

SATELLIITIOHJATTAVIEN TÄSMÄASEIDEN NYKYTILA JA NIIDEN HÄIRITTÄVYYS

1 JOHDANTO

Tässä artikkelissa käsitellään ilmasta maahan vapautettavia, satelliittiohjattavia täsmäaseita, ja mahdollisuuksia häirintä niitä. Käsiteltävät asejärjestelmät ovat JDAM (Joint Direct Attack Munition), JSOW (Joint Stand-Off Weapon) ja JASSM (Joint Air-to-Surface Standoff Missile). Artikkelissa käsitellään niiden rakennetta, ominaisuuksia ja toimintaperiaatteita lähinnä häirittävyyden näkökulmasta sekä niiden häirintämahdollisuuksia. Artikkelissa ei käsitellä perinteisiä myös täsmäaseiksi luokiteltavia risteilyohjuksia, koska niissä ei yleisesti käytetä GPS-suunnistusta, vaikkakin uusimmissa versioissa sitä voidaan käyttää. Täsmäaseiden häirinnän osalta painopiste on GPS:n häirinnän periaatteissa. Osa täsmäaseista käyttää myös muita hakumenetelmiä, mutta satelliittiohjattavissa aseissa hakeutumisen ja osumisen primäärimenetelmä on GPS, jota tuetaan usein myös inertianavigoinnilla.

Täsmäaseesta on toisistaan poikkeavia määritelmiä. Puolustusvoimien Määritelmärekisterissä [26] ei toisaalta ole määritelmää lainkaan. Yhden lähteen mukaan "Täsmäase on maamaaliin hakeutuva asejärjestelmän vaikutusosa" ja "Täsmäammus on lentoradan loppuvaiheessa itsenäisesti kohteeseen hakeutuva tai tulenjohtajan kohteeseen ohjaama ammus" [33]. Toisessa lähteessä esitetyn jaotellun mukaan "Täsmäaseet voidaan jakaa ulkopuolelta ohjattaviin (guided) ja itsenäisesti hakeutuviin (homing) aseisiin" [20]. Tässä artikkelissa satelliittiohjattavalla täsmäaseella ymmärretään täsmäprojektiilia, jonka ohjauksessa maaliin tai sen läheisyyteen käytetään satelliittijärjestelmää. Edelleen täsmäprojektiilit jaotellaan tässä täsmäpommeihin ja täsmäohjuksiin. Täsmäpommin lentoon tarvittava energia saadaan sen pudottaneen lavetin liikkeestä, kun taas täsmäohjuksessa käytetään työntömoottoria. Mainittakoon, että tähän jaotteluun kuuluvat täsmäammukset eivät kuulu tämän artikkelin aihepiiriin.

Satelliittiohjattavien täsmäaseiden ohjauksessa käytetään inertiasuunnistusta ja satelliittinavigointia. Satelliittijärjestelmän avulla aseisiin on toisaalta saatu niin sanottua älykkyyttä ja toisaalta maaliin osumisen tarkkuutta on kyetty merkittävästi

kasvattamaan. Älykkyyttä edustavat joka sään toimintakykyiset INS-inertiasuunnistusjärjestelmä (Inertial Navigation System) ja GPS-satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Positioning System). Aseiden nimessä oleva 'Joint' tarkoittaa sitä, että kyseinen täsmäase voidaan laukaista tai pudottaa USA:n ilmavoimien, merivoimien ja merijalkaväen lentokoneista.

Vaatimuksia tavanomaisten pommien maaliin saattamisesta edullisesti ja tarkasti esitettiin USA:ssa 1980-luvun loppupuolella. Ne tulivat tunnetuksi ABF-hankkeena (Advanced Bomb Family), ja siitä syntyi useita ohjelmia [15]. 1990-luvun alkupuolella julkaistiin kolme ilma-aseesta maahan laukaistavien järjestelmien pääohjelmaa, joista kaksi sisälsi kaukaa laukaistavia konventionaalisiin taistelukärjin varustettuja ohjattavia pommeja (air-to-surface standoff guided bombs): JDAM ja JSOW. Kolmannen pääohjelman tarkoituksena oli kattaa lyhyen ja pitkän kantaman ilmasta maahan arvokkaita maaleja vastaan tarkoitettujen ohjusten väliin jäänyt alue: TSSAM (Tri-Service Standoff Attack Missile). Ohjelma lopetettiin 1990-luvun puolivälissä ja sen korvasi tässä artikkelissa käsiteltävä JASSM. Aseiden kehittämisessä merkittävänä vaatimuksena on ollut niiden kyky toimittaa projektiili maalin torjuntaetäisyyden ulkopuolelta maaliinsa (standoff range), jolloin ampuvaan lavettiin kohdistuu pienempi tulitettavaksi joutumisen riski. Niitä voidaan tämän vuoksi kutsua myös standoff-aseiksi.

Artikkelissa keskitytään käsittelemään USA:ssa kehitettyjä satelliittiohjattuja aseita ja USA:n hallinnoimaa GPS-satelliittinavigointijärjestelmää. Tämä rajausta on tehty siksi, että USA on alan johtavassa asemassa. Vastaavaa kehitystyötä asejärjestelmien suhteen on tehty esimerkiksi Ranskassa, Isossa-Britanniassa, Ruotsissa ja Venäjällä. Satelliittinavigointijärjestelmiä löytyy tällä hetkellä myös Venäjältä, ja EU:n järjestelmä on operatiivisessa käytössä luultavasti muutaman vuoden kuluttua. Muiden kuin USA:n järjestelmiin tutustuminen jätetään lukijalle. Artikkelissa ei myöskään esitellä satelliittipaikannusjärjestelmien toimintaa vaan oletuksena on, että lukija on aikaisemmin perehtynyt GPS-järjestelmään ja sen toimintaan. Esimerkiksi Maanpuolustuskorkeakoulun tekniikan laitoksen julkaisuista [9], [19], [20] ja [28] löytyy lisätietoja satelliittipaikannuksesta ja muistakin artikkelissa käsiteltävistä tekniikoista.

2 SATELLIITIOHJATTUJEN TÄSMÄSEIDEN NYKYTILA

2.1 JDAM-pommi

JDAM (Joint Direct Attack Munition) on ohjausosa, joka muuttaa ohjaamattomat pudotettavat pommit kustannustehokkaiksi 'älykkäiksi' ilmasta-maahan aseiksi [12]. JDAM ei ole itsessään täsmäase, mutta yhdessä siihen liitettävän taistelukärjen kanssa syntyy kokonaisuutta voidaan kutsua täsmäpommiksi. GPS-ohjauksen vuoksi sitä voidaan kutsua myös satelliittiohjattavaksi pommiksi.

JDAM on itse asiassa pitkälle kehitetty pyrstö, joka voidaan kiinnittää erilaisiin vanhoihin, jopa 1950-luvun rautapommeihin ja myös uudentyypisiin läpäisypommeihin. JDAM on myös elektroniikkaa sisältävä lisälaitte, jonka avulla ohjaamattomasta pommista saadaan täsmäpommi [15]. Pyrstön tärkein ominaisuus on GPS-ohjattavuus ja inertiasuunnistuskyky. Se mahdollistaa autonomiset joka sään tarkkuuspommitukset. JDAMit ovat muuttaneet USA:n strategisten koneiden -B-52, B-1, B-2 -käyttöidea: niillä on kyky suorittaa pitkältä kantamalta tarkkuusiskuja useita maaleja vastaan.

JDAM-pommin kehittämisvaatimukset ovat olleet

- edullisuus,
- tarkkuuden saaminen rautapommeihin ja
- rautapommien elinkaaren pidentäminen.

Vaatimusten perusteella onkin saatu pidennettyä vanhojen varastoissa olevien Mk 82-, Mk 83- ja Mk 84 -rautapommien käyttöikä. Läpäisypommeista ainakin BLU-109- ja BLU-110-pommeihin (Bomb Live Unit) voidaan liittää JDAM-pyrstö. JDAM-pyrstö maksaa noin 20 000 euroa, mikä on 1/10 -1/20 muiden tässä artikkelissa käsiteltävien aseiden hinnasta. Tämän perusteella JDAMia voitaneen pitää edullisena aseena.

Yhdistämällä pommi pyrstöön saadaan tuotenimiä, kuten GBU-31/32/35/38 JDAM (Guided Bomb Unit). USA:n JDAM-aseistus käsittää lähteen [15] mukaan seuraavat tyypit:

- GBU-31(V)1/B: 2000 lb (900 kg) Mk 84 -rautapommi yleiskäyttöisenä taistelukärkenä (USAF),
- GBU-31(V)1/B: 2000 lb (900 kg) Mk 84 -rautapommi yleiskäyttöisenä taistelukärkenä (USN),

- GBU-31(V)3/B: 2000 lb (900 kg) BLU-109 -läpäisypommi taistelukärkenä (USAF),
- GBU-31(V)4/B: 2000 lb (900 kg) BLU-109 -läpäisypommi taistelukärkenä (USN),
- GBU-32(V)1B: 1000 lb (450 kg) Mk 83 -rautapommi yleiskäyttöisenä taistelukärkenä (USAF),
- GBU-32(V)2B: 1000 lb (450 kg) Mk 83 -rautapommi yleiskäyttöisenä taistelukärkenä (USN),
- GBU-35(V): 1000 lb (450 kg) BLU-110 -läpäisypommi taistelukärkenä (USAF),
- GBU-38: 500 lb (225 kg) Mk 82 -rautapommi yleiskäyttöisenä taistelukärkenä.

Kehittäminen

JDAM-pommin kehittäminen aloitettiin vuonna 1994 USA:n ilma- ja merivoimien yhteisellä (Joint) hankkeella, jonka vetovastuussa ilmavoimat on ollut. Kummallekin puolustushaaralle on kehitetty sen omien tarpeiden mukaiset ammustyyppit. Tämä on esitetty edellä olevassa listassa lyhenteillä USAF ja USN. Projektin määrittelyyn otettiin mukaan Lockheed Martin ja McDonnell Douglas Aerospace (nykyisin Boeing). Sen tuloksena saatiin ensimmäiset keskenään kilpailevat ehdotukset JDAM-pommiksi seuraavasti:

- Lockheed Martin: 2000 lb (900 kg) GBU-29 ja 1000 lb (450 kg) GBU-30 sekä
- McDonnell Douglas: 2000 lb (900 kg) GBU-31 ja 1000 lb (450 kg) GBU-32.

McDonnell Douglas Aerospace valittiin toimittajaksi, mistä johtuen tuotantoon asti pääsivät näistä vain GBU-31 ja GBU-32. Ensimmäiset pudotustestit tehtiin vuonna 1996 ensin B-1B Lancer -koneella ja sen jälkeen B-52-koneella. JDAM-pommien valmistuksen esisarja aloitettiin 1997 alussa. JDAMit ovat sittemmin olleet useita vuosia sarjatuotannossa. Operatiiviseen käyttöön JDAMit otettiin vuonna 1999. Uusimman ja keveimmän JDAM GBU-38:n pudotustestit tehtiin vuonna 1999 F-15E-koneella.

Nykyisten arvioiden mukaan USA:n armeija suunnittelee hankkivansa noin 230 000 JDAMia. Vuoden 2004 loppuun mennessä USA:n armeijalle oli toimitettu 100 000 JDAM-pyrstöä [5]. Noin 50 000 pyrstöä on toimitettu USA:n ilmavoimille, 37 000 USA:n laivastolle ja loput ulkomaisille asiakkaille.

Rakenne

JDAM käsittää pommiin asennettavan ohjausjärjestelmän ja siipijärjestelmän, joita kutsutaan usein lyhyesti pyrstöksi. JDAM-pyrstö sisältää seuraavat elementit:

- yhdistetty INS- sekä GPS-järjestelmä antennineen,
- ohjausyksikkö,
- pyrstön liikuttajaosa,
- neljä liikuteltavaa deltasiivekettä sekä
- akku ja voimanjakoyksikkö [15].

