

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

MIEHITTÄMÄTTÖMIEN HELIKOPTEREIDEN KEHITYS 2000-LUVULLA

Kandidaatintutkielma

Kadetti
Mikko Punkka

Kadettikurssi 99
Maasotalinja

Maaliskuu 2015

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Kadettikurssi 99	Linja Maasotalinja
Tekijä Kadetti Mikko Punkka	
Tutkielman nimi Miehittämättömien helikoptereiden kehitys 2000-luvulla	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n kurssikirjasto
Aika Maaliskuu 2015	Tekstisivuja 24 Liitesivuja 2
TIIVISTELMÄ <p>Miehittämättömät ilma-alukset ovat kasvattaneet tärkeyttään nykyajan sodankäynnissä jatkuvasti. Niiden avulla pystytään vähentämään operaatioissa ihmisohjaajaan kohdistuvia riskejä, mikä on tärkeää erityisesti nykyaikaisissa matalan intensiteettitason konflikteissa. Kiinteäsiipiset UAV:t ovat jo vakiinnuttaneet asemansa taistelukentällä, mutta miehittämättömät helikopterit ovat vasta viime vuosikymmenellä kehittyneet tasolle, joka mahdollistaa niiden operatiivisen käytön. Tutkielmassa tarkastellaan miehittämättömien helikoptereiden kehitystä ja vastataan pääkysymykseen: Miten miehittämättömien helikoptereiden suorituskyky on kehittynyt valittuna ajanjaksona? Lisäksi selvitetään kahden alakysymyksen avulla, mihin suorituskyvyn kehittyminen pohjautuu ja mistä suorituskyvyn eri osa-alueiden kehitystarve johtuu.</p> <p>Tutkimusmenetelmänä tutkielmassa käytetään laadullista kirjallisuustutkimusta ja laadullista sisällönanalyysiä. Tutkielmassa aihetta käsitellään kahdessa kappaleessa, joista ensimmäisessä esitellään tutkimuksen kohteena olevat ilma-alukset, sekä käydään läpi eroja eri mallien välillä. Toisessa kappaleessa tarkastellaan valittujen suoritusarvojen kautta suorituskyvyn kehittymistä.</p> <p>Tutkimuksen perusteella havaitaan, että hyötykuorman kantokyky on kehittynyt kaikilla tutkimuksen kohteena olevilla ilma-aluksilla. Tämä viestii kyseisen suoritusarvon tärkeydestä miehittämättömien helikoptereiden suorituskyvyn kasvattajana. Muissa suoritusarvoissa ilma-alusmallien välillä oli vaihtelua, mikä kertoo kehityksen painopisteen eroavaisuuksista. Ilma-alukset sekä niiden suoritusarvot ovatkin kompromisseja, eli jos parannelaan toista osa-aluetta, aiheuttaa se mahdollisesti toisen osa-alueen heikkenemisen.</p>	
AVAINSANAT <p>UAV, miehittämätön ilma-alus, helikopteri, suorituskyky</p>	

MIEHITTÄMÄTTÖMIEN HELIKOPTEREIDEN KEHITYS 2000-LUVULLA

Sisällys

1.	JOHDANTO	1
1.1.	Tutkimusasetelma, tutkimusongelma ja rajaukset	3
1.2.	Tutkimusmenetelmä	4
1.3.	Tärkeimmät lähteet ja lähdekritiikki	4
2.	MIEHITTÄMÄTTÖMIEN HELIKOPTEREIDEN KEHITYS	6
2.1.	Northrop Grumman RQ-8A/MQ-8B/MQ-8C Fire Scout	6
2.2.	Boeing A160/160T Hummingbird	9
2.3.	Schiebel Camcopter 5.1/S-100	12
2.4.	Saab Skeldar V-150/V-200	14
3.	KEHITYKSEN VAIKUTUKSET	17
3.1.	Hyötykuorman kantokyky	17
3.2.	Lakikorkeus	19
3.3.	Toimintasäde	20
3.4.	Toiminta-aika	21
4.	JOHTOPÄÄTÖKSET	23

LÄHTEET

LIITTEET

MIEHITTÄMÄTTÖMIEN HELIKOPTEREIDEN KEHITYS 2000-LUVULLA

1. JOHDANTO

Sodankäynti on jatkuvan muutoksen alla. Sotateollisuus on hyvin laaja ala, jonka tavoitteena on kehittää entistä suorituskykyisempiä laitteita ja uutta teknologiaa sotilaskäyttöön. Ilma-alukset ovat tuoneet uuden ulottuvuuden sodankäyntiin ja ne kasvattavat merkitystään edelleen. Miehitettyjen ilma-alusten rinnalle ovat nousseet miehittämättömät ilma-alukset eli UAV:t, jotka ovat jo osin korvanneet miehitetyt useilla sodankäynnin osa-alueilla.

Tämän hetken sotateknologian kehityksen kärkimaassa, Yhdysvalloissa, uusien laitteiden kehitys mukaillee vallitsevaa turvallisuuden ja politiikan tilannetta. Historia osoittaa, että yleensä tarvitaan jokin isompi rauhaa uhkaava tapahtuma, jotta sotakaluston kehitys lähtee uudestaan nousuun. Näin kävi myös vuonna 2001, kun WTC-torneja vastaan kohdistettiin terrori-isku, jonka seurauksena Yhdysvallat aloitti terrorismin vastaisen sodan. Tapahtuma kiihdytti myös miehittämättömien ilma-alusten kehitystyötä, minkä takia niiden tekninen kehitys 2000-luvulla on ollut nopeaa. [1, s. 1]

Yhdysvaltojen puolustusministeriö määrittelee miehittämättömän ilma-aluksen moottoroiduksi ilma-alukseksi, joka täyttää seuraavat kriteerit: ei kanna ihmisohjaajaa, käyttää aerodynaamisia voimia luodakseen nostovoimaa, pystyy lentämään ilman ohjausta tai etäohjauksen välityksellä, voi olla kertakäyttöinen tai palautettavissa lennon jälkeen ja pystyy kantamaan kuolettavaa tai ei-kuolettavaa hyötykuormaa. Vaikka risteily- ja ballistiset ohjukset täyttävät nämä kriteerit, ei niitä kuitenkaan luokitella miehittämättömiksi ilma-aluksiksi. Miehittämättömien ilma-alusten suorittamat tehtävät jaotellaan tiedusteluun, elektroniseen sodankäyntiin ja kevyeen hyökkäykseen. [2, s. 27–28]

Miehittämättömillä ilma-aluksilla on monia etuja verrattuna miehitettyihin, minkä takia UAV:t ovat korvanneet perinteiset ilma-alukset monissa tehtävissä: Ne pystyvät pysymään ilmassa hyvin pitkiä aikoja, niihin ei kohdistu fysiologisia rajoituksia kuten ihmisiin, ihmisen henki ei ole tehtävää suoritettaessa vaarassa eikä synny poliittisia selkkauksia, jos lentäjä jää kiinni. Lisäksi kustannuksia voidaan vähentää, kun ilma-alukseen ei tarvitse asentaa miehiteitylle versioille välttämättömiä järjestelmiä, kuten happi- ja heittoistuinjärjestelmiä. Yhdysvaltojen puolustusministeriö käyttää miehittämättömille ilma-aluksille sopivista tehtävistä nimitystä dull, dirty and dangerous. Dull eli pitkäväteinen työ sopii miehittämättömille ilma-aluksille, koska esimerkiksi pitkät valvontatehtävät vaativat pitkäaikaista keskittymistä, jolloin maassa voidaan vaihtaa ohjaajaa. Dirty eli likainen työ on esimerkiksi saastuneilla alueilla tapahtuvaa toimintaa, joka voisi vaarantaa terveyden. Dangerous eli vaarallinen käsittää tehtävät, joihin liittyy suuri riski, ja miehittämättömällä ilma-aluksella sitä saadaan pienennettyä. [2, s. 3; 3, s. 20]

Tulevaisuuden sodankäynnissä pystysuoraan lento- ja laskuun kykenevät eli VTOL-ilma-alukset ovat potentiaalinen vaihtoehto perinteisille kiinteäsiipisille ilma-aluksille, koska ne pystyvät operoimaan ilman kiitotietä, katapulttia tai laskuvarjoa. Tämä on huomattava etu ahtaissa paikoissa, joissa kiinteäsiipisten koneiden käyttö ei välttämättä ole mahdollista. Aikaisemmin VTOL-alusten ongelmana on ollut korkeampi hankinta- ja käyttöhintaa sekä lyhyempi toiminta-aika. Nyt kehityksen myötä pyöriväsiipiset UAV:t haastavat kiinteäsiipisten asettamia rajoja tarjoten taktisia etuja sekä mukautumiskykyä maalla ja merellä [4, s. 1; 5, s. 1]

Kiinteäsiipiset UAV:t ovat kehittyneet huomattavasti tällä vuosikymmenellä. Ne toimivat aikaisemmin pääasiassa salaisissa operaatioissa ja tykistön apuna, mutta ne ovat sittemmin osoittautuneet korvaamattomiksi taistelukentällä sekä taktisella että strategisella tasolla. Kiinteäsiipisten jännealustien miehittämättömien helikopterien kehitys on lähtenyt liikkeelle, jolloin ne tuovat uudenlaisia mahdollisuuksia miehittämättömien ilma-alusten kykyihin. Miehittämättömät helikopterit ovat myös kehittymässä moniin rooleihin sekä strategisella että taktisella tasolla. Kehityksen alussa on keskitytty niin sanottujen ISTAR-kykyjen kehittämiseen. Kuitenkin viime aikoina miehittämättömiä helikoptereita on alettu myös aseistaa, mikä kasvattaa niiden operatiivista kykyä huomattavasti sekä luo niille uusia tehtävänkuvia. Lisäksi niille on kaavailtu käyttöä haavoittuneiden evakuoinnissa ja tarkkuustoimituksissa, joihin eivät kiinteäsiipiset versiot kykene. [5, s. 1]

1.1. Tutkimusasetelma, tutkimusongelma ja rajaukset

Tutkielman lähtökohtana on kartoittaa miehittämättömien helikoptereiden suorituskyvyn kehittymistä, jota tarkastellaan neljän suorituskykyarvon avulla. Lisäksi tarkastellaan, mistä suoritusarvon mahdollinen kasvu johtuu.

