

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**PINTA-ALUKSEN KYKY HAVAITA KOHTI AMMUTTU
MERITORJUNTAOHJUS**

Tutkielma

Kapteeniluutnantti
Carl-Magnus Gripenwaldt

Esiupseerikurssi 63
Merisotalinja

Huhtikuu 2011

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Esiupseerikurssi 63	Linja Merisotalinja
Tekijä Kapteeniluutnantti Carl-Magnus Gripenwaldt	
Tutkielman nimi Pinta-aluksen kyky havaita kohti ammuttu meritorjuntaohjus	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Kursssikirjasto (MpKK:n kirjasto)
Aika Maaliskuu 2011	Tekstisivuja 38 Liitesivuja 11
TIIVISTELMÄ <p>Tutkimus on luonteeltaan teoreettinen ja se tuottaa suuntaa antavat arvot pinta-aluksen kyvylle havaita kohti ammuttu meritorjuntaohjus aluksen S -alueen valvontatutkalla sekä kohti ammutun meritorjuntaohjuksen Ku -alueen hakeutumistutka aluksen ESM –järjestelmällä. Tutkimusongelmien perusteella on laadittu kirjallisuusselvitys, jossa on määritetty pinta-aluksen, sen sensoreiden sekä meritorjuntaohjuksen ja sen hakeutumistutkan geneeriset ominaisuudet. Sen jälkeen on skenaarioanalyysin avulla määritetty tutkittavat skenaariot ja niiden matemaattinen arviointitapa. Matemaattisessa arvioinnissa on käytetty kirjallisuusselvityksen avulla saatuja laskenta-arvoja järjestelmien parametreille ja skenaarioiden muuttujille. Tutkimus on pidetty tietoturvaluokitukseltaan julkisena käyttämällä arvioinnissa geneerisiä arvoja.</p> <p>Kohti ammutun meritorjuntaohjuksen havaitseminen riippuu ensisijaisesti ohjuksen lentokorkeudesta ja ajankohdasta, jolloin se käynnistää hakeutumistutkansa maalin etsintää ja siihen lukittumista varten. Ohjus lähestyy maalia matalalla lentäen, jolloin se ei ole havaittavissa pinta-aluksen valvontatutkalla. Matkalentovaiheen aikana ohjuksen hakeutumistutka on sammutettu eikä sitä kyetä havaitsemaan. Ohjus nousee 30 - 40 kilometrin etäisyydellä maalista tutkahorisontin yläpuolelle, jolloin se on havaittavissa pinta-aluksen valvontatutkalla. Samalla ohjus käynnistää hakeutumistutkansa, joka puolestaan havaitaan aluksen ESM –järjestelmällä. Aliääniohjukset voivat suorittaa maalihaun ja lukituksen jopa 20 kilometrin päässä maalista. Lukituttuaan maaliin, laskeutuu ohjus noin viiden metrin lentokorkeuteen ja etenee kohti maalia pysyen pääosin pinta-aluksen valvontatutkan ja ESM –järjestelmän seurannassa.</p>	

Pinta-alus kykenee havaitsemaan kohti ammutun meritorjuntaohjuksen viimeistään ohjuksen kasvattaessa lentokorkeuttaan maalin etsintää ja siihen lukitusta varten noin 35 kilometrin etäisyydellä pinta-aluksesta. Tämän jälkeen ohjusta kyetään seuraamaan aluksen valvontatutkalla osumishetkeen asti. ESM –järjestelmä kykenee seuraamaan ohjusta vain ohjuksen hakeutumistutkan ollessa käynnissä.

Havainto kohti ammutusta meritorjuntaohjuksesta tehdään liki samanaikaisesti pinta-aluksen valvontatutkalla ja ESM –järjestelmällä. Sensorien integrointiasteesta ja maalifuusion tasosta riippuu, miten nopeasti valvontatutkan havaitsemaan maaliin kyetään yhdistämään ESM -järjestelmän tekemä tunnistus uhkasignaalista ja edelleen aloittamaan ohjuksen torjunta aluksen ase- ja omasuojajärjestelmillä. Kohti ammutun yläääniohjuksen (nopeus: 1 M) havaitsemisesta osumishetkeen kuluva aika on noin 2,1 minuuttia. Jos aliaääniohjuksen nopeus on 800 km/h, on havainnosta osumishetkeen kuluva aika noin 2,6 minuuttia. Tässä ajassa havainto on kyettävä luokittelemaan, tunnistamaan ja käynnistämään vastatoimet. Pinta-aluksen kannalta on tärkeää saada havainto kohti ammutusta ohjuksesta mahdollisimman nopeasti, jolloin torjunnan käynnistämiseen on enemmän aikaa.

Hyökkääjän näkökulmasta on edullista tuoda meritorjuntaohjus tutkahorisontin alapuolella mahdollisimman lähelle maalia kuitenkin siten, että se vielä kykenee tutkahorisontin yläpuolelle noustuaan hakeutumistutkalla etsimään maalin ja lukittumaan siihen. Etäisyyden, jolta ohjus maalinsa hakee, on riippuvainen maalinvalintakriteerien onnistumisesta ja toisaalta ohjuksen lentonopeudesta, joka määrittää miten paljon aikaa maalin etsintään ja hyökkäysvaiheeseen mahdollisine maalin vaihtoineen on käytettävissä.

AVAINSANAT

Suorituskyky, tutka, ohjus, elektroninen tiedustelu, elektroninen tuki, matemaattinen mallintaminen, skenaario, radioaallot, sensorit, lavetit

PINTA-ALUKSEN KYKY HAVAITA KOHTI AMMUTTU MERITORJUNTAOHJUS

SISÄLLYS

1.	JOHDANTO	1
1.1	Aiemmat tutkimukset	2
1.2	Tutkimuksen päämäärä ja tutkimusmenetelmät	3
1.3	Tutkimusasetelma ja tutkimuksen rakenne	4
1.4	Rajaukset	5
1.5	Käsitteet ja määritelmät	6
2.	SKENAARIOT	8
2.1	Pinta-alus	8
2.2	Meritorjuntaohjus	13
2.3	Tulenkäyttötilanne ja skenaariot	17
3	PINTA-ALUKSEN HAVAINTOKYKY	22
3.1	Pinta -aluksen sensorit ja niiden havaintokyky	22
3.2	Valvontatutkan havaintokyky	22
3.2	ESM –järjestelmän havaintokyky	24
4	LASKENNALLINEN SUORITUSKYKY	31
4.1	Laskentamallien luotettavuus ja tulosten tarkkuus	31
4.2	Havaittavuus tutkalla	31
4.3	Havaittavuus ESM -järjestelmällä	32
4.4	Havaittavuus eri skenaarioissa	32
4.4.1	Skenaario 1	32
4.4.2	Skenaario 2	33
4.4.3	Skenaario 3	34
4.4.4	Skenaario 4	35
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET	37
	LÄHTEET	39
	LIITTEET	41
	LIITE 1 Pinta-alusten ominaisuuksia	42
	LIITE 2 Pinta-aluksen valvontatutkan ominaisuudet	43
	LIITE 3 Pinta-alusten ESM –järjestelmien ominaisuuksia	44
	LIITE 4 Meritorjuntaohjusten ominaisuuksia	45
	LIITE 5 Meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan enimmäiskantama	47
	Alaliite 5.1	48

Alaliite 2.2	49
LIITE 6 Tutkahorisontin etäisyys pinta-alueesta (ESM –järjestelmä).....	50
LIITE 7 Tutkahorisontin etäisyys pinta-alueesta (Valvontatutka).....	51
LIITE 8 Meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan tiedusteluetaisyys	52

PINTA-AUKSEN KYKY HAVAITA KOHTI AMMUTTU MERITORJUNTAOHJUS

1. JOHDANTO

Merivoimat valmistelee vuonna 2016 alkavaa kehittämisohjelmaa, jonka on kyettävä tuottamaan suorituskykyjä vastaamaan 2020 –luvun merellisiin uhkiin. Tulevaisuuden merioperaatioissa tarvittaneen miina-aseen lisäksi myös kaukovaikutteisia asejärjestelmiä. Näin ollen merivoimilla on tulevaisuudessakin meritorjuntaohjuksia, joiden ominaisuudet ja käyttöön vaikuttavat tekijät on tunnettava mahdollisimman tarkasti.

Tässä tutkimuksessa selvitetään pinta-aluksen kyky havaita kohti ammuttu meritorjuntaohjus passiivisin ja aktiivisin sensorein. Havaittavuus on keskeinen osatekijä meritorjuntaohjuksen osuvuutta arvioitaessa ja se vaikuttaa myös ohjuksen käyttöperiaatteisiin. Aihe on ajankohtainen koska se liittyy kiinteästi merivoimien suorituskykyjen suunnitteluun pitkällä aikavälillä. Tutkimustyön tulokset tukevat osaltaan meripuolustuksen kehittämisohjelman perusteiden määrittelyä ja vuodesta 2016 eteenpäin tapahtuvaa toteutusta ja suorituskyvyn arviointia.

Tutkimustulokset antavat lisäksi perusteita tulevaisuudessa tapahtuvaa meritorjuntaohjuksen torjuntakyvyn arviointia varten. Kun tunnetaan ohjuksen havaittavuuteen liittyvät ilmiöt, voidaan myös arvioida teknisiä ja toiminnallisia keinoja, joilla vaikutetaan ohjuksen havaittavuuteen ja edelleen osumisen todennäköisyyteen.

1.1 Aiemmat tutkimukset

Tapio Lineri on tutkinut Venäjän Itämeren laivaston kykyä torjua meritorjuntaohjushyökkäyksiä tulevaisuudessa (Taktiikka, TLL II- Salainen). Työssä on tutkittu meritorjuntaohjustaktiikkaa, Venäjän Itämeren laivaston kokonpanoa, tehtäviä ja käyttöperiaatteita vuonna 2020 sekä määritelty työn tulosten perusteella muodostuvia vaatimuksia ohjustaktiikan kehittämiseksi. Tutkimuksessa on käsitelty modernisoitua meritorjuntaohjusta (MTO-85 mod.), kuituohjattua meritorjuntaohjusjärjestelmää ja rannikkoohjusjärjestelmää.

Tommi Malinen on tutkinut meritorjuntaohjuksin tapahtuvan tulenkäytön tietokonepohjaisista mallintamista. Tutkimuksissa aihe on esitelty käsitetasolla, mutta elektronisen sodankäynnin vaikutusta tai vastustajan toimia ei ole tutkittu erikseen. Tutkimusten käytettävyys lähdeaineistona on tietoturvaluokituksen takia osittain rajallinen.

Pekka Passinen on tutkinut miten hakuohjelman parametrit olisi valittava havaitsemisen todennäköisyyden kannalta suotuisalla tavalla ja miten havaitsemisen todennäköisyyden arviointi olisi mahdollista tilannekohtaisesti (Sotatekniikka TLL IV- Viranomaiskäyttö). Tarkastelu pohjautuu toisistaan riippumattomien ja jaksollisten ikkunafunktioiden teorialle. Menetelmä soveltuu hyvin tarkasteluihin, joissa tutkan keilaus ja ESM -järjestelmän hakuohjelma ovat jaksollisia. Ikkunafunktioiden teorian pohjalta on matemaattisesti analysoitu, miten hakuparametrit olisi valittava. Tarkastelut on sidottu tyyppisiin eri käyttötarkoituksiin valmistettujen tutkien ominaisuuksiin. Tuloksiin ja johdopäätöksiin on kirjattu suositukset hakuparametrien valinnan lähtökohdiksi erityyppisille tutkille. Esitettyjä tuloksia ja menetelmiä voidaan hyödyntää hakuohjelmien toimivuuden arvioinnissa.

Mikko Kauppala on tutkinut elektronisen vaikuttamisen liittämistä ilmavoimien tulenkäyttöön hävittäjätorjunnan tukemiseksi (Operaatiotaito ja taktiikka, TLL II- Salainen). Tutkimuksessa on kuvattu toimintaympäristö uhkakuvineen ja omat siihen liittyvät vastatoimet. Tutkimuksessa on selvitetty uhkakuvan perusteella suurimman uhan muodostavat ilma-alukset ja niiden elektroniset järjestelmät kokonaisuuksina menemättä yksityiskohtiin.

Otto Paaso on osana opinnäytetyötään laatinut ohjelmiston, joka simuloi merenkulussa käytettävien tutkien toimintaa. Työssä tutustutaan erilaisiin ohjelmistotekniikan menetelmiin, simulaattorin suunnitteluun, käyttöliittymien suunnitteluun ja fysikaalisen ilmiön mallintamiseen matemaattisesti. Työssä toteutettu ohjelmisto koostuu kahdesta eri komponentista, palvelin- ja tilaajaohjelmista. Tilaajaohjelma toimii tutkan käyttöliittymänä ja on ainoa ohjelmistokomponentti, jota käyttäjä käyttää. Tutkasignaalin mallintaminen suoritetaan palvelinohjelmassa tilaajaohjelmasta välitettyjen parametrien perusteella. Palvelinohjelman perusparametrit määritetään etukäteen ja ohjelma ajetaan ilman käyttäjän välitöntä vaikutusta. Työn tuloksena toteutettu ohjelmisto on osoittautunut toimivaksi tutkasimulaattoriksi, ja sen toteutuksessa käytetyt menetelmät ovat osoittautuneet tarkoituksenmukaiseksi realistiseen mallintamiseen.

1.2 Tutkimuksen päämäärä ja tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen päämäärä on tuottaa malli, jolla voidaan arvioida pinta-aluksen kykyä havaita kohti ammuttu meritorjuntaohjus omilla passiivisilla ja aktiivisilla sensoreilla.

Tutkimuksessa kuvataan pinta-aluksesta ammuttava meritorjuntaohjus ja sen ominaisuudet sekä määritetään ohjuksen käyttöön liittyvä ympäristö käsittäen omat järjestelmät, olosuhdetekijät ja vastustajan järjestelmät. Lisäksi arvioidaan vastustajan kykyä havaita kohti ammutut meritorjuntaohjukset pinta-alusten omilla sensoreilla.

Tutkimusongelma on

- Mikä on pinta-aluksen kyky havaita aktiivisin ja passiivisin sensorein sitä kohti ammuttu meritorjuntaohjus?

Tutkimuksen alaongelmia ovat

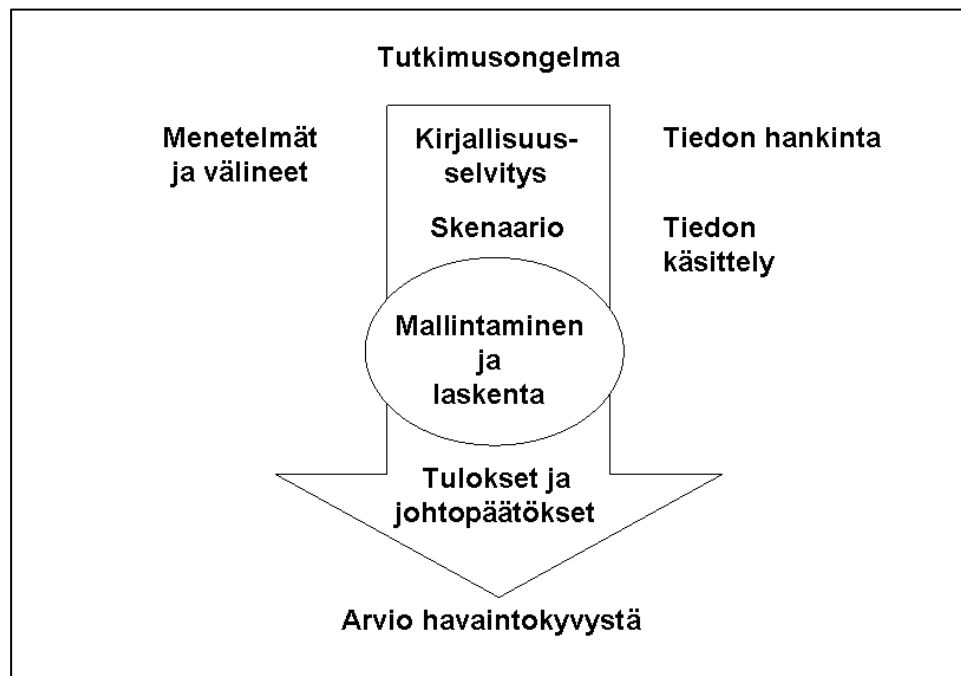
- Mitkä tekijät muodostavat meritorjuntaohjuksen ammuntaan liittyvän tulenkäyttötilanteen ja siitä johdettavan skenaarion?
- Miten voidaan arvioida pinta-aluksen kykyä havaita sitä kohti ammuttu meritorjuntaohjus?

