

# TAISTELUKONEIDEN, NIIDEN LAITTEIDEN JA ASEISTUKSEN TEKNINEN KEHITYS

Yleisesikuntaeverstiluutnantti Pekka Väänänen

## 1 YLEISTÄ

Nykyaikaiseen sodankäyntiin tarkoitetut aseet ja asejärjestelmät kehittyvät nopealla ja yhä kiihtyvällä vauhdilla. Erityisesti tämä koskee taistelukentän korkealaatuiseen elektronikkaan perustuvia laitteita kuten ilma-aluksia. Nykyaikainen taistelukone kykenee ylittämään alakorkeuksissa äänen nopeuden ja yläkorkeuksissa kaksinkertaisen äänen nopeuden. Suurin mahdollinen lentokorkeus on kahdenkymmenen kilometrin luokkaa ja toimintasäde taisteluvälikokkeessa jopa 1 500 kilometriä. Taktisten lentokoneiden suurimmat lentopainot ovat noin 30 tonnia ja asekuorma tyypillisesti 5 - 15 tonnia. Rynnäkkökoneet kykenevät päätehtävänsä, lentotulituksen lisäksi toimimaan myös ilmassa olevia kohteita vastaan. Lähes kaikissa taistelukoneissa on monipuolinen ja tehokas omasuojavarustus, useissa mahdollisuus myös ilmatankkauksiin.

Tässä kirjoituksessa pyritään selvittämään nykyisellä taistelukentällä käytettävien lentokoneiden teknisten järjestelmien rakenne ja suorituskyky yleisesti. Ydinaseet sekä biologiset ja kemialliset aseet jätetään tarkastelun ulkopuolelle. Uhkakuvia, taistelukentän olosuhteita tai taktiikkaa ei käsitellä lainkaan. Taistelukentällä ymmärretään ilmatilaa, jossa lentokoneet käyttävät aseitaan toisiaan tai maassa olevia kohteita vastaan. Taistelukoneella käsitellään tässä kirjoituksessa taistelukentällä toimivaa hävittäjää, rynnäkkö-, tiedustelu-, pommi- tai erikoiskonetta tai muuta sotilaskonetta. Sotilashelikoptereita ei käsitellä.

## 2 LENTOKONEEN AERODYNAMIIKKA JA RUNKO

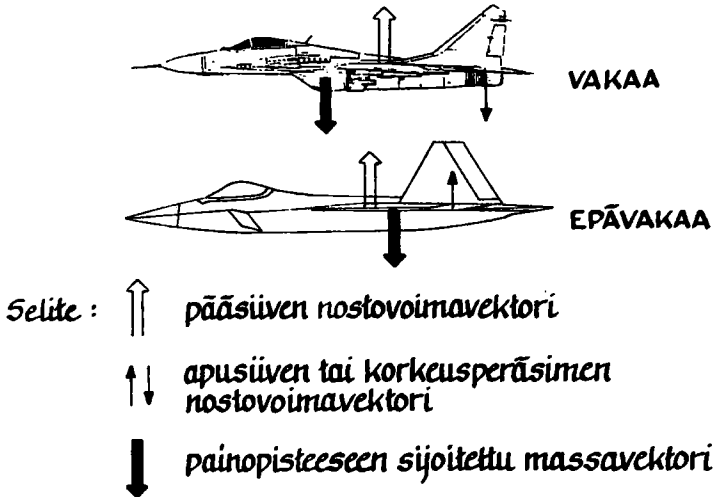
Taistelukoneen suunnittelu ja kehittäminen vaatimuksia vastaavaksi kestää yleensä yli vuosikymmenen. Tehokkaan ilmanharruushävittäjän elinkaari voi olla 20 - 30 vuoden pituinen. Tyypillisesti ensimmäinen operatiivinen käyttövaihe kestää 10 - 15 vuotta, minkä jälkeen kone modifioidaan. Modifikaatiossa runko peruskorjataan ja avioniikka, moottorit ja asejärjestelmä nykyaikaistetaan.

Toisen käyttövaiheen aikana konetta ei tavallisesti enää käytetä hävittäjänä vaan tunkeutumiskykyisenä rynnäkkökoneena. Myöhemmissä modifikaatioissa kone saatetaan muuntaa lähitulituki- tai yleiskoneeksi. Menettelyn ajatuksena on säästää kehittämiskustannuksia samalla, kun vaatimustasosta ja tehokkuudesta ei jouduta tinkimään paljoakaan. Perinteinen lentokone rakennetaan aerodynaamisesti vakaaksi, jolloin painopiste sijaitsee nostovoimakeskustien etupuolella. Kone lentää silloin stabiilisti ja pyrkii palauttamaan lentotilassa tapahtuneet muutokset ennalleen. Aerodynaamisesti vakaassa koneessa korkeusperäsimet muodostavat negatiivista nostovoimaa ja samalla kasvattavat vastusta.

Aerodynaamisesti epävakaa lentokoneessa nostovoimakeskuste sijaitsee painopisteessä tai sen etupuolella. Normaalisissa lentotilassa korkeusperäsimet lisäävät nostovoimaa ja vähentävät vastusta. Lentotila on labiili ja sitä joudutaan jatkuvasti korjaamaan koneen pyrkiessä poikkeamaan halutusta asennosta. Poikkeamia tapahtuu jatkuvasti ja ne ovat niin nopeita, ettei niitä voida oikaista lentäjän toimenpitein. Epävakaata konetta voidaankin ohjata vain epäsuorasti siten, että lentäjä informoi tietokonetta haluamastaan lentotilasta.

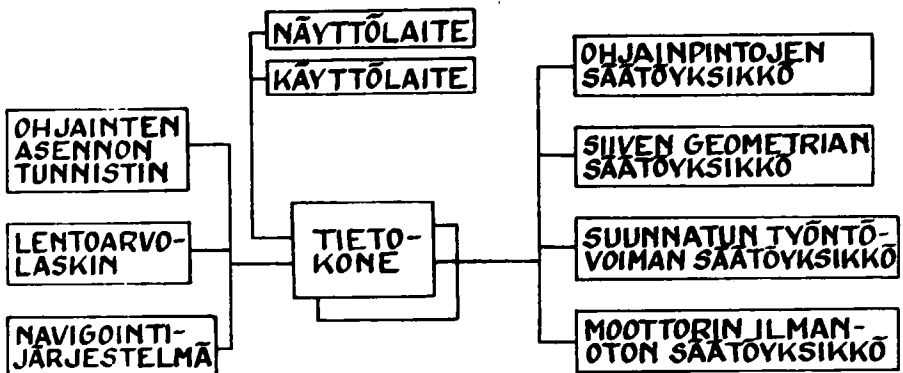
Tietokone puolestaan antaa ohjausjärjestelmälle käskyt ohjainpintojen kääntämisestä. Tietokoneperusteisesta ohjausjärjestelmästä käytetään nimitystä fly-by-wire tai fly-by-light, ohjaukset kun välitetään sähköjohtimia tai optisia kuituja pitkin. Aerodynaamisesti vakaa ja epävakaa taistelukoneen tasapainovektorit on esitetty kuvassa 1.

Kuva 1. Aerodynaamisesti vakaa ja epävakaa taistelukone.



Epävakaa taistelukone on nykyisin yleistymässä useastakin syystä. Nostovoimakeskipisteen ja kaarrossa aikaansaadun nostovoimalisän kohdistaminen painopisteen etupuolelle lisäävät koneen kaartokykyä, vähentävät ilmanvastusta, kasvattavat lentonopeutta ja pienentävät polttoaineen kulutusta. Epävakautta ja sen edellyttämää monimutkaista ohjausjärjestelmää joudutaankin "sietämään" ensisijaisesti juuri kaartokyvyn parantumisen vuoksi. Samalla tietokoneperusteinen ohjausjärjestelmä tekee mahdolliseksi lukuisat muut toiminnot. Niitä ovat muun muassa ohjainten yhteiskäyttö, suurten kohtauskulmien ja suunnatun nostovoiman hallinta, automaattinen lentotilan rajoittaminen, puuskakuormituksen lieventäminen ja aktiivinen värinän vaimennus. Haittoina voidaan mainita riippuvuus tietojärjestelmästä, elektroninen haavoittuvuus ja korkea hinta.

Kuva 2. Tietokoneperusteisen ohjausjärjestelmän toiminnallinen kaavio.



Kohtauskulmalla tarkoitetaan lentokoneen siiven leikkauksen keskiakselin ja ilmapvirtauksen välistä kulmaa. Normaalisti lentokoneet toimivat kohtauskulma-alueella 5-20°. Suurella kohtauskulmalla lentäminen on nykyisin eräs merkittävä aerodynaamisen kehitystyön kohde. Tavoitteena on saavuttaa tila, jossa taistelukone on täysin hallittavissa 70-80° kohtauskulmalla. Nykyiset amerikkalaiset palveluskäytössä olevat hävittäjät kykenevät saavuttamaan noin 60° kohtauskulman hallitussa tilassa. Parhaat venäläiset hävittäjät kykenevät kasvattamaan kohtauskulman hetkellisesti yli 110° ja oikaisemaan sen jälkeen normaaliin lentotilaan korkeutta menettämättä.

Suuren kohtauskulman merkityksestä ilmataistelutilanteessa kiistellään jatkuvasti. Nykyisin vallalla olevan käsityksen mukaan suurta kohtauskulmaa voidaan parhaiten hyödyntää kaartotaistelutilanteessa ampuma-asemaan pääsemiseksi. Ominaisuutta voidaan rajoitettusti käyttää myös haluttaessa hävittää liike-energiaa nopeasti. Tämä voisi olla tarpeellista väistössä tai tarkoituksena irroittaa tutkalukituksen seuranta.

Lentokoneen ohjaamisessa käytetään perinteisesti ohjaussiivekkeitä sekä korkeus- ja sivuperäsimä. Nykyaikaista taistelukonetta voidaan ohjata lisäksi muun muassa ns spoilerilla, etu- ja takareunasiivekkeillä, etusiivellä, erilaisilla evillä, suunnatulla työntövoimalla sekä edellä mainittujen menetelmien yhdistelmillä.

Lentokoneissa spoilerita käytetään siipien ilmapvirtauksen irroittamiseen. Symmetrinen spoilerien käyttö lisää koneen vastusta ja vähentää nostovoimaa, epäsymmetrinen puolestaan kallistaa konetta. Siiven käyritystä voidaan lisätä etu- ja takareunasiivekkeillä, jolloin sekä nostovoima että vastus kasvavat. Takareunasiivekkeillä tarkoitetaan tavannomaisia laskusiivekkeitä.

Etusiipi on koneen eturungon sivuille asennettu vaakasuora kiinteä tai liikkuva evä. Sen tehtävänä on yleensä ilmapvirtauksen suuntaaminen, vakauttaminen, nostovoiman lisääminen tai nostovoimakeskipeiteen siirtäminen. Aerodynaamisesti epävakaa lentokone voidaan lennon aikana muuttaa vakaaksi etusiipeä säätämällä. Suunnatun työntövoiman järjestelmällä tarkoitetaan suihkuputken taakse asennettua suutinta, joka mahdollistaa moottorin suihkuvirtauksen kääntämisen pystytasossa. Tietyissä lentotiloissa nostovoimaa voidaan lisätä tai vähentää suutinta säätämällä.

Ohjauspintojen yhdistelmistä voidaan mainita flaperon, taileron, elevon ja spoileron. Flaperon on laskusiiveke, jota käytetään lisäksi ohjaussiivekkeenä. Taileron ja elevon taas ovat korkeusperäsimen ja ohjaussiivekkeen yhdistelmiä. Spoileron toimii samanaikaisesti virtauksen tuhoajana ja ohjaussiivekkeenä. Ohjauspintojen yhteiskäyttö parantaa koneen liikehtimiskykyä, mutta samalla edellyttää tietokoneperusteista ohjausjärjestelmää. Myöskään ohjaintoimintojen yhdistäminen häiriötapauksessa ei ole mahdollista ilman tietokoneohjausta.