Lisäksi JDAM-järjestelmään kuuluvat pommin ympärille asennettavat pommin muotoa myötäilevät satulamaiset levyt. Ne mahdollistavat pommin liikuttelun tukikohdassa ja koneessa olevan pommin vapautusmekanismin käytön [12]. Kiinnittimissä olevien kiskojen ja reikien tarkoituksena uskotaan olevan vaikuttaminen aerodynamiikkaan: niiden avulla saavutettaneen pienempi ilmanvastus, ja pommin kärki saadaan pidettyä hieman lentoradan yläpuolella paremman stabiilisuuden vuoksi. Kehittämisen alkuaikoina kokeilluista pommin kärkiosaan kiinnitettävistä stabilointisiivekkeistä on luovuttu.

Mk 81, Mk 82, Mk 83 ja Mk 84 -rautapommit ovat lähes identtisiä. Ne ovat teräs-kuorisia. Ne eroavat toisistaan vain koon, painon ja tuhovoiman puolesta. BLU-110/B on Mk 83-pommista kehitetty rautapommi, jossa räjähdysaineena on vähemmän räjähdysherkkää PBXN-109-räjähdysainetta [23].

Alunperin JDAM-pyrstöt suunniteltiin Mk 84- ja BLU-109-pommeihin. GBU-31 JDAM (Mk 84) on 4 m pitkä, sen rungon halkaisija on 450 mm ja se painaa noin 900 kg (taulukko 1). Räjähdysainetta siinä on noin 430 kg. GBU-31 JDAM (BLU-109) on 2,4 m pitkä, sen rungon halkaisija on 370 mm ja se painaa noin 900 kg. Räjähdysainetta siinä on 240 kg.

GBU-32 JDAM (Mk 83) -pommin teknisiä tietoja ei ole ilmoitettu. Sen Mk 83-taistelukärjen tiedetään olevan 3 m pitkä, sen rungon halkaisijan 350 mm ja sen tiedetään painavan noin 500 kg. Räjähdysainetta siinä on 202 kg. GBU-35 JDAM (BLU-110) tekniset tiedot ovat kuten GBU-32 JDAM (Mk 83), mutta se on varustettu eri räjähdysaineella.

GBU-38 JDAM (Mk 82) on viimeisin kehitelmä aseperheeseen. Täsmäominaisuuksien kehittymisen myötä on voitu ottaa käyttöön myös kevyemmät ja vähemmän tuhovoimaiset rautapommit. GBU-38 on 2,3 m pitkä, sen rungon halkaisija on 273 mm ja sen taistelukärki painaa noin 225 kg. Räjähdysainetta siinä on noin 90 kg.

Kantama

JDAM-täsmäpommiin kantama on noin 16 km matalalta ja noin 24 km suurelta lentokorkeudelta laukaistaessa.

JDAM-täsmäaseiden kantamaa on pyritty lisäämään kehittämällä pyrstön siipien rakennetta. Suurempi kantama mahdollistaa vastustajan vastatoimilta turvalliseman laukaisuetäisyyden. Se tarjoaa suuremman taistelusta selviytymismahdollisuuden lentokoneelle ja sallii hyökkäykset useita eri maaleja vastaan yhdellä kertaa. Yksi tällainen ratkaisu on Diamond Back, jota käytetään JDAMin laajennetun kantaman JDAM-ER-versiossa (Extended Range) [15]. Sen kantamaksi on ilmoitettu 64/96 km (laukaisu matalalta/korkealta). Diamond Back käsittää pommin rungon alle asennettavat kaksoislasäsiivet, jotka aukaistaan pommin vapautuksen jälkeen. Diamond Back on suunniteltu 225 ja 450 kg:n JDAM-pommeihin.

Tarkkuus

JDAM-täsmäpommien tarkkuusvaatimus on 30 m CEP (Circular Error Probable) käytettäessä inertiasuunnistusta ja 13 m CEP silloin, kun inertiasuunnistusta täydennetään GPS-suunnistuksella [15]. Mainittakoon, että CEP on todennäköinen ympyräpoikkeama, jonka mukaan suuren laukausmäärän iskemistä 50 % osuus kehän alueelle (ja 50 % sen ulkopuolelle).

Sotakokemusten mukaan JDAM-pommien tarkkuus on ollut vaatimusten mukaisista: 14 m CEP käytettäessä inertiasuunnistusta ja 8 m CEP käytettäessä lisäksi GPS-suunnistusta. On esitetty myös väitteitä siitä, että JDAM-pommien tarkkuus Irakissa 2003 oli "noin pommin pituuden mittainen" eli 3–4 m. Samaa luokkaa ovat olleet raportit vuoden 1999 entisen Jugoslavian pommituksista, jolloin INS/GPS-suunnistuksen lisäksi DAMASK-maaliinhakeutumisyksiköillä varustettujen JDAM-pommi- en tarkkuudeksi ilmoitettiin 3 m CEP [16].

Käyttö taisteluissa

JDAM-täsmäpommeja ei käytetty vielä Irakin sodassa 1991, koska GPS-järjestelmä otettiin operatiiviseen käyttöön vuonna 1995. Mainittakoon kuitenkin, että 114 000 Mk 82-, Mk 83- ja Mk 84-rautapommia pudotettiin sodan aikana [15].

JDAM-pommeja käytettiin taisteluissa ensimmäisen kerran toukokuussa 1999 Operaatioissa 'Allied Force' -NATOn ilmahyökkäyksessä entisessä Jugoslaviassa: Kosovoon pudotettiin kaikkiaan 652 GBU-32 JDAMia yli 30 tuntia kestäneessä yhämittaisessa operaatioissa. Tämä oli ensimmäinen kerta, kun B-2-konetta käytettiin itsenäisesti taistelussa. Kukin B-2-kone kuljetti 16 JDAMia. JDAMista tuli yleisen mielenkiinnon kohde johtuen sen toimintakyvystä huonossa säässä. Osumatarkkuudesta saatujen taistelukokemusten perusteella asetettiin maaliinhakeutumiselle kehittämiskaavoituksia.

JDAM-pommeja käytettiin runsaasti Operaatiossa 'Iraqi Freedom' vuonna 2003. USA:n ilmoittamien lukujen mukaan 5 086 GBU-31-, 768 GBU-32- ja 675 GBU-35-täsmäpommiä pudotettiin Irakissa maaliskuuhun 2003 kysyksenä vuonna [15].

Täsmäpommi	GBU-31 JDAM	GBU-31 JDAM	GBU-32 JDAM	GBU-35 JDAM	GBU-38 JDAM
Taistelukärki	Mk 84	BLU-109/B	Mk 83	BLU-110 (Mk 83)	Mk 82
Pituus	4,0 m	2,4 m			2,3 m
Rungon halkaisija	450 mm (tai 460 mm)	370 mm			273 mm
Pyrstön siipiväli	0,5 m	0,5 m			
Kiinnitysväli	762 mm	762 mm			356 mm
Paino noin	900 kg	900 kg	450 kg	450 kg	225 kg
Räjähdyssainetyte	428 kg HE	240 kg HE	202 kg HE	202 kg PBXN-109	89 kg HE

Taulukko 1: JDAM-täsmäpommien teknisiä tietoja [12], [15].

2.2 JSOW-pommi

JSOW (Joint Stand-Off Weapon) on ilmasta laukaistava kasettipommi tai liitokasettipommi, joka voidaan varustaa erilaisilla taistelukärjillä. Sen rungon poikkileikkaus on suorakulmainen. JSOW-pommeja voidaan sen ominaisuuksiensa vuoksi kutsua myös täsmäpommiksi. GPS-ohjauksen vuoksi sitä voidaan kutsua myös satelliittiohjattavaksi pommiksi.

JSOW-pommin kehittämisvaatimukset ovat olleet

- toimintakyky vihollisen ilmatorjunnan kantaman ulkopuolelta,
- joustavuus maalinvaihtoon,
- useiden maalien tuhoamiskyky yhdellä lentosuorituksella,
- joint-järjestelmä,
- edullisuus.

Vaatimusten perusteella kehitettiin JSOWin perusversio: AGM-154 (Air-to-Ground Missile). Se on siivellinen ja ilman moottorivoimaa toimiva liitokasettipommi, joka sisältää satelliittiaseille tyypillisen INS/GPS-suunnistuksen. Se on kehitetty osittain korvaamaan seuraavat järjestelmät: AGM-65 Maverick, AGM-123 Skipper, AGM-62A

Walleye, Rockeye ja APAM-kuorma-ammuksen (Anti-Personnel/Anti-Material submunition dispenser) sekä laser- ja TV-ohjatut pommit [2].

Kehittäminen

JSOW on tarkoitettu joukkojen keskittymiä vastaan ja henkilöstöä suojaavia pansaroitua ajoneuvoja vastaan [17]. Sen kehittäminen aloitettiin vuonna 1992 USA:n ilma- ja merivoimien yhteisellä (Joint) hankkeella, jonka vetovastuussa merivoimat on ollut. Suunnittelu aloitettiin AGM-154A:n kehittämisellä. Lentotestit aloitettiin vuonna 1994 F-16C/D Fighting Falcon- ja F-15E Strike Eagle -koneilla ja ensimmäinen ohjattu lentotesti tehtiin samana vuonna F/A-18C Hornetilla. JSOWin esisarjaan päästiin vuonna 1997 tilaamalla 180 pommia USA:n meri- ja ilmavoimille. Sarjatuotanto aloitettiin vuonna 2000.

AGM-154B:n suunnittelu aloitettiin vuonna 1995. Ensimmäinen lentotesti tehtiin vuonna 1996 F-16D-koneella. Esisarja aloitettiin vuonna 1999. USA:n ilmavoimat menetti tässä vaiheessa kiinnostuksensa B-version pst-kykyyn ja vetäytyi kehittämisestä. Valmistajan mukaan tuotanto on keskeytetty [1].

AGM-154C:n suunnittelu aloitettiin samaan aikaan B-version kanssa. Ensimmäiset lentotestit suoritettiin vuonna 2003. Alkutoimitukset aloitettiin vuonna 2004 ja lokakuussa 2004 ensimmäiset AGM-154C:t olivat virallisesti käytössä USA:n merivoimilla. Alunperin taistelukärkenä käytettiin Mk 82 -pommista kehitettyä BLU-111-läpäsypommia, mutta vähitellen se korvattiin BROACH-läpäsyaistelukärjellä [2]. Uusimman version JSOW Block II:n uskotaan valmistuvan vuonna 2005 [1].

Voimassa olevan suunnittelun ohjelman mukaan JSOW:n hankinnat ovat seuraavat: 11 800 AGM-154A:ta (8 800 USN ja 3 000 USAF-useimpia lykätään), 4 314 AGM-154B:tä (1 200 USN ja 3 114 USAF-lykätään) ja 3 000 AGM-154C:tä (vain USN) [2].

Rakenne

JSOWien eri versioille yhteistä on modulaarisuus: ne voidaan varustaa erilaisilla hyötykuormilla, ja aseiden perusrakenne on silti sama. Hyötykuormana voi olla tappava tai ei-tappava (non-lethal); taistelukärjistä sensoreihin ja lentolehtisiin.

JSOW-ohjuksen rakenne jakautuu kolmeen osaan:

- etuosaan,
- keskiosaan,
- pyrstöosaan.

Ohjaus- ja valvontayksikkö sijaitsee etuosassa virtaviivaisessa kärjessä. Suorakulmaisen muotoisessa keskiosassa hyötykuorman/taistelulatauksen säiliö sisältää tytärammukset tai taistelukärjen. Tämän osan yläreunaan on kiinnitetty kaksi kääntyvää siipeä ja kaksi NATO-standardin mukaista 762 mm:n kiinnityskiskoa. Pyrstöosassa on kuusieväinen pyrstö, joka sisältää lennonvalvontajärjestelmän.

Perusversio on 4,1 m pitkä, sen rungon leveys on 337 mm ja korkeus 442 mm (taulukko 2). Sen kokonaispaino versiota riippuen on noin 470 kg, joten JSOW on niin sanottu 500 kg:n täsmäpommei. Lisäksi JSOW-pommilla on alhainen näkyvyys tutkassa.

AGM-154A (JSOW-A)

AGM-154A eli JSOW-A on aluemaaliversio panssaroituja maaleja ja elävää voimaa vastaan. Se sisältää 145 kappaletta BLU 97/B CEM (Combined Effect Bomblet) -monitoimista tytärammusta. Siitä käytetään myös nimitystä JSOW Baseline (BLU-97), ja se on kehitetty USA:n merivoimien, merijalkaväen ja ilmavoimien käyttöön. Tytärammukset ovat samanlaisia kuin mitä käytetään CBU-87/B-kasetti- eli rypälepommeissa [2], jotka ovat olleet palveluskäytössä vuodesta 1986 lähtien.

