

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**VENÄLÄISTEN RYNNÄKKÖKONEIDEN JA MONITOIMIHÄVITTÄJIEN SENSORI-  
JA OMASUOJAJÄRJESTELMIEN TEKNINEN TARKASTELU JA NIIDEN  
VAIKUTUKSET ILMASTA-MAAHAN SUORITUSKYKYYN**

Pro Gradu -tutkielma

Kadettialikersantti  
Joni Laitinen

Kadettikurssi 92  
Ilmatorjuntaopintosuunta

Maaliskuu 2009

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Kadettikurssi 92	Linja Ilmatorjuntaopintosuunta
Tekijä Kadettialikersantti Joni Laitinen	
Tutkielman nimi VENÄLÄISTEN RYNNÄKKÖKONEIDEN JA MONITOIMIHÄVITTÄJIEN SENSORI- JA OMASUOJAJÄRJESTELMIEN TEKNINEN TARKASTELU JA NIIDEN VAIKUTUKSET ILMASTA-MAAHAN SUORITUSKYKYYN	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n kurssikirjasto
Aika Maaliskuu 2009	Sivumäärä Tekstisivuja 75, Liitesivuja 17
<b>TIIVISTELMÄ</b>  <p>Tutkimuksen aiheena on Venäläisten rynnäkkökoneiden ja monitoimihävittäjien sensori- ja omasuojajärjestelmien tekninen tarkastelu ja niiden vaikutuksen ilmasta-maahan suorituskykyyn. Tutkimustyö käsittelee venäläisten rynnäkkökoneiden SU-24 ja SU-25 sekä monitoimihävittäjien SU-27SM ja MiG-29SMT sensoreita ja omasuojajärjestelmiä sekä käytettäviä asejärjestelmiä. Tutkimuksessa muodostetaan sensori-, omasuoja- ja asejärjestelmien avulla kokonaiskuva koneiden ilmasta-maahan suorituskyvystä.</p> <p>Tutkimuksessa pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin: Mistä muodostuu ilmasta-maahan suorituskyky? Mitkä ovat Venäjän ilmavoimien yleisimmät rynnäkkökoneet ja monitoimihävittäjät ja mitä järjestelmiä niissä on? Mikä on koneen optimaalinen suorituskyky tarkasteltavaa kohdetta vastaan? Tutkimuksen sivutuotteena vastataan kysymykseen: Mikä on panssarivaunun tutkaheräte dBm<sup>2</sup> ja m<sup>2</sup> suureina?</p> <p>Tutkimuksen tutkimusmenetelminä on käytetty kirjallisuustutkimusta ja vertailevaa tutkimusmenetelmää. Järjestelmien julkisissa lähteissä ilmoitettu suorituskyky on pyritty todentamaan matemaattisesti laskien. PVTT:ssa toteutettujen simulointien avulla on voitu laskea lavettien tutkien havaitsemisetaisyysksiä.</p>	

Tutkimustyön lähdeaineisto pohjautuu julkisiin lähteisiin. Suurin osa tutkimustyön lähteistä on internetistä julkaistuja artikkeleita ja teknisiä raportteja. Lähdeaineistoa lukemalla, vertailemalla ja analysoimalla on koostettu tietoa aiheesta. Rynnäkkökoneiden ja monitoimihävittäjien tutkien suorituskyvyn muodostamiseksi toteutettiin panssarivaunun 3D-mallin tutkaherätteen simulointi. Tulosten perusteella voidaan vertailla käytössä olevien tutkien suorituskykyä.

Ilma-aseen suorituskyky pohjautuu pääosin käytettäviin sensoreihin ja laitteisiin. Sensorijärjestelmillä suunnistetaan, paikannetaan maali, osoitetaan maali käytettävällä asejärjestelmällä ja ohjataan asejärjestelmä haluttuun maaliin. Omasuojajärjestelmillä mahdollistetaan ilma-aseen toimiminen alueella vallitsevasta uhkasta huolimatta. Omasuojajärjestelmät koostuvat varoittimista ja aktiivisista vastatoimenpidejärjestelmistä..

Ilmasta-maahan suorituskykyyn vaikuttavat oleellisesti lavetin kyky havaita kohteita tutkalla, lämpökameralla ja TV-kameralla. Ilmasta-maahan suorituskykyyn vaikuttaa oleellisesti miltä etäisyydeltä kohde voidaan havaita ja miltä etäisyydeltä asejärjestelmä voidaan laukaista.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta Venäjän ilmavoimilla olevan suorituskyvyltään hyvällä tasolla olevia koneita. Suorituskykyisten koneiden lukumäärä on hyvin pieni. Suurin osa operatiivisessa käytössä olevista koneista ei ole suorituskyvyltään riittävällä tasolla. Modernisaatioiden myötä Venäjän ilmavoimat saavuttavat riittävän suorituskyvyn rynnäkkökoneille ja monitoimihävittäjille.

#### AVAINSANAT

Sensorit, omasuojajärjestelmät, asejärjestelmät, Venäläiset rynnäkkökoneet ja monitoimihävittäjät, SU-24, SU-25, SU-27SM, MiG-29SMT

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1 JOHDANTO</b>	1
1.1 Tutkimustilanne	3
1.2 Tutkimuksen käsitekartta	4
1.3 Tutkimuskysymykset	4
1.4 Tutkimuksen rajaus	5
1.5 Tutkimusmenetelmät	6
1.6 Keskeiset käsitteet	6
1.7 Lähdeaineisto ja -kritiikki	8
1.8 Tarkastelun kohde	8
<b>2 ILMASTA MAAHAN SUORITUSKYKY</b>	11
2.1 Tutka	11
2.2 Maalin havaitseminen	12
2.3 Maalinosoitussjärjestelmä	13
2.4 Heitteiden ohjaus-/ohjautusmenetelmät	14
2.5 Asejärjestelmät	15
2.6 Omasuojajärjestelmät	18
<b>3 RYNNÄKKÖKONEIDEN ILMASTA MAAHAN SUORITUSKYKY</b>	22
3.1 SU-24	22
3.1.1 ORION -eteenkatsova rynnäkkötutka ja Relief-maastonseurantatutka	23
3.1.2 Integroitu navigointi ja tähtäysjärjestelmä PNS-24 ja PNS-M	24
3.1.3 Kaira 24/M elektro-optinen sensorijärjestelmä	26
3.1.4 APK-9 -datalinkkipodi	27
3.1.5 APP-50A silpun- ja soihdunlevitin	27
3.1.6 SPO-15 -tutkavaroitin	28
3.1.7 LO-82 MAK-UL infrapunavaroitin	30
3.1.8 SU-24 ilmastamaahan aseistus mahdollisuudet	30
3.1.9 SU-24:n ilmastamaahan suorituskyky tarkasteltavaan kohteeseen	32
3.2 SU-25	36
3.2.1 KOPYO-25-tutkapodi	37
3.2.2 Klen-PS laseretäisyysmittari ja -osoitin	39

3.2.3 SUV-25T-ammunnanhallinta- ja navigointijärjestelmä	40
3.2.4 Shkval-maalinosoitujärjestelmä	40
3.2.5 Mercuri LLLTV -järjestelmä	42
3.2.6 SPS-141MVG-E -aktiivinen tutkahäirintäjärjestelmä	43
3.2.7 L-166SI – ohjusten häirintäjärjestelmä	44
3.2.8 ASO-2V ja BVP-50-30 silpun- ja soihdunlevitin	44
3.2.9 SU-25 ilmastamaahan aseistus mahdollisuudet	45
3.2.10 SU-25:n ilmastamaahan suorituskyky tarkasteltavaan kohteeseen	47
3.3 SU-34	50
3.4 SU-25SM	53
<b>4 MONITOIMIHÄVITTÄJIEN ILMASTA MAAHAN SUORITUSKYKY</b>	<b>55</b>
4.1 SU-27SM	55
4.1.1 SUV-27 ammunnanhallintajärjestelmä	57
4.1.2 RLPK-27 tutkatähtäysjärjestelmä ja N001V tutka	57
4.1.3 OEPS-27 elektro-optinen tähtäysjärjestelmä	58
4.1.4 SEI-31 integroitu osoitinjärjestelmä	60
4.1.5 PNK-10 suunnistusjärjestelmä	60
4.1.6 EW -omasuojajärjestelmä	60
4.1.7 SU-27SM ilmastamaahan aseistus mahdollisuudet	61
4.1.8 SU-27SM:n ilmastamaahan suorituskyky tarkasteltavaan kohteeseen	62
4.2 MIG-29SMT	65
4.2.1 Sapfir-29 ammunnanhallintajärjestelmä ja N-019MP tutka	66
4.2.2 OEPrNK-29 tähtäys- ja suunnistusjärjestelmä	68
4.2.3 Omasuojajärjestelmät	69
4.2.4 MiG-29SMT ilmastamaahan aseistus mahdollisuudet	69
4.2.5 MiG-29SMT:n ilmastamaahan suorituskyky tarkasteltavaan kohteeseen	71
<b>5 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>74</b>

## **LÄHTEET**

## KUVAT

**Kuva 1:** Tutkijan luoma käsitekartta tutkimukselle

**Kuva 2:** Simuloinneissa käytetty panssarivaunun 3D-malli

**Kuva 3:** Venäläinen T-80 MBT

**Kuva 4:** Ilma-aseen omasuojajärjestelmän mahdolliset osat

**Kuva 5:** Orion-A rynnäkkötutka ylempänä ja Relief -maastonseurantatutka alempana SU-24 rynnäkkökoneen nokassa

**Kuva 6:** SU-24 rynnäkkökoneen Relief -maastonseurantatutkan kuva

**Kuva 7:** SU-24 rynnäkkökoneen sisäänrakennettu suunnistus- ja tähtäysjärjestelmä PNS-24 ohjaamossa oikealla

**Kuva 8:** Kaira-24M laserosoitin SU-24M rynnäkkökoneen pohjassa

**Kuva 9:** Todennäköinen SU-24 rynnäkkökoneen Kaira-24 näytön kuva

**Kuva 10:** SU-24 rynnäkkökone laukaissut soihtuja

**Kuva 11:** SU-27 "Flanker" hävittäjässä käytetty SPO-15 tutkavaroitin näyttö

**Kuva 12:** SU-24 pyrstössä oleva SPO-15 tutkavaroitin sensori

**Kuva 13:** LO-82 MAK-UL infrapunavaroittimen sensori SU-24 rynnäkkökoneessa

**Kuva 14:** SU-25 lähitulitukikone

**Kuva 15:** Kopyo-tutkapodi

**Kuva 16:** Kopyo-25 tutkapodin prototyyppi asennettuna SU-25TM rynnäkkökoneeseen

**Kuva 17:** Klen-Ps järjestelmä asennettuna SU-25 rynnäkkökoneeseen

**Kuva 18:** Shkval –järjestelmä

**Kuva 19:** Shkval -järjestelmän kuvaa SU-25 rynnäkkökoneen hyökätessä panssarivaunua vastaan

**Kuva 20:** Mercuri LLLTV -järjestelmän linssit laajalle ja kapealle näkökentälle

**Kuva 21:** Mercuri LLLTV -järjestelmän kamerasäiliö SU-25TM rynnäkkökoneessa

**Kuva 22:** SPS-141MVG-E häirintäjärjestelmän säiliö

**Kuva 23:** L-166SI – häirintäjärjestelmän lähetin SU-25T rynnäkkökoneeseen asennettuna

**Kuva 24:** SU-25 rynnäkkökoneen pyrstössä oleva silpun- ja soihdun levitin

**Kuva 25:** SU-25TM koneeseen kiinnitettyinä ovat vasemmalta alkaen Kh-29L, AT-16 Vihri, Kh-25, rakettisäiliö ja R-27T ilmataisteluoohjus

**Kuva 26:** SU-34 pommittamassa kohdetta korkealta

**Kuva 27:** SU-34 koneeseen kiinnitetty B-004 –tutkan prototyyppi

**Kuva28:** SU-25SM:n uusi ohjaamo, jossa HUD-näyttö keskellä ylhäällä sekä oikealla ja vasemmalla kaksi LCD-näyttöä

**Kuva 29:** SU-27SM:n ohjaamo

**Kuva 30:** N001 tutka

**Kuva 31:** OLS-27 sensori on sijoitettu ohjaamon kuomun etupuolelle

**Kuva 32:** Sorbtsiya ECM -säiliö Su-27 siipeen kiinnitettynä

**Kuva 33:** MiG-29 hävittäjä

**Kuva 34:** MiG-29SMT IRST laitteisto

**Kuva 35:** MiG-29SMT monitoimihävittäjän mahdollisia asejärjestelmiä

## **TAULUKOT**

**Taulukko 1:** Ohjautusmenetelmien jako

**Taulukko 2:** Venäläisiä ohjautuvia ja vapaasti putoavia pommeja

**Taulukko 3:** Olosuhteiden vaikutus ilmasta–maahan asejärjestelmien käytettävyyteen

**Taulukko 4:** Venäläisiä ilmastamaahan ohjuksia

**Taulukko 5:** Venäläisiä ilmataisteluoohjuksia

**Taulukko 6:** Sukhoin ilmoittamat aseistus vaihtoehdot SU-24 rynnäkkökoneelle

**Taulukko 7:** Sukhoin ilmoittamat aseistus vaihtoehdot SU-25 rynnäkkökoneelle

**Taulukko 8:** Taulukko SU-27:n ja SU-27SM:n yleisistä ominaisuuksista



## **LIITTEET**

**Liite 1** TAULUKKO VENÄLÄISISSÄ SOTILASKONEISSA KÄYTETTÄVISTÄ TUTKISTA JA NIIDEN OMINAISUUKSISTA

**Liite 2** SÄHKÖMAGNEETTISEN SPEKTRIN OSA-ALUEET

**Liite 3** SU-24 RYNNÄKKÖKONEEN ERI VERSIOT

**Liite 4** SU-25 RYNNÄKKÖKONEEN ERI VERSIOT

**Liite 5** SU-27 HÄVITTÄJÄN ERI VERSIOT

**Liite 6** MIG-29 HÄVITTÄJÄN ERI VERSIOT

**Liite 7** PVTT:SSA CAST-OHJELMALLA TOTEUTETUN SIMULOINNIN TULOKSET

## **LYHENTEET**

AA – Air to Air, ilmasta ilmaan

AG- Air to Ground, ilmasta maahan

MLU – Mid Life Update, elinkaaripäivitys

HUD – Head Up Display

LLTV – Low Light Television, heikonvalon kamera

SAR – Synthetic Aperture Radar

FLIR – Forward Looking Infra Red – eteenkatsova lämpökamera

MTOW – Maximum Take Off Weight

KAB – korrektiruyemaya aviatsionnaya bomba, ohjattava ilmapommi

RBK – razovaya bombovaya kasseta, kertakäyttöinen kasettipommi

ODAB – obyomno-detoniruyushchaya aviatsionnaya bomba, hävityspommi

OFAB – oskolochno-fugasnaya aviatsionnaya bomba, sirpale/HE ilmapommi

GPS – Global Positioning System, länsimainen satelliittipaikannusjärjestelmä

GLONASS – Global Navigation Satellite System, venäläinen satelliittipaikannusjärjestelmä

INS – Inertial Navigation System

TWT – Travelling Wave Tube

GMTI – Ground Moving Target Indicator, liikkuvan maa maalin ilmaisin

EO – Electro Optical, elektro-optinen

ECM – Electronic Counter Measures, elektroniset vastatoimenpiteet

LCD – Liquid Crystal Display

MFD – Multi Function Display, monitoiminäyttö

IFF – Identification Friend or Foe, omatunnistuslaite

TWS – Track While Scan

CEP – Circular Error Probable, todennäköinen osumistarkkus

HE – High Explosive

RCS – Radar Cross Section, tutkapoikkipinta-ala

# **VENÄLÄISTEN RYNNÄKKÖKONEIDEN JA MONITOIMIHÄVITTÄJIEN SENSORI- JA OMASUOJAJÄRJESTELMIEN TEKNINEN TARKASTELU JA NIIDEN VAIKUTUKSET ILMASTA-MAAHAN SUORITUSKYKYYN**

## **1 JOHDANTO**

Sotateknisen kehityksen pohjalla on useimmiten sotakokemukset ja teoreettinen tutkimus sekä käytännön kokeet. Sodan kuva muuttuu ja sitä muuttuvat vaatimukset asejärjestelmille. Teoreettista tutkimusta ja käytännön testaustoimintaa yhdistellen saadaan kehitettyä mahdollisimman hyvin tehtäväänsä soveltuva uusi asejärjestelmä.

Nykypäivän kriisit ja kehitystyö osoittavat että ilma-aseen merkitys on edelleen kasvamassa. Onnistuneen operaation edellytyksenä on ilmaherruuden saavuttaminen, vihollisen valvonta- ja johtamiskyvyn lamauttaminen. Hyvä esimerkki operaation aloittamisesta voimakkaalla ilma-aseen käytöllä on Yhdysvaltojen hyökkäys Irakiin keväällä 2003.

Asejärjestelmien kehityksessä yleisestikin sensorien merkityksen nähdään kasvavan. Tiedon tarve lisääntyy joka tasolla ja sen hankkimiseen paras keino on kehittää hyvä sensorijärjestelmä. Sensoreiden tuottama informaatio on myös yksi edellytyksistä operaation onnistumiselle.

Venäjän ilmavoimien entinen komentaja, kenraalievosti Kornukov toteaa helmikuussa 2004, että maan ilmapuolustus on kokonaisuutena surkeassa, mutta ei kuitenkaan toivottomassa kunnossa. Kenraali Kornukov toteaa myös, että Venäjän ilmapuolustuksen välineistö ja aseistus on varojen ja modernisoinnin puutteessa ollut vuosikymmeniä lähes ennallaan.

Venäjän hävittäjä kalusto tulee pysymään samana noin vuoteen 2020. Osan uuden 5-sukupolven hävittäjien sarjavalmistus, kuten SU-27SM2, on aloitettu. Venäjällä, kuten muuallakin maailmassa, suuntalinjana on pidentää käytössä olevien koneiden elinkaarta tekemällä niihin modernisointeja. Modernisoinneilla saadaan aikaan perinteisistä ilmaherruushävittäjistä monitoimikoneita (multi-role fighter), joiden parannetulla avioniikalla ja uusilla asejärjestelmillä saadaan AA-kyvyn lisäksi AG-kyky. Suomessa vastaavanlaista päivitystä (MLU 1 ja 2, mid-life update) ollaan tekemässä F-18 Hornet kalustolle.

Venäjällä tulee säilymään sen nykyinen hävittäjäkalusto operatiivisessa käytössä 2020+. Venäjällä on aloitettu PAK FA -projekti uuden 5. sukupolven hävittäjän saamiseksi. Sen tulisi korvata nykyinen SU-27 ja MiG-29 kalusto. Kyseisen koneen sarjatuotannon oletetaan alkavan noin vuonna 2020.

Modernisointien myötä uhkakuva muuttuu. Yhdellä konekalustolla kyetään taistelemaan mahdollisia torjuntahävittäjiä vastaan tie kohteelle, saamaan vaikutus kohteeseen ja taistelemaan tie pois kohteelta. Näin olleen ei tarvita perinteiseen, rautakankimaiseen, rynnäkköoperaatioon suurta määrää suojahävittäjiä. Konekaluston monitoimisuus mahdollistaa pienemmän konekaluston ylläpidon, joka on myös huomattavasti taloudellisempaa.

Venäjän tämänhetkinen operatiivisessa käytössä olevat rynnäkkö- ja lähitulitukikoneet ovat suurimmilta osin kehitetty jo 1970-luvulla. SU-24 rynnäkkökone oli 1970- ja 1980-luvulla vielä yksi kehittyneimpiä rynnäkkökoneita. Rynnäkkökonekalusto on sama, jota venäläiset käyttivät jo Afganistanin-sodassa. Tshetshenian-sotien kokemukset ovat osaltaan edesautta- neet uusien laitteiden kehittämisen tai jo käytössä olleiden järjestelmien modifioinnin. Järjestelmien kehityksen myötä on rynnäkkökonekalustoon saatu elintärkeitä päivityksiä, mutta sil- ti venäläinen, operatiivisessa käytössä oleva, rynnäkkökone on suorituskyvyltään jäljessä länsimaiseen kalustoon verrattuna. Georgian kriisin oppien pohjalta todettiin kaluston olevan surkeassa kunnossa. Georgian kriisin jälkeen Venäjän presidentti Dmitri Medvedev lupasi li- särahoitusta juuri SU-24 ja SU-25 koneiden modernisointiin. SU-24 ja SU-25 konekalusto tulee olemaan operatiivisessa käytössä vielä vuoteen 2020 asti.

Myös rynnäkkökonekaluston osalta on Venäjällä aloitettu uusia projekteja. Uusi SU-34 mo- nitoimihävittäjällä on tarkoitus korvata SU-24 konekalusto. Ensimmäiset koneet on jo luovu- tettu Venäjän Ilmavoimille, mutta koneen operatiivinen käyttö alkanee ensivuosisikymmenel-

lä. Venäjän Ilmavoimat on tilannut 58 kappaletta SU-34 monitoimikoneita vuoteen 2015 mennessä. Arvioiden mukaan SU-34 lopulliseksi lukumääräksi tulee noin 200 kappaletta.

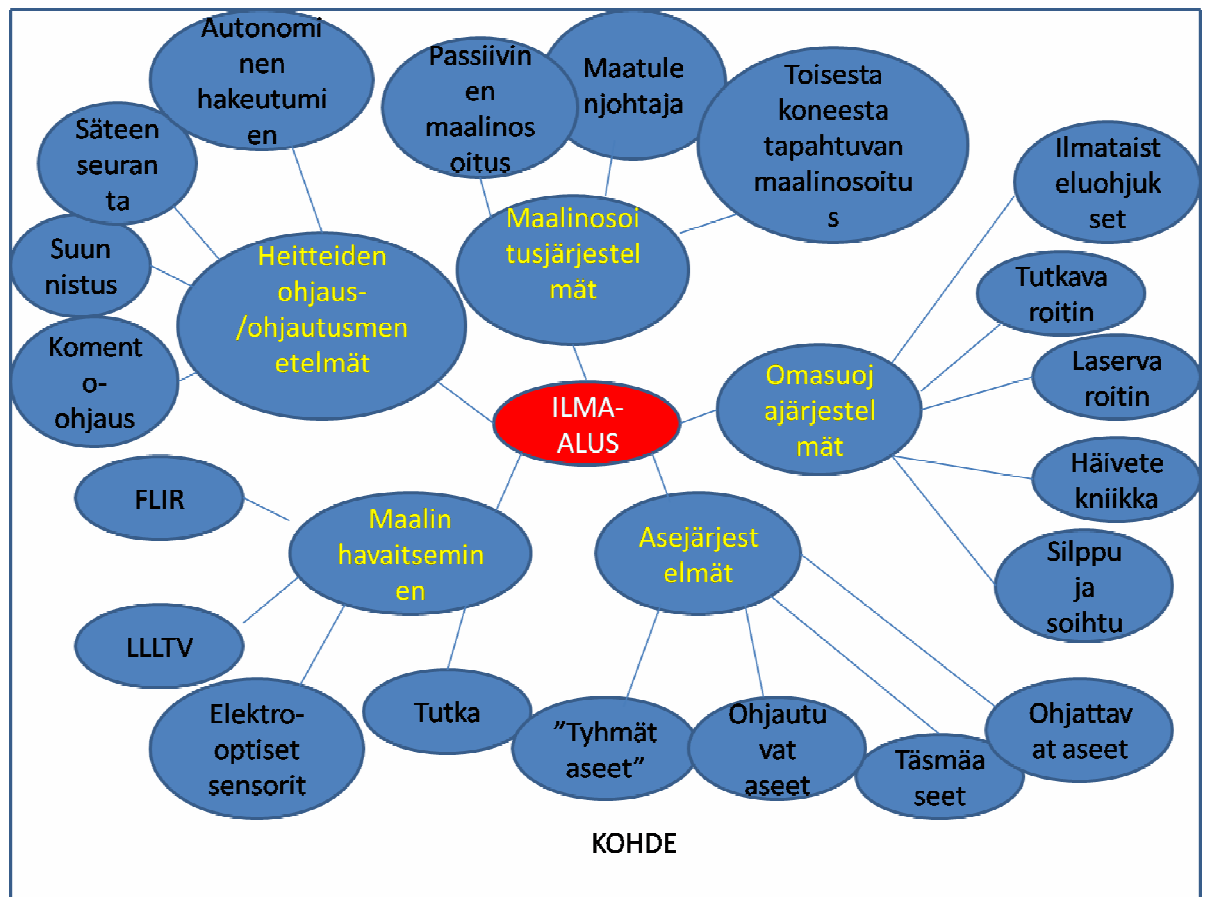
### 1.1 Tutkimustilanne

Tutkimustehtävä on tuoda esille venäläisten operatiivisessa käytössä olevien rynnäkkökoneiden ja monitoimihävittäjien suorituskyky teknisiä tutkimusmenetelmiä käyttäen.

Tutkimuksessa tarkastellaan Venäläisten rynnäkkö- ja monitoimikoneiden suorituskykyä panssarivaunua vastaan. Tutkimukseen liittyen toteutettiin Puolustusvoimien Teknisessä Tutkimuslaitoksessa simulointi RCS tutkapoikkipinta-aloihin liittyen. Simuloinneissa laskettiin Cast-ohjelmalla venäläisen T-80 panssarivaunun perusteella laaditun 3D-mallin tutkapoikkipinta-alat tutkimuksessa esiintyvien tutkien taajuusalueiden perusteella. Cast-ohjelma on VTT:n Suomen puolustusvoimille tuottama ohjelma, jolla voidaan simuloida kohteen tutkapoikkipinta-aloja ja tarkastella kohteen häiveominaisuuksia. Cast-ohjelmaa käytetään merivoimien alushankkeisiin liittyen.

Yksittäisiä tutkimuksia aiheesta on tehty, mutta ei kovinkaan laajasti. Venäjällä tällä hetkellä käynnissä olevat modernisoinnit tekevät tutkimuksen tarpeelliseksi. Tutkittavat järjestelmät tulevat olemaan operatiivisessa käytössä ainakin vuoteen 2020 saakka. Pro Gradu –tutkimus on suoraa jatkoa kandidaatin tutkimukselle, jonka aiheena oli ”Venäläisten rynnäkkökoneiden SU-24 ja SU-25 ilmasta-maahan suorituskyky.

## 1.2 Tutkimuksen käsitekartta



**Kuva 1:** Tutkijan luoma käsitekartta tutkimukselle

## 1.3 Tutkimuskysymykset

1. Mistä muodostuu ilmasta-maahan suorituskyky?
2. Mitkä ovat Venäjän ilmavoimien yleisimmät rynnäkkökoneet ja monitoimihävittäjät?
  - Mitä ilmastamaan suorituskykyyn vaikuttavia järjestelmiä koneissa on käytössä?
  - Mikä on ilmastamaan suorituskykyyn vaikuttavien eri järjestelmien teknisen ominaisuudet ja suorituskyky?
  - Mitkä ovat koneissa käytettävien omasuojajärjestelmien ominaisuudet ja suorituskyky?
  - Mitä asejärjestelmiä koneista voidaan käyttää?
3. Mikä on koneen optimaalinen suorituskyky tarkasteltavaa kohdetta vastaan?
  - Kuinka kaukaa kohde voidaan havaita?
    - Millä järjestelmällä kohde havaitaan miltäkin etäisyydeltä?
  - Kuinka kaukaa voidaan laukaista asejärjestelmä?
    - Mikä asejärjestelmä?
    - Mikä on asejärjestelmän osumistarkkuus ja vaikutusalue?

Tutkimuksen sivutuotteena vastataan liitteessä 7 kysymyksiin;

- Mikä on panssarivaunun tutkaheräte dBm<sup>2</sup> ja m<sup>2</sup> suureina?
- Mistä suunnasta ja millä lentokorkeudella muodostuu suurin tutkaheräte?
- Miten eri taajuuksien käyttö vaikuttaa tutkapoikkipinta-alan muodostumiseen?

#### 1.4 Tutkimuksen rajaus

Tutkimuksessa perehdytään operatiivisessa käytössä olevien konekalustojen tutkimiseen ja niiden modernisointien mukana tulevien uusien järjestelmien suorituskyvyn tutkimiseen. Tutkimuksessa sivutaan lähitulevaisuudessa operatiiviseen käyttöön tulevien konetyyppien ominaisuuksia ja tilannetta. Tutkimuksessa ei niinkään tarkastella koneen aerodynamiikkaa eikä lentomekaniikkaa vaan koneiden sensoreita, jotka suoranaisesti vaikuttavat ilmastamaahan suorituskyvyn muodostamiseen. Monitoimikoneiden osalta tarkastellaan ilmastamaahan kykyä, eikä molempia AA- ja AG-kykyä. Tutkimus on tekninen eikä tutkimuksessa oteta kantaa Venäjän ilma-aseen taktiseen käyttöön.

