

Satelliittikuvaus ja sen sotilaallinen merkitys

Yleisesikuntamajuri Jyri Paulaharju

Varsin pian toisen maailmansodan jälkeen ryhdyttiin tutkimaan tekokuiden lähettämismahdollisuuksia sekä niiden käyttöä kuvausalus-
toina. Saksalaisten kehittämän kaukoraketin V-2:n yhteydessä oli jo
saatu tuntuma lähiavaruuteen sekä yläkorkeuksista tapahtuvan sotilaal-
lisen toiminnan mahdollisuuksiin. Alkuvaiheessa pyrittiin ratkaisemaan
asejärjestelmien kantorakettikysymys. — Varsinaihin satelliittikuvauk-
sen käytännön kokeiluihin päästiin kuitenkin vasta useita vuosia, lähes
pari vuosikymmentä myöhemmin, kantorakettien kehityttyä riittävän
tehokkaiksi ja palautusmahdollisuuden saatua käyttökelpoisen ratkai-
sun.

Maaliskuussa 1955 USA:n ilmavoimat yhteistuumin CIA:n kanssa
määrittivät toiminnalliset vaatimukset strategiselle tekokuuohjelmalle.
Tällöin olivat jo takanapäin lukuisat Vanguard-rakettikokeet.

Muutamaa vuotta myöhemmin, vuonna 1960 siirryttiin lopullisesti
tiedustelusatelliittien aikakauteen. Valtioiden takapihat saivat kurkis-
telijansa, joita toistaiseksi ei ole saatu sieltä karkotettua.

Satelliittikuvaus on paljon kehittynyt viimeisten kymmenen vuo-
den kuluessa. Maahan voidaan välittää kuvia lähes tosiasjassa, niiden

tarkkuus on moninkertainen verrattuna alkuaikojen otoksiin ja lisäksi kuvausmenetelmät toimivat usealla spektrin kaistalla samanaikaisesti.

Tutkittaessa satelliittikuvauksen mahdollisuuksia sotilaallisten toimintojen paljastamisessa on ensin perehdyttävä kuvausta ja sen tuloksia sääteleviin lainalaisuuksiin. Lisäksi ilmakehä ominaisuuksineen, säineen vaikuttaa olennaisesti kuvauksen onnistumiseen.

1. TIEDUSTELUKUVAUSSATELLIITTIIEN Kiertoradat

Tiedustelusatelliittien rata-arvot muodostavat ensimmäisen lähtökohdan tarkasteltaessa satelliittikuvauksen toimintaedellytyksiä ja -muotoja sotilaallisten ilmiöiden paljastajana.

Tekokuun radan määrittelyyn tietyn maanpinnan kohdan subteen tarvitaan useita perussuureita, näitä tekijöitä ovat kiertoradan liki- ja kaukopiste, radan kaltevuus päiväntasaajatasoon verrattuna, kiertoaika, lähtöpaikka sekä lähtöaika. Tiedustelusatelliittien kohdalla ei näitä kaikkia suureita ole saatavissa, eräissä tapauksissa on jo vaikeata arvioida onko lähteneeksi ilmoitettu tekokuu lainkaan sotilaallisia tarkoituksia palveleva. Käytettävissä olevien tietojen mukaan tiedustelukuvauksen erikoistuneitten tekokuitten radat ovat lievästi elliptisiä. Vuoden 1971 tilaston mukaan laadittu taulukko 1 kertoo nämä tosiasiat.

Taulukko 1 Tiedustelukuvaussatelliittien rata-arvoja

Maa	Tiedustelusatelliittien keskimääräinen	
	likipiste	kaukopiste
USA	139 km	400 km
NL	204 km	284 km

Tiedustelusatelliittien likipiste on muuttunut vuosien kuluessa. Alkuaikoina lyhin etäisyys maanpintaan oli keskeisarvona 160 kilometriä, tekokuuden ohjailtavuus on sallinut niiden toteuttaa välttämättömät ratamuutokset ja samalla elinikä on kasvanut.

Tekokuiden elinikä eli pysyminen suunnitellulla radalla vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan. Yleisvalvontaan suunnattu satelliitti voi pysytellä maapallon seuralaisena useita viikkoja. Eräät elektronisen tiedustelun tekokuut viipyvät avaruudessa vuosikausia. Kohdetiedustelua varten singotaan kiertoradalle tavallisesti satelliitti, joka muuttaman vuorokauden kuluttua palautuu kokonaan tai lähettää kapselin maahan.