Tutkielmassa vastataan seuraavaan pääkysymykseen: Miten miehittämättömien helikoptereiden suorituskyky on kehittynyt valittuna ajanjaksona?

Lisäksi vastataan kahteen alakysymykseen:

1. Mihin suorituskyvyn kehittyminen pohjautuu?
2. Mistä suorituskyvyn eri osa-alueiden kehitystarve johtuu?

Miehittämättömistä ilma-aluksista on Suomessa tehty tutkimuksia, mutta mikään niistä ei käsittele miehittämättömiä helikoptereita. Saman aihepiirin aiheesta, eli miehittämättömistä ilma-aluksista, on tehty kolme kandidaatintutkielmaa, yksi pro gradu -tutkielma ja kaksi esiupseerikurssin tutkielmaa. Kolmesta kandidaatintutkielmasta kaksi on taktiikan tutkielmia, ja ne pääasiassa käsittelevät miehittämättömien ilma-alusten käyttöä viimeaikaisissa sodissa [6; 7]. Maisteriopiskelijan pro gradussa esitellään RQ-8 Fire Scout, joka on miehittämätön helikopteri, mutta siihen ei ole sen tarkemmin syvennytty [8]. Yksi kandidaatintutkielmista on tekniikan tutkielma, jossa esitellään miehittämättömien ilma-alusten kehitystä 1990-luvulta vuoteen 2013 [9]. Se on hyvin samansuuntainen kuin tämä tutkielma, mutta käsittelee eri aihetta. Molemmat esiupseerikurssin tutkielmat ovat tekniikan tutkielmia, joissa käsitellään miehittämättömien ilma-alusten suorituskykyä ja teknologiaa [10; 11]. Kummassakaan näistä ei käsitellä miehittämättömiä helikoptereita.

Tutkielman aihe on suhteellisen uusi, sillä miehittämättömien helikopterien kehitys on lähtenyt kunnolla käyntiin vasta tällä vuosituhanella. Vaikka niillä on paljon yhtäläisyyksiä kiinteäsiipisiin miehittämättömiin ilma-aluksiin, on niiden tulevaisuuden kaavailtu rooli hyvin erilainen. Niitä kuitenkin kaavaillaan erittäin tärkeisiin operatiivisiin tehtäviin, jolloin on mahdollista, että Suomikin saattaa harkita niiden hankkimista tulevaisuudessa.

Tutkielmassa tarkastellaan sotilaskäytössä olevia tai sotilaskäyttöön tulevia miehittämättömiä helikoptereita. Yhden tutkielmassa käsiteltävänä olevan miehittämättömän helikopterin, Boeing Hummingbird A-160T:n, kehitystyö keskeytettiin hiljattain, mutta sen tekninen kehitys kuvaa hyvin koko teollisuudenalan painotusta tällä vuosituhanalla, joten se sisällytetään tutkielmaan. On hyvin mahdollista, että kehitystyötä jatketaan tulevaisuudessa, kunhan kiinnostus nousee ja rahoitus järjestyy uudestaan. Näin kävi toiselle tutkielmassa käsiteltävälle ilma-alukselle, Northrop Grummanin Fire Scoutille, kun sen kehitystyö keskeytettiin ja pian aloitettiin uudestaan [12, s. 6]. Tutkielman tarpeellisuus perustuu siihen, että miehittämättömät helikopterit ovat kehittymässä nopeasti ja kasvattavat tärkeyttään monien maiden sodankäynnissä sekä sotateknologian kehityksessä. Tutkielmassa ei siis käsitellä pelkästään siviilikäyttöön tarkoitettuja ilma-aluksia, mutta sekä siviili- että sotilaskäyttöön tulevat ovat käsittelyn piirissä. Ajanjakso rajataan käsittelemään vuosia 2000–2014, sillä suurimmat harppaukset on otettu juuri tällä vuosituhanalla. Tutkielmaan tulevan kaluston aikaisempien versioiden kehitystyö on saattanut alkaa aikaisemmin, mutta tutkimuksen kohteena olevat laitteet on kehitelty rajatulla aikavälillä.

1.2. Tutkimusmenetelmä

Tutkielmassa käytetään tutkimusmenetelmänä kvalitatiivista eli laadullista kirjallisuustutkimusta. Tutkielmassa siis analysoidaan ja luokitellaan jo aikaisemmin julkaistua materiaalia. [13, s. 42] Tämän selvityksen pohjalta pyritään tekemään johtopäätöksiä, jotta alussa asetettuihin tutkimuskysymyksiin saadaan vastaus.

Tutkielman toisena tutkimusmenetelmänä käytetään kvalitatiivista sisällönanalyysia, joka tarkoittaa dokumenttien analysointia objektiivisesti ja systemaattisesti. Dokumentilla tarkoitetaan tässä yhteydessä lähes mitä tahansa kirjoitetussa muodossa olevaa materiaalia, jota hyödynnetään tutkielman edetessä. Tällä pyritään saamaan tiivistetty, yleisessä muodossa oleva kuvaus tutkimuksen kohteena olevasta ilmiöstä. [14, s. 103]

1.3. Tärkeimmät lähteet ja lähdekritiikki

Tutkielmassa käytetään pääasiassa sähköisiä lähteitä, sillä aihe on suhteellisen uusi ja kehittyy nopeaa vauhtia. Kirjallisuuslähteitä käytetään pääasiassa miehittämättömien ilma-aluksien historian esittelyssä sekä aerodynaamisten ilmiöiden selvittämisessä.

Sähköisistä lähteistä isoimman osan muodostaa Jane's-tietokanta, josta löytyvät ilma-alusten tekniset tiedot sekä tietoa niiden kehityskulusta. Pitää muistaa suhtautua erityisesti suorituskykyarvioihin kriittisesti, sillä valmistajat saattavat kaunistella lukuja parantaakseen asemaansa kilpailussa muita yrityksiä vastaan. Sotateollisuus on kuitenkin todella iso teollisuudenala, jossa pyritään maksimoimaan voitot, ovathan suuret sotateknologiaa valmistavat yrityksetkin listautuneet pörssiin ja osakkeenomistajat haluavat voittoja. Erityisesti ilman lähettä olevien www-sivujen luotettavuutta täytyy arvioida kriittisesti ja pohtia, sopivatko ne lainkaan tutkielmaan. Vaikka periaatteessa Wikipediastakin löytyy hyviä artikkeleita, on niitä voinut muokata kuka tahansa, jolloin ne eivät välttämättä vastaa todellisuutta.

Lähteissä pitää huomioida myös niiden ajankohta: aihe kehittyy todella nopeasti, joten lähteiden tulisi olla mahdollisimman tuoreita. Esimerkiksi Yhdysvaltojen armeijan kehityskohteet ja suunnitelmat ovat muuttuneet rankasti kymmenessä vuodessa, joten ei kannata lähteä ottamaan jo valmiiksi vanhaa tietoa tutkielmaan. Lisäksi voidaan ajatella, että uuteen tietoon on sisällytetty myös vanhemmat tutkimustulokset, joten tutkielmassa kannattaa suosia mahdollisimman uusia lähteitä [13, s. 46].

Tutkielman lähteissä primäärlähteet ovat etusijalla, mutta välillä niitä ei ole saatavilla johtuen aineiston mahdollisesta turvaluokituksesta. Vaikka Yhdysvalloissa julkaisukulttuuri on avoin, ei kaikkea silti kerrota julkisuuteen, mikä pakottaa tutkijan turvautumaan sekundaarilähteisiin. Tämä tarkoittaa käytännössä epävirallisille, eli ei alkuperäisen valmistajan, sivustoille kirjoittamien tietojen hyväksikäyttöä. Toisaalta kvalitatiivisen sisällönanalyysin käyttö parantaa tutkielman luotettavuutta, koska tietoja otetaan monista eri lähteistä.

Tutkielmassa haasteita luovat myös lähteiden mahdolliset ristiriidat erityisesti suoritusarvojen kohdalla, jolloin täytyy vertailla niitä ja pyrkiä löytämään paras ja luotettavin lähde. Englanninkielisyys saattaa lisätä myös haasteellisuutta tekniikan tutkimuksessa, sillä lähteet sisältävät paljon vieraita sanoja, joiden ymmärtäminen on välttämätöntä lopputuloksen kannalta.

2. MIEHITTÄMÄTTÖMIEN HELIKOPTEREIDEN KEHITYS

Tutkielmaan valitut miehittämättömät helikopterit ovat länsimaisia, sillä länsimaiden avoin julkaisukulttuuri mahdollistaa kehityksen raportoinnin, joka on edellytys tutkielman materiaalin hankkimiselle. Kuitenkin myös muut valtiot, kuten Venäjä ja Kiina, panostavat lähteiden perusteella miehittämättömiin helikoptereihin. [12, s. 11].

Miehittämättömien ilma-alusten kehitys on tällä vuosituohannella pohjautunut vahvasti miehitettyjen ilma-alusten teknisiin ratkaisuihin. Tämä johtuu siitä, että miehittämättömien ilma-alusten markkinat eivät ole vielä tarpeeksi isot, jotta koko kehitystyö tehtäisiin aivan alusta alkaen. Tämä näkyy selvästi myös tutkielmaan valituissa ilma-aluksissa, sillä mihinkään niistä ei ole suunniteltu omaa moottoria, vaan niihin on valittu jokin jo markkinoilla oleva ratkaisu. Fire Scoutin molemmat mallit pohjautuvat runkoa myöten markkinoilla oleviin miehitettyihin helikoptereihin. [15, s. 3; 16, s. 1]

Miehittämättömien ilma-alusten menestys on tähän asti perustunut operointiin matalan intensiteettitason konflikteissa, jolloin niiden turvana on ollut käytännössä täydellinen ilmaherruus. Nykypäivän UAV:ta ei ole varusteltu toimimaan tilanteissa, jossa se saattaisi kohdata maasta ilmaan laukaistavia ohjuksia tai jopa vihollisen hävittäjän laukaisemia ohjuksia. [17, s. 3]

Toisaalta jo valmiiden ratkaisujen käyttäminen miehittämättömissä helikoptereissa tuo tiettyjä etuja verrattuna uusien kehittämiseen: Ratkaisut ovat toimiviksi todettuja ja niissä on pääsääntöisesti parempi toiminta-aika ja hyötykuorman kantokyky verrattuna nykyajan tiettyyn tarkoitukseen rakennettuihin ilma-aluksiin. [16, s. 1]