Tutkimuksessa ei huomioida sään vaikutusta, maantieteellisiä erikoisominaisuuksia ja alueelle mahdollisesti sijoitettuja ilmapuolustuksen joukkoja. PVTT:ssa toteutettujen simulointien perusteella saaduissa tutkan havaitsemisettäisyksissä ei ole otettu huomioon maavälkettä tai muuta tutkan suorituskykyyn vaikuttavia osatekijöitä.

Tutkimuksen tulokset ovat optimaalisia ja ne ovat täysin teoreettisia. Lukijan tulee pohtia suorituskykyä heikentäviä tekijöitä tarkastellessaan tutkimuksen tuloksia muodostaakseen realistisemmän suorituskyvyn. Suorituskykyyn heikentävistä vaikuttavista tekijöistä ovat sää- ja valaistusolosuhteet, maastouttaminen ja naamiointi, maavälke, alueen ilma- ja hävittäjätorjunta.

Asejärjestelmien osalta tutkimus on hyvin yleisellä tasolla ja se ei ole tutkimuksen pääkohta, mutta oleellisesti ilmasta-maahan suorituskykyyn vaikuttava tekijä.

Tutkimuksessa ei käsitellä elektroniseen sodankäyntiin tai tiedusteluun suunnattuja rynnäkkökoneita tai monitoimihävittäjiä, kuten SU-24MR ja SU-24MP.

Julkisista lähteistä ei ole löydettävissä tutkien vastaanottimien minimitehoa, jonka tutka kykenee käsittelemään ja tunnistamaan kohteen. Laskuissa käytetään yleistä arvoa maassa olevien kohteiden mittaukseen. Tekniikan lisensiaatti Antti Rissasen mukaan yleisesti ottaen vastaanottimen käsittelykyky on -90dB maassa oleville kohteille. -90dB on tehona ilmaisuna  $10^{-9}$  Wattia.

Joidenkin tutkien osalta ei julkisista lähteistä ole saatavilla kaikkia tarvittavia tietoa maksimaalisen mittausetäisyyden laskemiseksi. Näiden tutkien osalta on tehty yleistyksiä muiden vastaavien tutkien ominaisuuksista.

### 1.5 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus on tekniikan tutkimus. Tutkimusmenetelmänä on käytetty sekä kirjallisuustutkimusta että vertailevaa tutkimusmenetelmää.

Tutkimuksesta suurin osa pohjautuu kirjallisuustutkimukseen. Ilma-alusten tutkien suorituskykyä on pyritty havainnollistamaan matemaattisesti laskemalla ja PVTT:ssa toteutetuilla simuloinneilla. Näin päästään julkisissa lähteissä järjestelmistä ilmoitettujen teknisten ominaisuuksien, kuten lähetysteho ja taajuusalue, osalta tarkempaan informaation ja saadaan todistettua ilmoitettu tieto todeksi tai epätodeksi. [34]

### 1.6 Keskeiset käsitteet

Keskeisimpinä käsitteinä on sähkömagneettinen spektri, elektro-optiikka, maalin etsintä ja havaitseminen, tähtääminen, omasuojajärjestelmät, heitteen ohjaaminen ja ohjautuminen kohteeseen sekä näiden järjestelmien yhteensovittaminen. Asejärjestelmistä keskeisimpiä käsitteitä ovat niiden sensorit ja hakupäät.

Rynnäkkökoneilla annetaan välitöntä tulitukea maa- ja merivoimille. Rynnäkkökoneilla suoritetaan taistelualueen eristämistä ja ilmapuolustuksen lamauttamista. [29]

Rynnäköilmavoimien tehtävänä on taistelujoukkojen tukeminen, vastustajan taktisessa tai operatiivisessa lähisyvyydessä sijaitsevan elävän voiman ja etulinjan läheisten kohteiden sekä vihollisen lentovoiman tuhoaminen.



Monitoimihävittäjällä tarkoitetaan useaan eri tehtävään soveltuvaa ilma-alusta. Monitoimihävittäjä kykenee suorittamaan sekä ilmasta ilmaan operaatioita että ilmastamaahan operaatioita. Venäjällä tällainen kone on esimerkiksi SU-27SM.

AA-kykyllä tarkoitetaan ilmataisteluun tarkoitettua kykyä. AA-kyvyn omaava kone kykenee toimimaan torjuntahävittäjänä, ilmaherruushävittäjän ja suojahävittäjänä.

AG-kykyllä tarkoitetaan ilmastamaahan suorituskykyä. AG-kyvyn omaava kone kykenee hyökkäämään maasijoitteista kohdetta vastaan.

Sensori on laite, jonka avulla kohteen lähettävä säteily tai kohteesta heijastunut säteily vastaanotetaan ja tulkitaan. Erilaisilla sensoreilla kyetään vastaanottamaan ja tulkitsemaan erilaisia suureita, kuten aaltoliike, paine, kemiallinen emissio, magneettisuus tai kohteesta tuleva sähkömagneettinen säteily. Sensorit voivat myös toimia eri spektrin alueella, kuten RF, infrapuna, näkyvä valo tai UV-alue. Sensoreita on aktiivisia ja passiivisia. Aktiivinen sensorilähettää itse säteilyä ja tulkitsee kohteesta heijastuneen säteilyn. Näin toimii esimerkiksi maalinosoitustutka 87. Passiivinen sensorilähtee säteilyä, vaan vastaanottaa ja tulkitsee kohteesta itsestään lähtevää säteilyä, esimerkiksi rynnäkkökoneissa käytettävä laservaroitin. [3]

Elektroninen sodankäynti on sähkömagneettista säteilyä käyttävien tai lähettävien järjestelmien tiedustelua ja valvontaa ja niihin vaikuttamista sekä suojautumista näiden järjestelmien vaikutuksilta. Elektroninen sodankäynti jakautuu elektroniseen tukeen, elektroniseen vaikuttamiseen sekä elektroniseen suojautumiseen. [6]

Elektroninen maalinosoitus on reaaliaikaista maalien etsintää, havaitsemista, paikantamista ja tunnistamista, jonka tavoitteena on asejärjestelmän tarvitsevan maalitiedon tuottaminen. [6]

Aktiivisella suojaumisella tarkoitetaan aktiivisia elektronisen sodankäynnin toimia, joilla pyritään elektronisen uhan havaitsemiseen, paikantamiseen ja tunnistamiseen ja näiden perusteella jatkamaan omaa tehtävää estämällä vihollisen elektroninen tai aseellinen vaikutus. Aktiivisia elektronisen suojaamisen tärkeimpiä keinoja ovat omasuojahäirintä, suojahteet ja suojaava harhauttaminen. [6]

CW-tutka, eli jatkuvan lähetteen tutka, lähettää kiinteällä taajuudella jatkuvaa lähetettä. CW-tutkalla voidaan mitata vain kohteen nopeus ja sirontakerroin. CW-tutka lähettää ja vastaanottaa samanaikaisesti lähetteitä. CW-tutkaa kutsutaan myös kantoaaltotutkaksi. [14]

LLLTV (Low Light Level Television) on nimitys valonvahvistimesta. LLLTV:lla kykenee tuottamaan kuvan kun paljaalla silmällä ei näe. [27]

Sähkömagneettinen spektri on kaiken sähkömagneettisen säteilyn, kuten radioaaltojen, infrapunan, näkyvän valon, ultraviolettivalon, röntgensäteilyn ja gammasäteilyn taajuuksien joukko. Liitteessä 3 on esitetty sähkömagneettisen spektrin osa-alueet. [30]

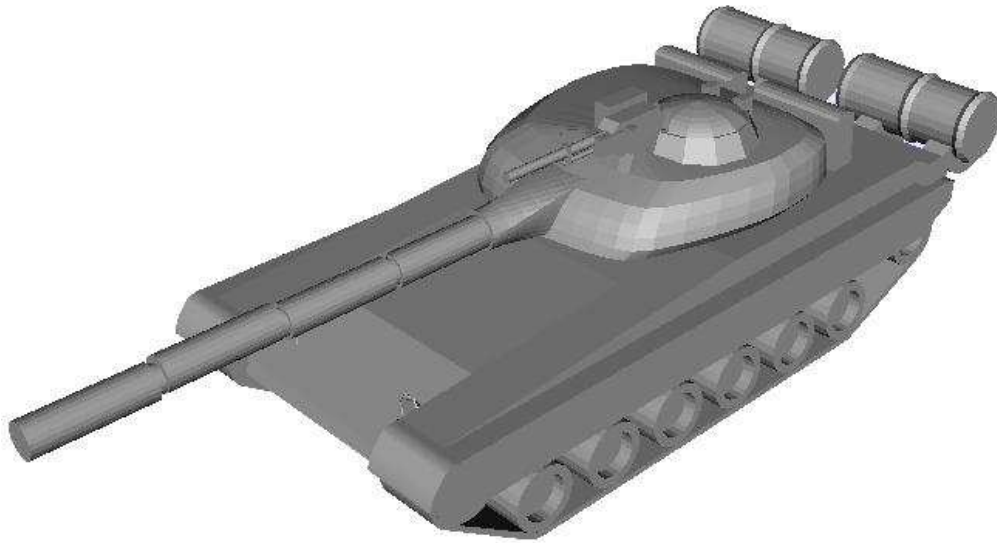
### 1.7 Lähdeaineisto ja -kritiikki

Lähteiksi pyritään valitsemaan Suomessa ja maailmalla koostettuja sotateknisiä kehitysarvioita ja venäläisiä uudempia järjestelmiä koskevia raportteja. Lähdekritiikillä pyritään valitsemaan mahdollisimman luotettavat lähteet ja saadut tiedot pyritään varmistamaan useammasta lähteestä. Tutkielmassa käytetään paljon Internet-lähteitä. Lähteiden tiedot varmistetaan useasta eri lähteistä. Lukijan tulee suhtautua kriittisesti tutkimuksessa todettuun tietoon, sillä tutkimuksen lähteet ovat julkisia ja osa on laitevalmistajien ilmoittamaa tietoa.

### 1.8 Tarkastelun kohde

Tutkimuksen tarkastelun kohteena on venäläisten T-80 panssarivaunusta pohjalta laadittu malli. Mallin perusteella toteutettiin simuloinnit. Simuloinneissa käytetyn 3D-mallin ja T-80 panssarivaunun välillä on pieniä eroja, esimerkiksi mallin leveys- ja pituusmittoja on hieman muutettu. Kohteen perusteella voidaan tehdä suuntaa antavia johtopäätöksiä muihinkin panssarivaunuihin. Yleisesti ottaen venäläisissä panssarivaunuissa on pienempi tutkaheräte kuin länsimaisissa.

Simuloinnit toteutettiin nollan asteen korotuskulmasta 45 asteeseen. Vaakatasossa tutkaheräte mitattiin 360 astetta kohteen ympäri. Mittauksessa ohjelma käyttää 1 watin tehoa ja siinä signaali tulee äärettömän kaukaa. Ohjelma tuottaa jokaiselle suunnalle tutkaherätteen muodossa dB/m<sup>2</sup>. Simulointi ohjelma eri ota huomioon sään vaikutusta eikä kohteen materiaalia. Tutkaheräte muodostuu kohteen koosta, muodoista ja kulmasta, jolla lähetetty signaali osuu kohteeseen.



**Kuva 2:** Simuloinneissa käytetty panssarivaunun 3D-malli. [61]



**Kuva 3:** Venäläinen T-80 MBT. [21]

Yleisesti tarkastelussa kohde on staattisesti jollain alueella eikä sitä ympäröivää maastoa oteta huomioon. Kohteen lämpöherätettä ei ole simuloitu vaan sen suorituskyky saadaan kirjallisuustutkimuksella ja sen osalta lähteissä ilmoitettu tieto muodostaa sen suorituskyvyn.

Asejärjestelmien vaikutuksessa ei huomioida kohteen panssarointia kuin hyvin yleisesti otamalla.

Tutkimuksessa rynnäkkökoneiden ja monitoimihävittäjien osalta tarkastellaan optimaalista suorituskykyä kohdetta vastaan sensoreiden ja asejärjestelmien osalta.

Liitteessä 7 on esitetty simuloinneista saatuja tuloksia.

## 2 ILMASTA MAAHAN SUORITUSKYKY

### 2.1 Tutka

Sotilastutkat jaetaan ennakkovaroitus-, valvonta-, seuranta-, tulenjohto-, kartoitus-, navigointi- ja säätutkiin sekä hakupäätutkiin. Rynnäkkökoneissa käytetään pääosin kaikkia muita tutkia kuin säätutkaa. Rynnäkkökoneiden tutkat ovat useimmiten monostaattisia tutkia. Monostaattisessa tutkassa lähetin ja vastaanotin ovat sijoitettuna samaan laitteistotilaan. Monostaattinen tutka voi käyttää joko samaan antennia lähettämiseen ja vastaanottamiseen tai molempiin tarkoituksiin on omat antennit. Rynnäkkökoneiden tutkilla on kyettävä kattamaan mahdollisimman suuri alue joka puolelta koneen keskilinjaa. Tutka mahdollistaa rynnäkkökoneilla joka sään toimintakyvyn.

Joissakin ilma-aluksissa on käytössä SAR-tutka (Synthetic Aperture Radar). SAR-tekniikka mahdollistaa laajojen alueiden tiedustelun ja sillä kyetään näkemään kasvuston sekä osittain maan alle. SAR-tutkan resoluutio vaihtelee 0,5 metristä 35 metriin. SAR-tutkaa kyetään muodostamaan hyvä kuva rynnäkkökoneiden maalialueista. SAR-tutkan avulla ilma-alus kykenee maastontiedusteluun ja maalien etsintään.

Tutkat tulevat säilymään ilma-alusten pääsensorina. Tutkan mittaustarkkuus tulee kehittymään vieläkin paremmaksi ja sillä saavutetaan erinomainen mittausetäisyys myös huonoissa olosuhteissa. Tutkan heikkoutena on sen häirinnänsietokyky.

Rynnäkkökoneiden tutkille tärkeitä ominaisuuksia ovat tutkan kantama, tutkan peittoalue jonka suuntaan ja kuinka monta seurantaa ja lukitusta tutkalla kyetään saamaan samanaikaisesti. [3], [35]

Tutka on tärkein sensori, jolla saadaan aikaan joka sää- ja valaistusolosuhteissa toimimaan kykenevä rynnäkkökone tai monitoimihävittäjä.

## 2.2 Maalin havaitseminen

Maalin havaitsemiseen tutkan lisäksi käytetään useita sensoreita koneesta riippuen. Yleisimpiä pimeätoimintakyvyn mahdollistavat järjestelmiä maalin havaitsemiseen ovat erilaiset infrapuna-alueella toimivat kamerat. Useimmissa ilma-aluksissa tämä on toteutettu FLIR-kuvaus (Forward Looking Infra Red) järjestelmällä. IR-kameralla saadaan kuvaa kohdealueen lämpöjakaumasta, jonka perusteella voidaan havaita kohde, jota vastaan on tarkoitus toimia. Suurin osa infrapunajärjestelmistä toimii joko 3-5 $\mu\text{m}$  tai 8-12 $\mu\text{m}$  aallonpituuskaistalla.

Infrapunajärjestelmät eivät vaadi ulkoista valoa, toisin kuin perinteiset valonvahvistinjärjestelmät vaan lämpökameroilla muodostetaan kuva kohteiden ja taustan lämpösäteilyn eroista. Infrapunaetsin ja -seuraaaja on useimmiten sijoitettu koneen etuosaan tai koneen ripustimiin kiinnitettävä irrallinen säiliö. Tutkaan verrattuna infrapunasensoreiden etu on että se on passiivinen eikä se paljasta konetta niin helposti kuin itsessään säteilevä tutka. Infrapunasensorit eivät säteily itsessään ulospäin mitään vaan mittaavat kohteesta säteilevää sähkömagneettista säteilyä. Heikkoutena tutkaan verrattuna on infrapunasensoreiden mittausetäisyys. IR-sensoreiden tekniikalla ei päästä hyvissäkään olosuhteissa samoihin mittausetäisyyksiin kuin tutkalla. Lisäksi ilmakehän kosteus ja pilvet heikentävät IR-sensoreiden havaintoetäisyyttä.

Hyvissä sääolosuhteissa maalin havaitsemiseen käytetään päivänvalokameraa. Päivänvalokameralla kyetään suurentamaan kohde ohjaamon ruudulle, joka mahdollistaa tarkemman maalien erottelun. Lähes kaikissa käytettävissä laveteissa on käytössä päivänvalokamera.

Myös valonvahvistimia voidaan käyttää ilma-aluksissa hämärissä ja pimeissä olosuhteissa maalien havaitsemiseen. Valonvahvistin toimiakseen tarvitsee ulkoista valoa. Valonvahvistimella kyetään erottamaan eritavalla säteilyä heijastavia kohteita toisistaan. Koneeseen kiinteästi sijoitetun valonvahvistimen tapauksessa digitaalinen kuvankäsittely ja hahmontunnistus mahdollistavat valonvahvistimen käytön myös maalinosoituksessa.

Tulevaisuudessa, ja jo nykypäivänä, yhä useammat sensorijärjestelmät tullaan integroimaan toisiinsa entistä paremmin. Tällöin maalitietoja kyetään vertailemaan ja yhdistämään. Järjestelmien integroimisella saadaan parempi kuva kohteesta ja päästään parempaan tarkkuuteen. Tulevaisuudessa myös lavettien sensoreiden tuottama informaatio saadaan käytettäväksi muihin lavetteihin. [3], [34], [35]

Maali kyetään havaitsemaan myös koneen omasuojajärjestelmien avulla. Kehittyneimmät tutkavaroitimet ilmoittamat havaitsemansa tutka-aallon tulosuunnan ja kulmatiedon, joiden avulla saadaan mittavaan tutkan paikka melko tarkasti tietoon. Samoten ohjuslaukaisun paikannin ja infrapunavaroitin kykenevät tuottamaan ohjaajalla paikkatietoa kohteesta.

### 2.3 Maalinosoitujärjestelmä

Maalinosoitamiseen voidaan käyttää useita eri menetelmiä. Maali voidaan osoittaa käytettävälle asejärjestelmälle lavetin omien sensoreiden avulla. Nykyään myös maalinosoitus voidaan ottaa vastaan joltain muulta lavetilta, jolloin asejärjestelmän laukaisevan lavetin ei tarvitse käyttää omia sensoreitaan eikä se tällöin paljastu niinkään helposti.

Kehittyneimmille asejärjestelmille (Stand-Off Weapons) voidaan syöttää maalin koordinaatipaikka jo maassa. Tällöin ohjaajan tarvitsee vain ohjata lavetti tiettyyn ”laatikkoon” ja laukaista ase. Ase saamiensa paikkatietojen perusteella osuu kohteeseensa.

Erityisesti maajoukoille annettavassa lähitulituessa käytetään maatulenojohtoa. Maasijoitteinen tulenojohtaja osoittaa maalin koneelle käyttäen esimerkiksi laserosoitinta. Myös erikoisjoukkoja käytetään osoittamaan maaleja ilma-aluksille. [2], [3], [34], [35]

## 2.4 Heitteiden ohjaus-/ohjautusmenetelmät

Ohjautusmenetelmät jaetaan useimmiten neljään pääluokkaan ja niiden alaluokkiin seuraavalla tavalla:

Suunnistus	Komento-ohjaus	Säteen seuranta	Autonominen hakeutuminen
inertia	manuaalinen	lasersädeohjaus	aktiivinen
satelliittipaikannus	puoliautomaattinen	tutkasädeohjaus	puoliaktiivinen
maastonseuranta	automaattinen		passiivinen

### Taulukko 1: Ohjautusmenetelmien jako

Suunnistusmenetelmässä aseelle ohjelmoidaan sen lentoreitti ja ase saatetaan haluttua reittiä pitkin ohjelmoituun kohteeseen. Suunnistusjärjestelmiä käytettäessä lavetin, aseiden tai kohteen välillä ei tarvita näköyhteyttä, vaan ase ohjautuu ohjelmoitujen tietojen perusteella kohteeseen.

Komento-ohjautuksessa ase saa ohjauskomennot aseiden laukaisseelta lavetilta. Lavetista on kyettävä seuraamaan kohdetta sekä asetta. Ohjaus perustuu yleisimmin aseiden ohjaamiseen näköyhteyksireittiä pitkin suoraan haluttuun kohteeseen.

Säteenseurantajärjestelmässä aseiden laukaissut lavetti lähettää laser- tai tutkasäteen haluttuun kohteeseen, jota ase seuraa. Säteenseurantajärjestelmissä lavetilla tarvitsee olla jatkuva esteettön yhteys kohteeseen. Lavetin lähettävä säde muodostaa ns. sädekujan, jonka keskipisteeseen ase hakeutuu. Ase päättelee autonomisesti oman sijaintinsa sädekujassa ja laskee korjauskomennot sekä muuttaa lentorataansa sen perusteella.

Autonomisesti hakeutuvissa järjestelmissä lavetti osoittaa aseelle maalin laukaisuvaiheessa tai ase havaitsee maalin itse. Ase hakeutuu maalista syntyvän herätteen perusteella maaliin.[4]



## 2.5 Asejärjestelmät

Ilma-alusten asejärjestelmät voidaan luokitella ohjuksiin, pommeihin ja ammusasejärjestelmiin. Venäläisten rynnäkkökoneiden pääaseistuksena Tshetshenian sodissa toimivat tavanomaiset rautapommit, raketit, kasettipommit, laser- ja TV-ohjatut pommit sekä ohjukset. Tshetshenian sodissa SU-24M koneella käytettiin erittäin menestyksekkäästi laser- ja TV-hakupäällä varustettuja KAB-500 –perheen pommeja. Tshetshenian sodasta voidaan todeta, että Venäjän ilma-aseen tarkkuus ei ollut riittävä ja etenkin huonoissa olosuhteissa oman ilma-aseen pommitukset tuottivat tappioita omille joukoille. [4], [36]

<b>Malli (NATO nimike)</b>	<b>Toimintapa</b>	<b>Lau- akaisu- nopeus</b>	<b>Vaikutus- alue</b>	<b>Lau- kaisukor- ke- us/etäisyy- s</b>	<b>Osuma- tarkkuus (CEP)</b>	<b>Taistelu- lataus</b>
KAB-500/1500Kr	TV/EO ohjattu yleispommi. Lukittava ennen laukaisua.	550 – 1100 km/h	1500m <sup>2</sup>	500 – 5000m	KAB-500Kr, 4m KAB-1500KR, 2 – 20m	500Kr, 195kg HE
KAB-500L	Laserohjattu yleispommi.	550 – 1100 km/h	1500m <sup>2</sup>	500 – 5000m. 5000 metrin korkeudesta 9km	7-10m	195kg HE
KAB-1500L/F/L-PR	Puoliaktiivinen laserohjattu pommi.	550 – 1000km/h	L-PR tunkeutumiskyky 2 metriä vahvistettua betonia/20 metriä maata.	1000-5000m L-PR jopa 20km etäisyydeltä kohteesta.	7-10m	L/F 1180 kg HE Blast L-PR 1100 kg HE Penetration
ODAB-500	Vapaasti putoava ilmaräjähde. Aiheuttaa alipaineen ja suuren kuumuuden.	500 - 1100km/h	30 metrin säteellä jalkaväkeen.	200-1000m	-	193 kg korkeenergistä polttoainetta.

OFAB-250	Vapaasti putoava sirpalepomme	500 – 1200km/h	Läpäisee 40 metrin säteellä kevyesti panssaroituja ajoneuvoja ja henkilön 155 metrin säteellä.	500-12000m	-	94kg HE
RBK-500	Kasettipomme, jossa voi olla useita erilaisia tytäripommeja	ei tietoa	AO-1 SCh tytäripommeilla jopa 9600m <sup>2</sup>	Tytärpommien läpäisykyky jopa 120mm terästä.	-	Max 75kpl PTAB-2,5M tytäripommeja.

**Taulukko 2:** Venäläisiä ohjautuvia ja vapaasti putoavia pommeja. [21], [40]

Pommien käytettävyys nykyaikaisissa sodissa tulee säilymään edelleen. Tämä johtuu etenkin niiden edullisuudesta ja ne ovat erittäin yksinkertaisia valmistaa. Aikaisemmissa sodissa ongelmaksi muodostunutta osumistarkkuutta on pyritty parantamaan kehittämällä erilaisia ohjautuvia pommeja. Ohjautuvat pommit on kehitetty tavanomaisen pommin pohjalta asentamalla niiden runkoon ohjausjärjestelmä ja hakupää. Ohjausjärjestelminä pommeissa toimii TV- ja laserohjaus. Ohjautuvissa pommeissa ongelmaksi muodostuu edelleen niiden rajoitettu käyttö huonoissa sääolosuhteissa. [19], [35]

Pommien vaikutustapoja on paljon erilaisia. Ne on jaoteltu käyttötarkoituksen mukaan. Perinteisimpiä pommeja ovat sirpale- ja painevaikutukseen perustuvat pommit. Muita yleisiä Venäläisiä pommeja, joiden vaikutustapa perustuu:

- aerosoliräjähteeseen,
- ontelolataukseen,
- laskuvarjolla aikaansaatavaan pystysuoraan iskuun,
- sirpale-paine vaikutukseen,
- hidasteeseen tai kohteen yläpuolella toimivaan säädettävään sytyttimeen,
- maassa edelleen halkeileviin ja yläviistoon ponnahtaviin tytärammuksiin ja
- polttovaikutukseen. [39]

Ohjusten rooli tulee tulevaisuudessa kasvamaan. Yhä yleistyvämmin vaikutus kohteeseen pyritään tekemään kaukaa risteilyohjuksilla ja liitopommeilla. Asekuorma kyetään toimittamaan kohteeseen jopa satojen kilometrien etäisyydeltä hyvällä osumistarkkuudella. Tällöin

aseenlaukaissut lavetti ei joudu kohde ilmatorjunnan ulottuville eikä ole niin suurta vaaraa, että kone tulee ammutuksi alas.

	<b>pimeys</b>	<b>pilvet</b>	<b>savu</b>	<b>sumu</b>	<b>sade</b>
lentopommi	soveltuu	soveltuu	soveltuu	soveltuu	soveltuu
TV-pommi	estää	estää	estää	rajoittaa	rajoittaa
laserpommi	soveltuu	estää	estää	rajoittaa	estää
raketti	soveltuu	estää	rajoittaa	rajoittaa	rajoittaa
tykki	soveltuu	estää	rajoittaa	rajoittaa	rajoittaa
TV-ohjus	estää	estää	estää	rajoittaa	rajoittaa
laserohjus	soveltuu	estää	estää	rajoittaa	estää
GPS/GLONASS	soveltuu	soveltuu	soveltuu	soveltuu	soveltuu
tutkasäteilyyn hakeutuva ohjus (ARM)	soveltuu	soveltuu	soveltuu	soveltuu	soveltuu

**Taulukko 3:** Olosuhteiden vaikutus ilmasta–maahan asejärjestelmien käytettävyyteen. [23]

Ohjusten suunnistaminen voidaan suorittaa satelliitti-, lennokka tai muun vastaavan järjestelmän tuottaman ilmatilannekuvan perusteella. Tällöin aseessa itsessään oleva sensori (IR tai optinen) kuvaa maastoa ja vertaa sitä sille ulkoisesti tuotettuun tietoon. [2], [35]

Ohjuksissa on käytössä useita eri hakeutumis- ja ohjausmenetelmiä, joita on yleisesti esitetty luvussa 4.4. Alla on esiteltyinä yleisimpiä Venäläisiä ilmastamaahan ohjuksia.