Kolmas merkittävä ratasuure on kaltevuus, joka lasketaan päivän-tasaajasta. Kaltevuuden avulla on paikannettavissa tekokuun rata maapallon suhteen ja näin sitten voidaan arvioida alueellinen peitto. USA:n tiedustelusatelliitit ammutaan yleensä varsin jyrkälle radalle, suurin osa lähdoistä osuu polaarisele eli naparadalle. Kaltevuudet vaihtelevat 74° ... 110° välillä. Näin menetellen valvotaan lähes koko maapallon alaa. Neuvostoliiton Kosmokset kiertävät maapalloa kahdessa kaltevuustasossa, yli puolet lähtevät ratakaltevuudelle 55° ... 70° ja vain muutama Kosmos liikkuu yli 90° kaltevuudella. Ratakaltevuuden arvon sanelevat valvottavan alueen sijainti sekä eräät lentoon ja kapselin tai koko tekokuun palauttamiseen vaikuttavat tekijät.

Kuvaussatelliittien kiertoaika maapallon ympäri on yleensä hyvin lyhyt, vain 80 ... 95 minuuttia. Huolimatta lyhyestä kiertoaajasta ei yksi satelliitti ehdi vuorokauden aikana valvoa kovinkaan tehokkaasti koko maapalloa. Erään arvion mukaan tarvittaisiin koko maapallon pinnan peittävän tiedustelujärjestelmän luomiseksi lähes 100 jatkuvasti maata kiertävää tekokuuta. Tällöin olisi mahdollisuus saada tietoja mistä hyvänsä maapallon kolkasta 30 minuutin väliajoin.

2. KUVAKSEN PERUSTEKIJÄT

Satelliittikuvauksen perustekijät ovat pääasiassa samat kuin tavanomaisessa ilmakuvauksessakin. Tällaisia seikkoja ovat aluksen eli tekokuun liiketilasta aiheutuneet häiriöt, kuvauslaitteiston ominaisuudet, väliaineen eli tässä tapauksessa ilmakehän läpäisystä aiheutuvat ilmiöt sekä erittäin olennaisena suursäätila vaihteluineen.

Merkittävien tekijöiden täsmällistä luonnetta ei ole toistaiseksi onnis-

tuttu kauttaaltaan määrittämään, etenkin säätilan vaikutus on hyvinkin yllätyksellistä sekä paikallisesti että ajallisesti.

Avaruudesta maahan suuntautuva kuvaus joutuu myös painiskelemaan sellaisten tekijöiden kuin maanpinnan kaarevuuden kanssa.

2.1 Tekokuun liiketilan aiheuttamat häiriöt

Huolimatta lennostaan ilmakehän välittömien vaikutusten ulottumattomissa aiheutuu avaruusaluksessa kaikenlaisia ratavakavuutta häiritseviä liiketiloja. Muistettaneen vielä miehitettyjen avaruuslentojen alkuaikoina havaitut kiertoliikkeet sekä alusten miehistöjen maininnat epämiellyttävistä värähtelyistä.

Pääasiallisimmat kuvaukseen vaikuttavat liikkeet ovat kallistelu, pituuskallistelu sekä kiertyminen. Kuviin nämä ilmiöt aiheuttavat usein vaikeasti tulkittavia virhekuvioita ja poikkeamia. Erityisesti juovituskameroiden näytössä ilmenevät nämä avaruusaluksen häiriötilat voimakkaina. Näiden virheiden kokonaisvaikutusta satelliittien ottamissa tiedustelukuvissa ei tarkoin tiedetä, mutta mikäli vertailukohtana pidetään tieteellisten satelliittien ottamia kuvia, on häiriöiden osuus merkittävää suuruusluokkaa. Esimerkiksi ERTS-tutkimussatelliitin sallituiksi häiriömääräksi kallistelun ja kiertymisen yhteydessä on määritetty $0,7^\circ$.

Korkeuden eli tässä yhteydessä etäisyyden satunnaiset tai systemaattiset muutokset maan pinnan suhteen häiritsevät myös kuvausta. Syntyvän virheen suuruus määrittyy satelliitin käyttötarkoituksen mukaan mutta esimerkiksi tieteellisessä ERTS-tekokuussa tapahtuu lennon aikana etäisyyden muutoksia 50 kilometrin toleranssilla.