Menetelmä

Kirjallisuusselvityksen avulla määritetään kirjallisuuden ja muiden lähteiden perusteella geneerinen meritorjuntaohjus, pinta-alus, tulenkäyttötilanne ja skenaarioanalyysin kautta tulenkäyttötilanteeseen perustuva skenaario tai skenaariot muuttujineen ja parametreineen, joita meritorjuntaohjuksen havaittavuuden matemaattisessa mallintamisessa käytetään (Kuva 1.1). Geneeristen laskenta-arvojen ansiosta tutkimus on tietoturvaluokituksestaan julkinen.

1.3 Tutkimusasetelma ja tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen toteutusta ohjaavat tutkimusongelma ja alaongelmat tutkimukselle asetettujen rajausten mukaisesti. Kuten kuvasta 1.1 nähdään, jakautuu tutkimus tiedon hankinta- ja tiedon käsittelyvaiheisiin, joissa sovelletaan aiemmin kohdassa 1.2 esitettyjä menetelmiä ja välineitä skenaarion luomiseksi ja mallintamiseksi sekä suorituskyvyn matemaattiseksi arvioimiseksi. Saatuja tuloksia arvioimalla voidaan tehdä niitä koskevia johtopäätöksiä ja muodostaa vastaukset tutkimusongelmiin.



Kuva 1.1. Tutkimusasetelma.

Tutkimusraportin ensimmäisessä luvussa esitetään meritorjuntaohjuksen ammuntaa kuvaavat skenaariot. Skenaario käsittää tapahtumaketjun ohjuksen laukaisuhetkestä mahdolliseen osumaan tai maalin (pinta-alue) elektronisella omasuojalla tekemään torjuntaan. Skenaario sisältää meritorjuntaohjuksen havaittavuuden matemaattisen arvioinnin kannalta välttämättömät toiminta-arvot ja järjestelmien parametrit. Tästä syystä luvussa esitellään myös skenaarioon kuuluva meritorjuntaohjus ja sitä torjuva pinta-alue ominaisuuksineen siinä laajuudessa kun se havaittavuuden arvioinnin kannalta on tarpeen. Skenaariot ovat luonteeltaan teknisiä eikä niiden taktisia perusteita käsitellä. Meritorjuntaohjuksen käyttöperiaate esitellään kuitenkin lyhyesti.

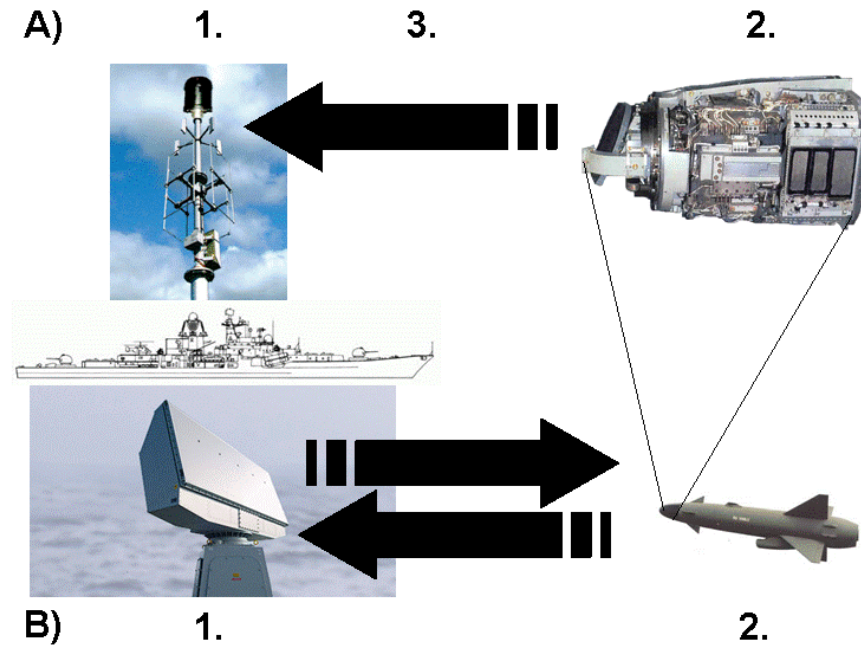
Tutkimusraportin toisessa luvussa kuvataan ne laskutoimitukset, joilla arvioidaan pinta-alueen kykyä havaita kohti ammuttu meritorjuntaohjus aktiivisilla sensoreilla (valvontatutka) ja passiivisilla sensoreilla (ESM -järjestelmä).

Tutkimusraportin kolmannessa luvussa esitellään tutkimuksen tulokset sekä arvio niiden luotettavuudesta ja luotettavuuteen vaikuttavista tekijöistä.

Tutkimusraportin neljännessä luvussa esitetään keskeiset johtopäätökset tutkimustuloksista sekä tarkastellaan ilmenneitä jatkotutkimustarpeita.

1.4 Rajaukset

Pitkän kantaman meritorjuntaohjukset voivat hakeutua maaliin lennon alkuvaiheessa navigointiohjauksella (inertia- ja GPS). Lennon loppuvaiheessa hakeutuminen tapahtuu hakeutumistutkan, kuvaavan lämpösensorin, TV –sensorin tai maalinvalaisun avulla tai mahdollisesti operaattorin ohjaamana. Tässä tutkielmassa tarkastellaan hakeutumistutkalla varustettua meritorjuntaohjusta kuvassa 1.2 esitetyllä tavalla arvioimalla a) pinta-alueen ESM -järjestelmän (1) kykyä havaita meritorjuntaohjus sen tutkahakupään (2) lähettämän signaalin (3) perusteella ja b) pinta-alueen valvontatutkan (1) kykyä havaita kohti ammuttu meritorjuntaohjus (2) tutkamaalina. Tarkastelu rajoittuu siten tutkatalualueelle (S - ja Ku - alueet). Tarkastelussa ei tutkita sääolosuhteiden ja välkkeiden vaikutusta meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan mittaustarkkuuteen Ku -alueella.



Kuva 1.2. Meritorjuntaohjuksen havaittavuuden arviointi.

Muiden sähkömagneettisen spektrin alueiden olemassaolo ja niitä hyödyntävät, mahdollisesti tulenkäyttötilanteessa esiintyvät sovellukset jäävät tutkimuksen ulkopuolelle ellei tutkimuksen edetessä ilmene seikkoja, jotka edellyttävät niiden huomioimista.

Tulenkäyttötilanne sijoittuu merelliseen ympäristöön, johon kuuluvat rantamaa, saaristo ja avomeriolosuhteet sellaisina kuin ne Suomen lähialueilla esiintyvät. Tulenkäyttötilanteen geometria kuvataan skenaarion avulla. Skenaario on luonteeltaan suppea ja se huomioi ainoastaan keskeiset muuttujat ja parametrit, jotka ovat matemaattisen mallintamisen kannalta välttämättömiä.

1.5 Käsitteet ja määritelmät

Pinta-aluksella tarkoitetaan Itämeren alueella käytössä olevaa pintataistelualusta, jonka geneeriset ominaisuudet määritetään siten kuin ne ovat havaittavuuden arvioinnin kannalta tarpeellisia.

Meritorjuntaohjus on alukselta tai maalavetilta ammuttava kaukovaikutteinen ase, joka hakeutuu ennalta määrättyyn maaliin inertiaohjauksella reittipisteiden kautta ja viime vaiheessa hakeutumistutkan avulla.

ESM –järjestelmä on tyypillisesti taajuusalueella 2 - 18 GHz toimiva tiedustelu-, valvonta- ja omasuojajärjestelmää. (ESM = Electronic Support Measures). Suomen kielessä käytetään yleisesti termiä elektroninen tuki (ELTU). Elektronisen tuen päätehtäviä ovat operatiivinen tiedustelu ja valvonta, elektroninen maalinosoitus sekä elektroninen uhkavaroitus [7].

Tulenkäyttötilanne on mallinnettavan tilanteen taktinen kuvaus. Tulenkäyttötilanne käsittelee ohjuksen laukaisusta sen havaitsemiseen kuluvan ajanjakson eikä siinä huomioida laukaisuhetkeä edeltäviä osatekijöitä kuten maalinosoitusta, sen tarkkuutta ja merkitystä ohjuksen osumisen todennäköisyydelle.

Skenaario on tulenkäyttötilanteen tekninen kuvaus, joka sisältää matemaattiseen mallintamiseen tarvittavat muuttujat ja parametrit.

Parametri on laskenta -arvo, jonka suuruus ei oletusarvoisesti muutu. Esimerkiksi meritorjuntaohjuksen hakupään tutkan pulssintoistotaajuus (PRF) on parametri.

Muuttuja on laskenta -arvo, jonka suuruus voi muuttua kuten esimerkiksi meritorjuntaohjuksen lentokorkeus tulenkäyttötilanteen eri vaiheissa.

Tarkasteltavia tutkataajuusalueita ovat S –alue (2 - 4 GHz) ja Ku - alue (12 - 18 GHz).

2. SKENAARIOT

Skenaario on loogisesti etenevä tapahtumasarja, jonka tavoitteena on osoittaa, miten mahdollinen, joko todennäköinen, tavoiteltava tai uhkaava tulevaisuudentila kehittyi askel askeleelta nykytilasta [9]. Skenaario on yksi näkemys siitä, mitä voi tapahtua. Se on tyypillisesti jokin erityisen merkittävä toteutettavissa oleva maailma, johon halutaan kiinnittää erityistä huomiota [5]. Skenaariota laadittaessa on koottu mahdollisimman kattavat pohjatiedot erilaisista skenaariossa käsitellyistä aiheista ja tarkan harkinnan perusteella on päätelty tapahtumasarjan mahdollinen kulku. Vaihtoehtoisia skenaarioita voi olla monia. Jonkin perustavaa laatua olevan muuttujan erilaiset vaihtoehdot voivat kääntää skenaarion lopputuloksen täysin toisista skenaarioista poikkeavaksi. Jokin merkittävä ennakoimaton innovaatio voi tehdä skenaarion epätodennäköiseksi [9].

Skenaarion keskeisiä osatekijöitä ovat maali ja sen järjestelmät eli pinta-alue, pinta-alueen valvontatutka, pinta-alueen ESM –järjestelmä sekä meritorjuntaohjus hakupäineen kuten johdannon kuvassa 1.2 on esitetty. Kaikkiin keskeisiin osatekijöihin liittyy parametrejä, jotka vaikuttavat suorituskyvyn arviointiin. Lisäksi näiden keskeisten tekijöiden keskinäiseen vaikutukseen liittyy olosuhdetekijöitä eli muuttujia.

2.1 Pinta-alue

Arvioitaessa pinta-alueen kykyä havaita kohti ammuttu meritorjuntaohjus, muodostuvat arvioinnin kannalta keskeisiksi tekijöiksi alueen valvontatutka ja ESM –järjestelmä sekä pinta-alueen ominaisuudet niiltä osin kuin ne vaikuttavat edellä mainittujen järjestelmien toimintaan. Eniten merkitystä havaittavuuden kannalta on sensorijärjestelmien antennien sijoittelulla, johon suuremmilla aluksilla (hävittäjä, fregatti) on enemmän mahdollisuuksia kuin pienemmissä aluksissa (korvetti), joissa mastojen korkeus, määrä ja kapasiteetti rajoittavat antennien sijoittelua suorituskyvyn kannalta edullisella tavalla. Koska suuremmat hävittäjä- ja fregattiluokan alukset suorituskykyineen ovat tulivoimaisina maaleina mielenkiintoisempia, rajataan tarkastelu koskemaan niiden järjestelmiä. Geneerisen pinta-alueen ominaisuudet on saatu vertaamalla Itämeren rantavaltioiden fregattiluokan aluksia ja määrittelemällä niiden ominaisuuksien perusteella keskiar-

vot, jotka on esitetty taulukossa 2.1. Valvontatutkan ja ESM –järjestelmän antennien korkeuksia ei lähteissä ole erikseen ilmoitettu, joten ne on arvioitu alusten muihin mittoihin suhteuttamalla. Pinta-aluksen tutkapaikkipinta-alan karkeana arvona voidaan käyttää aluksen uppoumaa suoraan neliömetreinä [14].

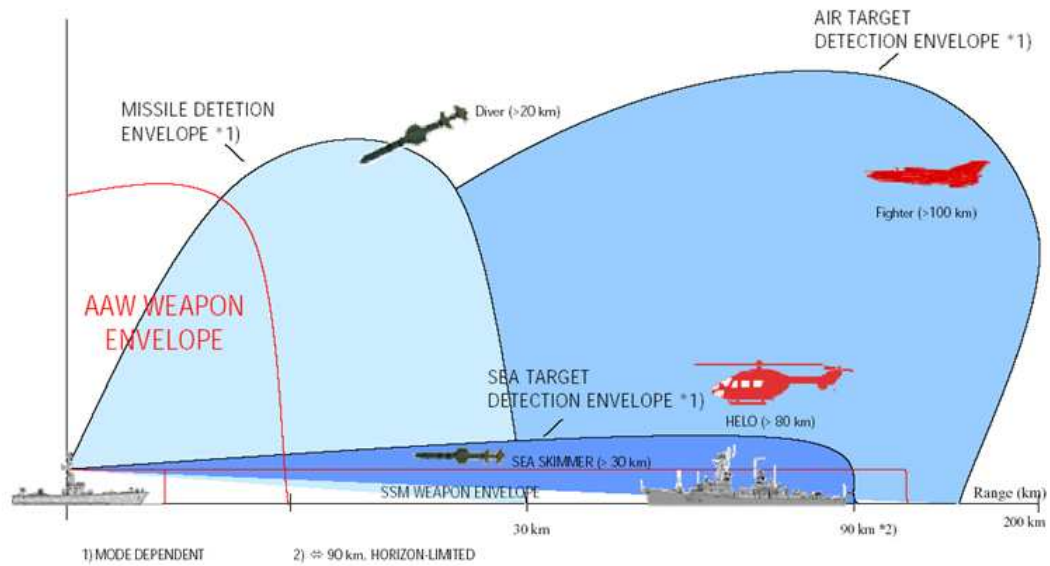
Mitat (m)	Pituus	Leveys	Syväys	Antennikorkeus		Uppouma(tn)
				Valvontatutka	ESM	
Pinta- alus	145,0	16,0	6,0	27	19	4800

Taulukko 2.1. Geneerisen pinta-aluksen ominaisuudet.

Pinta-aluksen valvontatutka

Valvontatutkan päätehtävänä on valvoa suurta ilmatilaa tai merialuetta ja antaa maali-ilmaisuja jopa useiden satojen kilometrien päästä. Kuvassa 2.1 on esitetty valvontatutkan moninainen tehtäväkenttä, joka edellyttää tutkalta kykyä havaita eri korkeus- ja etäisyysalueilla liikkuvia, kooltaan ja liiketekijöiltään poikkeavia maaleja. Tyypillinen piirre tällaisille tutkille on suuri lähetysteho. Lähetystaajuus on yleensä mikroaaltoalueen alapäässä L- tai S-alueella. Pulssin pituus on mitoitettava siten, että kaukaisimmas-takin maalista saadaan vielä kaikupulssi ennen seuraavaa lähetyspulssia. Satojen kilometrien päähän mittaavan tutkan pulssintoistotaajuus on yleensä muutamia satoja hertsejä [6].

Tarkastelun kannalta keskeisiä valvontatutkan ominaisuuksia ovat sen lähetysteho, vastaanottimen herkkyys, antennikorkeus ja -vahvistus. Antennin keilamuodot vaikuttavat kykyyn havaita matalalla lentävät maalit (Kuva 2.1), joihin meritorjuntaohjus lukeutuu.



Kuva 2.1. Valvontatutkan antennikeilat (Kuva: EADS)

Valvontatutkan ominaisuudet

Pinta-aluksen valvontatutkan kantama on tyypillisesti 150 - 350 km. Jos referenssietäisyysdeksi valitaan 300 km, tulee lähetystehon olla riittävä. Yleisesti ottaen valvontatutkien lähetystehot ovat 500 – 1000kW. Kun tutkan lähettimen prosessointivahvistus on yhteensä 20 dB, voidaan riittävänä pulssitehona pitää 800 kW.

