

SYSTEEMIANALYYSIN SOVELTAMISMAHDOLLISUUKSISTA ILMAVOIMISSAMME

Yleisesikuntamajuri H N i k u n e n

JOHDANTO

Käsitteeseen systeemianalyysi sisältyy melkoinen annos epämääräisyyttä siihen sovellettujen tulkintojen johdosta. Perusolemukseltaan systeemianalyysi on menetelmä, jonka avulla päätöksentekijän on mahdollista saada vastauksia monimutkaisia järjestelmiä koskeviin kysymyksiin. On todettu¹⁾, että ennenkuin analyysiä voidaan kutsua systeemianalyysiksi, vaaditaan määrättyä järjestelmällisyyttä sekä ainakin pyrkimystä kvantitatiivisuuteen. Analyysin tulisi myös käsitellä mieluummin kokonaisuutta kuin pieniä osatekijöitä.

Systeemianalyysillä saatetaan käsitellä joko suuria tai pieniä ongelmakokonaisuuksia joko tietokoneita hyväksikäyttäen tai ilman niitä. Poikkeuksetta kuitenkin systeemianalyysi

- tutkii menetelmän tai päätöksen päämäärät,
- osoittaa vaihtoehtoiset tavat päämäärien saavuttamiselle,
- osoittaa kunkin tavan edut ja heikkoudet sekä
- vertaa vaihtoehtoja keskenään joko yhden tai useamman kriteerin suhteen niin, että valinta voidaan suorittaa.

Systeemianalyysi ei rajoitu joidenkin tiettyjen matemaattisten menetelmien käyttöön, vaan kattaa varsin laajan valikoiman keinoja

aikaisemmin mainittujen järjestelmällisyyden ja kvantitatiivisuuspyrkimysten puitteissa.

Tärkeimmät ominaisuudet, jotka systeemianalyttisen käsittelyn tulisi omata ovat:¹⁾

- ongelman huolellinen formulointi ja käsittelyn ulkopuolelle jätettävien syy-yhteyksien määrittäminen (muuttamatta tavoitteita tai kriteereitä),
- kyseeseen tulevien vaihtoehtojen ennakkoluuloton tunnistaminen,
- kustannusten (rahallisten tai muiden "negatiivisten arvojen") huolellinen tutkiminen ja
- selväpiirteinen malli, joka tiettyyn valintavaihtoehtoon sovelletuna ilmaisee sekä kustannukset että tavoitteiden saavuttamistason.

Systeemianalyysi ei ole tietenkään oikea menetelmä jokaiseen ongelmaan. Mikäli päätös ei ole resurssien käytön kannalta merkittävä tai ollaan ajankäytön suhteen pakkotilanteessa, on luonnollista käyttää intuition ja kokemukseen perustuvaa menettelyä. Mitä kauaskantoisemmasta ratkaisusta on kysymys, sitä suuremman arvon saa tietysti ongelman huolellinen analysointi.

Tämän kirjoituksen tarkoituksena on esitellä systeemianalyysin sovellutuskohteita ilmavoimiemme toiminnassa. Tarkastelu rajoittuu siis pelkästään systeemianalyysin käyttömahdollisuuksien kartoittamiseen. Eri sovellutustyypeistä tuodaan esiin ainoastaan niiden tärkeimpiä erityispiirteitä; mallien matemaattisten ratkaisujen yksityiskohtainen käsittely ei ole mahdollista käytettävissä olevan sivumäärän puitteissa. Esitetyistä sovellutuksista ja niiden edellyttämistä toimenpiteistä osa on jo toteutettu, osa on suunnitteluasteella ja jotkut ovat vasta ideointia. Kirjoituksessa ei eritellä sovellutusten tämänhetkistä toteutusastetta, vaan käsitellään systeemianalyttisten menetelmien käyttömahdollisuuksia ilmavoimissamme kokonaisuutena.

Pääalueet, joiden puitteissa soveltamismahdollisuuksia tarkastellaan, ovat valmiustoiminto, koulutustoiminto, materiaalityö ja sotatieteellinen tutkimustyö.

1. VALMIUSTOIMINTO

1.1. Yleistä

Valmiustoiminnon päämääränä²⁾ on alueellisen koskemattomuuden turvaamisalttius ja -kyky, puolueettomuuden suojaaminen ja hyökkäysten torjunta.

1) 2

2) 2

Valmiustoiminnossa on kysymys asetelmasta, jossa ilmavoimilla on tietty käytettävissä oleva kalusto ja henkilöstö annetun tehtävän suoritusta varten. Kalusto ja henkilöstö edustavat varsin tarkoin rajoitettua resurssilähdettä, jolloin annettujen tehtävien suoritusaste jää liukuvaksi muuttujaksi. Ongelmana on määrittää hallussa olevan kaluston ja henkilöstön käyttöperiaatteet niin, että saavutetaan mahdollisimman korkea annettujen tehtävien suoritusaste nimenomaan kokonaisuunpuolustuksen kannalta.

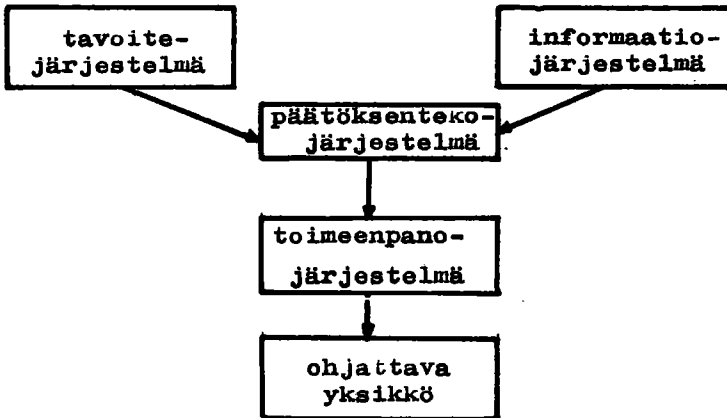
Tyypillisiä kysymyksiä, jotka käyttöperiaatteita määrittäessä nousevat esiin, ovat:

- Tulisiko kaikki taistelukoneet keskittää torjuntatehtäviin?
 - Mihin tehtäviin kannattaa käyttää harjoituskoneita?
 - Missä taisteluvaiheissa maa- ja merivoimille tulisi antaa välitöntä tukea?
 - Missä laajuudessa ko. tukea tulisi antaa?
 - Pitäisikö lentokalusto hajasijoittaa varatukikohtiin vai keskittää päätukikohtiin?
- jne.

Ylläolevat kysymykset johtavat uusiin ongelmiin:

- Mikä on torjuntalentojen "tehokkuus"?
 - Mikä on harjoituskoneiden "tehokkuus" eri tehtävissä?
- jne.

Ratkaisujen tekeminen käyttöperiaateongelmissa edellyttää tietoja, joista osa on välittömästi käytettävissä kun taas osa täytyy hankkia järjestelmällisen tiedonkeräyksen avulla. Toiminta kokonaisuudessaan voidaan oheisen kuvan mukaisesti nähdä ohjausprosessina,¹⁾ johon peräkkäiset toisiinsa liittyvät osajärjestelmät vaikuttavat:



1) 3

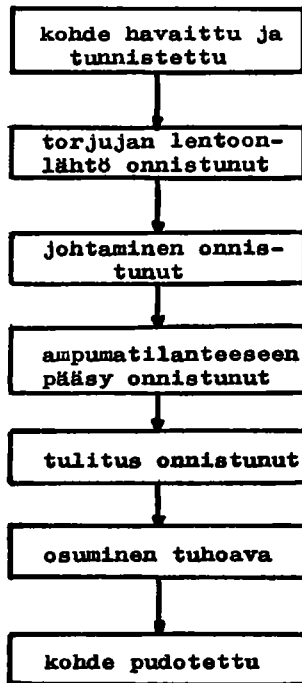
Systemianalyysin soveltamismahdollisuudet ko ohjausprosessin puitteissa kohdistuvat ensisijaisesti informaatiojärjestelmään ja päätöksentekojärjestelmään. Informaatiojärjestelmän tehtävänä on kerätä, rekisteröidä, tuottaa ja välittää informaatiota päätöksentekijän käyttöön. Informaation tulee olla muokattuna muotoon, joka sellaisenaan palvelee päätöksentekoa. Päätöksentekojärjestelmässä on kysymys vaihtoehtojen löytämisestä sekä niiden tutkimisesta, vertaamisesta ja valinnasta.

1.2. Valmiustoiminnon kannalta tärkeät operatiiviset parametrit

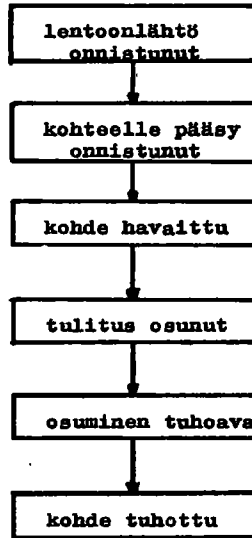
Valmiustoiminnon ollessa kyseessä muodostavat tärkeimmän informaatioluokan erilaiset operatiivista suorituskykyä ilmaisevat arvot. Nämä yhdessä teknillistä ja materiaalista valmiutta ilmaisevien lukujen kanssa antavat pohjan toiminnan vaikutuksen ja sitä tietä edelleen oikeiden käyttöperiaatteiden määrittämiselle.

Tarkasteltaessa ilmavoimiemme näkyvimpien operatiivisten toimintalajien, torjunnan, tulituksen ja tiedustelun, suorituksia ne voidaan pukea seuraavanlaisten todennäköisysehtojen ketjuiksi:

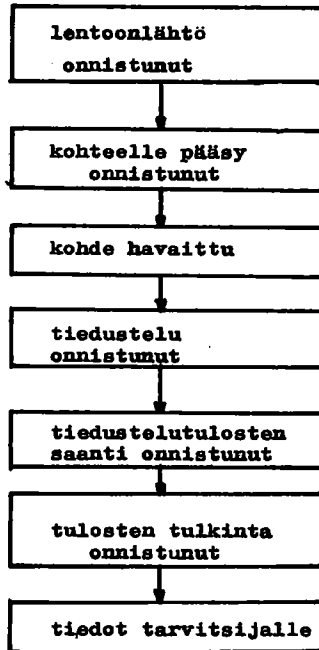
TORJUNTA



TULITUKI



TIEDUSTELU



Edelläesitettyjen suoritustyyppien tehokkuusarviointi edellyttää niissä vaikuttavien todennäköisysehtojen kvantifioimista. Tätä tarkastellaan seuraavaksi toimintalajeittain.

1.3. Parametrien määrittäminen

1.3.1. Torjunta

Ilmavoimiemme tehtävissä varsin keskeisellä sijalla olevan torjunnan tehokkuutta arvioitaessa on tarkastelun lähtökohtana havaitsemistodennäköisyys. Se ilmaisee kykyämme valvoa ilmatilaamme ja on näin ollen käyttökelpoista tietoutta paitsi tunnistus- ja torjuntalento-toiminnalle myös hälytys- ja tiedotuspalvelulle. Havaitsemistodennäköisyysarvoja voidaan saada sekä laskelmien että kokeellisten tilastotietojen avulla. Näistä jälkimmäisiä on pidettävä perusarvoina siten, että laskelmia verrataan aina kun se suinkin on mahdollista kokemuksepäisiin arvoihin. Havaitsemistodennäköisyys määritetään kaikkien niiden olosuhde- ja kohdeyhdistelmien suhteen, jotka oloissamme saattavat tulla kysymykseen. Tällöin voidaan luokitella eri tapauksia esimerkiksi seuraavien periaatteiden mukaisesti:

— maalin koko	— vuodenaika
— iso	— kesä
— pieni	— talvi
— maalin nopeus	— vuorokaudenaika
— suuri	— päivä
— pieni	— yö
— maalin lentokorkeus	— valvontajärjestelmä
— matala	— aisti-iv
— keskikorkea	— tutka-iv
— korkea	— molemmat
— sää	— valvontaolosuhteet
— pilvinen	— häiriötön
— puolipilvinen	— häiritty
— kirkas	

Keräämällä ja taltioimalla systemaattisesti kokemuksia edellämainittujen arvojen osalta kokeiluissa, johtamis- ja sotaharjoituksissa sekä ilmavalvontakomppanioiden kertausharjoituksissa saadaan luoduksi ilmavalvontatiedosto, joka aineiston karttuessa antaa yhä luotet-

tavampia arvoja valvontamme suorituskyvystä. Aineiston tilastomatemattinen käsittely antaa kuvan valvontamme heikkouksista ja vahvoista puolista, ilmaisee kehityssuunnan ja vaihtelut siinä sekä edellisten perusteella tuo esiin tärkeitä koulutus- ja kalustokysymyksiä. Ilmavoimiemme kokonaistoiminnan tehokkuutta arvioitaessa ilmalvalvontatiedostosta on saatavissa havaitsemistodennäköisyys tietyille ilmatilaamme tunkeutumistapahtumalle tai havaittujen kohteiden osuus kaikista ilmatilaamme suunnatuista lennoista kulloinkin tarkasteltavina olevissa olosuhteissa.