Perättäiset kierrokset maapallon ympäri eivät osu saman kohteen ylle, maapallon kiertoliike aiheuttaa sen, että peitto osuu aina eri kohdalle. Erityisesti naparadalle liikkuvalla satelliitille tapahtuu niin, että vain määrävälein, usein pitkänkin ajan kuluttua ollaan saman kohteen päällä. Tällöin tulee kyseeseen myös kyky osua täsmälleen samalle radalle, senkin toleranssi liikkuu useiden kilometrien suuruusluokassa. Tätä liikkumaa voidaan kuitenkin korjailta ohjailemalla satelliittia apuraketeilla, tosin vain tietyn rajoituksen ja edellytyksin.

2.2. Kuvauslaitteistot ja -menetelmät

Tiedustelukuvaussatelliittien kuvausjärjestelmistä ei ole saatavissa kovinkaan yksityiskohtaisia rakenne- ja menetelmätietoja. Näin ollen seuraavassa tarkastelussa joudutaan jossain määrin olettamusten varassa muodostamaan kuvausteknillinen kokonaisnäkemys.

Valokuvaus on yhä edelleen päämenetelmä myös avaruudessa. Tosin nykyisiin valokuvauslaitteistoihin kytkeytyy suuri joukko monimutkaisia elektronisia kuvankehitys- ja välityskojeistoja. Valokuvauksen ohella käytetään tekokuissa tiettävästi termistä sekä televisioperusteista kuvausmenettelyä. Useimmissa tiedustelutekokuissa mainitaan myös olevan sivuviistotutkalaitteita.

Optisen kuvanmuodostuksen perustekijöinä nousevat esiin objektiivin halkaisija- sekä polttovälilyksymykset. Näiden suureiden avulla on sitten määritettävissä valokuvauksellinen erotuskyky, seikka, joka osaltaan ilmaisee kuvantulkinnan mahdollisuudet. Tutkimuksessa käytetään eräänä kuvantulkinnallisenä arviointimittana maaerotusarvoa, joka on pienin maanpinnalla erotettavissa oleva kohteen mitta. Optisten laitteiden erotuskykytarkasteluissa on mittayksikkönä puolestaan viivaa/mm tai jaksoa/mm.

2.2.1. Objektiivin halkaisija ja maaerotusarvo

Satelliittikuvauksen alueella vallitsevat samat optiset lainalaisuudet kuin muussakin kuvauksessa. Eräs perustavaa laatua oleva käsite on objektiivin halkaisija, joka on vaikuttavana tekijänä erotuskyvyn lausekkeessa:

$$\theta = \frac{1,22}{D} \lambda, \text{ jossa } \begin{array}{l} \theta = \text{kulmaerotusarvo} \\ \lambda = \text{aaltopituus} \\ D = \text{objektiivin läpimitta} \end{array}$$

Yhtälö on saatettu kuvassa 4 nomogrammin muotoon jatkotarkastelujen helpottamiseksi. Samaan viivastoon on liitetty myös maaerotusarvon määrittämiseen tarvittavat apuviivat.

Nomogrammin avulla on sitten laadittu taulukko 2, joka esittää numeerisina arvoina objektiivin halkaisijan ja maaerotusarvon keskinäisen suhteen kuvauskorkeuden (h) ollessa parametrina.

Taulukko 2 Objektiviin halkaisija ja maaerotusarvo

Maaerotusarvo		Kulmaerotusarvo (kulmasekunti)	Objektiivin halkaisija (cm)
h = 200 km	h = 37000 km		
0,08	5	0,03	400
0,09	10	0,06	200
0,12	20	0,12	100
0,23	40	0,23	50
0,30	50	0,30	40
0,45	80	0,48	25
0,70	120	0,80	15

Objektiivin halkaisijan arvo asettaa täten tärkeän teoreettisen raja-arvon erotuskyvyille. Kulloinkin kyseeseen tulevaa raja-arvoa tarkempaa erotuskykyä ei siis optisessa kuvausmenetelmässä ole mahdollista saavuttaa. Ilmiö perustuu valon taipumiseen pyöreässä aukossa.

Tällä hetkellä käytännöllisenä aukon maksimiarvona pidetään 100 cm:iä. Perustutkimusten yhteydessä on kuitenkin kokeiltu huomattavasti mittavampiakin objekteivejä mutta lähinnä kustannus- ja valmistusteknilliset seikat ovat estäneet tiettävästi niiden laajemmat sovellutukset tiedustelusatelliittiohjelmiin. Tuskinpa kertakäyttöluonteisiin tiedustelusatelliitteihin asennetaan tuhoutumaan tuomittuna ylettömän kalliita, mittavia objektiivirakenteita.