Nostovoiman muodostumiseen voidaan vaikuttaa myös siiven muuttuvalla geometrialla, jolloin siipien nuolikulmaa säädetään lentotilan ja nostovoimatarpeen mukaan. Pientä nuolikulmaa käytetään lentoonlähdessä ja laskussa, suurta puolestaan suurella nopeudella. Nostovoimaa voidaan säädellä myös muuttamalla siipiprofiilin käyritystä hydraulisesti tai sähköisesti. Siipi käyristetään äärimmilleen lennettäessä pienellä nopeudella tai suurella kohtauskulmalla, kun taas suora profiili sopii parhaiten käytettäväksi suurella nopeudella. Epäsymmetrisellä siiven käyrityksellä voidaan haluttaessa kallistaa konetta.

Muuttujien suuri lukumäärä ja niiden lentotilasta riippuva vaikutus tekevät lentokoneen ohjaamisen monimutkaiseksi. Järjestelmän sallimien mahdollisuuksien täysimittainen hyödyntäminen edellyttäisikin lentäjän kaiken huomion kiinnittämisen ohjaamiseen. Siitä huolimatta virhetoimintojen riski olisi suuri ja lentoturvallisuus uhattuna. Ohjausjärjestelmän optimaalinen käyttö taistelutilanteessa edellyttää suorituskykyistä, vakavuudesta huolehtivan tietokoneen rinnalla toimivaa tietokonetta, joka laskee tarvittavat korjaukset, muodostaa ohjauskäskyt ja vastaa ohjainpintojen integroidusta käytöstä. Samalla järjestel-

mä varmistaa, ettei lentokonetta saateta sellaiselle lentoalueelle, jossa sen hallitseminen käy mahdottomaksi. Edellä mainitut tehtävät voidaan säilyttää myös yhdelle, suorituskykyiselle tietokoneelle.

Taistelukoneiden kehittämissä on havaittavissa toisaalta pyrkimys pitkään toiminta-aikaan ja suureen asekuormaan, toisaalta pieneen kokoon ja halpaan hintaan. Ensinnä mainittu vaihtoehto edellyttää suuren polttoainemäärän kuljettamista ja yleensä kahta voimalaitetta. Painon kasvaminen ja vaatimus suuresta hyötykuormasta puolestaan edelleen lisäävät polttoaineen tarvetta, jolloin koneesta on tehtävä kookas. Suuri koko tuo mukanaan uusia ongelmia, kuten tutkaheijastuspinta-alan kasvamisen. Tyypillisiä esimerkkejä nykyisin käytössä olevista raskaista hävittäjäluokan taistelukoneista ovat F-14 Tomcat, F-15 Eagle, Tornado ja SU-27 Flanker.

Pieni koko rajoittaa hyötykuormaa ja polttoainemäärää, jolloin toiminta-aika on lyhyt. Samalla kuitenkin siipikuormitus jää alhaiseksi ja liikehtimiskyky vastaavasti paranee. Pieni tutkaheijastuspinta-ala vähentää koneen havaittavuutta ja parantaa samalla taistelunkestävyyttä. Yleensä näissä koneissa on vain yksi voimalaite. Esimerkkejä kevyistä hävittäjäluokan koneista ovat F-16 Fighting Falcon, Mirage 2000 ja JAS. Suomen Ilmavoimille tilattu F-18 Hornet asettuu edellä esitetystä jaossa luokkien välialueelle.

Taistelukoneiden hankinta- ja käyttökustannuksien huima nousu on pakottanut lentokonevalmistajat reagoimaan tilanteeseen. Tuloksena on kehitetty monitoimikoneita, joiden muuntaminen versiosta toiseen on toteutettavissa helposti ja nopeasti. Tyypillisesti monitoimirakenteinen hävittäjä muunnetaan tiedustelu- tai rynnäkkökoneeksi asentamalla tarvittavat siipi- ja runkosäiliöt ja syöttämällä tietokoneelle vastaava ohjelma. Version vaihtaminen on mahdollista tehdä myös lennon aikana, mikäli koneessa on tarvittava varustus ja aseistus. JAS ja eräässä mielessä myöskin F-18 Hornet ovat tyypillisiä monitoimikoneita.

Pystysuoraan nouseva VTOL - (Vertical Take-Off and Landing) ja lyhyen kiitomatkan tarvitseva STOL -kone (Short Take-Off and Landing) ovat erityisesti menneinä vuosina olleet aktiivisen kehittelyn kohteina sekä länsimaissa että entisessä Neuvostoliitossa. Konstruktion haittoja ovat kuitenkin monimutkainen rakenne, suuri paino, raskas huoltojärjestelmä ja korkea hinta. VTOL - ja STOL -koneet ovat monessa suhteessa teknisiltä ratkaisuiltaan kompromisseja ja suorituskykyä on heikennetty oleellisesti muun muassa hyötykuorman, huippunopeuden ja suurimman toimintakorkeuden osalta.

Sarjatuotantoasteelle on tähän mennessä saatettu vain muutamia pystysuoraan nousevia konetyyppejä. Niitä ovat brittiläinen British Aerospace Harrier, sen amerikkalainen kehitemä AV-8B sekä venäläiset Yak-38 ja Yak-41. Venäjä on jatkanut aivan viime vuosiin saakka uuden, maailman ensimmäisen ylitääninopeudella lentävän VTOL -koneensa, Yak-141:n kehittämistä. Hanke on tietävästi kuitenkin pysähdyksissä kahden onnettomuuden seurauksena, joissa projektin molemmat koneyksilöt tuhoutuivat. VTOL -koneiden kehittäminen on lähes täysin pysähdyksissä myös länsimaissa. STOL -ominaisuuksia taas pyritään liittämään jokaiseen suunnitteluasteella olevaan uuteen taistelukoneeseen.

### 3 LENTOKONEVOIMALAITTEET

Lentokonevoimalaitteen polttoaineen kulutuksen pieneneminen vaikuttaa edullisesti lukuisiin keskeisiin ilma-alueisiin koskeviin suureisiin. Niitä ovat ilma-alueen koko, lentopaino, hyötykuorma sekä toiminta-aika ja -matka. Voimalaitteiden polttoainetaloudellisuus ja ominaispolttoaineen kulutus sen osa-alueena ovatkin eräs keskeinen kiinnostuksen kohde. Toinen merkittävä kaasaturpiinien suunnittelussa vaikuttava suure on suurimman mahdollisen työntövoiman ja moottorin painon suhde. Suhdetta on vuosien

mittaan kyetty parantamaan hitaasti mutta varmasti. Nykyiset lentokoneturpiinit tuottavat noin 50% enemmän työntövoimaa painoysikköä kohden 20 vuoden takaisiin edeltäjiinsä verrattuna.

Taistelukoneet pyritään suunnittelemaan siten, että niiden moottorien kehittämä staattinen työntövoima on mahdollisimman suuri koneen painoon verrattuna. Työntövoima-paino -suhde vaikuttaa muun muassa kiihtyvyyteen, nousukykyyn ja kykyyn kaartaa energiaa menettämättä. Nykyisten suorituskykyisten hävittäjien työntövoima-paino -suhde keskimääräisellä taisteluvälikoneen mukaisella lentopainolla on yli yksi, jolloin nopeutta voidaan kiihdyttää pystysuoran nousun aikana. Tehokkaimmat taistelukoneet kykenevät tähän myös suurimmalla lentopainollaan.

Yleisesti voidaan todeta, että taistelukone kykenee saavuttamaan kaksinkertaisen äänen nopeuden yläkorkeuksissa vain, mikäli moottorien ilmanotto on säätyvä. Silloin moottorin saaman ilman määrää säädellään lentotilan ja -nopeuden mukaan. Edellä kuvatulla menetelmällä moottori saa jatkuvasti sopivan määrän ilmaa. Lisäksi säätöyksikkö hidastaa ilman nopeuden aliääniseksi turpiinin etupuolella. Säätyvä ilmanotto on rakenteeltaan monimutkainen, painava, kallis ja edellyttää hankalia huoltotoimenpiteitä. Esimerkkejä säätyvällä ilmanottomekanismilla varustetuista taistelukoneista ovat MiG-21 ja Mirage 2000.

Monissa tapauksissa tyydytään kiinteän ilmanoton mahdollistamaan noin puolitoistakertaiseen äänen nopeuteen, jolloin moottori saa ilmaa optimaalisesti vain tietyllä nopeusalueella. Muun muassa JAS:ssa, F-16 Fighting Falcon'ssa ja F-18 Hornet'ssa on kiinteä ilmanotto.

Taistelukoneiden voimalaitteiden ohivirtaussuhde on yleensä suhteellisen alhainen, jolloin moottorin paino ja otsapinta-ala jäävät pieniksi ja infrapunasäteily vähäiseksi. Samalla kuitenkin ominaispolttoaineen kulutus kasvaa.

Vain harvat nykyaikaiset taistelukoneet kykenevät ylääninopeuden ja säilyttämään sen käyttämättä jälkipoltinta. Tätä, niin sanottua super-cruise -ominaisuutta kehitetään muun muassa ilmanvastusta pienentämällä ja voimalaitteen tehoa kasvattamalla. Jatkuvasäätoinen suihkusuutin on ehdoton edellytys super-cruise'n saavuttamiseksi. Muita voimalaitteiden kehittämisessä korostettuja kohteita ovat kuumapään lämpötilan ja paineen kohottaminen, rakenteen vahvistaminen, suurimman käyttöiän pidentäminen, huoltovälien kasvattaminen sekä huoltojen yksinkertaistaminen ja nopeuttaminen. Osa tavoitteista on keskenään ristiriitaisia; kun yhtä ominaisuutta parannetaan, toinen samalla heikentyy.

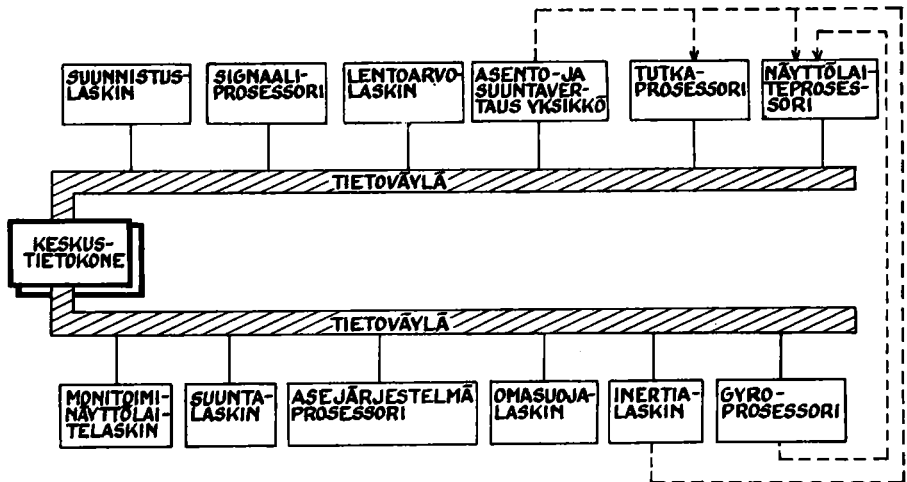
## 4 LENTOKONEJÄRJESTELMÄT

### 4.1 Tietojärjestelmät

Nykyaikaisessa taistelukoneessa on monipuolinen tietojärjestelmä, johon kuuluu lukuisia tietokoneita, näyttö- ja käyttölaiteita, sensoreita sekä niitä yhdistävä kaapelisto. Järjestelmä voi olla arkkitehtuuriltaan keskitetty, hajautettu tai komponenttirakenteinen.