<b>Malli (NATO nimike)</b>	<b>Toimintapa</b>	<b>Nopeus</b>	<b>Lau- kaisuetäi- syys</b>	<b>Lau- kaisukor- keus</b>	<b>Osuma- tarkkuus (CEP)</b>	<b>Taistelu- lataus</b>
Kh-25 (AS-10)	L, laserohjattu. MR. radiokomento-ohjattu T/MT, tv/EO -ohjattu	3100 km/h	40-60 km	50-10 000 m	5m	90kg
Kh-25MP (AS-12)	Säteilyyn hakeutuva	3100 km/h	40-60 km	50-10 000 m	5m	90kg

Kh-58 (AS-11)	Säteilyyn ha- keutuva	450- 600m/s	10- 120(200)km	200-1500m	~5m	150kg
Kh-59 (AS-13)	TV-ohjattu	278m/s	2-200km		3-5m	315kg
Kh-29 (AS-14)	L,laserohjattu MP, säteilyyn hakeutuva T, TV-ohjattu	800m/s	Kh-29L 2-8 km Kh-29T 3-14 km	200-10 000 m	5-8 m	317kg
Kh-31 (AS-17)	A, aktiivinen tutkahakupää. P, säteilyyn hakeutuva	1000m/s	70-110 km	50-15 000 m	5-8 m	90kg
Kh-35U (AS-20)	Aktiivinen tutkahakupää	135m/s	5- 130km	200-5000m	>5m	145kg

**Taulukko 4:** Venäläisiä ilmastamaahan ohjuksia. [38], [40]

Raketit ovat Venäjän oman arvion mukaan edelleen käyttökelpoisia suuren tuhovaikutuksensa vuoksi. Venäjällä on esimerkiksi käytössä S-13 raketti, johon on kehitetty taistelukärkeä, joissa on kaksoisontelolataus. Yleisimpiä venäläisiä raketteja ovat 80mm S-8 –raketit. [39]

## 2.6 Omasuojajärjestelmät

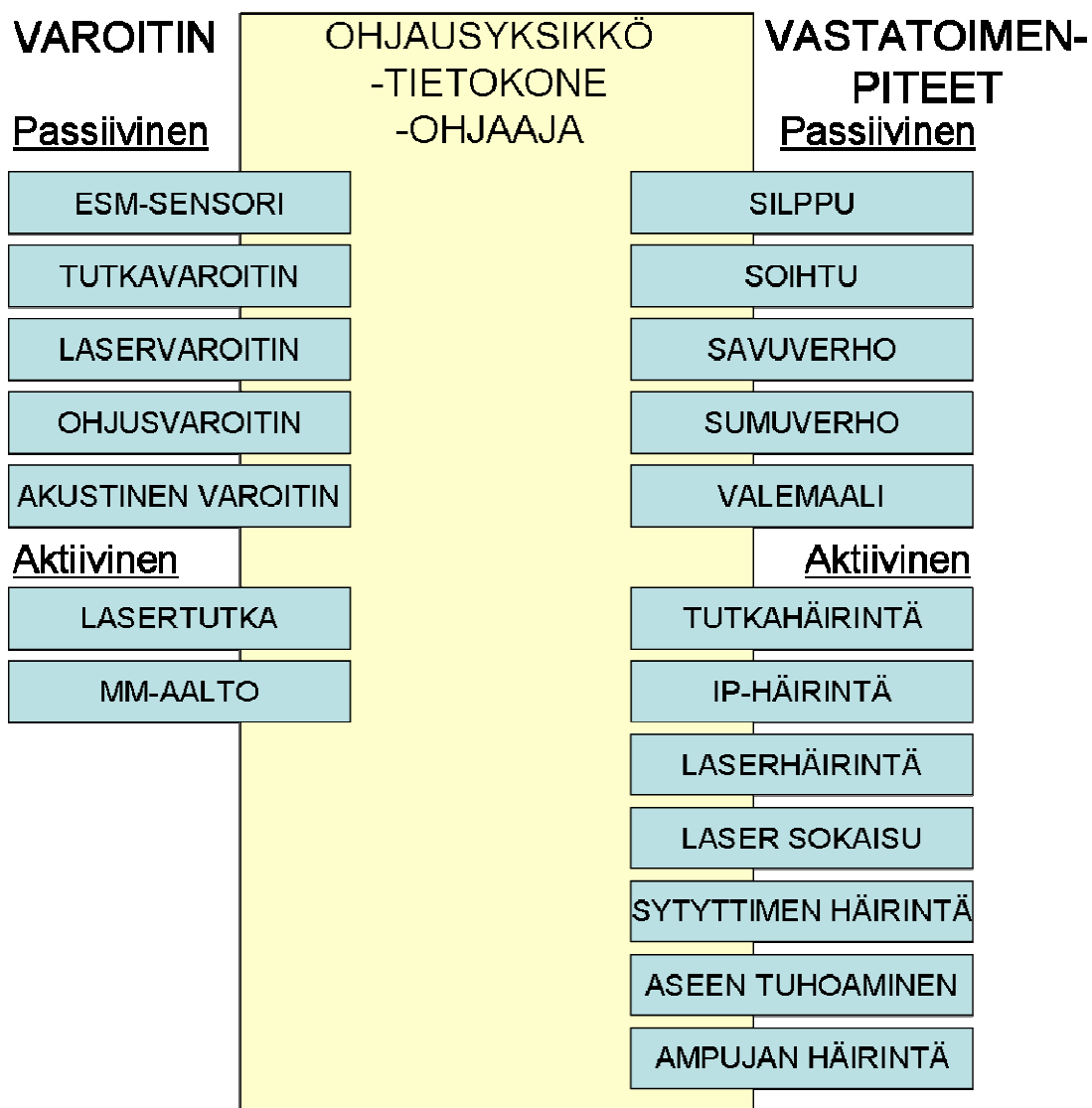
Omasuojajärjestelmät ovat olennainen osa kohteen kokonaissuojaa. Ne liittyvät kiinteästi sekä tilannetietoisuuteen että lavetista lähtevän herätteen, signaalin, minimointiin.

Häivetekniikka on ilma-alusten monimutkaisin, kallein ja aikaa vievin omasuojajärjestelmä. Häivetekniikka tulee tulevaisuudessa olemaan ilma-alusten tärkein omasuojajärjestelmä. Häivetekniikalla saadaan vähennettyä kohteesta lähtevää herätettä, joka vaikeuttaa lavetin havaitsemista erilaisilla sensoreilla. Häivetekniikka ei kuitenkaan ole kehittynyt niin paljoa, että sillä saataisiin lavetille muodostettua riittävä suojan. Ilma-aluksiin on lisätty muita omasuojajärjestelmiä, kuten silppu- ja soihdunheitin, tutkavaroitin, laservaroitin ja ohjuksen laukaisun lämpöpaikannin.

Omasuojajärjestelmien tavoitteena on estää vastustajan aseiden käyttö omaa järjestelmää vastaan. Ilma-alusten ja varsinkin rynnäkkökoneiden omasuojajärjestelmien ensisijaisena tavoitteena on saada vastustajan käyttämät järjestelmät harhautumaan maalistaan. Useita asejärjestelmiä vastaan yksinkertaiset väistöliikkeet, sumun ja sateen tai maastoesteen hyväksi käyttö on helpoin keino harhauttaa vihollisen asejärjestelmiä.

Omasuojajärjestelmän rakenne riippuu käytettävästä lavetista, sen tärkeydestä ja siihen kohdistuvasta uhkasta. Esimerkiksi rynnäkkökoneisiin kohdistuva uhka muodostuu tutkista ja erilaisista sensoreista havaitsemisen osalta. Ammus- ja ohjusasejärjestelmät muodostavat suurimman uhan rynnäkkökoneiden tehtävän toteuttamiselle. Ohjusjärjestelmien muodostamaan uhkaan vaikuttaa ohjuksissa käytettävä hakeutumis- tai ohjautustapa ja ohjuksen ominaisuudet ylipäänsä. Näiden järjestelmien muodostaman kokonaisuhan perusteella rynnäkkökoneille valitaan sellainen omasuojajärjestelmä, että se kykenee suorittamaan annetun tehtävän toiminta-alueella vallitsevasta uhkasta huolimatta.

Ilmataisteluohjukset ovat tärkeä osa rynnäkkökoneen omasuojajärjestelmää.



**Kuva 4:** Ilma-aseen omasuojajärjestelmän mahdolliset osat.

Rynnäkkökoneiden häirintäjärjestelmien tavoitteena on estää vihollisen järjestelmien toimiminen kohdetta vastaan. Häirintäjärjestelmillä pyritään omalla aktiivisella toiminnalla estämään vihollisen tiedustelujärjestelmien, häirintäjärjestelmien ja asejärjestelmien toimiminen kohdetta vastaan. Häirintäjärjestelmillä heikennetään vihollisen toimintakykyä vaikuttamalla sen elektronisiin järjestelmiin. Esimerkiksi tutkaan kohdistuva elektroninen häirintä supistaa tutkan mittausetäisyyttä. [2]

<b>Malli (NATO nimike)</b>	<b>Loppu ha- keutumi- nen/sytytin</b>	<b>Nopeus, Max G</b>	<b>Lau- kaisuetäi- syys</b>	<b>Taajuus- alue</b>	<b>Ohjautus</b>	<b>Taistelu- lataus</b>
R-27 (AA-10)	Aktiivinen tutkahakupää loppuvaiheessa	1,4 Mach, 8g	0,5 – 110km	10 – 20 GHz	T/ET, infrapuna R/ER/EM, Inertian, komento ja SAR AE, Inertia, komento ja aktiivinen tutka	33kg /39kg
R-73 (AA-11)	IRST	12g	0,3 – 30km (40)	-	Inertia, IRST	7,4kg
R-77 (AA-12)	Heräte sytytin (laser)/iskusytytin	12g	0,3 - 80km	ei tietoa	Inertia, komento ja aktiivinen tutka	22,5 kg HE sirpaloituva
R-60 (AA-8)	IR,	12g	T, max 8km M, max 10km	-	IR	6 kg
R-33 (AA-9)	IR, herätesytytin	4g (8g)	2,5 – 120 (160km)	ei tietoa	Inertia, komento ja puoliaktiivinen tutka	47kg HE sirpaloituva
KS-172 RVV-L	Herätesytytin (tutka)	4 Mach, 12g	400km	ei tietoa	Inerti ja aktiivinen tutka	50kg
R-37 (AA-X-13)	Herätesytytin	6 Mach, 4g	230 (300)km	ei tietoa	Inertia, komento ja aktiivinen tutka	60kg

**Taulukko 5:** Venäläisiä ilmataisteluhjuksia. [21], [40]

### 3 RYNNÄKKÖKONEIDEN ILMASTA MAAHAN SUORITUSKYKY

#### 3.1 SU-24

SU-24 on Venäjän ilmavoimien käyttämä rynnäköpommittaja. Kone on kaksipaikkainen ja sillä on ilmatankkauskyky. Koneen miehistöön kuuluvat lentäjä ja suunnistaja/aseoperaattori. SU-24 rynnäkkökoneen kehitystyö aloitettiin jo 1970-luvulla. Tämän hetkiset operatiivisessa käytössä olevat koneet ovat pääosin kolmatta ja neljättä kehitysversiota. Venäjän ilmavoimissa on tällä hetkellä käytössä noin 400 SU-24 koneen eri versioita. [40]

SU-24M on alkuperäisen SU-24:n modernisoitu versio. SU-24M:n on asennettu uusi PNS-M suunnistus- ja ammunnanhallintajärjestelmä sekä Orion-A pulssidopleritutka. Näillä uusilla järjestelmillä kone kykenee käyttämään paremmin laser- ja TV -ohjattuja ohjuksia ja pommeja. Koneessa voidaan käyttää hyvin laaja valikoima eri pommeja, ohjuksia ja raketteja. Koneen asekuorma on noin 3000-6000 kg. Asekuorman suuruuteen vaikuttaa lentokorkeus, toimintasäde ja käytettävä aseistus. Joissakin lähteissä mainitaan SU-24 asekuorman olevan maksimissaan jopa 8000 kg. [12], [17]

Uusin SU-24 koneesta kehitetty versio on nimeltään SU-24M2. Koneen toimitukset Venäjän ilmavoimille aloitettiin vuonna 2007. Modernisoinnin tarkoituksena on jatkaa koneen käyttöä noin vuoteen 2020 saakka. Ilmoitusten mukaan lopullinen päivitettyjen koneiden määrä tulisi olemaan noin 400. Tärkeimmät SU-24M2 koneeseen tulevat modernisoinnit ovat HUD (Head Up Display), uusi tieto- ja radiojärjestelmä. Lisäksi koneen suunnistusjärjestelmää parannetaan sekä koneeseen tullaan lisäämään GPS-paikannusjärjestelmä (Global Position System). Järjestelmien parantamisella ja uusien järjestelmien asentamisella koneeseen on väitetty, että tavanomaisten rautapommien tarkkuudessa päästään samalle tasolle täsmäaseiden kanssa. SU-24M2 koneeseen tehtävät päivitykset mahdollistavat uusien venäläisten täsmäaseiden sekä ohjautuvien- että ohjattavienpommien tehokkaamman käytön. [40]



### 3.1.1 ORION -eteenkatsova rynnäkkötutka ja Relief -maastonseurantatutka

SU-24 ”Fencer” rynnäkkökoneessa on käytössä Orion -eteenkatsova rynnäkkötutka. Yhdessä Relief -maastonseurantatutkan kanssa järjestelmät mahdollistavat autopilottitoiminnon matalilla ja erittäin matalilla korkeuksilla. Tutkan sanotaan olevan millimetriaallonalueella toimiva tutka, jonka aallon pituudeksi on ilmoitettu 8 millimetriä. Orion rynnäkkötutka ja Relief maastonseurantatutka on sijoitettu saman radomin alle koneen nokkaan. [24], [40]

Tutkan käyttämää taajuusaluetta ei julkisissa lähteissä ole mainittu, mutta se saadaan lasketua kaavalla,

$$f=c/\lambda$$

, jossa  $f$  on taajuus,  $c$  on valonnopeus ( $c=299\,792\,458\text{m/s}$ ) ja  $\lambda$  on aallonpituus ( $\lambda=8\text{mm}=8 \times 10^{-3}\text{m}$ ).

Sijoittamalla lukuarvot kaavaan saadaan

$$f=299\,792\,458\text{m/s} / 8 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$f=37474057250 \text{ Hz} = 37,5\text{GHz}.$$

Orion tutkan taajuusalue on luultavimmin 30-40GHz.

Orion järjestelmän maksimi kantamaksi on ilmoitettu 150 kilometriä. Järjestelmässä käytetään normaalia parabolista antennia. Järjestelmä kykenee tunnistamaan ja seuraamaan suuria maaleja merkittävästä maasta muodostuvasta tutkakontrastista huolimatta. Järjestelmä kykenee pommittamaan ilman visuaalista näköyhteyttä vain suuria kohteita, kuten rautatieasemia, komentopaikkoja ja lentotukikohtia sekä teollisuusalueita.

SU-24M rynnäkkökoneessa on käytössä kehittyneempi rynnäkkötutka Orion-A. [32]



**Kuva 5:** Orion-A rynnäkkötutka ylempänä ja Relief -maastonseurantatutka alempana SU-24 rynnäkkökoneen nokassa. [32]



**Kuva 6:** SU-24 rynnäkkökoneen Relief -maastonseurantatutkan kuva. [32]

### 3.1.2 Integroitu navigointi ja tähtäysjärjestelmä PNS-24 ja PNS-M

PNS-24 on SU-24 ”Fencer” rynnäkkökoneessa käytetty sisäänrakennettu suunnistus- ja tähtäysjärjestelmä. Yhdistettynä radionavigointi laitteistolla järjestelmä kykenee antamaan pilotille maastovaroituksen, havaitsemaan maaleja ja niiden tuhoutumisen. Järjestelmä kykenee osoittamaan maaleja ohjuksille ja se pystyy havaitsemaan tutkat, jotka suorittavat mittaus-toimintaa. Järjestelmä kykenee laukaisemaan ohjuksen, jonka hakupää on ohjelmoitu hakeutumaan tutkan lähettämään säteilyyn. [12], [32]

PNS-24 järjestelmällä pystytään etukäteen ohjelmoimaan haluttu alue, jonne kone automaattisesti ohjelmoinnin perusteella lähestyy. PNS-24 järjestelmä mahdollistaa myös puoliautomaatti tai automaatti autopilotin käytön laskeutumiseen liittyen 40–50 metrin korkeudelle maan pinnasta.



**Kuva 7:** SU-24 rynnäkkökoneen sisäänrakennettu suunnistus- ja tähtäysjärjestelmä PNS-24 ohjaamossa oikealla. [12]

SU-24M ”Fencer-D” rynnäkkökoneessa on käytössä modifioitu PNS-24 järjestelmä yhdistettynä Kaira-24M laserosoitin ja -etäisyysmittaus järjestelmällä. Järjestelmästä käytetään josain lähteissä nimeä PNS-24M ja joissain PNS-M. Kaira-24 järjestelmä on selvennetty aluvussa 3.2.1. [12]

PNS-24/M järjestelmän avulla rynnäkkökoneella voidaan toimia niin valoisalla kuin pimeälläkin sekä lähes kaikissa sääolosuhteissa. Sääolosuhteet toki rajoittavat koneen toimintaa, mutta ei estä sen toimintaa kokonaan. Olosuhteet rajoittavat joidenkin asejärjestelmien käyttöä sekä rynnäkkökoneen toimintakorkeutta ja -etäisyyttä. Esimerkiksi jäätävä tihkusade ja voimakas tuuli vähentävät järjestelmän mittausetäisyyttä. [32]

### 3.1.3 Kaira 24/M elektro-optinen sensorijärjestelmä.

SU-24 ”Fencer” kalustossa käytettävä Kaira-24 pitää sisällään TV-kameran. Järjestelmä mahdollistaa toiminnan hämärissä olosuhteissa. Järjestelmän toinen kamera pitää sisällään laseretäisyydenmittaajan ja -osoittimen, jonka avulla rynnäkkökoneen ilmasta maahan aseille on saatu lisää toimintasädettä. Laseretäisyydsmittarin toimintasäde on kaksitoista kilometriä. Kaira-24 mahdollistaa laserohjattujen ja TV-ohjattujen asejärjestelmien käytön rynnäkkökoneen aseistuksena. Kaira-järjestelmän avulla rynnäkkökoneesta voidaan käyttää asejärjestelmiä kohteisiin joihin ei ole visuaalista yhteyttä. Kaira-24 järjestelmää on verrattu länsimaiseen vastaavaan järjestelmään ”Pave tack”, joka on ollut käytössä yhdysvaltalaisissa rynnäkkökoneissa kuten F-4 ”Phantom” II ja F-111F ”Aardvark”. Kaira-24 järjestelmän näkökenttä vaakatasossa on  $\pm 35$  astetta ja pystytasossa  $+6/-160$  astetta.

Kaira-24 järjestelmä ei itsessään mahdollista kaikkien laser- ja TV-ohjattujen aseiden käyttöä vaan se tarvitsee rinnalleen integroidun navigointi ja tähtäysjärjestelmän. SU-24 rynnäkkökoneissa navigointi ja tähtäysjärjestelmänä on käytetty PNS-24 järjestelmää rynnäkkökoneen eri versioista riippuen. PNS-24 järjestelmä on selvennetty luvussa 3. Kaira-24 ja PNS-24 järjestelmien integroidusta versiosta käytetään jossain lähteissä nimitystä PNS-M. PNS-M järjestelmä on ainakin käytössä SU-24 modifioidussa versiossa SU-24M ”Fencer-D”. Kaira-24 järjestelmä mahdollistaa kahden ilmataisteluohjauksen käytön samanaikaisesti, joista toinen on puoliaktiivisen infrapunaohjus ja toinen aktiivinen tutkaohjus. [8], [9]



**Kuva 8:** Kaira-24M laserosoitin SU-24M rynnäkkökoneen pohjassa. [32]

Kaira-24 järjestelmän avulla SU-24 rynnäkkökoneissa voidaan käyttää AS-10 ”Karen” laser-ohjattuja ohjuksia, AS-14 ”Kedge” laser/TV-ohjattuja ohjuksia AS-13 ”Kingbolt” TV-ohjattuja ohjuksia. Järjestelmällä kyetään myös käyttämään laser- ja TV-ohjattua pommeja kuten KAB-500KR ja KAB-1500L. Kaira-järjestelmällä on korvattu alkuperäisen SU-24 rynnäkkökoneessa käytetyt Chaika-päivänvalokamera ja Filin-maalinosoitussysteemi. [11]



**Kuva 9:** Todennäköinen SU-24 rynnäkkökoneen Kaira-24 näytön kuva. [32]

#### 3.1.4 APK-9 -datalinkkipodi

APK-9 -datalinkkipodi on SU-24 rynnäkkökoneissa käytetty datalinkki heitteiden ohjaamiseen. APK-9 järjestelmän avulla ohjataan ohjukset maalialueelle, välitetään ohjukselle tähtäystietoa ja tietoa maalista. Järjestelmä sisältää datatallentimen. Järjestelmä on suunniteltu ohjaamaan AS-13 ja AS-18 taktisia risteilyohjuksia.

#### 3.1.5 APP-50A silpun- ja soihtulevitin

SU-24M ”Fencer-D” rynnäkkökoneessa on käytössä APP-50A ”AVTOMAT-F” silppu- ja soihtulevitin. APP-50A on ylöspäin ampuva silppu- ja soihtulevitin. SU-24M koneessa on kaksi sarjaa APP-50A levittäjiä. APP-50A silppu- ja soihtulevitin on sijoitettu SU-24 rynnäkkökoneessa koneen taakse rungon alapuolelle. [17]



**Kuva 10:** SU-24 rynnäkkökone laukaissut soihtuja. [28]

### 3.1.6 SPO-15 -tutkavaroitin

SPO-15 Sirena-3 on rynnäkkökoneissa alkuperäisissä SU-24 ja SU-25 käytetty tutkavaroitin. Tutkavaroitimen sensorit sijaitsevat koneen pyrstössä ja ilmanottoaukkojen sivuilla. SPO-15 on kehittyneempi versio SPO-10 tutkavaroitimesta, joka oli käytössä MiG-21R tiedustelukoneessa. SU-25T käytetään myös SPO-15 tutkavaroitinta. SU-25T on perusmallin modifioitu versio, jolla on joka sään toimintakyky.

SPO-15 tutkavaroitin kykenee havaitsemaan ja seuraamaan uhkia 4.45 - 10.35GHz taajuusalueella. Tutkavaroitimen toiminta perustuu laajakaistavastaanottimeen. Tutkavaroitin ei kykene havaitsemaan tutkan käyttämää taajuutta. SPO-15 tutkavaroitin luokittelee havaitsemansa tutkasäteilyn pulssinleveyden, pulssitoistotaajuuden tai pulssien välisen ajan perusteella. SPO-15 tutkavaroitin kykenee havaitsemaan CW-tutkia (Continuous Wave radar).

SPO-15 tutkavaroitin kykenee osoittamaan koneen edessä mittavaan tutkan suunnan 15° tarkkuudella, sivussa mittaavan tutkan 30° tarkkuudella ja koneen takaa mittavaan tutkan 45° tarkkuudella. SPO-15 kykenee myös osoittamaan tuleeko mittaavan tutkan säteily yläpuolelta, alapuolelta vai samalta tasolta koneen kanssa. [13]

Joissain lähteissä tutkavaroittimen ilmoitetaan havaitsevan suoraan edestä tulevan säteilyn 75 kilometrin päästä, takaa tulevan säteilyn 25 kilometrin päästä ja sivuilta tulevan 40 kilometrin päästä lähettävästä tutkasta. Varoittimen on sanottu paikantavan säteilyä lähettävän tutkan  $\pm 10$  asteen tarkkuudella. [15], [31]

SPO-15 tutkavaroittimen väitetään pystyvän havaitsemaan vihollisen ilma-aluksen tutkan vihollisen koneen ohjusten kantaman ulkopuolelta. SPO-15 tutkavaroitin kykenee myös osoittamaan havaitsemansa säteilyn perusteella osoittamaan rynnäkkökoneen asejärjestelmille maaleja. [13], [31]



**Kuva 11:** SU-27 "Flanker" hävittäjässä käytetty SPO-15 tutkavaroittimen näyttö. [16]



**Kuva 12:** SU-24 pyrstössä oleva SPO-15 tutkavaroittimen sensori. [10]

### 3.1.7 LO-82 MAK-UL infrapunavaroitin

SU-24 rynnäkkökoneissa käytetään LO-82 MAK-UL mallista infrapunavaroitinta. Järjestelmä varoittaa konetta lämpösäteilyyn hakeutuvien ohjusten laukaisemisesta ja lukittumisesta koneeseen. Järjestelmän sensorit ovat asennettu rungon keskiosan yläpuolelle, rungon etuosan alapuolella, koneen peräpäähän ja rungon sivuille ilmanottosäiliöiden viereen. [11]



**Kuva 13:** LO-82 MAK-UL infrapunavaroittimen sensori SU-24 rynnäkkökoneessa. [32]

### 3.1.8 SU-24 ilmastamaahan aseistus mahdollisuudet

SU-14 rynnäkkökoneen asekuorma on 3000-8000 kiloon riippuen lentokorkeudesta, käytettävistä asejärjestelmistä ja toimintasäteestä. Noin 500 kilometrin toimintasäteellä kuorma on 3000kg. PNS-M suunnistus- ja ammunnanhallintajärjestelmä sekä Orion-A pulssidopplertutka mahdollistavat laser- ja TV-ohjattujen käytön. Koneessa on lisäksi 30mm:n tykki. Muina aseina koneessa voidaan käyttää tavanomaisia pommeja ja raketteja. SU-24 rynnäkkökoneessa on 8 ripustuspistettä.



Kh-23/23M, Kh-25, Kh-28 ja Kh-58 yleisimmät SU-24 rynnäkkökoneen käyttämät asejärjestelmät. Kh-23 ja Kh-25 ovat radiokomento-ohjattuja ohjuksia, joiden kantama on noin 5 kilometriä. SU-24 kykenee kantamaan neljä Kh-23 ohjusta samanaikaisesti. Kh-28 ja Kh-58 ovat passiivisia tutkasäteilyyn hakeutuvia ohjuksia, joiden kantamaksi ilmoitetaan 90 kilometriä. SU-24 rynnäkkökoneesta voidaan käyttää myös muita Kh-perheen ohjuksia, kuten Kh-25ML, Kh-29L ja Kh-29T. Kh-25ML ja Kh-29L ovat laserohjattuja ohjuksia ja Kh-29T on TV-ohjattu ohjus.

SU-24 rynnäkkökoneesta on mahdollista käyttää KAB-perheen TV- ja laserohjattuja pommeja, kuten KAB-500L laserohjattu pommi ja KAB-500KR TV-ohjattu pommi. [12], [40], [56]

Tsetshenian sodassa Venäjän ilmavoimien SU-24 koneet käyttivät ainakin S-5 ja S-24 raketteja, KAB-500L ja KAB-500KR pommeja sekä Kh-29 ja Kh-25 ohjuksia. Kh-25 ja Kh-29 ohjusten tuhosäteeksi Tsetshenian sodassa on ilmoitettu 280-400 metriä. Tsetshenian sodassa SU-24 rynnäkkökoneen pommitustarkkuudeksi ilmoitettiin  $\pm 150$  metriä. Näin heikko tarkkuus tarkoittanee tutkan avulla suoritettuja pommituksia vapaasti putoavilla pommeilla.

Tsetshenian sodassa Venäjän ilmavoimat käyttivät hyvin tehokkaasti KAB-perheen ohjattavia pommeja. Esimerkiksi 17.8.1995 suoritettu pommitus tukikohtaa vastaan kahdella KAB-500L laserohjattavalla pommilla, jossa tukikohta saatiin tuhottua. Vastaavia esimerkkejä KAB-perheen pommien tehokkuudesta ja tarkkuudesta on Tsetshenian sodasta useita. Tsetshenian sodassa SU-24M rynnäkkökoneella suoritettiin suurin pommituksista. [36]

ASEISTUS	
1. Aseet	Kiinteä 30mm tykki, 500 laukausta
2. AG-ohjukset	Kh-25ML, Kh-23M, Kh-29L, Kh-29T , Kh-58E, Kh-58E-01 , Kh-31P , Kh-31A, Kh-59, Kh-59ME, S-25LD
3. AA-ohjukset	R-60MK (R-60), R-73E
4. Ohjatut pommit	KAB-500KR, KAB-500L
5. Ilmaräjähteet	AB-100, AB-250(M54), AB-250(M62), AB-500M-54, ODAB-500PM
6. Kuorma-ammukset	RBK-250 RBK-500
7. Palopommit	S-24B
8. Raketit	S-25-OFM
9. Pienet säiliöt	KMGU-2
10. Asesäiliö	SPPU-6
11. Lisäpolttoainesäiliöt	PTB-2,000(1,860L), PTB-3,000(3,050L)

**Taulukko 6:** Sukhoin ilmoittamat aseistus vaihtoehdot SU-24 rynnäkkökoneelle. [24]

### 3.1.9 SU-24:n ilmastamaahan suorituskyky tarkasteltavaan kohteeseen

SU-24M rynnäkkökoneen asekuorman suuruus mahdollistaa suuret vaikutukset kohteeseen pienelläkin osastolla. Rajoitteeksi täydellä kuormalla toimimiselle muodostuu polttoaineen riittävyys eli toimintasäde laskee huomattavasti. Noin 3000 kilon asekuormalla kyetään toimimaan rauhanajan tukeutumisalueilta suunnilleen Jyväskylän tasalle.

SU-24M rynnäkkökoneessa on melko hyvät omasuojajärjestelmät. Omasuojajärjestelmät tuottavat tietoa pilotille tutkien aktivoitumisesta, aktiivisten tutkaohjusten lukittumisesta ja lämpösäteilyyn hakeutuvien ohjusten laukaisusta. Silppu- ja soihtupatruunat mahdollistavat aktiiviset toimenpiteet ohjuksia vastaan. Kiinteällä tykille ja ilmataisteluohjuksilla kyetään vaikuttamaan torjuntahävittäjiin. Huomioitavaa on kuitenkin se, että suuren asekuorman kanssa koneen liikkuvuus ja kaarto-ominaisuudet ovat hyvinkin rajallisia.

SU-24M rynnäkkökoneen sensorit mahdollistavat useiden eri aseiden käyttämisen. Koneesta voidaan laukaista perinteisiä rautapommeja, TV- ja laserohjattuja pommeja sekä erilaisia ohjuksia. Näiden asejärjestelmien käytöllä päästään suuren vaikutukseen ja melko hyvään tarkkuuteen.

