. Nykyaikaisten hävittäjien opeoimisessa kognitiiviset vaatimukset ovat merkittävimpänä tekijänä kuormittumisessa. Kognitiivisilla vaatimuksilla tarkoitetaan hävittäjäohjaajan tiedonkäsittelyn vaiheiden, kuten tarkaavaisuuden, havaitsemisen, muistin ja päätöksenteon kuormittumista lentotehtävän aikana. (Haavisto & Oksama 2007; Sorsa & Vapaavuori 2005, 136.)

Lahtisen, Koskelon Laitisen ja Leinon (2007) mukaan hävittäjäohjaajan tehtävän kognitiiviset vaatimukset ovat olleet jo vuosia haasteena sotilasilmailun kehittämisessä. Nykyaikaisten hävittäjien ohjaamon esittämä suuri informaatiomäärä saattaa aiheuttaa hävittäjäohjaajan tiedonkäsittelyn kuormittumisen ja korkean kognitiivisen kuormituksen tason (Lahtinen, Koskelo, Laitinen & Leino 2007.) Korkea kognitiivisen kuormituksen taso saattaa johtaa hävittäjäohjaajan suoritustason alenemiseen. (Yerkes & Dodson 1908; Bittner 1986, 9). Johdannossa esitetty häiriöilmoitus osoittaa, että kognitiivisen kuormituksen tason noustessa korkeaksi hävittäjäohjaaja ei välttämättä kykene ylläpitämään riittävää suoritustasoa lentotehtävän aikana.

Tämän tutkimuksen taustalla on puolustusvoimien toimintasuunnitelman (PVTOSU 2014–2018, liite 3.2.1, tunniste 14.17.1) mukainen tutkimustyötilaus sotilasoperaattoreiden kognitiivisesta suorituskvyyvystä dynaamisissa tilanteissa. Ilmavoimien esikunnan suunnitteluosasto on antanut tutkimustyötilauksen Puolustusvoimien tutkimuslaitokselle. Tässä tutkielmassa hyödynnetään tutkimustyötilauksen kokeellisista mittauksista saatua aineistoa. Mittausten aineistosta tehtiin myös rinnakkainen Pro gradu -tutkimus, jossa tutkittiin sykevälivaihtelun muutosta kognitiivisen kuormituksen tason muuttuessa.

Tutkimuksen tavoitteena oli mitata kognitiivista kuormitusta subjektiivisen arvioinnin menetelmällä. Koehenkilöt lensivät mittarilähestymisiä F/A-18-virtuaalisimulaattorissa. Kognitiivista kuormitusta manipuloitiin tehtäviin käytettävissä olevalla ajalla. Mittarilähestymisten jälkeen koehenkilöt täyttivät subjektiiviset arvioinnit koetusta kognitiivisen kuormituksen tasosta tehtävän aikana. Subjektiivisina menetelminä käytettiin NASA-TLX (*National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index*) ja MCH (*Modified Cooper-Harper*)-mittareita. Tutkimusaineiston analyysin perusteella vastattiin seuraaviin tutkimusongelmiin:

1. Miten NASA-TLX ja MCH -mittareiden havaintoarvot muuttuvat kognitiivisen kuormituksen tason muuttuessa?

2. Ovatko NASA-TLX ja MCH -mittarit sensitiivisiä kognitiivisen kuormituksen tason muutokselle?
3. Ovatko NASA-TLX ja MCH -mittareiden havaintoarvot yhdenmukaisia?

2. TUTKIMUKSEN VIITEKEHYS

Tämä tutkimus sijoittuu kognitiivisen psykologian ja inhimillisten tekijöiden -tutkimuksen alueille. Haaviston ja Oksaman (2007) mukaan inhimillisiä tekijöitä tutkimalla pyritään parantamaan esimerkiksi sosioteknisten järjestelmien toimintaa ja turvallisuutta. Inhimillisten tekijöiden tutkimuksessa sovelletaan kognitiivista psykologiaa työelämän tutkimusongelmiin. (Haavisto & Oksama 2007.) Tässä tutkimuksessa kognitiivista psykologiaa sovelletaan hävittäjälentäjän tehtävän kognitiivisen kuormituksen tason mittaamiseen. Hävittäjäohjaajan toimintakyky koostuu fyysisestä, psyykkisestä, eettisestä ja sosiaalisesta osa-alueesta (Toiskallio 1998, 27). Sotilaspedagogiikan viitekehyksessä tutkimus sijoittuu hävittäjäohjaajan toimintakyvyn psyykkiselle osa-alueelle.

Eyseneckin ja Keanin (2010) mukaan kognitiivisen psykologian näkökulmasta ihminen nähdään tietoa käsittelevänä järjestelmänä. Kognitiivinen psykologia käsittelee ihmisen tiedonkäsittelyn prosesseja, kuten havaitsemista, tarkkaavaisuutta, muistia, oppimista, ajattelua, ymmärrystä sekä ongelmanratkaisua ja päätöksentekoa. (Eysenck & Keane 2010, 1.) Saariluoman (1997) mukaan kognitiivisen psykologian paradigma on saanut erilaisia painotuksia. Näkökulmina tutkimuksessa voivat olla ihmisen kognitiivinen kapasiteetti, informaation esitysmuoto tai informaation sisältö (Saariluoma 1997, Saariluoman 2001, 30 mukaan.) Tämän tutkimuksen näkökulmana on hävittäjäohjaajan kognitiivinen kapasiteetti.

Wickens (1984) ja Baddeley (2000) ovat esittäneet mallit ihmisen tiedonkäsittelystä ja sen rajallisesta kapasiteetista. Malleissa ihminen jakaa käytettävissä olevia tiedonkäsittelyn resursseja tiedonkäsittelyn eri vaiheisiin. Resurssien jakaminen ja rajallisuus vaikuttavat ihmisen kokemaan kognitiivisen kuormituksen tasoon. (Wickens 1984; Baddeley 2000.) Kognitiivisen kuormituksen taso voi vaikuttaa tehtävän suoritustasoon sekä ihmisen subjektiivisiin tunteuksiin (Yerkes & Dodson 1908; Bittner 1986, 9; Gartner & Murphy 1976; Johannsen, Moray, Pew, Rasmussen, Sanders ja Wickens 1979; Sheridan 1980, O'Donnellin & Eggemeierin 1986, 7 mukaan).

Wickensin (1984) mukaan tiedonkäsittely voidaan jakaa automaattiseen ja ei-automaattiseen tasoon. Automaattinen tiedonkäsittelyn prosessi ei vaadi resursseja (Fitts & Posner 1967; Schneider 1985, Wickensin 1984, 161 mukaan). Normanin ja Bobrown (1975) mukaan ei-automaattinen tiedonkäsittely vaatii resursseja ja se voidaan jakaa resurssirajoitteisiin ja tietorajoitteisiin tehtäviin. Tehtävä on resurssirajoitteinen, kun resurssit eivät riitä tehtävän suorit-

tamiseen vaaditulla tasolla. Tietorajoitteinen tehtävä vaatii vain osittaista resurssien käyttämistä. Tietorajoitteisen tehtävän suoritustasoa ei pystytä ylläpitämään, ellei tehtävän suorittamiseksi esitettyä tiedon määrää lisätä tai tiedon laatua paranneta. (Norman & Bobrow 1975.) Automaattiseksi tiedonkäsittelyksi voidaan luokitella opittu taito eli rakentunut skeema, kuten lentokoneen ohjaaminen. Ei-automaattiseksi tiedonkäsittelyksi voidaan luokitella lentämiseen liittyvien suunnittelemattomien ja yllättävien tehtävien suorittaminen lentokoneen ohjaamisen aikana.

Tämän tutkimuksen koasetelmassa kuormitettiin koehenkilöiden tiedonkäsittelyn vaiheita. Koehenkilöt suorittivat ensisijaista ja automaattiseksi luokiteltua tehtävää lentämällä F/A-18-virtuaalisimulaattorilla mittarilähestymistä. Samanaikaisesti he suorittivat toissijaisia, ei-automaattisiksi luokiteltuja lentämiseen liittyviä lisätehtäviä. Koasetelmalla pyrittiin nostamaan koehenkilöiden kognitiivisen kuormituksen tasoa vähentämällä ensi- ja toissijaisten tehtävien suorittamiseen käytettävissä ollutta aikaa.

2.1. Kognitiivinen kuormitus

Wickens, Lee, Liu ja Gordon Becker (2004) luonnehtivat kognitiivista kuormitusta ajan ja tehtävien väliseksi suhteeksi (Wickens, Lee, Liu & Gordon Becker 2004, 334). Hart ja Staveland (1988) taas kuvaavat sitä operaattorin ponnistelun ja tehtävän tavoitteiden saavuttamisen suhteeksi (Hart & Staveland 1988, 2). Kognitiivisen kuormituksen käsitteen avulla voidaan arvioida lentotehtävän vaatimuksia hävittäjäohjaajan tiedonkäsittelylle sekä kognitiivisen kuormituksen tason vaikutusta tehtävän suoritustasoon (Bittner ym. 1989, 9).

Tässä tutkimuksessa kognitiivista kuormitusta pyrittiin manipuloimaan ensi- ja toissijaisiin tehtäviin käytettävissä olevalla ajalla. Tutkimuksen mittauksissa koehenkilöt lensivät 11 mittarilähestymistä F/A-18-monitoimihävittäjän lähestymis- ja laskeutumisnopeudella eri aloitusetäisyyksiltä. Kaikki mittarilähestymiset sisälsivät identtiset ensi- ja toissijaiset tehtävät. Vähiten aikaa tehtävien suorittamiseksi oli lyhyimmällä aloitusetäisyydellä ja eniten pisimmällä aloitusetäisyydellä. Koehenkilön ponnistelua sekä kognitiivisen kuormituksen tasoa tehtävien suorittamiseksi mitattiin NASA-TLX ja MCH -mittareilla.

Hävittäjäohjaajan kokemaan kognitiivisen kuormituksen tasoon vaikuttavat useat tekijät, kuten tehtävän vaatimustaso sekä ohjaajan ominaisuudet ja ponnistelu tehtävän suorittamiseksi (Haavisto & Oksama 2007). Cainin (2007) mukaan ponnistelulla on suuri merkitys koettuun

kuormituksen tasoon. Kuormituksen taso ei nouse, jos ohjaaja ei ponnistele tehtävän suorittamiseksi. (Cain 2007, 1; Hart & Staveland 1988, 2.) Haaviston ja Oksaman (2007) mukaan myös tehtävän rakenteelliset ja sisällölliset ominaisuudet, kuten informaation esittämistapa, esittämislaatu, aikapaine sekä tehtävien päällekkäisyys vaikuttavat kuormituksen tasoon. Lisäksi ohjaajan inhimilliset tekijät, kuten kyvyt, taidot, vireystila ja motivaatio vaikuttavat koetun kuormituksen tasoon. Nämä yksilölliset tekijät aiheuttavat eroja ihmisten välillä koetun kuormituksen tasossa sekä tehtävän suoritustasossa. (Haavisto & Oksama 2007; Wickens & Hollands 2000, 459; O'Donnell & Eggemeier 1986, 1–2.)

Kognitiivisen kuormituksen taso voi olla alikuormittavaa, sopivaa tai ylikuormittavaa (Wickens & Hollands 2000, 460). Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin lähinnä koehenkilöiden ylikuormituksen tasoa. Yerkesin ja Dodsonin (1908) periaatteen mukaisesti kognitiivisen kuormituksen tason suhdetta suoritustasoon on yleisesti havainnollistettu kuvion 1 mukaisesti ylösalaisin käännetyn U-kirjaimen muotoisella hypoteettisella kuvaajalla (Yerkes & Dodson 1908).