Valmistajan mukaan kehitystyön alla on AGM-154A-1, jonka taistelukärkenä on Mk 82 -rautapommista kehitetty räjähtävä, sirpaleita tuottava BLU-111-pommei. Se on myös aluemaaliversio elävää voimaa vastaan. Sen tarkoitus on valmistajan [1] mukaan saavuttaa tuotantovalmius vuonna 2006.

JSOW-A:n tytärammukset ovat sylinterinmuotoisia ja kanisterityyppisiä. Tytärammuksessa on ilmatäytteinen jarruliina, joka vakauttaa ammuksen ulosheiton jälkeen. Tytärammuksen kärjessä on laukaisuputki, jolla tunnistetaan ontelopanoksen optimiräjähdykskorkeus.

Ennen ulosheittoa tytärammus on noin 17 cm pitkä, ja sen rungon halkaisija on noin 6,5 cm ja paino 1,5 kg. Kun se on purkautunut ulos pommista ja aktivoitu, tytärammus laajenee noin 36 cm:n pituiseksi. Taistelukärki sisältää 287 g:n ontelopanoksen ja sirpaloituvan kuoren. Ontelopanos on syklotolia ja zirkoniumia, joista jälkimäinen on panoksen palava elementti.

AGM-154B (JSOW-B)

AGM-154B eli JSOW-B on panssarimaaliversio. Se tunnettiin aikaisemmin nimellä JSOW/BLU-108, ja se on kehitetty USA:n merivoimien ja ilmavoimien käyttöön. Pommi sisältää kuusi BLU-108/B-tytärammusta. Ne ovat samanlaisia, joita käytetään CBU-97/B SFT (Sensor Fuzed Weapon system) -kasetti- eli rypälepommeissa [2].

JSOW-B:n runkorakenne on sama kuin AGM-154A:lla, mutta tytärammusten le vittämismenetelmä on erilainen. Myös sen tytärammukset ovat sylinterinmuotoisia ja kanisterityyppisiä. Tytärammuksen peräosassa on kaksi pientä siivekettä ja vakautusvarjo, joka vakauttaa tytärammuksen ulosheiton jälkeen. BLU-108/B-tytärammus on 88 cm pitkä ja sen rungon halkaisija on 12 cm.

Kukin BLU-108/B -tytärammus sisältää neljä peräkkäin olevaa skeet'ksi kutsuttua pst-taistelukärkeä. Skeet on pieni ja matala kanisteri, jossa on kuparilevyllä vuorattu EFP-panos (Explosively Formed Projectile). Se on ontelopanosista tehokkaampi räjähtämällä muotoutuva projektiili. Sen sivulle on asennettu kaksitoiminen laser- ja infrapunasensori. Skeet on halkaisijaltaan noin 12 cm ja korkeudeltaan 9 cm.

AGM-154C (JSOW-C)

AGM-154C eli JSOW-C on pistemaaliversio. Siitä käytetään myös nimitystä JSOW/Unitary, ja se on kehitetty USA:n merivoimien ja merijalkaväen käyttöön. JSOW-C:ssä on lämpöhakupää.

JSOW-C:n runkorakenne on sama kuin muilla AGM-154:lla, mutta useiden tytärammusten sijasta siinä on vain yksi taistelukärki. Aluksi yleistäistelukärkenä käytettiin Mk 82 -rautapommista kehitettyä BLU-111 -pommia, mutta nykyisin käytetään myös BROACH-läpäisytaistelukärkeä kovien maalien läpäisyyn. Kumpikin vaihtoehto on edelleen valittavissa valmistajan mukaan [1]. Vaihtoehtona on ollut myös BLU-109-pommi. BROACHin etuna muihin läpäisyypommeihin verrattuna on kaksoistäistelukärjen käyttö: etummaisena oleva ontelopanos painaa 93 kg ja varsinainen läpäisykärki 139 kg. Läpäisykyvyksi ilmoitetaan noin 1,5 m betonia. Taistelulatauksella saadaan sekundaarista sirpalevaikutusta esisirpaloiduilla noin 3 g:n terässirpaleilla.

Kantama

JSOW-täsmäpommit voidaan laukaista 75–12 000 m:n korkeudelta. JSOW-pommien kantama on noin 22 km matalalta ja noin 75 km suurelta lentokorkeudelta laukaistessa [2]. Valmistajan kotisivuilla [1] mainitaan kantamaksi 130 km.

JSOWin kantamaa on yritetty parantaa suihkuturbiinimoottorilla varustetulla 'Powered JSOW' -versiolla, jota kehitettiin Ison-Britannian tarpeita varten 1990-luvun puolivälissä [2]. Suihkuturbiinin käyttö laajentaisi myös erilaisten hyötykuormien käyttömahdollisuutta esimerkiksi elsohyötykuormiin ja muihin ei tappaviin hyötykuormiin.

Williamsin suihkuturbiinimoottorilla varustetulla JSOW-prototyypillä on lentotesteissä saavutettu yli 100 km:n kantamia. Williamsin moottorilla varustettu JSOW on 4,1 m pitkä kuten muutkin versiot, mutta se painaa enemmän, noin 660 kg. Tämän JSOWin version kehittäminen on tällä hetkellä keskeytetty.

Käyttö taisteluissa

JSOW-täsmäpommeja (AGM-154A) käytettiin taisteluissa ensimmäisen kerran tammiukuussa 1999 Irakin lentokieltoalueella operaatioissa 'Southern Watch' [2], kun USA:n merivoimien F/A-18 Hornet -koneista pudotettiin kolme JSOW:a kolmea irakilaista it-asemaa vastaan ja ne tuhottin.

Aikaisin vuonna 1999 Operaatioissa 'Allied Force'–NATOn ilmahyökkäyksessä entisessä Jugoslaviassa USA:n F/A-18C Hornet -koneet pudottivat useita JSOW-pommeja Kosovoon hyökätessään maaleja vastaan huonoissa sääolosuhteissa [2]. Hyökkäykset olisivat estyneet, jos olisi käytetty optisen paikannuksen tai ohjautuksen vaatimia aseita.

Maalis-huhtikuussa 2003 pudotettiin 253 AGM-154A -täsmäpommiä operaatioissa 'Iraqi Freedom'. Vuodesta 1999 lähtien JSOW-pommeja on pudotettu taisteluissa eri operaatioissa yli 100 kappaletta [2].

Täsmäpommi	AGM-154 JSOW			
Taistelukärki		BLU-97/B- tytärammus	BLU-108/B- tytärammus	BROACH- läpäisykärki
Pituus	4,06 m	0,169 m (koossa) 0,356 m (laajennettu)	0,88 m (koossa)	
Rungon mitat	337 mm (leveys) 442 mm (kork)			
Rungon halkaisija		64 mm	120 mm	300 mm tai 127 mm
Pyrstön siipiväli	0,53 m		0,17 m	
Kiinnitysväli	356 mm			
Paino	A: 474 kg B: 470 kg C: 468 kg	1,5 kg		93 kg (1.panos) 139 kg (2.panos)
Taistelukärjen hyötykuorma	A: 145xBLU-97/B B: 6xBLU-108/B C: 1 x BROACH	287 g 70 % / 30 % syklotoli / zirkonium	4 x skeet- taistelukärki (118 x 90 mm)	Lisäksi 3 g:n teräs- kuulia (sirpvaik)

Taulukko 2: JSOW:n teknisiä tietoja [1], [2].

2.3 JASSM-ohjus

AGM-158 JASSM (Joint Air-to-Surface Standoff Missile) on pienisiipinen pitkänkantaman ilmasta maahan häiveohjus. Sen rungon poikkileikkaus on suorakulmainen. JASSM-ohjusta voidaan sen ominaisuuksien vuoksi kutsua myös täsmäpommiksi. GPS-ohjauksen vuoksi sitä voidaan kutsua myös satelliittiohjattavaksi pommiksi. Sillä on myös risteilyohjauksen ominaisuuksia.

JASSM-ohjuksen kehittämisvaatimukset ovat olleet:

- edullisuus,
- häiveominaisuus,
- maahyökkäykseen soveltuva risteilyohjus,
- yli 185 km:n kantama.

Vaatimusten perusteella on kehitetty yksi JASSM-ohjus, AGM-158 (Air-to-Ground Missile). USA:n merivoimat on alunperin ollut sen pääkäyttäjä, vaikka se nykyisin onkin vetäytynyt hankkeesta. Ohjus on siivellinen ja se käyttää moottorivoimaa. Ohjus sisältää satelliittiohjatulle aseille tyypillisen INS/GPS-suunnistuksen. AGM-158 on kehitetty korvaamaan TSSAM-ohjelman (Tri-Service Standoff Attack Missile) AGM/MGM-137-ohjus (Air-to-Ground Missile/Mobile Ground Missile).

Kehittäminen

JASSM-ohjuksen kehittäminen aloitettiin vuonna 1996 USA:n ilma- ja merivoimien yhteisellä (Joint) hankkeella, jonka vetovastuussa alussa oli merivoimat (nykyisin ilma-voimat). Projektin määrittelyyn otettiin mukaan McDonnell Douglas (nykyisin Boeing) ja Lockheed Martin. Vuonna 1998 Lockheed Martin valittiin toimittajaksi jatkamaan kolmen vuoden (lopulta neljän vuoden) suunnittelutyötä. Kehittämistä vaikeuttivat ongelmat, jotka liittyivät komposiittirakenteeseen, koneeseen ja siipien liikuttajiin.

Lentotestit aloitettiin vuonna 1997, ja ensimmäinen lentotesti omalla moottorilla tehtiin vuonna 1999. Ensimmäinen JASSMin valmistui vuonna 2000. Sen esisarja aloitettiin vuonna 2002. Maaliskuussa 2003 B-52H suoritti viimeisen kehitystestin. Integrointi B-52H-koneisiin ilmoitettiin saavutetun lokakuussa 2003. Sarjatuotannon suunniteltiin alkavan vuonna 2003.

Vuonna 2004 B-1B-kone laukaisi JASSMin ensimmäisen kerran koneen sisällä olevasta kiertävästä alustasta. Tämä oli ensimmäinen kerta, kun B-1B:stä laukaistiin ylipäätään tavanomainen ohjattu ohjus [3].

Vuonna 2004 merivoimat päätti luopua ilmavoimien johtamasta JASSM-ohjelmasta. Tämä tapahtui sen jälkeen, kun USA:n ilmavoimat oli päättänyt luopua merivoimien johtamasta JSOW-ohjelmasta. Luopumiseen vaikutti osaltaan vuoden 2004 epäonnistunut testi. Ohjus, joka oli pudotettu B-2-koneesta, menetti etäisyystiedot maaliinhakeutumisieheessä eikä osunut maaliin. Epäonnistuminen laitettiin syyttimien valmistusvian syyksi ja koko lentotestausta epäiltiin. Tätä olivat edeltäneet epäonnistunut laukaisu F-16:sta ja ongelmat JASSMin tehtäväsuunnittelujärjestelmässä. Ongelmat JASSMin lentokyvyyssä oli yksi tekijä USA:n merivoimien vuoden 2004 päätöksessä keskeyttää suunnitellut hankinnat.

Sarjatuoannossa USA:n ilmavoimien vaatimuksena oli alunperin 2 400 ohjusta vuosien 2003 ja 2010 välillä. Tällä hetkellä USA:n ilmavoimat suunnittelee hankkivansa noin 4 900 JASSMia [3]. Ohjuksia suunniteltiin alunperin valmistettavan noin yksi ohjus päivässä vuoteen 2014 asti. Vuonna 2004 kuukausittainen tuotantomäärä oli kasvanut 40 ohjukseen. JASSMien tuotantoa on sittemmin viivästetty testien epäonnistumisten takia.

Rakenne

JASSMin rakenne jakautuu kolmeen osaan:

- etuosaan,
- keskiosaan,
- pyrstöosaan.