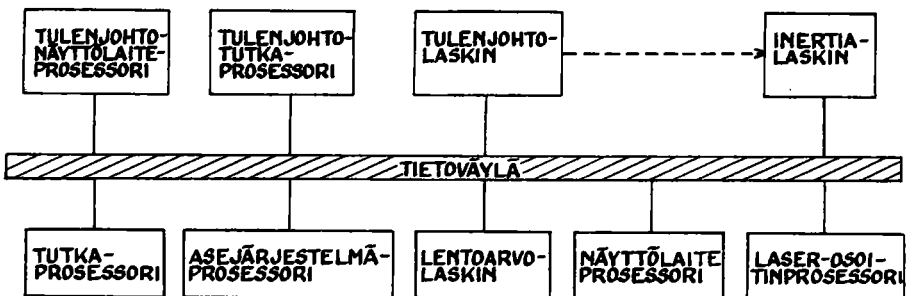
Keskitetyssä tietojärjestelmässä kaikki keskeiset toiminnot on suunniteltu yhden, yleensä rinnakkaistietokoneella varustetun keskuskoneen suoritettaviksi. Keskuskone suorittaa tärkeimmät laskutoimitukset ja muodostaa käskyt, jotka se jakaa laitteille tai muille tietokoneille. Näitä ovat esimerkiksi asejärjestelmä-, suunnistus-, tähtäin- ja lentoarvotietokone. Usein taistelukoneessa on erilliset tietokoneet hävittäjäutkaa, ohjusta ja omasuojajärjestelmää varten. Keskitetyn arkkitehtuurin suurimpana heikkoutena on järjestelmän toimimattomuus keskuskoneiden tai niiden kaapeliston tuhoutuessa.

Kuva 3. Keskitetty järjestelmäarkkitehtuuri.



Hajautettu väyläliikennöivä arkkitehtuuri perustuu lukuisille, suunnilleen yhtä suorituskykyisille tietokoneille, jotka on yhdistetty tehokkailla tietoväylillä toisiinsa. Siten yhden tai kahden tietokoneen tuhoutuminen ei lamautu kokonaisuutta, sillä kaikki laitteet on suunniteltu ominaisuuksiensa puolesta kykeneviksi suoriutumaan toisensa tehtävistä.

Kuva 4. Hajautettu väyläliikennöivä arkkitehtuuri.



Komponenttirakenteinen järjestelmä on koottu mikropiireistä tai piirilevyistä, joita sopivasti elektronisesti yhdistelemällä muodostetaan kutakin laskutoimitusta varten sopivin prosessori. Komponentit ovat taas käytettävissä uusiin tehtäviin, kun edellinen laskennan tarve lakkaa. Komponenttirakenteinen kokonaisuus on edellisiä rakenteita taistelunkestävämpi sekä sopeutumisen- ja muuntautumiskykyisempi.

Tietojen siirtämisen edellyttämä kaapelisto on usein erityisesti tätä tarkoitusta varten suunniteltu galvaaninen tietoväylä. Nykyisin yhä useammin tietoväylät rakennetaan valokaapeleista. Valokaapelien etuja ovat pieni koko ja paino suureen siirtokapasiteettiin nähden. Merkittävin etu on kuitenkin tunteettomuus sähkömagneettiselle pulssille (Electro Magnetic Pulse, EMP).

Tietojärjestelmien nykyiset massamuistit ovat magneettisia tai optisia levyjä tai niiden yhdistelmiä. Magneettimuistit ovat nopeita käyttää, mutta ne ovat herkkiä vahingoittu-

maan mekaanisen käsittelyn tai voimakkaan magneettikentän vaikutuksesta. Optiset levyt sen sijaan ovat helppoja käsitellä eivätkä ne kulu mekaanisesti. Niiden tallennuskapasiteetti on suuri ja ne sopivat käytettäväksi myös liikkuvissa ja tärisevissä sovelluksissa. Optisilta levyiltä kuitenkin puuttuu kansainvälinen tallennusstandardi, eikä tiedon uudelleentallennus ole mahdollista. Magneto-optisilla massamuisteilla on suuri tiedonpakkauttiheys ja tehokas ISO -standardointi. Optinen, uudelleen kirjoitettava levy uskotaan kehitettävän 1990-luvun loppupuolella. Sen tallennuskapasiteetti ja muut ominaisuudet ovat ylivoimaisia nykyisiin massamuisteihin verrattuna.

Tietojärjestelmien tehokkuus kasvaa jatkuvasti kiihtyvällä nopeudella käytettiinpä mittarina mitä tahansa muuttujaa. Prosessorien laskentakyky kasvaa noin 5 - 10 - kertaiseksi viiden vuoden välein. Nykyiset suorituskykyiset tietokoneet ovat siten jo vajaan kymmenen vuoden kuluttua vanhentuneita, eivät silti kuitenkaan käyttökkelvoittomia. Eräs taistelukoneen tärkeimpiä ominaisuuksia onkin tietojärjestelmissä oleva kasvuväri. Sen on oltava useita satoja prosentteja, mikäli konetta aiotaan käyttää vuosikymmen tai kaksi. Tietokoneprosessorien suorituskyvyn kehitys konekielisten käskyjen suorittamisnopeuden suhteen on esitetty kuvassa 5.

Kuva 5. Mikroprosessorien suorituskyvyn kehitys.

VUOSI	LASKENTAKAPASITEETTI (MIPS)
1970	$5 \cdot 10^4$
1975	0.01
1980	0.1
1985	1.0
1990	50
1995	1 000
2000	10 000

Selite: MIPS on suure, joka ilmaisee prosessorin sekunnissa suorittamien konekielisten käskyjen lukumäärän.

## 4.2 Avioniikka

Avioniikkaan luetaan kuuluvaksi navigointilaitteisto, autopilotti ja lennonhallintajärjestelmät. Lentokoneiden sähköiset järjestelmät pyritään nykyisin muodostamaan piirilevykortteista, jotka kytketään toisiinsa erityisissä telineissä olevien pistokkeiden ja tietoväylien avulla. Tällaista rakennetta kutsutaan komponenttirakenteeksi. Se mahdollistaa virheellisen komponentin paikannuksen automaattisesti sisäisen tarkastusohjelman avulla ja vian nopean korjaamisen vaihtamalla viallinen piirilevy. Ratkaisun edut tulevat esiin erityisesti kenttäolosuhteissa. Haittapuolena voidaan todeta lisääntyvä tilan tarve.

Taistelukoneiden suunnistusjärjestelmät perustuvat yleensä Global Positioning System (GPS) - ja Inertial Navigation System (INS) -järjestelmään, joita lähes kaikissa sovelluksissa käytetään rinnakkain toisiinsa kytkettyinä. Niitä täydennetään osittain vanhentuneilla VHF Omnidirectional Range (VOR) -, Tactical Air Navigation (TACAN) - ja Automatic Direction Finding (ADF) -menetelmillä. VOR - ja TACAN -asemat on yleensä varustettu Distance Measuring Equipment (DME) -laitteistolla, joka ilmaisee lentokoneen etäisyyden lähettimestä. DME laskeen myös lentonopeuden ja lentoajan asemalle. DME:tä voidaan käyttää lentosuunnistuksessa ja alkulähestymisessä.

GPS:ssä paikan määrittäminen perustuu satelliittien lähettämään tarkkaan aika- ja paikkasignaaliin. Lentokoneeseen asennettu GPS -vastaanotin laskee ilma-aluksen sijainnin ja nopeuden kahden tai useamman satelliitin paikan ja signaalien kulkuajakeron perusteella. Aikavertailu edellyttää satelliittien lähettimien ja lentokoneen vastaanottimen kellojen käyvän hyvin tarkasti samaa aikaa. Mikäli käytössä on kolmen tai useamman satelliitin lähettämä signaali, voidaan ilma-aluksen paikka määrittää yksikäsitteisesti kolmessa dimensiossa, siis myös korkeussuunnassa.

GPS:n kaupallisissa sovelluksissa paikannustarkkuus on tyypillisesti noin sadan metrin luokkaa. Tarkkuutta heikennetään tarkoituksellisesti huojuttamalla paikkatietoa satunnaisesti. Tarkkuutta voidaan kuitenkin parantaa differentiaali-GPS -järjestelyllä, joka perustuu olettamukseen, että virhe on vakio koko mittausalueella. Differentiaali-GPS yksinkertaisesti korjaa GPS:n ilmaisemaa paikkatietoa tunnetussa pisteessä määritetyn virheen verran. Tarkkuutta voidaan parantaa myös poistamalla satunnaisen huojutuksen vaikutus erityisellä sotilaskoodilähetteellä, joka kuitenkin ei normaalisti ole muiden, kuin Yhdysvaltojen ja sen NATO -liittolaisten käytössä. Parhaimmillaan GPS -perusteisten menetelmien paikannustarkkuus on alle kymmenen metriä.

Inertiasuunnistus perustuu tarkkuushyrriin, jotka mittaavat kiihtyvyyksiä ja kulmanopeuksia kolmessa suunnassa. Integroimalla kiihtyvyyksiä ajan suhteen saadaan ilma-aluksen nopeus, jota puolestaan integroimalla saadaan kuljettu matka. Inertia tarkkuus on ajasta riippuva stokastinen suure. Hyvän inertiajärjestelmän määrittämä paikkatieto on tunnin lennon jälkeen korkeintaan puolen kilometrin verran virheellinen. Inertia on passiivinen ja ulkoisista laitteista täysin riippumaton.

Nykyiset lähestymislaitteet perustuvat pääosin 1970 -luvun tekniikkaan. Yleisin käytössä oleva menetelmä on Instrument Landing System (ILS), jossa ohjaaja saa tiedon asemastaan lähestymislinjan suhteen kahden ristikkäin lähetettävän säteen perusteella. Etäisyys kentälle määritetään DME:llä, lentomajakoita ylitettäessä tai se voidaan laskea korkeuden ja lähestymiskulman funktiona. ILS -menetelmää kehitetään edelleen ja sen parannettuja versioita ilmaantuu markkinoille aika ajoin. ILS:n suurena puutteena on suppea taajuusalue ja siitä johtuva vähäinen kanavien lukumäärä.

ILS:stä edelleen kehitetty Microwave Landing System (MLS) on käytössä muun muassa lentotukialuksilla. MLS:n taajuusalue on laaja, eikä kanavien lukumäärä rajoita sen käyttöä. MLS on rakenteiltaan yksinkertainen ja suunniteltu siirrettäväksi. MLS -laitteistoon kuuluu myös nykyistä tarkempi DME. Tulevaisuudessa MLS korvannee ILS:n, joka samalla poistuu käytöstä.

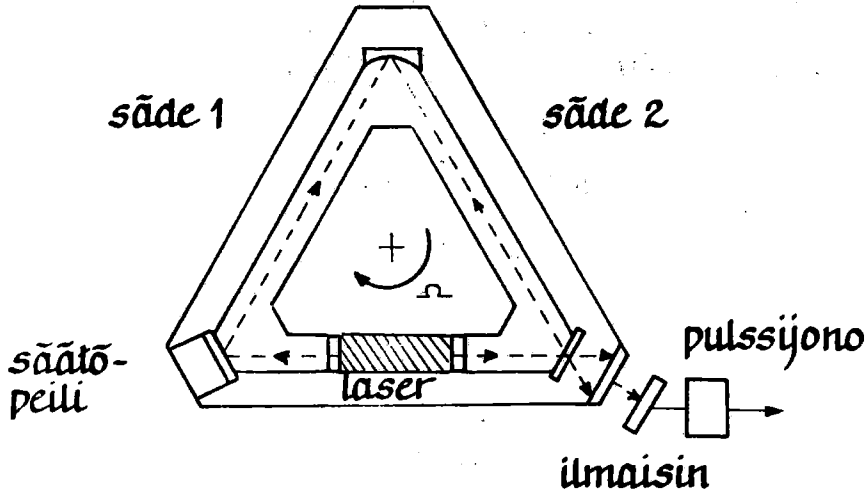
Sekä differentiaali-GPS että INS ovat nykyisin tarkkuudeltaan niin hyviä, että niitä voidaan ryhtyä käyttämään lähestymislaitteina. Sotilasilmalussa käytetään yhä edelleen perinteistä tarkkuustukialähestymismenetelmää, missä lentokentällä oleva tutkaoperaattori antaa ilma-alukselle ohjauksikäskyjä lentosuunnan ja vajoamisnopeuden suhteen. Myös aiemmin mainittuja muita suunnistusjärjestelmiä voidaan käyttää rajoitetusti lähestymiseen.