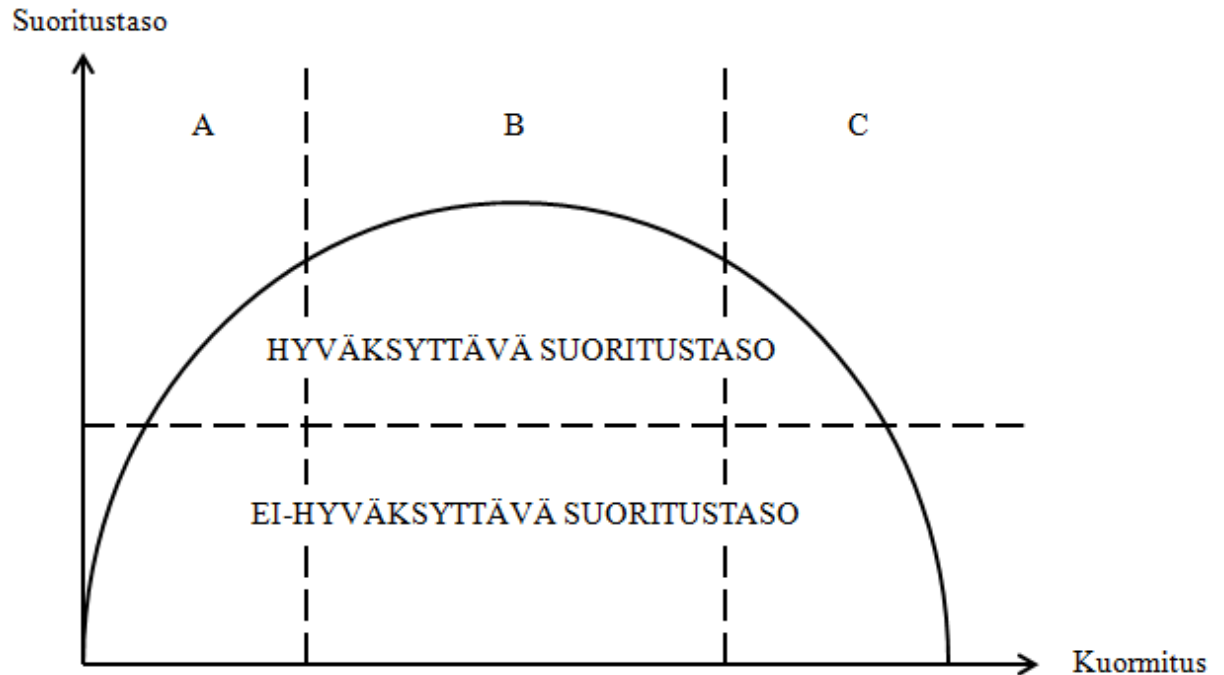
Kuvion 1 alueella A hävittäjäohjaaja on alikuormittunut ja suoritustaso laskee. Bittnerin (1989) mukaan ohjaaja ei joudu ponnistelemaan tehtävän suorittamiseksi, joka johtaa tarkkaavaisuuden alenemiseen eikä oleellista informaatiota havaita. Alikuormitus johtaa myös oleellisten asioiden unohtamiseen. (Bittner 1989, 9.) Hancockin ja Warmin (1989) mukaan alikuormituksen vaikutukset saattavat tuntua vähäisiltä verrattuna ylikuormituksen vaikutuksiin. He ovat kuitenkin todenneet, että alikuormituksen vaikutukset ovat verrattavissa ylikuormitukseen. Ponnistelu tarkkaavaisuuden ylläpitämiseksi monotonisissa sekä tiedonkäsittelyn resursseja vain vähän vaativissa tehtävissä saattaa olla kognitiivisesti hyvinkin kuormittavaa. (Hancock & Warm 1989.) Nämä tekijät saattavat johtavat suoritustason laskuun (Hart 1986; Parasuraman 1986, Bittnerin, ym. 1989, 9 mukaan).

Kuvion 1 alueella B hävittäjäohjaajan ponnistelu, kuormituksen taso sekä suoritustaso ovat hyväksyttävällä tasolla (Bittner ym. 1989, 9). Wickensin ja Hollandsin (2000) mukaan sopivalla kuormituksen tasolla hävittäjäohjaaja pystyy suoriutumaan vaadituista tehtävistä kohtuullisella ponnistelulla käytettävissä olevassa ajassa. Kohtuullinen ponnistelun taso vaikuttaa positiivisesti suoritustasoon, koska tehtävän suorittaminen on silloin sopivan haastavaa ja mielekästä. Sopivalla kuormituksen tasolla ohjaaja pystyy jakamaan tiedonkäsittelyn resursseja hyvin eri tehtävien välillä. Ohjaajalle jää myös ylimääräisiä tiedonkäsittelyn resursseja, jolloin hän pystyy valitsemaan eri strategioita lentotehtävän suorittamiseksi. Lisäksi hän pys-

tyy tarvittaessa käyttämään ylimääräisiä resursseja yllättävien tehtävien, kuten hätätoimenpiteiden suorittamiseen. Sopivalla kuormituksen tasolla tehtävän suoritustaso pysyy hyväksyttävällä tasolla yllättävistä lisätehtävistäkin huolimatta. (Wickens & Hollands 2000, 460.)

Kuvion 1 alueella C hävittäjäohjaajan kuormituksen taso nousee ja suoritustaso alkaa laskea (Bittner ym. 1989, 9). Wickensin ja Hollandsin (2000) mukaan alueella C ohjaajan tiedonkäsittelyn kapasiteetti ja resurssit eivät riitä kaikkiin tehtäviin, eikä resurssien jakaminen ole optimaalista. Ponnistelu tehtävän suorittamiseksi johtaa korkeaan kognitiivisen kuormituksen tasoon. Ylikuormituksen seurauksena ohjaajan päätöksenteko vaikeutuu ja muuttuu yksinkertaisemmaksi. Ylikuormitus johtaa turhautumiseen sekä tärkeiden tehtävien unohtamiseen ja laiminlyömiseen. Niiden seurauksena myös strategian valinta ja tarkkuus tehtävän suorittamiseksi huonontuvat, joka johtaa ohjaajan suoritustason laskuun. (Wickens & Hollands 2000, 470; Wickens ym. 2004, 337.)

Bittnerin ym. (1989) mukaan kuormituksen taso ja suoritustaso eivät kuitenkaan ole välttämättä verrannollisia. Suoritustaso saattaa pysyä hyväksyttävällä tasolla, vaikka kuormituksen taso on korkea tai alhainen. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että kuormituksen tason ääripäät, kuvion 1 alueet A ja C, laskevat ohjaajan suoritustasoa. (Bittner, ym. 1986, 9.) Hävittäjäjäälentämisessä kognitiivisen kuormituksen tasolla saattaa olla ratkaiseva merkitys lentotehtävän suorittamisessa. Liian matala tai korkea kognitiivisen kuormituksen taso saattaa johtaa lentotehtävän suorittamisen epäonnistumiseen tai pahimmillaan lento-onnettomuuteen.



Kuvio 1. Hypoteettinen kuvaaja hävittäjäohjaajan kognitiivisen kuormituksen ja suoritustason suhteesta (Yerkes & Dodson 1908; Bittner, ym. 1986, 9).

2.2. Kognitiivisen kuormituksen mittaaminen

Kognitiivisen kuormituksen mittaamisella pyritään arvioimaan kuormituksen tasoa tehtävän suorittamisen aikana (Haavisto & Oksama 2007). Wickensin ym. (2004) mukaan mikään yksittäinen mittaamenetelmä ei kuitenkaan ole absoluuttinen, eivätkä eri mittaamenetelmät välttämättä tuota yhdenmukaisia tuloksia. Sen vuoksi on tärkeää mitata kognitiivista kuormitusta rinnakkaisilla menetelmillä ja verrata niiden tuottamaa mittaustietoa toisiinsa. (Egge-meier & Wierwille 1993, 266; Yeh & Wickens 1988, Wickensin ym. 2004, 340 mukaan)

Wickensin ja Hollandsin (2000) mukaan kognitiivisen kuormituksen mittaamisella saatavaa tietoa voidaan soveltaa esimerkiksi hävittäjän ohjaamoergonomian ja käyttöliittymän parantamiseen. Mittaamalla kuormitusta voidaan löytää kohtia lentotehtävän suorittamisen aikana, joissa hävittäjäohjaajan tiedonkäsittelyn kapasiteetti ei riitä vaadittavien tehtävien suorittamiseen. Mittaustulosten perusteella voidaan myös arvioida ohjaajan jäljelle jäävän tiedonkäsitteli-

lyn kapasiteettia ja resursseja tehtävän suorittamisen aikana. Kognitiivisen kuormituksen mitausmenetelmät jaetaan yleisesti suorituksen arviointimenetelmiin, fysiologisiin sekä subjektiivisiin menetelmiin. (Wickens & Hollands 2000, 460; O'Donnell & Eggemeier 1986, 1–2; Eggemeier & Wierwille 1993, 263–281.)

Haaviston ja Oksaman (2007) mukaan suorituksen arviointimenetelmillä voidaan tutkia, kuinka paljon tehtävän suorittaja kohdistaa tiedonkäsittelyn resursseja ensisijaiseen tehtävään ja kuinka paljon resursseja jää toissijaisiin tehtäviin. Suorituksesta mitataan yleensä ensisijaisen tehtävän tarkkuutta ja nopeutta. Ensisijaista tehtävää pyritään suorittamaan muuttumattomana, jolloin kuormitus lisääntyy suoritettaessa toissijaista tehtävää. Toissijaisten tehtävien suoritustason perusteella voidaan arvioida, kuinka paljon tiedonkäsittelyn resursseja jää jäljelle ensisijaisen tehtävän suorittamisesta. Toisena vaihtoehtona on mitata vain ensisijaisen tehtävän suoritustasoa. (Haavisto & Oksama 2007; Wickens & Hollands 2000, 461–463.)

Boerin ym. (2001) mukaan suorituksen arviointimenetelmien vahvuutena ovat niiden objektiivisuus sekä hyvä diagnostiikka. Niiden avulla voidaan löytää ongelmakohtia ensi- ja toissijaisten tehtävien suorittamisen välillä. Lisäksi suoritusta voidaan arvioida jatkuvasti samanaikaisilla ensi- ja toissijaisilla tehtävillä. (Boer ym. 2001, 56.)

Boerin ym. (2001) mukaan suorituksen arviointimenetelmien heikkouksina ovat mahdolliset epätasapainot ensi- ja toissijaisten tehtävien välillä. Sen vuoksi kokeellisen mittauksen suunnittelussa on tärkeää huomioida tehtävien painotus. Puutteellisesti suunnitellut ensi- ja toissijaiset tehtävät antavat virheellisiä tuloksia suoritusten tasosta. On myös ristiriitaisia mielipiteitä siitä, täytyykö toissijaisten tehtävien suorittaminen häiritä ensisijaisen tehtävän suorittamista vai ei. (Boer ym. 2001, 56.)

Haaviston ja Oksaman (2007) mukaan fysiologisilla arviointimenetelmillä mitataan nopeita operaattorin fysiologisten toimintojen muutoksia. Yleisimpinä mittausmenetelminä ovat sydämen syketaajuuden, silmänliikkeiden, ihon sähkönjohtokyvyn tai aivojen sähköisen toiminnan rekisteröinti. (Haavisto & Oksama 2007; Wickens & Hollands 2000, 463–464; O'Donnell & Eggemeier 1986, 34 – 43.)

Wickensin ja Hollandsin (2000) mukaan fysiologisten arviointimenetelmien vahvuutena on haluttujen arvojen keskeytymätön mittaaminen. Lisäksi ne eivät yleensä häiritse koehenkilön tehtävän suorittamista, jolloin mittaus ei vaikuta tuloksiin merkittävästi. Tutkimusten mittaus-

ten jälkeen koehenkilöiltä kuitenkin kysytään häiritsikö mittaaminen tehtävän suorittamista, jolloin se voidaan huomioida aineiston analyysissä. Lisäksi mittalaitteistot saattavat olla hyvin kalliita. (Wickens & Hollands 2000, 466.)

Subjektiiivisilla arviointimenetelmillä koehenkilö arvioi henkilökohtaisesti kognitiivisen kuormituksen tasoa tehtävän suorittamisen aikana tai välittömästi tehtävän suorittamisen jälkeen (Haavisto & Oksama 2007). Subjektiiiviset menetelmät antavat tietoa koehenkilön tuntemuksista kognitiivisen kuormituksen alaisuudessa. Tutkimusten mukaan koehenkilön subjektiiiviset tuntemukset muuttuvat kognitiivisen kuormituksen tason muuttuessa (Gartner & Murphy 1976; Johannsen ym. 1979; Sheridan 1980, O'Donnellin & Eggemeierin 1986, 7 mukaan).

Millerin (2001) mukaan subjektiiiviset arviointimenetelmät voidaan jakaa yksiulotteisiin ja moniulotteisiin mittareihin. Ulottuvuus tarkoittaa tekijää, josta kognitiivinen kuormitus muodostuu. Yksiulotteiset mittarit arvioivat kokonaiskuormitusta vain yhdellä ulottuvuudella. Moniulotteiset mittarit arvioivat kokonaiskuormitusta useamman ulottuvuuden yhdistelmänä. Aiemmin yksiulotteisten mittareiden on katsottu olevan liian yksinkertaisia monimutkaisen kognitiivisen kuormituksen tason arviointiin. Tutkimukset (Byers 1989; Gopher 1984; Hendy, Hamilton & Laundry 1993) ovat kuitenkin osoittaneet, että yksiulotteisilla mittareilla voidaan mitata luotettavasti kognitiivisen kuormituksen tasoa. (Miller 2001, 15.)