Orion-A pommitustutka ja Relief maastonseurantatutka mahdollistavat SU-24M rynnäkkökoneen toimimisen huonoissa sää- ja valaistusolosuhteissa. Relief maastonseurantatutka mahdollistaa koneen lentämisen hyvinkin matalalla huonoissa olosuhteissa. Orion-A pommitustutkan maksimaaliseksi mittausetäisyydeksi on ilmoitettu 150 kilometriä. Tämä tarkoittaa mittausta suurin kohteisiin erinomaisissa olosuhteissa. Julkisissa lähteissä on hyvin rajoitetusti tietoa Orion-A tutkasta. Orion-A tutkan aallonpituus lienee 8 millimetriä, jolloin sen taajuudeksi muodostuu 37,5GHz:ä.

Laskettaessa maksimaalista mittausetäisyyttä Jyri Kosolan ja Tero Solanten kirjassa Digitaalinen taistelukenttä annetulla kaavalla simuloinnissa käytettyyn panssarivaunun 3D-mallin tutkaherätteeseen 35 asteen korkeuskulmalla ja 37,5GHz:n taajuudella saadaan mittausetäisyydeksi 2120,1 metriä tutkaherätteen ollessa 283,549m<sup>2</sup>. Lähetystehona on käytetty Khinzal millimetriaallonpituusalueella toimivan tutkan tehoa, joka on 3,5kW. Antennivahvistuksen on käytetty arvoa 10<sup>2,9</sup> eli 29dB. Orion-A tutkan tehoa tai antennivahvistusta ei ole julkisista lähteistä löydettävissä, joten laskussa on käytetty vastaavanlaisten tutkien parametreja. Minimivastaanottotehona käytetään -90dB eli 10<sup>-9</sup>.

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{3500W \times (10^{2,9})^2 \times (0,008m)^2 \times 283,549m^2}{(4\pi)^3 \times 10^{-9}W}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{40081565,31Wm^4}{1,984 \times 10^{-6}W}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{2,02 \times 10^{13}m^4}$$

$$R_{max} = 2120,1m$$

Kohteen ja koneen välisen kulman ollessa 35 astetta ja mittausetäisyyden 2120,1 metriä saadaan koneen lentokorkeudeksi 1216 metriä kaavalla

$$\sin 35^\circ = X/2120,1m,$$

$$X = \sin 35^\circ \times 2120,1m$$

X=1216 metriä

Havaintoetäisyys on erittäin lyhyt, joten tarkastellaan kohdetta, joka kyetään havaitsemaan 11000 metrin etäisyydeltä. 11000 metrin havaintoetäisyyteen päästään, kun minimivastaanototehona käytetään -120dB:ä -90dB:n sijaan. Tällöin koneen lentokorkeudeksi saadaan 35 asteen kulmalla noin 6800 metriä.

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{3500W \times (10^{2,9})^2 \times (0,008m)^2 \times 283,549m^2}{(4\pi)^3 \times 10^{-12}W}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{40081565,31Wm^4}{1,984 \times 10^{-9}W}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{2,02 \times 10^{16}m^4}$$

$$R_{max} = 11922m$$

11000 metrin etäisyydeltä ja 6800 metrin korkeudelta ei voida käyttää venäläisiä ohjattavia pommeja, joita on tällä hetkellä käytössä. Ilmastamaahan ohjuksia voidaan laukaista tältä etäisyydeltä ja korkeudelta. Käytettäessä esimerkiksi KAB-500Kr TV-ohjattavaa pommia, joka voidaan laukaista 5000 metrin etäisyydeltä, havainnon ja laukaisun väliseksi ajaksi muodostuu noin 30 sekuntia koneen nopeuden ollessa 250m/s. KAB-500Kr pommilla päästään parhaimmillaan noin 4 metrin tarkkuuteen ja sen vaikutusalueeksi muodostuu 1500m<sup>2</sup>. TV-ohjatun pommin käyttö edellyttää hyviä sääolosuhteita, jotta Kaira-24 järjestelmällä kyetään muodostamaan riittävän tarkka kuva ohjauskomentojen antamiseksi. TV-ohjatun pommin sijasta voidaan käyttää laserohjattua pommia. 4 metrin tarkkuudella saadaan melko varmasti riittävä vaikutus kohteeseen, sillä 195kg:n HE taistelulatauksen muodostava vaikutusalue on niin suuri. Tsetshenian sodassa SU-24M rynnäkkökoneen yleisimmin käytetyt ohjattavat asejärjestelmät olivat KAB-500Kr ja KAB-500L pommit. Näitä käytettiin tukikohtien, johtamispaikkojen ja varastoiden tuhoamiseen onnistuneesti. Pommituskorkeutena käytettiin 4000 – 5000 metriä ja lentonopeutena 220 – 250m/s.

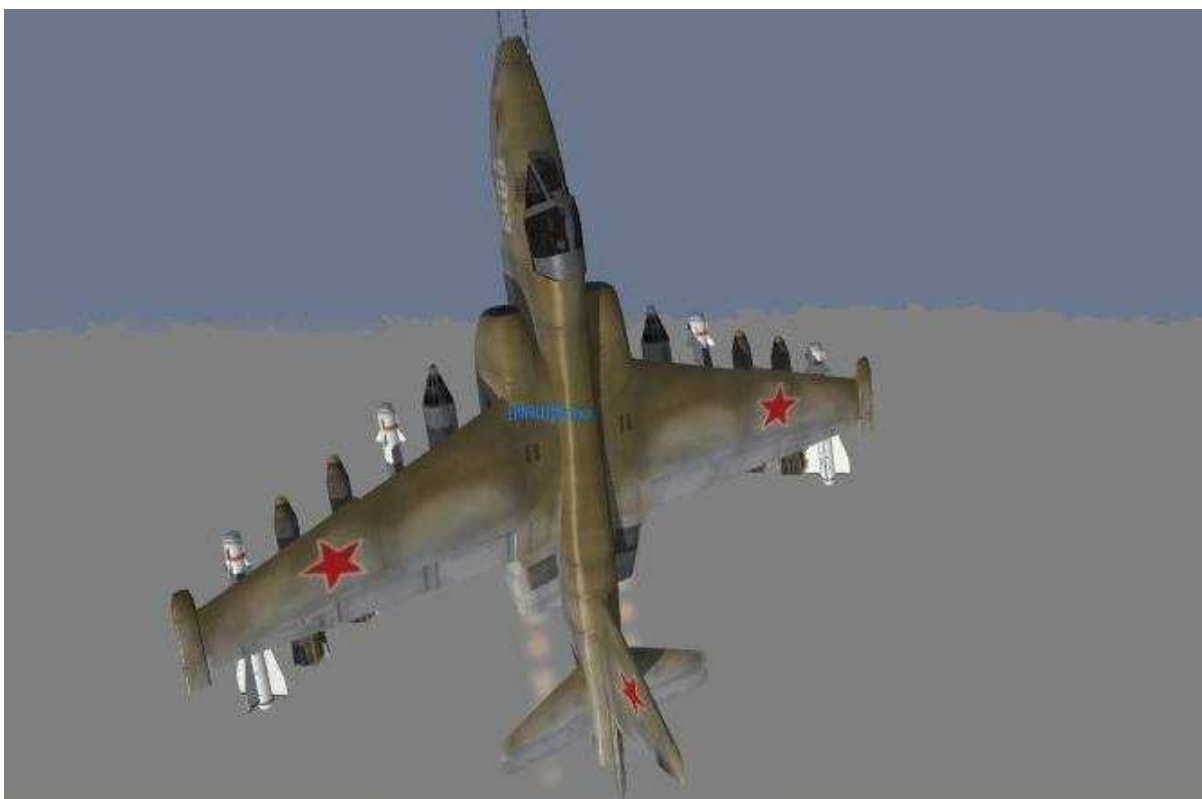
Ilmastamaahan ohjuksia on myös mahdollista käyttää, mutta niillä ei saavuteta niin suurta hyötyä käytettäessä niitä SU-24M rynnäkkökoneesta verrattuna esimerkiksi monitoimihävittäjiin johtuen Orion-A tutkan mittausetäisyydestä. Kohteen ollessa suhteellisen pieni on taloudellisempaa ja tehokkaampaa käyttää ohjattavia pommeja. Suuriin kohteisiin, jotka kyettään havaitsemaan 100 kilometrin etäisyydeltä on järkevää käyttää ohjuksia, jotka voidaan laukaista useiden kymmenien kilometrien etäisyyksiltä ja, joilla päästään alle kymmenen metrin osumatarkkuuteen. Esimerkiksi Kh-25L voidaan laukaista jopa 60 kilometrin etäisyydeltä ja sen osumatarkkuus on noin 5 metriä. Kh-25L ohjuksen käyttäminen näin kaukaa vaatii ulkopuolisen maalinosoituksen. Maalinosoitukseen voidaan käyttää esimerkiksi erikoisjoukkoja.

Käytettäessä Kh-29L laserohjattua ohjusta 8 kilometrin laukaisuetäisyydeltä, muodostuu havainnon ja laukaisun väliseksi ajaksi 12 sekuntia koneen nopeuden ollessa 250m/s. Koneen laserosoitimelta on oltava suora yhteys kohteeseen, jotta laserohjattuja ohjuksia voidaan käyttää. Kh-29L ohjuksen nopeus on 800m/s. Ohjuksen lentoaika kohteeseen on 10 sekuntia. Näin ollen kohteesta saadun havainnon jälkeen 20 sekunnin kuluttua kohteeseen saadaan asevaikutus käyttämällä Kh-29L ohjusta. Ohjuksella on suuri vaikutusalue, sillä sen taistelulataus on 317kg. Ohjuksella saavutetaan hyvissä olosuhteissa 5-8 metrin tarkkuus.

SU-24M rynnäkkökone soveltuu järjestelmiltään pommitus- ja rynnäkkötehtäviin. Sen optimaaliseksi toimintaetäisyydeksi muodostuneet muutamasta kilometristä kymmeneen kilometriin. SU-24M kykenee toimimaan heikoissa sää- ja valaistusolosuhteissa. SU-24M rynnäkkökoneen heikko ilmataistelukyky ja rajoittunut liikehtiminen asekuorman kanssa vaatii sille suojaavan osaston toisin kuin monitoimihävittäjille.

### 3.2 SU-25

SU-25 lähitulitukeen koneen kehittäminen aloitettiin 1960-luvun loppupuolella ja se sai ensilentonsa 1979. Sen ensisijainen tehtävä on maajoukoille annettava lähitulituki. SU-25:n on erittäin kestävä ja hyvin panssaroitu kone. Koneen ensisijaisia kohteita ovat panssaroidut kohteet, sillat, tuliasemat, komentopaikat, marssiosastot ja liikenneyhteydet. Taisteluominaisuuksien, tehokkuuden ja iskukykynsä ansiosta konetta voidaan verrata täysin Yhdysvaltojen käyttämään A-10 ”Thunderbolt” lähitulitukikoneeseen. SU-25 koneessa on 8 ripustinpistettä ja se kykenee kantamaan noin 4000 kg:n asekuorman. Kiinteänä asejärjestelmänä koneessa on kaksiputkinen 30mm tykki, johon mahtuu 250 laukausta. Tällä hetkellä Venäjän ilmavoimissa on noin 200 SU-25 koneen eri versiota.



**Kuva 14:** SU-25 lähitulitukikone. [54]

Alun perin koneen oli tarkoitus kyetä erittäin tarkkaan toimintaan kaikissa sääolosuhteissa sekä päivällä että yöllä. Alkuperäisessä SU-25 koneessa oli erittäin rajoitettu toimintakyky heikoissa ja pimeissä olosuhteissa, jos sitä oli laisinkaan. Vasta modernisoiduissa SU-25T ja SU-25TM koneissa voitiin sanoa olevan kykyä toimia näissä olosuhteissa. Tarve joka sään toimintakyvylle ajoi Venäjän ilmavoimat modernisoimaan SU-25 konetta. Ensimmäinen modernisaatio sai nimen SU-25T ja sen ensimmäiset versiot valmistuivat vuosina 1990–1991. Valmistuksen siirryttyä Georgiasta Venäjälle koneeseen tehtiin joitain lisäpäivityksiä ja kone nimettiin SU-25TM:ksi. Joissakin lähteissä puhutaan SU-39:stä, mutta kyseessä on saman koneen vientiversio. [40], [49], [53]

SU-25T ja SU-25TM pohjautuvat SU-25UB kaksipaikkaiseen harjoituskoneeseen. Molemmat versiot T ja TM ovat kuitenkin muokattu yksipaikkaisiksi ja ohjaamoon takaosaan jäänyt ylimääräinen tila täytetty polttoainesäiliöillä lisätäkseen koneen toimintasädettä.

Vuonna 1998 Venäjän ilmavoimat aloitti uuden SU-25 modernisaation. Alkuperäisestä yksipaikkaisesta SU-25 koneesta modernisoitiin SU-25SM. Modernisaation kuuluu avioniikka-järjestelmien modernisointi. Ensimmäinen SU-25SM:ksi modernisoitu kone testattiin vuonna 2002. Venäjän ilmavoimien aikomuksena on saada modernisoitua 80 kappaletta SU-25SM koneiksi. [18]

Luvun 5.2 alaluvuissa tutkitaan SU-25T ja SU-25TM koneiden järjestelmiin ja luvussa 5.4 SU-25SM järjestelmiin ja niiden ominaisuuksiin.

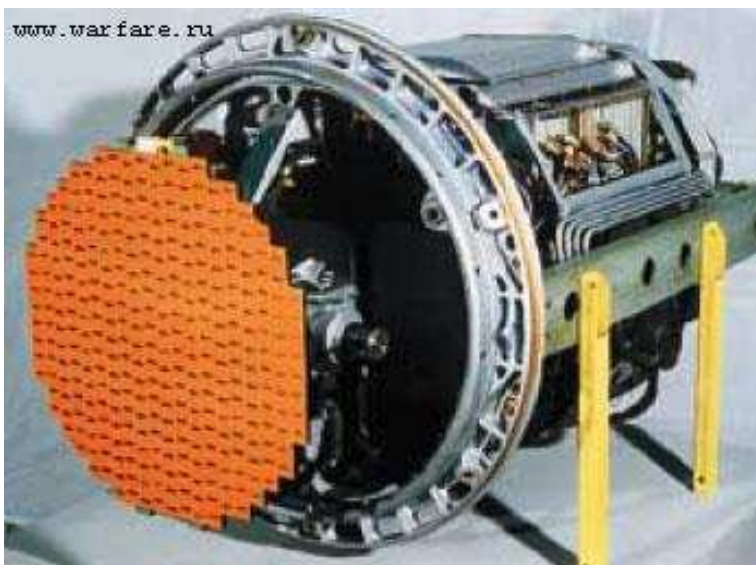
### 3.2.1 KOPYO-25-tutkapodi

Kopyo-25 multi-moodi tutkaa käytetään lähitulitukikoneessa SU-25TM. Kopyo-tutkapodi on alun perin kehitetty Mig-21 hävittäjä koneen päivitykseksi. Kopyo-tutkapodi on erittäin kehittynyt tutka järjestelmä. Tutkassa itsessään on navigointi järjestelmä, ilmasta maahan, merelle ja rannikolle soveltuvat taistelumoodit. Tutkan avulla koneelle luodaan edellytykset ilmasta ilmaan -ohjusten käytölle. Tutkan avulla ilmasta ilmaan -ohjuksia kyetään käyttämään näkökentän ulkopuolellekin. Kopyo-tutkapodi on sijoitettu SU-25 rynnäkkökoneissa rungon alle. Kopyo tutkan maksimaalinen lähetysteho on 5kW ja keskimääräinen lähetysteho 1kW. Kopyo tutka toimii X-alueen taajuuksilla, jolloin sen taajuusalue on 8-12,5GHz. [32]

RCS pinta-alaltaan 3m<sup>2</sup> kokoisen kohteen tutka kykenee havaitsemaan 45 kilometrin etäisyydeltä. [32], [40]

SU-25TM rynnäkkökoneessa on lisäksi Khinzal-millimetriaallon kuvaus tutka, joka kasvattaa koneen tähtäysjärjestelmän sädettä. Khinzal tutkan aallonpituus on 8mm niin kuin SU-24 rynnäkkökoneessa käytettävässä Orion tutkassa. 8mm:n aallonpituudella toimivan tutkan taajuus on laskettu luvussa 3.1.1. Khinzal tutkan tehoksi on ilmoitettu 3,5kW ja sillä kyetään havaitsemaan 10m<sup>2</sup> RCS pinta-alaltaan oleva kohde 5-7 kilometrin etäisyydeltä. [18], [32]

Kopyo-tutkan havaitsemisetaisyys ilmasta ilmaan, kohti lähenevää konetta, mitattaessa on 57 kilometriä ja loittonevaa konetta mitattaessa 30 kilometriä. Tutka kykenee seuraamaan kymmentä maalia samanaikaisesti ja ottamaan kaksi maalia lukitukseen. Liitteessä 2 on esitetty venäläisten lentokoneiden käyttämiä tutkia ja niiden ominaisuuksia. Tutkan mittausetaisydeksi ilmoitetaan suuriin merellisiin kohteisiin 200 km:a, pieniin merellisiin kohteisiin 75 km:a ja panssarivaunuryhmään 25 kilometriä. [22]



**Kuva 15:** Kopyo-tutkapodi. [21]





**Kuva 16:** Kopyo-25 tutkapodin prototyyppi asennettuna SU-25TM rynnäkkökoneeseen. [32]

### 3.2.2 Klen-PS laseretäisyysmittari ja -osoitin

SU-25 rynnäkkökoneessa käytetään Klen-PS laseretäisyysmittaria ja -osoitinta. Laseretäisyysmittarin maksimi mittausetäisyys on viisi kilometriä ja virhemarginaali  $\pm 5$  metriä. Järjestelmän avauskulma sivusuunnassa on  $\pm 12$  astetta ja pystysuunnassa  $-30/+6$  astetta. Järjestelmän tehoksi on ilmoitettu 3,5 kilowattia. [31]



**Kuva 17:** Klen-Ps järjestelmä asennettuna SU-25 rynnäkkökoneeseen. [32]

### 3.2.3 SUV-25T-ammunnanhallinta- ja navigointijärjestelmä.

SUV-25T ”Voskhod” on tärkein kehitysaskel SU-25 kehitystyössä. Järjestelmä pitää sisällään integroidun digitaalisen navigointijärjestelmän ja Shikval -maalinsoitusjärjestelmän. Järjestelmä on erittäin kehittynyt ja siinä on kaksi tietokonetta. Toinen tietokoneista on inertiaipaikannusyksikkö ja toinen tutkakorkeusmittariyksikkö.

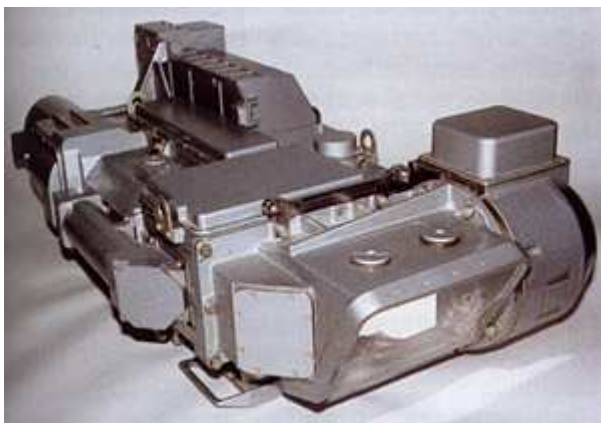
Järjestelmässä on lisäksi RSN radionavigointijärjestelmän vastaanotin lyhyille etäisyyksillä ja RSDN radionavigointijärjestelmän vastaanotin pidemmille etäisyyksille. SUV-25T-järjestelmän navigointijärjestelmä kykenee automaattisesti lentämään halutulle maalialueelle ilman pilotin suurempaa apua. Järjestelmä kykenee automaattisesti aktivoimaan tähtäys- ja maalinsoitusjärjestelmät ennen maalialuetta.

### 3.2.4 Shkval -maalinsoitusjärjestelmä

Shkval -järjestelmä on elektro-optinen maalinsoitusjärjestelmä, joka on käytössä SU-25 modifioituissa versioissa SU-25T rynnäkkökoneessa. Shkval -järjestelmällä korvataan SU-25 alkuperäisversiossa käytetty Klen-Ps -järjestelmä. Shkval -järjestelmä pitää sisällään korkea resoluutioisen laajakuva TV-kameran maalin paikantamiseen. Kameran kuvauskulma on 27 kertaa 36 astetta ja sillä 23-kertainen tarkennus mahdollisuus tähtäämiseen ja maastonseurantaan. Järjestelmä pitää sisällään laserseurannan ja lasermaalinsoitusjärjestelmän, joka on yhdistetty TV-kameraan. [18]

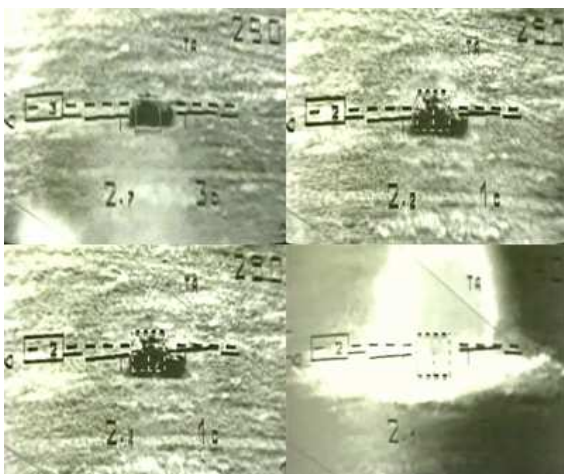
Shkval -järjestelmän optiikka on mahdollista suunnata 35 astetta koneen keskilinjan molemmille puolille, 15 astetta koneen yläpuolelle ja 80 astetta koneen keskilinjan alapuolelle. Shkval -järjestelmä pitää sisällään myös automaattisen maalin seurantajärjestelmän. Järjestelmä toimii 1.064 mikrometrin aallonpituusalueella. Järjestelmä käyttää 5Hz pulssintoistoväliä etäisyyden mittaamiseen ja 10-15Hz väliä tarkennusmoodissa. [32]

Järjestelmän tunnistusetäisyys sillan kokoiseen kohteeseen on 20–24 kilometriä, yksittäiseen rakennukseen 15 kilometriä. Hävittäjän järjestelmä kykenee tunnistamaan 8 ja helikopterin 6 kilometrin päästä. [32]



**Kuva 18:** Shkval -järjestelmä. [32]

Shkval -järjestelmä mahdollistaa SU-25T rynnäkkökoneen ohjata kehittyneempiä laserohjattuja ohjuksia, kuten AS-12 ”Swinger”, joka on panssarivaunuja vastaan suunniteltu ohjus. Shkval -järjestelmän avulla voidaan antaa ohjauskomentoja ohjattaville asejärjestelmille datalinkin välityksellä. Järjestelmän ohjaustarkkuudeksi on ilmoitettu 0,6 metriä. [18]



**Kuva 19:** Shkval -järjestelmän kuvaa SU-25 rynnäkkökoneen hyökätessä panssarivaunua vastaan. [32]

Järjestelmästä on kehitetty uudempi versio Shkval-M SU-25TM rynnäkkökoneeseen. Järjestelmä kykenee suorittamaan automaattista etsintään ja tunnistamaan kohteita Kopyo-25 järjestelmän avustamana. Järjestelmä kykenee havaitsemaan maasta valaistuja/osoitettuja maaleja. Shkval-M Järjestelmä kykenee myös osoittamaan maaleja laserohjatuille tykistö ammuksille, esimerkiksi Krasnopolille. [32]

### 3.2.5 Mercuri LLLTV -järjestelmä

Mercuri LLLTV -järjestelmä on ensimmäinen pimeänäkölaite Venäjällä. Järjestelmän kehitys aloitettiin vuonna 1982. Järjestelmässä on kaksi erillistä linssiä (ks. kuva 18), toinen laajalla näkökentälle ja toinen linssi kapealle. Kapean näkökentän kooksi on ilmoitettu 5.5 x 7.3 astetta.



**Kuva 20:** Mercuri LLLTV -järjestelmän linssit laajalle ja kapealle näkökentälle. [32]

Järjestelmän kantama päivänvalossa on 10 kilometriä. Pimeällä järjestelmällä pystytään toimimaan 3 kilometrin etäisyydeltä panssarivaunun kokoiseen maaliin. Sillan kokoisen objektin järjestelmä kykenee havaitsemaan pimeällä 6-8 kilometrin päästä. Shikval -järjestelmän kanssa käytettynä järjestelmän havaintoetäisyys kasvaa 4-5 kilometriä. Järjestelmä ei ole osoittautunut kovinkaan toimivaksi käytössä. [32]

Järjestelmän kamerasäiliö itsessään sijoitetaan koneen etuosaan rungon alle. Laajakuvamoodia käytettäessä kuva saadaan siirrettyä pilotin kypärän visiiriin tai lentokoneen ohjaamon lasiin. Kapeamoodin kuva näkyy vain koneen muissa näyttölaitteissa. [18]



**Kuva 21:** Mercuri LLLTV -järjestelmän kamerasäiliö SU-25TM rynnäkkökoneessa. [32]

### 3.2.6 SPS-141MVG-E - aktiivinen tutkahäirintäjärjestelmä

SU-25 rynnäkkökoneessa käytetään SPS-141MVG-E -aktiivista häirintäjärjestelmää. Järjestelmä pyrkii harhauttamaan mittaavan tutkan lähettämällä harhauttavaa lähetettä. Järjestelmä vaikuttaa mittaavan sensorin tuloksiin etäisyyden ja korkeuden osalta. Järjestelmällä kyetään poistamaan tutkan muodostaman lukituksen. [13]

Järjestelmällä on neljä erilaista toimintamoodia. Järjestelmä voi toimia itsenäisesti tai järjestelmää voidaan käyttää kootusti toisen koneen kanssa, jossa on sama häirintäjärjestelmä. Järjestelmässä on lisäksi ”Doppler noise” –moodi ja low level –moodi, jossa järjestelmä käyttää maaston heijastus vaikutusta hyväksi. Kootusti käytettynä saadaan häirittyä tutkaa tehokkaammin. Järjestelmä kykenee häiritsemään kahta eri taajuusaluetta samanaikaisesti. [32]



**Kuva 22:** SPS-141MVG-E häirintäjärjestelmän säiliö. [32]

SPS-141- järjestelmästä modifioitu SPS-161 ”Geran-F” –aktiivinen häirintäjärjestelmä on käytössä SU-24M rynnäkkökoneissa. Järjestelmän teho on 100 kilowattia ja se toimii 6-12GHz taajuusalueella. [13]

### 3.2.7 L-166SI – ohjusten häirintäjärjestelmä

L-166SI ”Sukhogruz” on SU-25T rynnäkkökoneessa käytetty aktiivinen häirintäjärjestelmä, joka toimii lämpöhakupäällä varustettuja ohjuksia vastaan. Järjestelmän on sanottu pystyvän harhauttamaan ainakin Sidewinder, IR Falcon, Mica, Strela 2M, Redeye and Chaparral ohjuksia. Järjestelmä toimii 6000W cesium lampulla. Järjestelmällä voi olla 8 häirintätaajuutta 700-1700Hz taajuusalueella. Häirintätaajuuksien väli tulee olla 100-150Hz. Järjestelmän lähettimen on ilmoitettu painavan 28 kiloa ja ohjauspaneelin 3,5 kiloa.



**Kuva 23:** L-166SI – häirintäjärjestelmän lähetin SU-25T rynnäkkökoneeseen asennettuna. [32]

### 3.2.8 ASO-2V ja BVP-50–30 silpun- ja soihdunlevitin

SU-25 ”Frogfoot” rynnäkkökoneessa käytetään ASO-2V silpun- ja soihdunlevitintä. Levittimestä on sanottu, ettei se ole kovinkaan tehokas ja hyvä järjestelmä, etenkin soihduista on todettu niiden olevan liian pieniä. ASO-2V silpun- ja soihdunlevitin kyetään laukaisemaan useille eri, etukäteen asetetuille, taajuuksille. ASO-2V järjestelmän käyttämän yksittäisen 26mm silpun tutkapeittoalue on noin 5 neliometriä.

Jossain rynnäkkökonetyypeissä on käytössä BVP-50–30 silpun- ja soihdunlevitys järjestelmä. BVP-50–30 on todistettavasti parempi järjestelmä kuin ASO-2V. BVP-50–30 järjestelmässä soihdut ovat paljon suurempia kuin ASO-2V järjestelmässä. BVP-50–30 järjestelmien soihdun palo aika on kahdeksan sekuntia, jolloin sillä on realistiset mahdollisuudet harhauttaa stinger -ohjus. ASO-2V järjestelmällä ei kyetty harhauttamaan stinger -ohjusta. BVP-50–30 järjestelmän 50mm silppujen tutkapeittoalue on noin 15–20 neliometriä/silppu.