Tutkan prosessointivahvistuksen voidaan tässä tapauksessa olettaa muodostuvan pulssikompression vahvistuksesta sekä integroinnin parannuskertoimesta ja sen määrittäminen edellyttää tarkkaa järjestelmäkohtaista tuntemusta. Yksittäisen tutkan prosessointivahvistuksen määrittäminen on vaikeaa koska pulssikompression ja vahvistuksen integrointikertoimen keskinäistä suhdetta ei tiedetä. 1990-luvun tutkissa vahvistuserroin voi olla suurempi kuin 10 desibeliä ja integrointikerroin pienempi kuin 10 desibeliä, tai päinvastoin. Tässä yhteydessä käytetyn 20 dB prosessointivahvistuksen voidaan ajatella muodostuvan asetelmasta, jossa tutkan etäisyysresoluutiota ja signaali-kohinasuhdetta kasvatetaan satakertaiseksi pulssikompression avulla.

Valvontatutkan käyttämä taajuuskaista ei voi olla päällekkäin merenkulikututkien yleisesti käyttämän taajuuskaistan kanssa, joten taajuuden on oltava alle 3350 MHz tai yli 3450 MHz. Yleensä taajuus valitaan merenkulikututkien käyttämän taajuuskaistan alapuolelta koska pienemmän taajuuden ansiosta mittausetäisyys on suurempi. Taajuusero

ei sinänsä ole mittausetäisyyden kannalta merkittävä, mutta matalammilla taajuuksilla vaimennuksen järjestelmälle aiheuttamat häviöt ovat pienempiä.

Valvontatutkan etäisyydenmittaustarkkuus riippuu pulssin pituudesta ja pulssikompressiosta. Näiden tekijöiden perusteella 1990-luvun valvontatutkalle tyypillinen etäisyydenmittaustarkkuus 20 dB pulssikompressiolla on 100 metriä.

Valvontatutkalla pyritään mittaamaan kauas, 150 – 350 km päähän. Kun valitaan valvontatutkan mittausetäisyydeksi 300 km, ovat muut parametrit mitoitettavissa tämän mukaan. Tutkan suurimpaan yksikäsitteiseen mittausetäisyyteen vaikuttavat pulssintotaajuus (PRF), pulssin sisäinen modulaatio, pulssin pituus (PW) ja etäisyyden mittaustarkkuus. Vastaanottimen kaistanleveys pyritään rakentamaan mahdollisimman kapeaksi mutta kuitenkin riittävän leveäksi, jotta kyetään ilmaisemaan liikkuvasta maalista aiheutuva mittaustaajuuden dopplersiirtymä.

Valvontatutkan kohinaluku voidaan selvittää tarkasti vain järjestelmäkohtaisilla mittauksilla. Mittaustulosten perusteella 1990-luvun valvontatutkien kohinaluvut vaihtelevat 2 – 7 dB välillä [11]. Kohinaluvun epätarkkuus aiheuttaa vähäisen virheen suorituskyvyn arvioinnissa.

Tutkajärjestelmän häviöt voidaan selvittää tarkasti vain järjestelmäkohtaisilla mittauksilla. Mittaustulosten perusteella 1990-luvun valvontatutkien kohinaluvut vaihtelevat 1 – 6 dB välillä [11]. Järjestelmän häviöiden epätarkkuus aiheuttaa vähäisen virheen suorituskyvyn arvioinnissa.

Antennin vahvistusta kasvatettaessa, kasvaa myös antennin sivukeilojen vahvistustaso mikä ei ole tavoiteltavaa koska vahvistus tulisi keskittää pääkeilaan. Rakenneteknisillä ratkaisuilla voidaan sivukeilojen vahvistustasoa kuitenkin merkittävästi pienentää. Valvontatutkien antennivahvistus on yleisesti 35 – 45 dB. Sopiva antennivahvistuksen arvo on 40 dB.

Antennin suunnittelulla pyritään määrittämään antennin pääkeila mahdollisimman kapeaksi, jotta tutkan kulmaerottelukyky puolestaan saadaan mahdollisimman tarkaksi. Kulmaerottelukyky on optimoitava, jotta tutka pystyy erottelemaan toisiaan lähellä olevat maalit eri maaliksi. Tyypillinen keilanleveys on 1°.

Ominaisuus	Arvo	Huom.
Pulssiteho (kW)	800	
Prosessointivahvistus (dB)	20	
Mittaustaajuus (Mhz)	3100	S-alue (2800 – 3300)
Etäisyyden mittaustarkkuus (m)	100	
Suurin mittausetäisyys (km)	300	
Vastaanottimen kaistanleveys (MHz)	2	
Kohinaluku (dB)	5,0	
Vastaanottimen signaali-kohinasuhde (dB)	15	Minimi
Järjestelmän häviöt (dB)	4	
Antennivahvistus (dB)	40	
Antennikeilan leveys (°)	1	

Taulukko 2.2. Pinta-aluksen geneerisen valvontatutkan ominaisuudet [11].

Pinta-aluksen ESM -järjestelmä

Tyypillinen ESM -järjestelmän taajuusalue on 0,5 - 18 GHz. Järjestelmissä tarjotaan yleensä optiona taajuusalueen ulottamista 40 GHz asti. Herkkyyden suhteen järjestelmät eivät ole yhtä hyviä kuin strategisen signaalitiedustelun järjestelmät. Uhkailmaisun kannalta pidetään riittävänä radiohorisontin sisäpuolella esiintyvien tutkien tms. havaitsemista, mutta maalinsoitusjärjestelmissä pyritään havaitsemaan järjestelmät myös radiohorisontin ulkopuolelta. Taktillisissa järjestelmissä herkkyys on tyypillisesti -75 dBm 500 MHz kaistalla ja 15 dB signaali-kohinasuhteella.

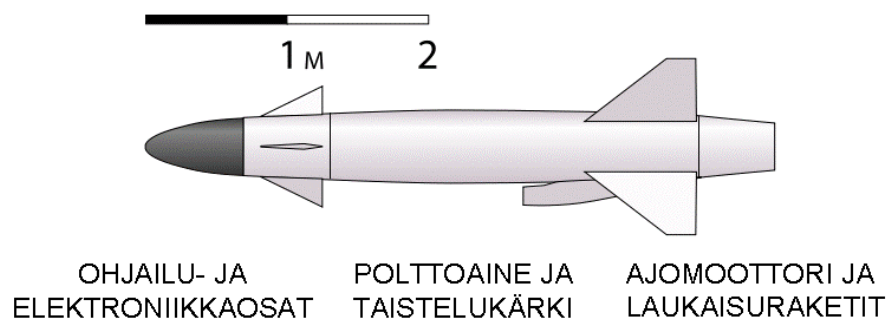
Havaitsemisen todennäköisyyden suhteen järjestelmissä pyritään korkeaan suorituskykyyn. Periaatteessa pyritään siihen, että kantaman piirissä esiintyvät lähteet havaitaan 100 % todennäköisyydellä. Havaitsemisen todennäköisyydestä joudutaan tinkimään, mikäli järjestelmän herkkyyttä halutaan lisätä pyörivän peiliantennin avulla. Suuntimistarkkuus riippuu taktillisen kaluston käyttötarkoituksesta; pelkkä uhkailmaisuu, jonka perusteella suoritetaan esim. väistö tai aloitetaan häirintä, ei vaadi hyvää suuntimistarkkuutta; jos ilmaisinta käytetään asevaikutuksen ohjaamiseen, tarvitaan hyvä suuntimis- ja paikantamistarkkuus. Tarkkuus vaihtelee 0,5- 10° välillä [3].

Ominaisuus	Arvo
Taajuusalue (GHz)	2 - 18
Suuntatarkkuus (°RMS)	3
Herkkyys (dBm)	- 65
Antenni (°)	360
POI (%)	~100

Taulukko 2.3. Pinta-aluksen geneerisen ESM -järjestelmän ominaisuudet.

2.2 Meritorjuntaohjus

Meritorjuntaohjus on tarkoitettu pinta-alusten tuhoamiseen. Useimmat meritorjuntaohjukset lentävät lähellä merenpintaa alle äänennopeuden ja hakeutuvat maaliin inertia- ja tutkaohjauksen avulla. Meritorjuntaohjus voidaan laukaista aluksesta, ilma-aluksesta, sukellusveneestä tai maalla sijaitsevalta laukaisualustalta. Meritorjuntaohjusjärjestelmiä on risteilijä-, hävittäjä-, fregatti- ja korvettiluokan aluksilla. Meritorjuntaohjuksen pääosat on esitetty kuvassa 2.2 ja ne ovat ohjailu- ja elektroniikkayksikkö, polttoaine ja taistelukärki sekä propulsio -osa, jonka muodostavat ajomoottori, laukaisuraketit ja siivet.



Kuva 2.2. Meritorjuntaohjuksen pääosat (RBS-15).

Geneerisen meritorjuntaohjuksen toiminta-arvojen ja parametrien määrittely

Aktiivisella hakeutumistutkalla varustetuille ohjuksille on ominaista, että ne laukaistaan 30 - 150 km etäisyydellä maalista, ohjuksen nopeus on 0,8 - 2,5 M, ohjuksen hakeutumistutka aktivoituu 10 - 20 km etäisyydellä maalista, hakupää on X- tai Ku -alueen monopulssitutka, hakupään säteilyteho (ERP) on 90 - 150 dBm, hakupäällä on kyky hakeutua häirintään ja se voi lukkiutua maaliin muutamassa sekunnissa [13]. Kuvassa 2.4 on esitetty meritorjuntaohjuksen lentorata, joka jakautuu lähtövaiheeseen, matkalentovaiheeseen, etsintä- ja lukkiutumisvaiheeseen sekä hyökkäysvaiheeseen

Pinta-aluksen havaintokyvyn arvioimiseksi on liitteessä 4 esitettyjen meritorjuntaohjusten julkisesti saatavien ominaisuuksien perusteella määritetty geneerinen meritorjuntaohjus, jonka ominaisuudet on esitetty taulukossa 2.4. Kun käytössä on ollut useita lähdearvoja, muodostuu geneerisen ohjuksen vastaava arvo lähdearvojen keskiarvosta. Mikäli jokin arvo on ainoa saatavilla oleva, on sitä hyödynnetty sellaisenaan. Puuttuvat arvot on määritetty päättelämällä. Ohjuksen lentokorkeus lentoradan vaiheessa C on lentokorkeus, jolla ohjus nousee tutkahorisontin yläpuolelle maalin etsintää varten.

Lentovaihe	A	B	C	D
Ominaisuus				
Etäisyys (km)	200 - 150	150 - 40	40 - 30	30 - 0
Lentokorkeus (m)	Enint.150	10 - 15	$> E_{hor}$	3 - 5
Nopeus (M)	0.8	0,8	0,8	1,5
Kantama (km)	200			
Halkaisija (m)	0,5			
Hakeutumistutka (GHz)	15 -18 (Ku -alueen yläosa)			

Taulukko 2.4. Geneerisen meritorjuntaohjuksen ominaisuudet ja lentorata.

Meritorjuntaohjuksen hakeutumistutka

Merimaaliohjusten hakeutumistutkille on ominaista, että ne käynnistyvät vasta hetkeä ennen ohjuksen saapumista osoitetun maalin etäisyydelle. Merimaaliohjusten hakeutumistutkille tyypillinen lähetystaajuus on X – Ku -alueella. Lähetin kykenee taajuushypelyyn laajalla alueella taajuusalueen sisällä. Tyypillinen pulssintoistotaajuus on 1000 -

3000 Hz. Pulssisignaalisissa käytetään yleisesti värinää ja pulssin pituus on 0,1 - 1 μ s. Keilausmuoto on etsintävaiheessa sektori- tai rasterikeilaus, seurantavaiheessa monopulssi- tai peitetty keilaus (kiinteä). Arvoissa saattaa esiintyä suuriakin poikkeamia [2].

Meritorjuntaohjusten hakeutumistutkan ominaisuuksia on tarve arvioida, jotta saadaan käsitys lähetystehon, antennivahvistuksen ja vastaanottimen herkkyyden tasosta, jotka ovat riittäviä maalin etsintään, lukitukseen ja seurantaan ennalta määritellyn etäisyysalueen sisällä. Hakeutumistutkan lähetin käyttää Ku -taajuusalueen sisältä valittua taajuuskaistaa, jonka sisällä taajuushypintä toteutetaan. Lähettimen tehotason tulee olla sellainen, että lähetetty kaikupulssi kytetään vielä maalista heijastumisen jälkeen ilmaisemaan ja prosessoimaan. Hakeutumistutkan vastaanottimen herkkyys on keskeinen parametri vastaanotetun signaalin ilmaisun ja jatkokäsittelyn kannalta.

Hakeutumistutkan lähetystehosta on julkisissa lähteissä saatavilla lähinnä suuntaa antavia arvoja, muttei yksilöityä tietoa. Kun arvioidaan hakeutumistutkan taajuusaluetta, hakupään fyysistä kokoa ja ohjuksessa tarjolla olevan sähkönsyötön rajallista kapasiteettia, voidaan lähetystehosta tehdä päätelmiä. Hakeutumistutkan toiminta-aika siinä tapauksessa, että tutka on käynnissä äärikantamalta (radiohorisontti: 35 km) maaliin asti, on 1 M:n lentonopeudella noin kaksi minuuttia. Tästä voidaan päätellä, että hakeutumistutkan lähetysteho on enintään joitakin satoja watteja ja antennin vahvistus enintään kymmenien desibelien luokkaa.

Parametri	Arvo
Lähetystaajuus (GHz)	12 -18 [2]
Taajuuskaista (GHz)	1,0 [4]
Hetkellinen kaistanleveys (MHz)	1 - 10
Pulssintoistotaajuus (Hz)	1000 -3000 [4] [2]
Pulssinpituus (μ s)	0,1 – 1,0 [2]
Lähetysteho (dBm)	90 – 150 [2]
Vastaanottimen herkkyys ($P_{r.min}$ / dBm)	-70 [4]
Vastaanottimen kohinaluku (dB)	5,0 [4]
Ilmaisuun vaadittava signaali-kohinasuhde (dB)	13,0 [4]
Antennivahvistus (dBi)	10 – 30 [4]

Taulukko 2.5. Meritorjuntaohjuksen generisen hakeutumistutkan parametrit.

Meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan kantaman enimmäisarvo määritetään tutkayhtälön käännetyn perusmuodon avulla.

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot P_{r,\min}}} \quad [2.1]$$

jossa P_t on tutkan lähetysteho watteina, G on tutkan antennivahvistus suhdeluvuksi muutettuna, λ on aallonpituus metreinä, σ on maalin tutkapoikkipinta-ala neliömetreinä ja $P_{r,\min}$ on pienin ilmaistavissa oleva paluusignaali watteina. Arvioinnissa on käytetty hakeutumistutkan taulukossa 2.5 esitettyjä ominaisuuksia, joiden lisäksi pinta-alan tutkapoikkipinta-alan arvona käytetään pinta-alueen uppoumaa suoraan neliömetreiksi muutettuna (4800 m^2) luvussa 2.1 esitetyllä tavalla. Arvioinnin tulokset ovat liitteessä 5.

Taulukossa 2.6 on esitelty hakeutumistukalle eri lähetystehon, antennivahvistuksen ja vastaanottimen herkkyyden vähimmäisarvojen yhdistelmiä, jotka mahdollistavat pinta-alueen havaitsemisen ja siihen lukittumisen 30 – 40 km etäisyydeltä taajuuksilla 15 -18 GHz. Taulukossa on huomioitu pulssikompression ja kapeakaistaisen moodin käyttö kantaman kasvattamiseksi 30 - 40 km etäisyydellä maalista, jolloin vastaanottimen herkkyyssarvo on -80 ja -100 dBm välillä. Vastaavasti antennivahvistuksen arvot ovat liitteessä 5 esitettyjä arvoja pienempiä 27 - 30 dB). Lähempänä maalia hakeutumistutka aloittaa taajuuden hypynnän häirinnän väistämiseksi, jolloin vastaanottimen herkkyyden on enää -60 ja -70 dBm välillä. Lyhyemmillä etäisyyksillä edellä mainittu pienempi herkkyyssarvo mahdollistaa kuitenkin maalin seurannan vaikka antennivahvistus onkin pienempi.