Boerin ym. (2001) mukaan subjektiiivisten arviointimenetelmien vahvuutena ovat niiden helpokäyttöisyys, korkea validiteetti sekä sovellettavuus erilaisten tehtävien mittaamiseen. Mittaaminen ei myöskään häiritse koehenkilöä tehtävän aikana, jos lomake täytetään suorituksen jälkeen. (Boer, ym. 2001, 22.)

Boerin, ym. (2001) mukaan subjektiiivisten arviointimenetelmien heikkouksina ovat koehenkilöiden mahdollisesti erilaiset tulkinnat mittareiden kysymyksistä. Lisäksi koehenkilöiden ponnistelu ja motivaatio tehtävän suorittamiseksi saattavat vaihdella merkittävästi, jotka voivat vaikuttaa subjektiiivisiin tuntemuksiin. Koehenkilöt saattavat myös ali- tai yliarvioida kuormituksen tasoa. Subjektiiivisilla arviointimenetelmillä ei voida mitata kuormitusta koko suorituksen ajan tehtävän suorituksen häiriintymättä. Sen vuoksi koehenkilö saattaa arvioida kokonaiskuormitusta esimerkiksi vain yhden muistiin jääneen korkean kuormituksen tason mukaisesti. (Boer, ym. 2001, 22.)

Subjekttiivisten arviointimenetelmien käytetyimpiä mittareita ovat NASA-TLX, SWAT (*Subjective Workload Assessment Technique*) sekä MCH (Eggemeier & Wierwille 1993, 266; Wickens & Hollands 2000, 466–467; O'Donnell & Eggemeier 1986, 8–12). Tässä tutkimuksessa vertailtiin moniulotteista NASA-TLX -mittaria sekä yksiulotteista MCH -mittaria.

2.2.1. NASA-TLX ja MCH -mittarit

NASA-TLX -mittaria on käytetty sadoissa tutkimuksissa sekä laboratorio- että operatiivisissa ympäristöissä (Hart 2006). NASA-TLX on moniulotteinen mittari, jolla kokonaiskuormitusta mitataan kuuden ulottuvuuden avulla asteikolla 1–10 (Hart & Staveland 1988). NASA-TLX -mittarin ulottuvuuksia ovat henkinen, fyysinen ja ajallinen vaatimustaso sekä suoritustaso, ponnistelu ja turhautuminen. Henkisellä vaatimustasolla mitataan kuinka paljon tehtävän suorittaminen vaati esimerkiksi päätöksentekoa, ajattelua, etsimistä, muistamista sekä laskemista. Fyysisellä vaatimustasolla mitataan kuinka paljon tehtävän suorittaminen vaati esimerkiksi ohjaamon kytkimien käyttämistä tai lentokoneen ohjaamista. Ajallisella vaatimustasolla mitataan millaista aikapainetta tehtävän suorittaminen aiheutti. Suoritustasolla mitataan kuinka hyvin operaattori onnistui tehtävän suorittamisessa. Ponnistelulla mitataan kuinka paljon operaattorin täytyi ponnistella saavuttaakseen suoritustason. Turhautumisella mitataan kuinka paljon operaattori tunsu esimerkiksi epävarmuutta, lannistumista sekä ärtymystä tehtävän suorittamisen aikana. (Hart & Staveland 1988.)

NASA-TLX -mittarin kokonaiskuormituksen taso voidaan laskea kahdella tavalla (Hart & Staveland 1988; Hart 2006). Ulottuvuuksien havaintoarvot voidaan painottaa omilla painokerroimillaan, jonka jälkeen tulot summataan yhteen ja summa jaetaan luvulla 15. Toisena vaihtoehtona on yksinkertaisempi, ns. *Raw-TLX* -laskenta, jossa ulottuvuuksien havaintoarvoista lasketaan keskiarvo. Tutkimukset (Hendy, Hamilton & Laundry 1993; Liu & Wickens 1994; Byers, Bittner, Hill 1989) eivät ole selkeästi osoittaneet, kumpi laskentatapa antaa luotettavampia tuloksia kokonaiskuormituksen tasosta (Hart 2006). Tässä tutkimuksessa kokonaiskuormitus laskettiin *Raw-TLX* -laskennan mukaisesti. Tutkimusten (Byers 1989; Hill ym. 1992; Hart 2006) perusteella NASA-TLX on validiteetiltaan hyvä mittari (Miller 2001, 17). NASA-TLX -mittarin kyselylomake on liitteenä 1.

MCH -mittaria on käytetty lukuisissa tutkimuksissa lentäjän kognitiivisen kuormituksen mittaamiseen (Casali & Wierwille 1983; Skipper, Rieger & Wierwille 1986; Byers, Bittner, Hill,

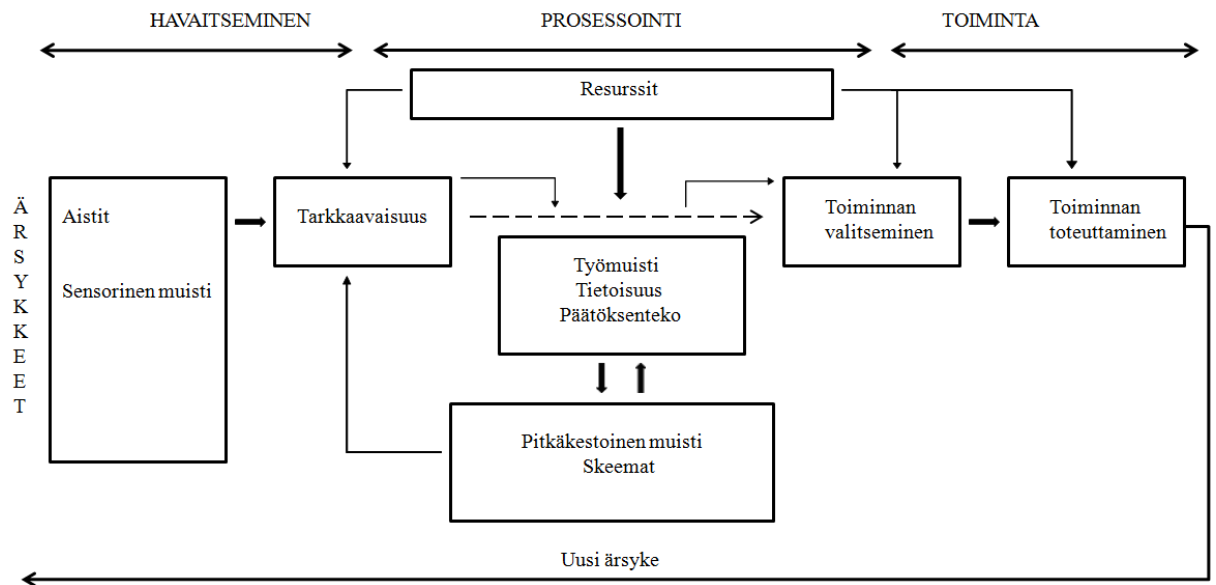
Zaklad & Christ 1988). MCH on yksiulotteinen mittari, jolla kokonaiskuormitusta mitataan asteikolla 1–10 (O'Donnell & Eggemeier 1986, 10; Bittner ym. 1989, 87–88). Koehenkilö valitsee asteikolta vaihtoehdon, joka parhaiten kuvaa kognitiivisen kuormituksen tasoa tehtävän suorittamisen aikana. Millerin (2001) mukaan MCH -mittarin validiteetista kokonaiskuormituksen mittaamiseen on ristiriitaista tutkimustietoa sen yksiulotteisuuden vuoksi. Yleisesti MCH -mittarin on kuitenkin katsottu olevan validiteetiltaan hyvä kokonaiskuormituksen tason mittaamiseen. (Casali 1983; Wierwille 1983, 1985, 1993, Millerin 2001, 16 mukaan.) MCH -mittarin kyselylomake on liitteenä 2.

2.3. Hävittäjäohjaajan tiedonkäsittely

Hävittäjälentäminen voidaan luokitella dynaamiseksi moniajotehtäväksi, joka tarkoittaa useiden tehtävien nopeaa ja samanaikaista suorittamista (Eysenck & Keane 2010, 154). Samanaikaisten tehtävien vuoksi hävittäjäohjaajan tehtävä on tiedonkäsittelyn näkökulmasta vaativa (Haavisto & Oksama 2007). Tehtävässä tiedonkäsittely kuormittuu, jonka seurauksena tehtävän suorittaminen saattaa hidastua (Bathalon ym. 2002). Samanaikaisten tehtävien sekä tiedonkäsittelyn rajallisten resurssien vuoksi lentotehtävän aikana kognitiivisen kuormituksen taso saattaa nousta korkeaksi (Mulder & Mulder 1987, Leinon 1999, 13 mukaan). Kun ponnistelun seurauksena tehtävien suorittamiseen vaadittu resurssien määrä ylittää hävittäjäohjaajan käytettävissä olevat resurssit, saattaa kognitiivisen kuormituksen taso nousta korkeaksi ja ohjaajan suoritustaso laskea (Wickens 1984).

Wickensin ym. (2004) mukaan hävittäjäohjaajan tiedonkäsittely voidaan esittää hypoteettisella mallilla, jossa informaatiota prosessoidaan. Kuviossa 2 on malli ohjaajan tiedonkäsittelystä, jossa vasemmalta lähtien ohjaaja havaitsee ärsykkeen aisteillaan. Tarkkaavaisuuden avulla valitut ärsykkeet muodostavat havainnon. Havaintoa prosessoidaan, jonka perusteella toiminta valitaan ja toteutetaan. Tiedonkäsittely voi kuitenkin alkaa mistä vaiheesta kuvion 2 mallia tahansa. Esimerkiksi toiminnan toteuttaminen voidaan aloittaa ilman havaintoa tai prosessointia, joka johtaa uuteen ärsykkeeseen, havaintoon, prosessointiin sekä toiminnan valitsemiseen. Tiedonkäsittelyn eri vaiheet vaativat resursseja, joita ohjaajalla on rajallinen määrä. Kuvion 2 mukaisesti resursseja jaetaan kaikkiin tiedonkäsittelyn vaiheisiin. Ohjaajan tiedonkäsittelyn kapasiteettia voidaan selittää näiden resurssien rajallisella määrällä. (Wickens ym. 2004, 121–122; Wickens & Hollands 2000, 10–14.)

Eysenckin ja Keanin (2010) mukaan hävittäjäohjaajan tiedonkäsittely käsittää lisäksi muistin eri vaiheet. Atkinson ja Shrifffin esittivät vuonna 1968 muistin monivarastomallin, joka koostuu tiedonkäsittelyn mallin kaltaisesta kolmesta vaiheesta. Ne ovat sensorinen muisti, työmuisti ja pitkäkestoinen muisti. Sensorinen muisti liittyy lähinnä havaitsemiseen ja työmuisti sekä pitkäkestoinen muisti havaitun informaation prosessointiin. (Eysenck & Keane 2010, 205.)



Kuvio 2. Hypoteettinen malli hävittäjäohjaajan tiedonkäsittelystä (Wickens ym. 2004, 122).

Ulric Neisser esitti vuonna 1976 havaintokehän, joka kuvaa havaitsemista sekä tiedonkäsittelyä. Hänen mukaansa havaitseminen on kehämäinen prosessi, joka tarkentuu jatkuvasti. Ohjaajalla on skeemoja, jotka muodostavat käsityksen yksilöstä sekä ympäröivästä maailmasta. Skeemat ohjaavat havaitsemista ja uudet havainnot taas muokkaavat näitä skeemoja. (Neisser 1976, 100.)

Nykyaikaisen hävittäjän ohjaamo esittää ohjaajalle suuren määrän informaatiota (Endsley 1995). Wickensin ja Hollandsin (2000) mukaan hävittäjäohjaaja aistii informaatiota ohjaamoympäristöstä pääasiassa näkö- ja kuuloaisteilla. Aistittu informaatio siirtyy aivojen prosessoitavaksi, jotka tuottavat informaatiosta psyykkisen ja fyysisen havainnon. (Wickens & Hollands 2000, 10–11.) Hävittäjäohjaajan havaitessa ärsyksen, kuten lennonvalvontamittareiden

tuottaman informaation tai asejärjestelmän äänimerkin, se tallentuu hetkellisesti sensoriseen muistiin (Eysenck & Keane 2010, 205). Ohjaajan sensorisen muistin kapasiteetti on suuri mutta lyhytaikainen, eikä ohjaaja voi vaikuttaa tahdonalaisesti informaation ylläpitämiseen sensorisessa muistissa (Fernald 2008, 233).

