

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**YHDYSVALTALAISTEN JA EUROOPPALAISTEN ILMASTA LAUKAISTAVIEN
RISTEILYOHJUSTEN KEHITYSNÄKYMÄT**

Kandidaatintutkielma

Kadettikersantti
Sami Nisonen

98. Kadettikurssi
Ilmasotalinja

Maaliskuu 2014

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi 98. Kadettikurssi	Linja Ilmasotalinja
Tekijä Kadettikersantti Sami Nisonen	
Tutkielman nimi Yhdysvaltalaisten ja eurooppalaisten ilmasta laukaistavien risteilyohjusten kehitysnäkymät	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Maanpuolustuskorkeakoulun kurssikirjasto
Aika Maaliskuu 2014	Tekstisivuja 29 Liitesivuja 10
<p>TIIVISTELMÄ</p> <p>Tässä tutkielmassa tutkitaan yhdysvaltalaisten ja eurooppalaisten ilmasta laukaistavien risteilyohjusten lähitulevaisuuden kehitysnäkymiä. Päättökysymys on: minkälaisia ovat yhdysvaltalaisten ja eurooppalaisten ilmasta laukaistavien risteilyohjusten kehitysnäkymät?</p> <p>Tutkielmassa tarkastellaan useita nykyaikaisia risteilyohjuksia, näiden kehitysprojekteja sekä uusia risteilyohjusprojekteja. Käsiteltävät risteilyohjukset ovat AGM-158 JASSM, AGM-129 ACM, TAURUS KEPD 350, Storm Shadow / Scalp EG ja ASMP. Lisäksi tutkimuksessa käsitellään näiden ohjusten vanhempia tai uudempia versioita, joihin lukeutuvat AGM-158B JASSM-ER, Apache sekä ASMP-A.</p> <p>Tutkielman tutkimusmenetelminä ovat kirjallisuustutkimus, jonka avulla selvitetään tietoja risteilyohjuksista ja kehitysprojekteista, sekä vertailu, jolla pyritään löytämään kehitysnäkymiä. Vertailun avulla kehitysprojekteista kyetään havaitsemaan laajempia trendejä. Lähdeaineistona tutkimuksessa käytetään IHS Jane's -tietokantaa, internetlähteitä sekä kirjallisuutta. Tutkimus käsittelee risteilyohjusten tekniikkaa yleisellä tasolla, aiemmin mainittujen risteilyohjusten tekniikkaa tarkemmin, niiden kehitysprojekteja sekä risteilyohjusten kehitysnäkymiä.</p> <p>Vertailun perusteella tutkimuksen tuloksena löydetään lähitulevaisuuden kehitysnäkymille kolme selkeää trendiä. Trendit ovat datalinkin asentaminen, toimintamatkan pidentäminen sekä vaikutusosan kehittäminen. Nämä kolme kohdetta esiintyvät laajalti sekä nykyään käytössä olevien risteilyohjusten kehitysprojekteissa sekä uusissa kehitysprojekteissa. Datalinkin avulla ohjuksiin voidaan olla yhteydessä laukaisun suorittaneesta lentokoneesta tai johtokeskuksesta. Pidentämällä toimintamatkaa ohjus voidaan luonnollisesti ampua kauemmas vihollisen alueelle, tai se voidaan ampua kauempana vihollisen alueelta, jolloin laukaisua on vaikeampi havaita ja laukaisualusta on paremmassa turvassa. Vaikutusosan kehittämisellä pyritään sekä yhä parempaan asevaikutukseen että myös monipuolisuuteen.</p> <p>Keskeisimpänä johtopäätöksenä tutkimuksessa havaitaan, että kehitystä tapahtuu kahdesta syystä. Joko risteilyohjuksille kehitetään korvaajia tai uusilla risteilyohjuksilla vastataan uuteen tarpeeseen. Asejärjestelmien vanhetessa kehitetään uusia järjestelmiä, joilla korvataan poistuvia suorituskykyjä. Toisaalta myös uusi tarve, kuten uudet laukaisualustat, luovat tarpeen kehittää uusia asejärjestelmiä. Tämänkaltaista tarvetta ovat luoneet esimerkiksi F-22 Raptor ja F-35 Lightning -häivehävittäjät.</p>	
<p>AVAINSANAT risteilyohjukset, kehitysnäkymät, AGM-158 JASSM, AMG-129, KEPD 350, Storm Shadow, ASMP</p>	

YHDYSVALTALAISTEN JA EUROOPPALAISTEN ILMASTA LAUKAISTAVIEN RISTEILYOJJUSTEN KEHITYSNÄKYMÄT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	AIHEALUEEN ESITTELY.....	1
1.2	TUTKIMUSONGELMA, NÄKÖKULMA JA RAJAUS.....	2
1.3	TUTKIMUSMENETELMÄ JA LÄHTEET.....	3
1.4	AIEMPI TUTKIMUS.....	3
2	RISTEILYOJJUSTEN RAKENNE JA TOIMINTA.....	5
2.1	RISTEILYOJJUSTUS.....	5
2.2	RISTEILYOJJUSTUKSEN LENNON VAIHEET.....	5
2.3	LENTORUNKO.....	6
2.4	MOOTTORI.....	6
2.4.1	SUORA SUIHKUMOOTTORI.....	7
2.4.2	OHIVIRTAUSMOOTTORI.....	7
2.4.3	PATOPUTKIMOOTTORI.....	7
2.4.4	RAKETTIMOOTTORI.....	8
2.5	NAVIGOINTI- JA HAKEUTUMISJÄRJESTELMÄT.....	8
2.5.1	SATELLIITTINAVIGOINTI.....	8
2.5.2	INERTIANAVIGOINTI.....	9
2.5.3	MAASTONTUNNISTUSNAVIGOINTI.....	10
2.5.4	LOPPUHAKEUTUMINEN.....	11
2.6	TAISTELUKÄRKI.....	12
3	YHDYSVALTALAISET JA EUROOPPALAISET RISTEILYOJJUSTET.....	13
3.1	LOCKHEED MARTIN AGM-158A JASSM JA AGM-158B JASSM-ER.....	13
3.2	RAYTHEON MISSILE SYSTEMS AGM-129 ADVANCED CRUISE MISSILE.....	14
3.3	TAURUS KEPD 350.....	15
3.4	MBDA APACHE JA STORM SHADOW / SCALP EG.....	17
3.5	AÉROSPATIALE ASMP JA ASMP-A.....	19
4	RISTEILYOJJUSTEN KEHITYSNÄKYMÄT.....	21
4.1	KEHITYSNÄKYMÄ.....	21
4.2	TULEVAISUUDEN RISTEILYOJJUSTUSIA.....	24
4.2.1	LOCKHEED MARTIN LCMCM.....	24
4.2.2	LOCKHEED MARTIN SMACM.....	25
4.2.3	LRSO.....	26
4.2.4	MBDA CVS401 PERSEUS.....	26
4.3	JOHTOPÄÄTÖKSIÄ.....	27
5	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	29

LÄHTEET

LIITTEET

YHDYSVALTALAISTEN JA EUROOPPALAISTEN ILMASTA LAUKAISTAVIEN RISTEILYOHIJUSTEN KEHITYSNÄKYMÄT

1 JOHDANTO

1.1 Aihealueen esittely

Suomen ilmavoimat modernisoivat F-18 Hornet -torjuntahävittäjiään vuosina 2010–2016 MLU2 (Mid-Life Update 2) -elinkaaripäivityksellä. MLU2:n myötä koneen järjestelmiä päivitetään, ja merkittävimpänä muutoksena hävittäjä saa kyvyn vaikuttaa ilmasta maahan -aseistuksella. [1] Yhdysvaltain puolustusministeriö ja kongressi hyväksyivät marraskuussa 2011 pitkän kantaman Lockheed Martin AGM-158 JASSM -risteilyohjusten myynnin Suomeen, ja puolustusministeriö valtuutti Puolustusvoimat maaliskuussa 2012 ostamaan ohjuksia [2]. Risteilyohjusten hankinta luo Ilmavoimille kyvyn pitkäkantoiseen vaikuttamiseen vihollisen tärkeisiin kohteisiin.

Risteilyohjus on elänyt ideana jo ensimmäisen maailmansodan ajoista lähtien. Alkujaan ideana oli rakentaa lentävä pommi, joka osaisi lentää ja syöksyä maahan itsenäisesti. Jo vuonna 1916 Peter C. Hewitt ja Elmer Sperry kehittivät gyroskooppeja hyödyntävän automaattisen ohjausjärjestelmän, joka asennettiin lentoveneeseen. Järjestelmän avulla kone kykeni itsenäisesti nousemaan ennalta asetettuun korkeuteen, säilyttämään sen ja tietyn matkan jälkeen syöksymään maahan. [3, s. 7] Ensimmäinen nykyaikaisia risteilyohjuksia muistuttava laite oli saksalaisten toisen maailmansodan aikana kehittämä V-1 -ohjus. Ohjus navigoi hyrriä hyödyntävällä autopilotilla, joka sai suuntatiedon kompassilta ja käytti painekorkeusmittaria korkeuden säätämiseen [3, s. 43]. Ohjuksella ei kuitenkaan saatu aikaan merkittävää sotilaallista vaikutusta sen tekniikan alkeellisuuden vuoksi [3, s. 224].

Vasta 1970-luvulla tekniikan kehitys mahdollisti risteilyohjuksen kehittämisen tehokkaaksi aseeksi. Tätä aikaisemmin risteilyohjusten tarkkuus ja luotettavuus oli liian heikko, jotta niitä olisi voitu todella hyödyntää taistelukentillä. [3, s. 223] 1970-luvun uuden tekniikan, kuten

pienempien tietokoneiden ja suihkumoottoreiden, avulla risteilyohjuksista kyettiin rakentamaan kevyempiä ja tarkempia. Varsinkin navigointijärjestelmien kehityksen luoma osumatarkkuuden paraneminen loi edellytykset risteilyohjusten käyttöpotentiaalin lisääntymiselle. [3, s. 225]

Nykyaikainen risteilyohjus eroaa huomattavasti varhaisista edeltäjistään. Tehokkaammat moottorit, tarkemmat rinnakkaiset navigointijärjestelmät ja häiveteknologian hyväksikäyttö tekevät näistä aseista entistä tehokkaampia sodankäynnin välineitä. Risteilyohjusten merkittävyyttä korostaa se, että ne ovat nykyään aseita, joilla pyritään tekemään ensi-isku vihollisen tärkeisiin kohteisiin. Esimerkiksi Persianlahden sodassa Yhdysvallat käytti BGM-109 Tomahawk -risteilyohjuksia ensimmäisiin Irakia vastaan tehtyihin iskuihin. Ne kohdistettiin tarkkuutta vaativiin ja vahvasti ilmatorjunnalla suojattuihin kohteisiin, jolloin risteilyohjusten potentiaali nousee parhaiten esiin. [4, s. 83]

Yhdysvaltalaisen ja eurooppalaisten risteilyohjusten kehitysnäkymiä tarkastelevaa tutkimusta ei ole tehty Maanpuolustuskorkeakoululla vuoden 2007 jälkeen. Seitsemän vuoden jälkeen on syytä tarkastella kehitystilannetta uudelleen, jotta voidaan selvittää uusimmat kehitystrendit. Lisäksi risteilyohjukset ovat Ilmavoimille uusi asejärjestelmä ja sen johdosta tutkimukselle aiheesta on tarvetta.

1.2 Tutkimusongelma, näkökulma ja rajaus

Tämän kandidaatintutkielman tarkoituksena on selvittää, minkälaisia ovat eurooppalaisten ja yhdysvaltalaisen ilmasta laukaistavien risteilyohjusten tekniset kehitysnäkymät. Tutkimuksessa tarkastellaan risteilyohjusten teknistä toimintaa ja rakennetta kahden yhdysvaltalaisen ja neljän eurooppalaisen ohjuksen kautta. Käsiteltävät risteilyohjukset ovat

- Lockheed Martin AGM-158 JASSM
- Raytheon Missile Systems AGM-129 Advanced Cruise Missile
- TAURUS KEPD 350
- MBDA Apache
- MBDA Storm Shadow/Scalp EG
- Aérospatiale ASMP

Edellä mainitut ohjukset ovat kaikki ilmasta laukaistavia maamaaleja vastaan suunnattuja risteilyohjuksia. Tutkimukseen on valittu nämä risteilyohjukset, koska näille ohjuksille löytyy olemassa olevia kehitysprojekteja tai niistä on useampia versioita, joiden avulla kehitysnäkymiä kykenee tarkastelemaan. Tutkielmassa ei käsitellä venäläisiä risteilyohjuksia, jotta tut-

kielman laajuus pysyy kandidaatintutkielman mukaisissa rajoissa. Lisäksi venäläisiä risteilyohjuksia on jo sivuttu aiemmassa tutkimuksessa.

Tutkimuksen päätutkimuskysymyksenä on:

- Minkälaisia ovat yhdysvaltalaisen ja eurooppalaisten ilmasta laukaistavien risteilyohjusten kehitysnäkymät?

Tutkimuksen alatutkimuskysymyksiä ovat:

1. Mitkä ovat käsiteltävien risteilyohjusten tekniset toimintaperiaatteet?
2. Millä tavalla nykyisiä risteilyohjuksia pyritään kehittämään?
3. Minkälaisia uusia risteilyohjuksia on suunnitteilla Yhdysvalloissa ja Euroopassa?

Tutkimuksen ensimmäisessä ja toisessa luvussa vastataan ensimmäiseen ja toiseen alatutkimuskysymykseen tarkastelemalla risteilyohjusten teknisiä ominaisuuksia sekä lähitulevaisuuden päivityksiä. Luvussa yksi kerrotaan risteilyohjusten tekniikasta yleisellä tasolla, kun taas luvussa kaksi käsitellään tähän tutkimukseen valittujen ohjusten teknisiä ominaisuuksia tarkemmin sekä näiden ohjusten tulevia ja olemassa olevia päivityksiä. Kolmanteen alatutkimuskysymykseen vastataan tutkimuksen kolmannessa luvussa. Tähän kysymykseen löydetään vastaus lähdeaineiston avulla. Päätutkimuskysymykseen vastataan kolmannessa luvussa tehtyjen havaintojen pohjalta.

1.3 Tutkimusmenetelmä ja lähteet

Tutkimuksen tutkimusmenetelminä käytetään laadullista kirjallisuustutkimusta sekä vertailua. Kirjallisuustutkimuksessa pyritään selvittämään vastaukset tutkimuskysymyksiin lähdeaineistosta kerätyn tiedon perusteella. Kirjallisuustutkimuksen pohjalta tutkimuksessa suoritetaan vertailua, jonka tarkoituksena on selvittää yhteneväisyyksiä tutkittavien kohteiden välillä.

Tutkimuksen lähteet ovat julkisia, ja ne koostuvat sekä kirjallisuus- että internetlähteistä. Risteilyohjuksia käsittelevä lähdeaineisto on pääasiassa englanninkielistä. Suomenkielisessä lähdekirjallisuudessa on käsitelty lähinnä järjestelmien yleistä toimintaa.

1.4 Aiempi tutkimus

Aihealueeseen liittyen on tehty myös aiempaa tutkimusta Maanpuolustuskorkeakoulussa. Timo Vestama on käsitellyt vuonna 2001 kadettitutkielmassaan *Pitkän kantaman maamaalia*

vastaan suunnatut risteilyohjukset risteilyohjusten tekniikkaa sekä 2000-luvun alussa käytössä olleita risteilyohjuksia. Tutkielmassa tarkastellaan risteilyohjusten suunnistus- ja hakeutumisjärjestelmiä, taistelulatauksia, voimanlähteitä sekä runkorakenteita. Tutkimus keskittyy tekniikan esittelyyn, eikä paneudu ohjusten tulevaisuuden kehitysnäkymiin.