Uutena sovelluksena sotilasilma-aluksissa on otettu käyttöön niin sanottu LASER -hyrrä. Laitetta kutsutaan hyrräksi käyttösovelluksensa vuoksi, vaikkei siinä ole juuri lainkaan liikkuvia osia. Hyrrän toiminta perustuu kahden koherentin valonsäteen kulkuun tunnetun mittaisissa kanavissa, jolloin kulkuajakeron on vakio. Kulkuajakeron muuttuu, kun kanavaa kierretään. Muutos ilmaistaan interferenssikuviona ja muutetaan pulssi-jonoksi.

LASER -hyrrään perustuvan inertiasuunnistusjärjestelmän paikannustarkkuus lentokonekäytössä on perinteisiin hyrriin perustuvaa ratkaisua huomattavasti parempi. Virhe on satunnaista ja saattaa ajan mittaan kumota itseään. LASER -hyrrä on tunteeton kiihtyvyyksille ja maan magneettikentälle. Lisäksi se on kevyt, pienikokoinen ja toimintavarma. Suurimpana haittana on korkea hankintahinta, jota tosin alhaiset huoltokustannukset kompensoivat.



Kuva 6. LASER-hyrrän rakenne.



HOTAS (Hands On Throttle And Stick) on lentäjän työmäärää vähentävä järjestelmä, jossa kaikki taistelutilanteessa tarvittavat hallintalaitteet ja kytkimet on sijoitettu kaasuvivulle tai ohjaussauvaan. Ohjaajan toiminta helpottuu, kun hänen ei tarvitse siirtää käsiään ohjaimilta halutessaan esimerkiksi säätää tutkaa tai tehdä asevalintoja. Esimerkiksi F-18 Hornet -koneessa on HOTAS.

#### 4.3 Näyttölaitteet

Osoitinnäyttöisistä lentokonemittareista on runsaan vuosikymmenen aikana vähitellen siirrytty muihin esitysmenetelmiin. Ensimmäinen kehitysvaihe oli digitaalinen näyttömittari, josta kuitenkin on osittain luovuttu huonon luettavuuden vuoksi. Katodisädeputkeen perustuvat television-omaiset näyttölaitteet ovatkin nykyisin voimakkaimman kehittelyn kohteena. Niissä kuva muodostetaan fosforihiukkasilla päällystetylle lasipinnalle, jota pommitetaan elektronisuihkulla. Suihkun osuessa fosforipintaan syntyy fotoneita, jotka aistitaan valona.

Ohjaamon etupaneeliin sijoitettua katodisädeputkea sanotaan yleensä Head Down Display'ksi (HDD). Vastaavasti tuulilasiin heijastettua näyttöä nimitetään termillä Head Up Display (HUD) ja edellä mainittujen välille sijoitettava termillä Head Level Display (HLD).

Katodisädeputkien merkittävin etu tavanomaisiin näyttölaitteisiin verrattuna on niiden mukautettavuus. Ohjaaja voi valita näyttölaitteelleen haluamansa mittarit haluamassaan muodossa ja haluamaansa paikkaan. Esimerkiksi käynnistyksen yhteydessä tarvittavat näytöt voidaan valita yksitellen tai muistiin tallennetun formaatin perusteella katodisädeputkelle. Käynnistyksen jälkeen voidaan valita lentoönlähtöön tarvittava näyttöruutu, lentoönlähdön jälkeen suunnistusnäyttö jne. Katodisädeputken rikkoontuessa viereinen putki voi tarvittaessa korvata sen. Putket ovat osoittautuneet toimintavarmiksi ja helppo- huoltoisiksi. Niiden ominaisuuksia joudutaan kuitenkin edelleen kehittämään.

Sähköinen karttanäyttö on eräs katodisädeputkeen perustuva erityissovellus. Siinä lentokoneen tietokoneen muistiin on tallennettu digitaalinen, kolmiulotteinen kartta ja ilma-aluksen paikka esitetään HDD-näytöllä. Ilma-aluksen paikkatieto saadaan automaati-

tisesti GPS:n tai INS:n tietokannasta riippuen siitä, kumpi on tarkempi. Paperikartoista päästään eroon ja samalla tulee mahdolliseksi monenlaisten lisätietojen syöttö järjestelmään. Tiedot voidaan syöttää tukikohdan tietokoneella tai ohjaajan henkilökohtaisella tehtävämuistiyksiköllä. Tyypillisiä lisätietoja voisivat olla tukeutumistilanne, lentoreitti, ilmatorjunnan asemat, hyökkäysura kohteella, maalin paikka jne. Järjestelmä toimii aktiivisesti ja voi varoittaa ohjaajaa vihollisen ilmatorjunnasta tai vaarasta törmätä maahan. F-18 Hornet'ssa on edellä kuvatuinen järjestelmä.

Muita nykyaikaisia taistelukoneissa olevia näyttölaitteita ovat kypärätähtäin ja yönäkölaitteet. Kypärätähtäin on lentokypärään kiinnitetty näyttölaite, joka rekisteröi ohjaajan pään liikkeitä. Hän voi lukita hävittäjäutukan, muun tulenjohtolaitteen tai täsmäaseen haluamaansa maaliin viemällä kypärätähtäimessä olevan etsimen maalin päälle ja painamalla asejärjestelmän vastaavaa kytkintä.

Taistelukoneissa käytettävä yönäkölaite on yleensä lentokypärään saranoitu kaksoiskulaari, joka halutessa voidaan kääntää pois silmien edestä. Lentokoneissa käytetyt yönäkölaitteet perustuvat tavallisimmin valonvahvistukseen tai lämpökuvaan. Nykyiset valvonvahvistimet perustuvat passiiviseen mikrokanavalevyvahvistukseen. Yönäkölaitteilla varustettuna lentäjä voi toimia hyvin heikossa valaistuksessa näkölento-olosuhteissa. Sen sijaan pilvessä, sumussa tai sateessa ei voida operoida ilmakehän kosteuden aiheuttaman voimakkaan absorbtion vuoksi. Lentokoneessa on oltava normaalia voimakkaammin himmennetty mittarivalaistus, jottei herkkä optiikka sokaistuisi.

#### 4.4 Viestijärjestelmät

Taistelunjohtajan ja taistelukoneiden välinen, kuten taistelukoneiden keskeinen tiedonsiirto on nykyisin toteutettu radioyhteyksin joko VHF - tai UHF -alueella. Radioyhteydet on yleensä suojattu koodaamalla viesti, käyttämällä hyppiviä taajuuksia tai muulla vastaavalla tavalla. Analogisissa järjestelmissä menetelmänä on tavallisesti puheen sekoittaminen, jolloin tietosuojaus jää suhteellisen alhaiselle tasolle. Yhä yleisemmin käytetään purskelähetystä, jolloin digitalisoitu sanoma lähetetään data-muodossa kaksisuuntaista siirtotietä. Lähetteen digitalisointi ja hyppivien taajuuksien käyttö tekevät mahdolliseksi saavuttaa niin korkea tietosuojan aste, ettei sanomien dekoodaaminen käytännössä ole mahdollista. Tietosuojaa voidaan vielä entisestään parantaa laajakaistalähettein, suunnatuin antennein, säätämällä tehoa jne.

Nykyiset viestijärjestelmät tekevät mahdolliseksi rajallisen ilmatilannekuvan ja jopa pintatilannekuvan siirtämisen oikea-aikaisena taistelukoneeseen. Tilannekuvaa voidaan lisäksi täydentää hävittäjän asejärjestelmän sensorein ja jakaa lento-osastossa koneelta toiselle.

Kaiken elektroniikan kohdalla erityisen ongelmallista on suojauminen sähkömagneettista pulssia (EMP) ja suurtehomikroaaltpulssia (HPM) vastaan. EMP -vaikutus syntyy aina ydinräjähdysten yhteydessä. HPM sen sijaan muodostetaan erityisesti tätä tarkoitusta varten suunnitellulla laitteella, eräänlaisella mikroaaltoaseella. Sekä EMP että HPM tuhoavat herkkää elektroniikka ja voivat saattaa taistelukoneen pysyvästi toimintakyvyttömäksi. Taistelukoneiden laitteet pyritään nykyisin suojaamaan siten, että ne kestävät vahingoittumattomina EMP:n vaikutukset. Läheskään kaikki EMP -suojausten keinot eivät ole tehokkaita HPM:ää vastaan.

#### 4.5 Muut järjestelmät

Taistelukoneiden rakenteet sietävät nykyisin huomattavasti enemmän kiihtyvyyksiä kuin ohjaajat. Siksi onkin kehitelty teknisiä menetelmiä ohjaajien sietokyvyn lisäämiseksi.

Paineasujen tehtävänä on elimistön eri osien verenpaineen säätäminen veren saannin turvaamiseksi aivoille. Painehousujen ja painepukujen parantelu jatkuu edelleen. Eräissä taistelukoneissa on ohjaajan istuma-asentoa muutettu makaavaksi, jolloin aivojen ja sydämen välinen korkeusero pienenee ja positiivisen kiihtyvyyden sietokyky paranee. Myös kiihtyvyyden mukaan kallistuvaa istuinta on kokeiltu.

Kiihtyvyyden sietokykyä voidaan parantaa painehengitysjärjestelmällä, joka säätää keuhkoihin syötettävän ilman tai hapen painetta painepuvun arvoja vastaavaksi. Ohjaajan ei tällöin tarvitse hengittäessään ponnistella painepuvun aiheuttaman puristuksen eliminoinniseksi, vaan hän pystyy keskittymään oleellisiin toimintoihin. Kiihtyvyyden sietokykyä voidaan parantaa hetkellisesti siirryttäessä paineilman sijasta käyttämään puhdasta happea. Muutamien minuuttien kuluttua vaikutus kuitenkin muuttuu päinvastaiseksi. Ongelma pyritään ratkaisemaan kaasuseoksilla, joissa hapen ja typen suhdetta säädetään tilanteen mukaisesti.

Sotilaslentokoneiden taistelunkestävyyden parantamiseksi ponnistellaan jatkuvasti. Lentäjät suojataan panssarioimalla ohjaamot. Kokonaisuuden haavoittuvimman osan, polttoainejärjestelmän kestävyyttä pyritään parantamaan käyttämällä hydrauliskun kestäviä materiaaleja, turvallisuuspoltoaineita ja sammuuspatruunoita. Voimalaitteesta tai ohjausjärjestelmästä aiheutuvan vahingon todennäköisyyttä taas pyritään pienentämään muun muassa panssaroinnilla, elintärkeitä osia hajauttamalla, varmentavilla laitteilla ja ohjainpintojen yhteiskäytöllä.

## 5 ASEJÄRJESTELMÄ

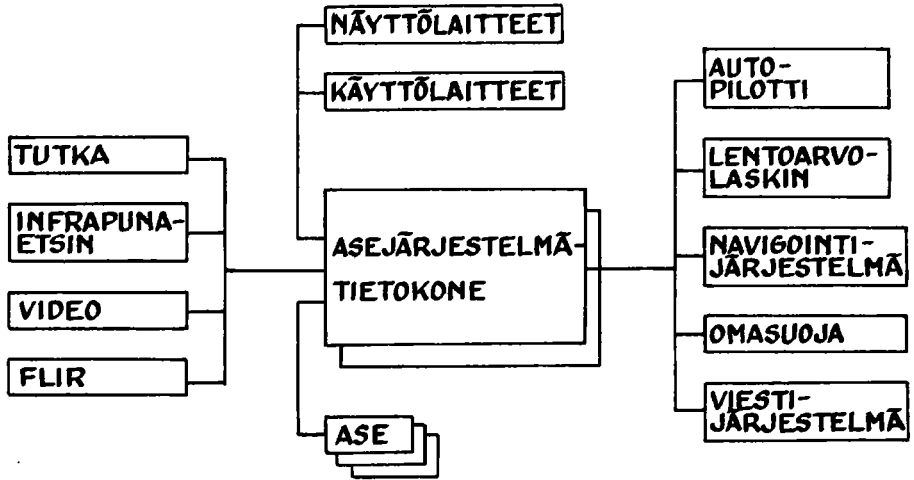
### 5.1 Yleistä

Taistelukoneen asejärjestelmään luetaan kuuluviksi sen käyttöä ohjaava tietojärjestelmä, aseet, omasuojalaitteisto, eräät sensorit sekä käyttö- ja näyttölaitteita. Autopilotti voidaan kytkeä tietokoneen välityksellä ase- ja viestijärjestelmään. Silloin taistelunjohtajan tai hänen tietokoneensa antamat käskyt lentotilan muutoksista ja aseiden valmistelusta hyökkäystä varten voitaisiin toteuttaa ilman ohjaajan toimenpiteitä. Samoin on mahdollista, että lentokone reagoi omasuojajärjestelmän toteamaan uhkaan ilman, että lentäjä puuttuu asioiden kulkuun. Menettelyllä säästetään aikaa ja samalla ohjaaja vapautetaan rutiinitehtävistä.