Sensorinen muisti käsittää ikonimuistin sekä kaikumuistin. Ikonimuisti taltioi visuaalisia ja kaikumuisti auditiivisia havaintoja (Anderson 2009, 148; Fernald 2008, 233). Hävittäjäalentämisessä esimerkiksi ohjaamon näytöt tuottavat ikonimuistille informaatiota. Radioliikenne ja mahdolliset ase- tai varoitusjärjestelmän äänimerkit tuottavat informaatiota kaikumuistille. Endsleyn (1995) mukaan nykyaikaisen hävittäjän ohjaamoympäristön tarjoaman suuren informaatiomäärän vuoksi hävittäjäohjaajan tehtävässä tarkkaavaisuus on merkittävässä asemassa. Ohjaajan täytyy havaita ja valita tarkkaavaisuuden avulla keskeinen informaatio sensorisesta muistista prosessoitavaksi. (Endsley 1995.) Jos keskeinen informaatio ehtii kadota sensorisesta muistista, saattaa tiedonkäsittely epäonnistua ja ohjaajan suoritustaso laskea. Tarkkaavaisuuden tärkeimpinä ominaisuuksina ovat sen suuntaaminen sekä jakaminen (Wickens & Hollands 2000, 70).

Wickensin ja Hollandsin (2000) mukaan suuntaaminen sisältää oletuksia minne, milloin ja miten tarkkaavaisuuden resursseja kohdistetaan. Jakamisella tarkoitetaan tarkkaavaisuuden resurssien kohdistamista useampaan ärsykkeeseen, joita halutaan havaita tehtävän suorittamiseksi. Lisäksi se tarkoittaa tehtävän suorittamisen kannalta epäolennaisten ärsykkeiden pois-sulkemista. Tarkkaavaisuuden suuntaaminen ja jakaminen useiden ärsykkeen välillä saattaa vaikeuttaa hävittäjäohjaajan tiedonkäsittelyä ja tehtävän suorittamista. Ohjaaja ei välttämättä pysty suuntaamaan ja jakamaan tarkkaavaisuutta kaikkiin oleellisiin ärsykkeisiin. Jaetun tarkkaavaisuuden teoriolla voidaan osittain selittää ohjaajan tiedonkäsittelyn rajallisuutta. (Wickens & Hollands 2000, 70.)

Hävittäjäalentämisessä tarkkaavaisuuden suuntaaminen ja jakaminen näkyvät senhetkisen tehtävän kannalta oleellisen informaation havaitsemisessa. Esimerkiksi ilmataistelutehtävän aikana tarkkaavaisuutta suunnataan ja jaetaan lennonvalvontamittareiden, asejärjestelmän näyttöjen sekä radioliikenteen välillä ilmataistelutehtävän suorittamiseksi. Mittarilähestymisen aikana taas lennonvalvontamittarit sekä radioliikenne ovat tarkkaavaisuuden kohteena ja asejärjestelmän näytöt pyritään sulkemaan pois tarkkaavaisuuden piiristä.

Wickensin ja Hollandsin (2000) mukaan tarkkaavaisuuden suuntaaminen ja jakaminen eivät kuitenkaan vielä takaa tehokasta tiedonkäsittelyä. Sitä täytyy lisäksi ylläpitää tehtävän suorittamisen aikana. Hävittäjälentämisessä esimerkiksi pitkäkestoiset siirtolennot, jotka jatkuvat monotonisena, saattavat vaikuttaa tarkkaavaisuuden tasoon alentavasti (ks. kuvio 1, alue A). Tutkijat (Mackworth 1948; Harris & Chaney 1969; Parasuraman 1986) ovat osoittaneet, että jo puolentunnin ajanjaksossa ohjaajan tarkkaavaisuuden taso saattaa alentua tehtävän suorittamisen kannalta oleellisesti (Wickens & Hollands 2000, 34–36).

Hävittäjälentämisessä tiedonkäsittely voi olla aktiivista eli käsitteellisesti ohjattua tai passiivista eli aistien ohjaamaa. Wickensin ym. (2004) mukaan aktiivista tiedonkäsittelyä kuvataan ylhäältä alaspäin eteneväksi. Sitä ohjaavat ohjaajan aiemmat skeemat ja niistä luodut oletukset, jolloin ohjaaja ennakoit mitä seuraavaksi täytyy havainnoida. Esimerkiksi mittarilähestymisen aikana skeemat ohjaavat ohjaajan tarkkaavaisuutta ja havaitsemista. Ohjaaja seuraa lennonvalvontamittareita, joiden informaation perusteella hän ennakoit minkä mittarin esittämää informaatiota täytyy seuraavaksi havainnoida. (Wickens ym. 2004, 74; Neisser 1976.)

Wickensin ym. (2004) mukaan passiivista tiedonkäsittelyä kuvataan alhaalta ylöspäin eteneväksi. Se on aistien tuottaman informaation yhdistämistä yhtenäiseksi havainnoksi. Ohjaamossa yllättäen syttyvän varoitusvalon havaitseminen luokitellaan passiiviseksi tiedonkäsittelyksi. Ohjaajan tarkkaavaisuus kiinnittyy nopeasti ja passiivisesti varoitusvaloon. Varoitusvalon havaitsemisen sekä muiden aistihavaintojen avulla ohjaaja luo yhtenäisen havainnon yhdistämällä informaatiot. Luodun havainnon ja sen prosessoinnin perusteella ohjaaja suorittaa toiminnan, esimerkiksi hätätoimenpiteen, varoitusvalon sammuttamiseksi. (Wickens ym. 2004, 74; Neisser 1976.)

Baddeley ja Hitch (1974), Baddeley (2003) sekä Wickens (1984) ovat esittäneet malleja ihmisen työmuistista ja tiedonkäsittelystä. Malleissa työmuisti on keskeisessä asemassa ja se prosessoi tarkkaavaisuuden avulla havaittua informaatiota. Työmuistin prosessoinnin mukaisesti tiedonkäsittelyn resursseja jaetaan malleissa yhden tai useamman tehtävän välillä. Kun tarvittavien resurssien määrän ylittää hävittäjäohjaajan käytettävissä olevat resurssit, saattaa kognitiivisen kuormituksen taso nousta ja lentotehtävän suorittaminen vaikeutua. (Baddeley & Hitch 1974; Baddeley 2003; Wickens 1984.)

Työmuisti on hävittäjäohjaajan tiedonkäsittelyssä keskeisessä asemassa (Wickens 1984; Baddeley 2000). Wickensin ja Hollandsin (2000) mukaan työmuisti ylläpitää informaatiota, jota

ohjaaja tarvitsee tehtävän suorittamiseksi. Sen toisena tehtävänä on rakentaa skeemoja pitkäkestoiseen muistiin kertaamalla informaatiota ja noutaa niitä sieltä takaisin käsiteltäväksi. (Wickens & Hollands 2000, 248–250.) Työmuisti on perusta hävittäjäohjaajan tietoisuudelle, joka sisältää ajattelun, ymmärtämisen, visualisoinnin, suunnittelun, päätöksenteon sekä ongelmanratkaisun (Wickens ym. 2004, 121).

Wickensin ja Hollandsin (2000) sekä Fernaldin (2008) mukaan ohjaajan työmuistin kapasiteetti on rajoittunut ajallisesti sekä määrällisesti. Tutkimukset (Miller 1956; Brown 1959; Peterson 1959) ovat osoittaneet, että työmuisti pystyy prosessoimaan keskimäärin 7 ± 2 kappaletta muistettavia yksiköitä, kuten esimerkiksi radioliikenteestä poimittuja sanoja tai ohjaamon näytöillä esitettyjä symboleita ja numeroita. Työmuisti pystyy säilyttämään yksiköitä keskimäärin 20 sekuntia. Työmuistin kapasiteettia pystyy parantamaan yhdistelemällä yksiköitä suuremmiksi ja yhtenäisemmiksi kokonaisuuksiksi. Hävittäjäohjaajan näkökulmasta tämä tarkoittaa esimerkiksi ohjaamon näytöiltä havaitun informaation ja radioliikenteen yhdistämistä laajemmaksi tilannekuvaksi. Työmuistin kapasiteetin rajallisuus vaikuttaa olennaisesti ohjaajan tiedonkäsittelyyn. Suuren informaatiomäärän vuoksi ohjaajan työmuisti ei välttämättä kykene prosessoimaan ja säilyttämään kertaamalla kaikkea tarvittavaa informaatiota. Ohjaajan ponnistelu työmuistin prosessien suorittamiseksi saattaa nostaa kognitiivisen kuormituksen tason liian korkeaksi. (Wickens & Hollands 2000, 248–250; Fernald 2008, 233.) Liian korkea kognitiivisen kuormituksen taso saattaa johtaa lentotehtävän suoritustason laskuun (Yerkes & Dodson 1908).

Hävittäjäohjaajalle on koulutuksen aikana rakentunut skeemoja lentämiseen liittyvistä tehtävistä pitkäkestoiseen muistiin. Wickensin ym. (2004) mukaan työmuisti noutaa näitä skeemoja pitkäkestoisesta muistista prosessoitavaksi. Pitkäkestoisessa muistissa tieto tallentuu erilaisiksi kokonaisuuksiksi. Osa tiedosta tallentuu proseduaaliseen muistiin, joka sisältää opittuja taitoja kuten lentokoneen lentäminen. Osa tiedosta tallentuu deklarativiseen eli tietomuistiin, joka jakautuu semanttiseen ja episodiseen muistiin. Semanttinen muisti sisältää tietoa yleisistä tosiasioista, kuten ohjaamon näytöillä esiintyvistä symboleista ja niiden merkityksestä. Episodinen muisti sisältää ainutkertaisia tapahtumia, joita ohjaaja on kokenut esimerkiksi aiemmin lennetyillä lentotehtävillä. (Wickens ym. 2004, 134–143; Wickens & Hollands 2000, 277–278 .)

Wickensin ja Hollandsin (2000) mukaan havainnon ja sen prosessoinnin perusteella luotu ymmärrys ja tietoisuus saavat aikaan päätöksen toiminnan valitsemisesta ja toteuttamisesta.

Yllättävä tilanne, kuten ilmataistelun aikana toisen lentokoneen väistäminen, on passiivisen tiedonkäsittelyn avulla tapahtuva toiminta. Toiminta toisen lentokoneen väistämiseksi valitaan sekä toteutetaan nopeasti, jolloin tiedonkäsittely tapahtuu hyvin nopeasti. Usein kuitenkin toiminnan valitseminen ja toteuttaminen kestää tai saattaa myöhästyä, koska ohjaajan tiedonkäsittely tapahtuu aktiivisesti. Tiedonkäsittely resurssien rajallisuus ja jakaminen vaikuttavat aktiivisen tiedonkäsittelyn vaatimaan aikaan. Ohjaaja prosessoi havaittua informaatiota työmuistissa ja valitsee strategioita tehtävän suorittamiseksi rakentuneiden skeemojen perusteella. Toiminnan toteuttaminen tuottaa usein uusia ärsykeitä, jolloin tiedonkäsittely toistuu. (Wickens & Hollands 2000, 10–14; Wickens ym. 2004, 121–122.)

Tämän tutkimuksen kokeellisissa mittauksissa luotiin asetelma, jossa koehenkilöiden tiedonkäsittelyä kuormitettiin. Koehenkilöiden tehtävänä oli lentää mittarilähestymisiä, joiden aikana heille esitettiin suuri määrä informaatiota havaittavaksi sekä prosessoitavaksi. Moniajotehtävän suorittaminen vaati aktiivista ja passiivista tiedonkäsittelyä sekä tiedonkäsittelyn resurssien jakamista. Erityisesti työmuistia kuormitettiin useilla päällekkäisillä tehtävillä sekä muistettavilla yksiköillä. Lisäksi koehenkilöitä pyydettiin ponnistelemaan mahdollisimman paljon tehtävien suorittamiseksi, jotta kognitiivisen kuormituksen taso nousisi.

3. MENETELMÄT

Tutkimukseen osallistui 35 koehenkilöä, joille suoritettiin kuormitusmittaukset toukokuussa 2014. Perusjoukkona oli Suomen ilmavoimien aktiivisessa palveluksessa olevat F/A-18-monitoimihävittäjäohjaajat. Otantamenetelmänä käytettiin ryväsotantaa kaikista Suomen kolmesta F/A-18-monitoimihävittäjälaivueesta. Koehenkilöitä lähestyttiin sähköpostilla, johon he vastasivat ja ilmoittivat halukkuudestaan osallistua tutkimukseen. Tutkimukseen osallistuminen perustui vapaaehtoisuuteen ja koehenkilöiltä kerättiin kirjallinen suostumus tutkimukseen osallistumisesta.