Toinen aiheeseen liittyvä tutkielma on Riku Rostin Pro Gradu *Länsimaisten risteilyohjusten kehitys ja käyttö viimeaikaisissa sodissa* vuodelta 2007. Tutkimuksen pääpaino on risteilyohjusten käytössä viimeaikaisissa sotatoimissa operaatiotaidon ja taktiikan näkökulmasta. Tutkimuksessa käsitellään myös risteilyohjusten kehitysnäkymiä, ja siinä esitellään tässä tutkimuksessa esiteltävä SMACM-risteilyohjus. Kehitysnäkymien osalta Rosti keskittyy lähinnä yksittäisiin ohjuksiin, eikä pyri löytämään laajempia kehityslinjoja. Rosti esittää, että jatkotutkimukselle risteilyohjusten kehitysnäkymistä olisi tarvetta.

Myös Timo Lemmetyisen esiupseerikurssin tutkielma *Venäläisten ilmasta maahan aseiden kehitysnäkymät* vuodelta 2010 sivuaa länsimaisia risteilyohjuksia. Näkökulma on tutkielmassa laaja, ja tutkielmassa käsitellään risteilyohjuksia osana laajempaa ilmasta-maahan aseistuksen kokonaisuutta. Tutkielman nimestä huolimatta tutkimuksessa käsitellään myös yhdysvaltalaisista ilmasta-maahan aseistusta. Tutkielmassa risteilyohjusten kehitysnäkymiä tarkastellaan osana ohjusten kehitystä, jolloin tutkimuksessa ei esitellä juuri risteilyohjuksille ominaisia kehityskohteita.

2 RISTEILYOHJUSTEN RAKENNE JA TOIMINTA

Tässä luvussa esitellään risteilyohjusten yleinen rakenne. Esittely ei perustu tiettyyn ohjukseen, vaan se on yleinen katsaus jokaiselle ohjukselle tyypillisestä rakenteesta sekä erilaisista teknisistä vaihtoehdoista. Luvussa käsitellään ainoastaan nykyään käytössä olevia teknisiä ratkaisuja. Lähteinä on käytetty kirjallisuutta, IHS Jane's -tietokantaa sekä internetlähteitä. Lähteistä kerätyn tiedon luotettavuus on hyvä tiedon yleisen luonteen vuoksi.

2.1 Risteilyohjus

Risteilyohjus määritellään maasta maahan tai ilmasta maahan ammuttavaksi ohjukseksi, jonka kantama on yli 50 km ja joka lentää ilmakehän alaosissa (alle 30 km korkeudessa) [5]. Risteilyohjus on miehittämätön ohjautuva ilma-alus, joka lentää aerodynaamisesti oman moottorinsa voimalla, ja jonka päätarkoitus on kuljettaa taistelulataus kohteeseen [6]. Risteilyohjukset rakentuvat neljästä pääosasta: lentorungosta, moottorista, ohjausjärjestelmästä ja taistelukärjestä [7, s. 81].

Risteilyohjuksia voidaan laukaista erilaisilta laveteilta: maa-ajoneuvosta, pinta-aluksesta, sukellusveneestä tai ilma-aluksesta. Risteilyohjukset voidaan jakaa kantaman perusteella taktisiin lyhyen kantaman (50–500 km) ja strategisiin pitkän kantaman (500–3000 km) ohjuksiin. [8, s. 104; 10]

2.2 Risteilyohjuksen lennon vaiheet

Risteilyohjuksen lennossa on kolme toisistaan erotettavaa vaihetta: laukaisuvaihe, reittivaihe ja terminaalivaihe. Laukaisuvaihe sisältää ohjuksen laukaisun ja kiihdytyksen nopeuteen, jolla matkalentomoottori voi aloittaa toimintansa. Ilmasta laukaistavat ohjukset kykenevät toimimaan ilman erityistä kiihdytysmoottoria, mikäli risteilyohjusta kuljettavalla lavetilla on tarpeeksi ilmanopeutta. Tällöin risteilyohjus kykenee heti laukaisusta lähtien lentämään oman suihkumoottorinsa avulla. [9, s. 384; 10]

Reittivaiheessa ohjus lentää oman matkalentomoottorinsa avulla ennalta ohjelmoitua reittiä mahdollisimman lähelle maalin arvioitua sijaintia [9, s. 384; 10]. Risteilyohjukset voivat käyttää useita vaihtoehtoisia lentoratoja kohteelle päästäkseen. Korkean lentoradan etuna on pidempi toimintamatka. [10] Tämä johtuu siitä, että suihkumoottorin parhaan kantaman nopeus vastaa taloudellisinta tehoasetusta vasta suhteellisen korkealla lentokorkeudella [11]. Matalal-

la lentoradalla ohjuksella on pienempi mahdollisuus tulla havaituksi kuin korkealla, joten lentoradan valinta on aina kompromissi kantaman ja havaittavuuden kannalta. Risteilyohjus voi muuttaa suuntaansa, korkeuttansa ja nopeuttansa useita kertoja lentonsa aikana [10].

Lennon terminaalivaihe alkaa yleensä noin 20–50 km päästä kohteelta. Ohjus voi lähestyessään kohdetta muuttaa lentoarvojaan ennalta ohjelmoidun lentoradan mukaisesti. [10] Risteilyohjus voidaan ohjelmoida hyökkäämään useampaan kuin yhteen kohteeseen [5]. Jotkin risteilyohjukset voivat lisäksi liikehtiä lennon terminaalivaiheessa väistelläkseen ilmatorjunnan tulitusta ja ohjuksia [10].

2.3 Lentorunko

Risteilyohjuksen runko ei koe lentonsa aikana merkittäviä kuormituksia, koska siihen ei kohdistu suuria g-voimia eikä suuren työntövoiman aiheuttamaa lähtökiihtyvyyttä, kuten ballistisissa ja tykistöohjuksissa. Risteilyohjusten hitaan lentonopeuden ja pienien kiihtyvyyksien vuoksi niiden lentorunko voidaan valmistaa käytännössä samalla tavalla kuin tavallisen lentokoneen runko. Rungon materiaalina voidaan hyvinkin käyttää halpaa alumiinia, mutta kehittyneempiä risteilyohjuksia rakennetaan myös komposiittimateriaaleista. [6]

Modernin risteilyohjuksen rungon keskeiseksi elementiksi on noussut häiveominaisuudet. Häiveominaisuuksilla varustettu risteilyohjus on vaikeasti havaittava, jolloin sen isku on yllätyksellisempi ja torjuminen huomattavasti vaikeampaa. Häiveteknologian käytöllä ohjuksen tutkapoikkipinta-ala voidaan pienentää jopa 0,1 neliometriin. [8, s. 104] Tutkapoikkipinta-alaa saadaan pienennettyä muotoilulla, poistamalla teräviä, heijastavia kulmia rakenteesta, suojaamalla moottorin ilmanottoaukot ja päällystämällä risteilyohjus tutkasäteitä absorboivilla aineilla [10].

2.4 Moottori

Moottorin tarkoituksena risteilyohjuksessa on muiden ilma-alusten tapaan tuottaa riittävä työntövoima ilmanvastuksen voittamiseksi. Risteilyohjuksien matkalentoon käytetään pääasiassa ilmareaktiomoottoreita, eli yleensä joko suoria suihkumoottoreita tai ohivirtausmoottoreita. Näillä moottoreilla risteilyohjuksen nopeus jää alle äänennopeuden (n. 0,85 M). Yliääninopeuksilla lentävissä ohjuksissa käytetään patoputkimoottoria. [8, s. 104]

2.4.1 Suora suihkumoottori

Suoralla suihkumoottorilla tarkoitetaan suihkumoottoria, jossa kaikki ilma kulkee perusmoottorin eli kaasuturbiinin lävitse [15, s. 64]. Kaasuturbiini sisältää suihkumoottorin perusosat: ahtimen, polttokammion ja turbiinin. Muita suihkumoottorin keskeisiä osia ovat imuaukko ja suihkupuutki. [15, s. 63] Suihkumoottorissa ilmavirta saapuu edestä imuaukkoon, jonka kautta se etenee ahtimelle. Ahdin lisää moottorin läpi kulkevaa massavirtaa puristamalla ilmaa kaasaan. Ahtimelta ilma saapuu polttokammioon, jossa ilman sekaan syötetään polttoainetta ja seos poltetaan. Tämä lisää ilmamassan lämpötilaa ja sen tilavuus kasvaa. Ilmamassan laajentuessa se pyrkii eteenpäin turbiinille, joka pyörittää akselin välityksellä ahdinta. Turbiinista ilma virtaa suihkusuuttimelle, jonka kautta ilmavirta poistuu moottorista. [12]

2.4.2 Ohivirtausmoottori

Suora suihkumoottori ja ohivirtausmoottori ovat rakenteeltaan lähes samanlaisia. Suurimpana erona on se, että ohivirtausmoottorissa suurin osa moottoriin tulevasta ilmasta johdetaan perusmoottorin ohitse. Ohivirtausmoottorissa imuaukon ja ahtimen välissä on puhallin, jonka kautta ilma virtaa sekä ahtimelle että puhallinkanavaan, joka johtaa ilman perusmoottorin ohitse. Puhallimen tuottama osuus moottorin kokonaistyöntövoimasta on ohivirtaussuhteesta riippuen 30–85 %. [15, s. 65–66] Ohivirtausmoottori on suoraa suihkumoottoria tehokkaampi pienillä nopeuksilla, koska se antaa pienemmän kiihtyvyyden suuremmalle ilmamassalle [12]. Ohivirtausmoottori on suosittu pitkän matkan ohjuksissa, koska se kuluttaa vähemmän polttoainetta. Tosin myös uusimmat suorat suihkumoottorit ovat hyvin taloudellisia sekä kevyempiä, halvempia ja yksinkertaisempia rakenteeltaan kuin ohivirtausmoottorit. [10]

2.4.3 Patoputkimoottori

Patoputkimoottoria käytetään yli äänennopeudella lentävissä ohjuksissa. Se eroaa suihkumoottorista siten, että siinä ei ole ollenkaan liikkuvia osia. Moottorin rakenne on hyvin yksinkertainen: se sisältää imukanavan, polttokammion ja suihkusuuttimen. Patoputkimoottorin imukanava on suunniteltu hidastamaan ylisooninen ($Mach > 1$) ilmavirtaus alisooneksi ($Mach < 1$) ennen polttokammiota. Polttokammiossa ilman sekaan ruiskutetaan polttoainetta ja seos sytytetään kipinällä tai hehkutulpalla. Patoputkimoottori tarvitsee ylisoonisen ilmavirtauksen, jotta polttokammioon syntyy tarvittavan suuri paine tehokasta palamista varten. [15, s. 32; 16] Patoputkimoottorilla ohjus voi saavuttaa 2–4 Machin nopeuden [8, s. 105]. Huomionarvoista on, että patoputkimoottoria käyttävä ohjus tarvitsee jonkin toisen moottorin

tuottamaan työntövoimaa, jotta ohjuksen nopeus kasvaisi tarpeeksi suureksi patoputkimoottorin käyttöä varten [10; 16].

2.4.4 Rakettimoottori

Rakettimoottoreita ei käytetä risteilyohjusten matkalentomoottoreina, mutta niille on kuitenkin käyttöä joidenkin risteilyohjusten lähtömoottorina. Rakettimoottoria käytetään ohjuksen nopeaan kiihdyttämiseen laukaisun jälkeen. [10] Risteilyohjusten rakettimoottorit käyttävät yleensä kiinteää polttoainetta eli ne ovat ruutirakettimoottoreita [10; 17, s. 284].

2.5 Navigointi- ja hakeutumisjärjestelmät

Risteilyohjukset ovat suunnistavia ohjuksia. Suunnistava ohjus sisältää järjestelmän, joka mahdollistaa lennon haluttua reittiä pitkin lähtöpisteestä kohteeseen. [17, s. 290–291] Pidemmän kantaman risteilyohjukset käyttävät yleensä integroitua navigointijärjestelmää. Tämä tarkoittaa, että ohjus käyttää navigointiin useamman eri navigointijärjestelmän antamaa yhdistettyä paikkatietoa. Yleisimpiä risteilyohjusten käyttämiä navigointijärjestelmiä ovat inertia-, GPS- ja maastontunnistusjärjestelmä. Navigointijärjestelmät ohjaavat risteilyohjusta sen reittilennon ajan. Loppuhakeutumiseen ohjus voi käyttää maastontunnistusta, DSMAC-järjestelmää, aktiivista, puoliaktiivista tai passiivista tutkaa, puoliaktiivista laseria, sekä infrapunaan tai televisioon perustuvia hakeutumisjärjestelmiä. Loppuhakeutuminen voidaan toteuttaa myös samalla järjestelmällä kuin reittilentovaiheen navigointi. [8, s. 105] Risteilyohjusten ohjausjärjestelmä voi olla joko itsenäinen ”ammu ja unohda” tyyppinen järjestelmä, kauko-ohjattu järjestelmä tai puoliautomaattinen järjestelmä, jolloin lennon loppuvaihe ohjataan kauko-ohjauksella [7, s. 81]. Nykyaikaisen risteilyohjuksen kantama ei vaikuta navigointitarkkuuteen [8, s. 93]. Väite pitää paikkansa, mikäli risteilyohjuksen integroitu navigointijärjestelmä toimii kuten pitää, ja eri järjestelmät korjaavat toisiaan. Mikäli toiminta-alueella ei ole esimerkiksi saatavilla jatkuvasti tarkkaa satelliittipaikannusta, integroidulla INS/GPS -järjestelmällä varustetun risteilyohjuksen tarkkuus heikkenee ohjuksen lennon aikana.

2.5.1 Satelliittinavigointi

Satelliittipaikannusjärjestelmät hyödyntävät Maan kiertoradalla olevia satelliitteja paikan määrittämiseen. Navstar GPS (Global Positioning System) on Yhdysvaltain hallinnoima satelliittipaikannusjärjestelmä. GPS-järjestelmä koostuu kolmesta segmentistä: avaruus-, käyttäjä- ja kontrollisegmentistä. Avaruussegmentti sisältää Maata kiertävät 31 satelliittia. Käyttä-

jäsegmentti sisältää vastaanottimet, tässä tapauksessa risteilyohjuksen vastaanottimen. Kontrollisegmentti, joka tarkkailee jatkuvasti satelliittien tilaa, koostuu maailmanlaajuisesta maasemien verkostosta. [13; 18, s. 9–12; 19]

Paikanmääritys GPS-satelliittipaikannusjärjestelmän avulla perustuu satelliittien lähettämiin radioaaltoihin. Radiosignaaleissa käytetään kahta modulaatiota. Tarkempi sotilaskäytössä oleva PPS-palvelu (Precise Positioning Service) käyttää P-modulaatiota (Precise). Yleisessä käytössä oleva SPS-palvelu (Standard Positioning Service) hyödyntää C/A-modulaatiota (Coarse Acquisition). Vastaanottimen paikanmääritys tapahtuu mittaamalla etäisyys satelliitteihin. Kolmiulotteiseen paikanmääritykseen tarvitaan neljä satelliittia. Jotta järjestelmä toimisi oikein, on vastaanottimen tiedettävä satelliittien sijainti ja tämän vuoksi satelliittien sijainnit on tallennettu vastaanottimen muistiin. [13; 18, s. 12; 19]

GPS-järjestelmän satelliitit kiertävät Maata siten, että jokaisena ajanhetkenä missä tahansa maapallolla pitäisi olla käytettävissä 5–8 satelliittia [13]. GPS:n tarkkuus riippuu siitä käytetäänkö SPS vai PPS palvelua. Yhdysvallat ja sen liittolaiset kykenevät käyttämään PPS-palvelua ja muut käyttäjät SPS-palvelua. [18, s. 12] Tarkkuus on lisäksi ilmoitettu eri lähteissä vaihtelevan suuruiseksi. SPS-palvelun horisontaalinen tarkkuus on noin 2–5 metriä ja PPS-palvelulla päästään oletettavasti vielä tarkempiin lukemiin [18, s. 14–15].