Seuraava ilmataistelujen kehitysvaihe voisi siten olla, ettei johtokeskuksessa enää tarvita taistelunjohtajaa eikä hävittäjässä lentäjää. Luopuminen ihmisestä taistelujärjestelmän osana ei kuitenkaan lähitulevaisuudessa ole näköpiirissä. Syitä tähän ovat nykyisten siirtoväylien rajallinen kapasiteetti, puutteellinen sensoriteknikka sekä tietokoneiden rajallinen prosessointikyky, jotka eivät vielä kattavasti kykene korvaamaan ihmissilmää tai -aivoja. Ilman ihmistä toimivat järjestelmät edellyttävät lisäksi mittavia taloudellisia uhrauksia, joiden toteutuminen ei lähitulevaisuudessa ole todennäköistä.

Nykyisin ohjaaja valvoo ja hallitsee asejärjestelmää sekä antaa käyttölaitteellaan tietokoneille käskyjä. Asejärjestelmän keskipisteenä ovat aseistusta valvovat tietokoneet, joihin kaikki muut osat on liitetty tietoväylin. Tietokoneet päättävät ohjaajan antamien käskyjen puitteissa aseiden valmistelusta ja laukaisusta tilanteen mukaan mahdollisimman optimaalisesti.

Kuva 7. Taistelukoneen asejärjestelmän toiminnallinen kaavio.



## 5.2 Tutka

Lentokonetutkaa käytetään tavallisimmin lentäjän apuna ilmataistelussa, lentorynnäköinnissä, tiedustelussa ja valvonnassa. Tutkat voivat soveltua myös säätiedusteluun ja muihin sen tapaisiin tarkoituksiin.

Modernien taistelukoneiden tutkat ovat tavallisesti pulssi-doppler -tutkia, jotka doppler-siirtymän perusteella voivat suodattaa maavälkkeen ja kiinteät maalit sekä määrittää maalin suhteellisen nopeuden. Tutkalla voidaan valvoa laajaa ilmatilaa suuren ulottuvuuden ja sekä ylä- että alapuolella lentävien maalien mittaushälytyksen vuoksi. Tutkalla on lisäksi hyvä nopeus-, kulma- ja etäisyserottelukyky sekä edellytykset väistää elektronista häirintää tehokkaasti. Hävittäjä-tutkan suurin mittausetäisyys on tyypillisesti 100 - 200 kilometriä.

Lentotiedusteluun käytettävän tutkan säteen suuntaiseen erottelukykyyn ei teknisin keinoin juurikaan voida vaikuttaa. Sen sijaan ristikkäinen eli lentosuunnan erottelukyky on kääntäen verrannollinen antennin pituuteen. Pitkällä antennilla saavutetaan siis hyvä erottelukyky. Taistelukoneen pienen laitetilan vuoksi ei suurta tutka-antennia voida kuitenkaan käyttää. Antennia onkin ryhdytty pidentämään keinoitekoisesti. Tätä periaatetta hyödyntävässä Synthetic Aperture Radar (SAR) -tutkassa antennin pituutta kasvatetaan synteettisesti ilma-aluksen liikettä hyväksi käyttäen lentosuunnan erottelukyvyn parantamiseksi. SAR -ominaisuutta ei voida hyödyntää koneen pituusakselin suunnassa. Menetelmä edellyttää tutkan prosessorilta hyvin suurta laskentakapasiteettia ja tarkkaa inertiakorrelaatiota. SAR -ominaisuus sopii erityisen hyvin sivuviistotutkissa käytettäväksi. SAR -tutkan teoreettinen erottelukyky nykyisin käytettävällä taajuusalueella on etäisyydestä riippumatta kolmen, viiden metrin luokkaa.

Uusimmat taistelukoneiden tutkat on varustettu ohjelmoitavalla prosessorilla, mikä mahdollistaa joustavan siirtymisen toimintamuodosta toiseen. Tutkat suunnitellaan käyttämään hyppiviä taajuuksia sekä mittausominaisuuksien että elektronisen puolustuskyvyn parantamiseksi. Taajuushyppäyksiä tehdään tyypillisesti useita satoja sekunnin aikana; eräissä tutkissa on mahdollista tehdä hyppäys ja samalla muuttaa muita parametreja jokaisella pulssilla. Ne voidaan lisäksi koodata esimerkiksi kompressiolla, jolloin erotte-

lukyky ja elektronisen häirinnän sietokyky entisestään paranevat. Doppler -siirtymän määrittäminen rajoittaa taajuushyppelyä jonkin verran. Yleisenä suuntauksena tutkateknikassa on nähtävissä automaation lisääntyminen. Tutkat suunnitellaan tekemään yhä monimutkaisempia toimintoja ilman operaattorin toimenpiteitä. Erityisesti tämä koskee toimintoja elektronisen häirinnän alaisena.

Vasta viime aikoina on ryhdytty siirtymään hävittäjätutkien perinteisistä antenniratkaisuihin uuteen teknologiaan. Ensimmäiset vaiheistetulla antennilla varustetut tutkat otettiin operatiiviseen käyttöön 1990-luvun alussa. Vaiheistettu antenni muodostuu kentästä, johon on sijoitettu kymmeniä, jopa satoja antennielementtejä. Kutakin elementtiä ohjataan tietokoneella siten, että säteilyn yhteisvaikutuksena muodostuu haluttu tutkakeila.

Vaiheistetulla antennilla saavutetaan perinteiseen ratkaisuun verrattuna lukuisia etuja. Säteilykeilan ominaisuuksia, suuntaa, muotoa ja lukumäärää voidaan säädellä joustavasti, jolloin usean maalin samanaikainen seuranta on mahdollista. Apertuuri tosin pienenee, kun keilaa poikkeutetaan antennikentän normaalin suunnasta. Tutkan lähetysteho voidaan kasvattaa ilman suurtehovahvistinta ja sivukeilataso saadaan alhaiseksi. Myös samanaikainen mittaus kolmessa suunnassa käy mahdolliseksi. Haittoja ovat monimutkainen hallintajärjestelmä ja rakenne, korkea hinta sekä suuri koko ja paino.

Hävittäjätutkissa käytetään kolmenlaista pulssintoistotaajuutta. Alhaisella toistotaajuudella saadaan yksikäsitteinen etäisyystieto ja korkealla taajuudella puolestaan yksikäsitteinen Doppler -siirtymän arvo. Keskisuuri toistotaajuus sijoittuu edellä mainittujen väliin.

Alhainen taajuus on kohtalaisen helposti aikaansaataavissa. Taajuus sopii ilmataistelutilanteeseen, missä maali on torjujan yläpuolella. Etäisyystieto on silloin yksiselitteinen ja tarkka. Keskisuuri toistotaajuus on teknisesti vaikea toteuttaa. Se on kuitenkin tärkein toistotaajuus, kun maali on torjujan alapuolella. Etäisyys- ja nopeustieto eivät ole yksiselitteisiä. Korkea toistotaajuus sopii parhaiten tilanteeseen, jossa maali on kaukana torjujan etusektorissa. Monissa tutkissa käytetään toistotaajuuksien yhdistelmiä ja haritusta tai moduloidaan pulssit yksiselitteisyyden saavuttamiseksi.

Tyypillisiä nykyaikaisen ilmataisteluun suunnitellun hävittäjätutkan toimintamoodoja ovat maalien etsintä, usean maalin seuranta, maalien etsintä seurannan aikana, etäisyyden mittaus ja maalin valaisu ohjusammunnassa. Tehokas tutka mahdollistaa samanaikaisen hyökkäyksen jopa kymmentä maalia vastaan. Lisäksi eräät tutkat kykenevät antamaan puutteellista maalitietoa mittausalueen ulkopuolella olevista maaleista, ohjaavat asejärjestelmää ja analysoivat vihollisen lento-osastoja, jopa tunnistavat ilma-alueksia niiden ulkopintojen tutkakaiuin tai moottorien heijastaman modulaatiotaajuuden perusteella.

Rynnäkkökoneen tutkan tärkeimmät toimintamoodit ovat maalien etsintä, etsintä seurannan aikana, kiinteän tai liikkuvan maalin ilmaisu ja osoitus, 2- tai 3-ulotteinen maaston kartoitus, seuranta ja väistö sekä etäisyyden mittaus. Tutkaa voidaan lisäksi käyttää lähestyttäessä lentokenttää laskeutumista varten.

### 5.3 Muut tulenjohtolaitteet

Infrapunaetsin on tutkan jälkeen tärkein tulenjohtolaite ilmasta ilmaan toiminnassa. Näyttölaitteella esitetään maalin suhteellinen asema torjujaan nähden; luotettavaa etäisyystietoa ei saada. Etsin toimii ainoastaan näkölento-olosuhteissa; sillä infrapunasäteily vaimenee nopeasti ilmakehän epäpuhtauksien ja kosteuden vaikutuksesta.

Muut infrapunasäteilyyn perustuvat järjestelmät ovat lähinnä tiedustelu-, navigointi- tai lentorynnäkkösovelluksia. Forward Looking Infra Red (FLIR) on laite, joka vastaanottaa kohteen lähettämää infrapunasäteilyä ja muodostaa kontrastin perusteella kuvan maastosta. FLIR on alunperin suunniteltu navigointijärjestelmäksi, mutta sitä käytetään nykyisin myös lentorynnäkkötoiminnassa.

Tavanomaiseen tai heikon valon televisiokuvaan perustuvat laitteet ovat olleet lentorynnäkkösovelluksina käytössä jo vuosikymmeniä. Maali havaitaan ja lukitaan automaattiseurantaan valaistuskontrastin perusteella. Järjestelmä on useassa tapauksessa yhdistetty infrapunakameraan, jolloin laitetta on mahdollista käyttää sekä päivä- että yöolosuhteissa. Kolmas kokonaisuuteen tyypillisesti kuuluva komponentti on LASER -valaisin. Sen tehtävänä on mitata etäisyys maaliin ja kohdistaa siihen säteilyä, jonka heijastuksen perusteella ohjautuva pommi hakeutuu kohteeseensa.

#### 5.4 Lentokonetykki ja -raketti

Perinteisten luisti- ja rumpusyöttöisten lentokonetykkien puutteina ovat hidas tulinopeus ja huono luotettavuus. Ongelma on ratkaistu kehittämällä moniputkinen tykki, jossa useita toimintavaiheita tehdään yhtäaikaaisesti. Kun ase on yhdessä osassa työnnetään kranaattia putkeen, toisessa samanaikaisesti tapahtuu laukaus, kolmannelta poistetaan hylsyä ja neljättä jäädytetään. Tulinopeus näissä pyöriväputkisissa Gatling -tykeissä voidaan nostaa jopa 6 000 laukaukseen minuutissa. Tulinopeus ei ole vakio, vaan se kiihtyy noin puolen sekunnin ajan kunnes putkikehikko pyörii suurimmalla nopeudellaan. Aseissa on 6 - 7 putkea ja kaliiperi tyypillisesti 20 - 30 millimetriä. Tehokas ampumaetäisyys on korkeintaan kaksi kilometriä. Voimanlähteenä ei käytetä ruutikaasua ja rekyyliä, vaan ulkoista tehoyksikköä. Gatling -tykkien etu suuren tulinopeuden lisäksi on muun muassa hyvä luotettavuus, ongelmana ampumatarvikkeiden syöttöjärjestelmän suuri koko ja tehon tarve.