Lähetysteho		Antennivahvistus dB	ERP dBm	Kantama (km)		$P_{r,\min}$ dBm
w	dBm			15Ghz	18Ghz	
200	53,0	30	83	44,3	40,5	- 90
300	54,8	28	83	43,7	39,9	- 90
		31	86	46,3	42,3	- 90
400	56,0	30	86	44,3	40,5	- 85
		28	84	47,0	42,9	- 90
		30	86	44,3	40,5	- 90
500	57,0	30	87	46,9	42,8	- 85
		27	84	44,3	40,4	- 90
		30	87	46,9	42,8	- 90

Taulukko 2.6. Meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan kantama 15 ja 18 GHz taajuuksilla lähetystehon, antennivahvistuksen ja vastaanottimen herkkyyden funktiona.

Selviytyäkseen perinteisillä ilmapuolustusjärjestelmillä eli tykistöillä ja ohjuksilla suoritetusta torjunnasta, voi ohjus käyttää suurta nopeutta puolustajan reaktioajan vähentämiseksi, kyllästämistä, matalan havaittavuuden tekniikkaa, elektronisia vastatoimia

(ECM), taistelukestävyyttä tai väistelevää ohjailua. Kyllästäminen tapahtuu ensisijaisesti ampumalla useita ohjuksia samaan maaliin, jolloin puolustaja joutuu torjumaan samanaikaisesti useita ohjuksia. Mikäli mahdollista, voidaan kyllästäminen toteuttaa myös harhamaaleja käyttäen.

Matalan havaittavuuden tekniikalla voidaan käyttää hyväksi joitakin torjuntajärjestelmien rajoitteita mutta kohti tulevan ohjuksen ja torjuvan asejärjestelmän välisen etäisyyden pienentyessä, tulee ohjus väistämättä havaituksi. Elektronista vaikuttamista voidaan hyödyntää vastapuolen ilmatorjuntajärjestelmien suorituskykyä heikentävästi. Häirintä voidaan toteuttaa joko ilma-aluksesta tai miehittämättömästä ilma-aluksesta (UAV) käsin. Tulevaisuudessa kehittyneemmät ohjukset voitaisiin varustaa joko kiinteillä tai ohjuksesta laukaistavilla häirintälähettimillä.

Ohjuksen taistelukestävyuden lisääminen siten, että se selviytyy torjunnasta täysin vaurioitumatta, ei liene todennäköistä. Ohjus voidaan kuitenkin rakentaa siten, että hakupään tuhouduttua, ohjus jatkaa lentoaan hakupään tuhoutumista edeltävään viimeiseen lukitussuuntaan. Taistelukärjen enneaikainen räjähtäminen tai leimahtaminen voidaan estää stabiilin räjähdysaineen käytöllä. Väistelevää ohjailua voidaan käyttää vastatoimena sekä ilmatorjuntatykkeitä että -ohjuksia vastaan. Berglund (1998) osoittaa, että ilmatorjuntatykin tehokas ampumaetäisyys pienenee varsin nopeasti pientenkin ohjailuliikkeiden seurauksena [12].

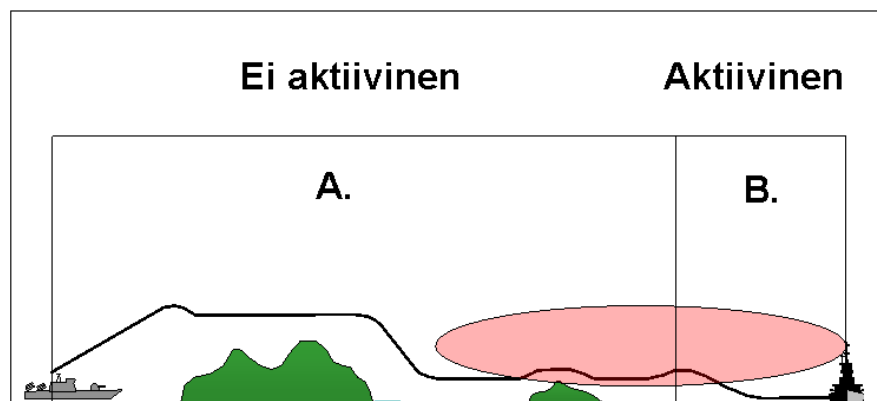
2.3 Tulenkäyttötilanne ja skenaariot

Ohjustuli muodostaa hyökkäyksen torjunnassa iskevän osan, jolla aloitetaan torjunta kaukaa avomereltä sekä luodaan torjunnan painopiste uhkasuuntaan. Ohjusyksiköiden tulen käytön päämääränä on torjunnan aloittaminen mahdollisimman kaukaa ulkomereltä. Ohjustulta käytetään koko ohjusten kantaman alueella niin merialueen syvyydessä kuin rannikon suuntaisesti [10].

Johdatus skenaarioihin

Havaintokyvyn arviointia varten tulee ensiksi rajata skenaarion osuus tulenkäyttötilanteesta. Kuvassa 2.3 nähdään miten meritorjuntaohjuksen lentorata jakautuu tämän tut-

kimuksen kannalta kahteen olennaiseen vaiheeseen. Vaiheessa A. ohjus lentää kohti maalia inertia- ja/tai GPS ohjauksen avulla eikä ohjuksen hakeutumistutka lähetä signaalia. Vaiheessa B. ohjuksen hakupää käynnistyy maalin etsintää, maaliin lukittumista ja ohjautumista varten sekä lähettää signaalia oletusarvoisesti osumishetkeen asti. Arvioidaessa tutkahakuisen meritorjuntaohjauksen havaittavuutta pinta-aluksen ESM -järjestelmällä, tulee siis tarkastella vain vaihetta B, jolloin ohjus ylipäättään on sillä ilmaistavissa. Kun taas arvioidaan pinta-aluksen kykyä havaita kohti ammuttu meritorjuntaohjus valvontatutkallaan, tulee tarkastella sekä vaihetta A. että B.

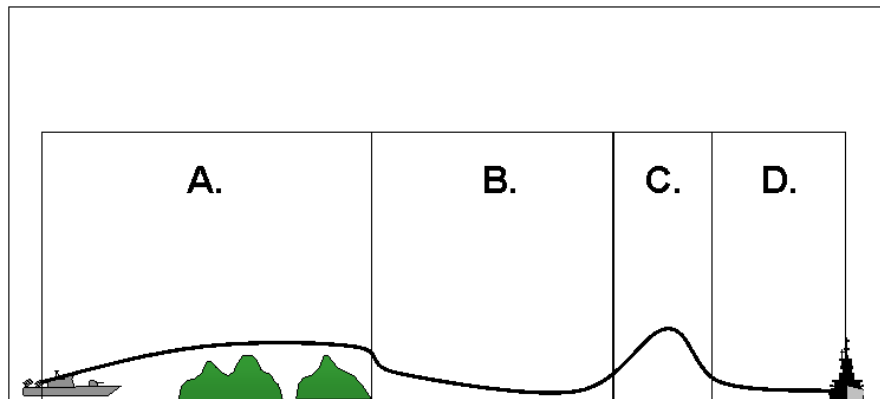


Kuva 2.3. Meritorjuntaohjauksen hakupään aktiivisuus.

Meritorjuntaohjauksen lentorata voidaan kuvassa 2.3 esitetyn jaon lisäksi jakaa edelleen ohjuksen lentokorkeuden perusteella. Kuvassa 2.4 nähdään miten ohjuksen lentorata jakautuu laukaisuvaiheeseen (A), matkalentovaiheeseen (B), etsintä- ja lukkiutumisvaiheeseen (C) ja hyökkäysvaiheeseen (D). Laukaisuvaiheen aikana ohjus nousee hetkellisesti jopa satojen metrien korkeuteen, jonka jälkeen sen lentokorkeus myötäilee laukaisualan maastoprofiilia. Vaiheen B aikana ohjus lentää matalalla radio-/tutkahorisontin takana eikä käytä hakeutumistutkaansa, jolloin sitä ei oletettavasti voida havaita pinta-aluksen tutkalla tai ESM -järjestelmällä. Lentovaiheen B pituus ja kesto riippuvat siitä, kuinka syvällä saaristossa ammunta tapahtuu (Esim. Parainen – Örön tasa: 55 km ja Siuntio – Porkkalan selkä 25 km). Vaiheessa C ohjus nostaa lentokorkeutensa ja käynnistää hakeutumistutkaansa maalin etsintää ja siihen lukkiutumista varten.

Ohjuksen noustessa yli tutkahorisontin, on se oletusarvoisesti havaittavissa aluksen tutkalla ja ESM -järjestelmällä. Ohjuksen hakeutumistutkan lähettämä signaali voitaisiin teoriassa havaita sironnan tai jonkin radioaaltojen etenemiseen vaikuttavan satunnaisilmiön ansiosta myös radiohorisontin takaa. Tätä mahdollisuutta ei kuitenkaan tutkita

koska oletetaan, ettei ohjuksen hakeutumistutka käynnisty ennen vaihetta C. Siten havaittavuuden arviointi rajoittuu sekä valvontatutkan että ESM -järjestelmän osalta lentovaiheisiin C ja D.



Kuva 2.4. Meritorjuntaohjuksen lentokorkeuden vaihtelu eri lentovaiheissa.

Skenaarioanalyysillä määritetään mahdolliset skenaariot, tutkittavat skenaariot, skenaarioihin liittyvät laskenta-arvot ja niiden vaihtelu. Skenaarioanalyysi tuottaa taulukossa 2.7 esitetyt tutkittavat skenaariot, joiden sisältö on esitetty edempänä. Skenaariot 3 ja 4 jakautuvat edelleen alaskenaarioiksi a ja b koska ne toteutuvat samanaikaisesti.

Arvioinnissa käytettävät laskenta-arvot on esitetty taulukoissa 2.1. Geneerisen pinta-aluksen ominaisuudet, 2.2. Pinta-aluksen geneerisen valvontatutkan ominaisuudet, 2.3. Pinta-aluksen geneerisen ESM -järjestelmän ominaisuudet, 2.4. Geneerisen meritorjuntaohjuksen ominaisuudet ja lentorata sekä 2.5. Meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan parametrit.

Järjestelmä	Skenaario	Meritorjuntaohjus		Laskentaperusteet Taulukko
		Lentovaihe (km)	Lentokorkeus (m)	
Valvontatutka	1	A. 200 - 150	150	2.1, 2.2, 2.4
	2	B. 150 - 40	10	2.1, 2.2, 2.4
	3a	C. 40 - 30	$> E_{hor}, 30 - 9$	2.1, 2.2, 2.4
	4a	D. 30 - 0	5	2.1, 2.2, 2.4
ESM -järjestelmä	3b	C. 40 - 30	$> E_{hor}, 30 - 9$	2.1, 2.3, 2.4, 2.5
	4b	D. 30 - 0	5	2.1, 2.3, 2.4, 2.5

Taulukko 2.7. Tutkittavat skenaariot.

Skenaariot, joiden mukaan havaittavuutta arvioidaan, on jaettu meritorjuntaohjuksen lentovaiheiden mukaisesti. Skenaarioiden välinen vaihtelu perustuu meritorjuntaohjuksen etäisyyteen maalina olevasta pinta-aluksesta, meritorjuntaohjuksen lentokorkeuden muutoksista, ohjuksen hakeutumistukan aktiivisuudesta ja ohjuksen sijainnista pinta-alukseen ja havaittajan (pinta-alue) tutkahorisonttiin nähden.

Skenaariossa 1 meritorjuntaohjuksen lentokorkeus on laukaisun yhteydessä hetkellisesti 150 m. Koska ohjus pyritään laukaisemaan enimmäiskantaman (200 km) päässä maalina olevasta pinta-aluksesta, ei ohjus ole havaittavissa aluksen valvontatutkalla. Laukaisuvaiheessa meritorjuntaohjuksen hakeutumistutka ei ole aktiivinen, joten havaintoa ei edes teoriassa voida tehdä pinta-aluksen ESM -järjestelmällä. Skenaariossa arvioidaan laukaisuetäisyys, jolla meritorjuntaohjus on havaittavissa pinta-aluksen valvontatutkalla kun oletetaan, että ohjus käy enintään 150 m korkeudessa.. Meritorjuntaohjuksen havaittavuutta ESM -järjestelmällä ei arvioida.

Skenaariossa 2 meritorjuntaohjuksen lentokorkeus on 10 m ja etäisyys pinta-aluksesta 150 – 40 km. Valtaosassa lentovaihetta meritorjuntaohjusta ei voida havaita pinta-aluksen valvontatutkalla. Matkalentovaiheen aikana meritorjuntaohjuksen hakeutumistutka ei ole aktiivinen, joten havaintoa ei edes teoriassa voida tehdä pinta-aluksen ESM -järjestelmällä. Skenaariossa arvioidaan meritorjuntaohjuksen havaittavuutta aluksen valvontatutkalla matkalentovaiheen lopussa 45 - 40 km pinta-aluksesta lentokorkeuden ollessa 10 m. Meritorjuntaohjuksen havaittavuutta ESM -järjestelmällä ei arvioida.

Skenaariossa 3 meritorjuntaohjuksen lentokorkeus 30 – 40 km etäisyydellä pinta-aluksesta on 9 – 30 m merenpinnasta. Lentovaiheen alussa 40 km etäisyydellä pinta-aluksesta ohjus aloittaa nousun kohti lakipistettä, jonka se saavuttaa lentovaiheen puoleksavälissä 35 km etäisyydellä pinta-aluksesta. Lakipisteessä ohjus nousee tutkahorisontin yläpuolelle. Käytyään lakipisteessä laskeutuu ohjus viiden metrin lentokorkeuteen, jonka se saavuttaa 30 km etäisyydellä pinta-aluksesta. Ohjus lentää lakipisteessä tutkahorisontin yläpuolella ja sen havaittavuus pinta-aluksen valvontatutkalla voidaan arvioida. Meritorjuntaohjus käynnistää hakeutumistutkansa viimeistään saavutettuaan lentovaiheen C lakipisteen 35 km etäisyydellä pinta-aluksesta, jolloin sen havaittavuus pinta-aluksen ESM -järjestelmällä voidaan arvioida vapaan tilan vaimennuksen mallin mukaisesti. Tämän perusteella skenaario 3 jakautuu edelleen alaskenaarioihin 3a ja 3b.

Skenaariossa 3a arvioidaan meritorjuntaohjuksen havaittavuutta aluksen valvontatutkalla 40 - 30 km etäisyydellä pinta-aluksesta lentokorkeuden ollessa 15 - 5 m.

Skenaariossa 3b arvioidaan meritorjuntaohjuksen havaittavuutta ESM -järjestelmällä vapaan tilan vaimennuksen mukaisesti ohjuksen lentokorkeuden ollessa 15 - 5 m.

Skenaariossa 4 meritorjuntaohjuksen lentokorkeus on 5 m merenpinnasta. Lentovaihe D alkaa 30 km etäisyydellä pinta-aluksesta ja ohjus käyttää hakeutumistutkaansa osu-mishetkeen asti tutkahorisonin yläpuolella. Ohjuksen havaittavuus pinta-aluksen valvontatutkalla voidaan arvioida. Ohjuksen hakeutumistutkan havaittavuus pinta-aluksen ESM -järjestelmällä voidaan arvioida vapaan tilan vaimennuksen mallin mukaisesti. Tämän perusteella skenaario 4 jakautuu edelleen alaskenaarioihin 4a ja 4b.

Skenaariossa 4a arvioidaan meritorjuntaohjuksen havaittavuutta aluksen valvontatutkalla 30 - 0 km etäisyydellä pinta-aluksesta lentokorkeuden ollessa 5 m.

Skenaariossa 4b arvioidaan meritorjuntaohjuksen havaittavuutta ESM -järjestelmällä vapaan tilan vaimennuksen mukaisesti ohjuksen lentokorkeuden ollessa 5 m.