Objektiivin halkaisijaan kytketty erotuskyvyn raja-arvo saavutetaan harvoin todellisuudessa, lopulliseen käytännössä ilmenevään kokonaiserotuskykyyn sisältyvät näet vielä sellaiset vaikuttajat kuin linssistön ja filmin ominaiserotuskyvyt sekä ilmakehä säineen ja epäpuhtauksiin.

2.2.2. Polttoväli ja suhteellinen aukko

Ennen varsinaista polttovälin pituuden arviointia on syytä tarkastella suhteellisen aukon ja polttovälin keskinäistä suhdetta. Varsinaisesti tämä käsite on yhdistettävissä objektiivin aukon halkaisijaan etenkin silloin kun käytetään teleskooppia (peiliobjektiveja). Objektiivin

himentimen aukon halkaisijan ja polttovälin keskinäistä suhdetta kutsutaan suhteelliseksi aukoksi. Suhdelukua nimitetään usein myös valovoimaksi.

Yhtälönä polttovälin ja suhteellisen aukon keskinäinen suhde ilmaistaan seuraavasti:

$$\frac{1}{F} = \frac{f}{D}, \text{ jossa } F = \text{suhteellisen aukon numeroarvo}$$

$$f = \text{polttoväli}$$

$$D = \text{objektiivin läpimitta}$$

Yhtälö on esitettävissä myös graafisena viivastona. Seuraava taulukko on muodostettu keskimääräisten ja maksimaalisten arvojen mukaisesti viivaston perusteella:

Taulukko 3 Polttoväli ja suhteellinen aukko

Polttoväli (cm)	Suhteellinen aukko (maksimi)	Suhteellinen aukko (käytännöllinen keskiarvo)
30	0,5	2 ... 3,5
40	1,0	2,8 ... 6,3
50	2,0	6,3 ... 8
75	4,5	6,3 ... 11
100	4,5	8 ... 17
200	5,6	11 ... 32
300	8,0	16 ... 32
3000	32	32 ... 64

Suhteellisen aukon teoreettisia maksimiarvoja ei ole todettu käytännössä. Peilijärjestelmissä, joissa kyseessä on vain yksi ainoa aukkoarvo, on yleensä vastaavan polttovälin omaavia linssiobjektiveja alhaisempi aukkoarvo.

Suhteellisella aukolla on olennainen merkitys määrittäessä satelliittikuvauksen erotuskykyä sekä toisaalta valittaessa soveliainta kuvakokoa ja polttoväliä avaruuden oloihin. Esimerkiksi haluttaessa laskea mikä kuvakoko vaaditaan silloin kun mittakaava on 1:1000000, kuvattavan alueen sivun pituus maanpinnalla 100 km, päädytään 100 mm:n mittaiseen kuvasisuun (kuva 5). Tämä vuorostaan tietää sitä, että käyt-

tettävä filmileveys tulisi olla vähintään 114 mm eli 5". Toisaalta edellä oleva mittakaava käytettäessä erotuskyvyn arvona 50 viivaa/mm merkitsee 20 metrin maaerotusarvoa (kuva 6). Tämä maaerotusarvo edellyttää vuorostaan vähintään $f/6,3$ suhteellista aukkoa. Näin päästään sitten taulukko 3 avulla siihen tulokseen, että tässä tapauksessa kyseeseen tuleva polttoväli on keskimäärin 40...50 cm.

2.2.3. Kuvaliikkeen tasaus

Satelliitin liikkeessa kuvauslaitteineen maanpinnan suhteen koko ajan, myös valotuksen aikana tapahtuu siirtymää. Mitä suurempi kulmanopeus on maanpinnan suhteen ja toisaalta mitä pidempi polttoväli on sen suurempi on tämä liikkuma. Sama ilmiö esiintyy tavanomaisessa ilmakuvauksessa erittäin olennaisena. Liikkeen kuvalla aiheuttamaa epäterävyyttä pyritään poistamaan ns kuvaliikkeen tasausmenettelyllä. Joissakin kameroissa se on järjestetty siten, että filmi liikkuu valotuksen aikana kuvaliikkeen suuntaan ja samalla nopeudella. Eräissä muissa ratkaisumalleissa käytetään optista tasausta, tällöin filmi pysäytetään valotuksen ajaksi pyörivien prismojen huolehtiessa korjauksesta.