GPS:n lisäksi käytössä on myös muita satelliittipaikannusjärjestelmiä. Venäjä hallinnoi GLONASS-järjestelmää ja Euroopan Unioni vielä keskeneräistä Galileo-järjestelmää. Sekä GLONASS että Galileo toimivat samalla periaatteella kuin Navstar GPS – erot ovat satelliittien määrässä, kiertoradoissa ja käytetyissä taajuuksissa. [13; 18, s. 18–20]

2.5.2 Inertianavigointi

Inertiasuunnistusjärjestelmä (INS, Inertial Navigation System) on itsenäinen järjestelmä, joka antaa jatkuvaa tietoa risteilyohjuksen sijainnista, reitistä, suunnasta ja maanopeudesta [14]. Inertiasuunnistus perustuu kiihtyvyyssantureihin sekä asentonsa avaruuden mukaan säilyttäviin hyrriin [7, s. 81; 14]. Inertianavigoinnin perustana on kiihtyvyys. Mekaaniset kiihtyvyyssanturit mittaavat koneen kiihtyvyyttä ja integroimalla kiihtyvyys saadaan selville ohjuksen nopeus. Integroimalla nopeus saadaan lopputulokseksi kuljettu matka. Jotta voidaan suunnistaa kaksiulotteisesti, tarvitaan kaksi kiihtyvyyssanturia, joista toinen mittaa pohjois-eteläsuunnassa ja toinen itä-länsisuunnassa. Inertiasuunnistusjärjestelmä vaatii lähtöpaikan sijaintitiedon ennen kuin se voi toimia oikein. Tällöin järjestelmä voi kiihtyvyyksiä mittaamalla laskea, mikä

sen sijainti milläkin ajanhetkellä on. Etäisyystiedot pohjois-eteläsuunnassa ja itä-länsisuunnassa on helppo muuttaa latitudiksi ja longitudiksi ja näin ollen karttakoordinaateiksi. Kulmakiikthyvyyttä mitataan mekaanisilla hyrrillä tai laserhyrrillä. Hyrrien tarkoitus järjestelmässä on joko pitää kiihtyvyyssanturit suunnattuna koordinaattiakselien mukaan tai laskea kuinka paljon kiihtyvyyssanturit ovat sivussa suunnasta, jolloin järjestelmä kykenee laskemaan korjaukset. [14]

Inertiasuunnistusjärjestelmän ongelmana on se, että mekaaniset hyrrät poikkeavat hiljalleen suunnasta kitkan tai rakenteellisten epätäydellisyyksien johdosta. Tämän johdosta järjestelmän tarkkuus heikkenee kuljetun ajan kasvaessa. [14] Ohjusten navigoinnissa käytettävien mekaanisten hyrrien poikkeama on $1-0,01$ °/h [8, s. 77]. Tämä tarkoittaa, että 1000 km/h lentävä risteilyohjus voi tunnin lennon jälkeen olla pahimmassa tapauksessa useita kilometrejä sivussa kohteesta. Inertiasuunnistusjärjestelmän etuna on kuitenkin se, että sitä on vaikea häiritä, koska se on itsenäinen järjestelmä [8, s. 77].

2.5.3 Maastontunnistusnavigointi

Maastontunnistus- tai maastonseurantanavigointi (TRN, Terrain Reference Navigation tai TERCOM, Terrain Contour Matching) on suunnistusjärjestelmä, joka vertaa maaston korkeutta järjestelmän muistiin tallennettuun digitaaliseen maaston korkeusprofiiliin. Maaston seuranta voi perustua esimerkiksi radiokorkeusmittarin käyttöön. [4, s. 56; 8, s. 78; 20] Radiokorkeusmittarin lisäksi järjestelmä tarvitsee ilmanpaineeseen perustuvan korkeusmittarin, johon radiokorkeusmittarin lukemaa verrataan. Ilmanpaineeseen perustuva korkeusmittari kertoo risteilyohjuksen korkeuden merenpinnasta, ja radiokorkeusmittari korkeuden maanpinnasta. Näiden lukujen erotuksen perusteella järjestelmä voi laskea maaston korkeuden. [20; 21]

Korkeusprofiilin seuraamiseen perustuvan maastontunnistusjärjestelmän ongelmana on se, että järjestelmä toimii hyvin vain alueilla, joissa on riittävästi vaihtelua maaston korkeudessa. Alue, jolla risteilyohjusta on tarkoitus käyttää, tulee olla tarkasti kartoitettu, jotta maaston muodot voidaan tallentaa etukäteen ohjuksen muistiin. [20] TERCOM-järjestelmällä saavutettava navigointitarkkuus on noin 20–100 metriä ja se riippuu tietokannan tarkkuudesta sekä sensoreiden erotuskyvystä [4, s. 59; 8, s. 78].

Maastontunnistusnavigointi voi perustua myös muiden laitteiden kuin radiokorkeusmittarin käyttöön. DSMAC (Digital Scene Matching Area Correlator) on maastontunnistusnavigointijärjestelmä, joka käyttää CCD-kameraa kuvaamaan maastoa. Kameran kuvaa verrataan järjes-

telmään muistiin syötettyihin digitaalikuviin. [4, s. 80; 8, s. 78; 21] Vertaamalla kuvia keskenään järjestelmä kykenee havaitsemaan, onko risteilyohjus tarkalleen reitillä. Kuvattavat kohteet on valittu tarkasti etukäteen ja niiden tulisi sisältää jokin huomiota herättävä ja yksiselitteinen piirre, kuten teiden risteys. DSMAC on optinen järjestelmä, joten olosuhteilla voi olla merkittävä vaikutus kuvattavien kohteiden ulkonäköön ja näin ollen navigoinnin tarkkuuteen. [4, s. 80–81] Järjestelmän tarkkuus on noin 10 metriä [4, s. 81; 8, s. 78].

TERCOM ja DSMAC järjestelmiä käytetään yleensä yhdessä inertiasuunnistusjärjestelmän kanssa, jolloin TERCOM mittaa tietyin välein maaston korkeutta ja vertaa sitä digitaalisiin korkeuskarttoihin, tai DSMAC kuvaa maastoa verraten kuvia muistiin tallennettuihin kuviin. Järjestelmät paikantavat ohjuksen kartalta ja laskevat tämän jälkeen kuinka paljon ohjus on sivussa ennalta asetetulta reitiltä. Paikannuksen jälkeen järjestelmät korjaavat inertiasuunnistusjärjestelmään aiheutuneita virheitä ja pitävät näin ohjuksen oikeassa suunnassa. Tämänkaltaisessa tapauksessa inertiasuunnistusjärjestelmä on risteilyohjuksen ensisijainen suunnistusjärjestelmä. [4, s. 58; 8, s. 78; 20; 21]

2.5.4 Loppuhakeutuminen

Loppuhakeutumisessa risteilyohjus voi käyttää joko samaa järjestelmää kuin matkalentovaiheessa (TERCOM, DSMAC) tai jotain toista järjestelmää. Mahdollisia järjestelmiä ovat aktiivinen, puoliaktiivinen ja passiivinen tutka, puoliaktiivinen laser sekä infrapunasäteilyyn tai televisioon perustuvat hakeutumisjärjestelmät. [8, s. 105; 10] Jotkin ohjukset voivat käyttää useampia rinnakkaisia hakupäitä tarkkuuden parantamiseksi [10].

Aktiivinen ja puoliaktiivinen tutkahakeutuminen perustuvat kohteen valaisuun tutkalla. Puoliaktiivista tutkavalaisua hyödyntävät hakupäät kykenevät ainoastaan vastaanottamaan kaukupulsseja ja päättelemään niiden perusteella kohteen sijainnin. Tällöin toisen lavetin täytyy suorittaa tutkavalaisu. [9, s. 396] Kohteen valaisun voi suorittaa joko ilma-alus tai maahenkilöstö [10]. Aktiivinen tutkahakupää tarkoittaa, että risteilyohjuksessa on oma tutka, joka lähettää ja vastaanottaa pulsseja. Tällöin ohjus kykenee hakeutumisen puolesta itsenäiseen toimintaan. [9, s. 396] Passiivinen tutkahakupää hakeutuu tutkan lähettämään säteilyyn. Hakupää etsii ja lukkiutuu tutkan pääkeilan ja sivukeilojen säteilyyn jopa 150 km etäisyydeltä. [9, s. 400]

Laserhakupää hakeutuu kohteesta heijastuvaan lasersäteeseen. Ilma-alus tai maahenkilöstö valaisee kohdetta laserilla, ja ohjuksen hakupää havaitsee kohteesta heijastuvan säteen. Laserhakupään toimintaetäisyys on noin 10 km. [9, s. 394]

Lämpöhakupään toiminta perustuu infrapunasäteilyn havaitsemiseen ja säteilyyn hakeutumiseen. Nykyaikainen lämpöhakupää käyttää 2-ulotteista tuijottavaa ilmaisimatriisia, jonka avulla kohteesta voidaan muodostaa 2-ulotteinen kuva. Kuvaava hakupää (IIR, Imaging Infra-red [21]) kykenee tunnistamaan ja jopa yksilöimään kohteita lämpösäteilyn perusteella. [9, s. 397] Kohteen tunnistamisen perustana on ohjuksen muistiin tallennettu kirjasto kohteista [8, s. 94–95]. Modernia lämpösensoria hyödyntävät hakupäät pystyvät itse päättämään, mikä maaleista on kannattavin hyökkäyskohde, ja näin ollen maalin valintaan ei välttämättä tarvita ihmistä [9, s. 398].

2.6 Taistelukärki

Risteilyohjus kantaa hyötykuormanaan taistelukärkeä, jonka voidaan ajatella olevan risteilyohjuksen olennaisin osa. Taistelukärki sijaitsee yleensä ohjuksen rungon sisässä, navigointijärjestelmän ja moottorin välissä. [10] Pitkän kantaman ohjuksen normaali hyötykuorma on noin 300–450 kg. Risteilyohjus voidaan varustaa konventionaalisella räjähdekärjellä, tytärkранаateilla, radioaktiivisella räjähdekärjellä, ydinkärjellä, EMP:llä, hiilikuiturihmojen kanto-laitteella, termobaarisella räjähteellä tai jopa lentolehtisillä [6; 8, s. 105; 10]. Millään valtiolla ei ole virallisesti kemiallisia tai biologisia taistelukärkiä risteilyohjuksissaan, vaikka risteilyohjus suhteellisen hitaan lentonopeutensa vuoksi soveltuisi hyvin kemiallisten tai biologisten aineiden levitykseen. [7, s. 83]

Räjähdekärjen vaikutus perustuu joko paineeseen, sirpaleisiin tai läpäisyyn, ja se voi olla myös useamman yhdistelmä. Käytettävä taistelulataus valitaan kohteen mukaan. Tytärkранаatit voivat sisältää räjähdettä, tai biologista tai kemiallista taisteluainetta. Tytärkранаatteja käyttävät risteilyohjukset kykenevät levittämään niitä ruumastaan, ilman että ohjuksen täytyisi tuhoutua prosessissa. Joillakin ohjuksilla on kyky levittää osa tytärkранаateista yhteen kohteeseen, ja jatkaa tämän jälkeen lentoa toiseen kohteeseen, jossa ohjus levittää lisää tytärkранаatteja. [10] Joihinkin ohjuksiin voidaan asentaa myös ydinkärki (yleensä 1–200 kilotonnia) tai elektromagneettisen pulssin ilman ydinlatausta tuottava taistelukärki (EMP, Electro-Magnetic Pulse) [8, s. 105]. Hiilikuiturihmoilla aiheutetaan oikosulkuja esimerkiksi muuntajissa, jolloin sähköverkkoa kyetään lamauttamaan [10]. Termobaarisen taistelukärjen vaikutus perustuu kovaan kuumuuteen ja paineeseen [22].

3 YHDYSVALTALAISET JA EUROOPPALAISET RISTEILYOHJUKSET

Tässä luvussa esitellään kuusi nykyaikaista risteilyohjusta, niiden eri kehitysversioita sekä kehitysprojekteja. Risteilyohjusten ominaisuuksien selvittämisessä lähteenä on käytetty ensisijaisesti IHS Jane's -tietokantaa, ja tiedot on pyritty varmistamaan eri internetlähteistä. Risteilyohjusten valmistajien antamat tiedot täsmäsivät IHS Jane's -tietokannan tietoihin, joten on mahdollista, että osa tiedosta on valmistajien myynti- tai muussa tarkoituksessa liioittelemaa tai vähättelemaa tietoa. Varsinkin tiedot ohjusten kantamasta ovat todennäköisesti optimaalisia maksimikantamia, joihin ohjus voi sopivissa olosuhteissa ja oikeanlaisella lentoradalla päästä. Tämän vuoksi kantama ei todennäköisesti ole todellisessa taistelukäytössä yhtä hyvä. Myös läpäisykyvystä annettuihin tietoihin on syytä suhtautua varauksella, sillä tiedot ovat todennäköisesti samoin optimaalisella osumalla mitattuja, ja taistelutilanteessa optimaalinen osuma voi olla haastava joka kerta saavuttaa. Ohjusten mitoista ja painoista annettuihin tietoihin voi hyvin todennäköisesti luottaa, sillä nämä arvot ovat melko yksiselitteisesti mitattavissa. Risteilyohjusten ulkomuotoa havainnollistavat kuvat ovat liitteessä 2, ja ohjusten tiedot ovat taulukoissa liitteessä 3.

3.1 Lockheed Martin AGM-158A JASSM ja AGM-158B JASSM-ER

Yhdysvaltalaisen Lockheed Martinin 1990-luvun puolivälistä alkaen kehittämä AGM-158 JASSM (Joint Air-to-Surface Standoff Missile) on pitkän kantaman ilmasta maahan -risteilyohjus [23]. Ohjuksen perusversio on malliltaan AGM-158A ja se otettiin käyttöön Yhdysvaltain ilmavoimissa vuonna 2003. Se on alatasoinen häiveteknologiaa hyödyntävä ohjus, jonka runko on pyöristetyn suorakaiteen muotoinen ja jolla on yksi sivuvakaaja. Siivet ovat suorakaiteen muotoiset ja niissä on nuolikulmaa. [24] Siivet ja sivuvakaaja ovat ohjuksen sisällä laukaisuun saakka, kunnes ne laukaisuhetkellä avautuvat pienten räjähteiden avulla [23; 24]. Ohjuksen runko on valmistettu komposiittimateriaaleista. Ohjuksen mitat ovat: pituus 4,26 m, leveys 0,55 m, korkeus 0,45 m, siipien kärkiväli 2,4 m ja laukaisupaino 1023 kg. [23; 24; 25]

AGM-158A käyttää voimanlähteenään Teledyne CAE J402-CAA-100 suoraa suihkumootoria, joka tuottaa 3 kN työntövoimaa [23]. Ohjuksen kantama on ainakin 370 km [23; 24; 25]. Ohjuksessa on taistelukärkenä 454 kg painava WDU-42/B läpäisy- ja sirpalekärki. Kärjen pituus on 1,82 m, halkaisija 0,295 m, paino 432 kg ja se sisältää 103 kg räjähdeainetta. Sytyttimenä on sähkömekaaninen sytytin. [24]

Navigointiin AGM-158 käyttää integroitua INS/GPS suunnistusjärjestelmää [23; 24; 25]. Ohjus lentää oletusarvoisesti korkean profiilin lentorataa, syöksyen lopussa jyrkästi kohteeseen. Vaihtoehtona on myös lentää matalan profiilin lentorataa noin 500 metrin korkeudessa. [24] Loppuhakeutumisen kohteeseen JASSM suorittaa kuvaavalla infrapunahakupäällä, joka käyttää itsenäisiä kohteentunnistusalgoritmeja [23; 24]. Hakupää toimii 3–5 µm aallonpituuksilla ja sen pikseleiden määrä on 256 x 256. Ohjus käyttää kohteen tunnistamiseen kolmiulotteisia malleja, joihin on yhdistetty GPS-koordinaatit. [24]

AMG-158A JASSM -risteilyohjuksesta on kehitetty pidemmän toimintamatkan omaava AGM-158B JASSM-ER (JASSM-Extended Range), jonka tuotanto aloitettiin vuonna 2012 [24]. AGM-158B käyttää samaa runkoa kuin AGM-158A, joten ohjukset näyttävät identtisiltä. JASSM-ER -ohjuksessa on kuitenkin suurempi sisäinen polttoainesäiliö, jonka lisäksi siihen on asennettu uusi tehokkaampi Williams F107-WR-105 -ohivirtausmoottori. [24; 26] Näiden parannusten johdosta ohjuksen kantomatka on jopa 926 km. AGM-158B -ohjuksessa on uusi sähköinen sytytin (ESAF, Electronic Safe/Arm Fuze), joka tullaan asentamaan myös AGM-158A -ohjuksiin. Sytytin on vahvempi kuin alkuperäinen, jolloin todennäköisyys sen hajoamiselle iskussa on pienempi. AGM-158B -ohjukseseen on asennettu datalinkkijärjestelmä, joka mahdollistaa kohteen vaihtamisen kesken ohjuksen lennon sekä vaikutuksen arvioinnin osumakohtaa tarkkailemalla. Lockheed Martin on tutkinut tytärammusten kantamista molemmissa ohjuksissa. Ohjus kykenisi kantamaan 2–10 älykästä tytärammusta, jotka voitaisiin mahdollisesti laukaista lennon aikana. [24] JASSM-ER on hyväksytty käyttöön alueilla, joissa GPS-paikannusta häiritään tai sitä ei ole saatavilla [26].