3 PINTA-ALUKSEN HAVAITOKYKY

3.1 Pinta -aluksen sensorit ja niiden havaintokyky

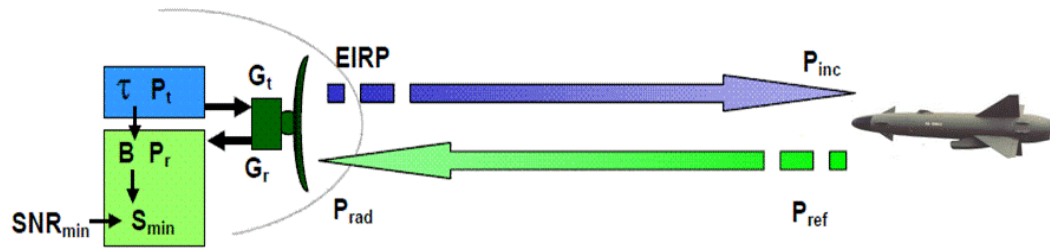
Tässä tutkimuksessa tarkasteltavat sensorit jaetaan passiivisiin ja aktiivisiin sensoreihin. Passiivisia sensoreita ovat tutkataajuusalueen ESM -järjestelmät. Aktiivisia sensoreita ovat valvonta-, tulenjohto- ja maalinosoitustutkat. Kohti ammutun meritorjuntaohjuksen havaitsemisen kannalta valvontatutka on ainoa merkityksellinen sensori, jonka tuottama havainto siirretään edelleen taistelujärjestelmän tulenjohto- ja seurantatutkille maaliksi, johon torjunta suoritetaan aluksen ase- ja omasuojajärjestelmillä

Pinta-aluksen valvontatutkan havaintokyvyn arviointi on siksi perusteltua, että valvontatutkalla mahdollisimman aikaisin saatu havainto kohti ammutusta meritorjuntaohjuksesta, määrittää käytännössä havainnon jatkokäsittelyyn ja ohjuksen torjuntaan käytettävissä olevan ajan. Luvussa 2 esitetyn tiedon perusteella tulisi samaisen kohti ammutun ohjuksen hakeutumistutkasta saada havainto ohjuksen noustessa yli tutkahorisontin ja käynnistäessä hakeutumistutkansa.

3.2 Valvontatutkan havaintokyky

Tutkaa käytetään maalin olemassaolon ilmaisemiseen aistimalla maalista heijastunutta säteilyä, maalin etäisyyden määrittämiseen, maalin suunnan selvittämiseen kapealla suuntakeilalla varustetulla antennilla, maalin sijainnin paikantamiseen sen etäisyyden ja suunnan perusteella sekä maalin nopeuden arvioimiseen dopplertaajuuden avulla [8].

Tutkan havaintoetäisyys riippuu tutkan parametreista (mm. teho, taajuus, vahvistus, kohinatasot), antennikorkeudesta, merenkäynnistä, ilmakehän olosuhteista, havaittavan kohteen korkeudesta ja tutkapoikkipinta-alasta sekä ELSO -ympäristöstä [12]. Kuvassa 3.1 on esitetty pinta-aluksen valvontatutkalla tapahtuvaan meritorjuntaohjuksen havaitsemiseen liittyvien tekijöiden keskinäinen suhde. Keskeisiä parametrejä ovat valvontatutkan lähetysteho, sen antennivahvistus ja maalista takaisin tutkalle heijastuvan, pienimmän mahdollisen ilmaistavan kaikapulssin voimakkuus.



Kuva 3.1. Meritorjuntaohjuksen tutkalla tapahtuvaan havaitsemiseen liittyvät parametrit

Pinta-aluksen valvontatutkan havaintoetäisyys arvioidaan tutkayhtälön avulla. Tutkayhtälön johtaminen on esitetty useissa alan lähteissä (mm. Klemola-Lehto ja Skolnik) eikä sitä käsitellä tässä yhteydessä. Valvontatutkan havaintokyvyn arvioinnissa käytettävän tutkayhtälön muodon ratkaisee toisaalta arvioinnin kohteena olevien järjestelmien parametrien saatavuus ja toisaalta taas halutun lopputuloksen tarkkuus. Valvontatutkan kykyä havaita kohti ammuttu meritorjuntaohjus, arvioidaan kaavalla:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma n E_i(n)}{(4\pi)^3 k F T_0 B (S/N)_1 L_x}} \quad [3.1]$$

jossa P_t on tutkan lähetysteho, G on tutkan antennivahvistus, λ on aallonpituus, σ on maalin tutkapoikkipinta-ala (RCS), $n E_i(n)$ on integroinnin parannuskerroin, k on Boltzmannin vakio, F on vastaanottimen kohinakerroin, T_0 on standardilämpötila 290 Kelvin – astetta, B on vastaanottimen kaistanleveys, S/N on signaali-kohinasuhde ja L_x on järjestelmän häviö.

Meritorjuntaohjuksen havaitsemisen kannalta keskeinen arvo on sen tutkapoikkipinta-ala, jota voidaan pienentää ohjuksen muotoilun huolellisella suunnittelulla ja heijastamattomien pinnoitemateriaalien käytöllä [12]. Tutkayhtälö osoittaa, että tutkapoikkipinta-alan vähentäminen kymmenesosaan alkuperäisestä, pienentää tutkan havaintoetäisyyttä 44 %.

Havaintokyvyn matemaattinen mallinnus

Kuvassa 3.3 nähdään, että meritorjuntaohjus nousee tutkahorisontin ylle ja käynnistää siellä hakeutumistutkansa maalin etsintää ja siihen lukittumista varten. Maali, tässä tapauksessa ohjus, on havaittavissa tutkalla silloin kun se on tutkahorisontin yläpuolella. Tämä kriteeri täyttyy ohjuksen lentoradan etsintä- ja lukitusvaiheessa sekä hyökkäysvaiheessa. Laukaisuvaiheessa saattaa ohjus käydä muutamien satojen metrien korkeudessa mutta laukaisualueen sijaitessa noin ohjuksen kantaman matkan päässä maalista, jää laukaisutapahtuma pinta-aluksesta käsin tarkasteltuna tutkahorisontin taakse eikä sitä havaita.

3.2 ESM –järjestelmän havaintokyky

Sieppaus ja ilmaisu

Signaalin havaitseminen edellyttää, että signaali kyetään sieppaamaan ja sen jälkeen ilmaisemaan. Sieppauksella tarkoitetaan vastaanottimen kykyä saada tiedusteltavan järjestelmän lähettämä signaali ilmaisimelleen. Onnistuakseen edellyttää sieppaus, että vastaanottimessa on oikea taajuus, vastaanottoantenni on suunnattu tiedusteltavan lähetimen suuntaan ja että tiedusteltavan järjestelmä lähettää signaalia tiedustelujärjestelmän suuntaan.

Pelkillä sieppamisella ei voida havaita lähetintä, vaan tiedusteluvastaanottimen on lisäksi kyettävä ilmaisemaan lähetimen olemassaolo. Ilmaisun toteutuminen taas edellyttää, että vastaanottimelle kyetään tuomaan riittävä signaalitaso. Tiedustelujärjestelmissä on havaitsemisen jälkeen suoritettava signaalin parametrien mittausta ja analysointi, johon tarvitaan pidempi aika ja suurempi signaalitaso kuin pelkän havainnon tekemiseen.

Signaalin sieppaaminen

Signaalin sieppaus edellyttää, että tiedusteltava lähete on tiedusteluvastaanottimen sieppauskaistan sisällä, tiedusteluantenni osoittaa lähetimen suuntaan, lähetimen antenni osoittaa tiedusteluvastaanottimen suuntaan ja lähetin lähettää samalla hetkellä kun edellä mainitut ehdot ovat voimassa.

Pinta-aluksen ESM –järjestelmään kuuluu tyypillisesti laajakaistaisia vastaanottimia ja kiinteitä ympärisäteileviä antennoja. Kohti ammutun meritorjuntaohjuksen hakeutumistutka keilaa käynnistyttyään maalina olevaa (tiedustelevaa) pinta-alusta ja voidaan olettaa että edellisessä kappaleessa kuvattu sieppausikkuna toteutuu kaikkien ehtojen osalta todennäköisyydellä, joka on liki 1.

Signaalin ilmaisu

Sieppaamisen lisäksi on vastaanottimelle saatava riittävä signaalin ilmaisulle riittävä signaalikohinasuhde. Lähettimestä lähtevä signaali vaimenee etäisyyden kasvaessa ja sekoittuu ennen pitkää taustakohinaan. Tiedusteluvastaanottimeen tulevan taustakohinan taso riippuu monesta tekijästä, mutta ennen kaikkea vastaanottimen kaistanleveydestä: Mitä suurempi se on, sitä korkeampi on vastaanottimen oman pohjakohinan taso. Signaalikohinasuhdetta voidaan parantaa lisäämällä antennivahvistusta, jolloin antennin keila kaventuu. Vastaanottimen pohjakohinan tasoa voidaan vähentää kapeammalla hetkellisellä kaistanleveydellä. Tällöin pienenee todennäköisyys sille, että vastaanotin on lähetteen taajuudella.

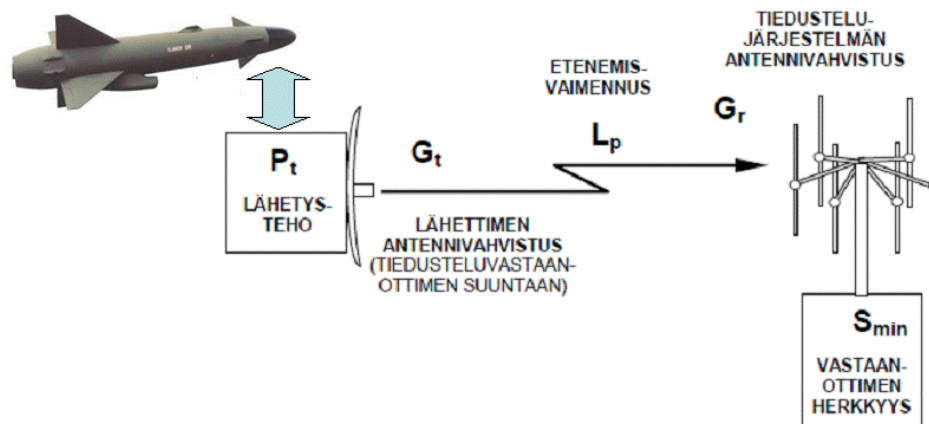
Ikkunafunktion osalta sieppauksen todennäköisyyttä voidaan kasvattaa 1. leventämällä vastaanottimen hetkellistä sieppauskaistaa. Tällöin tiedusteluvastaanottimen pohjakohinan taso kasvaa 2. kasvattamalla vastaanotinantennin antennikeilaa. Tällöin tiedusteluvastaanottimen antennivahvistus pienenee.

Molemmat ikkunafunktion sieppauksen todennäköisyyden lisäämiseksi käytettävissä olevat keinot johtavat tiedusteluvastaanottimelle saatavan signaalikohinasuhteen pienemiseen ja siten ilmaisun todennäköisyyden vähenemiseen. Tiedustelujärjestelmän suunnittelussa on kyettävä saavuttamaan oikea suhde ikkunafunktion (signaalin sieppaus) ja signaalikohinasuhdevaatimusten (signaalin ilmaisu) kesken. Kompromissi riippuu tiedusteltavien järjestelmien luonteesta [8].

Tutkajärjestelmien tekniikasta ja käyttötarkoituksesta saadaan tietoja tutkan aaltomuodon ja siihen liittyen ominaisparametrien avulla. Mittaustiedustelussa mitataan tyypillisesti radiotaajuus (RF), pulssintoistotaajuus (PRF) ja sen modulaatio (värinä ja haritus), pulssintoistoväli(t) (PRI), pulssinpituus (PW) ja pulssin sisäinen modulaatio, CW – signaalin radiotaajuus (RF) ja signaalin mahdollinen modulaatio, signaalin voimakkuus, polarisaatio sekä signaalin tulokulma [2].

Tiedustelun ulottuvuus

Tiedustelun keskeinen ominaisuus on sen ulottuvuus, jonka tiedustelujärjestelmä pyrkii maksimoimaan ja vastaavasti tiedustelun kohteena oleva järjestelmä minimoimaan. Ulottuvuus riippuu tiedusteltavan ja tiedusteleavan järjestelmän ominaisuuksista sekä lähettimen ja tiedusteluvastaanottimen välisestä etenemisreitistä [d].



Kuva 3.2. Etenemisvaimennus ja siihen vaikuttavat tekijät.

Kuvassa 3.2 nähdään miten tiedustelun ulottuvuus riippuu ensisijaisesti suurimmasta sallittavasta etenemisvaimennuksesta L_p , joka puolestaan riippuu lähettimen säteilytehosta (ERP) tiedusteluvastaanottimen suuntaan sekä tiedusteluvastaanottimen antennivahvistuksesta lähettimen suuntaan ja tiedustelujärjestelmän herkkyydestä.

Tiedustelun ulottuvuuden kannalta on olennaista, päästäänkö järjestelmää tiedustelemaan sen pääkeilasta, vai joudutaanko signaali sieppaamaan sivukeilasta, jonka taso saattaa olla 20 - 30 dB pienempi kuin pääkeilan. Vastaavasti tiedustelujärjestelmän kannalta keskeistä on löytää oikea kompromissi valvottavan sektorin ja järjestelmän antennivahvistuksen kesken: mitä laajempi hetkellisesti valvottava sektori on, sitä pienempi järjestelmän antennivahvistus on ja sitä lähemmäs järjestelmän on päästävä tiedusteltava kohde. Toisaalta antennivahvistuksen lisääminen kaventaa hetkellisesti valvottavissa olevaa sektoria ja saattaa siten pienentää hetkellistä havaitsemisen todennäköisyyttä, jos tiedusteltava kohde lähettää vain hetkellisesti [d].

Kaikista radioläheteistä voidaan periaatteessa mitata ja analysoida ns. perusparametrit, joita ovat signaalin keskitaajuus, signaalin tulosuunta, signaalin amplitudi ja sen vaihtelu ajan funktiona, lähetteen polarisaatio, signaalin kaistanleveys, läheteessä käytetty modulaatityyppi ja symbolinopeus sekä modulointiparametrit, kuten taajuusdeviaatio, modulaatiosyvyys tai symbolinopeus digitaalisissa läheteissä.

Pulssimuotoisista läheteistä, kuten pulssitutkista ja taajuushypintäjärjestelmistä, voidaan edellä mainittujen lisäksi mitata pulssin tuloaika (havaintohetki), pulssin pituus, pulssin toistotaajuus (PRF) ja toistoväli (PRI), pulssin ominaisuuksien (pituus, PRF) vaihtelu, pulssin nousunopeus, pituus ja laskunopeus ja pulssin sisäinen modulaatio [d s. 287].

Havaintokyvyn matemaattinen mallinnus – Tiedustelun ulottuvuus

Matemaattinen malli voidaan käsittää työkaluna, joka auttaa haluttujen tavoitteiden saavuttamisessa. Matemaattisia malleja voidaan soveltaa niin tieteellisessä kuin teknisessä ympäristössä ja ne mahdollistavat todellisten ilmiöiden ymmärtämisen. Kasvaneen ymmärryksen myötä ihmisen kyky tehdä päätöksiä kasvaa kysymyksissä, joihin ilmiö liittyy [15].

Tutkimuksen kulku

Tutkimus on kolmivaiheinen. Ensin määritetään geneeristen laitetietojen arvoilla suurin sallittu vaimennus yhteysvälille. Tämän jälkeen määritetään yhteysvälin laatu eli tapahtuuko eteneminen vapaassa tilassa, sirontaheijastuksen avulla vai maanpinnan läheisyydessä, Fresnelin vyöhykkeessä. Kolmannessa vaiheessa määritetään etäisyys, jolla vaimennus tapahtuu.

Suurin sallittu vaimennus

Suurin sallittu vaimennus on arvo, joka ilmaisee kuinka paljon tiedusteltavan signaalin on vaimennuttava, ettei sitä voida enää havaita. Suurin sallittu vaimennus L_{\max} määritetään kaavalla:

$$L_{\max} = \frac{P_l \times G_l}{P_i} \quad [3.2]$$

jossa P_l on lähettimen lähetysteho (W), G_l lähetyksiantennin vahvistus suhdelukuna ja P_i tiedusteluvastaanottimen isotrooppinen herkkyys suhdelukuna. Isotrooppinen herkkyys on tiedusteluvastaanottimen ja antennin yhteenlaskettu vahvistus ja se saadaan suhdelukuna kaavasta:

$$P_i = \frac{P_{\min}}{G_v} \quad [3.3]$$

jossa P_{\min} on tiedusteluvastaanottimen pienin ilmaistava teho watteina ja G_v tiedusteluvastaanottimen antennivahvistus suhdelukuna.