Stinger -ohjus on lämpöhakupäällä varustettu lähi-ilmatorjuntaohjus. [13]



**Kuva 24:** SU-25 rynnäkkökoneen pyrstössä oleva silpun- ja soihdun levitin. [25]

### 3.2.9 SU-25 ilmastamaahan aseistus mahdollisuudet

SU-25 rynnäkkökoneen kiinteänä aseistuksena on kaksiputkinen 30 mm tykki rungon pohjassa. Koneessa on kahdeksan ripustuspistettä ja maksimi asekuormaksi koneelle ilmoitetaan 4000kg. 4000 kilon kuormalla koneen toimintaetäisyydeksi on ilmoitettu 750 kilometriä. Koneessa on lisäksi kaksi ripustinta ilmataisteluohjuksille. Yleisimmät aseet ovat raketit ja ilmasta-maahan ohjukset. SU-25 rynnäkkökoneen ja sen eri versioiden avioniikka ja sensorit mahdollistavat täsmäaseiden käytön. Ohjuksista SU-25 rynnäkkökoneessa käytetään pääasiassa samoja ohjuksia kuin SU-24 koneessa.

SU-25 rynnäkkökone voidaan varustaa UB-32A ja B-8M1 rakettsäiliöllä. UB-32A säiliöstä voidaan käyttää 57mm:n S-7 raketteja ja B-8M1 säiliöstä 80mm:n S-8 raketteja. Koneeseen on lisäksi mahdollista ripustaa 240mm:n S-24 ja 330mm:n S-25 ohjattavia raketteja, eli ohjuksia. Lähitulitukitehtävissä pääaseena on AT-16 Vikhr panssarintorjuntaohjus, jonka läpäisykyvyksi on ilmoitettu 900mm. [25], [40], [49]



Alkuperäinen SU-25 rynnäkkökone ei mahdollista toimimista pilvestä tai huonoissa sääolosuhteissa, koska siinä ei ole tutkaa. SU-25T versiolla kyetään toimimaan rajoitetusti näissä olosuhteissa. Tsetsheniassa SU-25 koneella pilvestä ja huonoissa sääolosuhteissa Groznyin kaupunkiin suoritetuissa pommituksista koitui suuret tappiot Venäjän omille joukoille johtuen tutkan puutteesta. [36]

ASEISTUS	
1. Aseet	Kiinteä 30mm:n tykki, 250 laukausta
2. AG-ohjukset	Kh-29L, Kh-25LD/(L)
3. AA-ohjukset	R-73E
4. Palopommit	ZB-500
5. Raketit	S-7, S-8, S-13, S-24, S-25
6. Pommit	100, 250, 500 kg
7. Pienet säiliöt	KMGU-2
8. Lisäpolttoainesäiliöt	PTB-800(840L), PTB-1,150(1,160L)

**Taulukko 7:** Sukhoin ilmoittamat aseistus vaihtoehdot SU-25 rynnäkkökoneelle. [24]



**Kuva 25:** SU-25TM koneeseen kiinnitettyinä ovat vasemmalta alkaen Kh-29L, AT-16 Vihri, Kh-25, rakettisäiliö ja R-27T ilmataisteluohjus. [11]



### 3.2.10 SU-25:n ilmastamaahan suorituskyky tarkasteltavaan kohteeseen

Alkuperäinen SU-25 rynnäkö-/lähitulitukikone on erittäin alkeellinen. Modernisoidut SU-25T, SU-25TM ja tulevaisuudessa SU-25SM mahdollistavat koneen elinkaaren pidentämisen ja modernisoinneilla mahdollistetaan koneen käyttäminen useampiin eri tehtäviin erilaisissa olosuhteissa. Koneen runko ja taistelunkestävyys on ollut alun perin erittäin hyvällä tasolla. SU-25 rynnäkkökoneita voidaan käyttää esimerkiksi nurmikentiltä, mikä mahdollistaa koneiden tukeutumisalueiden tuomisen rintaman mukana. SU-25 rynnäkkökone kykenee kantamaan 4000 kilon asekuorman jopa 750 kilometrin säteelle. SU-24 verrattuna SU-25 kantaa 1000kg suuremman asekuorman 250 kilometriä pidemmälle.

SU-25 rynnäkkökoneessa on laaja omasuojajärjestelmä. Se kykenee havaitsemaan lämpösäteilyyn hakeutuvat ohjukset ja torjumaan ne heitteillä. Tutkaohjusten ja mittaavien tutkien havaitsemiseen käytössä on tutkavaroitin. SU-25 rynnäkkökoneessa on lisäksi aktiivinen tutkahäirintäjärjestelmä, joka mahdollistaa silppujen ohella tutkahakupäällä varustettujen ohjusten häirinnän. Ilmataisteluohjukset ja kiinteä tykki mahdollistavat aktiivisen omasuojan. SU-25 rynnäkkökoneen pienestä koosta johtuen suurin osa modernisaatioiden mukana tulleista uusista sensoreista ja järjestelmistä on jouduttu sijoittamaan rungon ulkopuolelle säiliöihin.

Modernisointien myötä SU-25T/TM mahdollistavat useimpien ohjattavien/ohjautuvien asejärjestelmien käyttämisen. SU-25 rynnäkkökoneen tehtävästä johtuen pääaseistuksena tulee säilymään rakettikasetit, kasettipommit ja tavanomaiset pommit 500 kg:sta alaspäin.

Modernisoinneissa uusitut sensorijärjestelmät mahdollistavat SU-25 rynnäkkökoneen toiminnan heikoissa sää- ja valaistusolosuhteissa. Mercuri ja Shkval järjestelmillä pystytään havaitsemaan ja tunnistamaan kohteita sekä ohjaamaan TV- ja laserohjattuja pommeja ja ohjuksia. Kopyo-25 ja Khinzal tutkat mahdollistavat pommitukset pilvestä ja toiminnan pimeällä. Kopyo-25 tutkalla päästään suurempiin mittausetäisyyksiin ja Khinzal mm-aallonalueella toimivalla tutkalla tarkkaan kuvaan alle 10 kilometrin etäisyyksillä.

Laskettaessa maksimaalista mittausetäisyyttä Kopyo-25 tutkalle simuloinnissa käytettyyn panssarivaunun 3D-mallin tutkaherätteeseen 25 asteen korkeuskulmalla ja 8GHz:n taajuudella saadaan mittausetäisyydeksi 2301,6 metriä tutkaherätteen ollessa 9,805m<sup>2</sup>. Lähetytsehona on käytetty 1kW. Antennivahvistuksen on käytetty arvoa 10<sup>2,9</sup> eli 29dB. Minimivastaanottotehona käytetään -90dB eli 10<sup>-9</sup>.

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{1000W \times (10^{2,9})^2 \times (0,03m)^2 \times 9,805m^2}{(4\pi)^3 \times 10^{-9}}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{55678830,86Wm^4}{1,984 \times 10^{-6}W}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{2,806 \times 10^{13}m^4}$$

$$R_{max} = 2301,6m$$

Kohteen ja koneen välisen kulman ollessa 25 astetta ja mittausetäisyyden 2301,6 metriä saadaan koneen lentokorkeudeksi 972 metriä kaavalla

$$\sin 25^\circ = X/2301,6m,$$

$$X = \sin 25^\circ \times 2301,6m$$

$$X = 972,7 \text{ metriä}$$

Khinzal tutkalle maksimaaliseksi mittausetäisyydeksi 25 asteen korkeuskulmalla ja 30GHz:n taajuudella saadaan 1819,7 metriä tutkaherätteen ollessa 153,921m<sup>2</sup>. Lähetytsehona on käytetty 3,5kW ja aallonpituus on 8mm. Minimivastaanottoteho ja antennivahvistus ovat samat kuin muissa laskuissa.

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{3500W \times (10^{2,9})^2 \times (0,008m)^2 \times 153,921m^2}{(4\pi)^3 \times 10^{-9}}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{21754339,14Wm^4}{1,984 \times 10^{-6}W}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{1,096 \times 10^{13}m^4}$$

$$R_{max} = 1819,7m$$

Kohteen ja koneen välisen kulman ollessa 25 astetta ja mittausetäisyyden 1819,7 metriä saadaan koneen lentokorkeudeksi 769 metriä kaavalla

$$\sin 25^\circ = X/1819,7m,$$

$$X = \sin 25^\circ \times 1819,7m$$

$$X = 769 \text{ metriä}$$

Havaintoetäisyys on erittäin lyhyt, joten tarkastellaan kohdetta, joka kyetään havaitsemaan Kopyo-25 tutkalla 12943 metrin etäisyydeltä. 12943 metrin havaintoetäisyyteen päästään, kun minimivastaanottotehona käytetään -120dB:ä -90dB:n sijaan. Tällöin koneen lentokorkeudeksi saadaan 25 asteen kulmalla noin 5470 metriä.

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{1000W \times (10^{2,9})^2 \times (0,03m)^2 \times 9,805m^2}{(4\pi)^3 \times 10^{-12}}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{55678830,86Wm^4}{1,984 \times 10^{-9}W}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{2,806 \times 10^{16}m^4}$$

$$R_{max} = 12943m$$

Käyttötarkoituksesta johtuen SU-25 lähitulitukikoneen pääaseistuksena käytetään raketteja. Rakettien käyttötarkoitus on panssarintorjunta. Tulitukea annetaan myös käyttämällä tavanomaisia rautapommeja vastustajan joukkojen lamauttamiseksi. Vastustajan lamauttamiseen käytetään myös kasettipommeja.

Käytettäessä B-8M1 säiliöstä 80mm:n S-8 raketteja, jotka voidaan laukaista 1300 – 4000 metrin etäisyydeltä, on havainnon ja laukaisun välinen noin 9000 metriä. Koneen lentäessä 220m/s tämä tarkoittaa noin 40 sekuntia lentoaikana. Ohjuksen nopeus on 610m/s, jolloin 4000 metrin matkaan siltä kuluu 6,6 sekuntia. S-8 raketin läpäisykyvyksi on ilmoitettu 400mm terästä. Käytettäessä S-8 raketteja havaintoetäisyyden ollessa 12943 metriä muodostuu havainnon ja asevaikutuksen välille noin 47 sekuntia.

Lähitulitukikoneena SU-25 on parhaimmillaan. Sen panssarointi mahdollistaa toimimisen kevyiden ammusilmatorjuntajärjestelmien tulialueella ja siitä käytettävät asejärjestelmät soveltuvat maajoukoille annettavaan lähitulitukeen. Täsmäaseiden käyttö SU-25 rynnäkö-/lähitulitukikoneesta on epätodennäköistä, vaikkakin modernisointien myötä ohjattavien asejärjestelmien käyttäminen siitä on mahdollista. SU-25TM ja SU-25SM tulevat muodostamaan Venäjän ilmavoimien välittömään tulitukeen käytettävät koneet aina 2020-luvun puolella saakka.

### 3.3 SU-34

Su-34 tulee aikanaan korvaamaan ilmavoimien SU-24 koneet sekä SU-24 tiedusteluversio SU-24MR. Kyseisen koneen uusittu radiotekninen järjestelmä tekee siitä venäläisten asiantuntijoiden mukaan lähes 4+ -sukupolven taistelukoneen. Ensimmäiset kaksi konetta luovutettiin Venäjän ilmavoimille 2006. Venäjän ilmavoimien komentajan kenraalieversti Zelinin mukaan vuoteen 2015 mennessä koneita on luovutettu 58 kappaletta. Arvioiden mukaan koneiden lopullinen lukumäärä tulee olemaan noin 200. Joissakin lähteissä ilmoitetaan kokonaismäärän olevan 300 kappaletta. Huomioitavaa kuitenkin on se, että SU-34 koneen tulee korvata yhteensä noin 600 konetta. [40], [41], [42]

SU-34 ”Fullback” pohjautuu SU-27 hävittäjään. Su-34 on huomattavasti kehittyneempi rynnäköpommittaja kuin SU-24. SU-34 voidaan luokitella jopa monitoimihävittäjäksi. Verrattuna SU-24:än koneessa on huomattavasti kehittyneempi rakenne ja avioniikka. Koneen kehittyneet järjestelmät mahdollistavat laajemman asevalikoiman käytön ja sen 12 ripustimeen on mahdollista kiinnittää noin 6000–8000 kg:n asekuorma.



**Kuva 26:** SU-34 pommittamassa kohdetta korkealta. [46]

Koneen navigointi järjestelmään kuuluvat Inertia (INS), radiosuunnistuslaitteisto sekä GPS/GLONASS. Valmistajan mukaan nämä järjestelmät mahdollistavat koneen lentämisen kohteelle metrin tarkkuudella. Kone pystyy myös suoraan vastaanottamaan maalitietoja tiedustelusatelliiteilta.

Su-34 rynnäköpommittaja on ensimmäinen venäläinen ilma-alus, joka hyödyntää stealth-teknologiaa. Koneen muotoilu ja rakenteiden materiaali pienentävät huomattavasti koneen tutka poikkipinta-alaa. Koneen aerodynamiikka ja liikehtimiskyky on edelleen huomattavasti parempi verrattuna SU-24:n. [42], [43], [44]

SU-34 koneen pääsensori on Leninetsin valmistama B-004 –tutka (joissain lähteissä tutka on nimetty W004). B-004 tutka mahdollistaa niin AA- kuin myös AG-toiminnan. Tutka on pääasiassa suunniteltu ilmasta maahan toimintaan. Tutka on passiivinen elektronisesti skannaava ja se käyttää hypintäteknologiaa (phase shifter). Tutkassa on lisäksi kulkuaaltovahvistin eli TWT (Travelling Wave Tube). Tutka toimii X-alueen taajuuksilla ja sen suurimmaksi lähetystehoksi on ilmoitettu 15 kilowattia. Tutka järjestelmään kuuluu koneen pyrstöön sijoitettu ”takatutka”, joka mittaa koneen taakse vastustajan torjuntahävittäjien varalta. B-004 tutka toimii 8-12,5GHz:n taajuusalueella ja sen aallonpituus on 3cm. Tutka kattaa  $\pm 60$  asteen alueen niin korkeus- kuin vaakatasossa. [32]

Tutkan mittausetäisyydeksi suuria maamaaleja vastaan on ilmoitettu 200 kilometristä 250 kilometriin. Suurina maamaaleina voidaan pitää esimerkiksi siltoja, satamia ja juna-asemia. Tutka kykenee seuraamaan liikkuvia maamaaleja (GMTI=Ground Moving Target Indicator), kuten panssariajoneuvo, 30 kilometriin saakka. Tutkan erottelukyvyksi hävittäjän kokoiseen maalin väitetään oleva jopa 90 kilometriä. Järjestelmään on myös suunniteltu SAR-moodia (Synthetic Aperture Radar), joka mahdollistaa automaattisen toiminnan matalissa lentokorkeuksissa (alle 100 metriä) ja se kykenee automaattiseen maastonseurantaan. [46], [47]



**Kuva 27:** SU-34 koneeseen kiinnitetty B-004 –tutkan prototyyppi. [46]

Aiemmin suunnitelmissa ollut sisäinen elektro-optinen järjestelmä tullaan luultavimmin korvaamaan siipen kiinnitettävällä Sapsan-E –podilla. Sapsan-E pitää sisällään lämpökameran ja laserosoittimen maalittamiseen.

SU-34 rynnäköpommittajan omasuojajärjestelmä tulee pitämään sisällään tutkavaroitimen, joka luultavimmin tulee olemaan SPO-32 / L150 Pastel –järjestelmä. Sama järjestelmä on käytössä myös SU-27 koneessa. Koneessa on mahdollista käyttää siipeen kiinnitettävää SPS-171 / L005S Sorbtsiya-S ECM-podia. Järjestelmän ammunnanhallintajärjestelmä L175W kykenee saamaan maalitietoa suoraan tutkavaroitimelta. Koneessa tulee olemaan omasuojaan myös IR- ja UV-alueen ohjusten ohjusvaroitin, kuten esimerkiksi L-136 MAK-UFM. Koneeseen asennettava silpun- ja soihdunlevitin järjestelmä tulee luultavimmin olemaan SU-27 koneessakin käytettävä APP-50. [40], [46], [47]

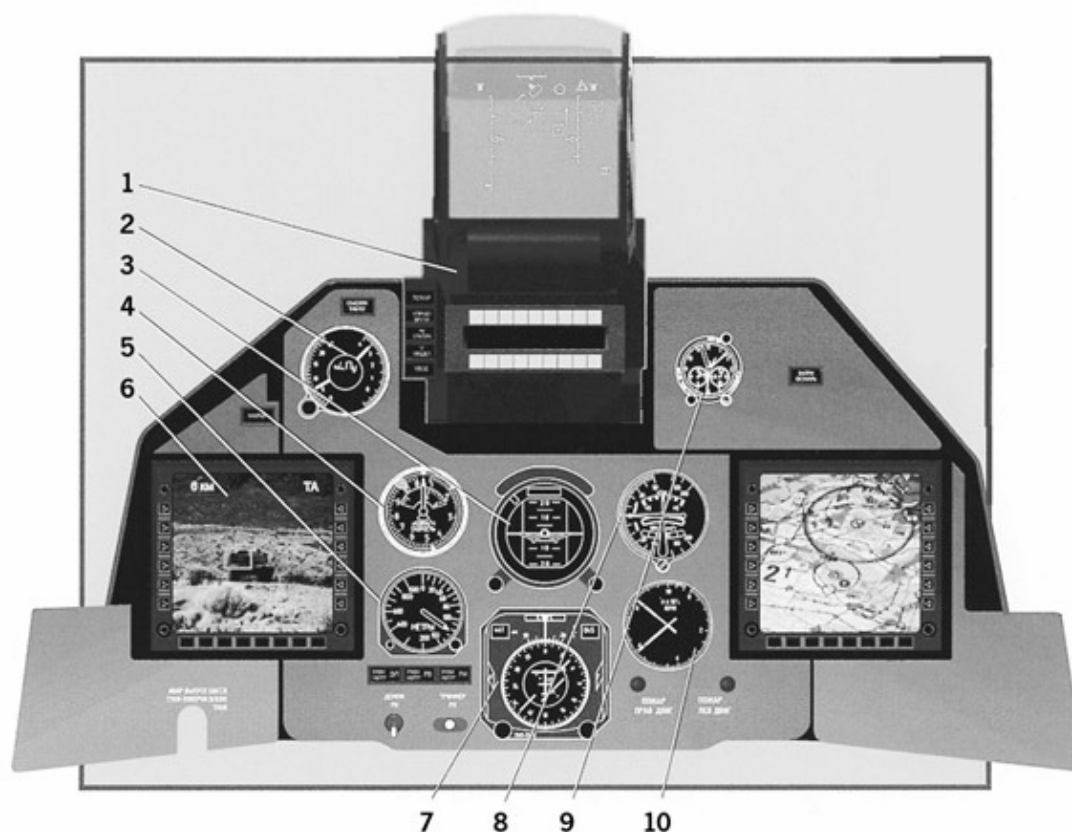
### 3.4 SU-25SM

Modernisoiduin SU-25-perheen rynnäkkökone on nimeltään SU-25SM. Ensimmäiset kuusi SU-25SM rynnäkkökoneita luovutettiin Venäjän ilmavoimille 28.11.2006. Tällä hetkellä Venäjän ilmavoimille on toimitettu yhteensä 20 kappaletta SU-25SM koneita. Venäjän ilmavoimien komentajan mukaan kaiken kaikkiaan kaksi rynnäkölentorykmenttiä (noin 60 konetta) tullaan varustamaan SU-25SM rynnäkkökoneilla. [55]

Modernisoinnin tarkoituksena on parantaa asejärjestelmien tarkkuutta ja mahdollistaa niiden käyttö kauempaa. Yksi modernisoinnin kohteista on koneen runko, jonka elinaikaa pyritään kasvattamaan.

Modernisointiin kuuluu uusi monikäyttöinen värillinen LCD-näyttö ja uudet radiot yhteydenpitoon taistelunjohton ja muiden koneiden välille. Koneeseen on lisätty Glonass-satelliittipaikannusjärjestelmä, jolla koneen käytettävyyttä parannettua huomattavasti sekä radiosuunnistusjärjestelmä, joka mahdollistaa koneen toiminnan heikoissa sää- ja valaistusolosuhteissa. Koneen tutkavaroitin korvataan Irtys EW –järjestelmällä, joka pitää sisällään Pastel tutkavaroitimen, uuden ohjusvaroitimen ja automaattisen soihdun ja silpun levittimen.

Tärkein koneeseen tehtävä modernisointi on sen tulenjohto- ja maalinsoitusjärjestelmän uusiminen. SU-25SM pitää sisällään uuden PrNK-25SM suunnistus- ja ammuttajärjestelmän. Järjestelmä pitää sisällään satelliittivastaanottimen, LCD-näytön ja SUO-39 ammunnanhallintajärjestelmän. Järjestelmän sanotaan tuottavan 2-3 kertaan paremman tarkkuuden asejärjestelmille ja jopa kymmenkertaisen tarkkuuden suunnistamiselle. Uusittu järjestelmä mahdollistaa uudemman ilmataisteluohjuksen R-73 (AA-11 Archer) käytön. SUO-39 ammunnanhallintajärjestelmän sanotaan koostuvan Panther ammuttajärjestelmästä ja Kopyo-tutkasta sekä Klen-Ps laserosoittimesta. Koneen uudessa keularatkaisussa Kopyo-tutka on sijoitettu koneen rungon sisään Klen-Ps laserosoittimen yhteyteen.



**Kuva 28:** SU-25SM:n uusi ohjaamo, jossa HUD-näyttö keskellä ylhäällä sekä oikealla ja vasemmalla kaksi LCD-näyttöä.

Näiden mittavien päivitysten avulla SU-25SM rynnäkkökoneen aseistus mahdollisuudet kasvavat huomattavasti. Tärkeimpinä uusina asejärjestelminä voidaan käyttää Kh-25ML ja Kh-29L laserohjattavia ohjuksia, televisio-ohjattavaa Kh-29T ohjusta ja televisio-ohjattavaa KAB-500Kr pommia. Uusittu elektronientiedustelujärjestelmä mahdollistaa Kh-31P tutkaohjuksen käytön. [9], [40], [55]



## 4 MONITOIMIHÄVITTÄJIEN ILMASTA MAAHAN SUORITUSKYKY

### 4.1 SU-27SM

Su-27 ”Flankerin” kehitys aloitettiin 1970-luvulla. Sen kehittämiseksi pyrittiin vastaamaan Yhdysvaltojen kehittelemiä F-14, F-15, F-16 ja F-18 koneisiin. Sen ensilento toteutettiin jo 1977, mutta se on edelleen Venäjän tärkein ilmataisteluhävittäjä ja sitä on myyty useisiin muihin valtioihin. Se on kehitetty erityisesti ilmaherruushävittäjäksi. Su-27 on ollut edelläkävijä monessa verrattuna muihin vastaaviin hävittäjiin.

Myöhemmin Su-27 on kehitelty useita eri versioita erilaisia tehtäviä varten, joista tärkein monitoimihävittäjä on Su-27SM, joka on palveluskäytössä Venäjällä. Ensimmäiset viisi konetta luovutettiin Venäjän ilmavoimille vuonna 2003. Eräissä lähteissä Su-27SM hävittäjän sanotaan olevan suorituskyvyltään 60% parempi kuin Su-27 perusversio. Su-27SM on 4+ -sukupolven monitoimihävittäjä. Päivitysten myötä koneen ripustinten määrää kasvatettiin 10 ripustimesta kahteentoista.

Vuoden 2006 loppuun mennessä Venäjän ilmavoimille oli toimitettu 24 päivitettyä Su-27SM monitoimihävittäjää. Vuoteen 2010 Venäjän ilmavoimille lienee SU-27SM koneita käytössä kaksi rykmenttiä (n. 48 konetta).

Su-27SM koneessa on myös paljon kehitetty ohjaamoja. Ohjaamoon on lisätty satelliittinavigointivastaanotin, kolme monitoiminäyttöä (MFD = multi function display) ja uusi kommunikointijärjestelmä sekä HUD. Koneeseen lisättiin myös täysin digitaalinen ohjausjärjestelmä. [9], [17]

Su-27SM monitoimihävittäjällä pyritään vastaamaan Yhdysvaltojen kehittelemille F-22 ja F-35 JSF –koneille (Joint Strike Fighter). Vuosien 2004–2006 välillä Venäjän ilmavoimille luovutettiin 24 konetta (rykmentti) ja toisen rykmentin modernisoinnin odotetaan valmistuvan lähiaikoina.

Koneen asevalikoima on laaja, sisältäen uusimmat ilmasta–ilmaan ja ilmasta–maahan aseet. Su-27SM:n maksimi asekuormaksi ilmoitetaan 8,000 kg ja toimintasäteeksi lisäpolttoaineen kanssa noin 4000 km. [17], [40], [49]



**Kuva 29:** SU-27SM:n ohjaamo. [17]

	SU-27	SU-27SM
Moottori	AL-31F	AL-31F
Lentoonlähtöpaino		
normaali	23,140kg	23,700kg
maksimi	28,300kg	33,000kg
Sisäinen polttoainemäärä	9,400kg	9,965kg
Lisäpolttoainesäiliöt	-	3,100kg
Maksimi toimintasäde		
sis. polttoaineella	3,720km	3,790km
lisäsäiliöillä		4,390km
Operatiivinen toimintasäde		
korkealla	1,090km	1,250-1,320km
pinnassa	420km	660-690km
Tutka	N001	N001V
Asekuorma	8,000kg	8,000kg
Ripustuspisteet	10	12

**Taulukko 8:** Taulukko SU-27:n ja SU-27SM:n yleisistä ominaisuuksista. [48]

#### 4.1.1 SUV-27 ammunnanhallintajärjestelmä

SUV-27 ammunnanhallintajärjestelmä on Su-27SM monitoimihävittäjässä käytetty järjestelmä, joka koostuu RLPK-27 tutkatähtäysjärjestelmästä, OEPS-27 elektro-optisesta tähtäysjärjestelmästä, yhdistetystä SEI-31 tunnistusjärjestelmästä. Järjestelmään kuuluu myös omatunnistejärjestelmä (IFF= Identification Friend or Foe).

#### 4.1.2 RLPK-27 tutkatähtäysjärjestelmä ja N001V tutka

RLPK-27 järjestelmä koostuu N001V tutkasta ja digitaalisesta tietokoneesta Ts-100, jolla järjestelmää ohjataan. N001V on pulssidopplertutka jaksotetulla antennilla. Tutkan päivitys antaa paremman suorituskyvyn aiempaan versioon verrattuna. Tärkein tutkan kehityksen tuoma lisäominaisuus on ilmasta maahan suorituskyky. Tutka mahdollistaa myös uuden RVV-AE (R-77) ilmataisteluohjuksen käytön sekä laajan valikoiman ohjattuja ilmasta maahan pommeja ja ohjuksia. Su-27SM koneen oletetaan voivan käyttää lähes kaikkia Venäjän käyttämiä taktisia ilmasta maahan aseistuksia. Joidenkin lähteiden mukaan koneeseen olisi vaihdettu kokonaan uusi tutka, mutta ilmeisesti rahoituksesta johtuen päädyttiin SU-27 koneen alkuperäistä tutkaa vain päivittämään. [48], [51]

RLPK-27 –järjestelmän sanotaan kykenevän seuraamaan samanaikaisesti kymmentä eri kohdetta TWS –moodissa (Track-While-Scan). Alkuperäisen N001 tutkan suorittimen on sanottu olevan melko alkeellinen, joka teki järjestelmästä epätarkan ja haavoittuvan väärille maaleille. Päivityksellä on pyritty estämään tutkan haavoittuvuus vääriä maaleja vastaan. [17], [40]



**Kuva 30:** N001 tutka. [32]

Tutkan kantama 3 neliömetrin kokoisia kohteita vastaan on sanottu olevan 100km koneen etupuolella ja 40 km koneen takapuolella. Tutka kykenee seuraamaan 3m<sup>2</sup> kokoista kohdetta 65km etäisyydeltä. Tutka kykenee etsimään, tunnistamaan ja seuraamaan maksimissaan kymmentä kohdetta samanaikaisesti automaattisella uhka-arvioinnilla, mutta sen avulla voidaan hyökätä vain yhtä kohdetta kerrallaan. Järjestelmällä kyetään havaitsemaan ilmamaaleja 300 metrin korkeudesta 27 kilometrin korkeuteen. Järjestelmä kykenee myös seuraamaan ECM (Electronic Counter Measures) lähteitä ja syöttämään dataa OEPS-27 järjestelmälle. Tutkan keskimääräiseksi lähetystehoksi on ilmoitettu 1 kilowatti ja se toimii 8-12,5 GHz taajuusalueella. [12], [32]

Piotr Butowski kirjoittaa vuonna 2004 Jane's Intelligence Review lehdessä tutkan kykenevän havaitsemaan laivaluokan kokoisen kohteen 70 kilometrin päästä. Hän kirjoittaa myös että, maakohteista tutkalla kyetään havaitsemaan rautatiesilta 150-200km:n ja panssarivaunuryhmä 70-80km:n päästä. [48], [51]

RLPK -järjestelmällä on joka sään toimintakyky ja sillä sanotaan olevan hyvä elektronisen häirinnän ja vaikutuksen väistökyky. [50]

#### 4.1.3 OEPS-27 elektro-optinen tähtäysjärjestelmä

Su-27SM monitoimihävittäjässä on käytössä OEPS-27 elektro-optinen tähtäysjärjestelmä. Järjestelmään kuuluu OLS-27 optinen paikantamisjärjestelmä, Shchel-3UM kypärätähtäin ja digitaalinen tietokone Ts-100 ohjainlaitteena. OLS-27 -järjestelmä (Infrared Search and Track =IRST) koostuu laseretäisyysmittarista ja lämpökamerasta sekä TV -kamerasta. Järjestelmän lämpökamera paikantaa maalin maalista lähtevän lämpösäteilyn perusteella sekä aloittaa kohteen seurannan. Samanaikaisesti järjestelmän laseretäisyysmittari mittaa kohteen etäisyyden. OEPS-27 järjestelmä kykenee suorittamaan kaikki samat operaatiot kuin RLPK-27 järjestelmä, mutta vain rajoitetuissa sääolosuhteissa. OEPS-27 järjestelmä tuottaa paremmin tarkkuuden ja siinä on vieläkin parempi häirinnän kestävyys kuin RLPK-27 järjestelmässä.