Koehenkilöiden lentotuntien keskiarvo F/A-18-monitoimihävittäjällä oli 598 lentotuntia ja keskihajonta 445 lentotuntia. Kaikki koehenkilöt olivat ilmailulääketieteellisten tarkastusten perusteella lentokelpoisia ja heillä oli voimassa oleva 1. mittarilentoluokka. Koehenkilöiden taustatiedot kerättiin strukturoidulla kyselylomakkeella, joka oli valmisteltu ilmailulääketieteeseen erikoistuneen lääkärin avustuksella. Kyselylomakkeella pyrittiin kartoittamaan mahdolliset taustavaikuttajat, kuten sairastelun tai piristeiden vaikutukset tutkimustuloksiin. Koehenkilöitä pyydettiin pidättäytymään piristeiden, kuten kofeiinia muita tai piristeitä sisältävien juomien sekä nikotiinituotteiden käytöstä 12 tuntia ennen mittauksia. Tämän tutkimuksen aineistona käytettiin yhteensä 34 koehenkilöltä mitattua aineistoa. Yhden koehenkilön mittausaineisto jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle, koska se ei ollut validiteetiltaan riittävä mittauksia edeltäneen sairastelun vuoksi.

Koehenkilöt lensivät Boeingin valmistamassa F/A-18-virtuaalisimulaattorissa simuloituja mittarilähestymisiä. Simulaattoria käytetään Suomen ilmavoimissa F/A-18-hävittäjäohjaajien perus- ja jatkokoulutukseen. Sen ohjaamo on jäljennös aidon lentokoneen ohjaamosta, jossa hallintalaitteet ja järjestelmät toimivat kuten aidossa F/A-18-monitoimihävittäjässä. Simulaattorissa on 135 asteen visualinäyttö mutta ei liikejärjestelmää. Simulaattori jäljittelee aidon lentokoneen lento-ominaisuuksia hyvin tarkasti, jonka vuoksi sillä voidaan lentää esimerkiksi vuosittaisia mittaritarkastuslentoja. Mittaritarkastuslentojen perusteella ohjaajille myönnetään Suomen ilmavoimissa kelpoisuus suorittaa lentoja mittarilento-olosuhteissa aidolla F/A-18-monitoimihävittäjällä.

Säätä ja vuorokaudenaikoja voidaan säätää simulaattorissa realistisiksi. Mittausten aikana 10 minuutin keskituulen voimakkuudeksi asetettiin 5,14 m/s (10 solmua) suunnasta 320° ja tuulen puuskaisuus asetettiin kohtalaiseksi. Näkyvyys pilven sisällä asetettiin 0 metriin ja maan

pinnalla 700 metriin. Asetettu pilven alaraja ja näkyvyys vastasivat koehenkilöiden mittarilentoluokan sallimia huonoimpia lähestymis- ja laskeutumisolosuhteita. Vuorokauden- ja vuodenaika asetettiin vastaamaan keskipäivää kesäkuun ensimmäisenä päivänä Tampere-Pirkkalan lentoasemalla. Kiihotien kitkat asetettiin vastaamaan kuivia kiihotieolosuhteita. Pysäytysvaijeri ja -verkko olivat poissa käytöstä.

Koehenkilöiden ensisijaisena tehtävänä oli lentää yhteensä 11 ILS (*Instrument Landing System*) -mittarilähestymistä virtuaalisimulaattorilla mahdollisimman tarkasti keskellä suuntasädettä ja liukupolkua. Lähestymismenetelmänä käytettiin ILS 24Y -menetelmää Tampere-Pirkkalan lentoasemalle. Lähestyminen lennettiin virallisen lähestymiskartan mukaisella lentoprofiililla F/A-18-monitoimihävittäjälle määritetyllä lähestymis- ja laskeutumisnopeudella. Jokainen mittarilähestyminen alkoi eri etäisyydeltä ja päättyi laskeutumiseen tai laskeutumisyritykseen.

Kognitiivisen kuormituksen tasoa manipuloitiin säätämällä mittarilähestymisen aloitusetäisyyttä kiihotien kynnyksestä. Aloitusetäisyys kiihotien kynnyksestä vaihteli 15 NM:n (27,78 km:n) – 5 NM:n (9,26 km:n) välillä 1 NM:n (1,85 km:n) välein. Jokaisen mittarilähestymisen alussa lentokoneen paikka oli säädetty 609,6 metrin (2000 jalan) korkeudelle, suoraan vaakalentoon, oikealle lähestymisnopeudelle, keskelle ILS -mittarilähestymislaitteen suuntasädettä ja loppulähestymissuunnalle 237° kohti Tampere-Pirkkalan kiihotietä 24. Ohjaamon kytkimet oli asetettu väärin asentoihin lähestymistä ja laskeutumista varten. Esimerkiksi radiojaksot, korkeusmittarin paineasetus sekä lentoasu olivat asetettu vääränlaisiksi.

Mittarilähestymisten aikana koehenkilöt pyrkivät suorittamaan toissijaisia lisätehtäviä yhteensä 29 kappaletta. Toissijaiset tehtävät sisälsivät ohjaamon kytkimien ja radioiden säätämistä, kommunikointia simuloitun lennonjohdon kanssa sekä ulkoa osattavien hätätoimenpiteiden suorittamisia. Koehenkilöiden tehtävänä oli lisäksi kirjata mittarilähestymiskartasta kolme korkeutta polvikansioon sekä vaihtaa kahteen käytössä olevaan radioon mittarilähestymiskartassa esitetyt kuusi radiojaksoa. Jokaisen suorituksen aikana käytettiin eri mittarilähestymiskarttaa, jolloin koehenkilöiden täytyi tarkastaa jokaisen mittarilähestymisen aikana siinä esitetyt jaksot ja korkeudet.

Muut toissijaiset tehtävät ja hätätoimenpiteet koehenkilöt osasivat ulkomuistista eikä heidän tarvinnut tukeutua muistilistoihin niiden suorittamiseksi. Toissijaisten tehtävien järjestys sattuinaistettiin aloitusetäisyyksien välillä. Myös mittarilähestymisten aloitusetäisyyksien järjes-

tys oli satunnaistettu. Lennonjohdon puhe oli etukäteen nauhoitettu ja äänitallenteet aktivoitiin lähestymiseen käytettävän ajan perusteella. Toissijaiset tehtävät ja hätätoimenpiteet olivat F/A-18-monitoimihävittäjällä operoimiseen liittyviä standardoituja tehtäviä sekä ulkoa osattavia toimenpiteitä. Koehenkilöt saivat harjoitella ne kerran ennen mittaussuorituksia. Heidän valitsemiaan henkilökohtaisia strategioita tehtävien suorittamiseksi ei rajoitettu.

Jokaisen mittarilähestymisen jälkeen oli tauko, jonka aikana koehenkilöt täyttivät NASA-TLX ja MCH -mittareiden kyselylomakkeet. Lomakkeiden avulla he arvioivat kognitiivisen kuormituksen tasoa edeltäneen mittarilähestymisen aikana. Simulaattori alustettiin tauon aikana seuraavaa mittarilähestymistä varten. Koehenkilöiltä mitattiin lisäksi sykettä ja sykeväli-vaihtelua Mind Media NeXus-10 MkII -laitteella. Ensisijainen ja toissijaiset tehtävät pisteytettiin mittauksia varten suunnitelluilla tavoilla. Koehenkilöt eivät tieneet miten tehtävät pisteytettiin. Tässä tutkimuksessa ei käsitellä sykemittausaineistoa eikä ensisijaisen ja toissijaisen tehtävien pisteitä.

Wickens ym. (2004) luonnehtivat kognitiivista kuormitusta käytettävissä olevan ajan ja tehtävien väliseksi suhteeksi (Wickens ym. 2004, 334). Aloitusetäisyyden avulla luotiin tutkimusasetelma, jossa tehtävien suorittamiseen käytettävissä oleva aika muuttui. Ennen tutkimuksen mittauksia oletettiin, että lyhimällä aloitusetäisyydellä kognitiivisen kuormituksen taso olisi korkein ja pisimmällä alhaisin. Yerkesin ja Dodsonin (1908) periaatteen mukaisesti kognitiivisen kuormituksen tason perusteella oletettiin, että tehtävän suoritustaso lyhimällä aloitusetäisyydellä olisi huonoin ja pisimmällä paras.

3.1. Aineiston analyysi

Mittauksissa kerätty aineisto analysoitiin IBM SPSS 20 -ohjelmistolla. Mittauksissa käytettiin *within-subjects*-asetelmaa, jota Nummenmaan (2010) mukaan käytetään kokeellisissa tutkimuksissa usein. Asetelmassa koehenkilöiltä mitattiin yhtä muuttujaa useita kertoja. Se vähensi otantavirheen vaikutusta, koska sama otos oli tarkasteltavana kaikissa mittaustilanteissa. Myös yksilöllisistä eroista johtuva virhe pystyttiin eliminoimaan. Toistettujen mittausten välisessä varianssianalyysissä tarkastellaan viittä varianssitermiä: yhteisvarianssia, käsittelyjen välistä varianssia, käsittelyjen sisäistä varianssia, tutkittavien sisäistä varianssia sekä jäännösvarianssia (Nummenmaa 2010, 239–240). Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin tutkittavien sisäistä varianssia, jonka avulla arvioitiin kuinka paljon yksittäisten koehenkilöiden mittaustulokset vaihtelivat käsittelystä toiseen. Sen avulla saatiin tietoa, kuinka paljon käsittelytekijä on vai-

kuttanut tutkittavilta saatuihin mittaustuloksiin. Tämän tutkimuksen käsittelytekijänä ja riippumattomana muuttujana oli mittarilähestymisen aloitusetäisyys. Tutkimusasetelman vuoksi menetelmä sopi tulosten analysointiin. Mittareiden havaintoarvojen keskiarvoille suoritettiin toistettujen mittausten varianssianalyysi.

Riippuvina muuttujina käytettiin mittareiden havaintoarvojen keskiarvoja eri aloitusetäisyyksillä. NASA-TLX -mittarin kuuden ulottuvuuden havaintoarvoista muodostettiin summamuuttujat keskiarvofunktiolla eri aloitusetäisyyksille. Niitä verrattiin MCH -mittarin havaintoarvojen keskiarvoihin eri aloitusetäisyyksillä. Nummenmaan (2010) mukaan summa- ja keskiarvomuuttujia voidaan käyttää erilaisissa kyselylomakkeissa, joissa muuttujat mittaavat samoja ominaisuuksia eikä yksittäisten muuttujien tarkastelu ole mielekäästä (Nummenmaa 2010, 162). NASA-TLX -mittarin kuuden ulottuvuuden antamista havaintoarvoista laskettiin keskiarvo asteikolla 1–10, jonka perusteella arvioitiin kognitiivisen kuormituksen tasoa (Hart & Staveland 1988). MCH-mittarin havaintoarvot arvioivat kognitiivisen kuormituksen tasoa suoraan asteikolla 1–10 (O'Donnell & Eggemeier 1986). Molempien mittareiden havaintoarvoille eri aloitusetäisyyksillä laskettiin kuvailevat tilastolliset tunnusluvut; keskiarvo, keskihajonta, keskivirhe, suurin arvo, yläneljännes, mediaani, alaneljännes ja pienin arvo.

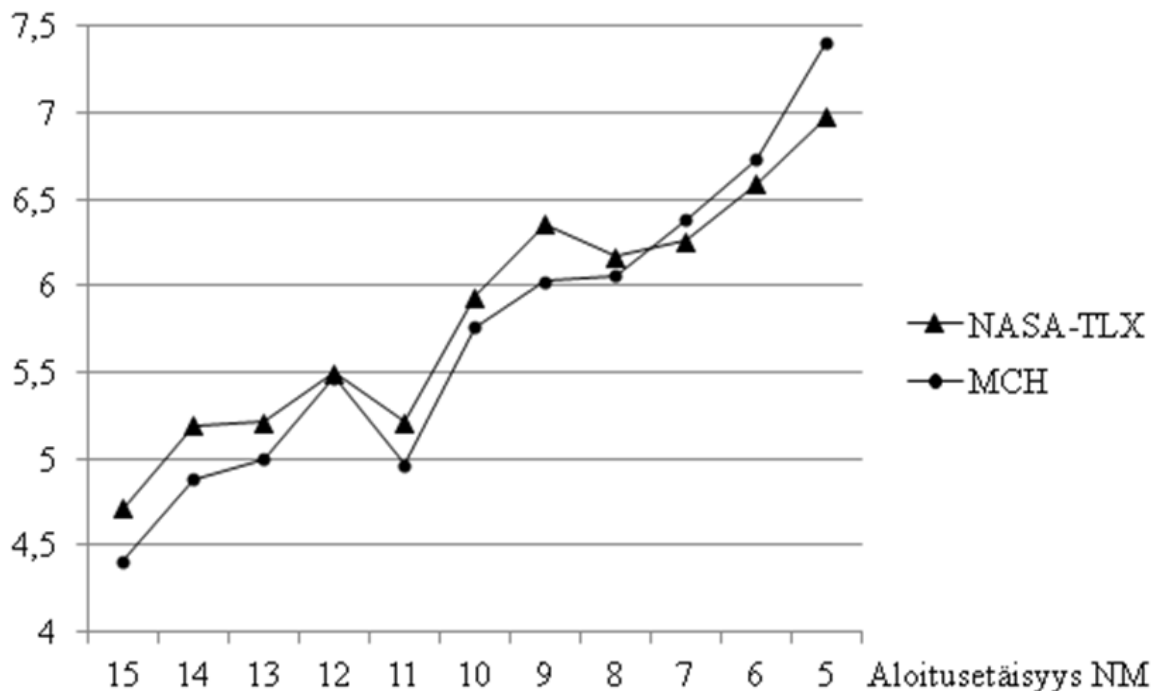
NASA-TLX -mittarin kuudesta ulottuvuudesta laskettiin Cronbachin alfan avulla reliabiliteetikertoimet kaikille eri aloitusetäisyyksille. Heikkilän (2005) mukaan Cronbachin alfa on yksi käytetyimmistä reliabiliteetin arviointiin käytettävistä menetelmistä, jonka vuoksi sitä käytettiin NASA-TLX -mittarin reliabiliteetin arvioinnissa (Heikkilä 2005, 187).