2.1. Northrop Grumman RQ-8A/MQ-8B/MQ-8C Fire Scout

Fire Scout on yhdysvaltalaisen sotateollisuusyhtiö Northrop Grummanin kehittämä pyöriväsiipinen taktinen UAV, jonka kehitystyö alkoi vuonna 2000 osana Yhdysvaltojen merivoimien VTUAV-projektia yhtiön voittaessa kilpailun sopimuksesta. Se on suunniteltu toimimaan ilman ihmisohjaajaa ahtaista tiloista, jotka vaativat kykyä nousta ja laskeutua pystysuoraan. Sen on myös määrä kyetä toimimaan itsekseen pienempien sota-alusten kannelta. [18, s. 120; 19, s. 7]

Vuonna 2000 Northrop Grumman sai 93 miljoonan dollarin sopimuksen VTUAV-projektia varten. Tavoitteeksi asetettiin kehittää pitkän toiminta-ajan alus, joka pystyy jatkuvaan yli kuuden tunnin valvontatehtävään ja jonka operatiivinen kantama on vähintään 126 mailia. Sensoreita aluksessa tulisi olemaan elektro-optinen sensoria, infrapunajärjestelmä sekä laserilla toimiva maalinosoitin. Kyseisen VTUAV-aluksen tulisi kyetä myös tekemään reaaliaikaista vaikutusarviota taistelun aikana. [18, s. 120–121]

Fire Scoutin oli määrä korvata RQ-2 Pioneer, joka on kiinteäsiipinen tiedustelu-UAV. Pioneer tarvitsee kiitotien tai laivan, jossa on sekä laukaisukatapultti että talteenottojärjestelmä. Näitä VTUAV-alukset eivät tarvitse. [18, s. 120]

Alun perin sitä kaavailtiin tiedustelu- ja tarkkuusmaalitustehtäviin sota-aluksia sekä merijal-kaväkeä tukemaan, mutta MQ-1 Predatorin menestys Afganistanissa muutti suunnitelmia. Laivasto päätti aseistaa Fire Scoutin, jolloin sen tehtävänkuvaa muuttui huomattavasti. [18, s. 120]

RQ-8A oli Fire Scoutin ensimmäinen versio ja se perustui siviiliyritys Schweizerin miehitettyyn helikopteriin mallia 330SP. Moottorina A-versiossa toimi Rolls-Roycen 250-C20 turbiinimoottori. Se lensi ensilentonsa vuonna 2000, mutta hieman tämän jälkeen Yhdysvaltojen laivasto päätti lopettaa projektin rahoittamisen, koska sen ei koettu täyttävän suunniteltuja vaatimuksia. [12, s. 6]

Northrop Grumman paranteli A-mallin runkoa ja vuonna 2003 Yhdysvaltain laivasto liittyi projektiin uudestaan tilaten seitsemän RQ-8B-konetta. Projektin nimi muutettiin MQ-8B:ksi vuonna 2006, joka korosti sen kykyä toimia monissa eri tehtävissä (M tulee sanasta ”multitrole”). B-malli perustuu siis myös 330SP:n runkoon, mutta siinä on tehokkaampi moottori. [12, s. 6]

Uusin malli MQ-8C eroaa hyvin paljon aikaisemmista malleista etenkin rungon osalta: se perustuu kaupalliseen siviiliyritys Bellin valmistamaan 407-helikopteriin, joka on huomattavasti isompi kuin Schweitzerin 330SP. Tästä huolimatta sekä 8B- että 8C-malleissa on sama ohjelmisto, avioniikka ja tukivälineet laivalla. MQ-8C lähti aluksi liikkeelle vuonna 2010 nimellä Fire-X ja se lensi ensilentonsa saman vuoden joulukuussa. Projektin taustalla on Yhdysvaltain laivaston tarve saada miehittämätön helikopteri pidemmällä toimintasäteellä ja isommalla hyötykuormalla. MQ-8C:n edut suhteessa MQ-8B-malliin ovat kaksi kertaa pidempi toimintasäde ja jopa kolminkertainen hyötykuorman kantokyky, jotka juontuvat MQ-8C:n rungon huomattavasti isommasta koosta, lisäpolttoainesäiliöistä sekä päivitetystä moottorista. [12, s. 6] Kuvasta 1 nähdään, kuinka MQ-8C:n runkona on selvästi käytetty miehiteytystä helikopterista peräisin olevaa runkoa.



Kuva 1: Northrop Grumman MQ-8C Fire Scout [12]

B ja C -mallien välillä on koneen teknisten erojen lisäksi operatiivisia eroja: kun MQ-8B-järjestelmään kuuluu kolme helikopteria, on MQ-8C-järjestelmässä ainoastaan kaksi helikopteria [12, s. 7]. Yhdysvaltain merivoimat suunnittelee hankkivansa 168 MQ-8B -helikopteria sekä 28 kappaletta isompaa MQ-8C -mallia. [20, s. 2] Taulukosta 1 nähdään Fire Scoutin eri versioiden väliset eroavaisuudet.

Taulukko 1: Northrop Grumman Fire Scoutin eri versioiden tekniset tiedot [12; 21; 22; 23]

	RQ-8A	MQ-8B	MQ-8C
Pituus	9,7 m	9,6 m	10,6 m
Toimintasäde	204 km	203 km	278 km
Maksiminopeus	204 km/h	213 km/h	259 km/h
Lakikorkeus	6096 m	6096 m	5182 m
Maksimi lentoonlähtöpaino	1202 kg	1429 kg	2722 kg
Hyötykuorma	91 kg	272 kg	453 kg
Moottorin teho	235 hv	320 hv	700 hv
Toiminta-aika	3 h	8 h	12 h

2.2. Boeing A160/160T Hummingbird

A160-projekti lähti liikkeelle vuonna 1998, kun DARPA eli Yhdysvaltojen asevoimien tutkimusorganisaatio antoi Frontier Systems -yritykselle sopimuksen häiveominaisuuksin varustelusta pyöriväsiipisestä valvonta-UAV:sta, joka kykenisi suorittamaan jopa 48 tuntia kestäviä tehtäviä. Boeing otti sopimuksen haltuunsa vuonna 2004 ja myöhemmin projekti omaksuttiin osaksi Yhdysvaltojen armeijan tulevaisuuden taistelujärjestelmät -ohjelmaa. [19, s. 6; 24, s. 1]

Projektin alussa tavoitteeksi asetettiin kehittää helikopteri, jossa on kiinteä optiminopeusroottori kaksiportaisella vaihteistolla, jolloin roottorin pyörimisnopeutta pystytään säätämään nopeuden mukaan joko hidas- tai nopealentonopeuteen. Tällä kyettäisiin vähentämään polttoaineen kulutusta ja lisäämään toimintasädettä tai hyötykuormaa. Roottorin nopeuden vähentäminen auttaisi myös minimoimaan ilma-aluksesta syntyvää melua. [19, s. 6] Boeing mainostaakin A160T:n olevan neljä kertaa hiljaisempi kuin Bell 407-helikopteri, johon pohjautuu Northrop Grummanin parhaillaan suunnitteilla oleva MQ-8C Fire Scout [25, s. 1].

Roottorin kierrosluku on helikoptereissa tavallisesti 95–102 %, mutta kevyiden ja jäykkien roottorin lapojen ansiosta pitäisi Hummingbirdin pystyä toimimaan jopa 50 % kierrosnopeudella. Tämä johtuu siitä, että tavallisessa helikopterissa lavat on suunniteltu tuottamaan nostovoimaa tietyllä kierrosluvulla, joten hyötysuhdetta ei saada lisättyä vähentämällä roottorin kierrosnopeutta. Siksi A-160:n lavat piti suunnitella aivan alusta lähtien juuri sen suunniteltuihin käyttötarkoituksiin. [26]

Vaikka A160:tä lähdettiin alun perin suunnittelemaan valvontatehtäviin [24, s. 1], on uuteen A160T-malliin mahdollista asentaa irrotettavat siivekkeet, joihin pystyy ripustamaan korkeintaan kahdeksan ohjusta [25, s. 2]. Nykyään A160T:n tehtäviksi määritellään ISR, suora hyökkäys, viestinvälitys sekä tarkkuustoimitukset maassa toimivien miehittämättömien koneiden kanssa [5, s. 4; 24, s. 1].

Prototyyppi A160 lensi ensilentonsa vuonna 2002 mäntämootorikoneella saaden nostovoimansa kolmelapaisesta komposiittiroottorista. Nykyinen A160T saa voimansa Pratt & Whitney 207D kaasuturbiinimootorista ja voima välittyy nelilapaiseen komposiittiroottoriin. Se lensi ensilentonsa vuonna 2007. Mallimerkinnän ”T” tulee juuri aluksen käyttämästä moottorista (T=turbine). [19, s. 6; 24, s. 2]

Ensimmäinen versio A-160 käytti Subarun tuottamaa auton moottoria, joka tuotti 224 kW (300 hv). Paranneltu versio ”Phase 1” A160 tuotti mäntämootorin avulla 290 kW (389 hv). Uusin versio A160T tuottaa turboshaft-mootorin avulla 485 kW (650 hv). [24, s. 4]

Alun perin Boeing ja Darpa suunnittelivat Hummingbirdiin kehiteltävän ja lopulta käytettävän dieselmootoria. Bensiinimootorien oli määrä toimia korvaavina vaihtoehtoina siihen asti, kunnes dieselversio olisi valmis, mutta se ei pysynyt koneen muiden osa-alueiden kehitystahdissa, jolloin kyseinen vaihtoehto jouduttiin hylkäämään. Tilalle haluttiin toimivaksi todettu kaupallisesti saatavilla oleva moottori, jolloin Pratt & Whitney turbiinimootori valittiin voimanlähteeksi. Tämä tarkoitti, että dieselmootorin pienempi ominaispolttoaineenkulutus ja sitä kautta pidempi toimintamatka ja toiminta-aika jäivät hyödyntämättä. Kyseiset seikat tekevät dieselmootorin houkuttelevaksi, mutta projektin osapuolet eivät enää aktiivisesti selvittäneet asiaa päätöksen jälkeen, kuten Boeingin varaohjelmavastaava Mike Lavoranda asian ilmaisee. [27] Taulukosta 2 nähdään Hummingbirdin eri versioiden tekniset tiedot.