Torjuntaprosessissa on maalin havaitsemisen (käytännössä havaitseminen, tunnistaminen ja torjuntakohteeksi määrittäminen) jälkeisenä tapahtumana torjuntakoneiden saattaminen hyökkäysasemaan. Ko tapahtuman todennäköisyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat kaluston teknillinen luotettavuus ja johtamisen onnistumisen todennäköisyys. Viimemainittu sisältää laajasti otettuna myös vihollistoiminnan vaikutuksen. Kaluston teknillinen luotettavuus selviää käytön yhteydessä suoritettavan häiriöraportoinnin avulla. Se ilmaisee myös kunkin kalustotyypin vikaantumismielessä kriittisimmät osat ja/tai toiminnat.

Torjuntakoneiden johtamisen onnistumisen todennäköisyyttä tarkasteltaessa on määriteltävä tapahtuman olosuhteet havaitsemistodennäköisyystarkastelua vastaavalla tavalla. On siis tilastoitava johtamistilanteet erilaatuisten kohteiden, eri korkeusalueiden ja eri olosuhteiden osalta. Johtaminen voidaan torjunnassa katsoa onnistuneeksi silloin, kun johtamisprosessi on saattanut torjujan asemaan, josta on mahdollista omaan havaintoon perustuen päästä hyökkäykseen.

Torjujan suorittaman hyökkäyksen onnistuminen riippuu ampumatilanteeseen pääsystä, osumisesta ja osumisen tuhoavuudesta. Edellisessä on erotettu hyökkäystilanteeseen pääsy ja ampumatilanteeseen pääsy, sillä käytännön ilmataistelussa hyökkäyksellinen etulyöntiasema eli kokonaisenergiaedun omaaminen ei automaattisesti johda osumista edellyttävään ampumatilanteeseen pääsyyn.

Ampumatilanteeseen pääsyn todennäköisyydestä (onnistuneen johtamisen jälkeen) saadaan kokemukseräisiä arvoja sekä koulutuksen että harjoitusten yhteydessä. Tilastoitavia tilanteita ovat tällöin esimerkiksi torjuntakone/suojaustehtävissä oleva kone (MG/MG, MG/DK, DK/MG, DK/DK), torjuntakone/rynn.- ja tied.kone (kuten edellä + MG/FM, DK/FM), torjuntakone/pommikone (MG/NH, DK/NH), torjuntakone/kuljetuskone (MG/NH, MG/DO, DK/NH, DK/DO), torjuntakone/helikopteri ja valvontakone, harjoituskone/kuljetuskone (FM/DO) ja harjoituskone/helikopteri ja valvontakone (FM/HK, HR, HA, SF, PA).

Ammunnan osumatodennäköisyysarvot saadaan konetyypeittäin ilmamaaliammuntojen tuloksista. Näitä tuloksia ilmeisesti parantaa

todellisen tilanteen arvoihin verrattuna harjoitusolosuhteiden ja -menetelmien vaikutus. Toisaalta harjoitusten varomääräykset estävät tositilanteissa mahdollisen ja varsin tärkeäksi havaitun läheltä ammunnan.

1.3.2. Tulituki

Tulitukitoimintaa tarkasteltaessa ovat todennäköisyysketjun alussa vaikuttamassa samanlaiset teknilliset tekijät, jotka esiintyivät torjun nankin yhteydessä ja jotka määritetään häiriöraportoinnin avulla.

Seuraavana vaiheena on kohteelle pääsy, jonka todennäköisyyden määrittämiseksi tilastoidaan sekä koulutuksen että erilaatuisten harjoitusten yhteydessä kohdealueen löytyminen eri olosuhteissa. Lisäksi määritellään laskennallisia ja kokemusperäisiä arvoja hyväksikäyttäen säilymistodennäköisyydet (vastustajan hävittäjien ja ilmatorjunnan huomioonottaminen) tyypeittäin.

Ampuma-asemaan pääsy edellyttää kohteen havaitsemista. Kohteen havaitsemistodennäköisyyden määrittämiseksi tilastoidaan kohteen havaitseminen kohdetyypeittäin, konetyypeittäin ja olosuhteittain.

Ammunnan ja/tai pommituksen osumatodennäköisyysarvot saadaan tyypeittäin maamaaliammuntojen tuloksista. Niiden antamia hajonnan arvoja on suurennettava sodissa saatujen kokemusten mukaisesti vastaamaan tositilanteiden epäedullisempia olosuhteita.

Osuman tuhoamistodennäköisyys kohde- ja asetyypeittäin saadaan osin harjoitusammuntojen, osin erillisten kokeilujen perusteella.

1.3.3. Tiedustelu

Tiedusteluosuorituksen analysointi on alkuvaiheiltaan samanlainen kuin tulitukisuorituksessakin. Viimemainitun aseenkäyttöosaa vastaa tiedustelussa varsinainen tiedustelutiedon hankinta tähytystä, valokuvausta tai elektronisia tiedustelumenetelmiä käyttäen. Suoritus- tehokkuuden määrittelemiseksi on tunnettava, millä varmuudella pystytään selvittämään jonkin kohteen sijainti tietyllä alueella ja täydellisyysaste, jolla tiedot määrätystä kohteesta saadaan.

Edelläesitettyjen seikkojen selvittämiseksi verrataan koulutuksen ja sotaharjoitusten yhteydessä lentotiedustelutuloksia todellisiin kohdealueen tietoihin. Suorittamalla saatujen vertailuarvojen tilastointia kaikkien lentotiedustelussa käytettyjen menetelmien ja konetyyppien osalta saadaan perustietous lentotiedustelun suoritustehokkuuden arvioinnille eri olosuhteissa kaikkina vuoden- ja vuorokaudenaikoina.

1.3.4. Parametrien hankintaperiaatteita

Koska kaikki maksaa ja niin rahan kuin ajankin käyttöä harkittaessa on aina otettava huomioon mahdollisuus käyttää niitä jollakin toisella tavalla, on operatiivista suorituskykyä käsittelevän informaatiojärjestelmän ollakseen elinkelpoinen täytettävä seuraavat ehdot:

- sen on kerättävä vain sitä tietoutta, jota todella tarvitaan ja käytetään päätöksenteon yhteydessä ja
- keräysjärjestelmän on oltava teknillisesti sellainen, ettei se muodostu rasitteeksi toimiville joukoille. Näille tulosten muodossa saapuvan palautteen on oltava siksi käyttökelpoista ja kiinnostavaa, että se motivoi yksittäisten tietojen tilastoinnin aiheuttaman lisärasitteen.

Ensimmäisen ehdon mukainen tietotarve määräytyy päätöksentekijöiden vaatimusten ja näiden käyttämän päätöksentekotekniikan perusteella.

Toinen ehto on todellinen haaste tiedonkeräysjärjestelmän suunnittelulle ja ylläpidolle. Yleisohjeina voidaan pitää, että

- erilaisten tapahtumien merkitsemisen on liityttävä saumattomasti tavanomaisiin toimintarutiineihin,
- kirjoitusta vaativien raporttien sijasta on käytettävä esitäytettyjä lomakkeita ja
- toimiville yksiköille ei saa sälyttää minkäänlaisia tietojen yhdistämis-, vertaamis- ja jälkikäsitteilyvelvoitteita.

1.4. Parametrien hyväksikäyttö

Informaatiojärjestelmän tuottamien parametrien hyväksikäytössä palataan luvun alussa esitettyihin kysymyksiin vastausten muodossa. Suorituksia kuvaaviin analyttisiin malleihin eli tavallisimmin lausekkeisiin, jotka ilmaisevat kyseisen suorituksen onnistumisen todennäköisyyttä, sijoitetaan mahdollisimman hyvin ennakoitavaa tilannetta vastaavat arvot ja saadaan suoritustehokkuudelle kvantitatiivinen arvo.

Käytettävissä olevien kalustojen edullisimpien käyttöperiaatteiden määrittämiseksi konstruoidaan mallit, joiden puitteissa voidaan vaihdella sekä uhkakuvaan että omia menetelmiä. Mallien antamien arvojen perusteella voidaan päätellä:

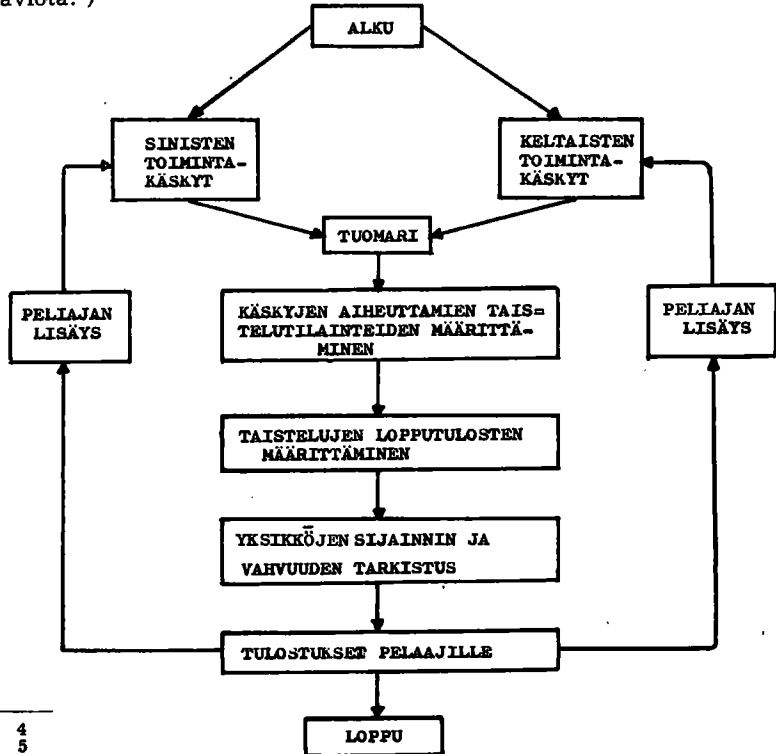
- mikä käyttöperiaate antaa parhaat tulokset kullakin uhkakuvalle ja mitkä nämä tulokset nykykalustolla ovat,
- mitkä käyttöperiaatteet ovat vähiten herkkiä uhkakuvaan muutoksille,

— mitkä osasuoritukset ovat kriittisimmät kokonaisuuden kannalta ja mitä osasuorituksia parantamalla kokonaisuorituskyky saadaan parhaiten nostetuksi.

Mallien on oltava luonteeltaan käyttäjänläheisiä niin, että mallin avulla toimiminen vastaa todellista päätöksentekotilannetta ja mallin tulokset ovat havainnollisia ja helposti tulkittavissa.

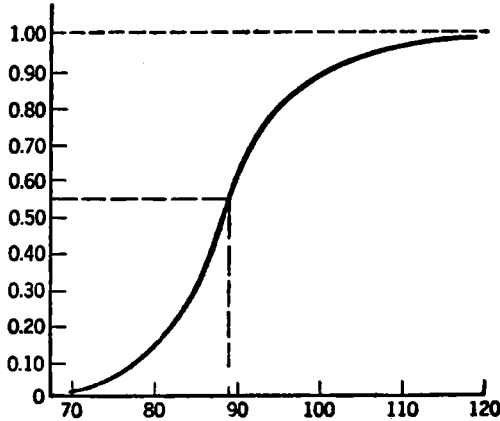
Eräs paljon käytetty mallityyppi kuvatunlaisten ongelmien selvityksessä on simulointimalli, joka joko yksi- tai kaksipuolisessa sotapelitilanteessa huolehtii sekä suoritusten tuloksellisuuden että tappioiden kuvauksesta. Simulointimalli voidaan laatia joko Monte Carlo- tai odotusarvomenetelmän mukaiseksi.¹⁾ Edellisessä saadaan satunnaislukujen käytöllä tapahtumille tositilanteen mukaista sattumanvaraisuutta kun taas jälkimmäisessä käytetään suoraan eri tapahtumille määritettyjä todennäköisyysarvoja.