Mittareiden havaintoarvojen yhteisvaihtelua arvioitiin Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokerroimen avulla. Nummenmaan (2010) mukaan yhteisvaihtelun esiintymistä ja voimakkuutta arvioimalla voidaan tarkastella kahden tai useamman ilmiön esiintymistä samanaikaisesti. Lisäksi yhteisvaihtelua arvioimalla voidaan tarkastella ilmiöiden liittymistä toisiinsa sekä niiden kausaalisuhteita. (Nummenmaa 2010, 276; Kananen 2011, 108; Heikkilä 2005, 203.) Heikkilän (2005) mukaan kausaalisuhteiden tulkitseminen korrelaation perustella edellyttää standardoitua kokeellista tutkimusta, jossa ulkopuolisten tekijöiden vaikutus eliminoidaan mahdollisimman hyvin. Useimmin käytetty menetelmä on Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokerroin. (Heikkilä 2005, 187, 203–204; Nummenmaa 2010, 292.) Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokerroimen yleinen käyttö sekä tämän tutkimuksen standardoitu ja kokeellinen luonne puolsivat menetelmän käyttöä.

4. TULOKSET

Toistettujen mittausten varianssianalyysin perusteella kognitiivisen kuormituksen taso kasvoi mittareiden havaintoarvojen keskiarvojen perusteella tilastollisesti erittäin merkitsevästi etäisyyden funktiona $F(10, 330) = 18.01$, $MSE = 2.42$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .35$. Mittareiden havaintoarvojen keskiarvojen ja lähestymisen aloitusetäisyyden välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä vuorovaikutus $F(10, 330) = 2.43$, $MSE = .40$, $p < .05$. Kuviossa 3 on havainnollistettu etäisyyden vaikutus kognitiivisen kuormituksen tasoon mittareiden havaintoarvojen keskiarvojen perusteella.

Tilastollisesti NASA-TLX ja MCH -mittareiden havaintoarvojen keskiarvot eivät eronneet toisistaan merkittävästi $F(1, 33) = .49$, $MSE = 3.27$, $p = .49$, $\eta_p^2 = .02$. Mittareiden havaintoarvojen keskiarvojen välillä ei havaittu tilastollista vuorovaikutusta 15 NM – 8 NM etäisyyksillä, $p > .05$. Tilastollisesti merkitsevä vuorovaikutus havaintoarvojen keskiarvojen välillä havaittiin 7 NM – 5 NM etäisyyksillä, $p < .05$. Kuvion 3 mukaisesti havaintoarvojen keskiarvojen käyrät risteävät 7 NM – 8 NM aloitusetäisyyksien välillä aiheuttaen tilastollisen vuorovaikutuksen.

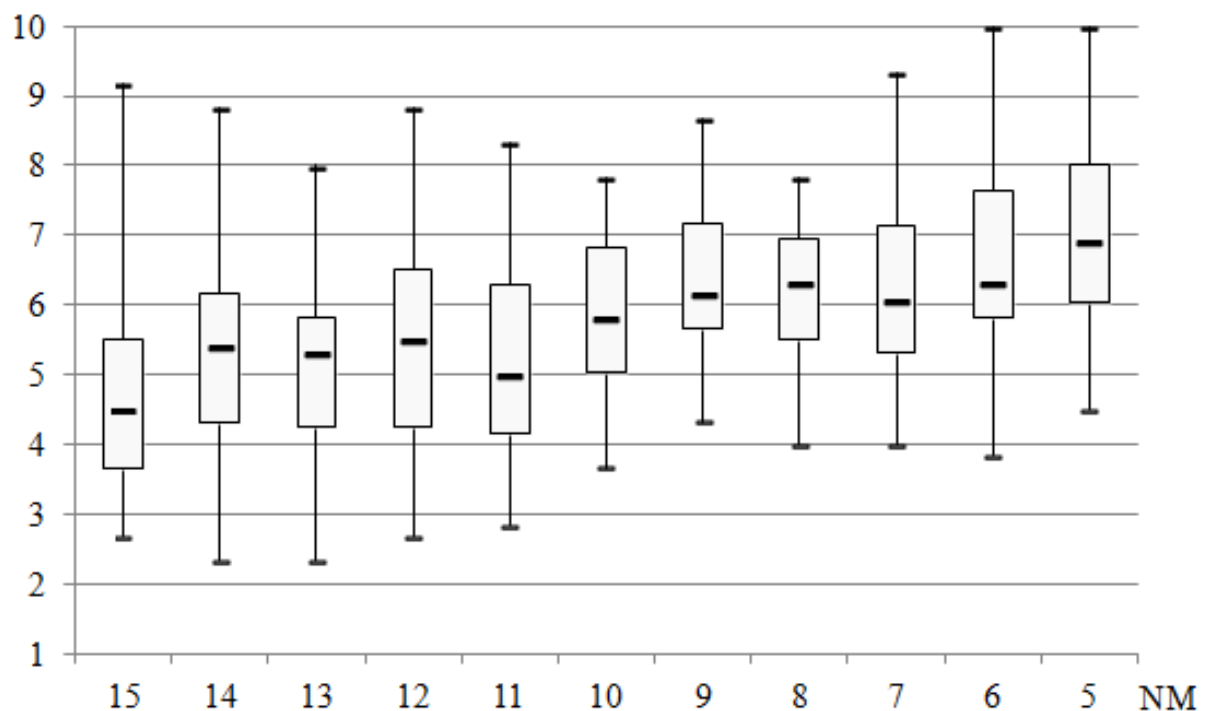


Kuvio 3. NASA-TLX ja MCH -mittareiden havaintoarvojen keskiarvot eri aloitusetäisyyksillä.

NASA-TLX- mittarin havaintoarvojen kuvailevat tilastolliset tunnusluvut on esitetty taulukossa 1. NASA-TLX -mittarin havaintoarvojen suurin arvo, yläneljännes, mediaani, alaneljännes sekä pienin arvo on esitetty myös kuviossa 4.

Taulukko 1. NASA-TLX -mittarin tilastolliset tunnusluvut eri aloitusetäisyyksille.

Etäisyys NM	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Keskiarvo	4.72	5.19	5.22	5.50	5.21	5.94	6.36	6.17	6.26	6.59	6.98
Keskihajonta	1.39	1.48	1.36	1.53	1.37	1.07	1.06	1.08	1.27	1.32	1.24
Keskivirhe	.24	.25	.23	.26	.23	.18	.18	.18	.22	.23	.21
Suurin arvo	9.17	8.83	8.00	8.83	8.33	7.83	8.67	7.83	9.33	10.00	10.00
Yläneljännes	5.50	6.17	5.83	6.50	6.29	6.83	7.17	6.96	7.13	7.63	8.00
Mediaani	4.50	5.42	5.34	5.50	5.00	5.84	6.17	6.33	6.09	6.33	6.92
Alaneljännes	3.67	4.33	4.25	4.25	4.17	5.04	5.67	5.50	5.33	5.83	6.04
Pienin arvo	2.67	2.33	2.33	2.67	2.83	3.67	4.33	4.00	4.00	3.83	4.50

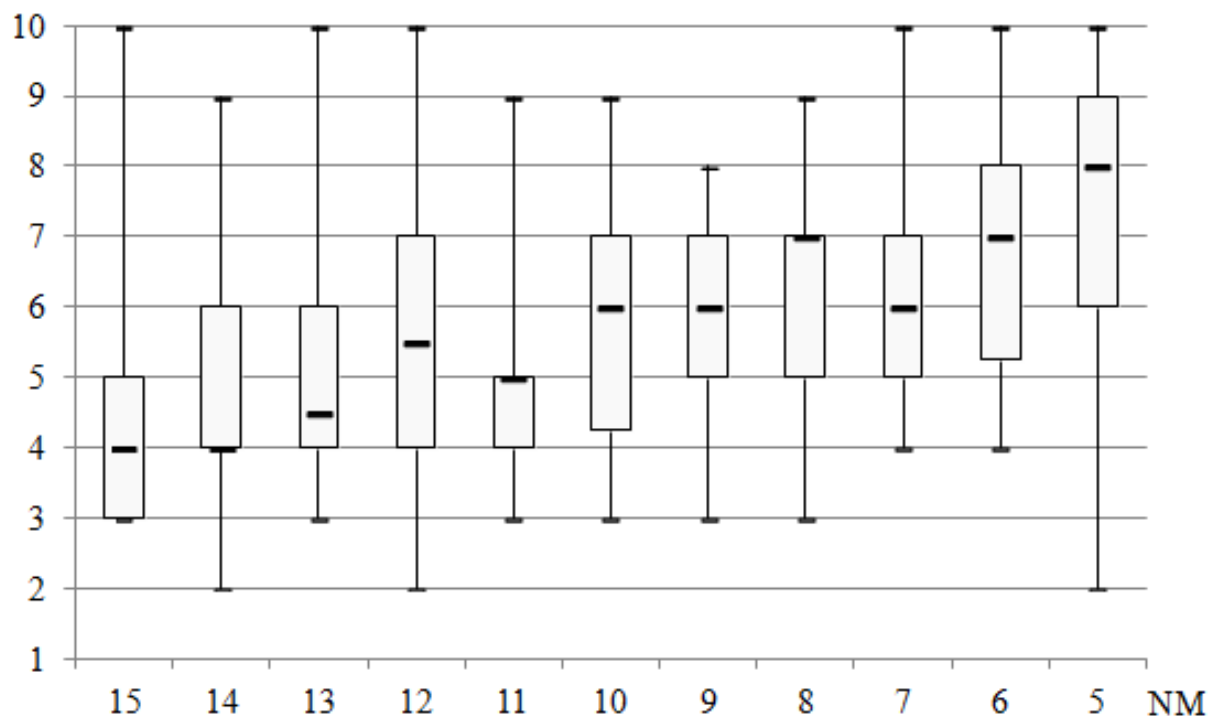


Kuvio 4. NASA-TLX -mittarin tilastolliset tunnusluvut laatikkokaaviona.

MCH -mittarin havaintoarvojen kuvailevat tilastolliset tunnusluvut on esitetty taulukossa 2. MCH -mittarin havaintoarvojen suurin arvo, yläneljännes, mediaani, alaneljännes sekä pienin arvo on esitetty myös kuviossa 5.

Taulukko 2. MCH-mittarin tilastolliset tunnusluvut eri aloitusetäisyyksille.

Etäisyys NM	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Keskiarvo	4.41	4.88	5.00	5.47	4.97	5.76	6.03	6.06	6.38	6.74	7.41
Keskihajonta	1.79	1.81	1.61	2.08	1.51	1.65	1.47	1.70	1.78	1.68	2.02
Keskivirhe	0.31	0.31	0.28	0.36	0.26	0.28	0.25	0.29	0.30	0.29	0.35
Suurin arvo	10.00	9.00	10.00	10.00	9.00	9.00	8.00	9.00	10.00	10.00	10.00
Yläneljännes	5.00	6.00	6.00	7.00	5.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	9.00
Mediaani	4.00	4.00	4.50	5.50	5.00	6.00	6.00	7.00	6.00	7.00	8.00
Alaneljännes	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.25	5.00	5.00	5.00	5.25	6.00
Pienin arvo	3.00	2.00	3.00	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	2.00



Kuvio 5. MCH -mittarin tilastolliset tunnusluvut laatikkokaaviona.

NASA-TLX -mittarin Cronbachin alfojen arvot eri aloitusetäisyyksillä on esitetty taulukossa 3. NASA-TLX -mittarin kaikkien aloitusetäisyyksien Cronbachin alfojen keskiarvo oli 0.76 ja vaihteluväli 0.66–0.84.