Taulukko 2: Boeing Hummingbirdin eri versioiden tekniset tiedot [24; 28; 29]

	A-160	A-160T
Moottori	4-sylinterinen mäntämoottori	Turbiinimoottori
Teho	224 kW	485 kW
Toiminta-aika	12 h	20 h
Maksiminopeus	244 km/h	305 km/h
Hyötykuorma	225 kg	454 kg
Polttoaine	N/A	1179 kg
Toimintamatka	N/A	4167 km
Maksimi lentoonlähöpaino	N/A	2948 kg
Lakikorkeus	4572 m	9145 m

Hummingbirdissä on sulavalinjainen runko, joka on tehty kevyestä hiilikuidusta. Lisäksi siinä on sisäänvedettävä laskuteline, jolloin vastusta saadaan pienennettyä ja näin suorituskyky paranee. Roottorin lavat on suunniteltu tuottamaan optimimäärä nostovoimaa suurella nopeusalueella ja ne on tehty komposiittimateriaaleista, jolloin niiden paino on pieni ja jäykkyys suuri. Näillä ratkaisuilla A-160T on saatu todella suorituskykyiseksi. [5, s. 4] Ilma-aluksen runko on selvästi erilainen kuin miehitetyissä helikoptereissa, kuten kuvasta 2 nähdään.



Kuva 2: Boeing A-160T Hummingbird [5]

Nykyajan sodankäynnissä on yleistynyt toimiminen omalta maaperältä: esimerkiksi Global Hawk ja Predator -miehittämättömiä kiinteäsiipisiä ilma-aluksia ohjataan Yhdysvalloista asti, kun fyysisesti koneet sijaitsevat Lähi-idässä. Hummingbirdiä ohjataan tällä hetkellä paikalle sijoitetusta maa-asemasta, jossa on kaksihenkinen miehistö: yksi ohjaaja ja yksi sensorilaitteiden käyttäjä. Hummingbirdiin ei ole suunnitteilla samaa kauko-ohjausta kuin aiemmin mainituissa ilma-aluksissa. [5, s. 4]

Hummingbirdin kaavailtu etu suhteessa muihin samaan tarkoitukseen suunniteltuihin laitteisiin on sen kyky lentää todella korkealla. Se pystyisi lentämään myös hitaasti, jolloin erityisesti MTI (Moving Target Indicator) -laitteen toimintaedellytys olisi paras mahdollinen ja korkeuden ansiosta se olisi MANPAD-järjestelmien kantaman ulkopuolella. DARPA kiinnostui alun perin A-160-projektista edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi myös sen pitkstä toiminta-ajasta. [28]

2.3. Schiebel Camcopter 5.1/S-100

Schiebel Elektronische Gerate GmbH -yhtiön valmistama Camcopter on pienempikokoinen miehittämätön helikopteri, joka on pääasiallisesti kehitetty erilaisiin valvontatehtäviin. Camcopteria ryhdyttiin suunnittelemaan 1990-luvun puolivälissä humanitaarisiin operaatioihin, joista Schiebelillä oli jo aikaisempaa kokemusta. Ensimmäinen malli 3.1, joka sai voimansa moottorisahan moottorista, kehiteltiin yhteistyössä kauko-ohjattavien lennokkien harrastajien kanssa. Lopputulokseen ei oltu täysin tyytyväisiä, joten apua lähdettiin hakemaan Wienin teknillisestä yliopistosta. Tämän yhteistyön myötä kehitettiin mallit 4.5 ja 5.0, joissa oli kyky hyödyntää esimerkiksi satelliittinavigointia. [30, s. 1]

Alkuperäinen moottori ei ollut kuitenkaan tarpeeksi luotettava eikä tarpeeksi tehokas massan kasvaessa, jolloin vuonna 1998 Camcopter sai uuden kaksitahtisen moottorin. Mallimerkinäksi tuli 5.1, ja myöhemmin helikopteriin asennettiin vielä pyörillä varustettu laskuteline. Camcopter 5.1 on täysin autonominen miehittämätön ilma-alus, joka rakennetaan kokonaan teollisista komponenteista. Se oli myös ensimmäinen VTOL-UAV, joka pystyi tekemään lento-oonlähdön ja laskun manuaalisesti liikkuvalla laivalta muuttuvissa tuuliolosuhteissa. [30, s. 1–2; 31, s. 1]

Camcopter 5.1 on rakennettu kevyistä ja kestävästä materiaaleista. Siinä on kaksilapainen pää- ja peräroottori sekä kolmipyöräinen laskuteline. Sen kantamiseen riittää ihmisvoima, joka johtuu sen alhaisesta massasta, sillä kuivapainoa helikopterilla on ainoastaan 43 kilogrammaa ja maksimi lentoonlähtömassa 68 kilogrammaa. Voimanlähteenä 5.1-mallissa toimii Limbach L 275 E ilmajäähdytteinen kaksitahtimoottori kaukokäynnistysominaisuudella, joka tuottaa 22 hevosvoimaa. Polttoainetta laitteeseen mahtuu 13,5 litraa ja lisätankeilla kapasiteettia saadaan nostettua 30,5 litraan. [31, s. 1–3]

Camcopter S-100 on huomattavasti suorituskykyisempi ja kehittyneempi kuin aiemmat Camcopter-mallit. Se lensi ensilentonsa vuonna 2004, ja vuoden 2012 loppupuolella Schiebelillä oli sopimus yli 150 S-100-helikopterista eri maiden kanssa. Sitä käytetään sekä siviili- että sotilaspuolella. Siviilipuolella sovellukset ovat esimerkiksi yleisötilaisuuksien valvonta, jota se on suorittanut talviolympialaisissa 2014 se valvoen olympiakylää. Sitä on myös hiljattain ryhdytty käyttämään huumeiden salakuljettajien etsintään. [32, s. 1–4] Yksi S-100 UAS sisältää kaksi ilma-alusta, hyötykuorman, ohjausaseman sekä tukeutumistarvikkeet [32, s. 6]. Taulukosta 3 nähdään Camcopterin eri mallien tekniset tiedot.

Taulukko 3: Schiebel Camcopterin eri mallien tekniset tiedot [31; 32]

	5.1	S-100
Moottori	Limback L 275 E -kaksitahtinen mäntämoottori	Austron AE50R -wankelmoottori
Teho	22 hv	55 hv
Matkalentonopeus	91 km/h	102 km/h
Maksimi lentoonlähtömassa	68 kg	200 kg
Hyötykuorman kantokyky	8 kg	50 kg
Lakikorkeus	3000 m	5485 m
Toiminta-aika	6 h	6 h
Toimintasäde	100 km	180 km

S-100-mallissa on myös kaksilapainen pää- ja peräroottori kuten 5.1-mallissa. Sen lisäksi siinä on korkeusperäsin. Runko on virtaviivainen ja laskutelineenä toimii kaksi jalasta sekä vahvistettu kärki korkeusperäsimessä. S-100 on huomattavasti painavampi kuin edeltäjänsä tyhjäpainon ollessa 110 kilogrammaa ja maksimi lentoonlähtöpaino 200 kilogrammaa. Moottorina S-100-mallissa on Austron AE50R -Wankelmoottori, joka tuottaa 55 hevosvoimaa. Schiebel suunnittelee raskaan polttoaineen moottoriversiota, jonka on määrä valmistua vuonna 2014. Polttoainetta sisäisiin tankkeihin mahtuu 57 litraa, jolla saavutetaan kuuden tunnin toiminta-aika. Lisäpolttoainetankeilla toiminta-aika saadaan kasvatettua kymmeneen tuntiin. [32, s. 4–7] Kuvasta 3 nähdään Camcopterin rungon muotoilu, joka Hummingbirdin tapaan poikkeaa suuresti miehitettyjen helikoptereiden muotoilusta.



Kuva 3: Schiebel Camcopter S-100 [12]

Vaikka S-100 on suunniteltu ISTAR-tehtäviin, on se toiminut testialustana Thales-yhtiön testatessa Lightweight Multirole Missile -ohjusta. Schiebel ei ole panostanut aseiden integroimiseen helikopteriin, mutta uskotaan, että jossakin vaiheessa S-100 pystyy toimimaan myös aselavettina. [33, s. 5]

Camcopter S-100 -mallin ominaisuudet tekevät siitä erittäin soveltuvan juuri laivastokäyttöön: Ilman apulaitteita määrällä kannella se pysyy paikallaan jopa 15 asteen kallistuksessa ja kestävän laskuteline rakenteen ansiosta se kestää jopa kymmenkertaisen kiihtyvyyden monikeran. Valmistajan mukaan laivasto-operaatioissa on tärkeämpää päästä tukevasti maahan kuin tehdä pehmeä lasku, jolloin rakenteiden kestävyys korostuu. [19, s. 2]

Tällä hetkellä Schiebel kehittää uutta S-200-mallia, jonka on tarkoitus täyttää vaatimukset pidemmälle toiminta-ajalle ja hyötykuormalle. Se on tällä hetkellä prototyypivaiheessa ja siinä tulee olemaan isompi runko kuin S-100-mallissa, mutta maa-asetat tulevat olemaan yhteensopivia molempien versioiden kanssa. Sen painoksi on arvioitu 400–500 kg ja hyötykuorman kantokyvyksi 100–200 kg. [19, s. 3]

2.4. Saab Skeldar V-150/V-200

Skeldar on ruotsalaisen lentokone- ja puolustusväline-teollisuusyhtiö Saabin valmistama miehittämätön helikopteri. Sen kehitystyö alkoi vuonna 2004 perustuen ruotsalaisen CybAero-yrityksen valmistaman APID-miehittämättömän helikopterin runkoon. Ensimmäinen versio Skeldar 5 suoritti ensilentonsa toukokuussa 2006. Seuraavaksi kehitystyö alkoi V-150-variantin kohdalla, joka on melkein identtinen APID 55 -mallin kanssa. Erona niiden välillä oli lähinnä Skeldarin kulmikkaampi runkorakenne sekä jalaslaskutelineen käyttö verrattuna APIDin pyörälaskutelineisiin. APID on alun perin Ruotsin asevoimien tutkimuslaitoksen sekä Linköpingin yliopiston 1980-luvun loppupuolella aloittaman projektin tuotos. [34, s. 1–2; 35, s. 1]

Vuonna 2007 Saab ryhtyi lentämään Skeldar 150 -mallilla koelentoja. Koneessa käytettiin kaksitahtista nestejäähdytteistä mäntämoottoria, joka tuotti 55 hevosvoimaa. Kehitystä jatkettiin ja vuonna 2008 Skeldar V-150 sai uuden moottorin, ohjainjärjestelmät, avioniikat, vaihteiston sekä uudistetut laskutelineet. V-150-mallissa oli kaksilapainen pää- ja pyrstöroottori. [34, s. 1–2]

Skeldar V-200 lensi ensilentonsa toukokuussa 2010. Erona V-150-malliin on isompi lentoonlähtöpaino ja kuorman kantokyky, isompi huippunopeus ja lakikorkeus sekä moottori. Seuraavan vuoden toukokuussa Saab ilmoitti tehneensä koelentoja Skeldarilla, jonka voimanlähteenä toimi Hirth Motors -yhtiön heavy fuel (raskasöljy) -moottori. V-200-mallin runko on tehty hiilikuidusta, titaanista ja alumiinista. Pää- ja pyrstömoottorit ovat myös kaksilapaisia kuten edellisessä mallissa ja hyötykuorma asennetaan rungon alapuolelle. Päämoottori on irrotettavissa, jolloin alus pystyy kulkemaan peräkärjessä. [34, s. 2–3] Taulukosta 4 nähdään Skeldarin eri versioiden tekniset tiedot.