Oheinen kuva esittää tyypillisen simulointipelin karkeaa kulukaaviota:²⁾



1) 4
2) 5

Simuloinnissa esiintyvät satunnaiset haarautumiset eri lopputulosvaihtoehtoihin voidaan toteuttaa satunnaislukuja ja erilaisia todennäköisyysjakautumia hyväksikäyttäen. Seuraavassa kuvassa¹⁾ esittävät vaaka-akselilla olevat luvut tietynteknillisen laitteen toiminta-aikaa ennen vikaantumista. Generoimalla satunnaisluku voidaan määrittää tarkasteltavana olevan laitteen toiminta-aika ennen sen epäkuntoon menoa. Kuvan mukaisesti saadaan satunnaisluvulla 0,55 aika-arvoksi 88 tuntia.



Esimerkkinä tyypillisestä simulointitilanteesta voidaan ottaa torjuntakaluston käyttöperiaatteiden tutkiminen, jolloin kutakin määrättyä vihollisvoimaa vastaan toimitaan:

- päätukikohtaryhmityksessä,
- hajautetussa ryhmityksessä,
- erilaisia lentotiheysarvoja käyttäen,
- erilaisia maalinvalintapreferenssejä käyttäen jne.

Tuloksia tutkimalla voidaan todeta paitsi eri käyttöperiaatteiden keskimääräiset tehokkuuserot torjuntamielessä myös kunkin aiheuttama rasite huolto-organisaatiolle. Puitteiltaan riittävään rajatuissa vaihtoehtotilanteissa voidaan soveltaa käyttöperiaatteita vertailevia analyttisiä malleja esim. tehokkuus-, kustannus/tehokkuus- tai taistelunkestävyyssmielessä.

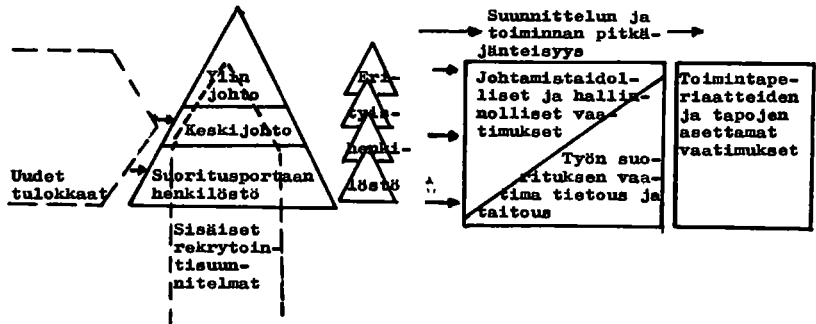
Huomion arvoista on, että informaatiojärjestelmän keräämiä parametrejä voidaan käyttää hyväksi myös vihollisen toiminnan vaikutusarvioinnissa ja näin tutkia omien järjestelmiemme taistelunkestävyyksymyksiä.

1) 6
2) 6

2. KOULUTUSTOIMINTO

2.1. Yleistä

Koulutustoiminnon päämääränä on henkilöstön sijoittaminen kykyjen ja koulutuksen mukaisesti yksikön henkilöstöorganisaatioon.¹⁾ Koulutustoimintaa ja sille asetettavia vaatimuksia voidaan havainnollistaa oheisella kuvalla:²⁾



Koulutustoiminto ei tarjoa kovin edullisia sovellutusalueita systeemanalyysille, sillä henkilöstöresurssien käsittely kvantitatiivisesti muun kuin määrän suhteen on varsin vaikeaa. Tiettyä systematiikkaa voidaan kuitenkin käyttää eräissä koulutuksen kannalta keskeisissä kysymyksissä.

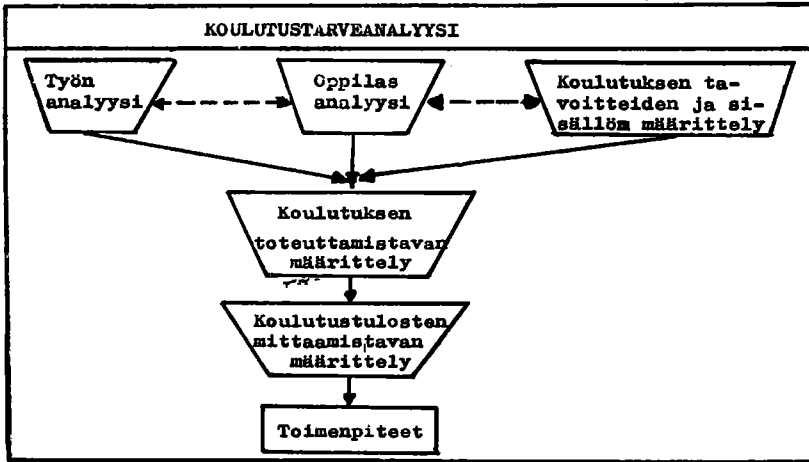
2.2. Koulutustarveanalyysi

Aktiiviseen ja systemaattiseen henkilöstösuunnitteluun liittyvä kiinteästi koulutustarpeen kartoittaminen. Koulutustoiminnan suunnittelussa voidaan erottaa seuraavan sivun alussa olevan kaavion mukaisia kokonaisuuksia³⁾.

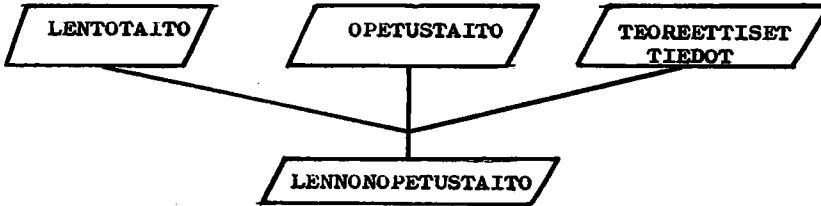
Koko alueen kattava koulutustarveanalyysi selvittää vaatimuksena olevien tietojen ja taitojen määrän eriasteisissa tehtävissä. Edetessään tarkentuva analyysi määrittelee tarpeelliset kurssit, opetettavat aiheet, opetettavat aiheet ja edelleen tarvittavan tuntimäärän.

Koska päämääräasettelu on yleensä luonteeltaan melko väljä ja on useimmiten järkevää myös sellaisena pitää, on suora eteneminen päämäärästä tuntijakoon suhteellisen vaikeaa tehtävä. Apuna voidaan

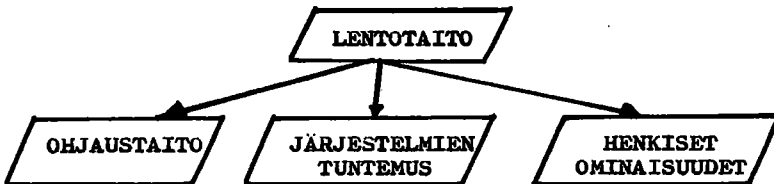
1) 2
2) 7
3) 7



käyttää kahta suunnittelutekniikkaa, edeltäjäanalyysiä ja komponentteihin jakoa vuorottain sovellettuina. Edeltäjäanalyysissä on peruskysymyksenä: "Mistä eri käsitteistä tarkasteltavana oleva käsite muodostuu?", esim:

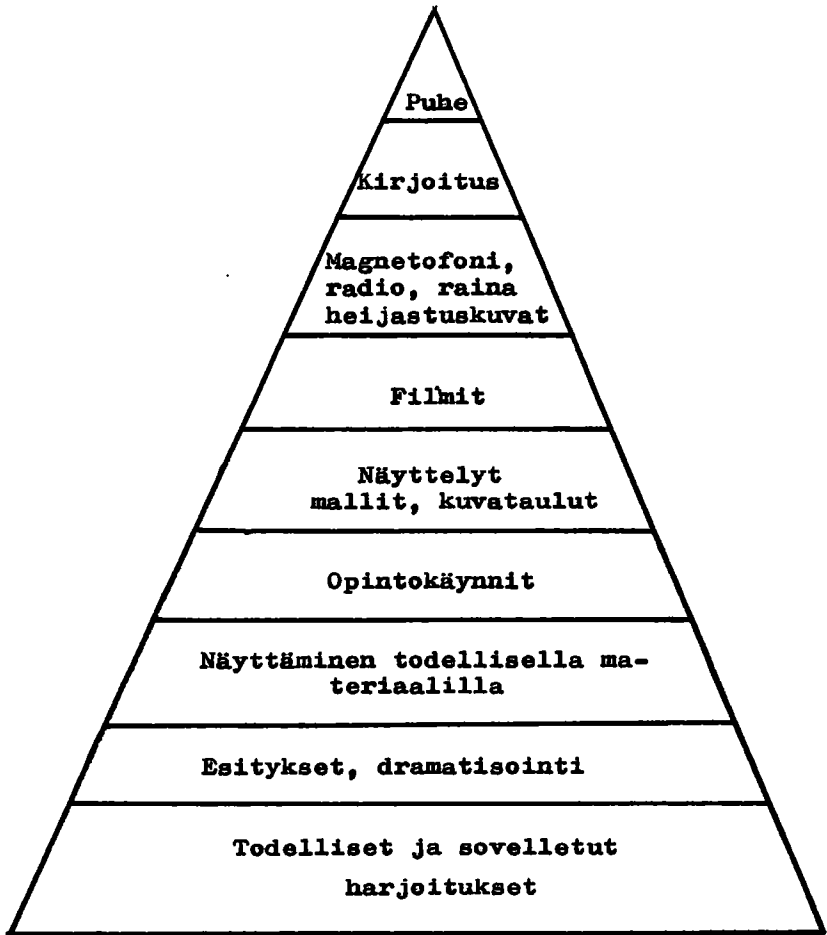


Komponentteihin jaossa jokin kokonaisuus jaetaan pienemmiksi osiksi, jotka yhdessä muodostavat kokonaisuuden, esim:



Edeltäjäanalyysin ja komponentteihin jaon vuorottaisen soveltamisen etuna on menetelmän systemaattisuus, joka pakottaa todella seikkaperäiseen asioiden käsittelyyn.

Koulutustarveanalyysin viimeisen vaiheen eli opetuksen vaatiman ajan määrittämisessä on käytettävä hyväksi koulutustulosten mittauksen antamia viitteitä. Karkean käsityksen eri opetusmenetelmien koulutustehokkuudesta antaa ns menetelmäkolmio¹⁾ eri menetelmiä vastaavien pinta-alojen muodossa:



1) 7

Menetelmäkolmion antamien viitteiden valossa on pyrkimys harjoituslentojen osuuden lisäämiseen lentokoulutuksessa ja harjoitustehtävien suuri osuus esim. taktillisessa koulutuksessa varsin selvästi perusteltavissa.

2.3. Koulutustulosten ja henkilökohtaisen kyvyn mittaaminen

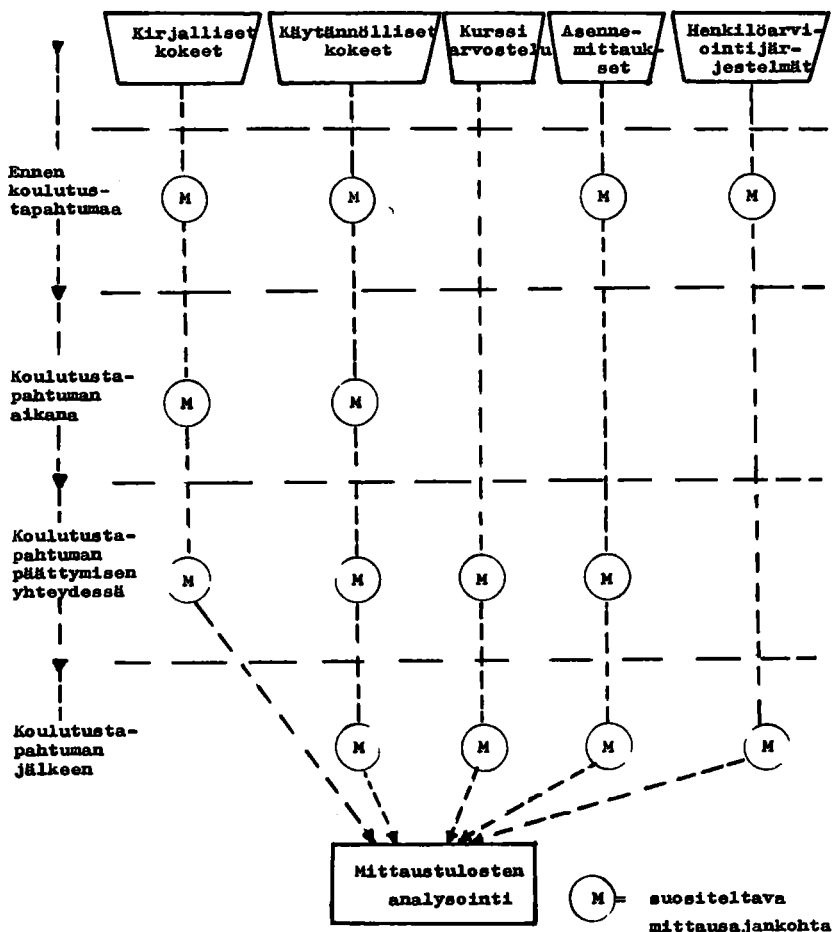
Henkilöstön koulutus on organisaation kannalta sijoitustoimintaa. Näin ollen koulutuksessa saavutettujen tulosten arviointi ja mittaaminen sekä niiden vertaaminen asetettuihin tavoitteisiin on välttämätöntä. Myös koulutusta suunnittelevien ja toimeenpanevien on saatava tietää kunkin koulutustapahtuman vaikutus, jotta mahdolliset muutokset seuraavaa tapahtumaa suunniteltaessa voitaisiin ottaa huomioon. Koulutustulosten mittauksella pyritään saamaan vastaus mm seuraaviin kysymyksiin:¹⁾