Järjestelmän lämpökameran havaitsemisetäisyys on 40-100km riippuen kohteen ja järjestelmän muodostamasta kulmasta. Jälkipoltoa käyttävän lentokoneen järjestelmä havaitsee taakapäin 100 kilometrin etäisyydeltä. Järjestelmään kuuluvan kypärätähtäimen avulla pilotti pystyy syöttämään käytettävällä asejärjestelmän hakupäälle ja OLS-27 paikantamisjärjestelmällä maalitietoa kääntämällä päänsä kohti haluttua maalia. [50]

OLS-27 seurantanopeus on 25 astetta/sekunti. Laseretäisyysmittarin tehokkaiksi etäisyyksiksi ilmamaaleihin ilmoitetaan 300-3000m ja maamaaleihin 300-5000m. Järjestelmä kykenee keilaamaan  $\pm 60$  astetta vaakasuunnassa ja  $+60/-15$  astetta pystysuunnassa. Laseretäisyysmittarin mittaustarkkuudeksi on ilmoitettu 3-10 metriin. [32]

Kypärätähtäin ja laseretäisyysmittari yhteen sovitettuna mahdollistavat visuaalisen maalinetsinnän ja määrittämisen sekä ilma- ja pintamaaleihin. [51]



**Kuva 31:** OLS-27 sensori on sijoitettu ohjaamon kuomun etupuolelle. [12]

OLS-27 järjestelmällä saadaan lisää luotettavuutta ja vaihtoehtoja maalin havaitsemiseen ja seuraamiseen sekä maalikomentojen antamiseen asejärjestelmille. Järjestelmä mahdollistaa infrapunaohjusten käytön, esimerkiksi R-73 ja R-27T/ET, ja sillä kyetään ohjaamaan Su-27SM kuuluvaa tykkiä. [50]

#### 4.1.4 SEI-31 integroitu osoitinjärjestelmä

Su-27SM monitoimihävittäjässä on käytössä SEI-31 osoitinjärjestelmä, joka mahdollistaa lento-, navigointi- ja tähtäysdatan ILS-31 HUD-näytöille. Järjestelmä syöttää tarvittavat tiedot HUD-näytöille ja tutkalle sekä eri sensoreille. Sen avulla ammunnanhallintajärjestelmä automaattisesti laukaisee kulloinkin käytettävät asejärjestelmät ennalta määrätyn järjestyksen ja ennalta määrätyn väliajoin.[50]

#### 4.1.5 PNK-10 suunnistusjärjestelmä

Yksi tärkeä suorituskyvyn muodostamiselle Su-27SM monitoimihävittäjässä on PNK-10 lento- ja navigointijärjestelmä. Järjestelmällä on joka sään ja joka vuodenajan toimintakyky. Järjestelmän on luvattu suoriutumaan kaikista olosuhteista maan ja meren päällä sekä kaikenlaisissa maantieteellisissä olosuhteissa.

PNK-10 järjestelmällä on lyhyt lentoa edeltävä valmistelu-aika, joten se soveltuu hyvin nopeasti suoritettaviin tehtäviin. Järjestelmän avulla syötetään jatkuvasti tarvittavaa tietoa olosuhteista, kohteesta ja sijainnista muille sensoreille. PNK-10 järjestelmän merkitys suorituskyvyn muodostumiselle on merkittävä. [50]

#### 4.1.6 EW -omasuojajärjestelmä

Su-27SM pitää sisällään päivitetyn omasuojajärjestelmän. Järjestelmään kuuluu L150 Pastel elektroninen tiedustelujärjestelmä, L175 Knibiny häirintäjärjestelmä sekä silpun- ja soihdunlevitin.

Järjestelmä tuottaa varoituksen, kun kone on joutunut vihollisen tutkan mittauksen kohteeksi. Järjestelmä kykenee automaattisesti aloittamaan sekä passiiviset että aktiiviset vastakeinot. Su-27SM monitoimihävittäjään on asennettu myös SPO-15 tutkavaroitin sekä APP-50 infrapunavaroitin. SPO-15 –tutkavaroitinjärjestelmää on esitelty luvussa 5.1.6. Useimmissa Su-27 hävittäjissä on käytetty siiven kärkiin kiinnitettävää Sorbtsiya omasuojajärjestelmää.



**Kuva 32:** Sorbtsiya ECM -säiliö Su-27 siipeen kiinnitettynä.

#### 4.1.7 SU-27SM ilmastamaahan aseistus mahdollisuudet

SU-27SM monitoimihävittäjän modernit järjestelmät mahdollistavat joka sään ja ympärivuorokautisen toiminnan. SU-27 koneen modernisointi SU-27SM monitoimihävittäjäksi mahdollistaa uusimpien ilmasta-maahan asejärjestelmien käyttämisen. Uusina asejärjestelminä aiempiin modernisointeihin verrattuna tulee ainakin Kh-31A/ P, Kh-35U, Kh-59M ja Kh-29T/TE /L. Perinteisten ”tyhmien pommien” lisäksi koneeseen voidaan ripustaa joko yksi KAB-1500Kr/L tai neljä KAB-500Kr/L TV- ja laserohjattava pommia. [48]

Kh-31 on meritorjuntaohjus, jonka kantama on 70 kilometriä. Ohjuksessa on aktiivinen tutkahakupää. Kh-31P on tutkasäteilyyn hakeutuva versio. Kh-35U on meritorjuntaohjus, jonka kantama on 5-130 kilometriin. Kh-35U ohjuksessa on myös aktiivinen tutkahakupää. Kh-59M on televisio-ohjattava meritorjuntaohjus, jonka kantama on 120 km. Kh-29T on TV-ohjattava ilmasta-maahan ohjus, jonka kantama on 30 km. Kh-29TE on elektro-optisesti ohjattava versio ja Kh-29L laserohjattava. [29], [40]

SU-27SM kykenee kuljettamaan ja laukaisemaan lähestulkoon kaikkia Venäjän ilmavoimien käytössä olevia ilmasta-maahan asejärjestelmiä. Ainoana rajoituksena on sen rajallinen kyky kantaa suuria kuormia kerralla ja osaan sen ripustuspisteistä on kiinnitetty ilmataisteluohjuksia. Maksimi asekuorma SU-27SM monitoimihävittäjällä on 8000 kiloa ja siinä on 12 ripustuspistettä. [29]

#### 4.1.8 SU-27SM:n ilmastamaahan suorituskyky tarkasteltavaan kohteeseen

SU-27 ilmataisteluhävittäjästä modernisoidusta SU-27SM monitoimihävittäjällä on erittäin hyvät ominaisuudet niin ilmasta-ilmaan kuin ilmasta-maahan toimintaan. Se kykenee taistelemaan tiensä kohteelle, vaikuttamaan kohteeseen ja taistelemaan tiensä pois kohteelta. Huomioitavaa SU-27SM:n ilmataistelukykyä tarkasteltaessa on sen ollessa monitoimitehtävässä, että asekuorman kasvaessa sen liikehtiminen ja ilmataistelukyky heikkenee. 8000kg:n maksimi asekuorma ja 12 ripustinpistettä mahdollistaa useiden eri tarkoituksiin olevien asejärjestelmien käyttämisen. Toimintasäde lisäpolttoaineella kattaa koko Suomen alueen.

SU-27SM monitoimihävittäjän omasuojajärjestelmät mahdollistavat toiminnan uhkan ollessa suuri. Kone kykenee havaitsemaan ja tunnistamaan uhkia sekä vaikuttamaan niihin passiivisesti ja aktiivisesti. Koneen omasuojajärjestelmä voidaan muuttaa tehtävään soveltuvaksi siipeen kiinnitettävillä säiliöillä, kuten Sorbtsiya ECM –säiliö.

SU-27SM:n sensorijärjestelmät tuottavat koneen pilotille riittävän informaation kohteesta ja ympäröivästä tilanteesta. Tutkan lisäksi joka sään toimintakykyä on saatu OLS-järjestelmään kuuluvalla infrapunakameralla. Infrapunakamera mahdollistaa toiminnan pimeissä olosuhteissa ilman tutkan aktivointia. Infrapunakameran havaitsemisetaisyudeksi on ilmoitettu 40-100 kilometriä. Näin suureen havaitsemisetaisyyteen päästään vain ilmassa oleviin kohteisiin ja maassa oleviin kohteisiin mittausetaisyys on huomattavasti pienempi.

Lämpökamera, tutka, TV-kamera ja laserosoitin mahdollistavat modernimpien ja tehokkaimpien ilmasta-maahan asejärjestelmien käyttämisen. SU-27SM monitoimihävittäjästä on mahdollista käyttää ohjautuvia asejärjestelmiä ilman havaintoa kohteesta. Tällöin on tiedettävä kohteen sijainti ja syötettävä asejärjestelmällä kohteen koordinaatit. Suunnistamiseen ohjus käyttää GPS/GLONASS järjestelmää ja loppuhakeutumiseen infrapuna- tai tutkahakupäätä. Tällaisten asejärjestelmien käyttäminen mahdollistaa asevaikutuksen saamisen kohteelle ilman, että laukaisevan lavetin tarvitsee tunkeutua alueen ilmatorjunnan kantaman sisäpuolelle.



Laskettaessa maksimaalista mittausetäisyyttä N001V tutkalle simuloinnissa käytettyyn panssarivaunun 3D-mallin tutkaherätteeseen 45 asteen korkeuskulmalla ja 10GHz:n taajuudella saadaan mittausetäisyydeksi 2329,3 metriä tutkaherätteen ollessa 10,285m<sup>2</sup>. Lähetytsehona on käytetty 1kW. Antennivahvistuksen on käytetty arvoa 10<sup>2,9</sup> eli 29dB. Minimivastaanottotehona käytetään -90dB eli 10<sup>-9</sup>. Tutkan mittausetäisyydeksi 3m<sup>2</sup> kokoiseen kohteeseen on ilmoitettu olevan jopa 100km. 100 kilometrin mittausetäisyyteen tutkalla voidaan päästä ilmamaaleihin.

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{1000W \times (10^{2,9})^2 \times (0,03m)^2 \times 10,825m^2}{(4\pi)^3 \times 10^{-9}}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{58404566,6Wm^4}{1,984 \times 10^{-6}W}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{2,944 \times 10^{13}m^4}$$

$$R_{max} = 2329,3m$$

Kohteen ja koneen välisen kulman ollessa 45 astetta ja mittausetäisyyden 2329,3 metriä saadaan koneen lentokorkeudeksi 1647,1 metriä kaavalla

$$\sin 45^\circ = X / 2329,3m,$$

$$X = \sin 45^\circ \times 2329,3m$$

$$X = 1647 \text{ metriä}$$

Havaintoetäisyys on erittäin lyhyt, joten tarkastellaan kohdetta, joka kyetään havaitsemaan N001V tutkalla 13098,6 metrin etäisyydeltä. 13098,6 metrin havaintoetäisyyteen päästään, kun minimivastaanottotehona käytetään -120dB:ä -90dB:n sijaan. Tällöin koneen lentokorkeudeksi saadaan 45 asteen kulmalla noin 9262 metriä.

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{1000W \times (10^{2,9})^2 \times (0,03m)^2 \times 10,825m^2}{(4\pi)^3 \times 10^{-12}}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{58404566,6Wm^4}{1,984 \times 10^{-9}W}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{2,944 \times 10^{16}m^4}$$

$$R_{max} = 13098,6m$$

SU-27SM monitoimihävittäjä kykenee samanaikaisesti kuljettamaan neljää KAB-500Kr/L ohjattavaa pommia. KAB-500L voidaan laukaista 5000 metrin etäisyydeltä kohteesta. Koneen nopeuden ollessa 250m/s havainnon ja laukaisuhetken välillä on noin 32 sekuntia. KAB-500L maksimipommituskorkeus on 9000 metriä pommitettaessa 5000 metrin etäisyydeltä kohteesta. Havainnon ja laukaisuhetken välillä on riittävästi aikaa koneen pudottaa korkeutta 6000 metriin saakka, joka on KAB-500L pommille ilmoitettu tarkka pommituskorkeus, jolla päästään 4 metrin osumistarkkuuteen. 6000 metrin korkeudelta pommitettaessa KAB-500 pommeilla on kohteen ja lavetin välinen etäisyys pienempi kuin 5000 metriä. 4 KAB-500L pommilla saavutetaan maksimissaan 6000m<sup>2</sup> kokoinen alue, jolla pommit vaikuttavat.

Ohjusten voidaan olettaa olevan yleisimpiä ilmasta-maahan asejärjestelmiä, joita käytetään SU-27SM monitoimihävittäjästä. Esimerkiksi Kh-29, joka on TV-ohjattava ohjus. Ohjuksen nopeus on 278m/s. Jos kohteesta saadaan havainto noin 13000 metrin etäisyydeltä, voidaan ohjus laukaista välittömästi. Ohjuksen laukaisuetäisyys on 2-200 km laukaisukorkeudesta riippuen. Ohjus osuu kohteeseen 3-5 metrin tarkkuudelta noin 47 sekunnin kuluttua laukaisuetäisyyden ollessa 13000 metriä. Ohjuksen 315 kilon taistelulataus saa aikaan riittävän suuren vaikutuksen kohteessa. Ohjuksen ja lavetin yhteydenpitoon tulee lavetissa olla data-linkki, esimerkiksi APK-9, jolla ohjauskomennot välitetään.

SU-27SM on erittäin monikäyttöinen ja suorituskykyinen monitoimihävittäjä. Siitä käytetään todennäköisemmin ohjuksia ja ohjautuvia pommeja. Sillä kyetään pommittamaan riittävän korkealta, kohdeilmatorjunnan ulottumattomista. Koska SU-27SM monitoimihävittäjä on modernisoitu ilmataisteluhävittäjästä sillä on erittäin hyvä ilmataistelukyky. SU-27SM monitoimihävittäjän todennäköinen tehtävä voisi olla vastustajan tutkien lamauttaminen tutkan lähettämään säteilyyn hakeutuvilla ohjuksilla, kuten Kh-25MP.

#### 4.2 MIG-29SMT

MiG-29 hävittäjäkoneen kehittäminen aloitettiin jo 1969. Se kehitettiin alkuperäisesti yksipaikkaiseksi joka sään toimintakykyiseksi ilmaherruus hävittäjäksi. Se suoritti ensilentonsa 1977 ja se astui Neuvostoliiton ilmavoimien palvelukseen 1983. MiG-29 käyttäjä maita on edelleenkin lähes kolmekymmentä.

MiG-29 hävittäjän suunniteltuna tehtävänä oli 60–200 kilometrin etäisyyksillä olevien ilma-maalien tuhoaminen kaikissa lentokorkeuksissa, kaikissa sääolosuhteissa ja mahdollisen elektronisen vaikutuksen alla. Alkuperäisessä MiG-29 hävittäjässä oli jo, tosin hyvin rajoittunut, ilmasta maahan suorituskyky. Siitä kyettiin laukaisemaan hyvissä olosuhteissa, staattisia kohteita vastaan, ohjaamattomia heitteitä.

MiG-29 koneessa on myöhemmin kehitetty useita erilaisia malleja erilaisiin käyttötarkoituksiin. Jo vuonna 1985 ensimmäinen parannetulla ilmasta maahan suorituskyvyllä oleva MiG-29 koki ensilentonsa. Versiossa oli paranneltu avioniikka ja tämän version kehittäminen johti myöhemmin MiG-29M version kehittämiseen, jonka prototyyppi lensi ensimmäisen kerran 1986. MiG-29M2 on vastaava kone, mutta se on kaksipaikkainen, kun taas MiG-29M on yksipaikkainen. Uusin MiG-29 versio MiG-29SMT esiteltiin presidentti Jeltsinille vuonna 1997. Lähteiden mukaan Venäjän ilmavoimat olisivat tilanneet 150 MiG-29 modernisoinnut MiG-29SMT versioksi. Epäselvää on edelleen millä laajuudella Venäjän ilmavoimat modernisoivat MiG-29 kalustoaan. Modernisoinnin tarkoituksena oli lisätä Venäjän ilmavoimien käytössä olevien MiG-29 toimintaikää, mutta sitä tarjottiin myös muille MiG-29 käyttäjämaitteille päivitysmahdollisuus. Modernisoinnilla koneen käyttöaika kasvaa noin 20 vuodella. Useat maat, kuten Yemen ja Intia, ovat tehneet sopimukset omien koneidensa modernisoinnista. MiG-29SMT vastaa ominaisuuksiltaan SU-27SM monitoimihävittäjää.[40], [57], [58]

MiG-29SMT on monitoimihävittäjä, jolla on hyvä suorituskyky niin AA kuin AG toimintaan. Koneella on erittäin hyvät liikehtimisominaisuudet. MiG-29SMT:n uudenlainen tietokonejärjestelmä mahdollistaa venäläisten asejärjestelmien lisäksi länsimaisten asejärjestelmien käyttämisen. [40]



**Kuva 33:** MiG-29 hävittäjä.[20]

Tässä luvussa paneudutaan MiG-29SMT versioon ja sen ilmasta-maahan suorituskykyyn vaikuttaviin järjestelmiin.

#### 4.2.1 Sapfir-29 ammunnanhallintajärjestelmä ja N-019MP tutka

MiG-29 ja sen modernisoiduissa versioissa on käytössä Sapfir-29 ammunnanhallintajärjestelmä. Järjestelmä koostuu N-019MP tutkasta ja TS100 prosessorista. Ohjaamoon on sijoitettu isoa kaksi värillistä monitoimista LCD-näyttöä (152 x 203 mm) sekä kolme pienempää yksiväristä LCD-näyttöä (99 x 77mm). Pilotin tilannetietoisuutta on parannettu digitaalisesti liikukuvalla kartalla, jota käytetään isommissa LCD-näytöissä. Ohjaamoon on mahdollista sijoittaa Terprom mallinen korkeusmittari, jolla saadaan jatkuvasti tutkan mittaamaa korkeustie-

toa. Ohjaamossa on yksi HUD-näyttö, jota on modernisoitu aiemmista versioista. Koneessa on lisäksi GPS ja INS pohjainen paikannus- ja suunnistusjärjestelmä. [40]

MiG-29SMT monitoimihävittäjässä käytetään N-019MP tutkaa. Tutka on modifioitu alkuperäisessä MiG-29 koneessa olleesta N-019. Tutkalla kyetään maastonseurantaan, 10 maakohteen ja 20 ilmakohteen seurantaan samanaikaiseen seurantaan ja ampumaan kahteen maakohteeseen ja neljään ilmakohteeseen samanaikaisesti. Alkuperäiseen versioon verrattuna N-019MP tutkassa on huomattavasti kehittyneempi tietokonejärjestelmä, laajempi avauskulma ja tutkassa on lisäksi SAR-moodi maakohteille. Tutkan kattamaksi alueeksi on ilmoitettu 70 astetta vaakatasossa ja +50/-40 astetta pystytasossa. N-019MP tutka on ominaisuuksiltaan vastaava kuin muiden maiden kuin Venäjän modernisointeihin kuulunut N-019ME (E, Export). Joissakin lähteissä N-019ME tutkasta puhutaan nimellä Zhuk-ME. [57], [58]

Tutka itsessään koostuu N-019-01 antennista, N-019-02 lähettimestä, N-019-03 analogisesta signaali prosessorista, N-019-09 signaalin vastaanottimesta, N-019-11 signaalitahdistimesta ja N-019-22 pää oskillaattorista.

Tutkalla kyetään havaitsemaan ja seuraamaan liikkuvia kohteita rajallisesti. Tutkan liikkuvan kohteen havaitsemisominaisuudet rajoittuvat 15km/h nopeuteen kohteella. Tutkalla kyetään osoittamaan maaleja käytettävälle asejärjestelmällä ja sen avulla kyetään ohjaamaan asejärjestelmiä.

Maastonseurantaan tutkaa voidaan käyttää neljällä eri tarkkuudella. Tutka kykenee kattaamaan  $15 \times 15$  km,  $24 \times 24$  km,  $50 \times 50$  km tai  $77 \times 77$  km. Suurinta aluetta käytettäessä resoluutioksi muodostuu 15 metriä. [40], [59], [60]

N-019MP toimii 8-12,5 GHz:n taajuusalueella. Keskimääräinen teho, jolla tutka toimii, on 1,5 kW. Tutkan maksimaaliseksi tehoksi ilmoitetaan 6kW. Tutka kykenee havaitsemaan hävittäjä-luokan aluksen 300 kilometrin etäisyydeltä, rautatiesillan 120 kilometrin ja liikkuvan panssarivaunuryhmän 25 kilometrin etäisyydeltä. [40]

Tutkassa on useita ilmasta-maahan moodeja. Tutka kykenee liikkuvan maalin ilmaisuun ja seurantaan sekä etäisyyden mittaukseen. Tutka kykenee muodostamaan melko tarkkaa karttatietoa ohjaamon näytöille. LCD-näytöllä voidaan lukita haluttu tutkan muodostama karttakuva pidempiaikaista tarkastelua varten. Tutkassa on SAR-moodi, joka mahdollistaa rajallisesti

kohteiden havaitsemisen kasvuston sisältä ja mahdollisesti jopa maan alta. Tutkalla ja ohjaamon näyttölaitteilla kyetään suurentamaan tutkan muodostamaa kuvaa. Tutkassa on erillinen moodi toimittaessa merellä. [40]

#### 4.2.2 OEPrNK-29 tähtäys- ja suunnistusjärjestelmä

OEPrNK-29 järjestelmä koostuu NPO Geofizika KOLS IRST (Infra Rad Search and Track) infrapunakamerasta, jolla voidaan etsiä maaleja ja seurata niitä automaattisesti sekä OEPS-23 elektro-optisesta järjestelmästä, jota käytetään tähtäämiseen, asejärjestelmien ohjaamiseen ja etäisyyden mittaamiseen. Järjestelmän laseretäisyysmittarin mittausetäisyydeksi hävittäjän kokoiseen kohteeseen ilmoitetaan olevan 15 kilometriä. MiG-29SMT monitoimihävittäjässä on lisäksi E-502-20 datalinkki, jolla kone kykenee ottamaan vastaan komentoja A-50 AWACS taistelunjohtokoneelta sekä maatulenjohdolta. Datalinkillä voidaan ohjata ohjattavia asejärjestelmiä.



**Kuva 34:** MiG-29SMT IRST laitteisto. [9]

IRST järjestelmässä on TV-moodi, jonka maksimi havaintoetäisyydeksi on ilmoitettu 30 kilometriä. Järjestelmä toimii yhteistoiminnassa tutkan ja SHLEM-kypärätähtäimen kanssa. IRST-järjestelmän kattaa vaakatasossa  $\pm 65$  astetta ja pystysuunnassa  $+60$  ja  $-15$  astetta.

### 4.2.3 Omasuojajärjestelmät

MiG-29SMT monitoimihävittäjässä on kaksi BVP-30-26M silpun ja soihdunlevitintä. BVP-30-26M koostuu yhteensä 60 patruunasta. Järjestelmä on sijoitettu siipien yläpuolelle.

Tutkavaroitinena MiG-29SMT monitoimihävittäjässä käytetään SPO-15LM tutkavaroitinta. Järjestelmä sensorit ovat sijoitettu joka puolelle konetta, jolla saadaan katettua 360 astetta. Järjestelmään kuuluvat kaksi aktiivista tutkahäirintäantennia on sijoitettu koneen siipiin ja niillä kyetään häiritsemään tutkahakupäällä toimivia ohjuksia. Tutkavaroitin kykenee ilmaisemaan uhkan suunnan, lähettimen tyypin ja lähetteen ominaisuudet. Tutka automaattisesti ilmoittaa uhkaavimman lähetteen ja se kykenee ilmoittamaan lähetteen etäisyyden sen havaitseman tehon perusteella. Tutkavaroitimella voidaan osoittaa maaleja tutkasäteilyyn hakeutuville ohjuksille.

Omasuojajärjestelmiin kuuluu SUVP-29 passiivinen vastatoimenpide laitteisto ja IFF-järjestelmä.

MiG-29SMT tärkeimpänä omasuojajärjestelmänä ovat sen käyttämät ilmataisteluohjukset. Kone kykenee käyttämään lähestulkoon kaikki käytössä olevia ohjuksia. Yleisimmin MiG-29SMT monitoimihävittäjässä käytetään AA-10, AA-11 ja AA-12 ohjuksia. AA-11 on infrapunahakupäällä varustettu lähitaisteluohjus. AA-10 puoliaktiivinen keskikantaman ilmataisteluohjus, jonka loppu hakeutuminen tapahtuu sen tutkahakupään avulla. AA-12 ilmataisteluohjuksesta on useita eri versioita, joissa voi olla infrapunahakupää, puoliaktiivinen tutkahakupää tai tutkasäteilyyn hakeutuva hakupää. [21], [40], [57]

### 4.2.4 MiG-29SMT ilmastamaahan aseistus mahdollisuudet

MiG-29SMT monitoimihävittäjän sensorit ja ammunnanhallintajärjestelmät mahdollistavat modernisoitujen venäläisten ohjattavien ilmasta-maahan asejärjestelmien käyttämisen. Alkuperäiseen versioon verrattuna koneen hyötykuormaan on saatu kasvatettua modernisointien yhteydessä. Maksimiasekuorma MiG-29SMT koneella on 4500kg ja siinä on joidenkin lähetiden mukaan 6 ja joidenkin 8 ripustus pistettä. Toimintaetäisyys maksimikuormalla rajoittuu 2100 kilometriin. MiG-29SMT on mahdollista tankata ilmassa. [40], [57]

Nykyaikaisten ohjattavien ja ohjautuvien asejärjestelmien käyttö yhdessä modernisoitujen tutka ja sensorijärjestelmien kanssa muodostavat MiG-29SMT monitoimihävittäjästä erittäin tehokkaan monitoimihävittäjän useisiin eri tehtäviin, esimerkiksi ilmapuolustuksen lamauttamiseen. Järjestelmällä saavutetaan erittäin hyvä tarkkuus ja toimintasäde on erittäin hyvä.



**Kuva 35:** MiG-29SMT monitoimihävittäjän mahdollisia asejärjestelmiä. [21]

Yleisimmät ilmasta-maahan asejärjestelmät, joita MiG-29SMT monitoimihävittäjässä on suunniteltu käytettävän ovat Kh-31A, Kh-31P, Kh-29T/TE ja Kh-29L ilmasta-maahan ohjukset sekä KAB-500Kr, KAB-500L ja KAB-1500Kr ohjattavat pommit. Ilmasta-maahan asejärjestelmien käyttöä rajoittaa ripustuspisteiden määrä, joista osaan kiinnitetään ilmataisteluhjukset ja pidemmän toimintasäteen saavuttamiseksi lisäpolttoainesäiliöt. [21], [40], [46], [57]



#### 4.2.5 MiG-29SMT:n ilmastamaahan suorituskyky tarkasteltavaan kohteeseen

MiG-29 ilmataisteluhävittäjästä modernisoidusta MiG-29SMT monitoimihävittäjällä on erittäin hyvät ominaisuudet niin ilmasta-ilmaan kuin ilmasta-maahan toimintaan. Se kykenee taistelemaan tiensä kohteelle, vaikuttamaan kohteeseen ja taistelemaan tiensä pois kohteelta. Huomioitavaa SU-27SM:n ilmataistelukykyä tarkasteltaessa on sen ollessa monitoimitehtävässä, että asekuorman kasvaessa sen liikehtiminen ja ilmataistelukyky heikkenee. 4500kg:n maksimi asekuorma ja 6-8 ripustinpistettä mahdollistaa useiden eri tarkoituksiin olevien asejärjestelmien käyttämisen. Huomioitavaa on, että MiG-29SMT:n kyky kantaa asekuormaan on lähes puolet pienempi kuin SU-27SM monitoimihävittäjän.

MiG-29SMT monitoimihävittäjän omasuojajärjestelmät mahdollistavat toiminnan uhkan ollessa suuri ja niillä kyetään saamaan varoitus 360 asteisesti lavetin ympäriltä. Kone kykenee havaitsemaan ja tunnistamaan uhkia sekä vaikuttamaan niihin passiivisesti ja aktiivisesti. Silpuilla ja soihduilla voidaan aktiivisesti vaikuttaa lavettia vastaan laukaistuihin asejärjestelmiin. Omasuojajärjestelmiltä on mahdollista osoittaa maali käytettävälle asejärjestelmille.