Taulukko 4: Saab Skeldarin eri versioiden tekniset tiedot [34; 35]

	V-150	V-200
Moottori	Kaksitahtinen mäntämoottori	Kaksitahtinen mäntämoottori
Teho	40,5 kW	42,7 kW
Maksiminopeus	100 km/h	130 km/h
Lakikorkeus	3500 m	4000 m
Toimintasäde	100 km (tietovuon kantama rajoittaa)	100 km (tietovuon kantama rajoittaa)
Toiminta-aika	4h	5h
Maksimi lentoonlähtöpaino	150 kg	200 kg
Hyötykuorma	25 kg	40 kg

V-200-malli on hyvin mukautuva järjestelmä, sillä sen maaohjausjärjestelmän voi asentaa lähes mihin tahansa ajoneuvoon ja näin kykenee toimimaan myös esimerkiksi tukikohdan liikkussa paikasta toiseen. Se pystyy itsenäisesti toimimaan ennalta määritettyjen komentojen avulla, kuten valvomaan tiettyä kartasta osoitettua paikkaa, eikä ohjaajan tarvitse puuttua sen lentorataan. Lentoonlähtöön ja laskeutumiseen V-200 vaatii 10 metrin halkaisijaltaan olevan alueen, joten se pystyy toimimaan myös ahtaissa paikoissa, joissa kiinteäsiipisten vastineiden käyttö ei olisi edes mahdollista. [34, s. 3–4]

Skeldar V-200 on STANAG 4586 -yhteensopiva ja suunnitelmassa on saada sille hyväksyntä operointiin valvotussa ilmatilassa [36]. Saabin tavoite olikin Skeldaria suunniteltaessa luoda tarpeeksi kestävä ja lentokelpoinen laite, joka pystyy operoimaan kaikissa ilmatilaluokissa ja vaikeissa olosuhteissa, kuten laivan kannelta. Lisäksi tärkeitä ominaisuuksia tämänkaltaiselle ilma-alukselle ovat korkea käytettävyyys, helppokäyttöisyys sekä hyvä hinta-laatusuhde. [37, s. 1] Kuvasta 4 nähdään V-200-mallin virtaviivainen muotoilu sekä alusten kannelta operointiin soveltuvat jalakset.



Kuva 4: Saab Skeldar V-200 [12]

3. KEHITYKSEN VAIKUTUKSET

Miehittämättömien ilma-alusten heikkoudet viime vuosituhaten loppupuolella olivat selvästi moottori, vaihteisto, hyötykuorma, ohjausjärjestelmä ja tietovuo. Lisäksi miehittämättömien ilma-alusten todellinen suorituskyky sekä asenneongelma ohjaajan sijainnista ilma-aluksen sijasta maa-asemassa mietityttivät projekteihin osallistuneita maita. Kuitenkin erityisesti niiden maiden asevoimat, joilla on selkeä vihollinen, pieni budjetti ja rajattu henkilöstö, panostivat niiden kehittelyyn toivoen iskukyvyyn lisääntymistä. Sensoriteknologian kehittyessä kevyemmäksi, pienemmäksi ja halvemmaksi saataisiin pienistä UAV:stä kyvykkäämpiä ja kustannustehokkaampia. [38, s. 1]

Tämän luvun tarkoituksena on tarkastella, miten miehittämättömät helikopterit ovat kehittyneet 2000-luvulla valittujen osa-alueiden avulla. Valitut neljä osa-aluetta liittyvät olennaisena osana helikoptereiden suorituskykyyn ja antavat selvän kuvan tapahtuneen kehityksen laadusta.

3.1. Hyötykuorman kantokyky

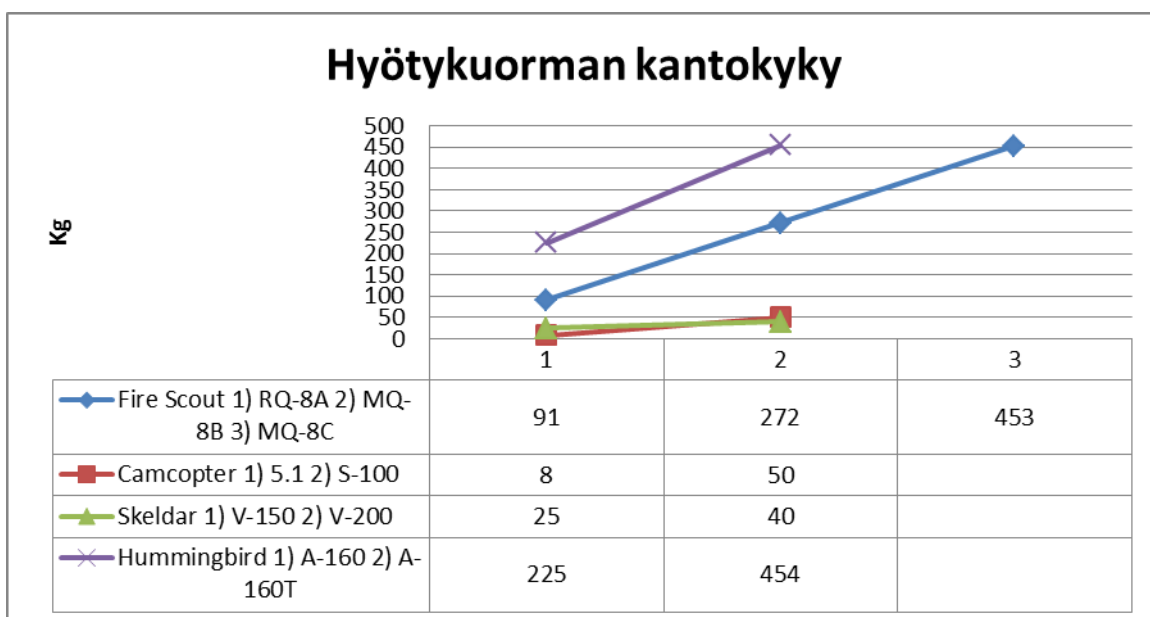
Hyötykuorma tarkoittaa ilma-aluksen kuljettamaa lastia, kuten sensoreita, ampuatarvikkeita sekä muuta kuormaa, joka ei kuulu koneen normaaliin operointiin. Siksi ilma-aluksen lennolla käyttämää polttoainetta ei lasketa mukaan.

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L \quad [39, s. 81]$$

Yllä oleva kaava on nostovoiman kaava, jossa esiintyvät muuttujat tiheys (ρ), nopeus (V), pinta-ala (S) ja nostovoimakerroin (C_L). Helikopteri tuottaa nostovoimaa samalla periaatteella kuin kiinteäsiipinen ilma-alus: lavat liikkuvat ja näin saavuttavat suhteellisen ilmanopeuden. Lapa toimii silloin kuten siipi, eli kun se saavuttaa kohtauskulmaa, syntyy paine-ero, joka tuottaa nostovoimaa. Yllä olevasta kaavasta nähdään, että nostovoimaa voidaan lisätä kasvattamalla jotain neljästä muuttujasta: ilman tiheyttä, suhteellista ilmanopeutta, lavan pinta-alaa tai nostovoimakerrointa. Ilman tiheyttä ei ole mahdollista hallita, joten nostovoiman lisäämiseksi täytyy nostaa jotain kolmesta jäljelle jäävästä arvosta. Ilmanopeutta saadaan aikaan yksinkertaisesti lisäämällä roottorin lapojen nopeutta, mutta tässä tulee vastaan ongelmia: taantuvan lavan sakkaaminen sekä äänennopeuden ylittyminen etenevällä lavalla. Nopeutta ei siis voida lisätä ottamatta huomioon lavan muotoilua ja kokoa, jolloin täytyy tehdä kompromisseja myös roottorin halkaisijan suhteen. Lavan pinta-alaa voidaan kasvattaa, mutta samalla lavan aerodynaamiset ominaisuudet muuttuvat ja massa kasvaa. Nostovoimakerroimen kasvattaminen liittyy myös lavan muotoiluun. Nostovoiman lisääminen vaatii myös moottorilta enemmän tehoa, jolloin isompi moottori on raskaampi. Hyötykuorman kantokyvyn lisääminen on siis tasapainottelua, jossa suunniteltu käyttötarkoitus määrää kehityksen suunnan.

Hyötykuorman kantokyky on tärkeä ominaisuus nykyajan lentolaitteessa. Koko ajan kehitetään entistä parempia laitteita, jotka halutaan asentaa ilma-alusten mukaan ja näin parantaa niiden operatiivista kapasiteettia. Miehitämättömien helikopterien etuna miehitettyihin verrattuna on ohjaajan sekä ohjaajan vaatimien järjestelmien puuttuminen, jolloin tilaa ja kantokykyä jää entistä enemmän erilaisille valvonta- ja asejärjestelmille.