- Onko koulutusta saaneen työskentelyssä tapahtunut muutoksia?
- Oliko saavutettu investointi kannattava?
- Kannattaako tulevaisuudessa sijoittaa varoja muiden samaan henkilöstöryhmään lukeutuvien osallistumiseen ko koulutukseen?
- Miten osallistuneet asennoituvat koulutustapahtumaan ja siihen sisällytettyihin asioihin?
- Onko suoritettun koulutuksen sisältö vastannut asetettuja tavoitteita?
- Ovatko käytetyt menetelmät antaneet parhaan mahdollisen tuloksen?
- Onko oppilasvalinta ollut oikea?
- Onko kouluttajavalinta ollut hyvä?
- Millä tavoin mittausten tulokset vaikuttavat tuleviin koulutuksellisiin ratkaisuihin?

Jo ennen koulutustapahtumaa on hyvä selvittää mitattavat alueet ja määrittää samalla mittaamisen menetelmät. Koulutustehon arviointi voi merkitä esimerkiksi seuraavien tekijöiden mittaamista:

- tietojen lisääntyminen; esim. teoreettisten perustietojen oppiminen,
- valmiuksien kehittyminen; esim työn suorituksen nopeutuminen, laadun parantuminen tai taito soveltaa uusia menetelmiä,
- asenteiden muuttuminen; esim käyttäytymisen muutokset, arvostuseroavuudet tai halu paneutua eri tavalla tehtävään.

Seuraavassa kuvassa on esitetty tavallisimpia mittausmenetelmiä ja niiden käyttömahdollisuuksia:¹⁾



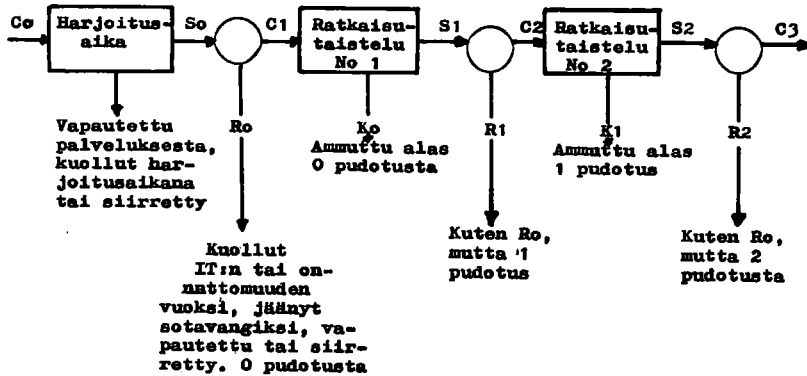
Voidaan todeta, että niin ilmavoimien kuin koko puolustusvoimienkin eri kursseilla kuvan menetelmät ovat joko kokonaisuudessaan tai ainakin suurimmalta osaltaan systemaattisesti käytössä.

Pyrittäessä suorittajaportaan henkilöstön laadulliseen kehittämiseen nousee esiin kysymys jollain erikoisalalla tarvittavan henkilökohtaisen

1) 7

kyvyn mittaamisesta. Ilmavoimissa varsin näkyvällä erikoisalalla toimivat hävittäjäohjaajat, joiden panos taistelutoiminnassa on ratkaiseva. Käydyistä sodista saadut kokemukset osoittavat kuitenkin, ettei panoksen ratkaisuus jakaudu tasaisesti kaikkien ohjaajien kesken. Tarkasteittaessa "taistelua Englannista" on voitu todeta¹⁾, että kumpikin osapuoli menetti lentokoneita suhteessa ilmataisteluun osallistuvien omien koneiden lukumäärään jokseenkin riippumatta viholliskoneiden lukumäärästä. Edelleen on voitu osoittaa, että kaikissa laajoissa ilmasotatoimissa huomattavan pieni ohjaajamäärä — "ässät" — on suorittanut suurimman osan pudotuksista. Näin ollen hävittäjien suorituskyky riippui enemmän "ässien" suorituskyvystä kuin ohjaajien lukumäärästä. Kuinka sitten pystytään määrittämään ohjaajan henkilökohtainen suorituskyky? Ongelmaa voidaan tarkastella esimerkiksi seuraavanlaisen mallin¹⁾ avulla:

Määritetään "ratkaisutaisteluksi" tapahtuma, jossa ohjaaja joko suorittaa pudotuksen tai hänet ammutaan alas. Tällöin ohjaajan kulkukäivio ensimmäisestä taistelusta viimeiseen on oheisen kuvan mukainen.



Merkitään

T_j = niiden ohjaajien (kuolleiden ja elävien) lukumäärä, joilla on j pudotusta

K_j = j pudotusta omaavien, alasammuttujen ohjaajien lukumäärä

R_j = j pudotusta omaavien, ei alasammuttujen vaan muista syistä taisteluista poistuneiden ohjaajien lukumäärä

C_j = j :nteen ratkaisutaisteluunsa lähtevien ohjaajien lukumäärä

1) 8

p_j = todennäköisyys ohjaajan alasammutuksi tuloon j:nnessä ratkaisutaistelussa

$S_j = T_s$ = niiden ohjaajien (elävien tai kuolleiden) lukumäärä, joilla on vähintään j pudotusta

ja

$$p_j = K_{j-1} / (S_j + K_{j-1}).$$

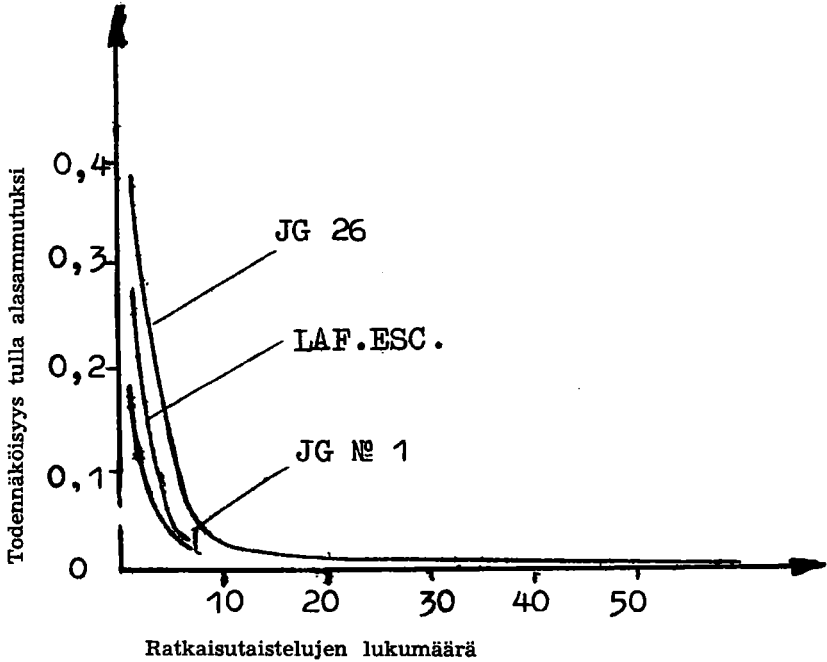
Käytettäessä p_j :n määrittämiseksi tietoja kolmesta yksiköstä

— Richthofenin Jagdgeschwader no 1:stä (I Ms),

— Lafayette Escadrillesta (I Ms) ja

— Jagdgeschwader 26:sta (II Ms)

on saatu oheisen kuvan mukainen käyrästä



Ensimmäisen viiden ratkaisutaistelun alueella esiintyvä p-arvon lähes pystysuora putoaminen on varsin yllättävä. Alasammutuksi tulemisen todennäköisyysarvo n. 0,02 alueella 10—30 pysyy lähes vakiona vastaten arvoja, joita on saatu mm. amerikkalaisista "ässistä" toisessa maailmansodassa ja Korean sodassa.

Välittömästi herää kysymys alkuvaiheessa tapahtuvan p:n laskun syystä. Onko kyseessä ohjaajien oppiminen vai huonoimpien ohjaajien karsiutuminen? On esitetty näkemys, jonka mukaan kaksikymmenkermainen parannuskerroin viidessä "taisteluharjoituksessa" viittaa paremminkin parhaiden selviytymiseen kuin ohjaajien yleiseen oppimiseen¹⁾.

Kun merkitään ohjaajan taitoa eli todennäköisyyttä, että hän selviää ratkaisutaistelusta, arvolla s voidaan taidon s omaavien ohjaajien osaa kuvata tiheysfunktioilla f (s). Ratkaisutaistelujen välillä katsotaan kaikilla olevan samanlaiset mahdollisuudet joutua onnettomuuteen, saada it:n osuma jne. Alkuperäisestä ohjaajamäärästä se osa, jonka odotetaan selviytyvän j:stä ratkaisutaistelusta, on

$$v_j = \int_0^j s^j \cdot f(s) ds \quad 1)$$

Koska oletettiin, että kaikilla on samanlaiset mahdollisuudet taistelujen välillä, saadaan

$$p_j = 1 - (v_j/v_{j-1})$$

Tästä johtuen

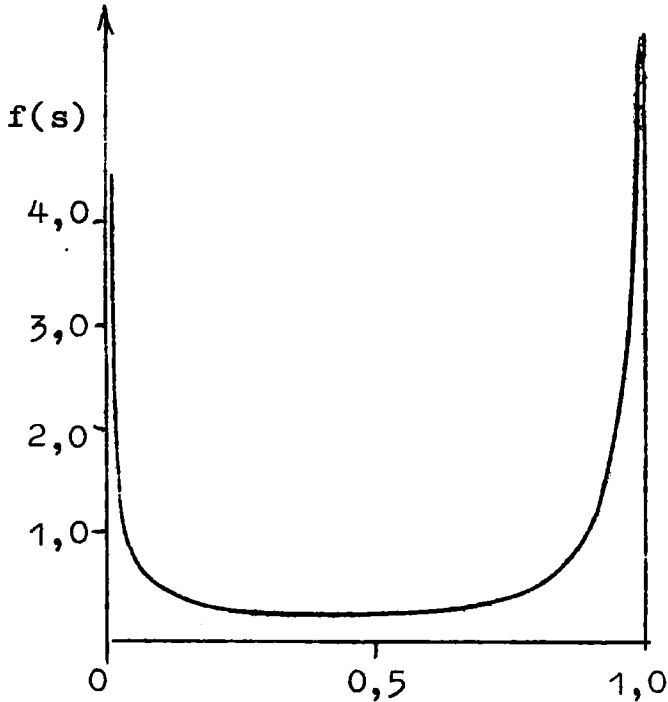
$$v_j = \prod_1^j (1 - p_k), \quad k = 1, 2, 3, \dots, j$$

v_j :n arvon perusteella voidaan laskea tiheysfunktion f (s) arvo ja tämä ohjaajien suorituskykyä osoittava käyrä saa seuraavan sivun alussa olevan kuvan mukaisen muodon.

Varsin helposti mieleen tulevan normaalijakautuneen tiheysfunktion tilalla on U-muotoinen jakautuma, jonka mukaisesti hävittäjäalentäjät koostuvat lähinnä "ässistä" ja "ei-ässistä".