MiG-29SMT:n sensorijärjestelmät tuottavat koneen pilotille riittävän informaation kohteesta ja ympäröivästä tilanteesta. MiG-29SMT monitoimihävittäjässä käytössä oleva NPO Geofizika KOLS IRST infrapunajärjestelmä mahdollistaa toiminnan pimeissä olosuhteissa ilman tutkan aktivointia. Koneeseen sijoitettu datalinkki mahdollistaa reaaliaikaisen tulenjohtodatan saamisen maatulenjohdolta ja AWACS koneilta.

Lämpökamera, tutka, TV-kamera ja laserosoitin mahdollistavat modernimpien ja tehokkaimpien ilmasta-maahan asejärjestelmien käyttämisen. MiG-29SMT monitoimihävittäjästä on mahdollista käyttää ohjautuvia asejärjestelmiä ilman havaintoa kohteesta. Tällöin on tiedettävä kohteen sijainti ja syötettävä asejärjestelmällä kohteen koordinaatit. Suunnistamiseen ohjus käyttää GPS/GLONASS järjestelmää ja loppuhakeutumiseen infrapuna- tai tutkahakupäätä. Tällaisten asejärjestelmien käyttäminen mahdollistaa asevaikutuksen saamisen kohteelle ilman, että laukaisevan lavetin tarvitsee tunkeutua alueen ilmatorjunnan kantaman sisäpuolelle.

Laskettaessa maksimaalista mittausetäisyyttä N019 tutkalle simuloinnissa käytettyyn panssarivaunun 3D-mallin tutkaherätteeseen 15 asteen korkeuskulmalla ja 12,5GHz:n taajuudella saadaan mittausetäisyydeksi 2649,5 metriä tutkaherätteen ollessa 17,216m<sup>2</sup>. Lähetytsehona on käytetty 1,5kW. Antennivahvistuksen on käytetty arvoa 10<sup>2,9</sup> eli 29dB. Minimivastanottotehona käytetään -90dB eli 10<sup>-9</sup>. Tutkan mittausetäisyydeksi 3m<sup>2</sup> kokoiseen kohteeseen on ilmoitettu olevan 50 – 70km. 50 - 70 kilometrin mittausetäisyyteen tutkalla voidaan päästä ilmamaaleihin.

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{1500W \times (10^{2,9})^2 \times (0,03m)^2 \times 17,216m^2}{(4\pi)^3 \times 10^{-9}}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{97763054,78Wm^4}{1,984 \times 10^{-6}W}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{4,928 \times 10^{13}m^4}$$

$$R_{max} = 2649,5m$$

Kohteen ja koneen välisen kulman ollessa 15 astetta ja mittausetäisyyden 2649,5 metriä saadaan koneen lentokorkeudeksi 685,7 metriä kaavalla

$$\sin 15^\circ = X/2649,5m,$$

$$X = \sin 15^\circ \times 2649,5m$$

$$X = 685,7 \text{ metriä}$$

Havaintoetäisyys on erittäin lyhyt, joten tarkastellaan kohdetta, joka kyetään havaitsemaan N019 tutkalla 14899 metrin etäisyydeltä. 14899 metrin havaintoetäisyyteen päästään, kun minimivastanottotehona käytetään -120dB:ä -90dB:n sijaan. Tällöin koneen lentokorkeudeksi saadaan 15 asteen kulmalla noin 3856,1 metriä.

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{1000W \times (10^{29})^2 \times (0,03m)^2 \times 17,216m^2}{(4\pi)^3 \times 10^{-12}}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{97763054,78Wm^4}{1,984 \times 10^{-9}W}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{4,928 \times 10^{16}m^4}$$

$$R_{max} = 14899m$$

SU-27SM monitoimihävittäjä kykenee samanaikaisesti kuljettamaan kahta KAB-1500L laserohjattavaa pommia. KAB-1500L voidaan laukaista 5000 metrin etäisyydeltä kohteesta ja 1000 – 5000 metrin korkeudelta. Koneen nopeuden ollessa 200m/s havainnon ja laukaisuhetken välillä on noin 50 sekuntia. KAB-1500L laserohjattavan pommin osumatarkkuus on 7-10 metriä ja osuessaan sille etäisyydelle kohteesta pommin 1180kg:n HE painevaikutteinen taistelulataus tuottaa riittävän suuren vaikutusalueen suurinkiin kohteisiin.

Ohjusten voidaan olettaa olevan yleisimpiä ilmasta-maahan asejärjestelmiä, joita käytetään MiG-29SMT monitoimihävittäjästä. Esimerkiksi Kh-35U, joka on aktiivisella tutkahakupäällä varustettu ohjus. Ohjuksen nopeus on 135m/s. Jos kohteesta saadaan havainto noin 15000 metrin etäisyydeltä, voidaan ohjus laukaista välittömästi. Ohjuksen laukaisuetäisyys on 5-130 km laukaisukorkeudesta riippuen. Ohjus voidaan laukaista 200 – 5000 metrin korkeudesta. Ohjus osuu kohteeseen alle 5 metrin tarkkuudelta noin 111 sekunnin kuluttua laukaisuetäisyyden ollessa 15000 metriä. Ohjuksen 145 kilon taistelulataus saa aikaan riittävän suuren vaikutuksen kohteessa. Ohjukselle syötetään ennen laukaisua kohteen sijainti lavetin ammunnanhallintajärjestelmältä.

MiG-29SMT on erittäin hyvä monitoimihävittäjä. Mikäli Venäjän ilmavoimilla on riittävät resurssit modernisoida riittävä määrä MiG-29 ilmataisteluhävittäjiä MiG-29SMT monitoimihävittäjiksi, on sillä melko hyvällä tasolla olevat monitoimihävittäjät SU-27SM mukaan lukien. MiG-29SMT monitoimihävittäjää tullaan käyttämään varmasti samanlaisissa tehtävissä kuin SU-27SM monitoimihävittäjää.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta Venäjän ilma-aseen olevan noin vuosikymmenen, ellei jopa vuosikymmeniä, jäljessä länsimaiseen ilma-aseeseen verrattuna. Näin on etenkin rynnäkkökonekaluston osalta. Suurella osalla Venäläisistä rynnäkkökoneista ei ole edes pi-meätoimintakykyä.

Venäläiset ovat kuitenkin kehittäneet järjestelmiään kahtena viime vuosikymmenenä, mutta kehitystyö ja järjestelmien modernisointi on auttamatta liian hidasta ja muiden valtioiden kehitystyöstä jäljessä. Venäläisten ilma-ase on aina ollut suurimmaksi osin jäljessä sensoriteknii-kan osalta länsimaiseen ilma-aseeseen verrattuna.

Modernisointien myötä Venäjän ilmavoimat saavuttavat siltä vaaditun suorituskyvyn. Ilma-taisteluhävittäjien modernisointi antaa mahdollisuuksia uusien toimintatapojen soveltamiselle. Yksi ja sama kone kykenee taistelemaan torjuntahävittäjien kanssa, lamauttamaan ilma-torjunnan sekä vaikuttamaan kohteeseen. Modernisaatiot ovat erittäin tärkeässä roolissa Venäjän ilmavoimissa, koska sama kone kalusto tulee olemaan operatiivisessa käytössä jopa 2030-luvulle saakka. Modernisointien pääpaino on selvästi sensori- ja asejärjestelmissä.

Asejärjestelmien kehittäminen autonomisemmiksi mahdollistaa kehittymättömimpienkin koneiden käyttämisen tehokkaasti. Aktiivinen hakeutuminen ja vaikutuksen sekä osumistarkkuuden kehittäminen mahdollistaa tarkan ja suuren vaikutuksen yhä pienemmissäkin kohteissa. Asejärjestelmien kehittyminen mahdollistaa asevaikutuksen saamisen kohteelle siten, että itse lavetin ei tarvitse tulla edes kohteena olevan valtion ilmatilaan. Tämä vaatii tarkan paikkatiedon kohteesta tai riittävän hyvän sensorijärjestelmän lavetilta, jotta kohde voidaan havaita riittävän kaukaa. Venäläisten rynnäkkökoneiden ja monitoimihävittäjien tutkat ja muut sensorit eivät ole vielä tällä tasolla.

Julkisissa lähteissä mainituista suorituskyvyistä voidaan todeta, että niihin tulee suhtautua kriittisesti. Lähteissä mainittujen parametrien ja tutkimukseen toteutetun simulaation tulosten avulla suoritettujen laskujen johtopäätöksenä voidaan todeta, että joko parametrit tai järjestelmien suorituskyky eivät ole totuuden mukaisia. Huomioitavaa on, että tutkien mittausetäisyydet putoavat, kun otetaan huomioon ilmakehän vaimennus, maavälke ja kohteen maastouttaminen ja naamiointi.

Monitoimihävittäjän osalta voidaan todeta, että SU-27SM on käyttömahdollisuuksiltaan ja suorituskyvyltään huomattavasti kehittyneempi kuin MiG-29SMT. Mahdollisesti tästä syystä MiG-29SMT monitoimihävittäjän modernisaatio on epävarmaa. Yhden konekaluston käyttäminen on ylläpidollisesti halvempaa ja helpompaa.

SU-24M ja SU-24M rynnäkkökoneet ovat erittäin suorituskykyisiä rynnäkö- ja pommituskoneita. Ne kykenevät kantamaan riittävät suuren asekuorman ja niistä voidaan käyttää uusimpia asejärjestelmiä. Pommitustarkkuutta on saatu parannettua modernisoinneilla huomattavasti.

SU-25TM ja SU-25SM kykenevät suoriutumaan lähitulitukitehtävistä, joihin niitä on suunniteltu käytettävän. Modernisointien myötä koneiden käyttömahdollisuuksia on saatu kasvatettua. Ohjattavien asejärjestelmien käyttäminen mahdollistaa tarkan ja tehokkaan vaikutuksen kohteeseen. Panssaritorjunta-aseistus tulee säilymään pääaseistuksena.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että Venäjällä käynnissä oleva modernisaatiotyö on menossa hyvään suuntaan. Mikäli riittävä rahoitus löytyy, saavuttavat Venäjän ilmavoimat hyvän suorituskyvyn rynnäkkökoneiden ja monitoimihävittäjien osalta. Tämän hetkinen suorituskyky on osalla koneista jo sillä tasolla, mutta koneiden lukumäärä on hyvinkin rajallinen. Venäjä haluaa olla jälleen yksi suurvalloista ja ymmärtää sen vaativan ajanmukaisen armeijan ja kaluston.

## LÄHTEET

- [1] Sotatekninen arvio ja ennuste 2020. STAE 2020, osa 1
- [2] Sotatekninen arvio ja ennuste 2020. STAE 2020, osa 2
- [3] Digitaalinen taistelukenttä, Jyri Kosola, Tero Solante 2003. Luku Sensorijärjestelmät ss. 187-258
- [4] Digitaalinen taistelukenttä, Jyri Kosola, Tero Solante 2003. Luku Asejärjestelmät ss 375-417
- [5] Digitaalinen taistelukenttä, Jyri Kosola, Tero Solante 2003. Luku Omasuojajärjestelmät
- [6] Puolustusvoimien asiakirjahallinnon (PvAH) määritelmärekisteri
- [7] Strategianlaitoksen julkaisu Venäjän asevoimat ja sotilasstrategia, 2004
- [8] <http://www.enemyforces.com>
- [9] <http://www.milavia.net>
- [10] <http://www.samolet.co.uk/su24.html>
- [11] <http://www.warfare.ru>
- [12] <http://www.airforce-technology.com>
- [13] <http://www.mputtre.com/id23.html>
- [14] Panu Lahtisen diplomityö, Lumen kaukokartoitus Ku-taajuusalueen satelliittitutkalla.
- [15] <http://www.3rd-wing.net/index.php?showtopic=4041>

- [16] <http://www.thestormbringers.com/PDF/RWR%20Su-27.pdf>
- [17] <http://www.vectorsite.net>
- [18] <http://www.fags.org/docs/air/avsu25.html>
- [19] Ilmatorjuntamiehen ilma-asekuvasto, Ilmatorjuntaupseeriyhdistys 1998
- [20] <http://www.sci.fi/>
- [21] <http://warfare.ru>
- [22] <http://www.milparade.com/catalog/pdf/372.pdf>
- [23] [http://aviacia.ru/show.php?show=su24\\_1.jpg&req=bomber&url=bomber/su&id=16](http://aviacia.ru/show.php?show=su24_1.jpg&req=bomber&url=bomber/su&id=16)
- [24] <http://www.sukhoi.org>
- [25] <http://www.airforce-technology.com>
- [26] [http://www.mil.fi/ruotuvaki/index.dsp?action=read\\_page&pid=85&aid=1352](http://www.mil.fi/ruotuvaki/index.dsp?action=read_page&pid=85&aid=1352)
- [27] <http://en.wikipedia.org/wiki/LLLTV>
- [28] [http://www.military-today.com/aircraft/sukhoi\\_su24\\_fencer\\_14.jpg](http://www.military-today.com/aircraft/sukhoi_su24_fencer_14.jpg)
- [29] Ilmatorjuntamiehen opas, 2003
- [30] Digitaalinen taistelukenttä, Jyri Kosola, Tero Solante 2003. Luku Sähkömagneettinen spektri
- [31] <http://www.cs.tut.fi/~jkorpela/smag.html>

- [32] Overscan Guide to Russian Military Avionics.  
<http://aerospace.boopidoo.com/philez/Su15TM%20PICTURES%20&%20DOCS/Overscan's%20guide%20to%20Russian%20Military%20Avionics.htm>
- [33] Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa, Esa Lappalainen ja Jorma Jormakka, 2004
- [34] Sotatekninen arvio ja ennuste 2025, Teknologian kehitys, osa 1. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos, julkaisusarja 14, 2008
- [35] Sotatekninen arvio ja ennuste 2025, Puolustusjärjestelmien kehitys, osa 2. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos, julkaisusarja 14, 2008
- [36] Venäjän ilma-aseen toiminta Tsetsheniassa, Taktiikan asiatietoa, Julkaisusarja 2, 1997. Maj Jukka Ahlberg, maj Sampo Eskelinen, maj Matti Sivonen.
- [37] [http://www.ilmatorjuntaupseeriyhdistys.fi/1\\_2007/tekstit/venaja.htm](http://www.ilmatorjuntaupseeriyhdistys.fi/1_2007/tekstit/venaja.htm)
- [38] [www.fas.org](http://www.fas.org)
- [39] Venäjän sotilasilmaluteollisuuden nykytila ja kehitysnäkymät, Taktiikan asiatietoa, julkaisusarja 2, 1998, Jyrki Myyryläinen, Pekka Marjamaa, Markku Valolahti, Pertti Kellonemi.
- [40] [www.janes.com](http://www.janes.com)
- [41] Venäjän asevoimat ja sotilasstrategia, Strategian laitos, julkaisusarja 2, 2004. Arvi Tavaiila, Pentti Forrström, Pertti Inkinen, Juha-Antero Puistola, Torsti Siren.
- [42] Maj Ilmo Sulkinon luento 3.11.2008. IlmaVE/tied-sekt/tiedustelupäällikkö.
- [43] Journal of Electronic Defence, June 05, s. 18-20
- [44] Sotilasaikakausilehti 4/2007, s. 63–66.



- [45] Sotilasaikakausilehti 5/2007, s. 67–70.
- [46] <http://www.ausairpower.net/>
- [47] <http://www.freerepublic.com/focus/f-news/1806310/posts>. By Piotr Butowski
- [48] <http://www.ilmatorjuntaupseeriyhdistys.fi>
- [49] <http://www.globalsecurity.org>
- [50] <http://www.airfleet.ru>
- [51] <http://www.topmdi.com>
- [52] Jane's International Defence Review, helmikuu 2004, s. 17.
- [53] [http://www.military-today.com/aircraft/sukhoi su25 frogfoot.htm](http://www.military-today.com/aircraft/sukhoi_su25_frogfoot.htm)
- [54] <http://weapons.technology.youngster.com/2008/11/su-25-frogfoot-flying-tank.html>
- [55] [http://www.ilmatorjuntaupseeriyhdistys.fi/1\\_2007/tekstit/arpi.htm](http://www.ilmatorjuntaupseeriyhdistys.fi/1_2007/tekstit/arpi.htm)
- [56] <http://www.aviation.ru/Su/24/fencer.html>
- [57] <http://www.migavia.ru>
- [58] <http://milit.ru>
- [59] [http://www.roe.ru/catalogue/air craft/aircraft\\_80-83.pd](http://www.roe.ru/catalogue/air_craft/aircraft_80-83.pd)
- [60] [http://www.airwar.ru/enc e/fighter/mig29smt.html](http://www.airwar.ru/enc_e/fighter/mig29smt.html)
- [61] PVTT:ssa Cast-ohjelmalla toteutettu simulointi panssarivaunun tutkaherätteestä. Yhteis-  
työhenkilöinä Jarkko Kylmälä ja Antti Tuohimaa. Simulointien tulokset tutkijan hallussa.

**TAULUKKO VENÄLÄISISSÄ SOTILASKONEISSA KÄYTETTÄVISTÄ TUTKISTA JA NIIDEN OMINAISUUKSISTA**

<b>NIMI</b>	<b>VALMISTAJA</b>	<b>ALUSTA</b>	<b>TYYPPI</b>	<b>HUOMIOIT</b>
Sabla	NIIP, Vega	Mig-25RB	Sivuviisto tiedustelututka	
Shtyk	NIIP, Vega	Su-24MR	Sivuviisto tiedustelututka	
N001 Mech	NIIP, Zhukovsky	Su-27	X-alueen tulenjohtotutka	Max 10 tunnistettua kohdetta. Max 2 seurantaa. 1 ammunta.
N001E	NIIP, Zhukovsky	Su-27S	X-alueen tulenjohtotutka	
N001V	NIIP, Zhukovsky	Su-27SM	X-alueen tulenjohtotutka	Maamoodi. Pidentetty havaintoetäisyys. Max 2 seurantaa ja 2 ammuntaa
N001VE/VEP	NIIP, Zhukovsky	Su-27SKM, Su-30MKK/MK2	X-alueen tulenjohtotutka	Vientiversioihin riisuttu N001V tutka.
N007 Zaslon	NIIP, Zhukovsky	Mig-31	Elektroninen passiivisesti skannaava tulenjohtotutka	
N007 Zaslon-M	NIIP, Zhukovsky	Mig-31M	Elektroninen passiivisesti skannaava tulenjohtotutka	Modernisoitus N007 Zaslon

N010 Zhuk	Phazotron-NIIR	Mig-29M	X-alueen tulenjohtotutka. Vain AA-kyky	Max 10 tunnistettua kohdetta. Max 2 seurantaa. 1 ammunta.
N010 Zhuk-27	Phazotron-NIIR	Su-27 vientiversio Su-30MKK	X-alueen toiminen pulssidoppler tutka. AA/AG-kyky	
N010 Zhuk-M	Phazotron-NIIR	MiG-29SMT	X-alueen toiminen pulssidoppler tutka. AA/AG-kyky	Modernisoitu N010 Zhuk. Havainto 3m <sup>2</sup> kohteeseen 140km. Max 4 seurantaa ja 2 ammuntaa.
Kopyo-25	Phazotron-NIIR	Su-25TM	AG pulssidoppler tutka	Kantama max 75km. Seurantoja 8, lukitus 4.
N019MP Topaz	State Enterprise V Tikhomirov Scientific Research Institute of Instrument Design NIIP	Mig-29SMT	AA/AG pulssidoppler tutka.	Kantama max 90km. Seurantoja 8, lukitus 4 ja ammuntoja 2.
Orion		Su-24	Eteenkatsova rynnäkkötutka	Kantama max 150km.
Orion-A		Su-24M	Eteenkatsova rynnäkkötutka	Modernisoitu Orion

**SÄHKÖMAGNEETTISEN SPEKTRIN OSA-ALUEET**

lyhenne	nimi	taajuus	aallonpituus	käyttöesimerkki
<b>ELF</b>	(äärimmäisen pitkät aallot)	alle 300 Hz	yli 1000 km	
<b>ILF</b>	(ylipitkät aallot)	300 Hz - 3000 Hz	100 km - 1000 km	
<b>VLF</b>	hyvin pitkät aallot	3 kHz - 30 kHz	10 km - 100 km	Radionavigointi
<b>LF</b>	pitkät aallot	30 kHz - 300 kHz	1 km - 10 km	Pitkän matkan radioyhteydet
<b>MF</b>	keskipitkät aallot	300 kHz - 3000 kHz	100 m - 1000 m	Yleisradio
<b>HF</b>	lyhyet aallot	3 MHz - 30 MHz	10 m - 100 m	Yleisradio, radioamatöörit
<b>VHF</b>	hyvin lyhyet aallot	30 MHz - 300 MHz	1 m - 10 m	Televisio, ularadio
<b>UHF</b>	ultralyhyet aallot eli ula	300 MHz - 3000 MHz	100 mm - 1000 mm	Radiolinkit, televisio, tutka
<b>SHF</b>	mikroaallot	3 GHz - 30 GHz	10 mm - 100 mm	Mikroaaltouuni
<b>EHF</b>	erikoislyhyet aallot	30 GHz - 300 GHz	1 mm - 10 mm	Tutka, radiolinkit
<b>THF</b>	pitkääaltainen infrapuna	300 GHz - 30 THz	10 $\mu$ m - 1000 $\mu$ m	Spektroskopia
<b>IR</b>	infrapunasäteily	30 THz - 430 THz	700 nm - 10 $\mu$ m	Erikoisvalokuvaus
	valo	430 THz -	400 nm - 700 nm	Valokuvaus

		750 THz	nm	
<b>UVA</b>	ultravioletti-A	750 THz - 938 THz	320 nm - 400 nm	Solarium
<b>UVB</b>	ultravioletti-B	938 THz - 1034 THz	290 nm - 320 nm	Ihotautien hoito
<b>UVC</b>	ultravioletti-C	1,034 - 3 PHz	100 nm - 290 nm	Desinfiointi
	röntgensäteily	3 PHz - 30 EHz	10 pm - 100 nm	Röntgenkuvaus
	gammasäteily	yli 30 EHz	alle 10 pm	Atomitutkimus, säde- hoito

[31]

**SU-24 RYNNÄKKÖKONEEN ERI VERSIOT**

Su-24 (Fencer-A). Ensimmäinen versio, valmistettu vuosina 1971-1983

Su-24 (Fencer-B). Alkuperäisestä modernisoitu koneen rungon rakennetta ja lisätty ilma-tankkausmahdollisuus. Lisätty Filin-antennit rungon alapuolelle.

Su-24 (Fencer-C). Lisätty tutkavaroitinjärjestelmä (RWR). Asennettu Puma suunnistus ja ammunnanhallintajärjestelmä, jossa RWR ja ELINT toiminnot.

Su-24M (Fencer-D). Palvelukseen vuonna 1983. Täysin uusittu ammunnanhallintajärjestelmä PNS-24M. Lisätty Kaira-24 TV- ja lasersensori maalien etsimiseen ja heitteiden ohjaamiseen.

Su-24M (Fencer-D Mod). Modernisoitu Fencer-D.

Su-24MK (Fencer-D). Vientiversio Fencer-D:stä. Avioniikkajärjestelmiä heikennetty. Viety Algriaan, Libyaan, Iraniin, Irakiin ja Syyriaan.

Su-24MP (Fencer-F). Elektronisen sodankäynnin versio, jossa kyky signaalitiedusteluun ja häirintään. Ensilento vuonna 1979. Su-24MP:llä korvattiin Yak-28PP Brewer-E.

Su-24MR (Fencer-E). Su-24:n tiedusteluversio. Kykenee tutka-, TV-kuvaus- ja lämpökameratiedusteluun. Ensilento 1980. Kykenee lähettämään reaaliaikaisesti tiedot maa-asemalle datalinkin välityksellä.

Su-24M2. Modernisoitu Su-24M. Lisätty GPS-satelliittipaikannusjärjestelmä, kypärätähtäin ja mahdollistettu AA-11 ilmataisteluohjusten käyttö.

**SU-25 RYNNÄKKÖKONEEN ERI VERSIOT**

Su-25 (Frogfoot-A). Ensimmäinen versio. Yksipaikkainen. Ensilento vuonna 1975.

Su-25K. Vienti versio alkuperäisestä Su-25:sta (Frogfoot-A).

Su-25UB (Frogfoot-B). Kaksipaikkainen versio Su-25:sta. Käytettiin koulutukseen.

Su-25UT. Sama kuin Su-25UB ilman aseita.

Su-25UBK. Vientiversio Su-25UBK:sta.

Su-25SM.

Su-25UTG. Su-25UB, johon lisätty laskeutumiseen käytettävä koukku. Laivasto versio.

Su-25BM. Maalinosoitujärjestelmällä modernisoitu Su-25. Kykenee osoittamaan muille koneille maaleja.

Su-25BMK. Su-25BM:n vientiversio.

Su-25KM (Scorpion). Modernisoitu ammunnanhallintajärjestelmä, suunnistusjärjestelmä ja lisätty ohjaamoon HUD- ja LCD-näyttöjä. Ensilento vuonna 2001.

Su-25TM. Lisätty Panther ammunnanhallintajärjestelmä ja Kopyo-25 tutka.

Su-25SM (Su-39). Uusi SUO-39 ammunnanhallintajärjestelmä, jossa Kopyo-25 tutka. Lisätty satelliittipaikannusjärjestelmä ja uudet omasuojajärjestelmät. Ensilento vuonna 2002.

Su-25UBM. Kaksipaikkainen versio Su-25SM:sta. Ensilento vuonna 2008.

**SU-27 HÄVITTÄJÄN ERI VERSIOT**

Su-27 (Flanker-A). Alkuperäinen versio. Ilmataisteluhävittäjä. Ensilento vuonna 1977.

Su-27 (Flanker-B). Modernisoitu versio Su-27 Flanker-A:sta.

Su-27M (Su-35). Modernisoitu Su-27. Rajoittunut AG-kyky.

Su-27RV (Flanker-B). Russian Knights taitolentoryhmälle modernisoidut versiot. Länsimainen paikannuslaitteisto.

Su-27SK (Flanker-B). Su-27:n vientiversio.

Su-27K (Flanker-D, Su-33). Lentotukialus versio.

Su-27SM. MLU modernisointi. Uusittu ammunnanhallintajärjestelmä, tähtäysjärjestelmä ja tutka. Mahdollistaa AA- ja AG-toiminnan. Asekuormaa kasvatettu.

Su-27UB (Flanker-C). Kaksipaikkainen harjoittelu versio.

Su-27UMK. Su-27UB:n vientiversio.

Su-27UBM. Modernisoitu Su-27UB. GPS-järjestelmä, uusi tietokone, AA-12 ohjukset ja tutkan modernisointi tärkeimmät päivitykset.

Su-27SM2 (Su-35). Täysin modernisoitu monitoimihävittäjä.

Su-30M. Uuden sukupolven kaksipaikkainen monitoimihävittäjä.

Su-30MKI/MKA/MKM. Su-30M:n vientiversio.



**MiG-29 HÄVITTÄJÄN ERI VERSIOT**

MiG-29 (9.12, Fulcrum-A). Alkuperäinen yksipaikkainen ilmataisteluhävittäjä. Ensilento vuonna 1977. Ydinase mahdollisuus.

MiG-29 (9.12A, Fulcrum-A). Varsovanliiton maille vientiversio. Ei ydinase mahdollisuutta.

MiG-29 (9.12B, Fulcrum-A). Ei Varsovanliiton maille vientiversio. Heikennetty IFF-järjestelmä.

MiG-29 (9.13, Fulcrum-C). Modernisoitu 9.12. Uusittu omasuojajärjestelmää, lisätty sisäistä polttoainetta ja lisätty ohjaamon avioniikkajärjestelmiä. Ensilento vuonna 1984.

MiG-29UB (9.51, Fulcrum-B). Kaksipaikkainen harjoitusversio. Tutka poistettu, muut sensorit säilytetty.

MiG-29S (9.13S, Fulcrum-C). Modernisoitu 9.13. Tutkan mittausetäisyyttä ja asekuormaa kasvatettu. Rajoittunut AG-kyky. Ensilento vuonna 1990.

MiG-29SE (Fulcrum-C) MiG-29S:n vientiversio.

MiG-29SM (9.13M). MiG-29S:n modernisoitu versio. Parempi AG-aseiden käyttökyky.

MiG-29M (9.15). Ensimmäinen varsinainen monitoimihävittäjä. Ensilento vuonna 1995. Uusi LLTV-maalinosoitujärjestelmä. Ohjaamon avioniikkaa parannettu.

MiG-29K (9.31). MiG-29M:n lentotukialusversio.

MiG-29SMT (9.17). Täysin uusittu avioniikkajärjestelmä. Monitoimihävittäjä.

MiG-29STM (9.19). Modernisoitu versio, jonka Algeria on tilannut.

MiG-29UBT (9.51T). Kaksipaikkainen 9.17.

MiG-29SMTK. Lentotukialus versio MiG-29SMT:sta.