Taulukko 5: Miehitämättömien helikoptereiden hyötykuorman kantokyky



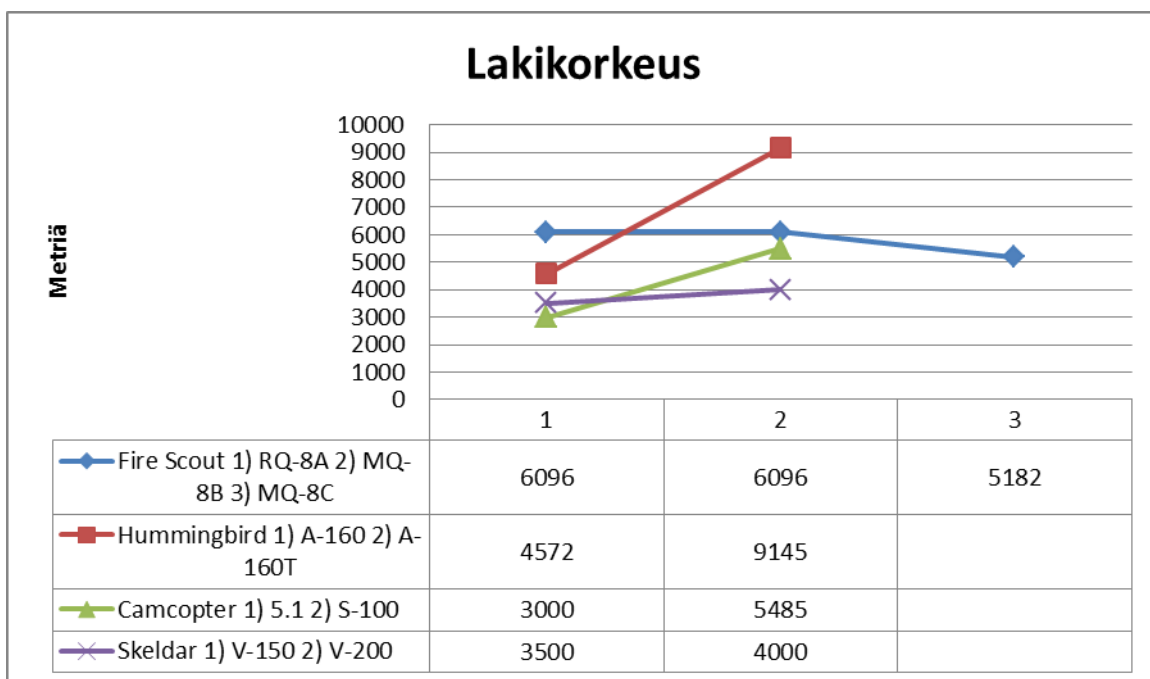
Taulukosta 5 nähdään, että kaikilla tutkielmassa käsiteltävistä miehittämättömistä helikopteista hyötykuorman kantokyky on parantunut. Fire Scoutin, Camcopterin ja Hummingbirdin kehitys johtuu pääasiassa moottoritehon kasvusta, joka mahdollistaa suuremman massan kuljettamisen. Fire Scoutin runko on vaihtunut, jolloin on mahdollista kuljettaa isompia hyötykuormia. Hummingbirdin moottori muuttui täysin mäntämoottorista turbiinimoottoriin, jonka lisäksi sen rungon alle tuli hyötykuormaa varten erillinen tila. Skeldarilla kantokyvyn nousu johtuu todennäköisesti uudesta rungosta, johon saadaan asennettua enemmän hyötykuormaa.

3.2. Lakikorkeus

Lakikorkeus on tärkeä arvo, kun ajatellaan miehittämättömien helikopterien tämän hetken käyttötarkoitusta eli tiedustelua ja valvontaa. Mitä korkeammalla ne lentävät, sitä todennäköisemmin ne ovat vihollisen vaikuttamisen ulkopuolella.

Lakikorkeus on käytännössä korkeus, jossa P_R eli tarvittava teho ylittää käytössä olevan tehon P_A . Helikopterin nostovoimantuotto perustuu ilmassan kiihdyttämiseen, joten noustessa tiheyskorkeuden kasvaessa moottori joutuu tekemään enemmän työtä kiihdyttääkseen saman massan ilmaa. Tietyllä tiheyskorkeudella tarvittaisiin enemmän moottoritehoa, kuin moottori pystyy tuottamaan, jolloin korkeutta ei voida enää nostaa. [39, s. 188]

Taulukko 6: Miehittämättömien helikoptereiden lakikorkeudet



Kaikilla muilla miehittämättömillä helikoptereilla lakikorkeus on noussut lukuun ottamatta Fire Scoutia, kuten taulukosta 6 nähdään. Hummingbirdillä kehitys johtuu pääasiassa voimanlähteen vaihtumisesta mäntämoottorista turbiinimoottoriin. Camcopterilla tehoa on uudessa versiossa kaksinkertaisesti vanhempaan nähden, joka selittää suoritusarvon nousua. Skeldarin nousu on ollut suhteellisen vähäistä, mutta tehoa ei ole uudessa versiossa aikaisempaan verrattuna lisätty kovin paljoa. Fire Scoutin uusimman version lakikorkeus on pudonnut, mikä on seurausta huomattavasti painavammasta koneesta verrattuna aiempiin malleihin.

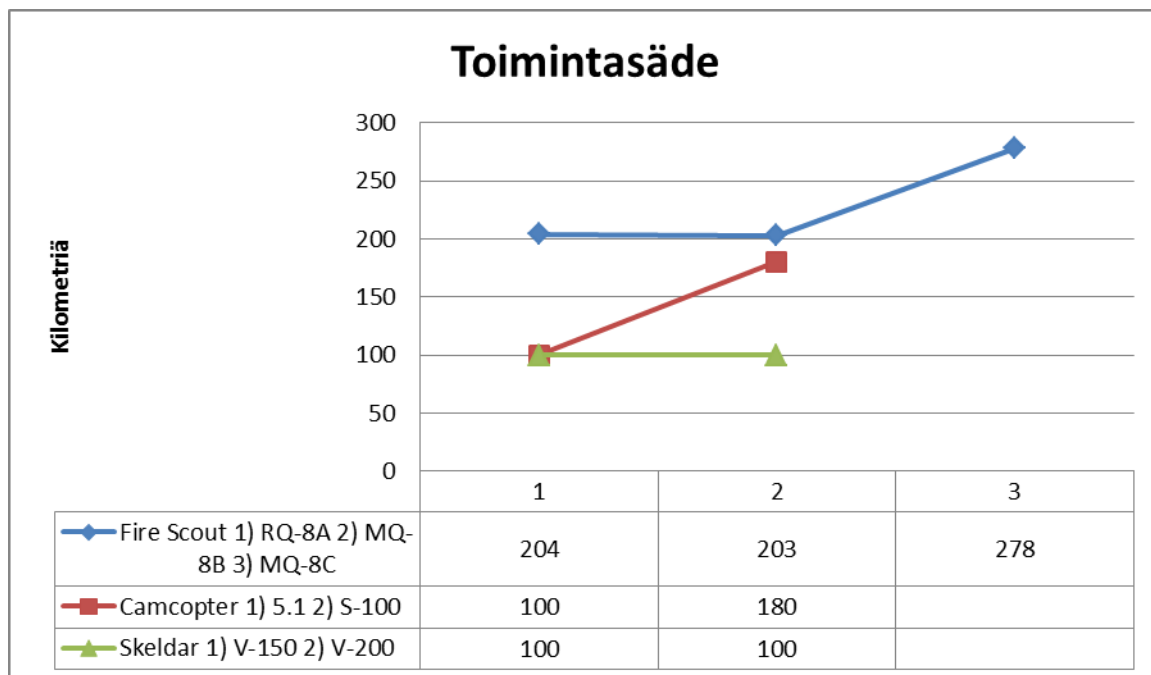
3.3. Toimintasäde

Toimintasäde vaikuttaa kriittisesti miehittämättömien helikoptereiden operatiiviseen toimintaan: Voiko niitä lähettää tiettyä tehtävää suorittamaan, vai loppuuko polttoaine tai maaseman kantama kesken? Fire Scoutin tapauksessa voidaan taulukosta 7 nähdä, että konetyypin vaihduttua toimintasäde on kasvanut huomattavasti. MQ-8C on hyvin paljon isompi, joten siihen mahtuu enemmän polttoainetta.

Toimintasäde määritellään etäisyydeksi, jonka ilma-alus pystyy etenemään, suorittamaan määränpäässä tehtävänsä ja palaamaan lähtöpaikkaansa. Hummingbird A160T:n lähteistä löytyi ainoastaan toimintamatkan arvo, mutta koska aikaisemman mallin, Hummingbird A160:n, lähteistä ei löytynyt lainkaan toimintasädettä tai -matkaa, ei arvon puuttuminen vaikuta tutkimuksen tuloksiin. Toimintamatka tarkoittaa taasen matkaa, jonka ilma-alus pystyy lentämään tietyllä lentoonlähtömassalla ja polttoainemäärällä [40, s. 173].

Pisin toimintasäde helikopterilla saavutetaan, kun lennetään parhaalla nostovoima-vastusuhteella. Tuulettoman olosuhteen nopeus saadaan tehontarve-nopeus-kuvaajasta piirtämällä origosta tangentti käyrän kohdalle. [40, s. 173]

Taulukko 7: Miehitämättömien helikoptereiden toimintasäteet



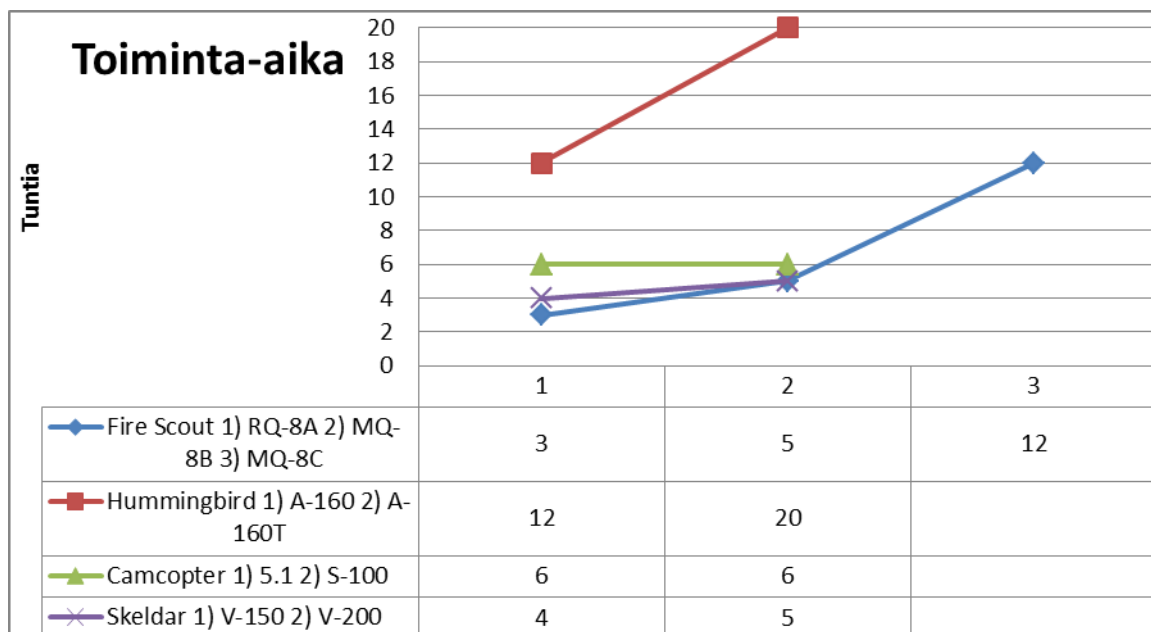
Taulukosta 7 nähdään, että Fire Scoutin ja Camcopterin toimintasäde on noussut, kun taas Skeldarin on pysynyt samana. Skeldarin kehityksen puuttuminen johtuu tietovuon rajoituksista, joka rajoittaa toimintasäteen 100 kilometriin. Fire Scoutilla tavoitteena ollut toimintasäteen kasvattaminen on siis toteutunut.