Taulukko 3. NASA-TLX -mittarin Cronbachin alfat eri aloitusetäisyyksille.

Etäisyys NM	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Cronbachin alfa	.83	.83	.77	.84	.82	.66	.71	.66	.78	.76	.66

Korrelaatiokertoimien vaihteluväli eri aloitusetäisyyksille oli 0.83–0.54, $p < .001$, keskiarvon ollessa 0.74. Mittareiden havaintoarvojen välillä todettiin kaikilla etäisyyksillä olevan positiivinen sekä vähintään keskinkertainen lineaarinen yhteys.

Taulukko 4. NASA-TLX ja MCH -mittareiden havaintoarvojen keskiarvojen korrelaatiot eri aloitusetäisyyksille.

Etäisyys NM	Korrelaatio	Sig. 2-tailed	N
15	.82**	.000	34
14	.81**	.000	34
13	.81**	.000	34
12	.83**	.000	34
11	.72**	.000	34
10	.67**	.000	34
9	.54**	.001	34
8	.68**	.000	34
7	.83**	.000	34
6	.79**	.000	34
5	.66**	.000	34

5. POHDINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida NASA-TLX ja MCH -mittareita F/A-18-virtuaalisimulaattoritestien avulla. Tavoitteena oli havaita muutokset mittareiden havaintoarvoissa kognitiivisen kuormituksen tason muuttuessa. Lisäksi selvitettiin kuinka sensitiivisiä ja yhdenmukaisia mittarit olivat kuormituksen tason muutokselle. Tulosten perusteella mittareiden havaintoarvot nousivat kognitiivisen kuormituksen tason noustessa. Lisäksi molemmat mittarit olivat sensitiivisiä kuormituksen tason muutokselle sekä antoivat yhdenmukaisia havaintoarvoja (ks. Byers 1989; Gopher 1984; Hendy, Hamilton & Laundry 1993, Millerin 2001, 15 mukaan).

Mittareiden havaintoarvojen perusteella hävittäjäohjaajan subjektiiviset tuntemukset muuttuivat kognitiivisen kuormituksen tason noustessa. Mittareiden havaintoarvot nousivat tilastollisesti erittäin merkittävästi etäisyyden funktiona $p < .001$ (ks. kuvio 3). Tuloksesta voidaan päätellä yhteys tehtävien suorittamiseen käytettävissä olevan ajan ja ponnistelun vaikutuksesta kognitiivisen kuormituksen tasoon. Kuormituksen tason noustessa myös hävittäjäohjaajan subjektiiviset tuntemukset muuttuivat. Tulokset ovat yhdenmukaisia aiempien tutkimusten (Hart & Staveland 1988; Cain 2007; Gartner & Murphy 1976; Johannsen ym. 1979; Sheridan 1980, O'Donnellin & Eggemeierin 1986, 7 mukaan) kanssa.

Tulokset tukivat Endsleyn (1995) teoriaa suuren ärsykkeiden määrän sekä niiden prosessoinnin vaikutuksesta kognitiivisen kuormituksen tasoon. Mittarilähestymisten aikana koehenkilöille esitettiin suuri määrä ärsykeitä prosessoitavaksi. Koehenkilöiden täytyi havaita tarkkaavaisuuden suuntaamisen ja jakamisen avulla oleelliset ärsykkeet prosessoitavaksi. Koehenkilöiden työmuisti kuormittui suuren ärsykkeiden määrän seurauksena useilla muistettavilla yksiköillä sekä samanaikaisilla tehtävillä. Kuten Baddeley (2000, 2003) sekä Wickens (1984) ovat todenneet, kapasiteetiltaan rajallisen työmuistin prosessointi oli keskeinen koehenkilöiden toimintojen valitsemisessa ja toteuttamisessa. Tulokset tukevat teoriaa hävittäjäohjaajan työmuistin kapasiteetin rajallisuudesta. Mittareiden havaintoarvojen mukaan tehtävien suorittamiseen käytettävissä olevan ajan vähentyessä ja päällekkäisten tehtävien lisääntyessä kognitiivisen kuormituksen tason nousi.

Moniajotehtäviksi luokiteltujen mittarilähestymisten vuoksi koehenkilöt joutuivat käyttämään tiedonkäsittelyn resursseja samanaikaisesti sekä vuorotellen tehtävien suorittamiseksi. Tie-

donkäsittelyn kapasiteetin rajallisuutta ja resursseja voidaan arvioida, kun koehenkilöt ponnistelevat mahdollisimman paljon tehtävän suorittamiseksi (Hart & Staveland 1988; Cain 2007). Ponnistelusta huolimatta tiedonkäsittelyn kapasiteetti ja resurssit eivät välttämättä riittäneet tehtävien suorittamiseen, jonka seurauksena kognitiivisen kuormituksen taso nousi. Tulokset tukevat Wickensin (1984) ja Baddeleyn (2000, 2003) teorioita ihmisen tiedonkäsittelyn kapasiteetin ja sen resurssien rajallisuudesta.

Koehenkilöitä pyydettiin ponnistelemaan mahdollisimman paljon mittarilähestymistehtävän suorittamiseksi. Tulosten perusteella hävittäjäohjaajan kognitiivisen kuormituksen taso nousee tehtävän suorittamiseen vaadittavan ponnistelun seurauksena, kuten Hart ja Staveland (1988) ja Cain (2007) ovat todenneet. Mitä lyhyempi mittarilähestymisen aloitusetäisyys oli, sitä enemmän koehenkilöt joutuivat ponnistelemaan tehtävien suorittamiseksi. Mittareiden havaintoarvot tukevat teoriaa kognitiivisen kuormituksen tason nousemisesta hävittäjäohjaajan ponnistellessa lentotehtävän suorittamiseksi.

Mittareiden havaintoarvot olivat tulosten mukaan yhdenmukaisia. Tilastollisesti mittareiden antamat havaintoarvojen keskiarvot eivät eronneet toisistaan merkittävästi. Myös havaintoarvojen keskiarvojen korrelaatiokertoimien perusteella mittareiden välillä oli kaikilla aloitusetäisyyksillä positiivinen sekä vähintään keskinkertainen lineaarinen yhteys (ks. taulukko 4). Korrelaatiokertoimien vaihteluväli eri aloitusetäisyyksille oli 0.83–0.54, $p < .001$, keskiarvon ollessa 0.74. Myös mittareiden kuvailevat tilastolliset tunnusluvut olivat yhdenmukaisia (ks. taulukot 1 ja 2).

Mittareiden havaintoarvojen välillä ei havaittu tilastollista vuorovaikutusta 15 NM – 8 NM aloitusetäisyyksillä, $p > .05$. Tilastollisesti merkitsevä vuorovaikutus havaittiin vasta 7 NM – 5 NM aloitusetäisyyksillä, $p < .05$. Käytännön tulosten tulkinnan kannalta vuorovaikutus ei kuitenkaan ole merkitsevä, $\eta_p^2 = .07$. Tulokset tukevat väittämää moniulotteisten ja yksiulotteisten mittareiden yhtenevyydestä (Byers 1989; Gopher 1984; Hendy, Hamilton & Laundry 1993, Millerin 2001, 15 mukaan).

Mittareiden havaintoarvot nousivat tilastollisesti erittäin merkittävästi etäisyyden funktiona. Aloitusetäisyyden lyhentyessä 1 NM:lla mittarilähestymistehtävän suorittamiseen käytettävissä oleva aika vähentyi 13,7 sekuntia. Aikapaineen kasvu nosti kognitiivisen kuormituksen tasoa, joka kyettiin erottelemaan mittareiden havaintoarvojen perusteella. Tulosten perusteella

molemmat mittarit ovat sensitiivisiä kognitiivisen kuormituksen tason muutokselle, koska vähäinkin tehtäviin käytettävissä olevan ajan muutos vaikutti havaintoarvoihin.

Wickensin ym. (2004, 334) teoriaan perustuen kognitiivisen kuormituksen tason olisi täytynyt nousta lineaarisesti etäisyyden funktiona, koska tehtävien suorittamiseen käytössä ollut aika vähentyi aloitusetäisyyden lyhentyessä lineaarisesti. Kuvion 3 sekä taulukoiden 1 ja 2 perusteella mittareiden havaintoarvot eivät kuitenkaan nousseet täysin lineaarisesti aloitusetäisyyden lyhentyessä. Yksiulotteisen mittarin havaintoarvot käyttäytyivät hieman lineaarisemmin kuin moniulotteisen mittarin havaintoarvot.

Molempien mittareiden havaintoarvojen keskiarvojen mukaan 11 NM aloitusetäisyydellä kognitiivisen kuormituksen taso oli matalampi kuin 12 NM aloitusetäisyydellä. NASA-TLX -mittarin havaintoarvojen keskiarvojen mukaan myös 8 NM ja 7 NM aloitusetäisyyksillä kognitiivisen kuormituksen taso oli matalampi kuin 9 NM etäisyydellä. Toissijaisten tehtävien satunnaistamisen seurauksena koehenkilöt ovat saattaneet joutua ponnistelemaan enemmän ensisijaisen tehtävän eli lentokoneen lentämisen suorittamiseksi, vaikka aikaa pidemmällä etäisyyksillä oli enemmän toissijaisten tehtävien suorittamiseksi. Toissijaisena tehtävänä hätätoimenpiteenä suoritettu moottorin sammuttaminen heti mittarilähestymisen alussa on saattanut vaikuttaa olennaisesti ensisijaisen tehtävän suorittamisen vaikeutumiseen 9 NM ja 12 NM aloitusetäisyyksillä. Moottorin sammuttaminen heikentää F/A-18-monitoimihävittäjän lento-ominaisuuksia olennaisesti, jonka seurauksena koneen lentäminen vaikeutuu. Mittareiden havaintoarvojen perusteella ei kuitenkaan voida todentaa syytä mikä aiheutti kognitiivisen kuormituksen tason nousun.

NASA-TLX -mittarille laskettiin Cronbachin alfat eri aloitusetäisyyksille, joiden keskiarvo oli 0.76 ja vaihteluväli 0.66–0.84. Mittareiden havaintoarvojen korrelaatioiden ja kuvailevien tunnuslukujen yhdenmukaisuuden perusteella on mahdollista, että myös MCH -mittarin reliabiliteetti on NASA-TLX -mittarin reliabiliteetin tasolla.

Tutkimuksen mittauksiin osallistuneiden hävittäjäohjaajien kokemustasot vaihtelivat hävittäjäkoulutuksen alkuvaiheessa olevista erittäin kokeneisiin hävittäjäohjaajiin. Kokemustasosta huolimatta kaikkien hävittäjäohjaajien kognitiivisen kuormituksen taso nousi aloitusetäisyyden lyhentyessä. Tästä voidaan päätellä yhteys työmuistin kapasiteetin rajallisuudesta aktiivisessa tiedonkäsittelyssä. Vähemmän kokeneille ohjaajille suuri ärsykkeiden määrä ja skeemojen puutteellisuus saattoivat olla syynä kognitiivisen kuormituksen tasoon nousuun. Ko-

keneemmilla ohjaajilla syynä kognitiivisen kuormituksen tason nousuun saattoi olla ennemminkin aktiivinen tiedonkäsittely. Kokeneille hävittäjäohjaajille oli rakentunut todennäköisesti vahvempia ja useampia skeemoja tehtävän suorittamisesta. Hävittäjälentämisessä oikean skeeman valinta saattaa vaikuttaa ratkaisevasti lentotehtävän suorittamiseen. Aktiivisen tiedonkäsittelyn vuoksi kokeneilla ohjaajilla juuri oikean skeeman valinta saattoi kuormittaa työmuistia ja vaatia tiedonkäsittelyn resursseja, jolloin kognitiivisen kuormituksen taso nousi. Tämän perusteella suuri ärsykkeiden määrä ei välttämättä ole aina syynä kognitiivisen kuormituksen tason nousuun. Asian selvittämiseksi olisi täytynyt tutkia myös mittareiden havaintoarvojen sekä koehenkilöiden lentotuntien suhdetta. Tulevissa tämänkaltaisissa tutkimuksissa voitaisiin pyrkiä selvittämään sosioteknisen järjestelmän operaattorin kokemustason vaikutusta tiedonkäsittelyn kapasiteettiin.