Satelliittiradalla, erityisesti suhteellisen alhaalla kiertävien ja pitkäpolttovälisen kuvausvarustuksen omaavien tiedustelusatelliittien kohdalla on huomioitava kuvaliikkeen tasaus. Esimerkiksi jos tekokuun etäisyys maanpinnasta on 200 km, nopeus radalla $7,8 \text{ kms}^{-1}$, kameran polttoväli 6 metriä, on kuvaliike peräti 22 cms^{-1} . Mikäli kuvaliikkeen tasausmenettelyä ei käytettäisi lainkaan, edellyttäisi se kameralle valotusajaksi 1/1000 sekuntia. Tällöin vielä liike-epäterävyys on sallituissa rajoissa. Maanpinnan valoisuus ei kuitenkaan mahdollista kyseisen valotusajan käyttöä eikä myöskään ole suotavaa nostaa filmin herkkyttä, silloinhan kuvaksen rakeisuus muuttaa lopputuloksen lähes käyttökelvottomaksi. Kuvassa 7 on käyrästä sallitun kuvaliikkeen määrästä erotuskyvyn funktiona. Käyttämällä lyhytpolttovälistä kameraa avaruudessa voidaan kuvaliikkeen vaikutus tietenkin eliminoida lyhyellä valotusajalla, mutta tällöin joudutaan tekemisiin varsin pienen kuvauskaavan kanssa, seikka, joka tiedustelukuvauksessa ei aina ole toivottua.

Kuvaliikkeen tasauslaitteistot nostavat joka tapauksessa kamera-varustuksen kokonaiskustannuksia ja samalla monimutkaistavat rakennetta lisäten siten häiriön ilmenemismahdollisuutta.

2.2.4. Polttoväli ja mittakaava

Tiedustelusatelliittien kameroiden objektiivien polttoväliarvoja ei ole ilmoitettu eikä niiden muistakaan ominaisuuksista muutenkaan ole yksityiskohtaisia tietoja saatavissa. Tarkastelemalla edellä esitettyjä teknillisiä näkökohtia objektiivin halkaisijan luonnetta, suhteellisen aukon vaikutusta ja kuvaliikkeen tasausmenettelyä sekä vertaamalla saatuja arvioita eri yhteyksissä ilmenneisiin osatietoihin voidaan kuitenkin päätyä tiettyyn polttoväliluokitukseen.

Yleisvalvontaan tarkoitetuissa tiedustelusatelliiteissa tultaneen toimeen kuvauslaitteilla, joissa on lyhyt polttoväli. Ilmeisesti riittävän tarkan lopputuloksen tuottaa polttoväliltään 460...610 mm maksimipituuden omaava kameravarustus. Tällaisia kameroita käytetään teollisissa tekokuissa ja tuskinpa yleensä kertakäyttöperiaatteella toimivaan tekokuuhun kannattaa sijoittaa muita kuin vakioituja ja siten suhteellisesti halpoja kuvauslaitteita. Kohdekuvauksiin käytettäneen pitkiä polttovälejä. Näidenkin mitoissa on pysyttävä kohtuudessa. On perusteltua otaksua, että keskimääräiset polttoväliarvot kohdekuvaussatelliittien laitteissa liikkuvat 200...300 cm välillä, pisimmät lienevät 6...7 metrin luokkaa. Kuitenkin erään lähteen mukaan kokeiltavana USA:ssa olisi 18, 24,4 ja jopa 100 metrin polttovälin omaavia kuvauslaitteita. Tieto ei kuitenkaan mainitse missä yhteydessä tällaisia jättiläisputkia sitten käytettäisiin. Lienee niin, että nämä ylipytkät teleskoopit ovat satelliiteissa, jotka ovat synkronoidulla radalla eli pysyvät paikoillaan jonkin maanpinnan kohdan suhteen. Tällöin kiertorata on 30000...36000 kilometrin etäisyydellä maanpinnasta. Tällaisten tekokuiden elinikä on laskettavissa vuosissa ja vuosikymmenissä.

Jossain määrin polttovälipulmaa helpottaa filmien parantunut erotuskyky. Käytettäessä suhteellisen hitaita ja hienorakeisia tai lähes rakeettomia kuvaksia, voidaan kuvausmittakaavaa pitää suhteellisen pienenä.