3.4. Toiminta-aika

Toiminta-aika on yksi tärkeimmistä miehitämättömän ilma-aluksen eduista miehitettyihin verrattuna. Miehitetyissä ilma-aluksissa ongelmaksi muodostuu ohjaamossa istuvan ihmisen toimintakyvyn lasku, joka on väistämätöntä suoritettaessa pitkäaikaista valvontatehtävää. Miehitämättömillä ilma-aluksilla henkilöstöä pystytään vaihtamaan tehtävän aikana, jolloin kyseistä ongelmaa ei ilmene. Lisäksi toiminta-ajan tärkeyttä korostaa tieto siitä, että lentokierrosten lukumäärä vaikuttaa onnettomuustiheyteen ja huoltokustannuksiin enemmän kuin lentotuntien lukumäärä. Yksi syy tähän on ohjaajien rajallinen näkökenttä johtuen kameroiden rajallisuudesta, jolloin jokainen lento-ohjauksen vaihtaminen lisäävät onnettomuusriskiä. Tämä tarkoittaa siis, että kustannuksia saadaan vähennettyä kehittämällä pidemmän toiminta-ajan ilma-aluksia. [41, s. 1]

Miehittämättömien helikoptereiden toiminta-aika perustuu käytännössä polttoaineen kulutuksen ja kantokyvyn suhteeseen, jos muita rajoittavia tekijöitä ei ole. Pisin toiminta-aika saavutetaan helikopterilla minimitehontarpeen nopeudella, riippumatta siitä onko helikopterissa mäntä- vai turbiinimoottori. Tämä johtuu siitä, että polttoaineen virtaus kasvaa tehon kasvaessa, joten pienempi tehontarve tarkoittaa myös pienempää polttoaineenkulutusta. [39, s. 184–186]

Taulukko 8: Miehittämättömien helikoptereiden toiminta-ajat



Taulukosta 8 nähdään, että toiminta-aika on selvästi kehittynyt Fire Scout ja Hummingbird -helikoptereilla, jotka ovat huomattavasti suurempimassaisia kuin kaksi muuta. Fire Scoutin toiminta-aika on kehittynyt pääasiassa rungon vaihtumisen takia, jolloin MQ-8C pystyy kantamaan huomattavasti enemmän polttoainetta mukanaan. Toiminta-ajan lisäys oli Yhdysvaltojen merivoimien tärkeä päämäärä, kun C-mallia lähdettiin kehittämään [12, s. 6]. Hummingbirdin tapauksessa syy on todennäköisesti sama, eli polttoaineen kantokyky on lisääntynyt ja näin ollen myös toiminta-aika. Moottoritekniikassa ei ole tapahtunut niin suuria muutoksia, että se selittäisi suurta osaa toiminta-ajan noususta. Camcopterilla ja Skeldarilla muutos on joko hyvin pieni tai sitä ei ole ollut lainkaan. Tämä johtuu niiden pienemmästä massasta, jolloin polttoainemäärää ei voida lisätä vähentämättä ensin esimerkiksi hyötykuorman määrää. Toisaalta niiden suunniteltu käyttötarkoitus on hyvin erilainen kuin kahdella isommalla miehittämättömällä helikopterilla, joten kehityksessä on panostettu eri asioihin. On todennäköisesti koettu, että noin viiden tunnin toiminta-aika on täysin riittävä niiden operatiiviseen toimintaan.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Miehittämättömien helikoptereiden kehitys on ollut suurta 2000-luvulla. Tuloksista näkyy, mitkä osa-alueet ovat olleet kehitystyötä tekeville yrityksille tärkeitä, mikä samalla reflektoi asiakaskunnan toiveita. Ilma-alusten välillä kehityksen painopisteissä on selviä eroja, mitkä selittyvät suunnitellun käyttötarkoituksen kautta: yli 2700 kilogrammaa painava Fire Scout MQ-8C on varmasti suunniteltu eri tehtäviin kuin 200 kilogrammaa painava Camcopter S-100.

Kaikilla tutkimuksen miehittämättömillä helikoptereilla maksimi lentoonlähtömassa on kasvanut, mikä viestii tarpeesta kasvattaa suoritusarvoja. Miehittämättömillä helikoptereilla fyysisen koon kasvaminen ei ole yleensä haluttu ominaisuus, koska yksi niiden eduista suhteessa kiinteäsiipisiin vastineisiin on tarvittun tilan pienuus. Toisaalta välillä joudutaan tekemään kompromisseja, kuten Fire Scoutin tapauksessa, jotta saadaan tietyt suorituskykyvaatimukset täytettyä.

Hyötykuorman kantokyky on ollut selvästi tärkeä osa-alue kaikilla konetyypeillä. Teknologian hinnan noustessa operoijat haluavat järjestelmiltä kykyä suoriutua monista eri tehtävistä, sillä ei haluta hankkia joka tarkoitukseen omaa järjestelmää. Hyötykuorman kantokyvyn kasvassa voidaan koneisiin asentaa useampia sensoreita, jolloin yksi ilma-alus kykenee suorittamaan samanaikaisesti eri tehtäviä. Tämän myötä kustannustehokkuus kasvaa, joka on tärkeää erityisesti länsimaissa nykypäivänä. Jatkossa hyötykuorman kantokyky tulee todennäköisesti nousemaan etenkin suuremman lentoonlähtömassan miehittämättömillä helikoptereilla, jos niiden kaavailtu käyttötarkoitus muuttuu myös aselavetiksi. Tämä on nähtävillä esimerkiksi Fire Scoutissa, jonka tehtävänkuva on laajentunut aseistuksen myötä.

Lakikorkeuden osalta kehitys tulee todennäköisesti hidastumaan tai pysähtymään, joka johtuu teknisistä rajoituksista liittyen ilman tiheyden pienenemiseen korkeuden kasvaessa. Jos tavoitellaan mahdollisimman suurta lakikorkeutta, on järkevämpää toteuttaa se kiinteäsiipisillä vastineilla, koska kiinteän siiven nostovoimantuottoa voidaan kasvattaa helposti siipipinta-alaa kasvattamalla. Lisäksi suihkumoottoreilla varustettuna ne pystyvät optimoimaan polttoaineenkulutustaan korkealla, mikä on tärkeää etenkin ISTAR-käyttöön tarkoitetuissa ilmaaluksissa tavoiteltaessa pitkää toiminta-aikaa. Lakikorkeuden etuna on mahdollisuus säilyä vihollisen asevaikutuksen ulkopuolella, mikä korostuu etenkin konflikteissa, joissa vastassa on alkeellisempaa teknologiaa käyttävä vastus. Ammusilmatorjunnassa luotien kantama on edelleenkin rajallinen, joten tämä voidaan välttää nostamalla toimintakorkeutta. Nykyajan suurvaltojen ohjusilmatorjunta-aseissa on toisaalta hyvin pitkä kantama, joten asevaikutuksen ulkopuolelle ei päästä nostamalla korkeutta. Ratkaisuna tähän on häiveteknologia, jota painotetaan hyvin paljon sotateknologiassa.

Toimintasäde on kasvanut pääosin polttoainekapasiteetin kasvun myötä, joka on seurausta moottoritehon kasvusta. Skeldarin toimintasädettä rajoittaa tietovuon kantama, jota saadaan varmasti tulevaisuudessa pidennettyä. Lisäksi toimintasädettä pystytään nykyään kasvattamaan liikuteltavien maa-asemien ansiosta.

Kahden miehittämättömän helikopterin, Fire Scoutin ja Hummingbirdin, toiminta-aika on kasvanut huomattavasti valitun ajanjakson aikana. Kehityksestä huomaa, että kyseinen suoritusarvo on keskeinen kehityskohde niiden operatiivisessa suorituskyvyssä. Camcopterin ja Skeldarin toiminta-ajat eivät sen sijaan ole kasvaneet paljoa, joka johtuu todennäköisesti erilaisesta käyttötarkoituksesta. Ei siis ole tarvetta pidentää niiden ilmassaoloaikaa, koska se lisäisi massaa entisestään lisääntyneen polttoainekuorman myötä. Tällöin myös moottoritehoa täytyisi lisätä. Jälleen kerran on kyse kompromisseista, sillä pidempi toiminta-aika kasvattaisi minkä tahansa tiedustelutarkoitukseen suunnitellun ilma-aluksen suorituskykyä, mutta erityisesti pienikokoisten ilma-alusten vahvuus, pieni tilantarve, heikkenisi.