3.2 Raytheon Missile Systems AGM-129 Advanced Cruise Missile

AGM-129 Advanced Cruise Missile (ACM) on yhdysvaltalainen ilmasta laukaistava maakoh-teita vastaan suunnattu risteilyohjus, jonka kehitys alkoi 1980-luvun alussa, ja joka otettiin palveluskäyttöön Yhdysvaltain ilmavoimissa vuonna 1991. Käytössä oleva ohjus on versioltaan AGM-129A. Muita versioita suunniteltiin, mutta yksikään näistä ei tiettävästi päätenyt tuotantoon. AGM-129 -ohjuksen muoto on suunniteltu erityisesti häiveominaisuuksia ajatellen. Jokainen yksityiskohta ohjuksen muodossa on tarkoitettu vähentämään ohjuksen tutka-poikkipinta-alaa ja lämpöherätettä. Ohjuksella on sylinterinmuotoinen runko, jonka alapuoli on tasainen. Moottorin ilmanottoaukko on ohjuksen alapuolella syvennyksessä. Ohjuksella on ylätasoiset siivet, jotka aukeavat vasta laukaisun jälkeen. Korkeusperäsin sijaitsee ohjuksen perässä ja sivuperäsin on ohjuksen alapuolella. [27] Sekä siivet että korkeusperäsin ovat asetettu negatiiviseen nuolikulmaan. Ohjuksen nokka on muotoiltu talttamaiseksi tutkapoikkipin-

ta-alan pienentämiseksi. Siipien negatiivinen nuolikulma vähentää myös tutkapoikkipinta-alaa. Ohjuksessa on käytetty tutkasäteitä absorboivia materiaaleja, ja se on maalattu maalilla, joka vähentää lämpöherätettä. [27; 28] Ohjuksen mitat ovat seuraavat: pituus 6,35 m, leveys 0,74 m, korkeus 0,64 m, siipien kärkiväli 3,1 m ja laukaisupaino 1682 kg [27].

AGM-129 -ohjuksen moottorina on Williams International F112-WR-100 kaksiakselinen ohivirtausmoottori. Moottori painaa 73 kg ja se tuottaa 3,26 kN työntövoimaa. [27] Moottorin ulosvirtausilmaan sekoitetaan viileää ilmaa lämpöherätteen vähentämiseksi [27; 28]. Ohjuksen matkalentokorkeus on 15–30 metriä, ja se lentää noin 800 km/h nopeudella, joka vastaa merenpinnan tasolla standardi-ilmakehässä nopeutta 0,65 M. AGM-129 -risteilyohjuksessa on taistelukärkenä 150 kilotonnin W80-1 ydinkärki. Ydinkärki painaa noin 130 kg, se on 0,80 m pitkä ja sen halkaisija on 0,30 m. [27]

Suunnistusjärjestelmänä ohjuksessa on maastontunnistusnavigointijärjestelmä, johon liittyy myös radiokorkeusmittari. [27; 28] On mahdollista, että ohjuksiin on jälkikäteen asennettu TRN-järjestelmän lisäksi INS/GPS -järjestelmä. Ohjuksen arvioitu tarkkuus on noin 90 metriä. [27].

Raytheon on kehittänyt uuden kaksivaiheisen tunkeutumiskykyisen taistelukärjen (TWS, Tandem Warhead System), jota demonstroitiin vuonna 2008. Uusi taistelukärki on suunniteltu erityisesti AGM-129 -risteilyohjuksia varten; tosin mitään varmistusta taistelukärjen asentamisesta ohjuksiin ei ole. Ohjuksen poistamista käytöstä suunniteltiin tapahtuvan jo vuoteen 2012 mennessä, mutta Raytheon sai uuden sopimuksen ohjuksen huollon jatkamisesta, joten ohjus säilyy edelleen Yhdysvaltain ilmavoimien kalustossa. [27] AGM-129 -risteilyohjuksen kehitysprojektien vähyys kertoo todennäköisesti siitä, että ohjuksen päivityksestä syntyvät kustannukset ylittäisivät saavutetut hyödyt. Ohjus aiottiin jo kertaalleen poistaa Yhdysvaltain kalustosta, joten ilman päivityksiä se on vanhenevaa kalustoa. Voikin olla, että ohjusta säilytetään käytössä enää vain siihen asti, että sen komponentit vanhenevat lopullisesti. Toinen mahdollisuus on, että ohjus on vielä nykyisillä komponenteillaan tarpeeksi suorituskykyinen, jolloin sen päivittämiselle ei ole tarvetta.

3.3 TAURUS KEPD 350

TAURUS KEPD 350 (Kinetic Energy Penetration Destroyer) on saksalais-ruotsalaisen Taurus Systems GmbH -yrityksen 1990-luvulta lähtien kehittämä ilmasta laukaistava risteilyohjus [29; 30]. Ohjuksen runko on suorakaiteen muotoinen ja sillä on taittavat ylätasoiset siivet. Sen

pyrstössä on neljä peräsintä, jotka on asetettu 45 asteen kulmaan pystytasosta. Peräsimistä kaksi on sijoitettu ohjuksen yläpinnalle ja kaksi alapinnalle. Ohjuksen rungon molemmilla sivuilla on moottorin ilmanottoaukot ja suihkusuutin sijaitsee ohjuksen perässä. [29] Ohjuksen mitat ovat: pituus 5,1 m, leveys 0,63 m, korkeus 0,32 m, siipien kärkiväli 2,0 m, laukaisupaino 1400 kg [29; 30; 31; 32].

Ohjuksen moottorina on Williams P8300-15 ohivirtausmoottori, jonka avulla ohjus lentää matkalentonopeuttaan 0,6–0,95 Mach [30; 31]. Moottori tuottaa noin 6,7 kN työntövoimaa [26]. Ohjuksen toimintamatka on ainakin 500 km matalan korkeuden lentoprofiililla [29; 30; 31; 32]. Käyttämällä JP10-polttoainetta toimintamatkaa voidaan kasvattaa jopa 575 kilometriin [29; 31]. Polttoainesäiliöt ovat taistelukärjen ympärillä ohjuksen keskivaiheilla [29].

KEPD 350 -ohjuksessa on MEPHISTO-läpäisytaistelukärki (Multi-Effect Penetrator, Highly Sophisticated and Target Optimised), jonka massa on 495 kg. Taistelukärki on kaksivaiheinen; kärjessä on ontelopanos, ja sen perässä on virtaviivainen läpäisypanos. Ontelopanoson pituus on 54 cm, halkaisija 36 cm ja massa 95 kg. Läpäisypanos on 2,29 m pitkä ja sen massa on 400 kg. Taistelukärki sisältää panosten lisäksi PIMPF-sytyttimen (Programmable Intelligent Multi-Purpose Fuze) sekä elektro-optisen sensorin, joka laukaisee ontelopanoson. PIMPF-sytytintä on tarkoitettu erityisesti kohteiden läpäisyyn ja se kykenee laskemaan rakennuksen kerroksia havainnoimalla läpäisyjen ja tyhjien tilojen määrää. Tällöin ohjuksen taistelukärki voidaan asettaa räjähtämään esimerkiksi kolmen kerroksen läpäisyn jälkeen. [29; 31] Testeissä on osoitettu, että ohjus kykenee läpäisemään yli 5 m kerroksittain aseteltua vahvennettua betonia ja maa-ainesta. Läpäisy on saavutettu vain 30 asteen kulmalla nopeudella 250 m/s. [29] Taistelukärki voidaan räjäyttää myös ilmassa, kun ohjus on kohteen päällä [29; 31].

KEPD 350 käyttää suunnistukseen Tri-Tec yhdistettyä navigointijärjestelmää. Ohjuksen ensisijaisena navigointijärjestelmänä on inertiasuunnistusjärjestelmä, jota voidaan päivittää kolmen muun eri järjestelmän avulla. Toissijaiset järjestelmät ovat GPS, IIR sekä SHF-taajuuksilla toimiva radiokorkeusmittari (TRN). Ohjus kykenee navigoimaan riittävällä tarkkuudella ilman GPS-signaalia. [29; 30; 31] Radiokorkeusmittari mahdollistaa ohjuksen matalalennon 30 metrin korkeudella. Sekä GPS että radiokorkeusmittari ovat suojattuja häirinnältä. Loppuhakeutuminen suoritetaan IIR-hakupäällä, jota kyetään käyttämään myös navigointiin reittilentovaiheessa. [29] Navigointijärjestelmän monipuolisuudella pyritään riippumattomuuteen GPS-paikannuksesta, joka voi olla eurooppalaiselle yritykselle hyvä keino markkinoida risteilyohjusta. KEPD 350 sopisi täten hyvin käytettäväksi valtioille, joille Yhdysvallat ei tarjoa PPS-palvelua satelliittipaikannukseen.

Taurus KEPD 350 -ohjuksiin asennetaan tulevaisuudessa mahdollisesti kaksisuuntainen data-linkkijärjestelmä, joka mahdollistaisi operaattorin suorittaman loppuhakeutumisen sekä asevaikutuksen arvioinnin. Taurus Systems GmbH on tutkinut mahdollisia jatkokehitelmiä Taurus KEPD 350 -risteilyohjuksesta. Taurus HPM -versiossa olisi taistelukärkenä suuritehoinen mikroaaltoase, jolla voitaisiin lamauttaa vihollisen sähköisiä järjestelmiä. Taurus M sisältäisi tytärammusten levittämiseen tarkoitettun järjestelmän, ja se voisi kuljettaa kahdeksaa tytärammusta aluevaikutuksen aikaansaamiseksi. Taurus L olisi kevennetty versio Taurus KEPD 350 -ohjuksesta. Sillä olisi mukana vähemmän polttoainetta ja se olisi tarkoitettu kevyiden hävittäjien kannettavaksi. Taurus T olisi kuljetuslentokoneiden kannettavaksi tarkoitettu risteilyohjus. Se olisi yhteensopiva Airbus A400M ja Lockheed Martin C-130J Super Hercules -koneiden kanssa, ja laukaisu tapahtuisi koneen takarampin kautta. Kumpikin koneista kykenisi kantamaan tähän tarkoitukseen modifioituna 12 ohjusta. Taurus CL olisi maa-ajoneuvosta laukaistava versio ohjuksesta. Yritys on tutkinut myös mahdollisuutta valmistaa laivasta laukaistava versio ohjuksesta. [29] Näistä versioista moni on todennäköisesti vain konsepteja, ja luultavasti usealle käy samalla tavalla kuin KEPD 350 -ohjuksen pienemmälle KEPD 150 -versiolle, jonka kehitys lakkautettiin. Tosin edellisessä kappaleessa mainittu Taurus L vaikuttaa lähes samalle ohjukselle kuin KEPD 150, joten voi olla, että version kehitys on jatkunut uudestaan eri nimellä. Laaja versiovalikoima voi myös olla osa yrityksen markkinointia, jolla se pyrkii osoittamaan asejärjestelmänsä monipuolisuuden.

3.4 MBDA Apache ja Storm Shadow / Scalp EG

MBDA Apache -risteilyohjus oli alun perin Ranskan ja Saksan vuonna 1983 alkanut yhteishanke, mutta Saksa vetäytyi projektista vuonna 1988. Apache on aerodynaamisesti muotoiltu ja sen rungon poikkileikkaus on suorakulmion muotoinen. Ohjuksessa on ylätasoiset kaapejänteiset kääntyvät siivet, jotka ovat suorakaiteen muotoiset. Ohjuksen peräpäässä on kylkiin asennettuna deltasiiiven muotoiset korkeusperäsimet, ja sekä ohjuksen ylä- että alapinnalla on kaksi sivuvakaajaa. Moottorin virtaviivainen ilmanottoaukko on keskirungon alapuolella. Apache on 5,1 m pitkä, 0,63 m leveä, 0,48 m korkea, sen siipien kärkiväli on 2,84 m ja se painaa 1230 kg. [33]

Apache-ohjuksen moottorina on 66 kg painava Microturbo TRI 60-30 suora suihkumoottori, joka tuottaa noin 5,5 kN työntövoimaa [33; 34]. Moottorin käynnistymiseksi ohjus pitää laukaista 0,7–0,9M nopeudelta. Ohjuksen matkalentonopeus on 0,82 M ja maksiminopeus 0,95 M. Sen normaali toimintamatka on 140 km, jota kyetään kasvattamaan jättämällä osan ohjuksen kuormasta pois ja ottamalla tilalle lisää polttoainetta. Apache voi kantaa 520 kg asekuor-

maa, joka käsittää 10 KRISS-kiitotieammusta. 52 kilogramman painoinen KRISS on sylinterinmuotoinen tytärammus, joka koostuu rakettiavusteisesta tunkeutumiskykyisestä taistelukärjestä, kiinteää polttoainetta käyttävästä rakettimoottorista sekä vakautusvarjosta. Rakettimoottori kiihdyttää ammuksen 400 m/s nopeuteen 0,25 sekunnissa. [33]

Ohjus navigoi matkalentovaiheessa inertiasuunnistusjärjestelmän avulla, jota päivittää Prométhée-millimetriaaltotutka vertailemalla tutkakuvaa muistiin tallennettuihin kuviin. Tutkalla ohjus suorittaa myös loppuhakeutumisen kohteeseen. Ohjus lentää matkalentovaiheessa todennäköisesti noin 150 metrin korkeudessa, josta se laskeutuu 50 metrin korkeuteen ennen kohteelle saapumista läpäistäkseen paremmin vihollisen puolustuksen. [33]

MBDA Storm Shadow on Iso-Britannian ja Ranskan yhteisprojektina kehitetty ilmasta laukaistava risteilyohjus. Ohjuksesta käytetään Ranskassa nimeä Scalp EG ja Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa nimeä Black Shaheen. Storm Shadow on kehitetty aikaisemman ranskalaisen Apache-ohjuksen pohjalta. [33] Storm Shadow -ohjus on samanmuotoinen ja kokoinen kuin Apache, mutta sen laukaisupaino on hieman suurempi, 1300 kg [33; 35; 36]. Ohjus hyödyntää häiveteknologiaa tutkapaikkipinta-alan pienentämiseksi. [33; 35]

Ohjuksessa on moottorina sama moottori, kuin Apache-ohjuksessa [33; 36]. Osa lähteistä mainitsee ohjuksen kantaman olevan yli 250 km [35; 36], mutta IHS Jane's -sivusto kertoo sen olevan jopa 650 km [33]. Pidempikin toimintamatka on mahdollinen, mikäli ohjuksen lisääntynyt paino johtuu pääasiassa polttoaineesta. Pienemmän asekuorman ja suuremman laukaisupainon johdosta ohjus voisi kantaa jopa 290 kg enemmän polttoainetta kuin Apache.