Tarkasteltaessa eräiden maiden kymmenen parhaan hävittäjäalentä-

1) 8



Todennäköisyys tulla alasammutuksi ratkaisutaistelussa ($1-s=p$)

jän pudotuksia nähdään pienen miesmäärän aiheuttaneen todella huomattavat pudotusluvut:

	I MS	II MS
USA	143	294
Englanti	543	314
Saksa	497	2648
	Talvi- ja jatkosota ¹⁾	
Suomi		489

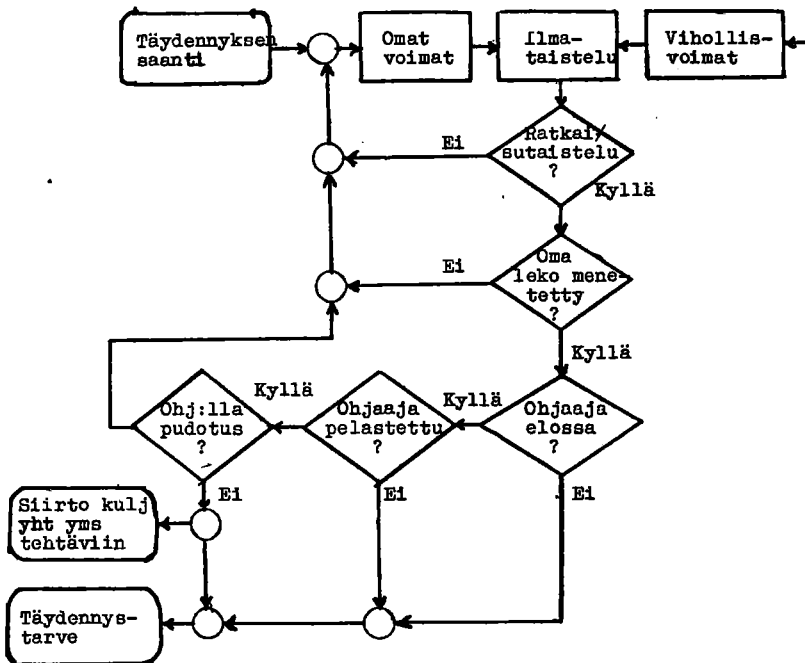
Saksalaisten hävittäjälentäjien suuret pudotusluvut ovat aiheuttaneet paljon väittelyä. Ne vaikuttavat kuitenkin uskottavilta, kun otetaan huomioon alasammutuksi tulon todennäköisyyden, $p:n$, lisäksi taistelussa kaatuneiden prosentuaalinen osuus oheisessa taulukossa

1) 9

	Pudotukset	p	Taistelussa kaatuneita %
USA (8.AF)	10—20	0.013	7
Englanti (RAF)	20—30	0.024	10
Saksa (JG-26)	10—20	0.013	44
Saksa (JG-26)	31—197	0.009	68
Suomi (ilmav)	20—30		25
Suomi (ilmav)	30—93		10

Ohjaajan omatessa kaikkien maiden "ässille" tyypillisen p-arvon 0.01—0.02 ja toimiessa jatkuvasti taistelutehtävissä nousivat hänen pudotuslukunsa arvoihin 50—100, joskus jopa useisiin satoihin ennenkuin hänet ammuttiin alas. Todettakoon, että suomalaiset "ässät" olivat lähes poikkeuksetta taistelutehtävissä kaiken aikaa. Pudotuslukujen jääminen saksalaisten vastaavia pienemmiksi johtunee suuressa määrin asemasotavaiheen ilmatoiminnan vähäisyydestä.

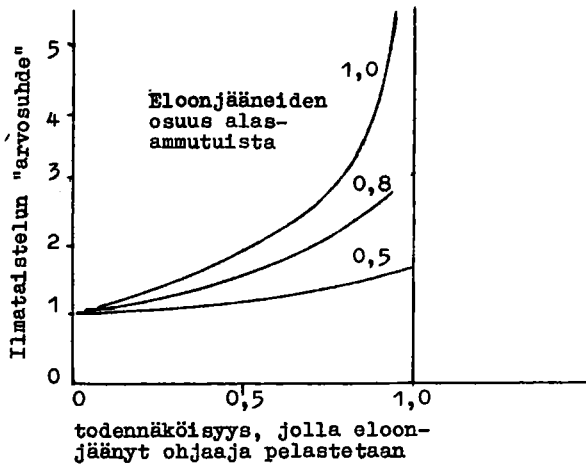
Tutkittaessa ohjaajavalinnan vaikutuksia lentoyksikön suorituskykyyn voidaan taistelua ja siihen liittyvää valintamenettelyä kuvata seuraavalla mallilla¹⁾



1) 8

Mallissa oletetaan, että esiintyy vain kahta lajia ohjaajia, "haukkoja" ja "kyyhkyjä". Edelleen oletetaan, että "haukat" edustavat 10 % täydennysohjaajista ja heitä ei ole tunnistettu ennen taistelua. "Haukka" taistellessaan "kyyhkyä" vastaan pudottaa tämän alas, "haukat" ovat keskenään tasaveroisia ja "kyyhkyjen" taistellessa keskenään ei synny mitään ratkaisevaa tulosta, Ohjaajien pelastustoimintaan liittyy valinta siten, että ainoastaan pudotuksen tai pudotuksia omaavat ohjaajat palautetaan taisteluyksikköön.

Esitetyllä valintamenetelmällä saadaan yksikön tehokkuus nousemaan huomattavasti. Mikäli alasammutuista ohjaajista esimerkiksi 80 % säilyy hengissä ja heidät kaikki pelastetaan (torjunta omalla alueella), saadaan valintamenettelyllä alkuperäinen taistelutehokkuus kolminkertaiseksi jatkuvassa toiminnassa oheisen kuvan mukaisesti:



Yhdistetyn pelastus- ja valintasysteemin vaikutus taistelutehokkuuteen.

On selvää, etteivät ainakaan pienen maan koulutus- ja henkilöresurssit kestä edelläkuvattua valintamenettelyä. Sensijaan on ilmeisen

tärkeää pyrkiä tunnistamaan "ässät" jo koulutusvaiheessa ja pitää huolta siitä, että hävittäjälaivueissamme ainakin ohjaajien ydinhenkilöstö (laivueenkomentaja, lentueen päälliköt ja parven johtajat) koostuu "ässistä".

Hyvän taistelulentäjän tunnistaminen koulutusvaiheessa ei ole yksinkertainen tehtävä. Hyvä ohjaustaito ja ylipäänsä joustava lentokoneen ja sen laitteiston käsittelytaito ei anna varmaa näyttöä asianomaisen kyvyistä ilmataistelutilanteissa. Ennen todellista tulikoetta ei yleensä pystytä selvittämään, millaisen kapasiteettireservin varassa henkilö toimii tavanomaisia lentotehtäviä suorittaessaan ja minkälaisia voimavaroja hänellä on käytössään tilanteissa, joissa ainoa mahdollisuus näyttää olevan joko ampua vastustaja alas tai tulla itse pudotetuksi. Parhaat mahdollisuudet "ässien" toteamiseksi tarjonnevat tähtäinkameroin suoritettut taisteluharjoitukset sekä ampumakoulutus.

Aikaisemmassa ei ole tuotu lainkaan esille kalustollisia tekijöitä, joita ei voida sivuuttaa tarkasteltaessa ilmataistelun tuloksellisuutta. Kokemukset eri sodista ovat kuitenkin osoittaneet, että toimittaessa jotakuinkin samanarvoisilla kalustoilla muodostuu ohjaajien henkilökohtainen taito ratkaisevaksi tekijäksi ilmataisteluiden tuloksellisuuden kannalta. On siis pidettävä torjuntakalusto muodostettujen uhkakuviin vaatimuksia vastaavana ja valittava sen käyttäjiksi ilmataistelijaominaisuuksiltaan huippuluokkaa edustava henkilöstö. Mainittakoon, että mikäli aikaisemmin esitetyssä mallissa toinen ilmataisteluosapuoli tuottaisi koulutus- ja valintamenetelmiensä perusteella taisteluun alunperin pelkkiä "haukkoja", muodostuisi sen taistelutehokkuus tässä teoreettisessa tarkastelussa kymmenkertaiseksi vastustajaan verrattuna. Nimenomaan määrällisesti pienin voimin toimittaessa on edellisen perusteella taistelulentäjien henkilökohtaisen kyvykkyyden mittaaminen ja mittaustulosten hyväksikäyttäminen henkilöstön sijoittamisessa ilmeisen kannattavaa.

3. MATERIAALITOIMINTO

3.1. Yleistä

Materiaalitoiminnon päämääränä on yksikköjen varustaminen materiaalilla, ylläpito, varastointi ja korjaus¹⁾. Yksikköjen tehtävät edellyttävät hyvää materiaalista valmiutta, jonka saavuttamista estävät niukat taloudelliset resurssit. Materiaalitoiminnossa on hyvin usein kyseessä ratkaisutilanne, jossa pyritään saamaan "mahdollisimman hyvää

1) 2

mahdollisimman halvalla" tai "mahdollisimman paljon mahdollisimman edullisesti" tiettyjen rajoituskriteereiden samanaikaisesti vaikuttaessa. Materiaalitoiminnon ongelmatilanteet soveltuvat näin ollen varsin hyvin systeemianalyttiseen käsittelyyn.

3.2. Hankinnat

Hankintoja suoritetaan sekä korvaamaan vanhentumisen johdosta käytöstä poistuvaa kalustoa että edellytysten luomiseksi kokonaan uudelle tehtäväalueelle suuntautuvalla toiminnalla. Edellämäinmainitussa tapauksessa on luonnollisesti perusedellytyksenä operatiivisen suorituskyvyn säilyminen vähintään ennallaan uhkakuussa todetut kehitysmuutokset huomioonottaen. Jälkimmäisessä tapauksessa tulisi toiminnalle asetetut päämäärät saavuttaa mahdollisimman taloudellisesti eli kustannuksiin nähden mahdollisimman tehokkaalla kalustolla.

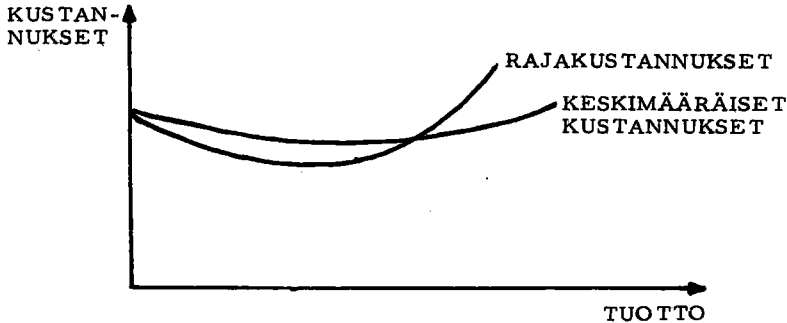
Ilmavoimiemme hankinnoissa näkyvimmän osan muodostavat lentokonehankinnat jo pelkästään lentokoneteollisuudessa vallitsevan jyrkän kustannusnousunkin vuoksi. Varsin huomattavaa menoerää edustavat myös valvonta- ja viestijärjestelmän kalustohankinnat.

Tavanomaisessa hankintatilanteessa on useista vaihtoehdoista valittava tarkoitukseen sopivin. Koska paras ei yleensä ole halvin ja ensivaiheessa halvin saattaa ajanmittaan osoittautua kalliiksi, on tavallista pyrkiä suorittamaan vertailu kustannus/tehokkuus tarkasteluna eli selvittää, minkälainen hyöty eri vaihtoehdoissa määrättyllä kustannuserällä saavutetaan. Aina ei kuitenkaan pystytä hankintaa toteuttamaan kustannus/tehokkuus mielessä parhaimman vaihtoehdon pohjalta, sillä absoluuttinen kustannusrajoitus saattaa tulla aikaisemmin vastaan; ei olla kyllin rikkaita, jotta voitaisiin olla taloudellisia. Tällöin joudutaan valitsemaan käytettävissä olevan määrärahan puitteissa paras vaihtoehto suoritusarvoista mahdollisesti tinkien. Joskus täytyy hankinta toteuttaa ilman todellisia vaihtoehtomahdollisuuksia. Tällöinkin on syytä selvittää hankinnan kustannus/tehokkuus suhde sekä hankinnan edullisuus- että uuden kaluston suoritusarvomielessä.

Järjestelmän kustannuksia arvioitaessa on usein ensimmäisenä määriteltävä järjestelmän käyttötaso organisaatiossa. Näin saadaan selville järjestelmäkustannuksien piiriin kuuluvat alatasot. Läheisessä suhteessa edelliseen on olemassa olevien järjestelmien merkitys uuden järjestelmän kustannuksiin; mitä enemmän uuden järjestelmän käyttöönotossa voidaan tukeutua jo olemassa oleviin järjestelmiin, sitä pienemmiksi jäävät järjestelmän aiheuttamat lisäkustannukset.

Tutkimus- ja kehittämiskustannukset on otettava huomioon eräänä kokonaisuutena koko käyttöiän kustannuksia laskettaessa.