LÄHTEET

- [1] Christopher A. Jones. *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) An Assessment of Historical Operations and Future Possibilities*. Air Command and Staff College. 1997. [viitattu 28.4.2014]. Saatavissa: <https://www.fas.org/irp/program/collect/docs/97-0230D.pdf>
- [2] Douglas W. Elmendorf. *Policy Options for Unmanned Aircraft Systems*. Congressional Budget Office. 2011. [viitattu 28.4.2014]. Saatavissa: <http://www.cbo.gov/sites/default/files/cbofiles/ftpdocs/121xx/doc12163/06-08-uas.pdf>
- [3] *Unmanned Systems Integrated Roadmap*. United States Department of Defence. 2013. [viitattu 29.4.2014]. Saatavissa: <http://www.defense.gov/pubs/DOD-USRM-2013.pdf>
- [4] *Tactical UAVs: redefining and refining the breed*. International Defence Review. 2005. Posted 10.8.2005 [viitattu 29.4.2014]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1104826&Pubabbrev=IDR>
- [5] *Spinning around: UAV revolutions open up battlefield opportunities*. International Defence Review. 2009. Posted 14.4.2009 [viitattu 28.4.2014]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1106239&Pubabbrev=IDR>
- [6] Ikonen, J. *Miehittämättömän ilma-aluksen hyödyt ja haitat ilmatiedustelussa operaatio Enduring Freedomissa*. Kandidaatintutkielma. Helsinki, 2012. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos. 28 s.
- [7] Selander, O. *Aseistettujen UAV:iden käyttö Afganistanin sodassa*. Kandidaatintutkielma. Helsinki, 2012. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos. 26 s.
- [8] Kananen, J. *Miehittämättömät ilma-alukset, niiden kehitys sekä käyttö viimeaikaisissa sodissa*. Pro gradu -tutkielma. Helsinki, 2007. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos. 61 s.
- [9] Vilhunen, E. *Miehittämättömien ilma-alusten tekninen kehitys 1990-luvulta nykypäivään*. Kandidaatintutkielma. Helsinki, 2013. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 28 s.
- [10] Lindqvist, T. *Nykypäivän miehittämättömien ilma-alusten suorituskyky*. Esiupseerikurssin tutkielma. Helsinki, 2012. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 30 s.

- [11] Puuperä, S. *Miehittämätön taisteluilma-alus UCAV, teknologiakatsaus*. Esiupseerikurssin tutkielma. Helsinki, 2009. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 23 s.
- [12] Drwiega, Andrew. *Rise of the rotary-wing UAS*. Jane's Defence Weekly. 2013. Posted 12.12.2013 [viitattu 6.5.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1595801&Pubabbrev=JDW>
- [13] Lappalainen, E., Jormakka, J. *Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa*. Helsinki: Edita Prima Oy, 2004. 203 s. ISBN 951-25-1540-7.
- [14] Tuomi, J., Sarajärvi, A. *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. 5. painos. Helsinki: Tammi, 2009. 175 s. ISBN 978-951-31-4865-2.
- [15] *On the horizon: are the next generation of UAVs ready to takeoff?* International Defence Review. 2012. Posted 11.12.2012 [viitattu 9.10.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1533844&Pubabbrev=IDR>
- [16] *Executive Overview: IHS Jane's All the World's Aircraft: Unmanned*. Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets. 2014. Posted 5.3.2014 [viitattu 24.11.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1317973&Pubabbrev=JUAV>
- [17] *Briefing: Unmanned unbound*. Jane's Defence Weekly. 2010. Posted 16.8.2010 [viitattu 1.12.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1184461&Pubabbrev=JDW>
- [18] Yenne, B. *Attack of the Drones*. USA: Zenith Press, 2004. 127 s. ISBN 0-7603-1825-5.
- [19] *All hands on deck: the sky's the limit for shipboard UAVs*. Jane's Navy International. 2009. Posted 20.5.2009 [viitattu 5.5.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1206976&Pubabbrev=JNI>
- [20] *US Navy creates first hybrid manned/unmanned helicopter squadron*. Jane's Defence Weekly. 2013. Posted 3.5.2013 [viitattu 21.1.2015]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1572290&Pubabbrev=JDW>

- [21] Butterworth-Hayes, P., van Blyenburgh, P. *UAVs: A Global Perspective*. United Kingdom: Alan Spence Newsdesk Communications Ltd, 2004. 197 s. ISBN 1-901641-75-9.
- [22] *Northrop Grumman/Bell Helicopter Fire-X and Fire Scout series*. C4ISR & Mission Systems: Air. 2014. Posted 24.2.2014 [viitattu 20.1.2015]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1561872&Pubabbrev=JC4IA>
- [23] *Fire Scout UAV Launch and Recovery System Performance Improvement*. U.S. Navy Naval Air Systems Command. 2014. [viitattu 20.1.2015]. Saatavissa: <http://www.navair.navy.mil/index.cfm?fuseaction=home.display&key=8250AFBA-DF2B-4999-9EF3-0B0E46144D03>
- [24] *Boeing A160/A160T Hummingbird*. Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets. 2013. Posted 19.2.2013 [viitattu 8.5.2014]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1318058&Pubabbrev=JUAV>
- [25] *High-speed Hummingbird UAV displays cargo-delivery and sensor capabilities*. International Defence Review. 2010. Posted 8.4.2010 [viitattu 15.5.2014]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1107059&Pubabbrev=IDR>
- [26] Trimble, S. *DARPA's Hummingbird unmanned helicopter comes of age*. Posted 3.7.2008 [viitattu 8.10.2014]. Saatavissa: <http://www.flightglobal.com/news/articles/darpa39s-hummingbird-unmanned-helicopter-comes-of-225070/>
- [27] Putrich, G. *FARNBOROUGH: Cutaway & technical description: Defying convention – Boeing A160 Hummingbird*. Posted 12.7.2010 [viitattu 8.10.2014]. Saatavissa: <http://www.flightglobal.com/news/articles/farnborough-cutaway-amp-technical-description-defying-convention-boeing-a160-344075>
- [28] *Unmanned helicopter may be used in army roles*. Jane's Defence Weekly. 2001. Posted 2.3.2001 [viitattu 4.6.2014]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1159473&Pubabbrev=JDW>
- [29] *Hummingbird takes to the sky with new engine*. Jane's Defence Weekly. 2007. Posted 18.5.2007 [viitattu 4.6.2014]. Saatavissa:

<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1158628&Pubabbrev=JDW>

- [30] *Schiebel's Camcopter is upgraded by evolution*. International Defence Review. 2001. Posted 16.6.2001 [viitattu 10.6.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1099721&Pubabbrev=IDR>
- [31] *Schiebel Camcopter 5.1*. Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets. 2014. Posted 23.7.2014 [viitattu 10.6.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1317971&Pubabbrev=JUAV>
- [32] *Schiebel Camcopter S-100*. Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets. 2014. Posted 13.3.2014 [viitattu 8.5.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1318420&Pubabbrev=JUAV>
- [33] *Rising to the challenge at sea: UAVs adapt and hit the maritime*. International Defence Review. 2011. Posted 19.1.2011 [viitattu 10.6.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1107709&Pubabbrev=IDR>
- [34] *Saab Skeldar*. Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets. 2014. Posted 14.5.2014 [viitattu 24.11.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1318571&Pubabbrev=JUAV>
- [35] *Eurosatory 2006: Saab unveils rotary UAV system*. Jane's Defence Weekly. 2006. Posted 15.6.2006 [viitattu 25.11.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1153900&Pubabbrev=JDW>
- [36] *Saab and Swiss UAV team up for vertical take-off and landing project*. Jane's Defence Industry. 2009. Posted 20.5.2009 [viitattu 1.12.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1146207&Pubabbrev=JDIN>
- [37] *Saab details Skeldar development plans*. International Defence Review. 2011. Posted 28.1.2011 [viitattu 25.11.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1107712&Pubabbrev=IDR>

- [38] *UAVs acquire a view to a kill*. International Defence Review. 1998. Posted 1.6.1998 [viitattu 9.10.2014]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1617849&Pubabbrev=IDR>
- [39] *Introduction to helicopter aerodynamics*. Naval Air Training Command. 2013. [viitattu 18.1.2015]. Saatavissa: <http://www.cnatra.navy.mil/pubs/folder5/TH57/P-401.pdf>
- [40] Leishman, J. Gordon. *Principles of Helicopter Aerodynamics*. 1. painos. New York: Cambridge University Press, 2000. 536 s. ISBN 0-521-52396-6.
- [41] *Endurance above all for UAVs*. International Defence review. 2003. Posted 15.5.2003 [viitattu 9.10.2014]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1102033&Pubabbrev=IDR>

LIITTEET

Liiteluettelo

Liite 1 Käsitteet ja määritelmät

Käsitteet ja määritelmät

DARPA on Yhdysvaltojen asevoimien tutkimusorganisaatio ja tulee sanoista Defense Advanced Research Projects Agency.

DATA LINK eli tietovuo tarkoittaa kahden aseman kytkemistä yhteen tiedon välittämiseksi ja vastaanottamiseksi.

ISTAR tulee sanoista Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance. Se tarkoittaa toimintaa, joka yhdistää taistelukentän osia yhteen tukeakseen taistelijoita sensoreista saaduilla tiedoilla ja käsittelee heiltä saadun tiedon.

MANPAD eli Man-Portable Air-Defence system, tarkoittaa olkapäältä laukaistavaa ilmatorjuntaohjusta.

HEAVY FUEL eli raskas polttoaine tarkoittaa dieseliä ja kerosiinia. Sen leimahduspiste on korkeampi kuin tavallisen bensiinin, jolloin varastointi on turvallisempaa. Lisäksi se säilyy varastoituna kauemmin kuin bensiini.

STANAG on lyhenne sanoista Standardization Agreement, jonka päämääränä on asettaa NATO-maiden yhteensopivuuden turvaamiseksi tiettyjä standardeja.

UAV tulee sanoista Unmanned Aerial Vehicle, eli miehittämätön ilma-alus.

UAS eli Unmanned Aerial System on Yhdysvaltain puolustusministeriön määritelmä, joka kuvailee miehittämättömien ilma-alusten operatiivista käyttöä. Se on siis laajempi käsite kuin UAV sisältäen ilma-aluksen lisäksi myös operointiin tarvittavat järjestelmät. Esimerkiksi RQ-2-Pioneer UAS sisältää kahdeksan ilma-alusta sekä niiden operoimiseen tarvittavat komponentit, joita ovat: ohjausasemat, tehtäväsuunnitteluasemat, katapultti- ja palautusjärjestelmä, tiedonlähetyjärjestelmä sekä monet muut tärkeät järjestelmät. [12, s. 67]

VTOL tulee sanoista Vertical Take-Off and Landing, ja tarkoittaa pystysuoraan lentoonläh- töön ja laskuun kykenevää ilma-alusta, eli se ei tarvitse kiitotietä tai laukaisukatapulttia toiminnassaan.

VTUAV tulee sanoista VTOL Tactical Unmanned Aerial Vehicle, eli taktinen VTOL ilma-alus.