Storm Shadow -ohjuksen taistelukärkenä BAE Systems RO Division BROACH (Bomb Royal Ordnance Augmented Charge) räjähdelläpäisykärki, joka painaa 300 kg [33; 36]. Taistelukärjen edessä on ontelopanos, joka räjähtäessään muodostaa kuuman metallisuihkun, joka tekee reiän kohteeseen [33]. Tämän reiän avulla varsinainen taistelukärki murtautuu kohteen sisälle ja räjähtää [33; 36]. Ohjus osuu kohteeseen nopeudella 100–300 m/s, ja se kykenee läpäisemään 2–4 m betonia. Läpäisy on saavutettu 70 asteen osumakulmalla. Taistelukärjessä on MAFIS (Multi-Application Fuzing Initiation System) sytytin, joka voidaan virittää räjäyttämään taistelukärki halutussa vaiheessa. Ohjuksen kärjessä on iskusytytin ontelopanosen räjäyttämistä varten. Taistelukärki voidaan räjäyttää myös ilmassa sirpalevaikutuksen aikaansaamiseksi, ja tätä varten ohjuksessa on kaksi elektro-optista lasersensoria, jolloin taistelukärki voidaan räjäyttää tietyllä etäisyydellä. [33]

Reittivaiheen suunnistus on toteutettu yhdistetyllä INS/GPS -järjestelmällä [33; 35; 36]. Järjestelmässä on 10-kanavainen GPS-vastaanotin ja laserhyrrä. Loppuhakeutumiseen ohjuksella on IIR-hakupää, joka kykenee automaattiseen kohteentunnistukseen. Matalan lentokorkeuden mahdollistamiseksi ohjuksessa on radiokorkeusmittari, joka kykenee todennäköisesti säilyttämään noin 150 metrin lentokorkeutta. Radiokorkeusmittari toimii korkeuksilla 10–1000 m, ja se on suojattu häirinnältä. [33] Se pystyy lisäksi päivittämään ohjuksen navigointijärjestelmää maastontunnistusnavigoinnin avulla [35]. Storm Shadow lähestyy kohdetta matalalla ja kohteen läheisyydessä nousee korkeammalla, jotta hakupää voi kuvata alueen ja tunnistaa kohteen. Tämän jälkeen ohjus syöksyy suurella nopeudella kohteeseen. [33; 35]

MBDA tutkii Iso-Britannian puolustusministeriön pyynnöstä mahdollisuutta Storm Shadow -ohjuksen MLU (Mid Life Update) -päivitykselle. MBDA on suunnitellut vaiheittaisen päivitysohjelman ohjukselle, jonka vaiheista käytetään nimitystä Epoch. Epoch-1 -päivitys sisältäisi mahdollisuudet päivittää ohjuksen kohde lentokoneessa ennen laukaisua sekä arvioida asevaikutusta. Asevaikutuksen arviointia varten ohjuksen IIR-hakupää ottaisi kolme valokuvaa kohteesta ja lähettäisi ne yksisuuntaisen datalinkin välitykselle laukaisun suorittaneelle lentokoneelle. Epoch-2 -päivitys sisältäisi kaksisuuntaisen satelliittien välityksellä toimivan datalinkin sekä mahdollisuuden säätää taistelukärjen vaikutusta. IHS Jane's sivuston mukaan Iso-Britannian puolustusministeriön lähteet ovat kertoneet BROACH-taistelukärjen päivityksestä, joka tunnetaan nimellä HARDBUT (Hard and Deeply Buried Target). HARDBUT on kaksivaiheinen taistelukärki, joka toimii samalla periaatteella kuin BROACH, mutta joka MBDA:n mukaan ylittää merkittävästi minkään aiemman MBDA:n valmistaman taistelukärjen läpäisykyvyn. Päivitetyllä taistelukärjellä olisi kaksinkertainen läpäisykyky nykyiseen verrattuna sekä uusi älykäs sytytin. [33] Kaksinkertaisen läpäisykyvyn saavuttaminen vaatisi ohjuksen kineettisen energian lisäämistä, sillä se on tuskin saavutettavissa vain paremmalla ontelopanoksella. Päivitys koskee lähteen mukaan kuitenkin vain taistelukärkeä, jolloin ohjuksen nopeus säilyisi samana. Taistelukärjen massaa ja kovuutta on mahdollista lisätä hieman, mutta on melko epätodennäköistä, että kehityksen seurauksena läpäisykyky kaksinkertaistuisi. Epoch-2 -päivitys sisältäisi myös uudistuksia tehtävänsuunnittelujärjestelmään sekä navigointijärjestelmään, joiden seurauksena ohjuksen toimintamatka pitenisi [33].

3.5 Aérospatiale ASMP ja ASMP-A

ASMP (Air-Sol Moyenne Portée) on ranskalainen ydinkärjellä varustettu ilmasta laukaistava risteilyohjus, jonka kehitys alkoi vuonna 1978. Se on sylinterinmuotoinen teräväkärkinen ohjus, jolla on neljä ohjaussiivekettä suihkuputken ympärillä sekä sivuperäsin ohjuksen päällä.

Moottorin suorakulmaiset ilmanottoaukot sijaitsevat ohjuksen kyljissä. ASMP on 5,38 m pitkä, sen halkaisija on 0,38 m, siivekkeiden kärkiväli 0,96 m ja paino 860 kg. [37; 38]

Ohjuksessa on patoputkimoottori sekä kiinteällä polttoaineella toimiva rakettimoottori, joka sijaitsee patoputkimoottorin sisällä. Rakettimoottori kiihdyttää ohjuksen tarpeeksi suureen nopeuteen patoputkimoottorin toimintaa varten. [37; 38] Ohjuksen pienin laukaisunopeus on 0,6 M, ja rakettimoottori kiihdyttää ohjuksen 2,0 M nopeuteen viidessä sekunnissa. Kun patoputkimoottorin ilmanottoaukot aukeavat, rakettimoottori laukaistaan pois suihkuputkesta ja patoputkimoottori käynnistyy. [37] Ohjuksen nopeus korkealla on 3,0 M ja matalalla 2,0 M. Korkealta laukaistuna ohjuksen kantama on 300 km, mutta matalalta laukaistuna kantama on vain 80 km. Ohjuksessa on 300 kilotonnin TN-81 -ydinkärki, joka painaa 200 kg. [37; 38] Navigointijärjestelmä sisältää inertiasuunnistusyksikön sekä TRN-järjestelmän. Kohteen koordinaatit syötetään ohjukseen laukaisevan lentokoneen tutkan avulla. [37]

ASMP-A on ASMP-risteilyohjuksen kehittyneempi versio. ASMP-A on samanmuotoinen kuin ASMP, mutta pidempi ja painavampi. Ohjuksen laukaisupaino on 950 kg. Siinä on aiempaa kehittyneempi patoputkimoottori, jonka avulla sen kantaman on ilmoitettu olevan kaksinkertainen ASMP-ohjukseen verrattuna, eli korkealta laukaistuna 600 km. ASMP-A-ohjuksessa on uusi 300 kilotonnin TNA-ydinkärki, joka on paremmin suojattu muun muassa elektromagneettisilta pulsseilta. [37]

4 RISTEILYOHIJUSTEN KEHITYSNÄKYMÄT

Tässä luvussa tarkastellaan risteilyohjusten kehitysnäkymiä etsimällä kehitystrendejä sekä esittelemällä tulevia risteilyohjusprojekteja.

4.1 Kehitysnäkymiä

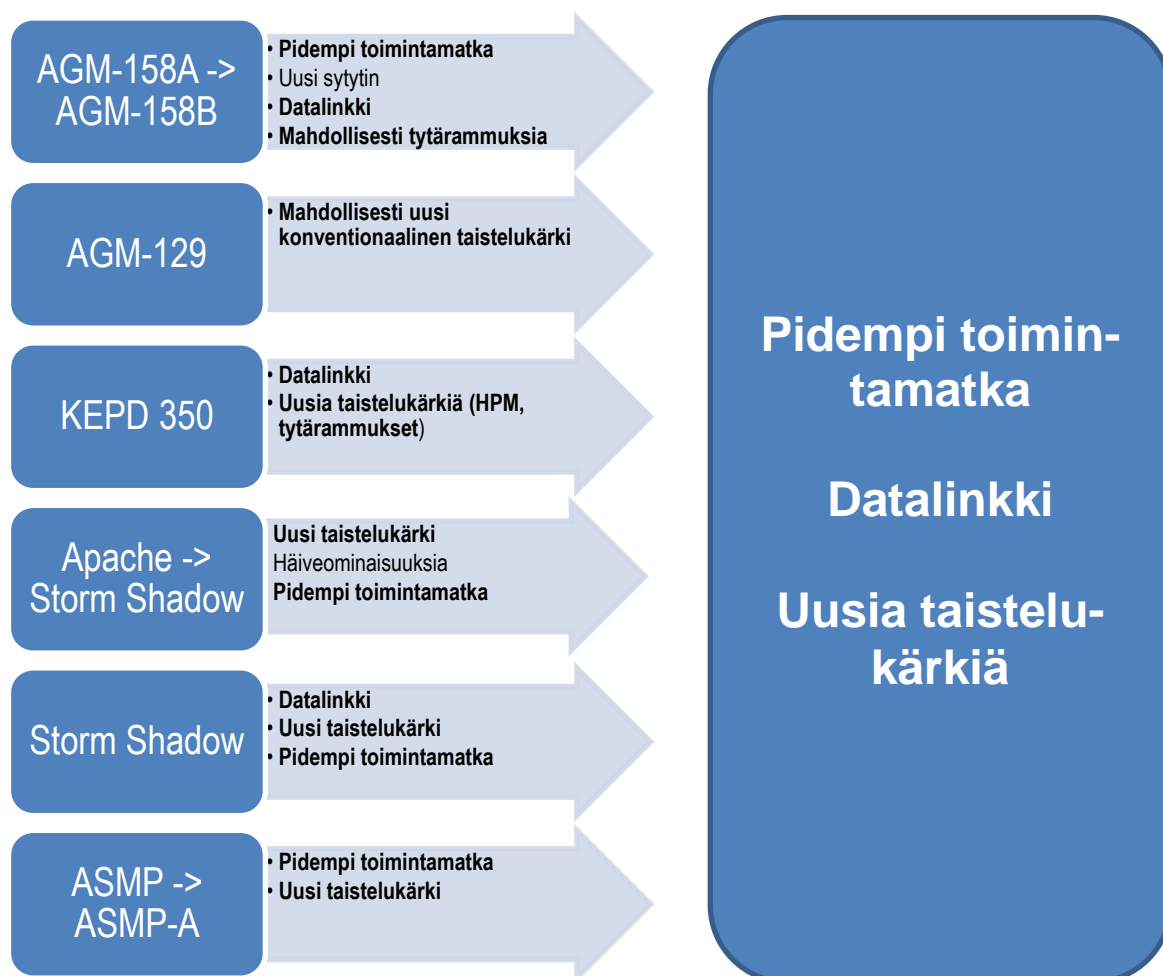
Lähitulevaisuuden kehitystrendejä voidaan nähdä nykyisten risteilyohjusten päivitysprojekteista. Kuvan 1 (sivulla 23) avulla on helppo havaita keskeiset kehityskohteet. Kuvaan on lisätty kolmannessa luvussa tehdyt havainnot risteilyohjusten päivityskohteista. Tämän jälkeen on tutkittu, mitkä päivityskohteista esiintyvät useimmiten, ja todettu keskeisimmät kehitysnäkymät. Kuvan 1 perusteella voidaan siis todeta, että mikäli tietty kehityssuunta esiintyy useissa risteilyohjuksissa, se on kehitystrendi. Päivityksistä esiin nousevat erityisesti datalinkki, vaikutusosan kehittäminen sekä toimintamatkan pidentäminen.

Ohjuksen ja laukaisualustan (lentokone) tai johtokeskuksen välillä tietoa välittävä datalinkki on jo olemassa AGM-158B JASSM-ER -ohjuksessa ja datalinkki asennetaan mahdollisesti myös Storm Shadow ja KEPD 350 -ohjuksiin päivitysten myötä. Tämän perusteella voidaan myös olettaa, että datalinkki tulee olemaan kiinteä osa tulevaisuuden risteilyohjuksia Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Datalinkin avulla pystytään vaihtamaan risteilyohjuksen kohdetta kesken lennon, varmistamaan oikea kohde ja jopa tekemään arviota vaikutuksen tehokkuudesta.

Toinen näkyvä trendi on risteilyohjuksen vaikutusosan kehittäminen ja vaikutusmahdollisuuksien laajentaminen. Uutta taistelukärkeä on kehitetty tai suunniteltu kehitettäväksi AGM-129 ACM, AGM-158B JASSM-ER, KEPD 350, Storm Shadow ja ASMP-A -risteilyohjuksiin. Taistelukärjissä on pyritty pääsääntöisesti joko parantamaan läpäisykykyä tai laajentamaan vaikutusmahdollisuuksia esimerkiksi tytärammuksilla tai HPM-aseilla. Tulevaisuudessa risteilyohjusten vaikutusosista saatetaan hyvinkin tehdä modulaarisia, jolloin taistelukärki voidaan valita aina kohteen perusteella ennen tehtävää.

Kolmantena kehityskohteena voidaan nähdä olevan toimintamatkan pidentäminen. AGM-158B JASSM-ER ja ASMP-A -ohjuksissa on jo pidemmät toimintamatkat edellisiin versioihin verrattuna ja Storm Shadow -ohjuksen toimintamatkan on tarkoitus pidentyä tulevien päivitysten myötä. Toimintamatkan pidentäminen onnistuu pääsääntöisesti joko lisäämällä polt-

toaineen määrää, vaihtamalla risteilyohjuksen moottori taloudellisempaan tai muuttamalla lentoprofiilia (suihkumoottori kuluttaa vähemmän polttoainetta korkealla).