Suurin sallittu vaimennus lasketaan vaihtelemalla ohjuksen hakeutumistutkan lähetysteho (P_l) 100 ja 500 watin välillä sekä antennivahvistusta (G_l) 10 ja 40 desibelin välillä. ESM -järjestelmän isotrooppinen herkkyys (P_i) on kaikissa vaihtoehdoissa -65 dBm.

Radiohorisontin etäisyys lasketaan kaavasta:

$$E_{hor} = 4,1(\sqrt{h_{tied}} + \sqrt{h_{ant}}) \quad [3.4]$$

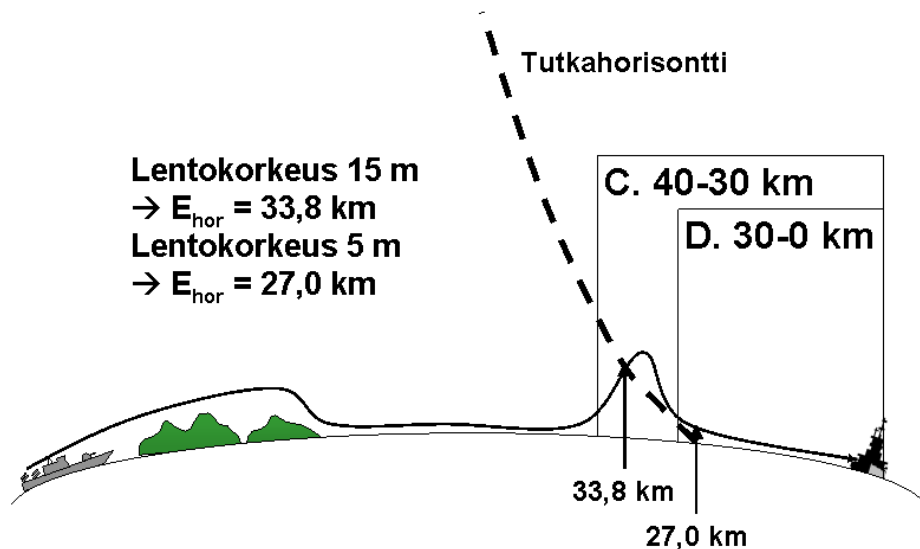
jossa h_{tied} on tiedusteluvastaanottimen antennin korkeus metreinä ja h_{ant} on tiedusteltavan radiolähettimen antennin korkeus metreinä. Liitteen 6 taulukossa on esitetty radiohorisontin etäisyys pinta-aluksesta, kun ESM -järjestelmän antennikorkeus on 19 m ja tiedusteltavan meritorjuntaohjuksen lentokorkeus on 1 – 2000 m.

Yhteysvälin laadun määrittäminen

Vapaan tilan vaimennus

Liitteessä 6 on esitetty radiohorisontin etäisyys meritorjuntaohjuksen eri lentokorkeuksilla kun ESM -järjestelmän antenni on 19 m korkeudella merenpinnasta. Radiohorisonttiin asti tiedusteltavan radiolähettimen signaali etenee vapaan tilan vaimennuksen mallin mukaisesti Fresnelin vyöhykkeen ollessa vähintään 60 % vapaa eikä heijastuksia esiinny [1].

Kuten kuvassa 3.2 nähdään, nousee meritorjuntaohjus lentovaiheen C aikana maalin etsintää ja siihen lukitusta varten tutkahorisontin yläpuolelle etäisyydellä 33,8 km maalista. Lentovaiheen D alkuun mennessä, kun matkaa maaliin on 30 km, laskeutuu ohjus viiden metrin lentokorkeuteen pysyen edelleen tutkahorisontin yläpuolella koska viiden metrin lentokorkeudessa tutkahorisontin etäisyys on 27 km pinta-aluksesta. Koska ohjus käynnistää hakeutumistutkansa ja pysyy tutkahorisontin yläpuolella lentovaiheiden C ja D aikana, arvioidaan tiedusteluetaisyyttä vapaan tilan vaimennuksen mukaisesti.



Kuva 3.3. Tutkahorisontti meritorjuntaohjuksen lentovaiheissa C ja D.

Luvussa 2.2 pääteltiin, että hakeutumistutkan lähetysteho on enintään joitakin satoja watteja ja antennin vahvistus enintään kymmenien desibelien luokkaa. Suurimman sallitun vaimennuksen määrittämisessä edellä mainittu tekijä on huomioitu vaihtelemalla ohjuksen hakeutumistutkan lähetystehoa ja antennivahvistusta taulukon 2.6 mukaisesti.

Vaadittavaa vaimennusta vastaavan tiedusteluetaisyyden määrittäminen

Kun tiedetään suurin sallittu vaimennus, voidaan tiedusteluetaisyys vapaan tilan vaimennuksen tapauksessa laskea kaavasta:

$$E = \sqrt{\frac{\lambda^2 L_f}{16\pi^2}} \quad [3.5]$$

jossa on λ aallonpituus metreinä ja L_f on suurin sallittu vaimennus suhdelukuna.

$$L_f = 16\pi^2 \frac{E^2}{\lambda^2} \quad [3.6]$$

Tiedusteluetäisyys on laskettu Ku –alueen yläpäähän (15 GHz ja 18 GHz). Todellisuudessa meritorjuntaohjuksen hakeutumistutka hyödyntää suorituskyvyn optimoimiseksi taajuusalueesta arviolta alle yhden gigahertsin levyistä taajuuskaistaa, jonka sisällä taajuuden hypintä tapahtuu. Tiedusteluetäisyydet eri parametreilla on esitetty liitteessä 8.

4 LASKENNALLINEN SUORITUSKYKY

4.1 Laskentamallien luotettavuus ja tulosten tarkkuus

Tiedusteluetäisyyden arvioinnissa käytetyt laskentamallit ovat karkeita eikä parametrejä ja muuttujia ole suuresti vaihdeltu. Syynä tähän on se tosiseikka, että skenaariossa esitetyt meritorjuntaohjuksen lentovaiheet C ja D ovat yleisesti ottaen ohjuksen tyypistä riippumatta hyvin samankaltaisia. Arvioinnissa käytettyjä parametrejä ja muuttujia on pitänyt johtaa ja päätellä, mikä osaltaan heikentää lopputuloksen tarkkuutta. Koska arvioinnissa on haettu ensihavainnon ajankohtaa, ei mahdollisuutta, että ohjuksella olisi hakeutumistutka, joka ensin toimii Ku –alueella ja hyökkäysvaiheen lopussa käyttäisi Ka –aluetta, ole huomioitu.

Pinta-aluksen valvontatutkan parametrejä ei ole vaihdeltu havaintokykyä arvioitaessa. Valvontatutkan ominaisuudet ovat yhdistelmä toisistaan riippuvia ja toisiinsa vaikuttavia parametrejä, joiden yhdistelyllä pyritään valvontatutkan tapauksessa enimmäiskantaman ja maalien havaitsemisen todennäköisyyden maksimointiin. Yhden parametrin muuttaminen aiheuttaa toisen parametrin muutoksen, jotta suorituskyky säilyisi optimaalisena.

Kun huomioidaan tutkimuksen laajuus, vaatimus julkisuudesta ja tuloksen suuntaa antavuudesta, voidaan lopputulosta pitää puutteistaan huolimatta tarkoitukseen riittävänä.

4.2 Havaittavuus tutkalla

Pinta-aluksen valvontatutkan havaintokykyä on arvioitu taulukossa 2.2 esitettyjen laskenta-arvojen avulla, jolloin valvontatutkan teoreettinen enimmäiskantama kohti lentävään meritorjuntaohjukseen on 175 km. Kohti lentävä meritorjuntaohjus muodostaa valvontatutkalla tarkasteltuna pienen pistemäisen maalin, jonka tutkapoikkipinta-ala vaikuttaa ratkaisevasti havaittavuuteen. Taipumisen ansiosta voisi tutkan kantama etenemismallista riippuen olla jonkin verran tutkahorisonttia, kauempana ja kohti lentävä meritorjuntaohjus voitaisiin teoriassa havaita tutkalla n. 10 - 20 % tutkahorisonttia kauempana. Tätä vaihtoehtoa ei ole huomioitu koska kyseinen kantaman lisäys kompensoi-

tuu lentokorkeuden muutosten vaikutuksesta ohjuksen noustessa maalin etsintää ja lukitusta varten ylemmäs. Meritorjuntaohjuksen lentokorkeus ja etäisyys pinta-aluksesta sekä sijainti suhteessa tutkahorisonttiin ratkaisevat viime kädessä mikä todellinen havaintoetäisyys on. Tutkahorisontin vaikutus havaittavuuteen on esitetty tapauskohtaisesti alaluvussa 4.4.

4.3 Havaittavuus ESM -järjestelmällä

Pinta-aluksen ESM –järjestelmän teoreettinen tiedusteluetaisyys kohti lentävän meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkaan on esitetty liitteessä 7. Tiedusteluetaisyyttä on arvioitu sellaisten hakeutumistutkan parametrien yhdistelmien perusteella, jotka mahdollistavat pinta-aluksen havaitsemisen ja siihen lukkiutumisen enintään 40 km etäisyydellä ja tällöin lyhin mahdollinen teoreettinen tiedusteluetaisyys on 144,8 km. Tarkoitukseen mitoitetuilla lähetystehoilla ja antennivahvistuksilla, on ohjuksen hakeutumistutka teoriassa tiedusteltavissa pinta-aluksen ESM -järjestelmällä heti sen käynnistyessä. Lentokorkeudesta riippuu, rajoittaako radiohorisontti ohjuksen hakeutumistutkan havaitsemista. Tutkahorisontin vaikutusta havaittavuuteen on arvioitu tapauskohtaisesti alaluvussa 4.4.

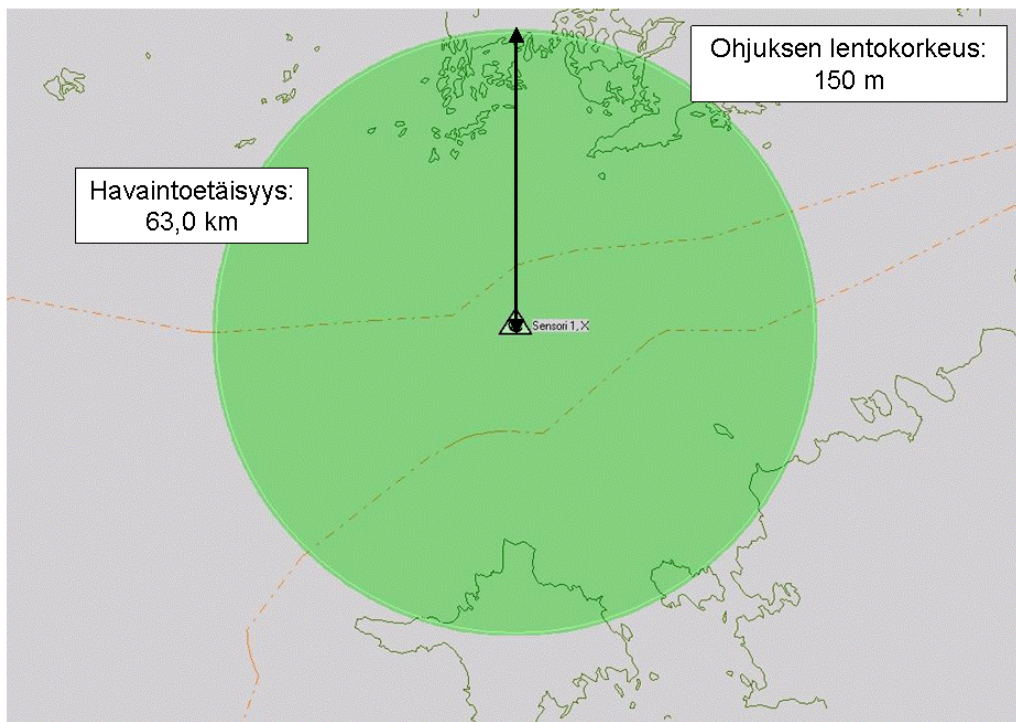
ESM –järjestelmän havaintokyky ulottuisi mm. sironnan vaikutuksesta myös radiohorisontin taakse mikäli tiedusteltava järjestelmä, tässä tapauksessa meritorjuntaohjuksen hakeutumistutka, olisi aktiivinen tutkahorisontin takana. Koska tutkan näkemäalue tunnetusti rajoittuu noin tutkahorisonttiin, ei ohjuksen hakeutumistutkaa käynnistetä ennen kuin ohjus on noussut riittävän korkealle, eli tutkahorisontin yläpuolelle, hakeakseen maalin ja lukittuakseen siihen lähestymistä varten.

4.4 Havaittavuus eri skenaarioissa

4.4.1 Skenaario 1

Kun ohjusammunta tapahtuu huomattavasti maksimikantamaa lähempänä maalia, saattaa ohjus hetkellisesti, sekuntien ajan käydä tutkahorisontin yläpuolella ennen siirtymistä matkalentovaiheeseen. Kuvassa 4.1 on esitetty meritorjuntaohjuksen hetkellinen havaittavuus kun ohjus nousee laukaisun yhteydessä 150 m korkeuteen, jolloin se on val-

vontatutkalla nähtävissä noin 63 km etäisyydeltä. Koska 150 m lentokorkeus muodostuu laukaisuvaiheen lennon lakipisteeksi, jossa ohjus on enintään joitakin sekunteja, on todennäköisyys sille, että maali havaitaan, ilmaistaan, saadaan seurantaan ja edelleen taistelujärjestelmälle torjunnan perusteeksi, ennen laskeutumista matkalentovaiheeseen B, hyvin vähäinen. Kosketus maaliin menetetään joka tapauksessa ohjuksen laskeutuessa alemmas, eikä sen liiketekijöitä kyetä luotettavasti määrittämään yhden tai kahden heijastuneen kaikupulssin perusteella. Mikäli havainto saataisiin laukaisuvaiheessa, kertoo se havainnon tekijälle tunnistamattoman, hetkellisesti 150 m korkeudessa olevan maalin olemassaolosta. Pinta-aluksen kykyä havaita meritorjuntaohjus laukaisuvaiheessa ei käsitellä tämän laajemmin, sillä oletetaan, että ammunta toteutetaan maksimikantamalta, jolloin se ei ole maalin sensoreilla havaittavissa.



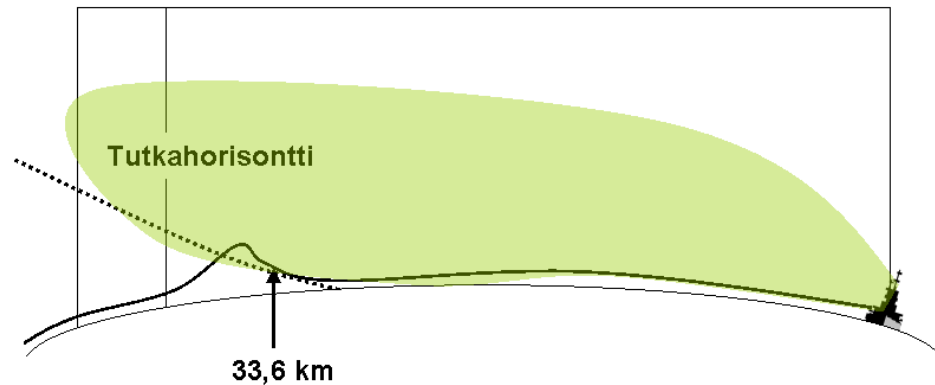
Kuva 4.1

4.4.2 Skenaario 2

Skenaariossa 2 meritorjuntaohjuksen lentokorkeus on 10 m ja etäisyys pinta-aluksesta 150 – 40 km. Kun tarkastellaan ohjuksen lentokorkeutta (10 m) ja sijaintia lentovaiheen lopussa (45 – 40 km pinta-aluksesta) suhteessa tutkahorisonttiin (33,6 km) voidaan todeta, ettei ohjus ole havaittavissa pinta-aluksen valvontatutkalla (Kuva 4.2). Vaikka ohjus on tutkan teoreettisen enimmäiskantaman sisällä, jää se tutkahorisontin taakse ja siten havaitsematta.