Ohjuksessa on yksi pystysuorassa oleva pyrstö. Kuljetuksen aikana ohjuksen siivet ja siivekkeet ovat taitettuna. Koneesta pudotuksen jälkeen siivet ja siivekkeet avataan pienten räjähdyspanosten avulla. JASSM-ohjus on noin 4,3 m pitkä, rungon leveys on 550 mm ja korkeus 450 mm, siipien kärkiväli 2,7 m ja laukaisupaino vähän yli 1 000 kg (taulukko 3). Ohjuksen rungon materiaali on komposiittia.

JASSM-ohjuksen taistelukärkenä on JAST-1000 HE -läpäisytaistelukärki (Joint Advanced Strike Technology, High Explosive). Sen uskotaan perustuvan I-1000-läpäisy-pommin suunnitteluun. I-1000-pommin kehittäminen aloitettiin jo 1990-luvun puolivälissä vähentämään tarvetta kehittää Mk 81- ja Mk 83 -rautapommeja. Taistelukärjen pituus on noin 1,8 m ja sen rungon halkaisija 295 mm. Sen paino on noin 450 kg ja räjähdysainetta siinä on noin 100 kg [3], [14]. Läpäisykykyä on saatu kehitettyä pommin kärjen muotoilulla ja käyttämällä volframipäällystettä.

JAST-1000-läpäisypommeja ollaan suunnittelemassa myös tulevaisuuden JSF-taistelukoneeseen (Joint Strike Fighter) ohjattavaksi läpäisy-pommiksi. Pommin pyrstöä

ollaan parhaillaan suunnittelemassa komposiittimateriaalista [8], [13]. Se vähentää pommin havaittavuutta, ja tulee useiden satojen aseiden tuotantoerissä edullisemmaksi kuin nykyiset alumiinipyrstöt.

Vaihtoehtoiseksi hyötykuormaksi JASSM-ohjukseen on ehdotettu palopommia biologisten ja kemiallisten aseiden varastoja vastaan ja mahdollista tytärammuksia sisältävää kuorma-ammusta kuten LOCAAS (Low Cost Autonomous Attack System) [3]. Tämä on vuonna 1990 alkanut USA:n maa- ja ilmavoimien yhteinen kehityshanke täsmäammuksesta, joka pyritään saamaan palveluskäyttöön noin vuonna 2010.

LOCAAS-ammus tulee olemaan ilman moottoria oleva tai moottorilla varustettu pienikokoinen älykäs ammus, jossa yhdistyy LADAR-laserhakupää (laser radar seeker), maalin paikannusalgoritmi ja 'älykäs' monitoiminen taistelukärki. Sen uskotaan olevan vallankumouksellinen asejärjestelmä, koska sen tarkoitus on kyetä itsenäisesti etsimään, valitsemaan ja tuhoamaan sopivia liikkuvia maaleja muuttuvalla taistelukentällä. Tästä lähde [22] käyttää kuvaavaa englanninkielistä termiä 'hunt'. Tähän kuuluu myös kyky toimia ilman ulkopuolista apua ja kyky priorisoida ja jakaa maaleja ammusten kesken autonomisesti.

LOCAAS-ammuksessa on GPS/INS-suunnistusjärjestelmä lennon keskivaihetta varten. Maaliinhakeutumisvaiheessa ammuksessa käytetään laseritutkaan perustuvaa hakupäätä, jota tukee kolmiulotteinen maalin tunnistusalgoritmi. Tarkoitus on myös kehittää datalinkki, jonka avulla maalitietoja voidaan vaihtaa ammusten kesken ja lähettää laukaiselle lentokoneelle. LOCAAS-ammusten käyttö JASSM-ohjuksen tytärammuksina lisäisi merkittävästi ohjuksen panssarintorjuntakykyä.

LOCAAS-ammuksesta on kehitteillä myös moottorilla varustettu versio: P-LOCAAS (Powered LOCAAS). Se on noin 0,8 m pitkä. Ammuksessa on kaksi siipeä rungon keskikohdalla, ja siipiväli on 1,2 m. Ammuksessa on kolmieväinen pyrstö. Voimanlähteenä on pienikokoinen suihkuturbiinimoottori, jonka avulla ammukselle saadaan 185 km:n kantama.

Moottori ja kantama

JASSM-täsmäohjuksessa on turboahdettu Teledyne J402-100 -moottori, joka on alunperin kehitetty AGM-84E SLAM -ohjukselle. Kantaman on raportoitu olevan 400 km [3], mikä ylittää selvästi 185 kilometri vaatimuksen.

Tarkkuus/luotettavuus

Tietoa JASSM-ohjuksen tarkkuudesta ei artikkelin kirjoittajilla ole. Lockheed Martin ja USA:n ilmavoimat ovat väitelleet JASSMin luotettavuusarvoista. Ohjuksen jatkettut testaukset vuonna 2005 tulevat yksilöimään joitakin suunnittelumuutoksia.

Käyttö taisteluissa

Syksyllä 2003 AGM-158 JASSM saatiin operatiiviseen käyttöön B-52H:lla. Ohjuksen käytöstä taisteluissa ei artikkelin kirjoittajilla ole tietoa.

Täsmäohjus	JASSM	
Taistelukärki		JAST-1000
Pituus	4,26 m	1,82 m
Rungon mitat	550 mm (leveys) 450 mm (korkeus)	
Rungon halkaisija		295 mm
Pyrstön pituus	2,7 m	
Paino	1023 kg	432 kg (tai 454 kg)
Täyte	432 kg	103 kg HE
Läpäisykyky		Väite: 2 x BLU-109:n läpäisykyky
Propulsio	Turbojet	
Kantama	Yli 200 km	
Hyötykuorma	1 x JAST-1000	

Taulukko 3: JASSM:n teknisiä tietoja [3].

3 SATELLIITTI-OHJATTUJEN TÄSMÄASEIDEN LENNON VAIHEET

3.1 Laukaisuvaihe ja reittivaihe; maalia lähestyminen

Täsmäprojektiilin lennon vaiheet käsittävät laukaisuvaiheen, reittivaiheen ja terminaalivaiheen [20]. Laukaisuvaihetta voidaan kutsua myös pudotusvaiheeksi.

Laukaisuvaihe

Laukaisuvaiheessa täsmäprojektiili on kiinnitetty lavetin ripustimiin tai sijoitettu lavetin rungon sisään laukaisualustalle. Laukaisuvaiheessa käynnistetään aseeseen elektroniikka, ohjelmoidaan aseeseen reitti ja maalin koordinaatit sen tietokoneelle sekä saatetaan ase turvallisesti irti lavetistaan.

Maassa ennen lentoa tai ilmassa lennon aikana ennen projektiin vapautusta siihen asetetaan vapautustiedot, lentokoneen sijainti- ja nopeustiedot, maalin koordinaatit ja pommin loppulennon parametrit perusteiksi projektiin ohjaamiseksi maaliinsa [29]. Tiedot voidaan asettaa myös automaattisesti lennon aikana lentokoneen aseensuuntausjärjestelmästä. Laukaisuvaiheessa käynnistetään myös inertiasuunnistuksen hyrrät automaattisesti.

Reittivaihe

Reittivaiheessa täsmäprojektiili lentää etukäteen suunniteltua ja ohjelmoitua reittiä pitkin mahdollisimman lähelle maalia. Reitti- eli matkapisteitä päivitetään automaattisesti lennon aikana. Esimerkiksi JASSM-ohjuksen lentotestiraporttien mukaan ohjus on navigoinut 300 km:n matkan 10 matkapisteen kautta ja 250 km:n matkan kahdeksan matkapisteen kautta [3].

Pudotuksen jälkeen JDAM- ja JSOW-pommit putoavat vapaasti; JASSM-ohjuksessa on moottori. JASSM voi käyttää korkeaa ja matalaa lentorataa. Kaikissa satelliitti-ohjattavissa aseissa suunnistukseen käytetään INS/GPS-yksikköä. GPS-vastaanotin ottaa yhteyden satelliitteihin, joista ainakin neljään satelliittiin on saatava yhteys [33]. Oman paikan määrittäminen satelliittien avulla kestää vähän alle 30 s [9].

JDAM-pommia voidaan ohjata lennon aikana ainoastaan takasiivekkeiden avulla. Pyrstössä oleva ohjausyksikkö antaa niille ohjauskomennot. Pommi ohjaa itsensä maaliin tai maalialueelle päivittämällä paikkatietoja GPS-satelliiteilta.

Jos GPS-signaalin saanti jostain syystä häiriintyy lennon aikana, satelliittiaseissa otetaan automaattisesti käyttöön hyrräkäyttöinen inertiasuunnistusyksikkö. Sen toiminta perustuu pommin liiketilojen mittaukseen asentohyrrien ja kiihtyvyyssanturien avulla, eikä se siten tarvitse ulkopuolisia yhteyksiä. Lähtöarvot inertiasuunnistukselle saataan GPS-yksiköltä edellisestä 'varmasta' lentopisteestä [29].

3.2 Terminaalivaihe; hakeutuminen maaliin

Terminaalivaihe käynnistyy aseensa saapuessa herätesyöttimen toimintaetäisyydelle tai kun hakupää aktivoituu maaliin hakeutumiseen. GPS-järjestelmä voi itsenäisesti ohjata satelliitti-ohjattavan täsmäaseen maaliin etukäteen ohjelmoitujen koordinaattien perusteella. Tällöin lennon reittivaihe jatkuu maaliin asti, eikä erikseen erotettavaa terminaalivaihetta voida havaita. Häirinnän väistämiseksi tai osumatarkkuuden

parantamiseksi terminaalivaiheessa voidaan täsmäaseissa käyttää maaliinhakeutumisyksikköä, jonka toiminta perustuu passiiviseen hakeutumiseen.

Hakeutuminen mitattavan säteilyn lähetyks- tai vastaanottoperiaatteen mukaisesti voi olla passiivista, puoliaktiivista tai aktiivista. Passiiviset hakeutusjärjestelmät mittaavat maalin luonnollisesti emittoivaa säteilyä. Hakupäissä käytetään pääosin 3–5 ja 8–14 μm :n infrapuna-alueen transmissioikkunoita, joita usein kutsutaan lyhyesti ip-ikkunoiksi.

Alemman ip-ikkunan (3–5 μm) alueella sade ja sumu aiheuttavat partikkelikokonsa vuoksi vaimennusta emittoituvaan lämpösäteilyyn, mutta savukaasut eivät aiheuta vaimennusta [20]. Lisäksi taustansa lämpöä lähellä olevat kohteet eivät erotu helposti alemman ikkunan alueella. Niiden tapauksessa käytetäänkin hyväksi ylempään ikkunan (8–14 μm) aluetta. Tällä alueella myös sumun, savun ja pölyn läpäisykyky on parempi. Silti sade on ongelma tälläkin alueella.

Kertakäyttöisten ohjusten hakupäiden sensoreiden jäähdytys toteutetaan yleensä Joule-Thomsonin jäädyttimellä, jossa 2–5 s:ssa saavutetaan 80–90 K:n toimintalämpötila [33].

Passiivinen hakeutuminen

JDAM

Tähän perustuen JDAM-pommien maaliin hakeutumista on pyritty kehittämään NATO:n 'Allied Force' -operaatiossa Jugoslaviassa vuonna 1999 JDAM-pommien käytöstä saatujen kokemusten perusteella. Erityisesti maaliin hakeutumisen tarkkuuteen esitettiin kehittämisvaatimuksia.

Kehittämisen tuloksena on syntynyt DAMASK-maaliinhakeutumisyksikkö (Direct Attack Munitions Affordable Seeker Kit) [15]. Käytettäessä DAMASK-maaliinhakeutumisyksikköä GPS/INS-järjestelmä ohjaa JDAM-pommia vain reittivaiheen aikana, mutta ei enää terminaalivaiheessa.

DAMASK-yksikköön kuuluu jäähdyttämätön lämpöhakupää (IIR, Imaging Infrared) ja autonominen maalintunnistusalgoritmi. Signaalin prosessointi tehdään aseohjauksyksikössä, eikä itse DAMASK-yksikössä. IIR-hakupää on suljettu polymeerikoteloon. Hakupäässä on vain 12 osaa. Sen etsin on täysin kiinteä, eikä siinä ole lainkaan liikkuvia osia [15]. Tämä lisää toimintavarmuutta ja alentaa valmistuskustannuksia. Lentokoneen miehistö asettaa halutun osamakohdan valitsemalla sen tietokoneen näytöltä, joka perustuu maalialueelta otettuun kuvaan. Lentäjä voi myös

valita osumakohdan lennon aikana käyttämällä kypäränäytössä näkyvää SAR-tutkan (Synthetic Aperture Radar) tai IR-sensorin kuvaa.