Kuva 1: Risteilyohjusten kehityskohteita

Tulevaisuuden risteilyohjuksiin voidaan mahdollisesti asentaa myös omasuojajärjestelmiä, kuten lämpösoihtuja, silppua, tutkahäirintälähetin ja hinattavia valemaaleja. Lentokoneisiin suunniteltujen elektronisten ja infrapunavastatoimijärjestelmien keventyessä on mahdollista, että näitä järjestelmiä voitaisiin käyttää myös risteilyohjuksissa. [10]

Lähes kaikki nykyiset yhdysvaltalaiset ja eurooppalaiset risteilyohjukset hyödyntävät häiveteknologiaa, joten voidaan olettaa, että häiveteknologian kehittyminen tulee näkymään myös risteilyohjuksissa. Koska risteilyohjukset ovat kertakäyttöisiä aseita, kehittyneimmät ja kalteimmat lentokoneissa nähtävät häiveominaisuudet eivät todennäköisesti tule välittömästi risteilyohjuksiin. Ilma-alusten muotoilulla on enää vaikea parantaa häiveominaisuuksia, koska nykyiset tehokkaat tietokoneet mahdollistavat teoreettisesti parhaiden häiveratkaisuiden kehittämisen [39, s. 456]. Jo nykyisissä risteilyohjuksissa on kärjen ja rungon muotoilulla sekä ilmanottoaukon piilottamisella pienennetty tutkapaikkipinta-alaa. Perinteisten tutkavaimennus-

materiaalien suorituskyvyssä ei ole nähtävissä juurikaan kehitystä, mutta niiden hinnat tulevat oletettavasti alenemaan [39, s. 460]. Tutkavaimennusmateriaalien haittana on ohjuksen lisääntyvä paino [39, s. 459], mutta niiden halvemmän hinnan johdosta käyttö risteilyohjuksissa voi lisääntyä. Ilma-aluksissa tutkavaimennusmateriaalien sijasta tutkavaimennusrakenteet ovat kasvattamassa merkitystään. Tutkavaimennusrakenteilla saavutetaan todennäköisesti paremmat häiveominaisuudet kuin tutkavaimennusmateriaaleilla. [39, s. 460]

Moottoritekniikan huippua edustaa Yhdysvalloissa kehitetty HyFly-projekti. Projektin tarkoituksena oli kehittää hypersooninen ilma-alus, jonka avulla testataan teknologiaa tulevaisuuden asejärjestelmiä varten. HyFly-aluksen moottorina on kaksoispolttokammiota käyttävä ylisooninen patoputkimoottori (scramjet), ja sen aiottu kantama oli 1100 km ja nopeus 6,0 M. HyFly-alus lensi muutamia testilentoja, mutta projekti keskeytettiin vuonna 2011. [40]

Tulevaisuuden risteilyohjusten inertiasuunnistusjärjestelmissä nähdään todennäköisesti perinteisten mekaanisten hyrrien ja laserhyrrien ohella mikromekaanisesti värähteleviä astehyrriä. Vuoteen 2020 mennessä on mahdollista valmistaa astehyrrä, jonka poikkeama on 0,01 °/h. Tämä ei eroa nykyisten tarkimpien hyrrien suorituskyvystä, mutta astehyrrän etuna on sen edullinen hinta, joka mahdollistaa ohjusten suunnistusjärjestelmien massatuotannon halvalla. [8, s. 77]

Sensoreiden merkitys risteilyohjusten loppuhakeutumisjärjestelmänä tulee säilymään, sillä niillä päästään parempaan tarkkuuteen kuin reittivaiheen navigointijärjestelmillä [41, s. 235]. Useimmissa yhdysvaltalaisissa ja eurooppalaisissa risteilyohjuksissa loppuhakeutuminen on toteutettu kuvaavalla lämpöhakupäällä. Infrapunasensorien tulevaisuuden kehitysnäkymiin kuuluu ilmaisimien matriisien pikselimäärien kasvu megapikseliluokkaan (1024 x 1024, 2048 x 2048) sekä kyky valmistaa entistä herkempiä ja tasalaatuisempia ilmaisimatriiseja [39, s. 75]. Hyvänä vertailukohtana nykyhetkeen toimii AGM-158A JASSM -risteilyohjuksen IIR-hakupään matriisin pikselimäärä (256 x 256) [24]. IR-sensorien yksityiskohtien erottelukyky sekä luokittelu- ja tunnistusetäisyydet tulevat kasvamaan edellä mainitun kehityksen sekä yleisen laskentakapasiteetin kasvun johdosta. IR-ilmaisimien kokoa kyetään myös kasvattamaan tulevaisuudessa, mikä mahdollistaa sensorin näkökentän laajenemisen. Usealla aallonpituusalueella samaan aikaan toimivien kaksi- ja moniväri-ilmaisimien käyttöönotto vaikeuttaa merkittävästi maakohteiden naamiointia IR-sensoreilta. [39, s. 75]

Edellisten kappaleiden perusteella voidaan sanoa, että yleinen tekninen kehitys vaikuttaa risteilyohjusten kehitykseen ainakin tarkkuuden ja taistelunkestävyyden osalta. Sensorien kehity-

tyminen tulee kasvattamaan risteilyohjusten suunnistus- ja loppuhakeutumistarkkuutta, moottoritekniikan edistyminen ohjusten nopeutta ja toimintamatkaa, ja häiveteknologian kehittymisen myötä ohjusten havaittavuus pienenee entisestään. Kehittyneimpiä teknisiä järjestelmiä ei kuitenkaan tulla todennäköisesti näkemään ensimmäiseksi risteilyohjuksissa. Tämä johtuu siitä, että risteilyohjus on kertakäyttöinen järjestelmä, jolloin sen hinta ei voi nousta liian korkeaksi. Saavutetun hyödyn pitää olla tasapainossa käytetyn resurssin kanssa. Tämän johdosta voidaan olettaa, että risteilyohjuksien kehitys ei lähde yllättävään nousuun, vaikka uutta tekniikkaa tulisikin saataville.

4.2 Tulevaisuuden risteilyohjuksia

Yhdysvalloissa ja Euroopassa nykyiset risteilyohjusten kehityshankkeet painottuvat jo olemassa olevien risteilyohjusten kehittämiseen. Julkisesti tiedossa on vain muutamia uusia kehitysprojekteja. Yhdysvalloissa uudet projektit tähtäävät asejärjestelmien kehittämiseen viidennen sukupolven Lockheed Martin F-22 Raptor ja F-35 Lightning II -hävittäjien käyttöön sekä Boeing AGM-86 ALCM -risteilyohjuksen korvaajaksi [42; 43; 44]. Uusien hävittäjien käyttöön mahdollisesti tulevat uudet risteilyohjukset tunnetaan nimillä LCMCM (Low Cost Mini Cruise Missile) sekä SMACM (Surveilling Miniature Attack Cruise Missile). Molempien projektien tämänhetkinen status on tosin epävarma ja kehitystyö on ilmeisesti hidastunut. [42; 43] AGM-86 ALCM -ohjuksen korvaajaan tähtäävä projekti tunnetaan nimellä LRSO (Long Range Standoff) [44]. Eurooppalaisiin tulevaisuuden ohjuksiin lukeutuu MBDA-yhtiön Perseus-ohjus, jonka tarkoitus olisi korvata muun muassa Storm Shadow/Scalp EG-ohjus vuosina 2025–2030 [45].

4.2.1 Lockheed Martin LCMCM

LCMCM (Low Cost Mini Cruise Missile) on yhdysvaltalaisen Lockheed Martin -yhtiön kehityksessä oleva uusi pieni risteilyohjus. Risteilyohjus olisi tarkoitus integroida Lockheed Martin F-22 Raptor ja F-35 Lightning II -hävittäjiin, ja sen tulisi mahtua näiden sisäisiin aseripustimiin. Ohjus tulisi olemaan noin 450 kg:n painoluokassa ja sen toimintamatka olisi noin 1600 km. Lockheed Martin kehittää myös uudenlaista asekuormaa LCMCM-ohjuksen kannettavaksi, joka tunnetaan nimellä Precision Guided System (PGS). PGS on noin 23 kg:n painoinen ilma-alus, jonka ohjaus tapahtuisi puoliaktiivista laseria sekä millimetriaaltotutkaa käyttävällä hakupäällä. Yksi LCMCM-ohjus voisi kantaa viittä PGS-järjestelmää kerrallaan. [42] Pienen painon ja pitkän toimintamatkan perusteella on todennäköistä, että ohjuksen moottorina olisi

pieni ohivirtausmoottori. Pitkä toimintamatka voitaisiin saavuttaa käyttämällä pientä nopeutta, jolloin myös polttoaineen kulutus olisi pienempi.

Tämänkaltainen asejärjestelmä tekisi risteilyohjuksesta lavetin, eli risteilyohjus kykenisi laukaisemaan omalla hakupäällä varustettuja tytärammuksia ja jatkamaan lentoa etsiessään uusia kohteita. Mikäli tämänkaltaiset tytärammukset ovat risteilyohjuksen ainoa asejärjestelmä, on ero risteilyohjuksen ja ilmasta maahan -aseita kantavan miehittämättömän ilma-aluksen välillä jo hyvin häilyvä – suurimpana erona tulee olemaan se, että risteilyohjus ei oletettavasti palaa takaisin tehtävän suorituksen jälkeen.

4.2.2 Lockheed Martin SMACM

SMACM (Surveillance Miniature Attack Cruise Missile) on vuonna 2004 esitelty Lockheed Martin -yhtiön uusi asejärjestelmä. SMACM on optimoitu kannettavaksi F-22 Raptor ja F-35 Lightning II -hävittäjien sisäisissä ripustimissa, joista kumpikin kykenisi kantamaan kahdeksaa ohjusta. SMACM:n tarkoitus on vastata Yhdysvaltain ilmavoimien tarpeeseen hankkia älykäs asejärjestelmä, joka kykenee partioimaan määritetyllä alueella kaikissa sääolosuhteissa etsimässä liikkuvia tai uudelleensijoitettavia kohteita sisäisillä sensoreillaan. SMACM on 1,78 m pitkä, sen halkaisija on 0,19 m, se painaa 66 kg. Sen toimintamatka on noin 460 km tai vaihtoehtoisesti se voi partioida alueella yli tunnin ajan. Ohjuksen tulisi kyetä hyökkäämään liikkuvaan kohteeseen yli 90 km:n etäisyydeltä. Taistelukärkenä se voi käyttää panssarinläpäisykärkeä tai sirpalekärkeä. SMACM-ohjuksen moottorina on TDI-J45G suora suihkumoottori. [43; 46] Avainasemassa SMACM-ohjuksen rakenteessa on sen kolme eri moodia käytävä hakupää, jossa on millimetriaaltotutka, IIR ja puoliaktiivinen laser. Ohjus suunnistaa INS/GPS -järjestelmän avulla. [43]

Lockheed Martin -yhtiön käyttöajatuksen mukaan SMACM-ohjukseen asetetaan kohteen koordinaatit ennen laukaisua, joiden perusteella se suunnistaa kohteelle. Päivitettyjä koordinaatteja voidaan lähettää ohjukselle datalinkin välityksellä. Ohjus lentää noin 300 metrin korkeudessa. Millimetriaaltotutka voi havaita kohteita noin 10 kilometrin etäisyydeltä, ja kun SMACM havaitsee kohteen, se luokittelee ja tunnistaa sen ennen siirtymistä loppuhakautumisvaiheeseen. Kun ohjus on 5 kilometrin päässä kohteelta, se voi vaihtaa IIR-hakupäähän paremman resoluution vuoksi. Ohjus voi lähettää IIR-hakupään perusteella arvion kohteesta ennen osumaa. Vaihtoehtoisesti SMACM voi hakeutua maaliin pelkästään GPS-koordinaattien perusteella tai se voidaan ohjata maaliin laserilla. [43]

4.2.3 LRSO

LRSO-risteilyohjus (Long Range Standoff), joka tulee korvaamaan Yhdysvaltain ilmavoimien AGM-86 ALCM -risteilyohjukset, on tarkoitus saada käyttöön 2020-luvulla. Ohjus hyödyntää todennäköisesti modernia häiveteknologiaa, ja sen on tarkoitus pystyä läpäisemään modernit ilmapuolustusjärjestelmät ja selviytyä ilmatorjunnan ja torjuntahävittäjien ympäristössä. Ohjuksen vaikutusosana olisi ydinkärki, mutta myös konventionaalisen taistelukärjen käyttöä pohditaan. Ohjuksen kantaman on ilmeisesti tarkoitus olla pidempi kuin AGM-158B JASSM-ER -risteilyohjuksella (>900 km). Ohjuksen laukaisualustoiksi on suunniteltu nykyisiä B-52H ja B-2 -pommikoneita sekä Yhdysvaltain ilmavoimien tulevaisuuden LRS-B (Long Range Strike Bomber) -pommikonetta. Ohjuksen kehitystyötä on tarjottu useille yrityksille, ja teknologian kehitysvaiheen on suunniteltu alkavan vuonna 2015. [44] Tämän vuoksi ohjuksesta ei ole tässä vaiheessa saatavissa enempää tietoa.

4.2.4 MBDA CVS401 Perseus

CVS401 Perseus on maa- ja merimaaleja vastaan tarkoitettu ylisooninen risteilyohjuskonsepti, joka on MBDA:n suunnittelema [45; 47]. Se pystyttäisiin laukaisemaan maa-, meri- tai ilmalavetilta [47]. Ohjuksessa käytettäisiin komposiittimateriaaleja ja se hyödyntäisi häiveteknologiaa. Perseus olisi noin 5 m pitkä ja se painaisi alle 800 kg. [45; 47] Sen voimanlähteenä olisi CDWE-moottori (Continuous Detonation Wave Engine), joka on hyvin varhaisessa vaiheessa oleva konsepti. [45] CDWE-moottorissa polttoaine sytytetään iskuaaltojen avulla [48]. Moottori olisi pienempi kuin vastaava patoputkimoottori, jolloin ohjuksen sisälle jäisi enemmän tilaa polttoaineelle. Ohjuksen matkalentonopeus olisi jopa 3 M ja pisin kantama noin 300 km. Suunnistus ja hakeutuminen tapahtuisivat aktiivisen tutkan, lasertutkan sekä puoliaktiivisen laserhakupään avulla. Ohjus kykenisi havaitsemaan vihollisen puolustukset, ja tekemään monimutkaisia väistöliikkeitä sekä liikehtimään tiukasti. [45] Tiukka liikehtely voi tosin olla valmistajan mainospuhetta, ellei ohjus vähennä nopeutta ennen kohteeseen osumista. Mikäli ohjus lentää nopeudella 3,0 M ja kestäisi kaarrossa 40 G:n kiihtyvyyden, kaartosäde olisi noin 2,9 km. Tiukka liikehtely voi täten olla hieman liioiteltu termi ohjuksen väistöliikkeille. Satelliittidatalinkin avulla ohjukseen säilytettäisiin yhteys koko lennon ajan [45; 47]. Ohjus kantaisi 200 kg hyötykuormaa, joka koostuisi taistelukärjestä sekä kahdesta noin 40 kilogramman painoisesta tytärammuksesta [45]. Tytärammukset voitaisiin laukaista vähän ennen ohjuksen osumista kohteeseen, jolloin saavutettaisiin laaja-alaisempi asevaikutus. Pistemaaleja vastaan tytärammuksia ei tarvitsisi laukaista ollenkaan, jolloin koko asevaikutus kohdistuisi samaan kohtaan. [45; 47]

4.3 Johtopäätöksiä

Nykyisistä risteilyohjusten päivitysprojekteista havaittiin kolme selkeää kohdetta, joihin päivitykset ovat keskittyneet. Datalinkkien asentaminen, vaikutusosan kehittäminen ja toimintamatkan pidentäminen ovat risteilyohjusten päivitysten selkeimmät tavoitteet. Nykyisten risteilyohjusten päivitysprojektien trendit näkyvät myös tulevaisuuden ohjusprojekteissa. Datalinkkien hyödyntäminen näkyy jo nykyisissä risteilyohjuksissa, ja tulevaisuuden ohjuksista ainakin Perseus ja SMACM -ohjuksissa on tarkoitus olla datalinkki. Melko varmasti voidaan myös olettaa, että sekä LRSO että LCMCM -ohjuksissa tulee olemaan datalinkki, koska järjestelmän tuomat hyödyt ovat selkeät. Datalinkki tuo joustavuutta ohjuksen käyttöön, kun kohdetta voidaan vaihtaa kesken lennon, sekä lisävarmuutta oikeasta kohteesta. Uudenlaisen asekuorman kehittäminen on esillä nykyisten risteilyohjusten lisäksi LCMCM ja Perseus -ohjuksissa. Vaikutusosan kehittämisessä ei kuitenkaan ole nähtävissä selkeää yhtenäistä trendiä, vaan vaikutusosaa kehitetään aina risteilyohjuksen käyttötarkoituksen mukaan. Tavoitteena voi olla kustannusten alentaminen pitkällä tähtäimellä, kun yhdellä asejärjestelmällä voidaan vaikuttaa monenlaisiin maaleihin vain vaihtamalla sopiva taistelukärki. Toimintamatkan pidentäminen ei varsinaisesti näy uusissa risteilyohjusprojekteissa. Toimintamatkan pidentämisen tarkoituksina voidaan nähdä kyky vaikuttaa syvälle vihollisen alueelle sekä kyky vaikuttaa niin kaukaa, että vihollinen ei kykene vaikuttamaan laukaisualustaan eikä havaitsemaan laukaisua. Jos vihollinen ei kykene havaitsemaan laukaisua, todennäköisyys sille, että risteilyohjus pääsee vaikuttamaan kohteeseensa, on suurempi. Tätä todennäköisyyttä uusissa ohjuksissa on nostettu pitkän toimintamatkan (LCMCM) ohella parantamalla selviytymiskykyä (LRSO) sekä kasvattamalla nopeutta (Perseus).