Lentokonerakettien kehittäminen on jo kerran saavuttanut päätapisteensä niiden huonon tarkkuuden ja hyötysuhteen vuoksi. Suunnittelu aloitettiin kuitenkin uudelleen huipunopeiden, 5 - 7 -kertaisen äänennopeuden saavuttavien rakettien osalta. Niissä ei ole lainkaan räjähdysainetta ja vaikutus kohteessa perustuu kineettiseen energiaan. Suuri nopeus mahdollistaa suuren ulottuvuuden, lyhyen lentoajan, pienen putoaman ja hyvän tarkkuuden. Tarkkuutta pyritään parantamaan liittämällä rakettiin ohjausjärjestelmä, jolloin rakettien ja ohjusten välinen ero hämärtyy.

Eräs merkittävä suuntaus on aluevaikutteisten monikärkirakettien kehittäminen. Monikärkiraketit on suunniteltu käytettäväksi panssaroituja ajoneuvoja ja taistelupanssarivauvoja vastaan. Panssarinläpäisykyky on mainittu suhteellisen hyväksi. Yhdessä raketissa on tyypillisesti 10 - 200 massiivista kärkeä.

#### 5.5 Lentopommi

Tavanomainen rautapommi on taistelukentän yleisin lentokonekuljetteen ase. Se myös säilyttäneekin ainakin lähitulevaisuudessa paikkansa. Tavanomaiseen pommiin voidaan kohtalaisen helposti liittää ohjausjärjestelmä.

Nykyaikaiset ohjautuvat pommit löytävät kohteensa yleensä LASER -heijastuksen perusteella. Kyseessä ei siis ole ammu- ja unohda -ase ja maalin valaisija sitoutuu hyökkäykseen pommin iskeytymiseen saakka. Nykyaikaisen ohjautuvan pommin keskiahajonta on hyvissä olosuhteissa etäisyydestä riippumatta alle viisi metriä. Pommin ohjaaminen edellyttää optista yhteyttä valaisijan ja maalin välillä.

Siroteaseiden kehitys on ollut merkittävän nopeaa viime aikoihin saakka. Tytärpommeja kuljetetaan kohteeseensa joko pomminsirottimissa tai kasettipommeissa. Pommien taistelulataus on tavallisesti sirpale-, miina- tai ontelovaikutteinen. Myös kiitoteitä ja linnoitteita vastaan käytettäviä erikoiskärkiä on kehitetty. Tytärpommeihin voidaan asentaa itsenäinen, infrapunakontrastiin perustuva hakeutumisyjärjestelmä. Sirotekenttää täy-

dennetään usein pienoismiinin tuhojen korjaamisen hidastamiseksi.

Siroteaseiden huonona piirteenä on, että hyökkäävä lentokone joutuu aselastin pudottaessaan ylittämään kohteen ja usein ilmatorjuttulle alueelle. Ongelma on ratkaistu kauko-ohjauksella pommisiroittimella, joka laukaistaan kymmenien kilometrien päässä kohdealueelta. Lentokoneesta irroituksen jälkeen laite levittää siipensä, kehittää liike-energiansa voimalaitteellaan, hakeutuu itsenäisesti maalialueelle ja purkaa tytärammukset saavuttuaan kohteen ylle.

Tietyn tyyppistä kohdetta varten suunnitellut erikoispommit säilyttänevät paikkansa tulevaisuudessakin. Erikoispommeja kehitetään muun muassa lentotukikohtien kiitoteitä ja betonilannoitteita vastaan. Niitä voidaan käyttää myös miinakenttien ja helikopterien laskualueiden raivaukseen.

## 5.6 Ohjus

Ohjus on nykyaikaisen taistelukoneen, sekä hävittäjän että rynnäkkökoneen tehokkain ase. Ohjuksia ohjataan perinteisen siivekeohjauksen lisäksi apusiivekkein ja suihkuvirtauksin. Ohjautus toteutetaan yleisimmin edelleen kulmanopeusmenetelmällä. Ohjuksien maali-ohjauksia voidaan päivittää tutkan avulla laukaisun jälkeenkin. Suurimmat mahdolliset poikittaishiivyyden arvot ylittävät nykyisin 50-kertaisesti maan vetovoiman kiihtyvyyden. Sytytin toimii kosketuksesta tai kahden, kolmen herätteen perusteella.

Infrapunaohjuksien ilmataisteluhjusten hakupää perustuu nykyisin yleensä yksiläisimiseen retikkeliin. Lähitulevaisuudessa monielementtiset hakupäät yleistyvät ja valtaavat alaa. Aktiivisen tutkaohjauksen hakupää on perustoinnoiltaan yhtäläinen hävittäjä-tutkan kanssa, joskin käyttöömoodeiltaan suppeampi. Hakupään logiikassa käytetään laajasti muun muassa pulssi-doppler -prosessointia ja monopulssitekniikkaa.

Infrapunaohjuksia kehitetään melkein yksinomaan lähitaistelua, lähinnä kaartotaistelua varten. Niiden suurin ulottuvuus säilyy siksi ja hakupään ominaisuuksien vuoksi noin kymmenen kilometrin paikkeilla. Aktiivisten tutkaohjusten ulottuvuutta ei pyritä nykyisin lisäämään yli 100 kilometrin. Niiden suurimmat laukaisuetäisyydet suunnitellaankin korkeintaan noin 70 kilometriksi. Kehittämisen painopiste on siis lyhyen ja keskipitkän matkan ohjuksissa. Poikkeuksena tästä voidaan mainita Venäjä, joka kehittää parhaillaan aktiivista, noin 400 kilometriä kantavaa pitkän matkan tutkaohjusta. Sitä uskotaan suunniteltavan käytettäväksi länsiliittoutumien valvonta- ja johtokoneiden tuhoamiseen. Tärkeimmät keskipitkän ja pitkän matkan ohjusten kehittämistä vaikeuttavat ongelmat liittyvät maalinosoitukseen ja tunnistukseen.

Lentokonekuljetteinen rynnäkköohjus hakeutuu kohteeseensa tyyppillisesti tutka-, infrapuna- tai valoisku-contrastin perusteella. Muita mahdollisia menetelmiä ovat LASER-heijastus, millimetrialueen säteily tai hajasäteily. Maali osoitetaan ohjukselle yleensä optisella laitteella, lukitaan kohteeseen ja laukaistaan ammu- ja unohda -periaatteella. Rynnäkköohjauksen tyyppilinen laukaisuetäisyys on 10 - 100 kilometriä.

Tutkasäteilyyn hakeutuva rynnäkköohjus vastaanottaa ja analysoi ilmavalvonta- tai ilmatorjuntatutkien lähettämää sähkömagneettista säteilyä. Ohjus hakeutuu passiivisesti tutkan lähteen perusteella antenniin ja tuhoaa sen. Tutkan sammuttaminen kesken hyökkäyksen ei välttämättä pelasta antennia. Ohjus nimittäin saattaa jatkaa hyökkäystä sisäiseen muistiinsa tallennettujen tutkan paikkatietojen perusteella. Toinen mahdollisuus on, että ohjus hakeutuu korkealle tutkan yläpuolelle ja jää leijumaan laskuvarjon varassa. Tutkan käynnistämisen jälkeen ohjus liukuu yläkatveesta antenniin ja tuhoaa sen.

Tutkaan hakeutuvien rynnäkköohjusten hakupää on kehitetty niin erottelukykyiseksi ja prosessointitekniikka niin pitkälle, että havaitut tutkat kyetään yksilöimään. Ohjusten laukaisuetäisyys on nykyisin noin 20 - 50 kilometriä. Tulevaisuudessa ohjusten ulottuvuut-

ta ja prosessorien laskentakapasiteettia edelleen lisättäneen.

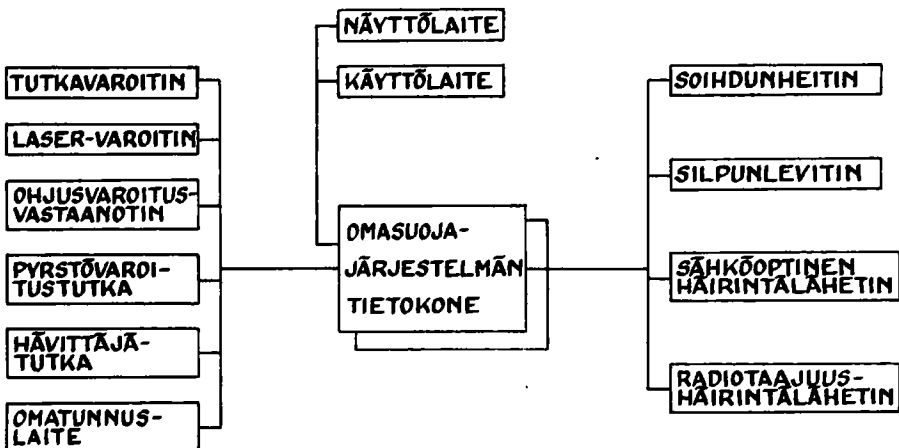
Lentokoneesta laukaistavien risteilyohjusten lentoreitit valmistellaan satelliittitiedustelutietojen perusteella muodostettavien maastokorkeuskarttojen avulla. Laukaisupaikkatieto syötetään ohjuksen muistiin viimeistään juuri ennen laukaisua. TERCOM -suunnistusjärjestelmä perustuu reitillä mitatun ja muistiin tallennetun maastoprofilin vertaamiseen. Kulloinkin sijainti päätellään paikannusalueilla tehtyjen korkeusmittaustulosten ja sen jälkeisten lentoarvojen perusteella. Ohjautuminen maalialueella ja tarkka tähtääminen perustuvat kuitenkin ohjuksen nokkakartiossa olevan videokameran antamaan informaatioon.

Uusimmat risteilyohjukset kykenevät lähettämään oikea-aikaisia tietoja maalialueelta omalle johtokeskukselle. Tarkoituksena on toisaalta tiedustella maalialue ja arvioida siellä olevat tuhot, toisaalta varmistaa maali ja tarvittaessa vaihtaa sitä. TERCOM -suunnistusjärjestelmää täydennetään kytkemällä se yhteen GPS:n kanssa, jolloin risteilyohjusten reittisuunnittelu nopeutuu oleellisesti.

### 5.7 Omasuoja

Omasuojajärjestelmän osia ovat keskuslaskin, sensorit, häirintälaitteet, omatunnuslaite, käyttö- ja näyttölaitteet sekä näitä yhdistävä tietoväylä. Omasuojajärjestelmän lasketaan kuuluvaksi osaksi taistelukoneen asejärjestelmää.

Kuva 8. Taistelukoneen omasuojajärjestelmän rakenne.



Aiemmin omasuojajärjestelmä koostui erillisistä varoittimista ja häirintälaitteista, joita ohjaaja hallitsi käyttölaitteillaan. Nykyisin kaikki järjestelmän osat on yhdistetty tietokoneeseen, jolloin uhkatilanteen kokoaminen ja pelkistetty esittäminen ohjaajalle on toteutettavissa helposti. Hän voi esivalita toimintoja, joita haluaa toteutettavan automaattisesti tai manuaalisesti tietyissä uhkatilanteissa. Omasuojalaitteisto asennetaan yleensä taistelukoneen runkoon tai siipisäiliöön.

Omasuojajärjestelmän sensoreita ovat tutka-, LASER - ja infrapunavaroitin sekä pyrstövaroitustutka. Tutka- ja LASER -varoitin ilmaisevat, että ilma-alusta mitataan vastaavalla laitteella. Infrapunavaroitin ja pyrstövaroitustutka puolestaan antavat ohjaajalle tiedon lähistöllä laukaistusta ilmatorjunta- tai ilmataisteluhujuksesta. Uusimmat varoit-



timet ilmaisevat samalla uhkan karkean suunnan. Omasuojatietokone priorisoi uhkan ja käynnistää vastatoimet. Yleisimpiä vastatoimia ovat tutkasäteilyä heijastavan silpun tai infrapunasoihtujen heittäminen. Muita vastatoimia ovat moduloitu infrapunalähete sekä radiotaajuushäirintä ja -heitteet.