Lennon loppuvaiheessa DAMASK kuvaa alueen, paikantaa aiemmin suunnitelun osumakohdan ja päivittää maalin sijainnin vertaamalla alkuperäiseen muistissa olevaan kuvaan. DAMASKin maalin vertailualgoritmin avulla saadaan tiedot, joiden perusteella hakupää asettuu oikeaan asentoon pommin inertiamittausyksikön suhteen 0,1 mrad:n tarkkuudella. Päivitetty maalitieto syötetään pommin ohjausyksikköön sen ohjaamiseksi tarkasti maaliinsa.

DAMASK-maaliinhakeutumisyksikkö sietää hyvin elektronista häirintää, koska lennon loppuvaiheessa ei GPS-suunnistusta käytetä lainkaan maalin hakupään hoidossa hakeutumisen [14].

JSOW-C

JSOW-pommien terminaalivaiheen maaliinhakeutumisen menetelmät riippuvat niiden versiosta. JSOW-C:n BROACH-taistelukärjessä käytetään autonomista jäähdyttämätöntä lämpöhakupäätä 'Man in the loop' -ohjauksella [1]. Pommi voidaan varustaa datalinkillä lähettämään videokuvaa sen laukaisseelle lentokoneelle pommin lähestyessä maalialuetta.

JSOW-C:n lämpöhakupäässä käytetään FPA-ilmaisimatriisia (long-wave imaging infra-red Focal Plane Array) [2]. Se on kehitetty sittemmin hylätyn TSSAM AGM-137-ohjuksessa käytetyn hakupään perusteella. FPA-ilmaisimatriisi toimii 8–14 µm:n ipikkunan alueella ja muodostaa kohteesta kaksiulotteista kuvaa. Hakupää mahdollistaa myös maalin tunnistusalgoritmin käytön.

Maalin tunnistusalgoritminä JSOW-C:ssä käytetään ATA-teknologiaa (Autonomous Targeting Acquisition). ATA-teknologian paikannustarkkuuden lämpöhakupäällä suoritetuissa lentotesteissä on ilmoitettu olleen noin 1 m [2].

JSOW-C:n hakupäässä oleva tila mahdollistaa käyttää myös muita hakupäitä. Ohjuksen peräosassa on varattu tilaa myös esimerkiksi datalinkin integrointia varten liikkuvien maalien ja merimaalien tulittamista varten. Tämä kehitystyö aloitettiin vuonna 2005.

Puoliaktiivinen hakeutuminen laserisäteeseen

Puoliaktiivisessa hakeutumisyjärjestelmässä maalia valaistaan tutka- tai laserisäteellä, mistä uusien raportoitu kehittämisskonsepti on laserin käyttö JDAM-täsmäpommien maaliin hakeutumisen apuna. Ohjuksen hakupää mittaa maalin sijainnin siitä heijastuvan säteilyn perusteella. Tulenjohtojärjestelmä sitoutuu maalin valaisuun koko ammunnan ajaksi 'Man in the loop' -ohjauksella.

Täsmäpommiin asennetaan ennen lentoa laserilmaisoin standardipommin kärkeen. Toisella koneella valaistetaan maalia, jonka heijastuvaan säteeseen laser-JDAM hakeutuu. Ratkaisulla lisätään JDAM-pommien käyttöaluetta myös liikkuvia maaleja vastaan hyvissä sääolosuhteissa [4]. Perinteiset JDAMit on tarkoitettu toimimaan paikallaan olevia maaleja vastaan huonoissa sääolosuhteissa.

Syöksy maaliin ja passiivinen hakeutuminen

JASSM-ohjuksen terminaalivaiheessa käytetään sekä maaliin syöksyä että passiivista hakeutumista. Ohjus saatetaan voimakkaaseen syöksyyn loppuvaiheessa, jolloin käytetään lämpöhakupäätä. JASSMin testauksissa iskukulmana on ollut 70° [3].

JASSMin lämpöhakupäätä perustuu USA:n maavoimien Javelin-ohjuksen automomiseen jäädyttämättömään lämpöhakupäähän 'no man-in-the-loop' -ohjauksella. Lämpöhakupäässä käytetään FPA-ilmaisimatriisia, joka toimii 3–5 µm:n ip-ikkunan alueella (toisin kuin JSOW-C:ssä) ja muodostaa kohteesta kaksikulotteista kuvaa [3]. Hakupäätä mahdollistaa myös autonomisen maalin tunnistusalgoritmin käytön.

JASSM-ohjuksen IIR-hakupäätä ja automaattisen maalin tunnistusalgoritmin käytöstä on tehty testejä sekä paikallaan olevaan että liikkuvaan maaliin. Ohjukseen sen tähtäyslinjalle voidaan asettaa myös datalinkki osuman arvioimiseksi.

Purkautuminen maalialueen yläpuolella

JSOW-A ja JSOW-B -pommien terminaalivaiheet eroavat kaikista muista merkittävästi, koska itse ohjukset eivät lennä maaliin lainkaan. JSOW-A saatetaan voimakkaaseen syöksyyn loppuvaiheessa, pyrotekninen panos räjäyttää asekuorman peitteet ja kaasugeneraattori aktivoi alumiinialustan heittämään ulos BLU-97/B-tytärpommit. JSOW-B lentää maalin yläpuolelle ja vapauttaa BLU-108/B-pommit kahtena kolmen tytärpommin peräkkäisenä sarjana ulos [2].

4 SATELLIITTIOHJATTAVIEN TÄSMÄASEIDEN HÄIRITTÄVYYS

4.1 Yleistä

Tässä luvussa käsitellään pääosin USA:n hallinnoimaa GPS:ää ja sen häirittävyyttä, mutta samat lainalaisuudet koskevat myös Venäjän GLONASSia sekä tulevaa EU:n Galileoa. Voidaankin yleisesti todeta, että kaikkia satelliittinavigointijärjestelmiä on periaatteessa yhtä helppo tai vaikea häiritä. Satelliittiohjattavien aseiden merkittävin suunnistus- ja maalitusjärjestelmä on satelliittinavigointi. Käytännössä kaikissa uu-

denaikaisissa satelliittiohjattavissa täsmäaseissa on myös muita suunnistus- ja maanlinosoitusjärjestelmiä, mutta koska GPS-järjestelmä on primäärinen järjestelmä, on painopiste tässä artikkelissa luotu siihen.

Artikkelissa pyritään antamaan perusymmärrystä, jotta sotilas voi arvioida eri järjestelmien toimintaa eri tilanteissa. Esimerkiksi Maanpuolustuskorkeakoulun tekniikan laitoksen julkaisuissa [9] ja [19] on käsitelty satelliittiohjattavien täsmäaseiden ja niiden häirinnän tekniikkaa ja teoriaa perusteellisemmin.

4.2 GPS-signaalin häiritävyys

GPS-signaalin häiritävyyttä arvioitaessa on signaalin tehotaso ja sen ymmärtäminen ratkaisevassa asemassa. Seuraavaksi esitetään GPS-signaalin tehotason määrittäminen. Sitä voidaan käyttää, kun arvioidaan kaikkia tässä artikkelissa esiteltyjä satelliittiohjattavia aseita ja niiden satelliittinavigointikykyä häirinnän alla. Aluksi lähestymistapa on tekninen, jotta lukija ymmärtää minkä tyyppiset voimat vaikuttavat signaalin tehotiheyteen maanpinnalla. Lukijan on otettava huomioon, että tarkastelun alla on pääosin siviilien käyttämä C/A-signaali eli C/A-koodi, joka ei ole aivan niin hyvä kuin sotilaiden käyttämä P/Y-signaali eli P/Y-koodi. P/Y-signaalin kohdalla ongelmaksi tulee oikean tiedon saanti. C/A-signaalin käsittely antaa kuitenkin perusteet ymmärtää järjestelmää.

Satelliittinavigoinnin ja satelliittiohjattavien täsmäaseiden Akilleen kantapää on erittäin alhainen tehotaso maanpinnalla. GPS-signaalin tehotasoksi vastaanottimella maanpinnalla LOS-olosuhteissa (Line of Sight) luvataan -160...-166 dBW, joka on 10^{-16} W eli 0,1 fW eli 0,0000000000000001 W.

Signaalien todellinen tehotaso on kuitenkin suurempi kuin taattu minimitaso. Esimerkiksi GPS:n lähetysteho L1-taajuudella on 14,25 dBW, ja kun siitä vähennetään kaapelointi- ja antennihäviöt 1 dB sekä antennin polarisaatiohäviöt 0,25 dB, saadaan lähetystehoksi 13 dBW. Antennivahvistus on 15 dB, jolloin saadaan GPS-satelliitin EIRP-tehoksi (Effective Isotropic Radiated Power) 28 dBW (joka on lähetystehon ja antennivahvistuksen summa). Signaali kulkee satelliitin kiertoradan korkeudelta maanpinnalle 20 180 km. Signaalin etenemisvaimennus tällä matkalla on 182,5 dB, jolloin tehotasoksi vastaanottimella saadaan -154,5 dBW (=28 dBW-182,5 dB). Tämä arvo on 5,5 dB yli virallisen annetun minimitason. Edellä mainittu on otettava huomioon, kun arvioidaan, kuinka helposti tai vaikeasti satelliittinavigointijärjestelmiä voi häiritä. [20] Sotilas voikin käyttää tehotasoa -154,5 dBW, kun arvioidaan perustehotaso satelliittiohjattavissa aseissa.

Vastaanotinta on helpompi häiritä sen ollessa lukittumassa satelliitin signaaliin kuin häiritä jo lukittunutta vastaanotinta. Tällainen tilanne, jossa vastaanotin ei ole vielä lukittunut tulee vastaan nimenomaan lennon laukaisuvaiheessa, jota on tarkemmin käsitelty kolmannessa luvussa.

Seuraavaksi arvioidaan C/A-koodin tarvitsemaa matalinta tehotasoa, mikä tarvitaan jo satelliittiin lukittuneen vastaanottimen häirintään. Sitä voidaan arvioida kaavalla:

$$J_{\min} = S + G_p - SJR_{\min}, \text{ jossa}$$

S = satelliitin koodin tehotaso,

G_p = satelliitin koodin prosessointivahvistus,

SJR_{\min} = signaalikohinasuhdevaatimus [20].

C/A-koodin prosessointivahvistus on $G_p = 43$ dB. Oletetaan, että järjestelmän signaalikohinasuhdevaatimus SJR_{\min} on 8 dB:n luokkaa ja signaalin tehotaso maanpinnalla $S = -154,5$ dBW [20]. Näin saadaan tulokseksi :

$$J_{\min} = S + G_p - SJR_{\min} \text{ dBW eli } J_{\min} = -119 \text{ dBW}$$

Tulos tarkoittaa sitä, että 8 W:n häirintäjärjestelmällä (EIRP-teho 21 dBW) voidaan häiritä satelliittipaikannusta 100 kilometrin päähän [20].

Aivan näin yksinkertaista ei häirintälähettimen ja GPS-signaalin välisen suhteen laskeminen ole. Todellisessa maailmassa häirintälähettimellä ei välttämättä ole suoraa näköyhteyttä häiritävään vastaanottimeen. Puusto ja rakennukset muodostavat jo luonnollisia tekijöitä, jotka vaikuttavat sekä häirintä- että GPS-signaaliin. Lisäksi nykyään on otettava huomioon erilaiset järjestelmät ja laitteet, joilla saadaan parannettua vastaanottimien häirinnän sietoa.

GPS-signaalin häirinnänsieto voidaan laskea myös hyöty-häirintäsignaalisuhteen, J/S , avulla kaavalla:

$$J/S = J_s - S_r, \text{ jossa}$$

J_s = häirintälähettimen tehotiheys,

S_r = signaalin tehotiheys [18].

Tämä kaava on varsin yksinkertainen käyttää, koska tarvitaan ainoastaan vastaanottimelle tulevan häirintäsignaalin ja satelliitin lähettämän signaalin tehotasot (dBW). Kaava soveltuu hyvin sotilaille nyrkkisäännöksi. On kuitenkin muistettava, että kaava yksinkertaistaa paljon varsin monimutkaista ongelmatilannetta. Ongelma on lähinnä ottaa huomioon ne kaikki tekijät, jotka vaikuttavat lopullisiin signaalin ja häirintälähettimen tehotasoihin satelliittiaseen vastaanotimessa.