Asejärjestelmien kehittäminen on kallista, ja tämän vuoksi kehittämiselle on löydettävissä erinäisiä syitä. Syyt siihen, miksi juuri aiemmin mainitut kohteet ovat muodostuneet teknisiksi kehitystrendeiksi, löytyvät pitkälti taktisista vaatimuksista. Risteilyohjusten käyttöperiaatteet määrittävät vaatimukset tekniikalle, mutta toisaalta myös uusi tekniikka voi mahdollistaa uudenlaisia käyttöperiaatteita. Risteilyohjusten kehityksen syistä voidaan erotella kaksi laajempaa kokonaisuutta – uudet risteilyohjusprojektit vastaavat joko uuteen tarpeeseen tai ne korvaavat vanhan suorituskyvyn. Lockheed Martin SMACM ja LCMCM -ohjukset vastaavat selvästi kokonaan uuteen tarpeeseen. Lockheed Martin F-22 Raptor ja F-35 Lightning II -hävittäjien häiveominaisuuksiin kuuluu, että asekuorma kannetaan koneen sisäisissä ripustimissa. Jos asekuormaa asennetaan ulkoisiin ripustimiin esimerkiksi siipien alle, koneen tutka-poikkipinta-ala kasvaa. Vanhemman sukupolven hävittäjissä ja hävittäjäpommittajissa ei ole koneen sisäisiä aseripustimia, vaan asekuorma kannetaan ulkoisissa ripustimissa. Nykyiset

risteilyohjukset on suunniteltu tämän hetken koneita varten, jonka vuoksi ne on rakennettu kannettavaksi ulkoisissa ripustimissa. SMACM ja LCMCM -risteilyohjuksilla pyritään vastaamaan tähän uuteen tarpeeseen kehittää sisäisissä ripustimissa kannettavaksi optimoituja aseita. LRSO ja CVS401 Perseus -risteilyohjukset on taas tarkoitettu korvaamaan aiempia suorituskykyjä. LRSO-ohjuksen on tarkoitus aikanaan korvata Boeing AGM-86 ALCM -ohjuksen ydiniskukyky Yhdysvaltain ilmavoimissa, ja Perseus-ohjusta kehitetään nykyisten eurooppalaisten risteilyohjusten, kuten Storm Shadow -ohjuksen, korvaajaksi. Nämä ohjukset vastaavat tulevaisuuden ilmapuolustusjärjestelmien haasteisiin, johon aikaisemman sukupolven ohjukset eivät välttämättä enää tulevaisuudessa kykene.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkielman päätutkimuskysymyksenä on: ”Minkälaisia ovat yhdysvaltalaisen ja eurooppalaisten ilmasta laukaistavien risteilyohjusten kehitysnäkymät?” Tutkimuksen tuloksena todetaan, että teknisistä kehitysnäkymistä on havaittavissa kolme keskeistä kohdetta: datalinkki, vaikutusosan kehittäminen ja toimintamatkan pidentäminen. Nämä kohteet löydettiin vertailemalla nykyään käytössä olevien risteilyohjusten päivitysprojekteja, ja ne olivat myös havaittavissa kehitysvaiheessa olevissa risteilyohjuksissa. Keskeisimpänä johtopäätöksenä todettiin, että laajemmin tarkasteltuna uusia risteilyohjuksia kehitetään joko vastaamaan uuteen tarpeeseen tai korvaamaan vanha suorituskyky. Nämä syyt ajavat asejärjestelmien jatkuvaan kehittämiseen, kun tällä hetkellä kehityksessä olevat ohjukset vanhenevat tai kun rakennetaan uusia asejärjestelmiä.

Tutkielman tavoitteena on ollut hahmottaa yhdysvaltalaisen ja eurooppalaisten risteilyohjusten kehitysnäkymiä. Tämän tutkimuksen menetelminä käytetyt kirjallisuusselvitys ja vertailu ovat toimineet tämän tavoitteen saavuttamisessa. Tutkielman luotettavuus riippuu paljolti risteilyohjuksista ja kehitysprojekteista hankitun tiedon luotettavuudesta. Luvun 3 alussa pohdittiin näiden tietojen luotettavuutta. Tutkielmassa löydetty kehitystrendit ovat todennäköisesti todellisia kehitysnäkymiä, koska vaikka yksittäiset arvot voivatkin olla epäluotettavia, ovat laajemmat kokonaisuudet melko luotettavia. Esimerkiksi toimintamatkasta annettu yksittäinen arvo voi olla epäluotettava, mutta jos ohjuksen parannetun version toimintamatka on ilmoitettu kaksinkertaiseksi, voidaan melko varmasti päätellä, että toimintamatkaa on pidennetty ainakin jonkin verran. Tämän perusteella voidaan sanoa, että tutkimuksen tulokset ovat luotettavia, vaikka kaikki yksittäiset tiedot eivät olisikaan.

Tässä tutkimuksessa käsiteltiin ainoastaan yhdysvaltalaisia ja eurooppalaisia risteilyohjuksia. Jatkotutkimusta olisi syytä tehdä venäläisistä risteilyohjuksista, koska Venäjä on Yhdysvaltojen ja Euroopan ohella laajamittainen risteilyohjusten kehittäjävaltio. Tutkimuksesta selviäisi venäläisten risteilyohjusten kehityskohteiden eroavaisuuksia ja samankaltaisuuksia tämän tutkimuksen tuloksiin, ja näin saataisiin parempi näkemys siitä, kuinka risteilyohjukset ovat kehittymässä maailmanlaajuisesti.

LÄHTEET

- [1] Ilmavoimat. *Boeing F-18C/D Hornet (HN)*. [viitattu 15.5.2013]. Saatavissa: <http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/49b2c680430cd2f3bd99bf9d4c55accf/HN.pdf?MOD=AJPERES>
- [2] Suomen Puolustusministeriö. *Suomi hankkii pitkän kantaman ilmasta-maahan ohjusjärjestelmän*. [viitattu 15.5.2013]. Saatavissa: http://www.defmin.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2012/suomi_hankkii_pitkan_kantaman_ilmasta-maahan_ohjusjarjestelman.4906.news
- [3] Werrell, K. *The Evolution of the Cruise Missile*. Washington, D.C: 1985. 289 s.
- [4] Macknight, N. *Tomahawk cruise missile*. Osceola, Wis: Motorbooks International, 1995. 96 s. ISBN 0-87938-717-3
- [5] *Cruise Missile Defence*, Jane's Strategic Weapon Systems. Posted 3.11.2011 [viitattu 26.7.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1316925&Pubabbrev=JSWS>
- [6] Federation of American Scientists. *Cruise Missiles*. [viitattu 15.5.2013]. Saatavissa: <http://www.fas.org/nuke/intro/cm/>
- [7] Lalu, P. *Ilmatorjuntamiehen ilma-asekuvasto*. Jyväskylä: Ilmatorjuntaupseeriyhdistys, 1998. 267 s.
- [8] Kaukoranta, T., Hautala, J., Kakkola, T. *Taisteluvälineet 2020*. Helsinki: Edita Oyj, 2002. 124 s. ISBN 951-25-1324-2
- [9] Kosola J., Solante, T. *Digitaalinen taistelukenttä – informaatioajan sotakoneen tekniikka*. 2. painos. Helsinki: Edita Prima Oy, 2003. 532 s. ISBN 951-25-1449-4

- [10] *Cruise Missile Technologies and Performance Analysis*, Jane's Strategic Weapon Systems. Posted 3.11.2011 [viitattu 3.12.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1316922&Pubabbrev=JSWS>
- [11] Bristol Groundschool, *ATPL: Performance*. United Kingdom, 2010. 166 s.
- [12] Bristol Groundschool. *ATPL: Aircraft general knowledge*. United Kingdom, 2010. 304 s.
- [13] Bristol Groundschool. *ATPL: Radio navigation*. United Kingdom, 2010. 106 s.
- [14] Bristol Groundschool. *ATPL: Instrumentation*. United Kingdom, 2010. 170 s.
- [15] Koivisto, R. *Suihkumoottorit*. 2. painos. Helsinki: Edita Prima Oy, 2008. 208 s. ISBN 978-952-13-0607-5
- [16] National Aeronautics and Space Administration. *Ramjet Propulsion*. [viitattu 25.7.2013]. Saatavissa: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/ramjet.html>
- [17] Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus. *Yleinen ase- ja asejärjestelmäopas*. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy, 2001. 391 s. ISBN 951-25-1277-7
- [18] Ikonen, I. *GPS-asejärjestelmät, niiden käyttö ja häirittävyys*. Helsinki: Edita Prima Oy, 2004. 90 s. ISBN 951-25-1556-3
- [19] The U.S. government. *The Global Positioning System*. [viitattu 24.7.2013]. Saatavissa: <http://www.gps.gov/systems/gps/>
- [20] Kopp, C., *Cruise missile guidance techniques*, Defense Today. 2009. [viitattu 25.7.2013]. Saatavissa: <http://www.ausairpower.net/SP/DT-CM-Guidance-June-2009.pdf>
- [21] Kopp, C., *Cruise Missiles*, Australian Aviation. 1985. [viitattu 25.7.2013]. Saatavissa: <http://www.ausairpower.net/TE-Cruise-Missiles-1985.html>

- [22] *BLU-118/B thermobaric warhead*. Jane's Air Launched Weapons. Posted 19.12.2012 [viitattu 26.7.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1307784&Pubabbrev=JALW>
- [23] Puolustusvoimat. *AGM-158 JASSM -rynnäkköohjus*. [viitattu 26.7.2013]. Saatavissa: <http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/d54a08804a5d38fd9318ff53a7d72625/JASSM+fs.pdf?MOD=AJPERES>
- [24] *AGM-158A JASSM (Joint Air-to-Surface Standoff Missile), AGM-158B JASSM-ER and LRASM*. Jane's Air Launched Weapons. Posted 14.10.2013 [viitattu 7.11.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1307319&Pubabbrev=JALW>
- [25] Lockheed Martin. *JASSM*. [viitattu 8.11.2013]. Saatavissa: <http://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed/data/mfc/pc/jassm/mfc-jassm-pc.pdf>
- [26] Defense Industry Daily. *AGM-158 JASSM: Lockheed's Family of Stealthy Cruise Missiles*. [viitattu 7.11.2013]. Saatavissa: <http://www.defenseindustrydaily.com/agm-158-jassm-lockheeds-family-of-stealthy-cruise-missiles-014343/>
- [27] *AGM-129 Advanced Cruise Missile (ACM)*. Jane's Air-Launched Weapons. Posted 11.9.2013. [viitattu 8.11.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1306856&Pubabbrev=JALW>
- [28] Global Security. *AGM-129 Advanced Cruise Missile (ACM)*. [viitattu 8.11.2013]. Saatavissa: <http://www.globalsecurity.org/wmd/systems/acm.htm>
- [29] *Taurus KEPD 350 (KEPD 150)*. Jane's Air-Launched Weapons. Posted 28.8.2013 [viitattu 7.11.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1307312&Pubabbrev=JALW>

- [30] Airforce Technology. *Taurus KEPD 350 Long-Range Air-to-Surface Missile, Germany*. [viitattu 26.7.2013]. Saatavissa: <http://www.airforce-technology.com/projects/taurus-kepd-350-missile-german/>
- [31] Taurus Systems GmbH. *Taurus KEPD 350*. [viitattu 5.11.2013]. Saatavissa: http://www.dtic.mil/ndia/2008psa_apr/drevstad.pdf
- [32] MBDA Missile Systems. *Taurus KEPD 350: The Modular Stand-off Missile for Precision Strike*. [viitattu 26.7.2013]. Saatavissa: http://www.mbdasystems.com/mediagallery/files/taurus-kepd-350_datasheet-1343310215.pdf
- [33] *Scalp EG/Storm Shadow (Black Shaheen) and Apache*. Jane's Air-Launched Weapons. Posted 28.8.2013 [viitattu 7.11.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1306745&Pubabbrev=JALW>
- [34] Microturbo. *Propulsion Systems*. [viitattu 5.11.2013]. Saatavissa: <http://www.microturbo.fr/systemes-propulsifs/?lang=en>
- [35] MBDA Missile Systems. *Storm Shadow / Scalp*. [viitattu 5.11.2013]. Saatavissa: http://www.mbdasystems.com/files/docs/STORM_SHADOW_SCALP_background.pdf
- [36] Airforce Technology. *Storm Shadow / Scalp Long-Range, Air-Launched, Stand-Off Attack Missile, France*. [viitattu 8.11.2013]. Saatavissa: <http://www.airforce-technology.com/projects/storm-shadow-missile/>
- [37] *ASMP and ASMP-A*. Jane's Air-Launched Weapons. Posted 23.8.2013. [viitattu 7.11.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1306744&Pubabbrev=JALW>
- [38] Federation of American Scientists. *ASMP*. [viitattu 8.11.2013]. Saatavissa: <http://www.fas.org/nuke/guide/france/bomber/asmp.htm>

- [39] Kari, M., Hakala, A., Pääkkönen, E., Pitkänen, M. *Sotatekninen arvio ja ennuste 2025: STAE 2025. Osa 1, Teknologian kehitys*. Ylöjärvi: Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos, 2008. 564 s. ISBN 978-951-25-1888-3
- [40] *HyFly (Hypersonic Flight)*. Jane's Air-Launched Weapons. Posted 11.9.2013. [viitattu 3.12.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1307797&Pubabbrev=JALW>
- [41] Kari, M., Hakala, A., Pääkkönen, E., Pitkänen, M. *Sotatekninen arvio ja ennuste 2025: STAE 2025. Osa 2, Puolustusjärjestelmien kehitys*. Ylöjärvi: Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos, 2008. 279 s. ISBN 978-951-25-1890-6
- [42] *Low Cost Mini Cruise Missile (LCMCM) and Precision Guided System (PGS)*. Jane's Air-Launched Weapons. Posted 8.9.2010. [viitattu 8.11.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1307844&Pubabbrev=JALW>
- [43] *Surveilling Miniature Attack Cruise Missile (SMACM)*. Jane's Air-Launched Weapons. Posted 8.9.2010. [viitattu 8.11.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1307834&Pubabbrev=JALW>
- [44] *USAF to move ahead with Long Range Standoff (LRSO) cruise missile*. Jane's Missiles & Rockets. Posted 5.11.2013. [viitattu 3.12.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=++1591904&Pubabbrev=JMR>
- [45] *Perseus shows MBDA concept for multirole cruise missile*. Jane's Missiles & Rockets. Posted 5.7.2011. [viitattu 16.11.2013]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=++1201366&Pubabbrev=JMR>

- [46] *LOCAAS*. Jane's Air-Launched Weapons. Posted 4.3.2009. [viitattu 8.11.2013]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=+++1307310&Pubabbrev=JALW>
- [47] MBDA Missile Systems. *CVS401 Perseus*. [viitattu 16.11.2013]. Saatavissa:
<http://www.mbda-systems.com/innovation/future-systems/concept-visions/2011-cvs401-perseus/>
- [48] NATO. *Continuous Detonation Wave Engine*. [viitattu 16.11.2013]. Saatavissa:
<http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/EN/RTO-EN-AVT-150/EN-AVT-150-08.pdf>
- [49] Wikipedia. *AGM-129 ACM*. [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Agm-129_acm.jpg
- [50] Aviation Francaise. *Inauguration du deuxième escadron de chasse Rafale à St-Dizier le 31 mars 2009*. [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa <http://www.aviation-francaise.com/SAINTDIZIER-GASCOGNE.htm>
- [51] Wikipedia. *Air-Sol Moyenne Portée*. [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Air-Sol_Moyenne_Port%C3%A9e