Lentokorkeus 10 m $\rightarrow E_{hor} = 33,6$ km

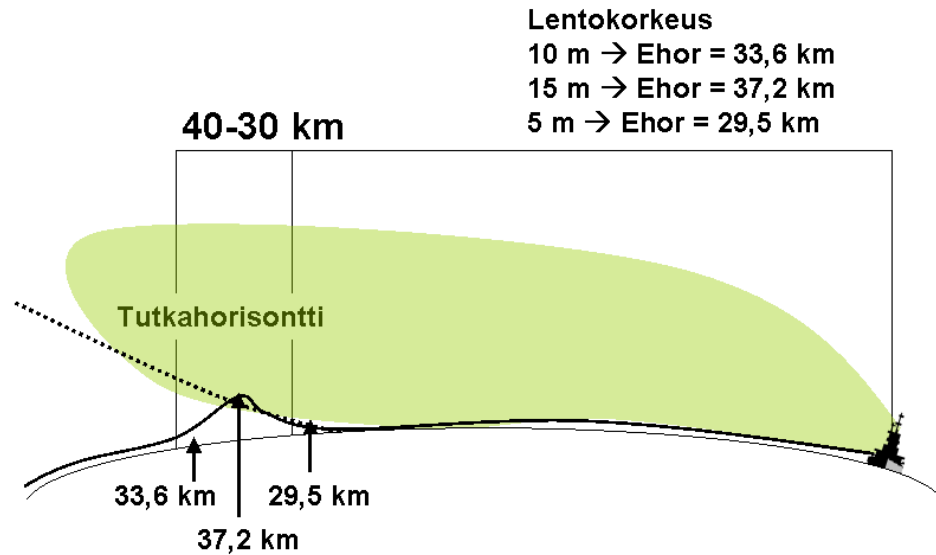
45-40 km



Kuva 4.2

4.4.3 Skenaario 3

Skenaariossa 3a meritorjuntaohjus on pinta-aluksen valvontatutkan teoreettisen enimmäiskantaman sisällä ja siten havaittavissa. Skenaariossa (Kuva 4.3) ohjuksen lentokorkeus on ensin 10 m, sitten 15 m lentovaiheen lopussa viisi metriä ja sen havaittavuutta valvontatutkalla rajoittaa tutkahorisontin etäisyys pinta-aluksesta. Lentovaiheen alussa lentokorkeudella 10 m, on tutkahorisontti etäisyydellä 33,6 km pinta-aluksesta eikä ohjusta voida havaita. Ohjuksen käynnistäessä hakeutumistutkansa noin 15 m korkeudessa on radiohorisontti 37,2 km etäisyydellä pinta-aluksesta, joka on myös etäisyys, jolla ohjus on pinta-aluksen valvontatutkalla havaittavissa. Kun ohjus on lukittunut maaliin, laskeutuu se viiden metrin lentokorkeuteen, jolloin tutkahorisontti on 29,5 km päässä pinta-aluksesta. Kun oletetaan, että ohjus saavuttaa viiden metrin lentokorkeuden ollessaan 30 km päässä pinta-aluksesta, syntyy hyvin lyhyt lentovaihe (500 metriä), jolloin ohjusta ei voida havaita sillä se nousee radiohorisontin yläpuolelle vasta 29,5 km päässä pinta-aluksesta. Tämän vaiheen kesto on ohjuksen lentonopeudella 1 M noin kahden sekunnin mittainen.

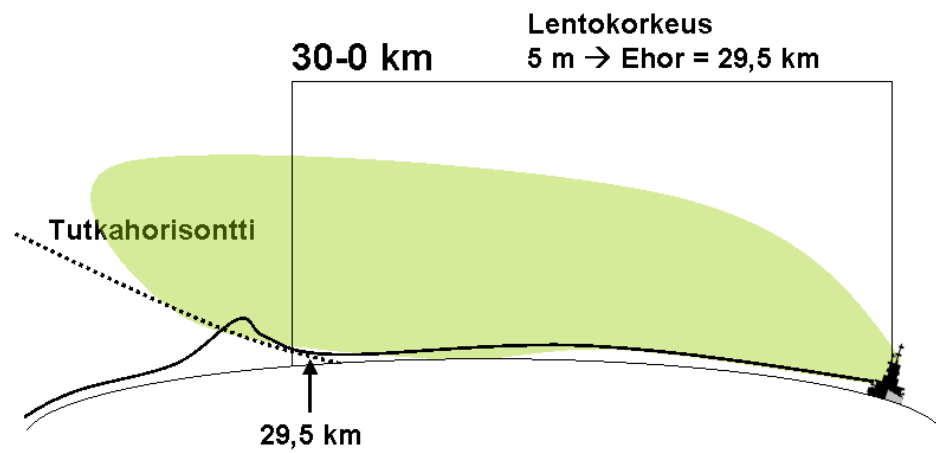


Kuva 4.3

Skenaariossa 3b pinta-aluksen ESM -järjestelmällä havaitaan kohti ammutun meritorjuntaohjuksen hakeutumistutka kun ohjus etsintä- ja lukitusvaiheessa nousee radiohorisontin yläpuolelle n. 30 - 40 km etäisyydellä pinta-aluksesta ja käynnistää hakeutumistutkansa. Ohjus kytetään pitämään ESM -järjestelmän seurannassa myös hyökkäysvaiheen ajan, edellyttäen että hakeutumistutka on aktiivinen lentovaiheen ajan. Mikäli ohjus laskeutuu viiden metrin lentokorkeuteen ennen kuin se saavuttaa 27,0 km etäisyyden pinta-aluksesta, jää ohjus hetkellisesti tutkahorisontin taakse, jolloin seuranta ei ole mahdollista 10,8 sekunnin ajan.

4.4.4 Skenaario 4

Skenaariossa 4a meritorjuntaohjus on pinta-aluksen valvontatutkan teoreettisen enimmäiskantaman sisällä (Kuva 4.4). Ohjuksen lentokorkeuden ollessa viisi metriä on radiohorisontti 29,5 km etäisyydellä pinta-aluksesta. Ohjus on jo aiemmin havaittu ja saatu seurantaan sen noustua 15 m lentokorkeuteen maalin etsintää ja siihen hakeutumista varten. Vaikka ohjus käy hetkellisesti radiohorisontin alapuolella ennen kuin se saavuttaa radiohorisontin 29,5 km etäisyydellä pinta-aluksesta, kestää seurannasta poissaolo 1 M lentonopeudella noin kaksi sekuntia, eikä ohjus katoa seurannasta.



Kuva 4.4

Skenaariossa 4b meritorjuntaohjuksen hakeutumistutka on havaittavissa pinta-alueen ESM -järjestelmällä 27 km etäisyydellä kun ohjuksen lentokorkeus on viisi metriä. Lentovaiheen alussa on kolmen kilometrin mittainen lentomatka, jolloin ohjuksen hakeutumistutkaa ei havaittaisi mutta siitä aiemmin skenaariossa 3 saatu havainto on olemassa ja tunnistettavissa heti kun ohjuksen hakeutumistutkasta saadaan uusi havainto. Koska valvontatutkan antenni on korkeammalla, pysyy ohjus sen seurannassa.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Pinta-alus kykenee valvontatutkalla havaitsemaan kohti ammutun meritorjuntaohjuksen viimeistään ohjuksen kasvattaessa lentokorkeuttaan maalin etsintää ja siihen lukitusta varten noin 37,2 km etäisyydellä pinta-aluksesta. Tämän jälkeen ohjusta kyetään seuraamaan aluksen valvontatutkalla osumishetkeen asti. Pinta-aluksen ESM –järjestelmä havaitsee ohjuksen aikaisintaan 33,8 km etäisyydellä kun se käynnistää hakeutumistutkansa. Ohjus pysyy ESM –järjestelmän seurannassa vain, mikäli sen hakeutumistutka on käynnissä.

Havainto kohti ammutusta meritorjuntaohjuksesta tehdään valvontatutkalla aikaisemmin kuin ESM –järjestelmällä, sillä valvontatutkan antenni on korkeammalla kuin ESM –järjestelmän antenni. Ohjus on siis nähtävissä valvontatutkalla ennen kuin se käynnistää hakeutumistutkansa. Sensorien integrointiasteesta ja maalifuusion tasosta riippuu, kuinka nopeasti valvontatutkan havaitsemaan maaliin kyetään yhdistämään ESM –järjestelmän hetkeä myöhemmin tekemä tunnistus uhkasignaalista ja edelleen aloittamaan ohjuksen torjunta aluksen ase- ja omasuojajärjestelmillä. Vaikka valvontatutkalla saadaan ohjuksesta ensihavainto, on ESM –järjestelmällä tehty tunnistus kuitenkin jatkotoiminnan kannalta ratkaiseva. Valvontatutkalla saatava tunnistamaton maali ei nimitäin sellaisenaan vielä aiheuta vastatoimia tai torjunnan aloitusta.

Kohti ammutun yliääniohjuksen (nopeus: 1 M) havaitsemisesta osumishetkeen kuluva aika on noin 2,1 minuuttia. Jos aliääniohjuksen nopeus on 800 km/h, on havainnosta osumishetkeen kuluva aika noin 2,6 minuuttia. Tässä ajassa havainto on kyettävä luokittelemaan, tunnistamaan ja käynnistämään vastatoimet. Pinta-aluksen kannalta on tärkeää saada havainto kohti ammutusta ohjuksesta mahdollisimman nopeasti, jolloin torjunnan käynnistämiseen on enemmän aikaa.

Hyökkääjän näkökulmasta on edullista tuoda meritorjuntaohjus tutkahorisontin alapuolella mahdollisimman lähelle maalia kuitenkin siten, että se vielä kykenee tutkahorisontin yläpuolelle noustuaan hakeutumistutkalla etsimään maalin ja lukittumaan siihen. Etäisyys, jolta ohjus maalinsa hakee, on riippuvainen maalinvalintakriteerien onnistumisesta ja toisaalta ohjuksen lentonopeudesta, joka määrittää miten paljon aikaa maalin

etsintään ja hyökkäysvaiheeseen mahdollisine maalin vaihtoineen on käytettävissä. Jos ampujan tilannekuva maalialueelta on hyvä, voidaan maalitiedot määrittää tarkasti ja maalinhaku on nopeaa. Jos tilannekuva on puutteellinen, määritetään ohjukselle maalin etsintää koskevat reunaehdot väljemmiksi, jolloin maalin etsintä saattaa kestää kauemmin. Yleisesti ottaen kaikki edellä luetellut tekijät ovat toisistaan riippuvaisia ja sellaisina myös arvioitava.

Jatkotutkimuksen tarve

Meritorjuntaohjuksen maalin valinta riippuu ennalta määritellyistä kriteereistä ja niiden täytymisestä. Ohjukselle on ennen laukaisua määritetty maalialue, jonka sisällä sijaitsee tietyt vaatimukset täyttävä maali, joita voi olla myös useampia. Hakeutumistukan avulla ohjus etsii lentovaiheen C lakipisteessä (tutkahorisontti) keilaamalla maalialueen sisällä olevat maalit ja valitsee niistä yhden. Maalivalinnan jälkeen ohjus kykenee vaihtamaan maalia esimerkiksi häirinnän seurauksena, jolloin ohjus hakeutuu ensisijaisesti kohti häirinnän lähdeä. Maalivaihto ja sen toteutustapa riippuvat suuresti siitä, missä kohti hyökkäysvaiheen (vaihe D, skenaario 4) lentoa ohjus häirinnän alkaessa on. Pintaluksen kykyä torjua kohti ammuttu meritorjuntaohjus omasuojajärjestelmällä on mallinnettu ja tarkoitukseen on olemassa ohjelmistotuotteita, joiden avulla tämän tutkimuksen arviota ohjuksen havaittavuudesta voitaisiin laajentaa koskemaan myös torjuntakykyä.

Koska tämän tutkimuksen arvio meritorjuntaohjuksen havaittavuudesta on suurimmassa määrin suuntaa antava, on jatkotutkimuksella syytä edelleen selvittää tarkemmin meritorjuntaohjuksen havaittavuutta. Erityisesti on syytä tutkia valvontatutkan todellista havaintokykyä tutkahorisonttia kauemmas kokeellisten etenemismallien ja aiemmasta tutkimuksesta saatujen mittaustulosten avulla. Mallin tarkkuuden ja etenkin aiempien tutkimustulosten hyödyntäminen asettaa puolestaan vaatimuksia tutkimuksen tietoturvaluokittelulle eikä sellainen tutkimus liene enää tämän työn lailla julkinen.

LÄHTEET

- [1] Bullington, Kenneth: Radio Propagation at frequencies above 30 Megacycles. Proceedings of the I.R.E. October 1947.
- [2] Halonen, Vesa: Tutkat tiedustelu-, valvonta- ja tulenjohtojärjestelminä. Opetusmateriaali. Sähköteknillinen Koulu. Riihimäki 2003. Aineisto on tutkijan hallussa.
- [3] Halonen, Vesa: Operatiivisen elektronisen tiedustelun järjestelmät. Opetusmateriaali. Sähköteknillinen Koulu. Riihimäki 2003. Aineisto on tutkijan hallussa.
- [4] Häkkinen Sami, Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos. Elektroniikka- ja informaatio –osasto. PVTT :n tietoturvaluokiteltujen tutkimustulosten ja tietokantojen perusteella on laadittu julkiset parametrit meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan ominaisuuksille. Aineisto on tutkijan hallussa.
- [5] Kamppinen, Matti - Kuusi, Osmo – Söderlund, Sari (toim.): Tulevaisuudentutkimus. Suomalaisen kirjallisuuden seura ry 2003.
- [6] Klemola, Olli – Lehto, Arto: Tutkatekniikka. Hakapaino. Helsinki 1998.
- [7] Kosola, Jyri - Jokinen, Janne: Elektroninen Sodankäynti, osa 1 – taistelun viides dimensio. Maanpuolustuskorkeakoulu. Tekniikan laitos. Edita Prima Oy, Helsinki 2004.
- [8] Kosola, Jyri - Solante, Tero: Digitaalinen taistelukenttä. Edita Prima Oy. Helsinki 2003.
- [9] Mannermaa, Mika: Tulevaisuuden hallinta – skenaariot strategiatyöskentelyssä. WSOY. Porvoo 1999.

- [10] Merivoimien Esikunta: Merisotaohjesääntö (MSO) Luonnos. Painatuskeskus, Helsinki 1993.
- [11] Merivoimien Esikunta. Informaatiosodankäyntisektori, ELSO –tukiryhmä. Turku 2011. Merivoimien tietoturvaluokiteltujen tietokantojen perusteella on laadittu julkiset parametrit pinta-aluksen valvontatutkan parametreille. Aineisto on tutkijan hallussa.
- [12] North Atlantic Treaty Organization, Research and Technology Organization. RTO Lecture Series 221 bis, Technologies for Future Precision Strike Missile Systems. Erik Berglund: Mission Planning Technology. Swedish Defense Research Agency. St. Joseph Ottawa/Hull Canada 2001. Aineisto on tutkijan hallussa.
- [13] Rokka, Jouko: Merivoimien omasuojajärjestelmät. Opetusmateriaali. Merivoimien Esikunta, Materiaaliosasto. Helsinki 2003. Aineisto on tutkijan hallussa.
- [14] Skolnik, Merrill I.: Introduction to Radar Systems. Second Edition. McGraw-Hill Book Company. London 1980.
- [15] Spriet, Jan A. – Vansteenkiste, Ghislain C.: Computer-aided modelling and simulation. Departement of Applied Mathematics and Biometrics. University of Ghent. Belgium. Academic Press Inc. 1982

LIITTEET

- LIITE 1 Pinta-alusten ominaisuuksia
- LIITE 2 Pinta-aluksen valvontatutkan ominaisuuksia
- LIITE 3 Pinta-alusten ESM -järjestelmien ominaisuuksia
- LIITE 4 Meritorjuntaohjusten ominaisuuksia
- LIITE 5 Meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan enimmäiskantama
- LIITE 6 Radiohorisontin etäisyys pinta-aluksesta (ESM -järjestelmä)
- LIITE 7 Radiohorisontin etäisyys pinta-aluksesta (Valvontatutka)
- LIITE 8 Meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan tiedusteluetäisyys

LIITE 1 Pinta-alusten ominaisuuksia

Alus \ Mitat (m)	Pituus	Leveys	Syväys	Antennikorkeus		Uppouma (tn)
				Tutka	ESM	
Sovremenny	156,5	17,2	6,0	28	16	6500
Neustrashimy	129,6	15,6	8,1	26	22	3000
Krivak I	123,5	14,2	7,2			3670
Bremen	130,0	14,6	6,0			3680
Brandenburg	139,0	16,7	6,8			4900
Sachsen	143,0	17,4	5,0			5600
Absalon	197,0	19,5	6,3			6300

Antennien korkeudet on arvioitu suhteessa aluksen pituuteen.