C/A-koodi kestää häirintää J/S-arvon 24 dB verran tilanteessa, jossa koodi ei ole vielä lukittunut satelliitin signaaliin. P/Y-signaali kestää häirintää jonkin verran paremmin häirintää ja samassa tilanteessa sen J/S-arvo on 35 dB. Mikäli vastaanotin käyttää P/Y-signaalia ja se on lukittunut satelliittiin, niin J/S-arvo, jolla vastaanotin menettää paikannuksen, on 60 dB.[24] Nämä J/S-arvot ovat NAWC:n (Naval Air Warfare Center Weapons Division) esittämiä tuloksia vuodelta 2000. Todennäköisesti vastaanotimessa, jonka J/S arvo on 60 dB, viimeisenä on ollut inertianavigointi myös tukena, joten sitä kannattaa käyttää, kun arvioi tässä länsimaisten satelliittiohjattavien täsmäaseiden häirittävyyttä. Tehokas häirintäetäisyys NAWC:n tuloksissa P/Y-signaalille 1 kW:n häirintälähettimellä oli 80 km. Kaupallinen yritys, Electro-Radiation, ilmoittaa samantyyppisessä häirintätilanteessa tulokseksi 54 km.

Kuitenkin, kun analysoidaan tehokasta häirintäetäisyyttä on otettava huomioon, ettei taistelulentä toimi samoin kuin laboratorio-olosuhteet. Erilaiset häirinnänestolaitteet nostavat huomattavasti satelliittiaseiden häirinnänsietokykyä. Lisäksi maasto ja rakennukset saattavat aiheuttaa huomattavia vaimennuksia häirintä- ja GPS-signaalin tehoitheyksiin. Yksinkertainen esimerkki, joka kuvaa tilannetta taistelukentällä on, että häirintälähetin on maassa ja satelliittiohjattavan aseensa GPS-antenni on projektiilin päällä (GPS-signaaliin tulee "taivaalta"). Tässä tilanteessa tulee häirintäsignaalille jopa 15 dB:n vaimennus, joka tulee ottaa huomioon laskuissa.

4.3 Satelliittiohjattavien aseiden häirintämenetelmät ja laitteistot

Satelliittinavigoinnin häirintä voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan, jotka ovat laajakaistainen häirintä (WB, Wideband jamming), kapeakaistainen häirintä (NB, Narrowband jamming) sekä signaalin väärentäminen (spoofing). NB-häirintään kuuluu myös CW-häirintä (Continuous Wave, jatkuva lähete). Signaalin väärentämistä kutsutaan myös älykkääksi häirinnäksi. Häirintämenetelmät, jotka tehoavat P/Y-signaaliin, tehoavat myös periaatteessa samalla lailla C/A-signaaliin.

Aktiivisen häirinnän karkeana periaatteena on häiritä kantoaallon taajuisella signaalilla GPS-signaalia. Jos tässä onnistutaan, ei vastaanotin pysty hyödyntämään sa-

telliitin signaalia. Häirintäsignaalia voidaan myös moduloida tarvittaessa. Kuitenkin vuonna 1996 Maanpuolustuksen tieteellisen neuvottelukunnan GPS-tutkimuksessa [30] havaittiin, että moduloinnilla ei välttämättä ollut merkitystä häirinnän onnistumisen kannalta.

Kapeakaistaisen häirinnän arvioinnille ei ole yhtä ainoaa oikeaa määritelmää. Kapeakaistainen häirintä voidaan määritellä miksi tahansa ei halutuksi signaaliksi, jonka kaistanleveys on esimerkiksi vähemmän kuin C/A-signaalin $\pm 1,023$ MHz. Kapeakaistainen häirintä on yleensä GPS:n osalta keskittynyt L1- tai L2-taajuuksien ympärille. Yleisin kapeakaistainen häirintä on CW-häirintää. Monesti erilaisissa tutkimuksissa, joiden raportteja löytyy internetistä, on CW-häirintää testattu vastaanottiin vain yhdellä taajuudella. CW-häirintää on monenlaista eri tyyppiä, esimerkiksi pyyhkäisy-CW (swept CW), amplitudimoduloitu-CW (amplitude-modulated CW) ja pulssi-CW (pulsed CW).

CW-häirinnällä on se etu, että siinä voidaan keskittää suuret tehotasot pienelle taajuuskaistalle. Kapeataajuuksiset häirintämenetelmät eivät kuitenkaan muodosta kovin suurta uhkaa navigointijärjestelmälle, koska kyseisen tyyppinen häirintälähete on suhteellisen helppo suodattaa pois. Suodatuksesta ei ole kuitenkaan suurta haittaa vastaanottimen tehokkuudelle.

Laajakaistainen häirintä voi GPS:n tapauksessa käsittää kaksi P/Y-signaalin taajuutta (L1 ja L2), joilla molemmilla on $\pm 10,23$ MHz:n taajuusalue. Laajakaistainen häirintä on hankalampaa vastaanottimen kannalta. Yleensä tällaiset laajakaistaista häirintää vastaan soveltuvat tekniikat ovat kalliimpia ja hankalampia asentaa vastaanottiin kuin kapeakaistaiseen häirintää vastaan suunnitellut ratkaisut [25].

Signaalin väärentäminen on myös yksi tapa häiritä satelliittipaikannusta. Tosin sen toteuttaminen vaatii jo jonkin verran enemmän teknistä osaamista kuin edellä mainitut häirintätavat. GPS-signaaliin voidaan vaikuttaa esimerkiksi GPS:n omalla signaalilla. Käytännössä tekninen toteutus voidaan suorittaa GPS-signaalin uudelleen lähettämisenä tai sen viivästämisenä. Viivästystekniikassa siepataan GPS:n oma signaali häirintävastaanottiin ja ohjataan se pitempää reittiä varsinaiseen vastaanottiin. Tällä aiheutetaan aikaviivettä signaaliin. Häiritsijän paikka voi olla joko satelliitin ja aseiden välissä tai vaikkapa maassa. Koska vastaanotin käyttää aikatekijää yhtenä muuttujana, kun se laskee oman paikkansa, tulee ratkaisusta häirittyä virheellinen. Häiritsijän kannalta ongelmaksi muodostuu, että häirinnän teho riippuu satelliittikonfiguraatiosta ja satelliittien etäisyydestä. Satelliittikonfiguraatioon vaikuttaminen edellyttää vastaanottimen käyttämien satelliittien tietämistä ja niiden uusien paikkojen laskemista. Yleensä käytännön ratkaisuissa häirintä suoritetaan

käyttämällä kahta häirintäyksikköä. Tällöin häirintälähetin voisi olla lennokissa ja häirintävastaanotin taas maanpinnalla.

Toinen vaativampi häirinnän muoto on hajaspektrikohinalla häirintä (signaali-informaation häirintä). Häirintä perustuu GPS-koodin tyyppisen (Gold Code) signaalin lähettämiseen vastaanottimelle. C/A-koodia häiritessä J/S-aso on onnistuneessa häirinnässä niinkin alhainen kuin 20 dB [9]. Periaatteessa tällaisella häirinnällä pystytään estämään 1 W:n häirintälähetteellä C/A-koodin käyttö vajaan 1 000 km:n säteellä. Tämän tyyppinen häirintä on suhteellisen vaikea havaita niin sanotuin normaalein keinoin.

GPS-järjestelmää saattavat joissakin olosuhteissa ja tilanteissa häiritä myös muut tekijät. Tällaisia ovat muun muassa televisiolähetykset. Maailmalla on raportoitu ainakin yksi tapaus, jossa GPS-signaalin menettämisen on aiheuttanut TV-lähetys. Jotkin VHF-radiot voivat aiheuttaa ongelmia jopa 10 km:n päässä VHF-lähteestä. Matkapuhelimet ja tutkat voivat myös olla ongelmien aiheuttajia satelliittinavigoinnille.

Joissakin USA:ssa julkaistuissa tutkimuksista on tultu siihen johtopäätökseen, että signaalin väärentäminen aiheuttaa haittaa lähinnä C/A-signaalille siinä vaiheessa, kun se ei ole lukittunut satelliitteihin. P/Y-signaalia suojaa kyseiseltä häirinnältä viikon mittainen signaalin koodi ja sen salaus. Tästä syystä tutkimusten mukaan P/Y-signaalia ei voi häiritä "älykkäästi". Tästä huolimatta voisi olla mielenkiintoista tutkia, pystyykö P/Y-signaalia häiritsemään toistamalla tietty prosentti kaistasta kohinoineen, jolloin signaalia ei tarvitsisi ilmaista lainkaan eikä salausta purkaa.

Toisten lähteiden, kuten niin sanotun Volpen raportin [32] mukaan älykäs häirintä muodostaa uhan GPS-järjestelmälle. Osan ristiriitaisista raporteista ja lausunnoista saattaa selittää se, että lähes kaikki sotilasvastaanottimet käyttävät C/A-signaalia hyväkseen lukittautuakseen P/Y-signaaliin. Eli kysymystä voi tarkastella pelkästään P/Y-signaalin kannalta tai sitten ottaa myös huomioon sen, että suurin osa vastaanottimista joutuu joka tapauksessa käyttämään C/A-signaalia [6].

Erilaisten häirintätekniikoiden tehoja eri tyyppisiä satelliittiohjattuja aseita vastaan on erittäin vaikea arvioida. Parametrit, jotka antaisivat mahdollisuuden arvioida, mikä häirintä tehoaisi minkätyyppiseen aseeseen, on käytännössä mahdoton saada. Ainoa keino olisi päästä testaamaan järjestelmiä käytännössä. Tämä johtuu tietysti siitä, että juuri se halutuin tieto on myös salaista. Julkisuudessa on esitetty joitakin raportteja tiettyjen satelliittiohjattujen aseiden suorituskyvystä häirinnän alla, mutta niistä ei käy ilmi minkätyyppisestä häirinnästä on ollut kyse.

Häirintälähtetimen mahdolliset tehot voivat olla mitä tahansa 1–10 000 W:n väliltä. Häirintälähtetimet voidaan jakaa kolmeen kokoluokkaan. Pienet häirintälähtetimet

ovat painoltaan 0,5–1,0 kg. Kooltaan ne voivat olla oluttölkkin-kenkälaatikon kokoisia. Tehol voi olla 1–100 W:n luokkaa. Tällaiset pienet lähettimet maksavat 500–1 000 euroa. Osat ovat ostettavissa elektroniikkaliikkeistä ja tietotaidon tällaisen rakentamiseen saa internetistä tai elektroniikan peruskoulutuksesta.

Keskikokoiset lähettimet ovat painoltaan miehen karnettavia eli maksimissaan noin 30 kg. Tehoja näistä löytyy 100–1 000 W. Hintaa näiltä laitteilla on noin 100 000 euroa. Suuret lähettimet ovat kokoluokaltaan autolla tai helikopterilla liikuteltavia. Tehoja niistä voi löytyä jopa 10 000 W. Hintaa laitteilla voi olla jopa yli miljoona euroa. Tällaiset suuret häirintälähettimet voivat yleensä lähettää monentyyppisiä häirintälähteitä.

Suurissa lähettimissä on ongelmana se, että ne voidaan myös paikantaa suhteellisen helposti ja tuhota sen jälkeen. Maaliskuussa 2003 irakilaiset pyrkivät häiritsemään liittoutuneita Bagdadissa kuudella keskikokoisella tai suurella häirintälähettimeillä [31]. Liittoutuneet onnistuivat tuhoamaan kyseiset lähettimet kahdessa päivässä. Vähintään yhdessä tapauksessa tuhoamiseen käytettiin GPS-ohjattavaa satelliittiasetta, joka hakeutui häirintälähteeseen. Todennäköisesti se käytti häirintäsignaalia osuakseen maaliinsa.