LIITTEET

Liiteluettelo

Liite 1	Tutkimuksen lyhenteet
Liite 2	Risteilyohjusten kuvat
Liite 3	Risteilyohjusten tiedot

TUTKIMUKSEN LYHENTEET

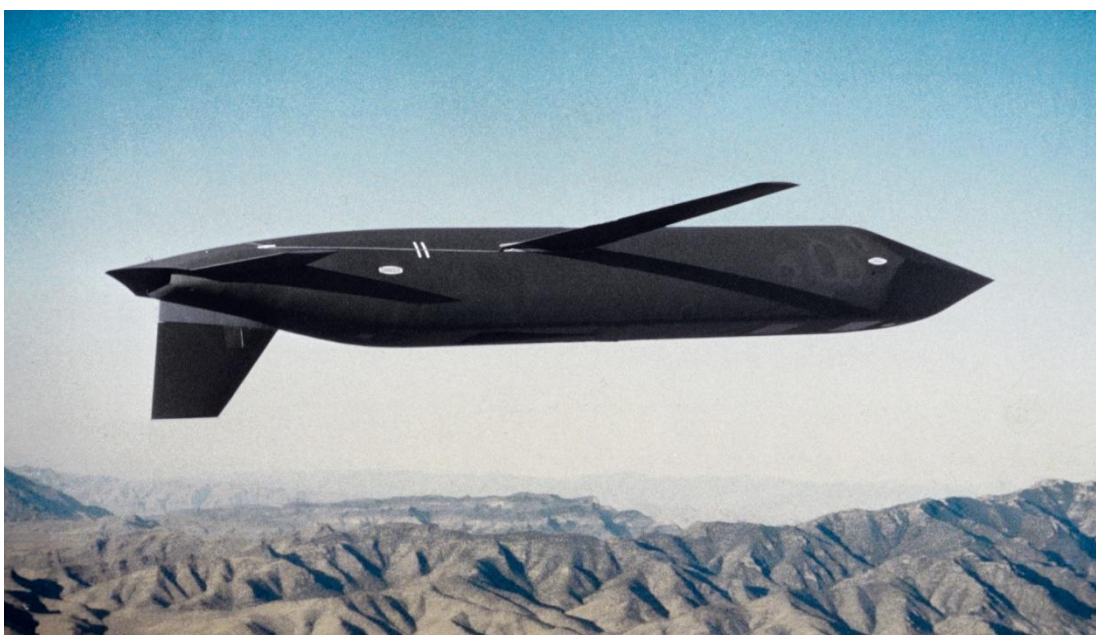
ACM	Advanced Cruise Missile (AGM-129 -risteilyohjus)
AGM	Air-to-Ground Missile (Ilmasta maahan laukaistava ohjus)
ASMP	Air-Sol Moyenne Portée (Ilmasta-maahan keskipitkä kantama)
ASMP-A	Air-Sol Moyenne Portée – Amélioré (Ilmasta-maahan keskipitkä kantama - parannettu)
BROACH	Bomb Royal Ordnance Augmented Charge (Storm Shadow -risteilyohjuksen nykyinen taistelukärki)
CCD	Charge-coupled device (Valoherkkä kenno, jota käytetään esimerkiksi digitaalikameroissa valon muuntamiseksi digitaaliseksi signaaliksi)
CDWE	Continuous Detonation Wave Engine (Moottori, jossa polttoaine sytytetään iskuaaltojen avulla)
DSMAC	Digital Scene Matching Area Correlator (Maastontunnistusnavigointi, joka perustuu kuvien vertailuun)
EMP	Electro-Magnetic Pulse (Sähkömagneettinen pulssi)
GPS	Global Positioning System (Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä)
HARDBUT	Hard and Deeply Buried Target (Storm Shadow -risteilyohjuksen taistelukärjen päivitysversio)
HPM	High Power Microwave (Suuritehoinen mikroaalto)
IIR	(Imaging Infra-Red) Kuvantava infrapunahakupää
INS	Inertial Navigation System (Inertianavigointijärjestelmä)
JASSM	Joint Air-to-Surface Standoff Missile (Lockheed Martin -yhtiön risteilyohjus)

JASSM-ER	Joint Air-to-Surface Standoff Missile - Extended Range (JASSM-ohjuksen uusi versio)
JP-10	Jet Propellant 10 (Eräs ohjuksissa käytettävistä polttoainetyypeistä)
KEPD	Kinetic Energy Penetration Destroyer (Kineettiseen energiaan perustuva tunkeutuva risteilyohjus)
LCMCM	Low Cost Mini Cruise Missile (Kehitysvaiheessa oleva risteilyohjus)
LRS-B	Long Range Strike Bomber (Yhdysvaltain ilmavoimien tulevaisuuden pommikone)
LRSO	Long Range Standoff (Kehitysvaiheessa oleva risteilyohjus)
MBDA	(EU:n alueella toimiva ohjusten tuotantoon keskittynyt yritys)
MEPHISTO	Multi-Effect Penetrator, Highly Sophisticated and Target Optimised (KEPD-350 -risteilyohjuksessa käytettävä taistelukärki)
MLU2	Mid-Life Update 2 (Suomen ilmavoimien F-18 Hornet -hävittäjiin tehtävä elinkaari-päivitys)
PGS	Precision Guided System (LCMCM-risteilyohjuksen tytärammus)
PIMPF	Programmable Intelligent Multi-Purpose Fuze (KEPD-350 -risteilyohjuksessa käytettävä sytytin)
PPS	Precise Positioning System (Yhdysvaltojen ja sen liittolaisten käytössä oleva GPS-palvelu)
SMACM	Surveilling Miniature Attack Cruise Missile (Kehitysvaiheessa oleva risteilyohjus)
SPS	Standard Positioning Service (Kaikkien käyttäjien saatavilla oleva GPS-palvelu)
TERCOM	Terrain Contour Matching (Maastontunnistusnavigointi, joka perustuu korkeuskäyrien seuraamiseen)
TNA	Tête Nucléaire Aéroportée (Ilmassa kuljetettava ydinkärki)
TRN	Terrain Reference Navigation (Maastontunnistusnavigointi)

RISTEILYOHJUSTEN KUVAT



Lockheed Martin AGM-158A JASSM [24]



Raytheon Missile Systems AGM-129 ACM [49]



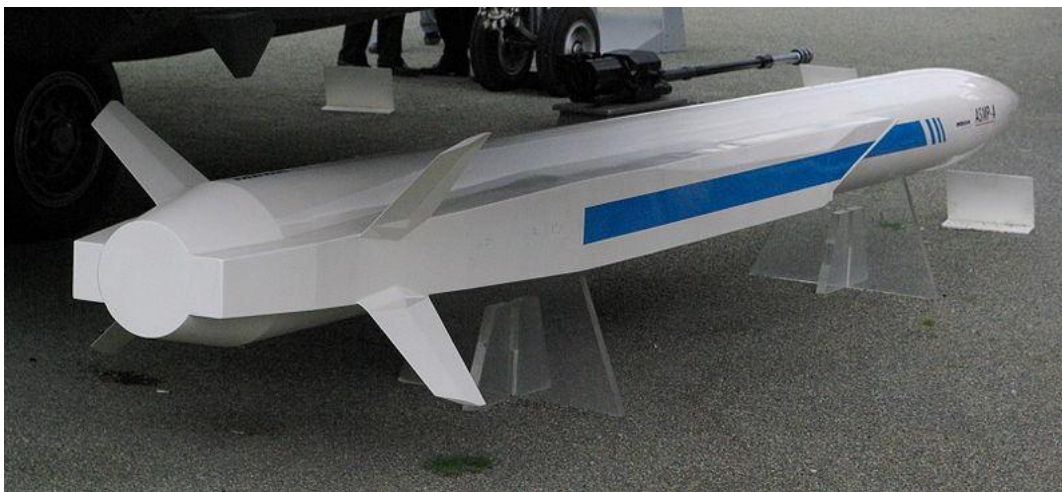
TAURUS KEPD 350 [29]



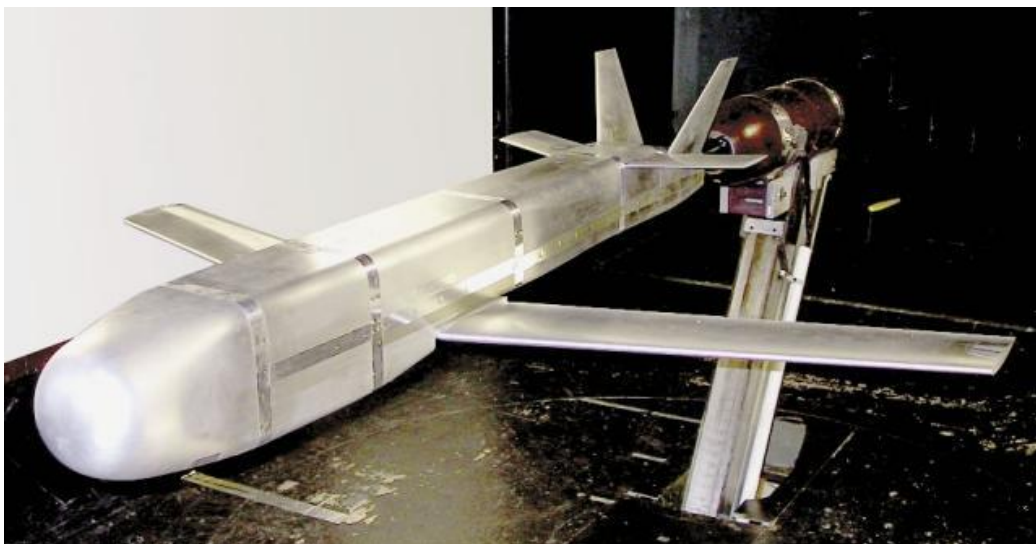
MBDA Storm Shadow / Scalp EG [33]



Aérospatiale ASMP [50]



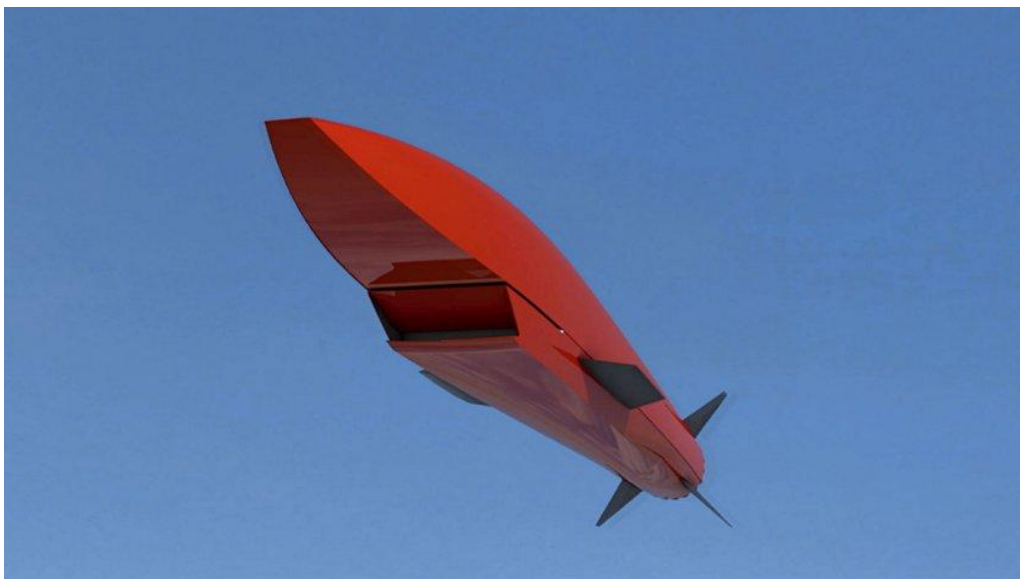
Aérospatiale ASMP-A [51]



Lockheed Martin LCMCM [42]



Lockheed Martin SMACM [43]



MBDA CVS401 Perseus [45]

RISTEILYOHIJUSTEN TIEDOT

	AGM-158A	AGM-158B	AGM-129	KEPD 350
Pituus	4,26 m	4,26 m	6,35 m	5,1 m
Leveys	0,55 m	0,55 m	0,74 m	0,63 m
Korkeus	0,45 m	0,45 m	0,64 m	0,32 m
Kärkiväli	2,7 m	2,7 m	3,1 m	2,0 m
Paino	1023 kg	>1023 kg	1682 kg	1400 kg
Kantama	370 km	926 km		500 km
Moottori	suora suihku- moottori	ohivirtausmoot- tori	ohivirtausmoot- tori	ohivirtausmootto- ri
Työntövoima	3 kN	-	3,26 kN	6,7 kN
Nopeus	-	-	0,65 M	0,6 – 0,95 M
Teho-painosuhte	0,299	-	0,198	0,488
Hyötykuorma	432 kg	-	130 kg	495 kg
Taistelukärki	sirpale läpäisy	sirpale läpäisy tytärammukset	150 kT ydinkär- ki	sirpale läpäisy
Suunnistus- järjestelmät	INS/GPS	INS/GPS	TRN/INS/GPS	INS/GPS/TRN
Hakeutumisjärjes- telmät	IIR	IIR	-	IIR
Laukaisualustat	F-15E F-16 F/A-18 F/A-18E/F F-35 B-1B B-2 B-52 P-3C	F-15E F-16 F/A-18E/F F-35 B-1B B-2 B-52	B-52H	Tornado IDS F-15K F-16 F/A-18 B-52H C-17 P-8A JAS 39 Typhoon

	Apache	Storm Shadow	ASMP	ASMP-A
Pituus	5,1 m	5,1 m	5,38 m	>5,38 m
Leveys	0,63 m	0,63 m	-	-
Korkeus	0,48 m	0,48 m	-	-
Halkaisija	-	-	0,38 m	-
Kärkiväli	2,84 m	2,84 m	0,96 m	-
Paino	1230 kg	1300 kg	860 kg	950 kg
Kantama	140 km	650 km	300 km	600 km
Moottori	suora suihku- moottori	suora suihku- moottori	patoputkimoot- tori ja raketti- moottori	patoputkimoottori ja raketimoottori
Työntövoima	5,5 kN	-	-	-
Nopeus	0,82 M	0,7 M	2,0 M	-
Teho-painosuhte	0,456	-	-	-
Hyötykuorma	520 kg	300 kg	200 kg	-
Taistelukärki	tytärammus	läpäisy sirpale	300 kT ydinkär- ki	300 kT ydinkärki
Suunnistus- järjestelmät	INS/tutka	INS/GPS/TRN	INS/TRN	INS/TRN
Hakeutumisjärjes- telmä	tutka	IIR	-	-
Laukaisualustat	Mirage 2000D	Mirage 2000D Rafale Tornado Typhoon	Mirage 2000N Super Étendard	Mirage 2000N Rafale

	LCMCM	SMACM	LRSO	Perseus
Pituus	-	1,78 m	-	5 m
Leveys	-	-	-	-
Korkeus	-	-	-	-
Halkaisija	-	0,19 m	-	-
Kärkiväli	-	-	-	-
Paino	450 kg	66 kg	-	<800 kg
Kantama	1600 km	460 km	>900 km	300 km
Moottori	-	suora suihku- moottori	-	CDWE-moottori
Työntövoima	-	-	-	-
Nopeus	-	-	-	3,0 M
Teho-painosuhde	-	-	-	-
Hyötykuorma	115 kg	-	-	200 kg
Taistelukärki	PGS- tytärammus	panssarinläpäisy sirpale	ydinkärki	konventionaali- nen taistelukärki 2 tytärammusta
Suunnistus- järjestelmät	-	INS/GPS	-	tutka
Hakeutumisjärjes- telmä	-	IIR millimetriaalto- tutka puoliaktiivinen laser	-	tutka lasertutka puoliaktiivinen laser
Laukaisualustat	F-22 F-35	F-22 F-35	B-2 B-52 LRS-B	-