Järjestelmän käyttö aiheuttaa materiaali-, työvoima- ja pääomakustannuksia. Järjestelmän tuotolla on oma vaikutuksensa kustannuksiin oheisen kuvan mukaisesti:



Tuottoa tulisi lisätä ainoastaan pisteeseen, jossa rajatuotto vastaa rajakustannuksia¹⁾). Tämä on tyypillinen harkinnan aihe tiettyyn tehtävään sijoitettavien suoritusten määrää mitoitettaessa.

Ajan vaikutukset kustannuskehitykseen on otettava huomioon järjestelmän kokonaiskäyttöikää vastaavalta ajanjaksolta.

Kustannuksia voidaan tarkastella myös järjestelmän suoritusarvoparametrien valossa. Tämä suoritetaan tavallisesti tilastollista regressio-tekniikkaa käyttäen²⁾). Ensin todetaan herkkyyksianalyysin perusteella tilastollista korrelaatiomittausta käyttäen, mitkä parametrit ovat merkittäviä järjestelmän kustannuksien kannalta. Seuraavaksi testataan parametriyhdistelmien korrelaatiokertoimia. Parhaan korrelaatiokertoimen antavaa parametriyhdistelmää käytetään hyväksi laadittaessa regressioyhtälöä, joka ilmaisee järjestelmän parametrien ja kustannusten välisen riippuvuuden.

Järjestelmän tehokkuus muodostuu sen suorituskyvystä, käytettävyydestä, luotettavuudesta ja taistelunkestävyydestä.

Järjestelmän suorituskyvyn voidaan katsoa edustavan tiettyjen luottamusrajojen väliin sijoittuvien mahdollisten suorituskykyjen tiheysjakautuman odotusarvoa.

Käytettävyys ilmaisee järjestelmän suoritusvalmiuden. Jatkuvassa

1) 10
2) 11

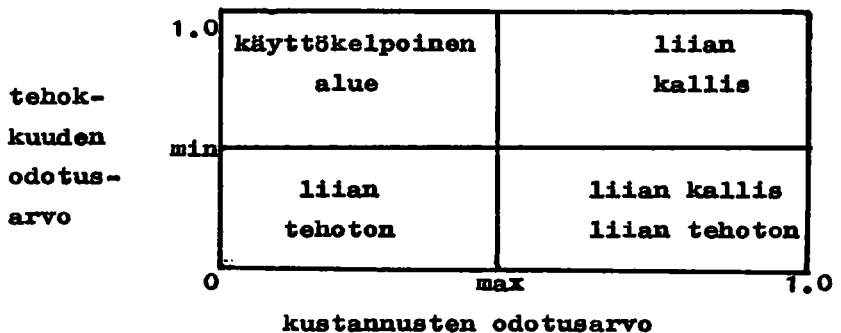
käytössä olevan järjestelmän käytettävyyden mittana voidaan pitää sen käyttöajan suhdetta kokonaisaikaan. Tietyin aikaväleihin käytössä olevan järjestelmän käytettävyys on määrätyn ajanjakson käytettävissäoloaika. Satunnaisesti toimivan järjestelmän käytettävyysarvona voidaan pitää minä hetkenä tahansa käytettävissäolon todennäköisyyttä.

Luotettavuudella tarkoitetaan tavallisesti todennäköisyyttä, jolla jo toimintaan asetettu, siis käytettävissä ollut, järjestelmä suorittaa tehtävän. Järjestelmän luotettavuutta voidaan kuvata kaavalla¹⁾

$$\text{LUOTETTAVUUS} = \lim_{n_{\text{suoritukset}} \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{n_{\text{epäonnistuneet suoritukset}}}{n_{\text{suoritukset}}} \right)$$

Järjestelmän taistelunkestävyys muodostuu sekä kyvystä välttää vihollisvaikutusta että "tunnettomuudesta" vihollisvaikutuksen alaisena.

Kustannus/tehokkuustarkastelussa voidaan ns. "käyttökelpoisen alueen" menetelmällä¹⁾ karsia jo alkuvaiheessa liian kalliit ja liian tehotomat vaihtoehdot pois jatkotarkastelusta oheisen kuvan osoittaman periaatteen mukaisesti:



Kustannus/tehokkuusmallia laadittaessa on luonnollisesti aina harkittava vertailtavien järjestelmien toiminnalle erikoisia piirteitä. Yleensä tiettyä ongelmaa voidaan kuitenkin käsitellä useammalla kuin yhdellä tavalla. Varsin paljon käytetty malli on suhdemalli, jolla periaatteessa mitataan järjestelmän tuoton (tehokkuuden) ja siihen syö-

1) 11

tettävän panoksen (kustannusten) suhdetta. Muista menetelmistä voidaan mainita mm. vakiotehokkuuskäyrien käyttöön perustuva korvaus-analyysi, matemaattisen ohjelmoinnin menetelmät, peliteoriat ja erilaiset todennäköisyysmallit.

Seuraavassa esitetään pari varsin yksinkertaista hankintatilanteen vertailumallia.

Vertailtaessa samaan tehtävään tarkoitettujen eri konetyyppien tai yhden konetyypin valinnaisten asejärjestelmien keskinäistä suoritus-tehokkuutta voidaan käyttää esimerkiksi seuraavaa menettelyä:

a. Selvitetään kustannustekijät

- kappalehinta
- mahdollisten käyttöön liittyvien lisävarusteiden hinta ja
- käyttöiän varastointi- ja huoltokustannukset.

b. Määritetään

- yhden suorituksen (laukauksen) tuhoamistodennäköisyys,
- haluttu suoritusvarmuus,
- suorituksen keskimääräinen kesto-aika,
- arvioitu tappioluku esim. tiettyä lentotuntimäärää kohti,
- lentotunnin hinta ja
- asevarustuksen määrä yhtä suorituskertaa kohti.

c. Lasketaan yhden kohteen tuhoamiseen tarvittava laukausmäärä. Tämän arviointiin voidaan käyttää esim. seuraavaa tavanomaista kaavaa:

$P = 1 - (1 - p)^n$, jossa

P = haluttu suorituksen onnistumisen varmuusaste

p = yhden laukauksen tuhoamistodennäköisyys

n = tarvittava laukausmäärä

d. Lasketaan kohteen tuhoamisen aiheuttamat asekustannukset: asekustannukset

$\frac{\text{asekustannukset}}{\text{tuhottu kohde}} = (\text{laukausten lukumäärä/tuhottu kohde}) \times$

(kappalehinta + varastointi- ja huolto-
kustannukset/laukaus)

e. Lasketaan kohteen tuhoamisen aiheuttamat kaluston käyttökustannukset:

$\frac{\text{käyttökustannukset}}{\text{tuhottu kohde}} = \frac{(\text{tarvittava laukausmäärä/tuhottu kohde}) \times$

(käytettävissä oleva laukausmäärä/suoritus)
(suorituksen keskimääräinen kesto-aika len-
totunneissa) \times
(lentotuntikustannukset)

f. Lasketaan kohteen tuhoamisen aiheuttamat tappiokustannukset:

$$\frac{\text{tappiokustannukset}}{\text{tuhottu kohde}} = (\text{lentotuntimäärä/tuhottu kohde}) \times (\text{tappiot/lentotunti}) \times (\text{kustannukset/leko} + (\text{menetettyjen ohjaajien prosentuaalinen osuus}) \times (\text{kustannukset/koulutettu ohjaaja}))$$

g. Lasketaan kohteen tuhoamiseksi investoitavat kokonaiskustannukset summaamalla edelliset osakustannukset.

h. Tarkistetaan kunkin vaihtoehdon soveltuvuus ja suosituimmuus kokonaisjärjestelmän kannalta.

i. Lasketaan kunkin vaihtoehdon suorituskapasiteetti ajan suhteen:

$$\frac{\text{tuhottuja kohteita}}{\text{aikayksikkö}} = (\text{käytettävissä oleva konemäärä}) \times (\text{käyttövalmiusaste}) \times (\text{suoritukset/vrk}) \times (\text{vrk:t/aikayksikkö}) \times (\text{tuhotut kohteet/suoritus})$$

j. Suoritetaan valinta kohdissa g, h, ja i saatujen tulosten perusteella.

Edelläesitetyn, varsin suoraviivaisen mallin ratkaisu on yleensä hyvin herkkä tappioiden vaihteluille¹⁾). Ratkaisua onkin testattava riittävän laajalla tappiolukualueella, jotta nähtäisiin, kuinka eri vaihtoehdot käyttäytyvät eriasteisten vihollisvaikutusten alaisina. Tappiolukujen määritykseen käytetään sekä teoreettisia laskelmia että kokemuksia harjoituksista ja sodista. Sodista saatuja kokemuksia voidaan pitää melko luotettavina lähtökohta-arvioina, sillä samantyyppisissä operatioissa ovat tappiot toisessa maailmansodassa, Korean ja Vietnamin sodissa olleet kaikissa samaa suuruusluokkaa^{1) 2)}

Suoritettu vertailu toteutettiin periaatteella ”sama suorituskyky, erilaiset kustannukset”. Tätä menetelmää on yleensä helpompi käsitellä kuin vaihtoehtoa ”samat kustannukset, erilainen suorituskyky”. Toimitaessa tietyn määräraharajoituksen alaisena on käytettävä viime mainittua tarkasteluperiaatetta ja valittava hintatarjouksen alittavista suurimman tuoton antava vaihtoehto.

Vertailumallia kehitettäessä on tärkeää painottaa käyttötarkoituksen kannalta oleellisia suoritusarvotekijöitä. Edelläesitettyssä vertailu-algoritmissa painotus oleellisimpiin seikkoihin tapahtuu kohdevalintojen avulla. Kun valinnassa mukana olevat vaihtoehdot poikkeavat eri ominaisuuksien kvantitatiivisilta arvoilta huomattavasti toisistaan, on

1) 12

2) 13

syytä ottaa tulevan käyttötarkoituksen kannalta tärkeimpien ominaisuuksien merkitys huomioon esimerkiksi kertoimien käytöllä. Niinsano-
tussa tasojaotellussa arvioinnissa¹⁾ järjestelmän ominaisuuksia tarkas-
tellaan toisiaan seuraavilla, jatkuvasti tarkentuvilla tasoilla, kunnes
päästään riittävän konkreettisiin ja määrällisesti ilmaistaviin ominai-
suuksiin. Kullakin tasolla ominaisuuksien keskinäinen merkitysero
käyttötarkoituksen kannalta otetaan huomioon kertoimilla. Kertoi-
met ja ominaisuuksia kuvaavat arvoluvut yhdistetään suorituskertoi-
meksi, joka kuvaa valinnan kohteen suorituskykyä käyttäjän kannalta.
Sovellettaessa tasojaoteltua arviointia esimerkiksi torjuntakoneiden
vertailuun, voidaan käyttää vaikkapa seuraavanlaista tasoryhmittelyä
(ryhmittely on suoritettu ainoastaan kunkin tason ensimmäisen ominai-
suuden osalta; painokertoimien valinta on mielivaltainen):

<u>TASO 1</u>		<u>PAINOKERROIN</u>		
TORJUNTATEHO		60	→	(11)
KÄYTETTÄVYYS		15	→	(12)
LUOTETTAVUUS		15	→	(13)
TOIMITTAJAN OMINAISUUDET		5	→	(14)
KOULUTUS, OHJEKIRJAT		5	→	(15)

	<u>TASO 2</u>		<u>PAINOKERROIN</u>		
(11) →	SUORITUSARVOT	25	→	(21)	
	OHJAUSOMINAISUUDET	30	→	(22)	
	ASEISTUS	25	→	(23)	
	NÄKYVYYS OHJAAMOSTA	20	→	(24)	
(12) →	---				

	jne				

(Menetelmän kuvaus jatkuu seuraavan sivun alussa.)