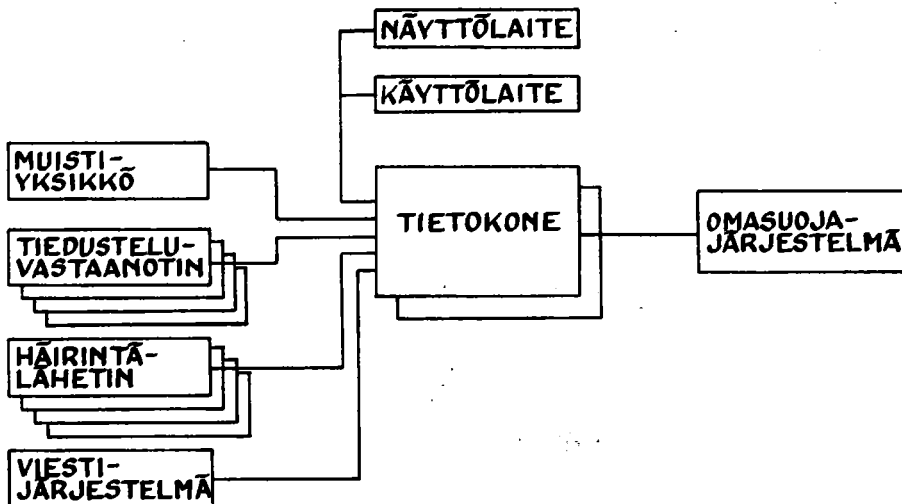
## 6 LENTOTIEDUSTELU

Tavanomainen kamera säilyttää keskeisen asemansa lentotiedustelun alalla pitkälle tulevaisuuteen. Filmiä käyttävät kamerat tosin syrjäytetään niin sanotuilla Charged-Coupled Device (CCD) -kameroilla. CCD -kamerassa kuvainformaatio tallennetaan filmin sijasta magneettiselle levyille analogisessa tai digitaalisessa muodossa. Digitalisoitu kuvamateriaali mahdollistaa aineiston automaattisen esikäsittelyn, jolloin kuvantulkinta nopeutuu huomattavasti. Digitoitu kuva voidaan myös siirtää tietosuojattuna oikea-aikaisesti lennon aikana maa-asemalle. CCD -kameroiden rinnalla käytetään CCD -videokameroita.

## 7 ELEKTRONISET TIEDUSTELU- JA HÄIRINTÄJÄRJESTELMÄT

Elektroninen häirintä ei ole järkevällä tavalla toteutettavissa ilman elektronista tiedustelua. Elektronisen tiedustelun yksi tärkeä tehtävä on löytää ja analysoida häirittelevät kohteet. Elektroninen tiedustelu- ja häirintäjärjestelmä koostuu vastaanottimista ja häirintälähettimistä antennineen ja ohjaimineen, tietokoneesta muistiyksikköineen, käyttö- ja näyttölaitteista sekä tiedonsiirtoverkosta. Järjestelmään liitetään tavallisesti ilma-aluksen omasuojalaitteet ja se kytketään viestiverkkoon.

Kuva 9. Taistelukoneen elektronisen tiedustelu- ja häirintäjärjestelmän toiminnallinen kaavio.



Tiedustelujärjestelmällä etsitään vihollisen hyötysignaaleja tietyltä taajuusalueelta ja analysoidaan niitä oikea-aikaisesti. Mikäli lähetettä halutaan tiedustella, vastaanotin ohjataan kyseiselle taajuudelle ja signaalit kootaan taltioon myöhempää käsittelyä varten.

Häirintälähetin kytketään toimintaan siinä tapauksessa, että edullisinta on estää vihollista käyttämästä taajuutta. Lyhyen häirintäjaksion jälkeen taajuutta taas tiedustellaan ja häirintää jatketaan, mikäli signaaleita ilmaantuu. Menettely toistetaan, kunnes hyötylähetteitä ei enää havaita.

Taistelukoneeseen asennettu tiedustelu- ja häirintäjärjestelmä on suunnattu yleensä ilmavalvonta-, ilmatorjunta- ja hävittäjätutkia tai ilmapuolustuksen johtamisyhteyksiä vastaan. Suurimmat häirintäjärjestelmän tuottamat tehot ovat yhden kilowatin suuruusluokkaa. Tutkien käyttämällä taajuusalueella voidaan saavuttaa lähetystä suuntaamalla jopa 1 000 kilowatin tehoa vastaavia tehotiheyksiä.

## 8 HÄIVETEKNIikka

Stealth - eli häivetekniikasta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä kykyä toimia tutkan havaitsemattomissa. Tutkahäivyttäminen on kuitenkin vain yksi stealth -tekniikan laji. Toisaalta tutkassa näkymätöntä konetta ei ole olemassakaan, on vain tutkalla helposti tai vaikeasti havaittavia lentokoneita. Häivetekniikan yleinen tavoite on havaittavuuden pienentäminen olipa vastustajan käyttämä sensori mikä tahansa.

Tutkahäivyttäminen pyritään toteuttamaan välttämällä metallisten materiaalien käyttöä ja muotoilemalla ilma-aluksen pinnat siten, ettei säteilyä heijastu sen tulosuuntaan. Lisäksi pinnat voidaan päällystää tutkasäteilyä absorboivilla aineilla. Infrapunakontrastia vähennetään otsapintoja ja pakokaasuja jäähdyttämällä sekä eristämällä moottorit lentokoneen ulkopinnoista. Akustinen häivyttäminen taas toteutetaan pienentämällä ilma-aluksen rungon ja moottorien aiheuttamaa melua.

Optinen häivyttäminen perustuu olosuhteiden mukaan muuttuvaan pintavärjähkseen tai naamiomaalaukseen ja tiivistysvanan kemialliseen poistamiseen. Elektronisessa häivyttämisessä taas vähennetään ilma-aluksen lähettämää sähkömagneettista säteilyä. Esimerkkinä tästä on stealth -koneita varten kehitetty Low Probability of Intercept -tutka. Tutkan pulssi on hyvin lyhyt ja intensiteetiltään alhainen, joten se on vaikeasti havaittavissa. Silti tutkan ominaisuudet on kyetty säilyttämään korkeatasoisina kehittyneen antenni- ja signaalimuodostustekniikan sekä signaaliprosessoinnin ansiosta. Taktisella häivyttämisellä tarkoitetaan esimerkiksi lentokorkeuden, -nopeuden ja -reitien valitsemista siten, että koneen havaitseminen on mahdollisimman vaikeaa.

Häivetekniikan merkitys nykyaikaisessa sodankäynnissä on kiistaton. Sekä teoreettisissa tarkasteluissa että ilmataisteluissa onkin voitu todeta, että ilma-alusten selviytymistodennäköisyys kasvaa oleellisesti häiveominaisuuksien parantuessa. Kuuluisimmat häivelentokoneet ovat amerikkalaiset F-117 -rynnäkkökone ja B-2 -pommikone. Lähes kaikissa taistelukoneissa on käytetty häivesovelluksia muodossa tai toisessa jo 1970 -luvulta lähtien, joten mistään uudesta keksinnöstä ei ole kyse.

## 9 TUKEUTUMISJÄRJESTELMÄ

Tietokoneavusteinen lennonvalmistelu ollaan ottamassa yhä laajenevassa mitassa käyttöön. Järjestelyn ajatuksena on helpottaa ja nopeuttaa lentojen suunnittelua antamalla rutiinitehtävät tietokoneen hoidettaviksi. Samalla otetaan automaattisesti huomioon lento-reitille sijoitettu ilmatorjunta, merkittävät maastoesteet ja muut vaikuttavat tekijät. Tietokone suunnittelee lennon turvallisen väylän kautta siten, että vältytään lentämästä vihollisen vaikutuspiirissä. Tukikohdan tietokannasta tiedot siirretään ilma-alukseen joko kaapeleitse tai tehtävämuistilla, kuten aiemmin mainittiin.

Nykyaikaisen taistelukoneen kiitotietarve lentoonlähdössä ja laskeutumisessa on alle 1 000 metriä, edullisissa olosuhteissa jopa alle 500 metriä. Lentoonlähdomatkaa voidaan

entisestäään lyhentää katapultilla, kiihdytysraketeilla tai lähtökelkalla. Laskumatkaa taas tarvittaessa lyhennetään jarruvaijereilla tai poikkeustapauksissa pysäytysverkoilla.

Taistelukoneiden huolloissa pyritään mahdollisimman suureen riippumattomuuteen lentokonekorjaamoista ja -tehtaista. Laajatkin huollot ja korjaukset tehdään tukikohtissa laivueisiin ja tukeutumisorganisaatioon kuuluvan teknisen henkilöstön toimenpitein. Taistelukoneet pyritään lisäksi suunnittelemaan maalaitteista ja erikoisnesteistä riippumattomiksi, mikä helpottaa ja yksinkertaistaa käyttöhuoltoa. Moderni lentokalusto pitkiä huoltoväleineen mahdollistaa korkean käyttöasteen.

## 10 LENTOSIMULAATTORIT

Lentosimulaattoreita käytetään toisaalta kustannussäästöihin, toisaalta lentoturvallisuuden liittyvistä syistä. Simulaattorin käyttökustannukset ovat vain murto-osa vastaavan lentokoulutuksen kustannuksista. Simulaattorikoulutus voi kuitenkin olla lentokoulutusta tehokkaampaa. Simulaattorillahan voidaan jäljitellä häiriötilanteita, joiden harjoitteluun lentokoulutuksessa olisi kohtuuton turvallisuusriski.

Nykyiset hävittäjälentosisimulaattorit rakennetaan yleensä ilman liikejärjestelmää. Ohjaajan aistimukset koneen kallistelusta ja kiihtyvyyksistä saadaan aikaan keinotunnoilla. Näyttölaitte tuottaa värillisen päivä-näkölentokuvan, joka esitetään puolipallon tai pallon sisäpinnalla. Tarkka, kolmiulotteinen kuva muodostetaan ainoastaan ohjaajan katseen suuntaan, jolloin tietojen prosessointitarve pienenee oleellisesti. Usean simulaattorin yhteiskäyttökin on mahdollista ja simuloitu kaartotaistelu voidaan järjestää lento-osastolla toista vastaan.

## 11 TAISTELUKONEIDEN TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

Tulevaisuuden taistelukoneet tullaan yhä enenevässä määrin suunnittelemaan monitoimikoneiksi ja samalla aerodynaamisesti epävakaiksi. Lisäksi pyritään kehittämään automatiikan mahdollistamaa ohjausjärjestelmän integraatiota, missä kaikkia lentotilaan vaikuttavia laitteita käsitellään keskitetysti. Vakavuuden hallinta sekä muut lentämiseen liittyvät tarpeet korostavat taistelukoneiden tietojärjestelmien merkitystä. Sensorit, tietokoneet ja dataväylät oheislaitteineen muodostavatkin keskeisen osan lentäjän taistelussa tarvitsemasta apuvälineistöstä.

Tulevaisuuden taistelukoneiden sensoreita ovat muun muassa kuituoptinen ja akustinen hyrrä sekä värähtely- ja kaasuhyrrä. Kuituoptinen hyrrä toimii kuten LASER -hyrrä, mutta valonsäde kierrätetään optisessa kuidussa. Laitte on LASER -hyrrää halvempi ja epätarkempi. Tärkeimmät käyttösovellukset ovat ohjusten hakupäät. Akustinen hyrrä perustuu resonaattorissa tapahtuvaan värähtelyyn. Värähtely- ja kaasuhyrrässä muodostetaan Coriolis-voiman vaikutuksesta pyörimisliikkeeseen verrannollinen jännitesignaali.

Nykyiset näyttölaitteet korvattaneen elektroluminenssiin, nestekiteeseen ja plasmapaneliin perustuvilla näyttöillä. Elektroluminenssissa valo synnytetään johtamalla ohuen kalvon sisällä voimakas sähkökenttä. Ensimmäiset elektroluminenssivärinäyttölaitteet ovat tulossa kaupallisiin tarkoituksiin lähitulevaisuudessa. Nestekidenäyttö muodostuu nestekiteistä, joita ohjataan sähköisesti. Parhaat näyttölaitteet ovat VGA -tasoisia värinäyttöjä. Plasmapanelin valo synnytetään kaasussa, johon johdetaan jännite. Värinäyttölaitteet saataneen kaupalliseen käyttöön 1990-luvun kuluessa.