MiG-29M2. Kaksipaikkainen monitoimihävittäjä. Käyttö erittäin tärkeitä kohteita vastaan. Ensilento 2001.

MiG-29OVT. Versio, joka kykenee pystysuoraan nousuun. Kehitteillä. Esitelty MAKS-lentonäytöksessä vuonna 2005. Vastaa ominaisuuksiltaan MiG-29SMT konetta.

**PVTT:SSA CAST-OHJELMALLA TOTEUTETUN SIMULOINNIN TULOKSET**

Tutkimuksessa tarkasteltavan kohteen tutkapaikkipinta-ala simuloitiin PVTT:ssa 13.2.2009. Simulointi toteutettiin PVTT:n ASET-OS:n Antti Tuohimaan ja Jarkko Kylmälän avustuksella Cast-ohjelmalla. Simuloinnit toteutettiin viidellä eri taajuudella. Simuloinneissa käytettiin 8, 10, 12.5, 30 ja 37.5GHz:n taajuuksia.

Kohteena käytettiin T-80 panssarivaunusta laadittua 3D-mallia. Mallin ja T-80 panssarivaunun välillä on pieniä eroavaisuuksia mittojen suhteen eikä kaikkia pienimpiä pinnanmuotoja ole huomioitu. 3D-mallin tulosten perusteella voidaan tehdä suuntaa antavia johtopäätöksiä myös muihin panssarivaunuihin.

Simuloinneissa käytettiin korkeuskulmaa 0 asteesta 45 asteeseen. Ohjelman tuottamissa kuvissa 90 astetta vastaa 0 astetta. Vaakatasossa simulointi toteutettiin 0 asteesta 180 asteeseen alkaen kohtisuoraan kohteen takaa ja kiertämällä myötäpäivään kohtisuoraan kohteen keulaan. Ohjelman tuottamissa kuvissa 90 astetta vastaa 0 astetta ja 270 astetta vastaa 180 astetta.

Ohjelma tuottaa tutkaherätteen muodossa dBm<sup>2</sup>. Julkisissa lähteissä RCS pinta-ala mainitaan useimmiten muodossa m<sup>2</sup>. Logaritminen muoto saadaan muutettua muotoon m<sup>2</sup> seuraavalla kaavalla:

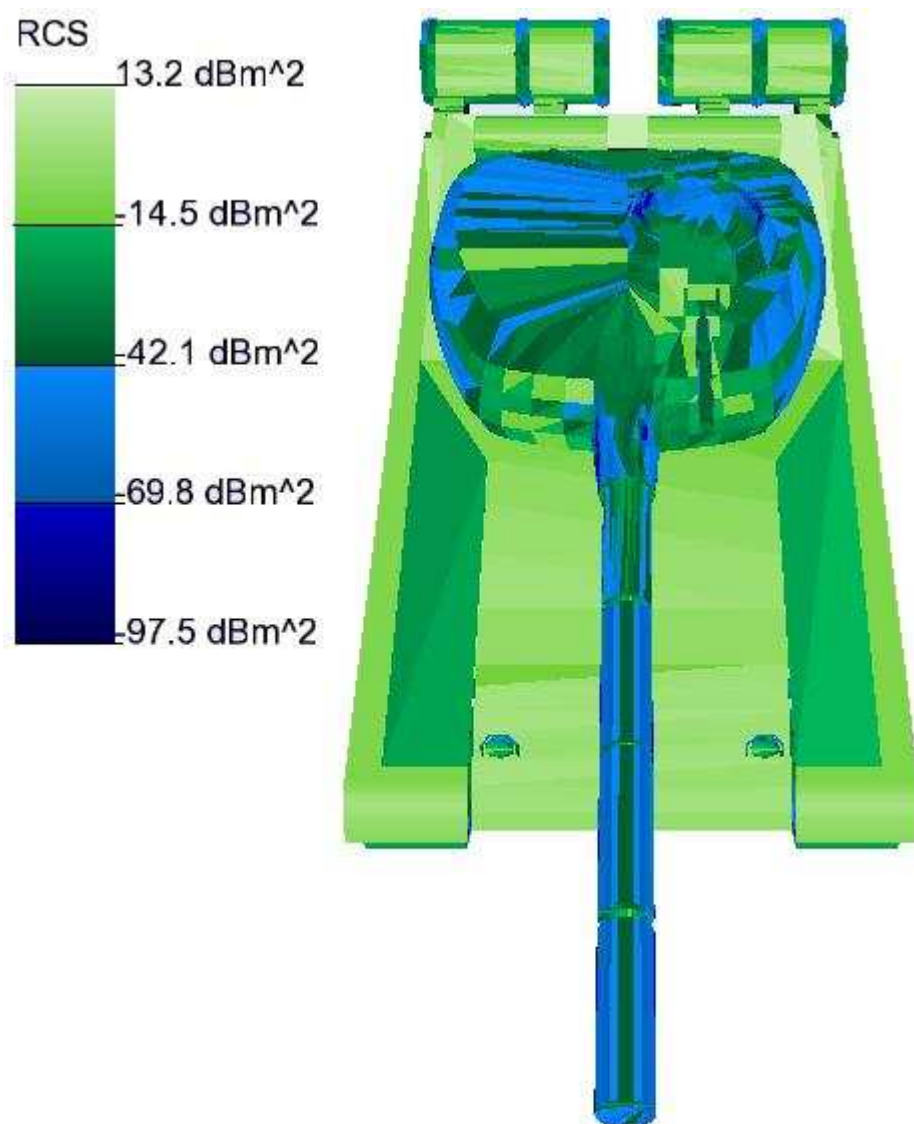
$$10^{(\sigma/10)}, \text{ jossa } \sigma \text{ on RCS pinta-ala dBm}^2 \text{ muodossa.}$$

Esimerkiksi RCS pinta-alan ollessa 12dBm<sup>2</sup> saadaan

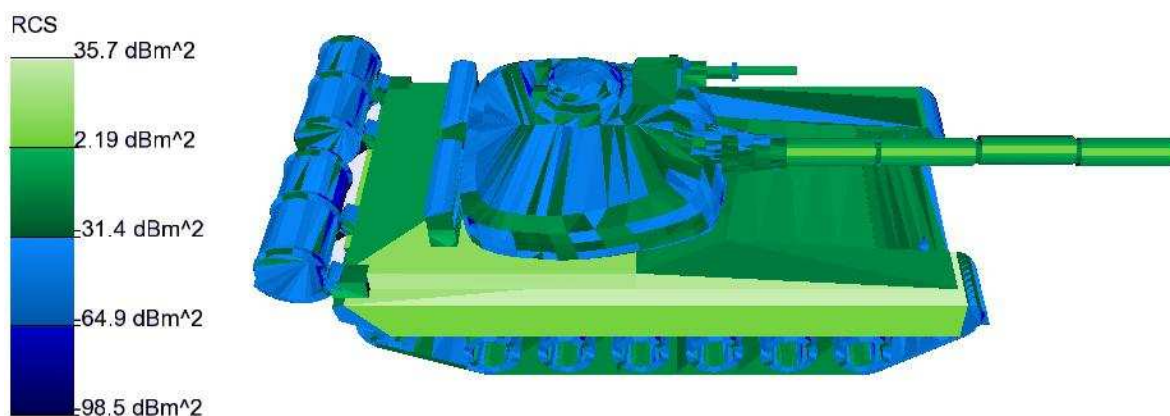
$$10^{(12/10)}=15,849\text{m}^2.$$

Simuloinnit toteutettiin asteen tarkkuudella ja ohjelman tuottamia tutkapaikkipinta-ala tuloksia oli yhteensä 40500 kappaletta. Rajasin tarkastelun korkeuskulmilla 5, 15, 25, 35 ja 45 astetta. Tutkimuksessa on käytetty jokaisen simuloidun taajuuden keskiarvoa edellä mainituilla

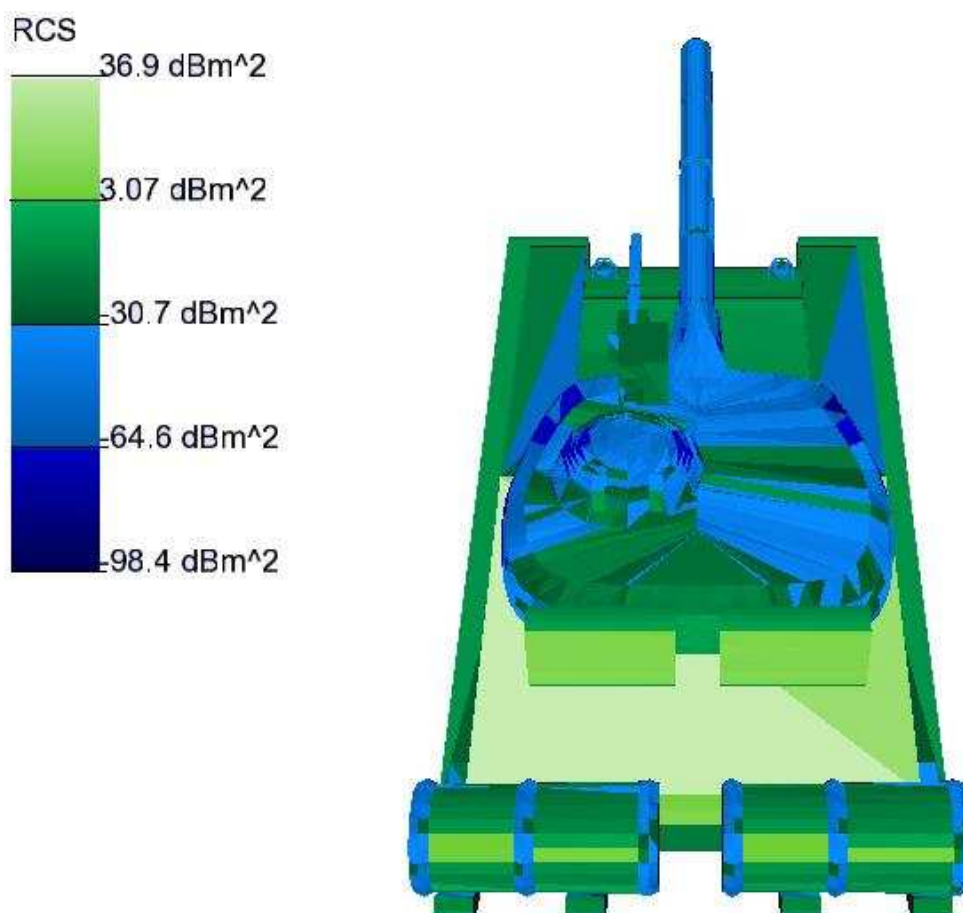
korkeuskulmilla. Keskiarvoa käytettäessä kohteen vaakasuunnalla ei ole merkitystä. Tulokset saadaan kohteen ja lentokoneen välisestä korkeuskulmasta ja tutkan käyttämästä taajuudesta.



**Kuva 1:** Cast-ohjelman tuottama kuva panssarivaunun 3D-mallin tutkapoikkipinta-alasta 45 asteen korkeuskulmalla ja 180 asteen vaakakulmalla. [61]



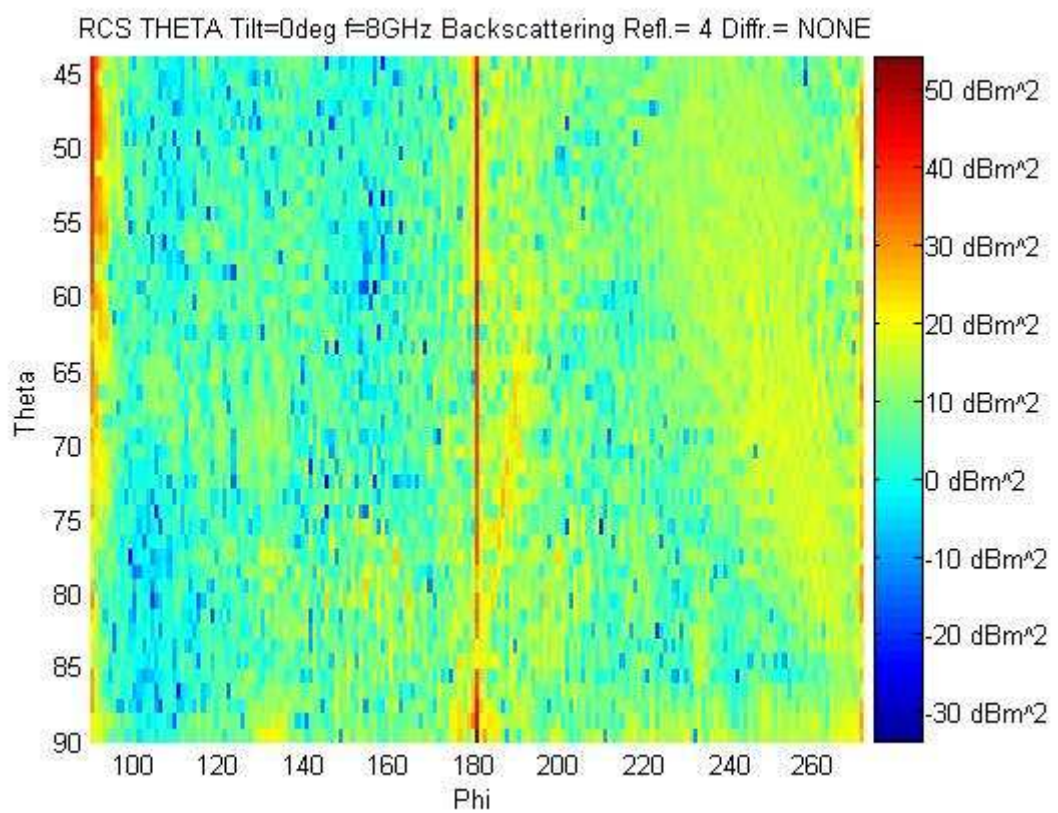
**Kuva 2:** Cast-ohjelman tuottama kuva panssarivaunun 3D-mallin tutkapoikkipinta-alasta 45 asteen korkeuskulmalla ja 90 asteen vaakakulmalla. [61]



**Kuva 3:** Cast-ohjelman tuottama kuva panssarivaunun 3D-mallin tutkapoikkipinta-alasta 45 asteen korkeuskulmalla ja 0 asteen vaakakulmalla. [61]

TAAJUUS	$n_0+n_1+\dots+n_{180}$ dBm <sup>2</sup>	$(n_0+n_1+\dots+n_{180})/181$ dBm <sup>2</sup>	Keskiarvo m <sup>2</sup>	Korkeuskulma
8GHz	1359,021	7,508401	5,634	5°
8GHz	1388,034	7,668696	5,846	15 °
8GHz	1794,513	9,914434	9,805	25 °
8GHz	1611,891	8,905477	7,772	35 °
8GHz	1359,021	7,508401	5,634	45 °

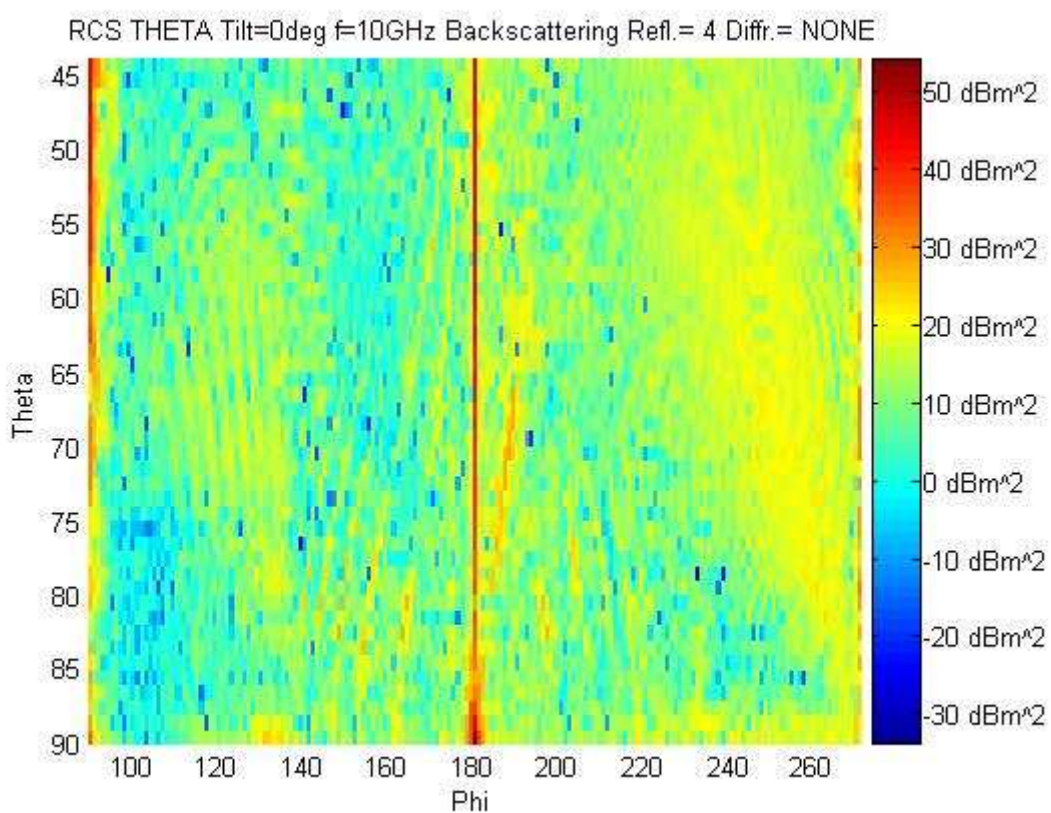
**Taulukko 1:** Tutkapoikkipinta-ala 8GHz:n taajuudella.[61]



**Kuva 4:** Cast-ohjelman tuottama graafinen kuva tutkapoikkipinta-alasta 8GHz:n taajuudella.[61]

TAAJUUS	$n_0+n_1+\dots+n_{180}$ dBm <sup>2</sup>	$(n_0+n_1+\dots+n_{180})/181$ dBm <sup>2</sup>	Keskiarvo m <sup>2</sup>	Korkeuskulma
10GHz	1589,095	8,77953	7,550	5°
10GHz	1573,316	8,692354	7,400	15 °
10GHz	2269,321	12,53769	17,938	25 °
10GHz	2007,022	11,08852	12,848	35 °
10GHz	1832,084	10,12201	10,285	45 °

**Taulukko 1:** Tutkapoikkipinta-ala 10GHz:n taajuudella.[61]

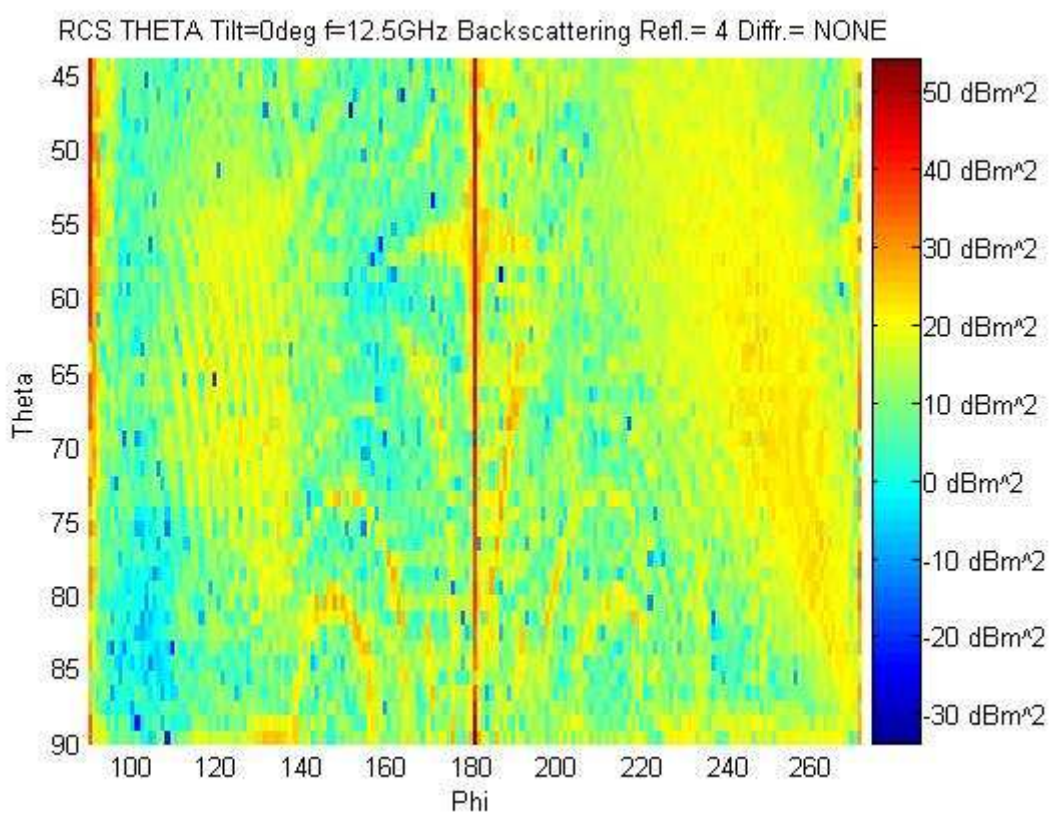


**Kuva 5:** Cast-ohjelman tuottama graafinen kuva tutkapoikkipinta-alasta 10GHz:n taajuudella.[61]



TAAJUUS	$n_0+n_1+\dots+n_{180}$ dBm <sup>2</sup>	$(n_0+n_1+\dots+n_{180})/181$ dBm <sup>2</sup>	Keskiarvo m <sup>2</sup>	Korkeuskulma
12,5GHz	1825,043	10,08311	10,193	5°
12,5GHz	2237,044	12,35936	17,216	15 °
12,5GHz	2678,551	14,79862	30,189	25 °
12,5GHz	2621,403	14,48289	28,073	35 °
12,5GHz	2269,836	12,54053	17,949	45 °

**Taulukko 1:** Tutkapoikkipinta-ala 12,5GHz:n taajuudella.[61]

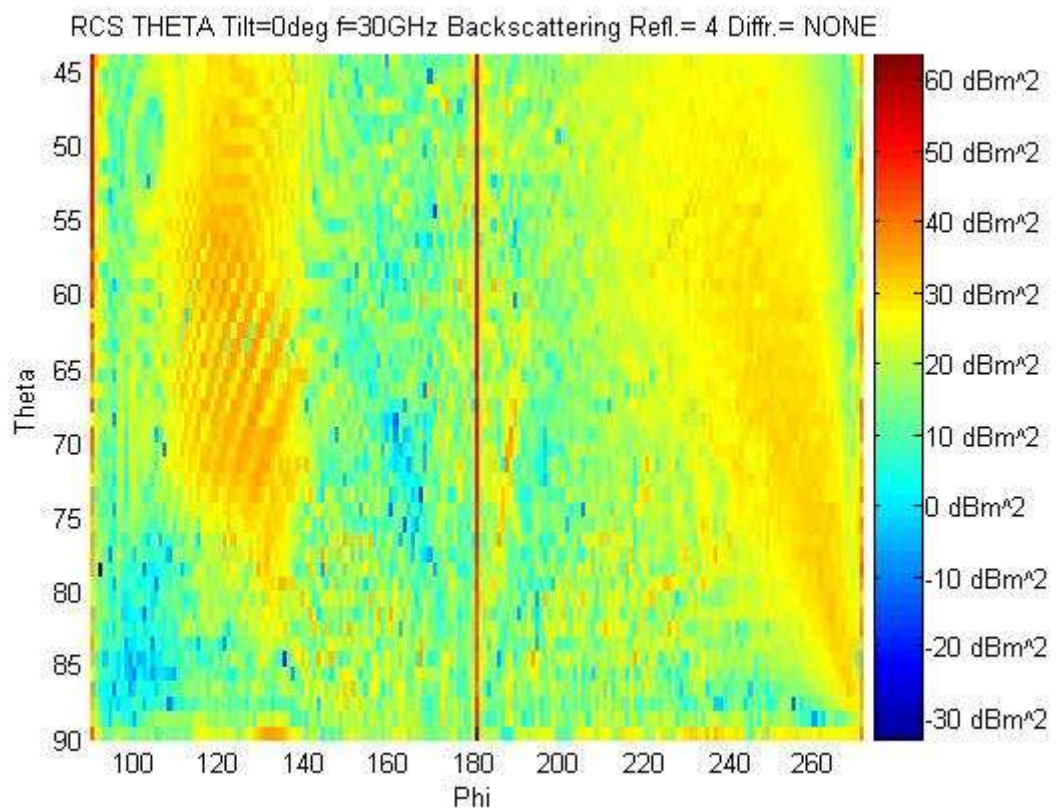


**Kuva 6:** Cast-ohjelman tuottama graafinen kuva tutkapoikkipinta-alasta 12,5GHz:n taajuudella.[61]



TAAJUUS	$n_0+n_1+\dots+n_{180}$ dBm <sup>2</sup>	$(n_0+n_1+\dots+n_{180})/181$ dBm <sup>2</sup>	Keskiarvo m <sup>2</sup>	Korkeuskulma
30GHz	2986,301	16,4989	44,657	5°
30GHz	3669,124	20,2714	106,515	15 °
30GHz	3959,009	21,87298	153,921	25 °
30GHz	4039,433	22,31731	170,503	35 °
30GHz	3802,913	21,01057	126,199	45 °

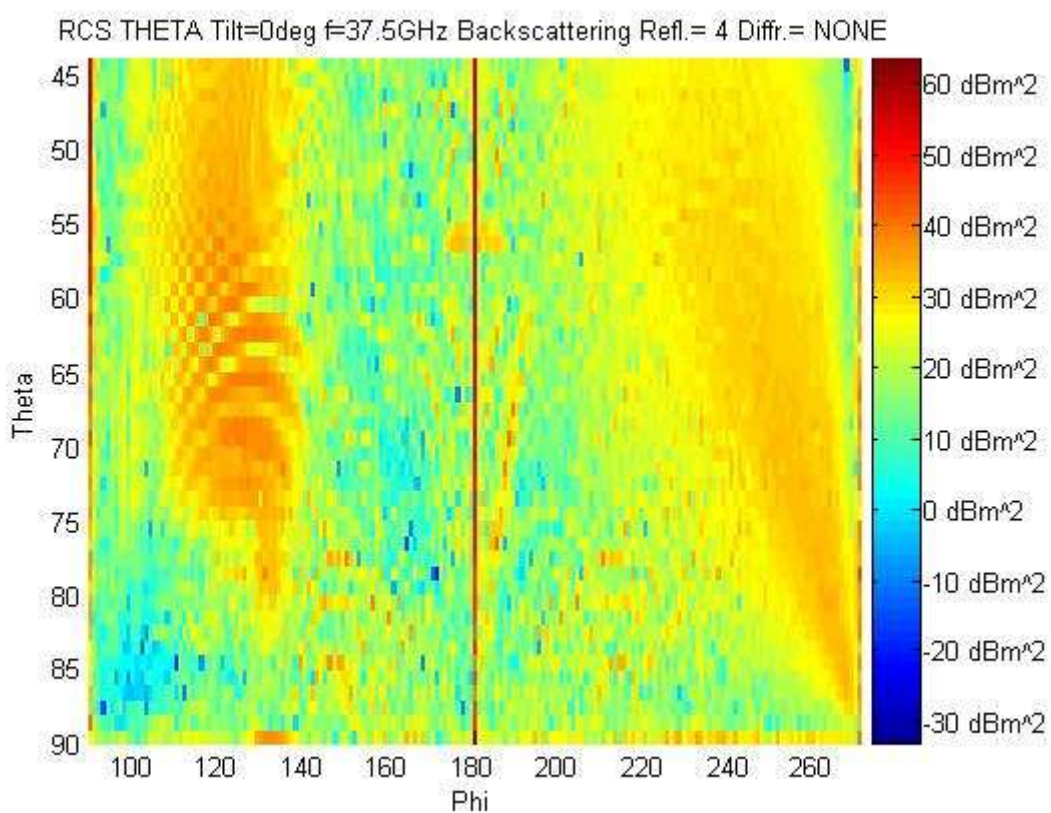
**Taulukko 1:** Tutkapoikkipinta-ala 30GHz:n taajuudella.[61]



**Kuva 7:** Cast-ohjelman tuottama graafinen kuva tutkapoikkipinta-alasta 30GHz:n taajuudella.[61]

TAAJUUS	$n_0+n_1+\dots+n_{180}$ dBm <sup>2</sup>	$(n_0+n_1+\dots+n_{180})/181$ dBm <sup>2</sup>	Keskiarvo m <sup>2</sup>	Korkeuskulma
37,5GHz	3225,87	17,82249	60,569	5°
37,5GHz	4068,903	22,48013	177,016	15 °
37,5GHz	4357,995	24,07732	255,701	25 °
37,5GHz	4439,258	24,52629	283,549	35 °
37,5GHz	4186,42	23,12939	205,560	45 °

**Taulukko 1:** Tutkapoikkipinta-ala 37,5GHz:n taajuudella.[61]



**Kuva 8:** Cast-ohjelman tuottama graafinen kuva tutkapoikkipinta-alasta 37,5GHz:n taajuudella.[61]