Pienissä lähettimissä on etuna, että ne ovat halpoja ja niitä voidaan valmistaa massamaisesti. Tällaisten lähettimien massamaisella käytöllä voidaan pyrkiä vaikeuttamaan halutulla alueella GPS-järjestelmän käyttöä. Pienillä lähettimillä suurin rajoite on virtahuolto. 1 W:n häirintälähetin tarvitsee 12 tunnin toimintaa varten noin 1 kg:n verran paristoja tai vaihtoehtoisesti 0,5 kg:n litiumpariston. 10 W:n lähetin tarvitsee kymmenkertaisen määrän paristoja tai akkuja. Käytettäessä voimakonetta, kuluttaa 80 W:n häirintälähetin viidessä tunnissa noin 4,5 litraa bensiiniä.

Tällä hetkellä tunnetuin kaupallinen häirintälähettimeiden myyjä on moskovalainen Aviaconversaya. Yhtiöllä on valmistuksessa ainakin kevyitä ja keskikokoisia häirintälähteitä. Venäjän lainsäädäntö ei ole pitänyt laitteita sotilasvarusteina vaan elektroniikkateollisuuden tuotteina ja tämä on mahdollistanut niiden myymisen esteettömästi. Yhtiö on myynyt laitteita ainakin Serbiaan ja Irakiin. Keskikokoisilla laitteilla on ollut hintaa noin 40 000 euroa [27].

Jotta satelliittiohjattavia täsmäaseita voitaisiin tehokkaasti häiritä, pitäisi keskittyä häiritsemään satelliittinavigointia. Koska aseensa maaliin saattamiseen riittää usein pelkkä inertiajärjestelmä, pitäisi satelliittinavigointia kyetä häiritsemään 'sopivasti', jotta inertiayksikö ei aktivoituisi. Satelliittiohjattujen täsmäaseiden inertiajärjestelmän häiritseminen on erittäin haasteellinen tehtävä. Käytännössä ainoita mahdollisuuksia häiritä inertiaa on käyttää esimerkiksi suurmikroaaltoasetta järjestelmää

vastaan. Tällöinkin tehokkain tapa olisi pyrkiä vaikuttamaan aseisiin niiden varastolla tai kun niitä ollaan siirtämässä jonnekin [21]. Lavetissa tai lennossa olevan satelliittiohjatus aseiden inertiayksikön häirintä suurmikroaaltoaseella on nykytekniikalla käytännössä mahdotonta.

JASSM LOCAAS ammuksista löytyy maaliinhakeutumisvaiheessa myös laserhakupää. Lennon keskivaiheessa ammus käyttää kuitenkin GPS/INS-suunnistusjärjestelmää. Laserin häirintä voisi käytännössä tapahtua suojautumistoiimenpitein. Toinenpiteitä, joilla laseria vastaan voidaan suojautua, ovat savujen ja aerosolien käyttö, kuitenkin vain sellaisten, jotka antavat suojan Nd:YAG-laseria vastaan. Tällöinkin levittämisen tulisi tapahtua muutamassa sekunnissa. Vesisumun käyttö saattaa olla tulevaisuudessa myös varteenotettava kohteen suojautumiskeino. Edellä mainitut keinot edellyttävät, että suojattavassa kohteessa tulee olla sensori, joka pystyy antamaan varoituksen mahdollisen laserin käytöstä.

JSOW-C:ssä on lämpöhakupää. Aikaisemmin lämpöhakupäitä on pyritty häiritsemään lähettämällä oikean kaltaista ja moduloitua signaalia hakupäälle. Hakupäissä on kuitenkin siirrytty käyttämään yhä enemmän suhteessa 'con scan' -tekniikkaa ja matriisi-ilmaisimia. Tämä kehitys on johtanut siihen, että lämpöhakupäiden harhauttamisesta on siirrytty hakupäiden sokaisuun ja lamauttamiseen. Nämä menetelmät edellyttävät suuria tehotasoja ja käytännössä häirintään pitää käyttää laseria. Hakupään sokaisuun päästään, kun hakupää kyllästetään, jolloin signaali on maksimissaan riippumatta siitä, mihin hakupää osoittaa ja minkälaisen signaalin se maalista saa.

Harhauttamisessa taas nykyisin pyritään häiritsemään hakupään automaattista vahvistuksensäätöpiiriä (AGC). Tässä tekniikassa häirintälähetin lähettää voimakkaan häirintäpulsin, jolloin AGC-piiri pienentää vahvistusta, ettei ammus ohjautuisi liikaa. Kun häirintäsignaali loppuu, on hakupään vahvistus niin pieni, ettei se kykene havaitsemaan maalia. Tästä johtuen AGC-piiri taas lisää vahvistusta, jotta maali havaittaisiin. Kun vahvistus on oikea, lähetetään taas uusi häirintäpulsso, jolloin sykli alkaa uudestaan. Haasteena menetelmässä on se, että siinä tulee tietää AGC-piirin ominaistajuus, jolloin pulssinpituus ja pulssiväli saadaan oikeaksi. Käytännössä tieto voidaan saada mittamalla laserilla ammuksen parametreja [20].

4.4 Häirinnän vaikutus satelliittiohjattuihin aseisiin ja häirinnältä suojautuminen

Satelliittiohjattujen täsmäaseiden häirintä ei ole yksiselitteistä 'tiedettä'. Käytännön tilanteissa taistelukentällä on otettava huomioon, että useimmissa satelliittiohjatta-

vissa aseissa on satelliittinavigoinnin tukena muita järjestelmiä sekä häirinnältä suojautumislaitteita.

Häirinnältä suojautumisen periaatteet voidaan jakaa periaatteessa rakenteellisiin ratkaisuihin (esimerkiksi antennit) ja signaalinkäsittelyyn perustuviin ratkaisuihin. Antenniratkaisuista yksi lähestymistapa on käyttää asean tai lentokoneen runkoa vaimennuksena. Yleisestihän häirintälähetin on maassa ja satelliitin signaali tulee taas 'taivaalta'. Tällä tavalla voidaan saavuttaa jopa 10–15 dB:n häirinnänsietokyvyn nosto [7]. Antennielementtien määrän nostamisella ja adaptiivisilla antenneilla voidaan myös parantaa häirinnänsietokykyä. Periaatteessa elementtien määrä miinus yksi on se häirintälähetimien määrä, josta vastaanotin 'nyrkkisäännön' omaisesti pystyy selviytymään [11].

Signaalinkäsittelyratkaisuissa on periaatteena suodattaa häirintäsignaali pois. Ajatusmallina osassa sovellutuksia on, että koska GPS-signaali on tehotasoltaan erittäin alhainen, on vahvojen signaalien oltava häirintäsignaaleja. Tällä periaatteella voidaan ohjata jopa antennien säteilykuviota halutulla tavalla. Signaalinkäsittelyratkaisuissa on ongelmana se, että yhden tyyppinen ratkaisu sopii yleensä vain tietyn tyyppiseen häirintään.

Yksi ongelma häirinnän onnistumisesta on myös se, että GPS-järjestelmässä on vähintään 24 satelliittia käytössä. Suomen olosuhteissa on käytössä yleensä 6–10 satelliittia, joilla kullakin on oma signaalinsa. Jotta häirintä olisi onnistunutta, pitää pystyä häiritsemään, juuri niitä signaaleita, joita vastaanotin käyttää. Nimenomaan niin sanotun älykkään häirinnän kohdalla tämä on ongelma, sillä ei tiedetä, mitkä satelliitit vastaanottimella on käytössä. Kuitenkin kun häiritään kaistan tai sen osan kohinaa, ei välttämättä tarvitse tietää käytössä olevia satelliitteja.

Yksi vastaus häirinnältä suojautumiselle on ollut USA:n ilmavoimien AGTFT-hanke (Anti-Jam GPS Technology Flight Test), jolla on pyritty kehittämään GPS:n häirinnänsietokykyä eli kykyä toimia elektronisen häirinnän vaikutuksessa. Hankkeen tavoitteena on ollut kehittää edullinen ratkaisu lisättäväksi JDAM-pommeihin. Tällainen EP-ratkaisu (Electronic Protection) elektronista häirintää vastaan on hankkeen perusteella kehitetty AJGPS-järjestelmä (Anti-Jam GPS), jossa GPS-järjestelmällä on vastahäirintäkykyä vastustajan elektronista häirintää vastaan [14].

AJGPS-järjestelmä koostuu elektronisesta vastahäirintään kykenevästä moduulista, joka on integroitu GPS/INS-ohjausyksikköön ja vastahäirintäkykyiseen AJGPS-antenniin. Testien mukaan AJGPS-järjestelmä on selviytynyt toimimaan häirityssä ympäristössä [14], [15]. GPS-signaalit on kaikissa testeissä saatu siepattua hyötykäyttöön 8–12 s:ssa eli lähes yhtä nopeasti kuin ilman häirintää.

Inertiajärjestelmällä, joka perustuu miniatyyriisiin laserhyrriin, voidaan ylläpitää noin 20 m:n tarkkuus noin 4 minuuttia sen jälkeen, kun häirintälähetin on tukkinut GPS-vastaanottimen [20]. Inertiajärjestelmän tehokkuuden nerokkuus on siinä, että koska satelliittiohjattujen täsmäaseiden laukaisuetäisyydet ovat hyvin pitkiä, häirintä alkaa usein vasta lähellä kohdetta. Tämä tarkoittaa periaatteessa, että satelliittinavigoinnin häirintä alkaa vaikuttaa vasta 10–20 km:n päässä kohteesta. 'Peli' on kuitenkin silloin jo menetetty, koska inertia pystyy takaamaan kohteen tuhoamisen riittävän tarkkuuden.

Käytännössä satelliittiohjattavaa täsmäasetta on siis vaikea häiritä. Tehokkainta tai periaatteessa helpointa häirinnän onnistumisen kannalta on reittilentovaiheen alku. Luvussa 3 on kuvattu satelliittiohjattavien aseiden lennon vaiheet. Kun satelliittiohjattava ase laukaistaan, kestää sillä jonkin aikaa ennen kuin aseensa oma satelliittinavigointijärjestelmä on lukittunut satelliitteihin. Juuri tämä vaihe on se, johon häiritsijän tulisi tulla väliin, jotta häirinnällä olisi onnistumisen mahdollisuus. Kun tiedetään, että satelliittiohjattavien aseiden laukaisuetäisyydet voivat jopa yli 100 km, aukeaa haasteen vaikeus. Satelliittinavigoinnin häirintä tulisi pystyä aloittamaan tehokkaasti jo satelliittiohjattavan täsmäaseen laukaisuetäisyydellä. Mikäli häirintä aloitetaan vasta kohteen läheisyydessä, ei sillä käytännössä pystytä häiritsemään satelliittiohjattavaa asetta, koska vaikka GPS-järjestelmää pystyttäisiinkin häiritsemään, pystyy asejärjestelmä osumaan jollakin toisella paikannus- tai maalinosoitusjärjestelmällä.

4.5 Suojautuminen satelliittiohjattavilta aseilta perinteisillä toimenpiteillä

Edellisissä kappaleissa käsiteltiin sitä, miten satelliittiohjattavilta aseilta pystyy suojautumaan elektronisen suojautumisen näkökulmasta. Elektroninen suojautuminen on kuitenkin asia, johon pataljoonan tai patteriston komentaja ei pysty ottamaan kantaa. Elektroninen suojautuminen aktiivisessa mielessä on ylempien johtoportaiden asia. Asioita, joita jokainen johtaja voi tehdä taistelukentällä, ovat perinteiset naamiointi, linnoittaminen ja harhauttaminen. Tosiasia joka korostuu nimenomaan nykyaikaisella taistelukentällä on, että mikäli haluaa menestyä tai edes pysyä toimintakykyisenä on kohde suojattava myös niin sanotuin perinteisin toimenpitein.