Muita uusia, osittain kehittelyn alla olevia sovelluksia taistelukoneisiin ovat muun muassa puhekomentoanalyysaattori ja puhesyntetisaattori. Puhekomentoanalyysaattori mahdollistaa ohjeiden ja käskyjen antamisen asejärjestelmälle ja lentokoneen muille laitteille verbaalisessa muodossa. Yksi lentokoneen tietokoneista analysoi lentäjän puheen ja

muuntaa sen datamuotoisiksi käskyiksi. Järjestelmän tarpeellisuus on nähtävissä varsinkin ilmataistelutilanteessa, jossa ohjaajan työpaine helposti kasvaa sietämättömäksi.

Puhesyntetisaattoria voidaan käyttää esimerkiksi huoltojen aikana sekä informaation antamiseen ohjaajalle lennolla. Huoltojen yhteydessä syntetisaattori ilmoittaa verbalisesti järjestelmän toimivuudesta tai vian laadusta, sijainnista sekä vaikutuksesta koneen lentokelpoisuuteen. Lennolla ohjaaja voi saada syntetisaattorilta tietoja muun muassa lentotilan muutoksista, uhkaavista maaleista tai säätilasta. Puhesyntetisaattoreita on käytössä eräissä nykyisin palveluskäytössä olevissa taistelukoneissa.

Taistelukoneen tutkan havainto- ja analysointikyky kehittyvät antenni- ja prosessointiteknikan sekä tietokoneiden suorituskyvyn paranemisen seurauksena. Erityisiä kehityskohteita ovat hävittäjätutkan mittauskyky alasektoriin ja rynnäkkökoneen tutkan erottelukyky maamaaliin. Vaiheistetut antennit otetaan taistelukoneissa laajamittaisesti käyttöön ensi vuosikymmenen kuluessa. Samalla hävittäjä- ja tulitukikoneiden tutkat tullaan integroimaan nykyistä kiinteämmin muihin sensoreihin.

Tykki säilyy taistelukoneen perusaseena, ja sitä käytetään jatkossa lähinnä itsepuolustukseen, eräissä tapauksissa myös lentotulitukeen. Lentokonetykkien ominaisuuksia kehitetään lähinnä lisäämällä tulen tiheyttä ja kasvattamalla suurinta ampumaetäisyyttä. Keinoina ovat muun muassa tuli- ja lähtönopeuden kasvattaminen sekä ammunnan hallinta tulenjohtolaittein. Lisäksi tulen tehoa pyritään parantamaan erikoisammuksin.

Ilmataistelu- ja rynnäkköohjukset sekä ohjautuvat pommit tulevat lujittamaan asemaansa hävittäjän ja rynnäkkökoneen pääaseistuksena. Nähtävissä on lisäksi, että puoliaktiivisista täsmäaseista luovutaan passiivisten ja aktiivisten järjestelmien yleistymisen myötä. Samalla pyritään vähentämään aseiden olosuhderippuvuutta. Kustannustekijät, eivät niinkään tekniset valmiudet ovat merkittävintä tätä kehitystä hidastava tekijä.

Ilmataisteluhajusten tulevaisuudessa on nähtävissä kaksi selvää kehityssuuntaa. Ensinnäkin infrapunaohjukset tulevat vahvistamaan asemaansa entisestään lähitaisteluaseina, toiseksi keskimatkan aktiivinen tutkaohjus tulee yleistymään merkittävästi. Samalla puoliaktiivinen tutkaohjus syrjäytetään hävittäjätutkasta riippuvuutensa ja hankalan käytettävyytensä vuoksi. Elektronisen häirinnän sieto- ja väistöominaisuuksia parannetaan ja infrapunaohjusten ulottuvuutta pyritään lisäämään.

Rynnäkköohjusten ulottuvuutta tullaan kasvattamaan näkemäalueen ulkopuolelle. Tulevaisuuden rynnäkköohjukset voidaankin laukaista ilman tarkkaa maalinosoitusta yli 50 kilometrin päässä sijaitsevalle alueelle. Ohjukset valitsevat kohteensa ja hakeutuvat niihin itsenäisesti. Ohjusten välisellä tiedonsiirrolla varmistetaan, ettei useita ohjuksia suunnata samaan maaliin.

Matriisihakupäät otetaan laajamittaisesti operatiiviseen käyttöön aikaisintaan ensi vuosituhanella. Maalien tunnistamiseen liittyvät ongelmat tullevat ratkeamaan matriisihakupäät yleistyessä sen hyvän erottelukyvyn vuoksi. Ohjukset voitaisiin silloin ohjelmoida niin, etteivät ne hakeudu omiin lentokoneisiin tai panssarivaunuihin. Ohjuksen varustaminen suunnattavalla taistelukärjellä on parhaillaan kehittelyn alla. Ammu- ja -uonhda -rynnäkköohjukset tulevat syrjäyttämään puoliaktiiviset tutka- ja LASER -ohjukset.

Myös tulevaisuuden ohjautuvat pommit suunnitellaan ammu- ja -uonhda -periaatteella toimiviksi ja puoliaktiivisista järjestelmistä luovutaan. Ohjausmenetelmä tulee olemaan useasta herätteestä riippuva, jolloin pommien olosuhderippuvuus vähenee.

Lähitulevaisuuden lentokoneaseet ovat siis pääasiassa nykyisten aseiden jatkokehittelmiä. Kuitenkin muutamia kokonaan uusia asejärjestelmiä uskotaan ilmestyvän käyttöön ensi vuosituhanen alkupuolella. Kineettisen energian aseista hyper-nopea raketti on mainittu jo aiemmin. Myös raidetykki, jossa ammuksen nopeutta kiihdytetään sähkö- ja magneettikentän avulla on kineettisen energian ase. Projektiilin lähtönopeus saattaa ylittää äänen nopeuden viisi, jopa kymmenkertaisesti. Ammunta kineettisen energian aseilla on

tavanomaisia aseita yksinkertaisempaa, sillä tähtäyksessä ei tarvitse käytännössä lainkaan ottaa huomioon jättämää, putoamaa, kiertopyrkimystä yms tekijöitä. Nykyisin huomattavimpana kehityksen esteenä on aseiden tarvitseman suuren energian aikaansaaminen.

Pienitehoiseen LASER:iin perustuvaa järjestelmää ei tässä kirjoituksessa käsitellä sädeaseena, suurteho -LASER sen sijaan luetaan kuuluvaksi niihin. Kehitystyö on tällä hetkellä niin pitkällä, että ase uskotaan saatavan lentokonesovelluksena käyttöön vuoden 2005 vaiheilla. Vaikutus perustuu optiikan sokaisuun, shokkiaaltoon maalin herkissä osissa tai materiaalin sulattamiseen ja polttoon. Asetta voidaan käyttää hävittäjä- ja ilmatorjuntaan, lentorynnäköintiin ja ballististen ohjusten torjuntaan. Suurimmat kehittämistä hidastavat ongelmat liittyvät laitteiston suureen kokoon ja tehonsaantiin.

Sädeaseisiin kuuluvassa hiukkasaseessa elektroneja tai neutroneja kiihdytetään sähköisesti ja ammutaan haluttuun suuntaan. Negatiivisesti varautuneiden elektronien kiihdyttäminen on helppoa, mutta ne eivät ohjautu suoraviivaisesti. Säde nimittäin kaartuu maan magneettikentän vaikutuksesta ja tähtäminen vaikeutuu. Varauksettomien neutronien kiihdyttäminen puolestaan on vaikeaa, mutta ne noudattavat suoraviivaista lentorataa. Hiukkasase uskotaan otettavan operatiiviseen käyttöön vuoden 2010 vaiheilla.

Sotilaslentokoneisiin sijoitettavien ilma- ja pintavalvontakeskusten kehittäminen jatkuu edelleen voimakkaana ja niiden merkitys tulevaisuuden taistelulentäällä korostuu. Järjestelmä mahdollistaa oikea-aikaisen tilannekuvan automaattisen analysoinnin ja siirtämisen datamuotoisena maa-asemalle, jolloin operatiivinen tilanteen arviointi ja päätöksen tekeminen helpottuvat merkittävästi. Myös lentävät johto- ja komentokeskukset säilyttävät paikkansa sotänäyttämöllä. Koneiden lukumäärä säilyy kuitenkin pienenä niiden korkean hinnan vuoksi.

Taistelukone on aina ollut kombinaatio, jossa kolmen tekijän, lentäjän, lentolaitteen ja asejärjestelmän yhteisvaikutus ratkaisee lopputuloksen. Aiempi lentäjän ratkaiseva vaikutus ei ole aikojen kuluessa vähentynyt, pikemminkin hänen tehtäväkenttensä on oleellisesti laajentunut. Toisaalta ohjaaja ja hänen rajallinen kestokykynsä ovat useassa tapauksessa estäneet ilma-aluksen optimaalisen kehittämisen ja käytön. Teknisten ratkaisujen, lähinnä asejärjestelmän suhteellinen merkitys on lisääntynyt, kun taas lentolaitteen osuus on vähentynyt. Elektroninen sodankäynti ja häivetekniikka sen erikoissovelluksena ovat tulleet sotänäyttämölle jäädäkseen sinne pysyvästi.

#### KIRJALLISET LÄHTEET:

- Bailey A, Murray S  
Explosives, Propellants and Pyrotechnics  
Brassey's Defence Publishers, Lontoo 1989
- Blinnikka, K  
Valonvahvistin/kiikariyhdistelmä  
Jyväskylän Yliopisto, Jyväskylä 1988
- Elsam, M  
Air Defence  
Brassey's Defence Publishers, Lontoo 1989
- Friedman, R  
Advanced Technology Warfare  
Salamander Books Ltd, Lontoo 1985
- Hall, P ym  
Radar  
Brassey's Defence Publishers, Lontoo 1990
- Heiskanen S  
Ohjustekniikan perusteita  
AR-kustannus Oy, Forssa 1993

Iho, J

Sähköiset esitys- ja videojärjestelmät ja niiden esitys- ja tulostusmenetelmät  
Jyväskylän Yliopisto, Jyväskylä 1991

Jane's

Air Launched Weapons

Jane's Information Group, Alexandria, Virginia 1989

Jane's

All the World Aircraft 1993-94

Jane's Information Group, Alexandria, Virginia 1993

Jane's

Avionics 1992-93

Jane's Information Group, Alexandria, Virginia 1992

Jane's

Radar and Electronic Warfare Systems 1993-94

Jane's Information Group, Alexandria, Virginia 1993

Kemppi, J

Videotekniikan uusimpien menetelmien käyttö ilmakuvauksessa

Jyväskylän Yliopisto, Jyväskylä 1991

Lee, R ym

Guided Weapons

Brassey's Defence Publishers, Lontoo 1988

Lyytikäinen, L

Saapuvan säteilyn ja eri säätelijöiden välisistä riippuvuuksista

Jyväskylän Yliopisto, Jyväskylä 1987

Mason, R

Air Power

Brassey's Defence Publishers, Lontoo 1987

MATINE

Raporttisarja A, 1993/4

Uudentyyppisten kulmanopeusanturien soveltuminen stabilointikäyttöön

Helsinki 1993

MATINE

Raporttisarja B, 1992/2

Uuden sukupolven tutkan ominaisuuksien kartoittaminen

Helsinki 1992

Mäkelä, M

Kuvaava SAR-tutka

Jyväskylän Yliopisto, Jyväskylä 1992

Pääesikunta

Sotatekninen arvio ja ennuste, I osa

Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä 1993

Stimson, G

Introduction to Airborne Radar

Hughes Aircraft Company, El Segundo, Kalifornia 1983

Turunen, H

Ilmakuvan erotuskyvyn riippuvuus kuvauskalustosta ja kuvausolosuhteista

Jyväskylän Yliopisto, Jyväskylä 1984

Walker, J

Air-to-Ground Operations

Brassey's Defence Publishers, Lontoo 1987

Walker, J

Air Superiority Operations

Brassey's Defence Publishers, Lontoo 1989