Kuten johdannon häiriöilmoitus osoitti, hävittäjälentämisessä kognitiivisen kuormituksen taso vaikuttaa tehtävän suoritustasoon (Yerkes & Dodson 1908; Bittner ym. 1986, 9). Tähän tutkimukseen olisi täytynyt ottaa mukaan suoritusarvioinnit ensi- ja toissijaisista tehtävistä, jotta väitettä olisi pystytty luotettavasti tukemaan. Rajauksen vuoksi suorituksen arviointimenetelmä jätettiin tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Yerkesin ja Dodsonin (1908) periaatteeseen nojaten voidaan kuitenkin olettaa, että koehenkilöiden suoritustaso laskee kognitiivisen kuormituksen noustessa. Jatkotutkimuksissa useampien menetelmien käyttö kognitiivisen kuormituksen tason mittaamiseksi on suositeltavaa.

Suomen puolustusvoimien näkökulmasta subjektiivisen arvioinnin menetelmiä on mahdollista käyttää erilaisten sosioteknisten laitteiden testaamisessa sekä kehittämisessä. Esimerkiksi uuden asejärjestelmän hankintaa edeltävän evaluoinnin aikana operaattorin kokemaa kognitiivisen kuormituksen tasoa on mahdollista mitata subjektiivisten menetelmien avulla. Subjektiiviset menetelmät vaativat kuitenkin tuekseen suoritusten arviointimenetelmät sekä fysiologiset menetelmät, jotta tulokset ovat luotettavampia. Useiden menetelmien avulla on mahdollista paljastaa kognitiivisen kuormituksen tasoa nostavat syyt.

Subjektiivisilla menetelmillä on mahdollista tutkia sosioteknisiä järjestelmiä myös koulutuksellisesta näkökulmasta. Korkeat kognitiivisen kuormituksen tasot järjestelmien operoimisen aikana voidaan määrittää ja koulutusta voidaan kehittää. Ilmavoimien lentoturvallisuusorganisaation näkökulmasta lentotehtävän korkean kognitiivisen kuormituksen tason määrittäminen ja sen perusteella tehty koulutuksen kehittäminen vähentäisi kognitiivisesta ylikuormituksesta

johtuvien häiriöilmoitusten määrää. Sen avulla johdannon kaltaiset vaaratilanteet lentotehtävien aikana vähentyisivät ja lentoturvallisuus parantuisi.

F/A-18-monitoimihävittäjiin elinkaaripäivityksessä lisättävä ilmasta-maahan-suorituskyky nostaa lentotehtävän kognitiivisia vaatimuksia. Subjektiiivisilla mittareilla on mahdollista mitata esimerkiksi pommituslentotehtävien kognitiivista kuormitusta. Suositeltavaa olisi mitata pommituslentotehtävien kognitiivista vaatimustasoa F/A-18-virtuaalisimulaattorissa. Simulaattoriympäristössä subjektiiivisten menetelmien käyttö on helppoa ja sen kustannukset ovat matalat. Todentamalla kognitiivisesti kuormittavat vaiheet pommituslentotehtävän aikana F/A-18-monitoimihävittäjän ilmasta-maahan-lentokoulutusohjelmia voidaan kehittää.

Tutkimuksen tulokset tukevat teorioita suuren informaatiomäärän, käytettävissä olevan ajan ja tehtävän suorittamiseen vaadittavan ponnistelun vaikutuksista hävittäjäohjaajan tiedonkäsitteelyyn, kognitiivisen kuormituksen tasoon sekä suoritustasoon. Tulokset antavat myös näyttöä hävittäjäohjaajan subjektiiivisten tuntemusten muutoksesta kuormituksen tason muuttuessa sekä NASA-TLX- ja MCH -mittareiden soveltuvuudesta kognitiivisen kuormituksen mittaamiseen. Lisäksi tulosten perusteella näyttää, että yksiulotteiset ja moniulotteiset mittarit antavat yhdenmukaisia ja sensitiivisiä tuloksia. Subjektiiivisilla menetelmillä on kuitenkin haastavaa tai jopa mahdotonta havaita tarkat syyt kognitiivisen kuormituksen tason nousulle lentotehtävän suorittamisen aikana. Tämä puoltaa kaikkien menetelmien käyttöä ja tulosten vertailua kognitiivisen kuormituksen tason mittaamisessa.

6. LÄHTEET

Anderson, J., R. 2009. Cognitive psychology and its implications. 7. painos. New York: Worth Publishers.

Bathalon, G., P., Falco, C., M., Georgelis, C., A., Lieberman, H., R., Morgan, C., A. III, Niro, P., Tharion, W., J. 2002. The “Fog of war”: Documenting cognitive decrements associated with the stress of combat. Proceedings of the 23rd Army Science Conference.

Baddeley, A. 2000. The episodic buffer: a new component of working memory. Trends in cognitive sciences 4, 417–423.

Baddeley, A. 2003. Working memory: Looking back and looking forward. Neuroscience 4, 829–839.

Baddeley, A. & Hitch, G. 1974. Working memory. Psychology of Learning and motivation 8, 47–85.

Boer, L., C., Edwards, R., J., Enderwick, T., P., Geddie, J., C., Graff, N., Pfendler, C., Ruisseau, J.-Y. & Van Loon, P., A. 2001. NATO guidelines on human engineering testing and evaluation. Ranska: NATO research and technology organization.

Bittner, A., C. Jr., Dick, A., O., Hill, S., G., Linton, P., M., Lysaght, R., J., Plamondon, B., D., Wherry, R., J., Wierwille, W., W. & Zaklad, A., L. 1989. Operator workload: Comprehensive review and evaluation of operator workload methodologies. Yhdysvallat: United States army research institute for the behavioral and social sciences.

Byers J., C., Bittner, A., C., Hill, S., G., Zaklad, A., L. & Christ, R., E. October 1988. Workload Assessment of a Remotely Piloted Vehicle (RPV) System. Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting 32, 1145–1149.

Cain, B. 2007. A review of the mental workload literature. Defence research and development. Kanada.

Civil aviation authority. Safety regulation group. 2002. Fundamental human factors concept.

O'Donnell, R., D. & Eggemeier, F., T. 1986. Workload assessment methodology. Teoksessa Boff, K., R., Kaufman, L. & Thomas, J., P. (toim.) Handbook of perception and human performance 2. Cognitive processes and performance, luku 42, 1–49. Englanti: John Wiley & Sons.

Eggemeier, F., T. & Wierwille, W., W. 1993. Recommendations for mental workload measurement in a test and evaluation environment. Human Factors: The journal of the human factors and ergonomics society 35, 263–281.

Endsley, M., R. 1995. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. Human Factors 37, 32–64.

Eysenck, M., E. & Keane, M., T. 2010. Cognitive psychology: a students handbook. 6. painos. New York: Psychology Press.

Fernald, D. 2008. Psychology: six perspectives. Kalifornia: Sage Publications Incorporation.

Gartner, W., B., & Murphy, M., R. 1976. Pilot workload and fatigue: A critical survey of concepts and assessment techniques. Yhdysvallat: NASA.

Haavisto, M.-L. & Oksama, L. 2007. Kognitiivisen kuormituksen arviointi: esimerkkinä hävittäjälentäjän tehtävä- ja kuormitusanalyysi. Työ ja ihminen 21, 17–29.

Hancock, P., A. & Warm, J., S. 1989. A dynamic model of stress and sustained attention. Human Factors 31, 519–537.

Hart, S., G. & Staveland, L., E. 1988. Development of NASA-TLX (*Task Load Index*): results of empirical and theoretical research. Teoksessa Hancock, P., A. & Meshkati, N. (toim.) Human Mental Workload. Amsterdam: North Holland Press.

Heikkilä, T. 2005. Tilastollinen tutkimus. 5. –6. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kananen, J. 2001. Kvantti: kvantitatiivisen opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 118. Tampereen yliopistopaino Oy – Juvenes Print.

Lahtinen, T., M., M., Koskelo J.,P., Laitinen, T., T., Leino, T.,K. 2007. Heart rate and performance during combat missions in a flight simulator. *Aviation, space and environmental medicine* 78, 387–391.

Leino, T. 1999. Neuroendocrine responses to psychological workload of military flying. Oulun yliopisto. Väitöskirja.

Miller, S. 2001. Literature review: Workload measures. Iowan yliopisto.

Neisser, U. 1976. *Cognition and reality: principles and implications of cognitive psychology*. San Francisco: W. H. Freeman and Company.

Norman, D., A. & Bobrow, D., G. 1975. On aineisto-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology* 7, 44–64.

Nummenmaa, L. 2010. Käyttätymistieteiden tilastolliset menetelmät. 2. painos. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy.

Saariluoma, P. 2001. Teoksessa Hautamäki, A., Kamppinen, M. & Saariluoma, P. (toim.). *Moderni kognitiotiede*. Gaudeamus: Helsinki.

Skipper, J., H., Rieger, C., A. & Wierwille, W.,W. 1986. Evaluation of decision-tree rating scales for mental workload estimation. *Ergonomics* 29, 585–599.

Toiskallio, J. 1998. *Sotilaspedagogiikan perusteet*. Puolustusvoimien koulutuksen kehittämiskeskus. Helsinki: Karisto Oy.

Sorsa, M. & Vapaavuori, E.2005. *Lentävä ihminen*. Ilmailufysiologian ja -psykologian perusteet ilmailulupakirjoja varten. Helsinki: Edita.

Wickens, C., D. 1984. Multiple resources and performance prediction. *Theoretical issues in ergonomics science* 3, 159–177.

Wickens, C., D & Hollands, J., G. 2000. *Engineering psychology and human performance*. 3. painos. New Jersey: Prentice Hall.

Wickens, C., D., Lee, J., D., Liu, Y. & Gordon Becker, S., E. 2004. An introduction to human factors engineering. 2. painos. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Wierwille, W.,W. & Casali, J., G. 1983. A validated rating scale for global mental workload measurement applications. Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting 27, 129–133.

Yerkes, R., M. and Dodson, J., D. (1908) The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. Journal of comparative neurology and psychology 18, 459–482.

7. LIITTEET

7.1. LIITE 1. NASA-TLX.

HENKINEN VAATIMUSTASO

Oliko tehtävä helppo ja yksinkertainen vai vaativa ja monimutkainen? Kuinka paljon tehtävä vaati päätöksentekoa, ajattelua, etsimistä, muistamista, laskemista jne.?

VÄHÄN 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 **PALJON**

FYYSINEN VAATIMUSTASO

Kuinka paljon tehtävä vaati fyysistä toimintaa, esim. kantamista, nappien painamista jne.?

VÄHÄN 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 **PALJON**

AJALLINEN VAATIMUSTASO

Oliko tehtävä hidas-, sopiva- vai nopearytmisen? Kuinka paljon aikapainetta tunsit tehtävän aikana?

VÄHÄN 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 **PALJON**

SUORITUS

Kuinka tyytyväinen olet toimintaasi tavoitteiden saavuttamisessa? Kuinka hyvin mielestäsi saavutit tehtävän tavoitteet?

HYVIN 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 **HEIKOSTI**

PONNISTELU

Kuinka paljon sinun täytyi ponnistella henkisesti ja fyysisesti tehtävän aikana?

VÄHÄN 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 **PALJON**

TURHAUTUMINEN

Olitko rasittunut ja turhautunut tehtävän suorituksen aikana?

VÄHÄN 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 **PALJON**

7.2. LIITE 2. MCH.

Hyvin helppo, ei lainkaan vaikeuksia. Jouduin ponnistelemaan henkisesti tuskin ollenkaan ja kykenin saavuttamaan vaaditun suoritustason helposti	1
Helppo, ei vaikeuksia. Jouduin ponnistelemaan henkisesti vain vähän ja kykenin saavuttamaan vaaditun suoritustason helposti.	2
Melko helppo, pieniä vaikeuksia. Jouduin ponnistelemaan henkisesti mutta hyväksyttävissä rajoissa kyetäkseni säilyttämään riittävän suoritustason.	3
Pieniä mutta ärsyttäviä vaikeuksia. Jouduin ponnistelemaan henkisesti melko paljon kyetäkseni säilyttämään riittävän suoritustason.	4
Melko haittaavia vaikeuksia. Jouduin ponnistelemaan henkisesti paljon kyetäkseni säilyttämään riittävän suoritustason	5
Hyvin haittaavia mutta siedettäviä vaikeuksia. Jouduin ponnistelemaan henkisesti erittäin paljon saadakseni virheet pysymään keskimääräisellä tasolla.	6
Suuria vaikeuksia. Jouduin ponnistelemaan henkisesti erittäin paljon saadakseni virheet pysymään keskimääräisellä tasolla.	7
Suuria vaikeuksia. Jouduin ponnistelemaan henkisesti erittäin paljon välttääkseni suuret tai lukuisat virheet.	8
Suuria vaikeuksia. Jouduin ponnistelemaan henkisesti erittäin paljon ja jatkuvasti kyetäkseni suorittamaan tehtävän, mutta tein jatkuvasti virheitä tai virheitä oli lukuisia.	9
Mahdoton. En kyennyt suorittamaan tehtävää luotettavasti.	10