Arvoluvut ovat arvioitavista tyypeistä riippuvia lukuja. Ne voivat saada arvoja nolasta johonkin maksimiarvoon, mikä voidaan valita mielivaltaisesti. Arvoluku kuvaa tietyn tyyppin osaominaisuuden hyvyttä muihin tyyppihin verrattuna. Suorituskerroin lasketaan kullekin tyyppille lähtien alimmalta tasolta, jolloin saadaan aina seuraavan tason jokaiselle arvostelukohteelle arvoluku laskemalla yhden arvostelukohteen osakohteiden arvolukujen ja painojen tulot. Näin jatkaen

<u>TASO 3</u>	<u>PAINOKERROIN</u>		
NOUSUKYKY	22 —————→ (31)		
KIIHTYVYYS	22 —————→ (32)		
HIDASTUVUUS	19 —————→ (33)		
KAARTOKYKY	23 —————→ (34)		
MAX.NOPEUS	10 —————→ (35)		
MUUT SUORITUSARVOT	4 —————→ (36)		
<u>TASO 4</u>	<u>PAINOKERROIN</u>		
(31) → MATALALLA	35 —————→ (41)		
KESKIKORKEUDELLA	35 —————→ (42)		
KORKEALLA	30 —————→ (43)		
ARVOLUVUT			
	TYYPPI A	TYYPPI B	TYYPPI C
(41) →	a ₁	b ₁	c ₁
(42) →	a ₂	b ₂	c ₂
(43) →	a ₃	b ₃	c ₃

päädytään ylimmälle tasolle, jonka arvoluku on samalla suorituskerroin. Hinta voidaan ottaa mukaan vertailuun esimerkiksi siten, että jaetaan suorituskerroin hinnalla ja käytetään saatua osamäärää vertailulukuna.

Tasajaoteltuun arviointiin perustuva vertailumalli on tyyppillinen "kenttämenetelmä", jonka tulos määrittää ehdokkaiden suhteellisen järjestyksen, mutta ei ilmaise juuri mitään eri vaihtoehtojen toiminnan tuloksista. Sen etuina voidaan pitää kokonaisuuden huomioon ottavaa lähtöasemaa ja sitä, että kaikki vaikuttava saadaan arvioinnin piiriin. Lisäksi jokin käytön kannalta kenties vähemmän tärkeä "häikäisevä" ominaisuus ei saa ansaitsematonta lisämerkitystä, sillä painokertoimet asetetaan tehtävän perusteella ja ne eivät millään tavoin riipu vertailtavista tyypeistä.

Mitä tarkemmin hankittavan kaluston käyttötarkoitus on määritetty, sitä yksityiskohtaisempi vertailumalli tapauksen käsittelyä varten voidaan rakentaa. Tällöinkin on syytä testata ratkaisuvaihtoehtojen herkkyys käyttötarkoituksen muutoksille, ellei voida olla ehdottoman varmoja alkuperäisen, yksityiskohtaisen tehtävnmäärityksen pysyvyydestä.

Vertailumalleja konstruoidaessa joudutaan aina tekemään jonkin verran yksinkertaistuksia ja oletuksia. Nämä on aina tuotava esille tuloksia käsiteltäessä ja lisäksi on tutkittava olettamusarvojen muuttumisen vaikutuksia tuloksiin. Mallin loogisuuden testaamiseksi on hyvä suorittaa sillä vertailua jo käytössä olevien tyyppien kesken näiden todellisilla arvoilla. Tiettyyn tarkoitukseen laadittu ja hyvin testattu malli tarjoaa väsymättömän vertailumenetelmän samantyyppisissä hankintatilanteissa.

Vertailumalli on hyödytön ilman siihen syötettäviä käyttökelpoisia parametreja. Hankintaa suoritettaessa toimitaan aina jonkin verran epävarmalla pohjalla; ei omata käyttökokemuksia ja tuottajalta saatavissa olevien tietojen yksityiskohtaisuudessa on yleensä toivomisen varaa. Parhaat mahdollisuudet yllätyksettömien hankintojen suorittamiseksi saadaan vertailumallien ja niihin parametreja syöttävän, aktiivisen vertailuarvojen hankintajärjestelmän käytöllä.

Korvaavan kaluston hankinnat ajoittuvat pitkän tähtäyksen suunnitelmapuitteissa korvattavan kaluston käyttöiän määrittämiin ajankohtiin. Näiden mukaisesti käynnistyy myös vertailuprosessi niin, että hankintaesitys ja sitä toivottavasti seuraava hankinta tekevät mahdolliseksi operatiiviselta kannalta katsoen aukottoman siirtymisen uuteen kalustoon. Osan vertailuprosessista voi suorittaa staattinen vertailuorganisaatio, jonka jäsenet suorittavat jatkuvaa kalustonseurantaa tietyn tehtäväalueen tyypeistä esimerkiksi tasojaotellulla arviointimenetelmällä kirjallisuus- ja ilmailunäyttelytietoja käyttäen. Hankinnan tullessa ajankohtaisemmaksi on syytä tarkentaa parhaiden ehdokkaiden vertailutiedot paikan päällä tapahtuvalla tutustumisella. Tämä käsittää koelentäjien (ja mahdollisesti myös korvattavalla tyyppillä suuren lentokokemuksen omaavan ohjaajan) suorittamat vertailulennot sekä kaiken mahdollisen kustannus-, käytettävyy-, luotettavuus-, varaosatoimitus- ja koulutusmateriaalitietouden hankinnan.

Niiltä osin, kun kyseisiä tietoja ei voida saada, pyritään käyttämään vastaavien tyyppien ominaisuuksien perusteella laadittuja regressioyhtälöitä ja mahdollisia aikaisempia kokemuksia kaluston toimittajasta. Myös niissä tapauksissa, joissa varsinaista valinnan vaihtoehdotilannetta ei synny, on syytä koelentää hankittava tyyppi tietyn vertailuohjelman mukaisesti sekä täsmentää myös muut ylläesitetyt vertailuparametrit. Tällöin tiedetään jo edeltäkäsän huomattavalla tarkkuudella uuden kaluston vaikutus operatiiviseen suorituskykyyn ja pystytään ennakoimaan sopeuttaminen tukeutumisen- ja huoltojärjestelmään. Aktiivinen vertailutietojen hankkiminen tietää kustannuksia jo hankinnan valmisteluvaiheessa. Nämä kustannukset ovat kuitenkin erittäin vähäisiä verrattuina niihin kustannuksiin, joita varsinainen hankintapäätös koskee. Vertailutietojen hankintaan sijo-

tettujen rahojen tuottoa on vaikea määrittää täsmällisesti, sillä tuotto saadaan ensisijaisesti paremman ja luotettavamman toimintavaihtoehdon muodossa. Reaalituottoa voidaan kuitenkin arvioida mm tietyiltä virheinvestoinneilta säästymisen muodossa.

3.3. Ylläpito ja varastointi

Ylläpitoon ja varastointiin liittyy tavallisesti kolmentyyppisiä kustannuksia:¹⁾

- varaston ylläpitokustannukset,
- tavaran puuttumisesta aiheutuvat kustannukset ja
- varaston täydentämiskustannukset.

Näistä ensimmäiseen sisältyvät pääoma-, materiaali-, käsittely-, pilaantumis- ym kustannukset.

Tavaran puuttumisesta aiheutuvat kustannukset muodostuvat ensisijaisesti kalliin lentokaluston seisonta-aikojen aiheuttamista tappioista; lentokone kuolettaa hankintahintaansa vain lentämällä. Jo rauhan-kin, mutta erityisesti sodan aikana saa varaosapuutteesta johtuva toimintavalmiuden lasku helposti kriittisen luonteen.

Varaston täydentämiskustannukset muodostuvat tilausten valmistelu-, lastaus-, purkaus- jne kustannuksista.

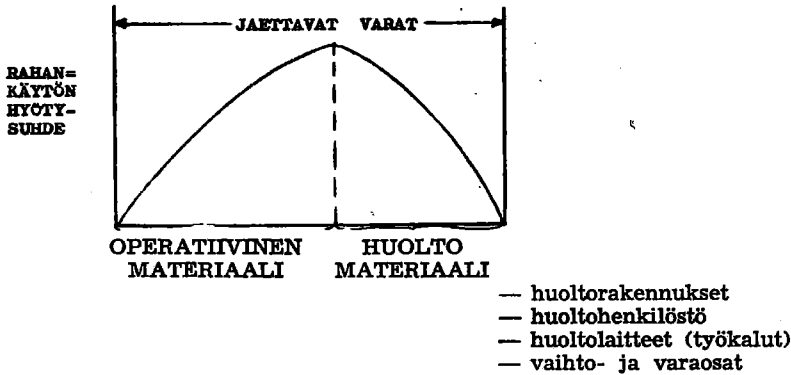
Varaosien varastointikustannuksiin joudutaan ottamaan kantaa jo kalustonhankintavaiheessa. Mikäli käytettävissä olevista varoista koh- tuuttoman suuri osa sijoitetaan esim itse lentokaluston hankintaan, saadaan taisteluvalmius näennäisesti paremmaksi. Kaluston käytettävyys saattaa kuitenkin kuvatulmaisessa tapauksessa jäädä erittäin alhaiseksi ja otettaessa huomioon varaosien puutteen takia maassa seisovien koneiden kuoletus- ja korkotappiot jää rahan käytön hyötysuhde epätaloudelliseksi. Seuraavan sivun alussa oleva kuva¹⁾ esittää operatiiviseen ja huoltomateriaaliin käytettävissä olevien varojen periaatteellista optimijakoa.

Mainittakoon, että USA:ssa ja Englannissa on lentoteknillisiä asejärjestelmiä koskevista kokonaisvaroista mennyt keskimäärin n 40 % uudishankintoihin ja n 60 % niiden käyttöön, huoltoon ja korjaukseen.¹⁾

Systemianalyyttiseltä kannalta katsoen voidaan varastointiongelmia pitää melko tavanomaisena sovellutusalueena. Varastojen hoidolle on kehitetty useita matemaattisia malleja käytettyjen valvontaperiaatteiden ja varastokohtaisten ominaisuuksien mukaisesti.

1) 15

1) 16



Varastojen valvonnassa kiinnitetään huomio yleensä kahteen seikkaan:

- milloin pitää tilata ja
- kuinka paljon tulee tilata?

Tilausajankohta voidaan määrittää joko lasketun optimaalisen aikavälin tai minimivarastomäärän perusteella. Tilattava määrä voidaan päättää joko vakioksi tai riippuvaksi varaston ylärajasta. Edellämainittujen yhdistelmät antavat siis mahdollisuuden neljän erilaisen "varastopolitiikan" käyttöön.¹⁾ Varastokohtaisista ominaisuuksista ovat tärkeimmät:

- tarve,
- täydentäminen,
- kustannukset ja
- rajoitukset.

Varastoitavien osien tarve voi olla hetkellinen, tasainen tai se voi noudattaa jotain todennäköisyysjakautumaa.

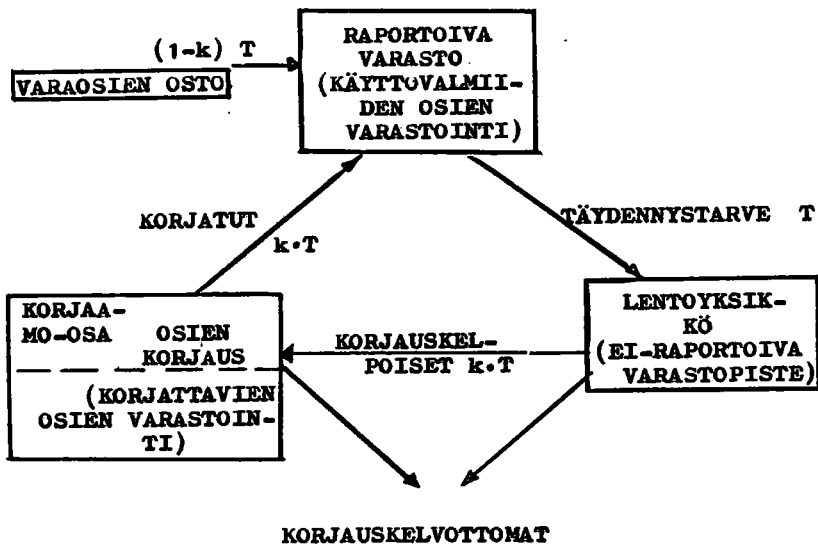
Varaston täydentämistapahtumaan liittyy seuraavia ominaisuuksia:

- tilausten aikaväli,
- täydennyserän koko,
- toimitusaika,
- varaston valvontaväli ja
- täydentämisnopeus.

Kustannusten luonnetta on käsitelty aiemmin. Varastointia koskevista rajoituksista ovat yleisimpiä käyttövarat, varaston koko ja varastoinvestoinnit.

1) 15

Lentoteknillisten komponenttien varastointiin liittyy usein korjaus- toiminta, jolloin varastojärjestelmä voidaan toteuttaa esimerkiksi oikein kuvan mukaisena:¹⁾



Kuvatun varastosysteemin tavoitteena on ostojen minimointi. Järjestelmän päävarastona voidaan pitää joko käyttövalmiiden tai korjattavien osien varastoa. Varastointiin liittyvien resurssikustannusten kannalta on edullisempää pitää korjattavien osien varastoa päävarastona. Täydennystarve saadaan korjatuista osista, kunnes korjattavien osien varastomäärä laskee alle ostotoimenpiteen laukaisevan rajan. Ostetun määrän tullessa käyttöön alkaa korjattavien osien varasto jälleen kasvaa ja täydennys siirtyy vähitellen korjattujen osien varaan.