Mietittäessä satelliittiohjattavilta aseilta suojautumista on tarkasti mietittävä minikälaisista asejärjestelmistä muodostuu uhka kohteelle. Suojautumistoimenpiteillä on pyrittävä vaikuttamaan koko asejärjestelmään, eikä vain yhteen komponenttiin, kuten aseeseen. Tämä tarkoittaa sitä, että jos häiritään vain lähestyvää satelliittiohjattavaa asetta, voi elektronisella häirinnällä saatu lopputulos jäädä vain muutama metriin. Onnistunut suojautuminen alkaa kohteen suojaamis-, naamiointi- ja har-

hautustoimenpiteillä. Suojautumisella tarkoitetaan linnoittamistason nostamista, jolloin kohde on vaikeammin paikannettavissa. Naamiointitoimenpiteillä estetään vastapuolta koskaan edes havaitsemasta kohdetta. Harhauttamalla pyritään saamaan vastapuolen asevaikutus väärään paikkaan, jolloin oikean kohteen selviytymismahdollisuudet kasvavat. Nämä toimenpiteet ovat tietysti tavanomaisia toimenpiteitä sotilasjoukolla, mutta nykyaikaisella taistelukentällä niiden merkitys korostuu. Tämä johtuu siitä tosiasiasta, että mikäli kohde saadaan paikannettua, on 'peli' periaatteessa jo hävitty. Satelliittiohjattavat aseet osuvat usein jopa 5–10 m:n tarkkuudella ja yleensä tällainen osumatarkkuus riittää tuhoamaan kohteen. Äärimmäisen hyvänä esimerkkinä onnistuneesta harhauttamisesta on serbien toiminta vuonna 1999 entisessä Jugoslaviassa.

Tärkeä asejärjestelmien komponentti on myös maalin paikannus. Useimmiten taktisen ja operatiivisen tulenkäytön osalta sen suorittaa maavoimat tai ilmavoimat. Käytännön työn voisivat tehdä erikoisjoukot, tulenjohtoryhmät, lennokit ja lentokoneet. Maalin paikannuksessa 'heikoin lenkki' on useimmiten GPS-vastaanotin. Mikäli onnistutaan estämään tehokkaasti GPS-vastaanottimien käyttö, saatetaan saada helposti 4–5-kertainen hyöty verrattuna vain asekomponentin häirintään. Parhaimmissa tapauksissa paikannuksessa saattaa tulla jopa 30–50 m:n virheitä. Lennokkien ja lentokoneiden osalta korostuu perinteinen omasuojailmatorjunta. Varsinkin lennokkien tärkeys pitää ymmärtää nykyaikaisella taistelukentällä. Lennokit ovat 'vihollisen silmät' ja yksi tärkeä osa montaa asejärjestelmää. Jos onnistutaan estämään lennokkien käyttö kohdealueella, estetään myös vastapuolen asejärjestelmien tehokas käyttö

YHDISTELMÄ

Satelliittipaikannusta on käytetty operatiivisessa käytössä olevissa asejärjestelmissä vajaan kymmenen vuoden ajan. Ensimmäiset asejärjestelmät otettiin käyttöön 1990-luvun loppupuoliskolla. Niin sanottujen älykkäiden aseiden teknologiakilpailussa ovat satelliittipaikannusta hyväksi käyttävät aseet nousemassa voittajiksi. Etuina satelliittipaikannuksen käytölle verrattuna muihin teknologioihin (esimerkiksi laser-, tutka- ja infrapunateknologioihin) on teknologian edullisuus, toimintavarmuus erilaisissa olosuhteissa ja tarkkuus.

Viime vuosien aikana on lisäksi ruvettu yhdistämään satelliittipaikannusta muihin paikannustekniikkoihin, jolloin etuna on suurempi toimintavarmuus taistelukentällä. Satelliittiohjattavat aseet mahdollistavat myös ampumaetäisyyksien kasvattamisen

ilman että tarkkuus heikkenee. Tämä tarkoittaa sitä, että oma kalusto ja miehistö voidaan pitää vihollisen asevaikutuksen ulkopuolella. Uusilla asejärjestelmillä päästään todella suureen tulentehoon ja tarkkuuteen. Käytännössä paljastunut maali pystytään tuhoamaan erittäin suurella todennäköisyydellä. Lisäksi tulivaikutus maaleihin on parhaimmillaan lähes reaaliaikaista.

Uusien asejärjestelmien tulo on antanut sotilaille uusia mahdollisuuksia ja välineitä taktiseen ja operatiiviseen suunnitteluun ja ajatteluun. Satelliittiohjattavat aseet tarjoavat sekä uhkia että mahdollisuuksia nykyajan taistelukentällä. Nykyaikaisella taistelukentällä toimivan sotilaan on tunnettava nämä tekniset järjestelmät, jotta toimintatavat pystytään sovittamaan mahdolliseen uhkaan. Historiassa on esimerkkejä, joissa taistelukentällä ei ole ymmärretty tekniikan mahdollisuuksia. Tuloksena tällaisesta on usein ollut tappio.

Satelliittiohjattavien täsmäaseiden häirintämenetelmiä on olemassa useita. Parhaimman tuloksen edellytyksenä on yhdistää samalle toiminta-alueelle monipuolista häirintää. Tämä johtuu siitä, että kaikki häirinnänsuojautumistekniikat eivät välttämättä ole tehokkaita kaikentyyppistä häirintää kohtaan. Lisäksi satelliittiohjattavissa aseissa on pääsääntöisesti myös vaihtoehtoisia maalinosoitusjärjestelmiä. Tämä tarkoittaa sitä, että jos häirintä on yksipuolista, ei sillä todennäköisesti saavuteta haluttua tulosta. Kuitenkin jos on käytössä yksi tehokas ja 'älykäs' häirintätapa, olisi suotavaa käyttää vain sitä. Tällöin häirintä ei välttämättä paljastuisi, eikä satelliittiaseet siirtyisi käyttämään inertianavigointia.

Häirinnässä ja suojautumisessa olennaista on ymmärtää, että vaikka häirintä onnistuisikin, saattaa sen aiheuttama virhe osumisessa olla maksimissaan 20–30 m. Tämä johtuu nimenomaan satelliittiohjattujen täsmäaseiden useiden maalinosoitusjärjestelmien tarkkuudesta. Ensiarvoisen tärkeää on siis estää kohdetta paljastumasta. Perinteiset 'sotilaan hyveet' eli naamiointi ja harhauttaminen korostuvat nykyaikaisella taistelukentällä entistä enemmän. Mikäli kohde paljastuu, ei sitä välttämättä pystytä suojaamaan enää aktiivisella häirinnällä.

Lähteet

- [1] AGM-154 Joint Stand Off Weapon. JSOW:n valmistajan, Raytheon Missile Systems, kotisivut. [Http://www.raytheon.com](http://www.raytheon.com), 1.7.2005.
- [2] AGM-154 JSOW (Joint Stand-Off Weapon). Jane's Air-Launched Weapons, PvEJ:n Jane's Libraries -tietokanta, heinäkuu 2005.
- [3] AGM-158 JASSM (Joint Air-to-Surface Standoff Missile). Jane's Air-Launched Weapons, PvEJ:n Jane's Libraries -tietokanta, heinäkuu 2005.
- [4] Boeing Laser JDAM Hits Moving Target in Flight Test. 24.5.2005 julkaistu uutinen Boeing-kotisivuilla. [Http://www.boeing.com](http://www.boeing.com), 1.7.2005.
- [5] Boeing Delivers 100,000th JDAM Tail Kit. 10.12.2004 julkaistu uutinen Boeing-kotisivuilla. [Http://www.boeing.com](http://www.boeing.com), 1.7.2005.
- [6] Brewin, Bob: Homemade GPS jammers raise concerns. Computer World, January 17 2003.
- [7] Casabona, M, Mario ja Rosen, W, Murray: Discussion of GPS Anti-jam Technology, [Http://www.ericorp.com](http://www.ericorp.com), 21.9.2005.
- [8] Design, Fabrication and Testing of Low Cost JAST-1000 RTM Composite Tailkit. [Http://www.fac2t.eng.fsu.edu](http://www.fac2t.eng.fsu.edu), 3.8.2005.
- [9] Ikonen, Ilkka: GPS-asejärjestelmät, niiden käyttö ja häiritävyys. Maanpuolustuskorkeakoulun tekniikan laitoksen julkaisusarja 4, julkaisu nro 2/2004. Edita Prima Py, Helsinki 2004. ISBN 951-25-1556-3. ISSN 1458-9370.
- [10] I-1000. Jane's Air-Launched Weapons. PvEJ:n Jane's Libraries -tietokanta, 16.8.2000.
- [11] Jamming Protection of GPS Receivers, Part II: Antenna Enhancements. GPS World, February 1 2004.
- [12] JDAM - The Smart Solution. Boeing-kotisivut. [Http://www.boeing.com](http://www.boeing.com), 1.7.2005.
- [13] Joint Advanced Strike Technology (JAST-1000). [Http://www.ie.eng.fsu.edu](http://www.ie.eng.fsu.edu), 3.8.2005.
- [14] Joint Direct Attack Munition (JDAM). Anti-Jamming. [Http://www.globalsecurity.org](http://www.globalsecurity.org), 1.7.2005.
- [15] Joint Direct Attack Munition (JDAM): GBU-31, GBU-32, GBU-35, GBU-38, Jane's Air-Launched Weapons, PvEJ:n Jane's Libraries -tietokanta, heinäkuu 2005.
- [16] Joint Direct Attack Munition (JDAM). Specifications. [Http://www.globalsecurity.org](http://www.globalsecurity.org), 1.7.2005.
- [17] JSOW (Joint Stand Off Weapon). CNN:n uutisten kotisivut. [Http://www.cnn.com](http://www.cnn.com), 1.7.2005.
- [18] Kaplan, Elliot: Understanding GPS principles and applications. Artech House, Boston 1996.
- [19] Kosola, Jyri ja Jokinen, Janne: Elektroninen sodankäynti, osa 1 - taistelun viides dimensio. Maanpuolustuskorkeakoulun tekniikan laitoksen julkaisusarja 5, julkaisu nro 2/2004. Edita Prima Oy, Helsinki 2004. ISBN 951-25-1554-7. ISSN 1795-3294.
- [20] Kosola, Jyri ja Solante, Tero: Digitaalinen taistelukenttä. Informaatioajan sotakoneen tekniikka. Maanpuolustuskorkeakoulun tekniikan laitoksen julkaisusarja 1, julkaisu nro 13/2003. Edita Prima Oy, Helsinki 2003. ISBN 951-25-1449-4. ISSN 1239-3819.
- [21] Kosola, Jyri: Suurtehomikroaaltoase ja perusteet siltä suojautumiseksi. Maanpuolustuskorkeakoulun tekniikan laitoksen julkaisusarja 1, julkaisu nro 6/2000. Vaasa 2000. ISBN: 951-25-1172-X.
- [22] LOCAAS. Jane's Air-Launched Weapons, PvEJ:n Jane's Libraries -tietokanta. 18.5.2005.
- [23] Low-Drag General Purpose Bombs (Mk 81, 82, 83, 84 and BLU-110/111). Jane's Air-Launched Weapons, PvEJ:n Jane's Libraries -tietokanta. 21.7.2000.
- [24] Mahmood, S ja Simpson, C ja Dickson, D: Standardization of GPS-Based TSPI for Test and Training Rangers Impact Of GPS Modernization. British Columbia, March 2000. [Http://www.dtic.mil/ndia/marketplace/mahmood.pdf](http://www.dtic.mil/ndia/marketplace/mahmood.pdf), 23.8.2005.
- [25] rof med GPS/Glonass störning mot satellit navigering, FOA Rapport 98-00957-616-SE, Stockholm 1998.
- [26] Puolustusvoimien Määritelmärekisteri. PvEJ:n tietokanta. 9.8.2005.
- [27] Russian GPS Jammer Introduced. Journal of Electronic Defence, August 1999.
- [28] Salminen, Esa: Satelliittien hyväksikäyttö puolustusvoimissa. Maanpuolustuskorkeakoulun tekniikan laitoksen julkaisusarja 1, julkaisu nro 8/2000. Edita Prima Oy, Helsinki 2000. ISBN 951-25-1173-8. ISSN 1239-3819.
- [29] Smart bombs, JDAM. BBC News. [Http://news.bbc.co.uk](http://news.bbc.co.uk), 18.3.2003.
- [30] Tutkimus ja skenaario GPS-navigointijärjestelmän käytettävyydestä Suomen olosuhteissa. Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunnan (MATINE) julkaisusarja A, julkaisu 5/1996,

Helsinki 1996.

- [31] U.S.-Led Forces Destroy GPS Jamming Systems in Iraq. [Http://space.com/news/gps_irag_030325.html](http://space.com/news/gps_irag_030325.html), 25.4.2004.
- [32] Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the Global Positioning System. John A Volpe National Transportation Systems Center, August 2001.
- [33] Yleinen Ase- ja Asejärjestelmäopas. Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus. ISBN 951-25-1277-7. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala 2001.