Lähteet:

<http://www.warfare.ru/?lang=&linkid=2179&catid=271> 2.3.2011

<http://www.warfare.ru/?lang=&linkid=1745&catid=270> 2.3.2011

<http://www.warfare.ru/?lang=&linkid=1744&catid=270> 2.3.2011

http://www.marine.de/portal/a/marine/kcxml/04_Sj9SPykssy0xPLMnMz0vM0Y_QjzKLNzKOD_TxBmB2d5mIfqRcNGglFR9X4_83FR9b_0A_YLciHJHR0VFAMCYG9U!/delta/base64xml/L2dJQSEvUUt3QS80SVVFLzZfMjNfUU5W?yw_contentURL=%2F01DB070000000001%2FW2698KJ4602INFODE%2Fcontent.jsp 2.3.2011

http://www.marine.de/portal/a/marine/kcxml/04_Sj9SPykssy0xPLMnMz0vM0Y_QjzKLNzKOD_QLA8mB2d5mIfqRcNGglFR9X4_83FR9b_0A_YLciHJHR0VFADV0D3Y!/delta/base64xml/L3dJdyEvd0ZNQUFzQUMvNEIVRS82XzIzX1FWQQ!! 2.3.2011

http://www.marine.de/portal/a/marine/kcxml/04_Sj9SPykssy0xPLMnMz0vM0Y_QjzKLNzKODwxzBmB2d5mIfqRcNGglFR9X4_83FR9b_0A_YLciHJHR0VFAJUOP6U!/delta/base64xml/L3dJdyEvd0ZNQUFzQUMvNEIVRS82XzIzX1FRTA!! 2.3.2011

<http://www.naval-technology.com/projects/absalon/specs.html> 1.3.2011

LIITE 2 Pinta-aluksen valvontatutkan ominaisuudet

Ominaisuus	Arvo	Huom.
Pulssiteho (kW)	800	59 dBW
Prosessointivahvistus (dB)	20	
Mittaustaajuus (Mhz)	3100	S-alue (2800 – 3300)
Etäisyyden mittaustarkkuus (m)	100	
Suurin mittausetäisyys (km)	300	
Vastaanottimen kaistanleveys (MHz)	2,0	
Kohinaluku (dB)	5,0	
Järjestelmän häviöt (dB)	4,0	
Antennivahvistus (dB)	40,0	
Antennikeilan leveys (°)	1	

Lähde:

Merivoimien Esikunta. Informaatiosodankäyntisektori, ELSO –tukiryhmä. Turku 2011

LIITE 3 Pinta-alusten ESM –järjestelmien ominaisuuksia

Ominaisuus	Taajuusalue (GHz)	Suuntatarkkuus (° RMS)	Herkkyys (dBm)	Antenni (°)	POI (%)
Järjestelmä					
Evation SLQ-380 v3	2-18	< 2		360	99
Avitronics Maritime SSIEWS	2-18	< 3,5*)	-65	360	100
Condor CS-3701	2-18	2	-65	360	100
SenSyTech WBR-2000	2-18	7	-65		100
Thales Sealion	2-18	1,5	-65	360	

*) 6-18 GHz:n alueella.

Lähteet (kirjoittajan hallussa):

Evation GmbH: TECHNICAL PROPOSAL for RESM/RECM SHIPBOARD INTEGRATED EW SYSTEM 30.5.2001

Avitronics Maritime: SSIEWS Technical Description 4.6.2001

Condor Systems: CS-3701 Microwave Surveillance System, Helmikuu 2003.

SenSyTech: The WBR-2000 ESM System 17.4.2001

Thales Defence Limited: Sealion Electronic Support Measures, Technical Description 11.3.2001

LIITE 4 Meritorjuntaohjusten ominaisuuksia

Lentoradan vaiheet on esitetty luvussa 2.3.

Vaihe Ohjus	Ominaisuus	A	B	C	D
SS-N-27 3M-54 3M-54E	Etäisyys (km)	220 -		30 - 40	20-0
	Lentokorkeus (m)	150	10 - 15		3-5
	Nopeus (M)	0.6 - 0.8			2.9
	Kantama (km)	220 (3M-54E 300)			
	Halkaisija (m)	0,533			
	Hakeutumistutka	ARGS-54			
SS-N-27 3M-54E1	Etäisyys (km)	300 -		40 - 50	30/20 - 0
	Lentokorkeus (m)	150	15		3-5 (5-10)
	Nopeus (M)	0.6 - 0.8			0.6 - 0.8
	Kantama (km)	300			
	Halkaisija (m)	0,533			
	Hakeutumistutka	ARGS-54			
SS-N-26 Yakhont	Etäisyys (km)	120/300 -		50	
	Lentokorkeus (m)				5 - 15
	Nopeus (M)	>1	>1	>1	2 -2.5
	Kantama (km)	120/300 (low/mixed trajectory)			
	Halkaisija (m)	0,7			
	Hakeutumistutka				
MBDA Exocet MM40	Etäisyys (km)	180 -			
	Lentokorkeus (m)				
	Nopeus (M)				< 1
	Kantama (km)	180			
	Halkaisija (m)				
	Hakeutumistutka	J -alue (10-20 GHz)			
Saab RBS-15	Etäisyys (km)	100			
	Lentokorkeus (m)				
	Nopeus (M)				0,9
	Kantama (km)	>100			
	Halkaisija (m)	0,5			
	Hakeutumistutka	Ku -alue (12-18 GHz) PRF haritus, taajushypintä			
Boeing Harpoon AGM84	Etäisyys	125 -			
	Lentokorkeus (m)				
	Nopeus (M)				
	Kantama (km)	> 125			
	Halkaisija (m)	0,34			
	Hakeutumistutka	J -alue (10-20 GHz)			

Lähteet

<http://warfare.ru/?lang=&catid=312&linkid=2181> 28.2.2011

<http://www.enemyforces.net/missiles/yahont.htm> 28.2.2011

<http://www.mbda->

[systems.com/mbda/site/docs_wsw/fichiers_commun/docs/pdf07_exocetmm40.pdf](http://www.mbda-systems.com/mbda/site/docs_wsw/fichiers_commun/docs/pdf07_exocetmm40.pdf)

2.3.2011

http://www2.saabgroup.com/en/ProductsServices/products_az.htm?url=http%3A//products.saabgroup.com/PDBWebNew/Generic.aspx%3FEntrance%3DProduct%26ProductC

[ategoryId%3D270%26ProductGroupId%3D337%26ProductId%3D657](http://www2.saabgroup.com/en/ProductsServices/products_az.htm?url=http%3A//products.saabgroup.com/PDBWebNew/Generic.aspx%3FEntrance%3DProduct%26ProductC) 28.2.2011

<http://www.boeing.com/defense-space/missiles/harpoon/harpoonspec.htm> **28.2.2011**

LIITE 5 Meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan enimmäiskantama

Hakeutumistutkan enimmäiskantama on esitetty tutkan lähetystehon (200 – 500 w) ja antennivahvistuksen funktiona Ku –alueella (12, 15 ja 18 GHz) pienimmän maalin ilmaisuun riittävän tehon ollessa -70 dBm, -75 dBm ja -80 dBm.

Lähetysteho		Antennivahvistus dB	ERP dBm	Kantama (km)			HUOM.
W	dBm			12Ghz	15Ghz	18Ghz	
200	53,0	35	88,0	13,2	11,8	10,8	P_{r.min}= -70dBm
		40	93,0	23,4	21,0	19,1	
		41	94,0	26,3	23,5	21,5	
		42	95,0	29,5	26,4	24,1	
		43	96,0	33,1	29,6	27,0	
		44	97,0	37,2	33,2	30,3	
		45	98,0	41,7	37,3	34,0	
300	54,8	35	89,8	14,6	13,0	11,9	
		40	94,8	25,9	23,2	21,2	
		41	95,8	29,1	26,0	23,8	
		42	96,8	32,7	29,2	26,7	
		43	97,8	36,6	32,8	29,9	
		44	98,8	41,1	36,8	33,6	
		45	99,8	46,1	41,3	37,7	
400	56,0	35	91,0	15,7	14,0	12,8	
		40	96,0	27,9	24,9	22,8	
		41	97,0	31,3	28,0	25,5	
		42	98,0	35,1	31,4	28,7	
		43	99,0	39,4	35,2	32,2	
		44	100,0	44,2	39,5	36,1	
		45	101,0	49,6	44,3	40,5	
500	57,0	35	92,0	16,6	14,8	13,5	
		40	97,0	29,5	26,4	24,1	
		41	98,0	33,1	29,6	27,0	
		42	99,0	37,1	33,2	30,3	
		43	100,0	41,6	37,2	34,0	
		44	101,0	46,7	41,8	38,1	
		45	102,0	52,4	46,9	42,8	

Alaliite 5.1

Lähetysteho		Antennivahvistus dB	ERP dBm	Kantama (km)			HUOM.
W	dBm			12Ghz	15Ghz	18Ghz	
200	53,0	42	95,0	39,4	35,2	32,1	P_{r.min}= -75dBm
		43	96,0	44,2	39,5	36,1	
		44	97,0	49,5	44,3	40,5	
		45	98,0	55,6	49,7	45,4	
300	54,8	42	96,8	43,6	39,0	35,6	
		43	97,8	48,9	43,7	39,9	
		44	98,8	54,8	49,0	44,8	
		45	99,8	61,5	55,0	50,2	
400	56,0	41	97,0	41,7	37,3	34,1	
		42	98,0	46,8	41,9	38,2	
		43	99,0	52,5	47,0	42,9	
		44	100,0	58,9	52,7	48,1	
		45	101,0	66,1	59,1	54,0	
500	57,0	40	97,0	39,3	35,2	32,1	
		41	98,0	44,1	39,4	36,0	
		42	99,0	49,5	44,3	40,4	
		43	100,0	55,5	49,7	45,3	
		44	101,0	62,3	55,7	50,9	
		45	102,0	69,9	62,5	57,1	

Alaliite 2.2

Lähetysteho		Antennivahvistus dB	ERP dBm	Kantama (km)			HUOM. P _{r.min} = -80dBm
W	dBm			12Ghz	15Ghz	18Ghz	
200	53,0	41	94,0	46,8	41,8	38,2	
		42	95,0	52,5	46,9	42,8	
		43	96,0	58,9	52,7	48,1	
		44	97,0	66,1	59,1	53,9	
		45	98,0	74,1	66,3	60,5	
300	54,8	40	94,8	46,1	41,3	37,7	
		41	95,8	51,8	46,3	42,3	
		42	96,8	58,1	51,9	47,4	
		43	97,8	65,2	58,3	53,2	
		44	98,8	73,1	65,4	59,7	
		45	99,8	82,0	73,4	67,0	
400	56,0	39	91,0	44,2	39,5	36,1	
		40	96,0	49,6	44,3	40,5	
		41	97,0	55,6	49,7	45,4	
		42	98,0	62,4	55,8	51,0	
		43	99,0	70,0	62,6	57,2	
		44	100,0	78,6	70,3	64,1	
		45	101,0	88,2	78,8	72,0	
500	57,0	39	96,0	46,7	41,8	38,1	
		40	97,0	52,4	46,9	42,8	
		41	98,0	58,8	52,6	48,0	
		42	99,0	66,0	59,0	53,9	
		43	100,0	74,0	66,2	60,5	
		44	101,0	83,1	74,3	67,8	
		45	102,0	93,2	83,4	76,1	

LIITE 6 Tutkahorisontin etäisyys pinta-aluksesta (ESM –järjestelmä)

Taulukossa on esitetty tutkahorisontin etäisyys (E_{hor}) pinta-aluksesta kun pinta-aluksen ESM -järjestelmän antenni on 19 m korkeudella meren pinnasta ja tiedusteltavan meritorjuntaohjuksen lentokorkeus (h_{ant} = tiedusteltavan järjestelmän antennikorkeus) on 1 – 2000 m.

$h_{ant}(m)$	$E_{hor}(km)$	$h_{ant}(m)$	$E_{hor}(km)$	$h_{ant}(m)$	$E_{hor}(km)$
1	22,0	14	33,2	250	82,7
2	23,7	15	33,8	300	88,9
3	25,0	20	36,2	350	94,6
4	26,1	30	40,3	400	99,9
5	27,0	40	43,8	450	104,8
6	27,9	50	46,9	500	109,6
7	28,7	60	49,6	600	118,3
8	29,5	70	52,2	700	126,3
9	30,2	80	54,5	800	133,8
10	30,8	90	56,8	900	140,9
11	31,5	100	58,9	1000	147,5
12	32,1	150	68,1	1500	176,7
13	32,7	200	75,9	2000	201,2

LIITE 7 Tutkahorisontin etäisyys pinta-alueesta (Valvontatutka)

Taulukossa on esitetty tutkahorisontin etäisyys (E_{hor}) pinta-alueesta kun pinta-alueen valvontatutkan antenni on 27 m korkeudella meren pinnasta ja tiedusteltavan meritorjuntaohjuksen lentokorkeus (h_{ant} = tiedusteltavan järjestelmän antennikorkeus) on 1 – 2000 m.

$h_{ant}(m)$	$E_{hor}(km)$	$h_{ant}(m)$	$E_{hor}(km)$	$h_{ant}(m)$	$E_{hor}(km)$
1	21,3	14	36,6	250	86,1
2	25,4	15	37,2	300	92,3
3	27,1	20	39,6	350	98,0
4	28,4	30	43,8	400	103,3
5	29,5	40	47,2	450	108,3
6	30,5	50	50,3	500	113,0
7	31,3	60	53,1	600	121,7
8	32,2	70	55,6	700	129,8
9	32,9	80	58,0	800	137,3
10	33,6	90	60,2	900	144,3
11	34,3	100	62,3	1000	151,0
12	34,9	150	71,5	1500	180,1
13	35,5	200	79,3	2000	204,7

LIITE 8 Meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan tiedusteluetaisyys

Seuraavassa taulukossa on esitetty meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan tiedusteluetaisyydet pinta-aluksen ESM -järjestelmällä taajuuksilla 15 GHz ja 18 GHz.

Suurimman sallitun vaimennuksen arvioinnissa on vaihdeltu meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan parametrejä alla olevan taulukon mukaisesti. Kyseisillä parametreillä hakeutumistutka kykenee havaitsemaan pinta-aluksen 30 – 40 km etäisyydeltä ja lukitumaan siihen hyökkäysvaiheen lentoa varten.

Hakeutumistutkan lähetysteho P_t on vaihdeltu välillä 200 – 500 W ja antennivahvistusta G_t välillä 40 - 45 dB. Tiedustelujärjestelmän isotrooppinen herkkyys on - 65 dBm. Todennäköisimmät ohjuksen hakeutumistutkan lähetystehon ja antennivahvistuksen vähimmäisyhdistelmät, joilla ohjus kykenee lukitukseen maalin etsintä- ja lukitusvaiheessa (30 - 40 km maalista), on esitetty alla olevassa taulukossa.

Lähetysteho		Antennivahvistus dB	ERP dBm	Tiedusteluetaisyys (km)	
W	dBm			15Ghz	18Ghz
200	53,0	44	97,0	200,0	167,1
300	54,8	43	97,8	218,8	182,3
		41	95,8	173,8	144,8
400	56,0	45	101,0	318,1	265,1
		43	99,0	252,7	210,6
		40	96,0	178,9	149,1
500	57,0	45	102,0	355,6	296,4
		42	99,0	251,8	209,8
		40	97,0	200,0	166,7

Pienimmällä lähetystehon ja antennivahvistuksen yhdistelmällä (300 W / 41 dB) suurin sallittu vaimennus on 160,771 dB ja sitä vastaava tiedusteluetaisyys 15 GHz taajuudella 173,9 km ja 18 GHz taajuudella 144,9 km. Tutkahorisontti rajoittaa kuitenkin meritorjuntaohjuksen hakeutumistutkan tiedusteluetaisyyttä lentokorkeudesta riippuen liitteessä 6 esitetyllä tavalla.