Järkevän varastopolitiikan noudattaminen edellyttää hyvää varaosien kulutustietojen keräämis- ja seuraamisen menetelmää. Tällainen teknillisen informaatiojärjestelmän osajärjestelmä käsittää kulutusraportoinnin keskitetyn tietokonekäsittelyn ja näin edelleen varastotilanne-ennusteiden ja automaattisten hankintahälytysten käytön. Auto-

maattisten hankintahälytysten käyttömahdollisuus on erityisen hyödyllinen ns hitaasti liikkuvien varastonimikkeiden kohdalla. Näiden, hinnaltaan usein varsin kalliiden varaosien tarpeen todennäköisyys saattaa olla melko alhainen samalla kun niistä aiheutuvat puutekustannukset nousevat huomattavan korkeiksi. Varaosien optimimäärän takaava täydennysmenettely nousee näin ollen kustannusten kannalta oleelliseksi kysymykseksi.

3.4. Teknillinen huolto ja korjaustoiminta

Lentoteknillisen kaluston mutkikkuusasteen jatkuva kasvu on ollut luonteenomainen pulma ilmavoimien teknillisen huollon järjestelyissä. Mutkikkuusasteen kasvu merkitsee yhtä lentotuntia kohti tarvittavien huoltotuntien määrän kasvua samalla kun huollon painopiste on siirtymässä yhä enenevässä määrin kohti elektroniikkatietoutta vaativia erikoisalueita.

Kaikille tärkeimmille lentokonevaraosille on yleensä määritetty varastoikä ja rajoitettu lentoaika. Näiden noudattaminen edellyttää aukotonta käyntiaikavalvontaa, joka puolestaan perustuu keskitetyn laitevalvontajärjestelmän käyttöön. Nimikkeiden paljous sekä käyttö- ja varastoaikojen erilaiset pituudet tekevät manuaalisen järjestelmän erittäin raskaaksi, joten automaattista tietojenkäsittelyä hyväkseen käytävä tietosysteemi on luonnollinen ratkaisu laitevalvonnan pulmiin.

Huoltokapasiteetin mitoitus on taloudellisuuteen pyrittäessä vaikea tehtävä. Samalla kun operatiivisiin vaatimuksiin tulisi vastata mahdollisimman joustavalla lentokaluston käytöllä, pitäisi huoltokuormitus säilyttää mahdollisimman tasaisena ruuhkautumisten estämiseksi. Eriasteisten huoltoelimiä kapasiteettivaatimuksia samoin kuin lento-
tiheyden vaikutusta kaluston lentovalmiuteen voidaan tutkia sekä analyttisillä että simulointimalleilla. Simulointimalli voidaan laatia peliksi, jossa esimerkiksi lennon johto käyttää lentokalustoaan tietyn uhkakuvan ja ennalta laadittujen toimintaperiaatteiden edellyttämien vaatimusten mukaisesti. Vihollinen sekä kaluston vioittumis-
alttius vaikuttavat toimintaan erilaisten riskiparametrien muodossa.

Seuraavalla sivulla oleva kuva esittää erään simulointimallin¹⁾ toimintakaaviota lentokoneen kulusta operointi- ja huoltojärjestelmässä. Ympyrälohkot kuvaavat tilannetta, jossa haarautumisen tapahtuu tietyn todennäköisyysjakautuman alaisena. Molemmilla lähtevillä haaroilla on oma todennäköisyytensä (summa = 1), joka ilmaisee kuinka

1) 17

monta prosenttia haarautumisista keskimäärin tulee asianomaisen haaran suuntaan. Neliölohkot kuvaavat tiloja, joisas lentokone viipyy ja mahdollisesti vaatii miestyötunteja.

Mallin tulostus ilmaisee:

- lentokelpoisen kaluston tuntikohtaisen tilan sekä
- kenttävarikoiden ja tehtaan vuorokausikohtaisen huolto- ja korjaustilanteen.

Huollon ja korjaustoiminnan ongelmien tutkiminen yhtä hyvin kuin toiminnan tehokkuuden valvominen edellyttävät pysyvää häiriöiden ilmoittamis- ja ilmoitusten käsittelyjärjestelmää sekä huolto-suoritteiden tehoa ilmaisevien mitta-arvojen (kustannukset ml) tilastointia. Tällainen teknilliseen informaatiojärjestelmään sisältyvä tietojenkäsittely tuottaa tiedostoja, jotka yhdessä operatiivisen informaatiojärjestelmän tiedostojen kanssa antavat pohjan huoltojärjestelmämallien parametrivalinnoille. Mallit voidaan tällöin saada sellaisiksi, että niissä mukana olevat lentokoneet saavat keskimäärin yhtä paljon vikoja kuin mitä käytännössä esiintyy ja näiden vikojen aiheuttamat seisonnat ovat myös keskimäärin käytännön kokemuksista saatujen arvojen mukaisia. Myös tuhoutumis- ja vaurioitumisriskit vastaavat rauhan- ja sodanajan kokemuksia. Malleilla voidaan siten selvittää erilaisten lennätysohjelmien vaikutus operatiiviseen valmiuteen sekä eri huoltopisteiden kuormitukseen. Näin saadaan myös selkeä yhteys operatiivisten ja huoltokapasiteettivaatimusten välille.

4. SOTATIETEELLINEN TUTKIMUSTYÖ

Sotatieteellisen tutkimustoiminnan päämääränä on perusteiden luominen puolustusvoimien jatkuvalla kehittämiselle.¹⁾ Ilmavoimien osalta tämä merkitsee ensisijaisesti lentokaluston sekä teknillisen että operatiivisen käytön tutkimista mahdollisimman suuren maanpuolustuksellisen hyödyn aikaansaamiseksi.

Tietyn kokonaisohjelman puitteissa suoritetuin osatutkimuksin voidaan edetä aina aikaisempien tutkimusten tuloksiin nojautuen tutkimusohjelman käynnistäneen ongelman ratkaisuun. Systeemanalyttisten keinojen käyttö tutkimustöissä on usein välttämätöntä, sillä ilman niitä ei ilmavoimien toiminnan luonteesta johtuen saada riittävän konkreettisia tutkimustuloksia.

Tutkimuksissa joudutaan käyttämään informaatiojärjestelmän sekä

1) 2

operatiivisten että teknillisten tiedostojen arvoja. Tutkimusohjelmien sopivalla suuntaamisella voidaan järjestää toisaalta tarvittavien parametrien käyttö, toisaalta huolehtia salaamisnäkökohdista.

Ilmavoimien toimintaan liittyvää sotatieteellistä tutkimustyötä suoritetaan sekä normaalien virkatehtävien puitteissa että osana henkilöstön jatkokoulutusta. Varsin huomattavan osan sotilaallisesta korkeakoulutuksesta muodostaa sotatieteellinen tutkimustyö ryhmätöiden ja itsenäisten tutkimusten muodossa. Systeemianalyttisiä menetelmiä voidaan näissä soveltaa erityisesti vihollisilmavoimien tulivaikutuksen arvioinneissa, tiettyyn taktilliseen tilanteeseen perustuvissa lentokaluston optimikäytön tutkimuksissa sekä huollon organisointikysymyksissä.

LOPUKSI

Kirjoituksessa on tuotu esiin eräitä tärkeimpiä systeemianalyysin soveltamismahdollisuuksia ilmavoimissamme. Lisäksi on selvitetty joidenkin sovellutusten erityispiirteitä. Jokaiseen sovellutukseen liittyy sen osatekijöiden keskinäisiä riippuvuuksia kuvaava malli, jonka vastaavuus tarkastelun alaisena olevaan käytännön tilanteeseen suuressa määrin ratkaisee sovellutuksen käyttökelpoisuuden. Toimivien mallien konstruoinnissa on puolustusvoimien ja systeemianalyttisen alan tiedemiesten yhteistoiminta välttämätöntä. Yhteistyölle antavat hyvän perustan Maanpuolustuksen Tieteellisen Neuvottelukunnan Systeemianalyysijaoston luomat kontaktit eri yliopistoihin ja korkeakouluhin. Puolustusvoimien oma operaatioanalyysiorganisaatio antaa mahdollisuudet toiminnan jatkuvaan kehittämiseen kaikissa puolustushaaroissa.

Systeemianalyysin tehtävänä on tarjota päätöksentekijälle selkeät vaihtoehdot monimutkaisen ongelman ratkaisemiseksi ja antaa seurannaisvaikutukset mahdollisimman hyvin kattava suositus päätöksen pohjaksi. Systeemianalyysin käyttö helpottaa päätöstilanteen hallintaa; se ei tuota saneluratkaisuja. Päätöksentekijän on osaltaan varmistauduttava siitä, että suoritettu analyysi antaa vastauksen juuri siihen kysymykseen, joka häntä askarruttaa. On siis tarkastettava analyysin tehtävän määrittäminen ja siinä esitetyt tarkastelun rajaukset. Päätöksentekijän on lisäksi oltava selvillä käytetyn mallin avainmuuttujista ja niiden keskinäisistä suhteista. Analyysin huomioon ottamien vaihtoehtojen sekä kustannusten ja tehokkuuden käsittelyn on oltava päätöksentekijän tiedossa. Viimeisenä varmistuksena analyysin antaman suosituksen soveltuvuudesta päätöksen perustaksi on tarkastettava

yhteismitattomien sekä ylijäämä- ja epävarmojen arvojen käsittely.

Systeemianalyysin hyväksikäyttö päätöksentekojärjestelmässä edellyttää organisaation eri osien hyvää yhteistoimintaa. Osallistuminen ratkaisujen perustana olevan informaation muodostamiseen sekä palautteena tuleva tieto oman suorituskyvyn kehityksestä saattaa huomattavasti edesauttaa alayksiköiden päämäärien yhtenäistämistä kokonaistavoitteisiin. Systeemianalyysin soveltaminen on varsin huomion arvoinen keino johtamismenetelmien ja sitä tietä edelleen organisaation kokonaistehokkuuden kehittämässä.

Lähteet

- 1) E S Quade: SYSTEMS ANALYSIS: A Tool for Choice
The Rand Corporation, Santa Monica, California
- 2) Pääesikunnan suunnitteluosaston julkaisu: Puolustusvoimien toiminta vuonna 1973
- 3) Leo Ahlstedt, Iiro Jahnukainen: Yritysorganisaatio yhteistoiminnan ohjausjärjestelmänä, Weilin & Göös, Tapiola 1973
- 4) Readings in Military Management, Volume 3: Analytical Techniques of Management Air Command and Staff College, Air University
- 5) Selected Methods and Models in Military Operations Research
Naval Postgraduate School, Montgomery, California 1971
- 6) Churchman, Ackoff, Arnoff: Introduction to Operations Research, John Wiley & Sons, Inc. New York, July 1957
- 7) Aarno Palm, Eero Voutilainen: Henkilöstöhallinto, Gummerus, Jyväskylä 1974
- 8) Herbert K Weiss: Systems analysis Problems of Limited War, Litton Industries, Inc.
- 9) Virallinen luettelo sodissamme 1939—40 ja 1941—44 eniten viholliskoneita alasampuneista hävittäjälentäjistä (julkaistu mm P Hirvosen kirjassa "Taivas ei tunne armoa")
- 10) Chr. I Savage, John R. Small: Liikkeenjohtotieteen perusteita, Weilin & Göös, Tapiola 1971
- 11) Karl Seiler: Introduction to Systems Cost-Effectiveness Wiley-Interscience, New York 1969
- 12) National Security Management: Case studies in Military Systems Analysis, Industrial College of the Armed Forces
- 13) H Nikunen, A Lappi: Ilma-aseen käyttö ja ilmatorjunta Vietnamin ja Lähi-idän sodissa, Ilmatorjunnan vuosikirja 1975
- 14) Tietojenkäsittelyliitto: Tietokoneiden valintamenetelmät, TKL, 1972
- 15) Pertti Järvinen: Johdatus operaatiotutkimukseen, Tietokoneyhdistyksen julkaisuja, numero 9 1970
- 16) Elias Järvineva: Ilmavoimien teknillisen huollon ajankohtaisista ongelmista, Sotilasaikakauslehti n:o 10 1965
- 17) Aarne Halme: Lentokaluston käyttö- ja huoltojärjestelmän simulointi sota- ja karttatarjoitusta varten, Helsinki 13. 4. -70