Mittakaava, joka muodostuu optisia menetelmiä käytettäessä polttovälin ja kuvausetäisyyden välisenä suhteena, määrittää samalla kuvan tiedustelullisen merkityksen. Tiedustelukuvaussatelliittien keskimääräisenä kuvausmittakaavana mainitaan usein sellaiset suhteet kuin 1:40000...1:60000. Tämä edellyttäisi tavanomaisella etäisyydellä kiertävältä tiedustelusatelliitilta n 250 cm polttovälin omaavaa kameraa. Edelläesitetyt mittakaavat ovat samaa suuruusluokkaa kuin tavanomaisessa ilmakuvauksessa syntyvät korkeakuvauksen tuotteet. Näitä kuvia on muun muassa kartoituksen ja tieteellisen tutkimustoiminnan käytössä hyvinkin paljon.

Kuvausmittakaavat sellaisenaan eivät kerro koko totuutta. Vertailu kuvantulkinnan vaatimiin minimimittakaavoihin antaa vasta perusteet jatkotarkasteluille. Erään lähteen mukaan tarvitaan vähintään taulukko 4:ssä esitetyt kuvausmittakaavat tiettyjen kohteiden tunnistamiseen ja yksityiskohtien tulkintaan:

Taulukko 4 Kvantulkinnan minimimittakaavoja

Kohdelaji	Tunnistaminen	Yksityiskohtien tulkinta
Moottoroitu joukko	1:10000	1:5000
Panssariyksikkö	1:5000	1:2000
Puolustusjärjestelyt	1:10000	1:5000
Kenttätykistö	1:10000	1:5000
Rannikkotykistö	1:20000	1:5000
Laivastotukikohta	1:60000	1:10000
Rautatiet	1:60000	1:10000
Teollisuuslaitokset	1:20000	1:10000
Tiestön tutkimus	1:60000	1:10000
Lentokentät	1:60000	1:10000

On muistettava, että alkuperäinen otos on vielä suurennettavissa eli sen mittakaavaa voidaan muuttaa suurestikin ennen tulkintaa tai sen kuluessa. Tämä toimenpide ei tuo kuitenkaan lisää perustietoutta kuvaan, se vain tuo piilossa olevan yksityiskohdan näkyviin tiettyyn raja-arvoon saakka.

Voidaan näin ollen todeta, ettei kuvausmittakaavaltaan pienikaavai-

nen valvontakuvaus selvittää kovinkaan pieniä yksityiskohtia. Pitkämpöväliä kuvauslaitteita käytettäessä saadaan tulkintaan pieniäkin yksityiskohtia, mutta tällöin joudutaan sitten entistä enemmän avauskulman ja maapeiton kanssa tekemisiin.

2.2.5. Avauskulma ja maapeitto

Yksittäisen kuvan käsittämä maa-ala on laskettavissa vaivatta tunnettaessa kuvaruudun mitat. Taulukossa 5 on esitetty eräitä laskettuja vertailuarvoja:

Taulukko 5 Maapeittoarvoja

Kuvaruutu (tuumia)	Maapeitto (km ²)		Polttoväli (tuumia)
	Kuvauskorkeus h = 160 km	Kuvauskorkeus h = 320 km	
4,5 × 4,5	220	1010	48
4,5 × 4,5	20	250	100
4,5 × 4,5	0,4	2,5	1000

Avauskulman osalta tilanteen selvittää parhaiten kaavio, jossa muuttujina ovat polttoväli ja avauskulma sekä parametreinä kuva-alat eli kuvaruudun mitat.

3. ILMAKEHÄN VAIKUTUS JA PILVISYYS

Satelliittikuvauksen lopputulokseen vaikuttaa merkittävästi ilma-kehä erilaisine ilmiöineen. Maapallon ilmakehän taivattavat, absorboivat sekä sironnalliset tekijät voivat suuresti muuttaa muuten kelvollista otosta. Kohteen ja auringon säteilyn välinen kulma osaltaan sinetöi heijastumisen määrän, kohteen ja sen taustan väliset säteilyerot, kontrastit tuovat omat tekijänsä mukaan satelliittikuvaukseen.

Säteilyn kulkuun ja sen vaimenemiseen varsinaisessa ilmakehässä vaikuttaa pääasiassa kolme eri tekijäryhmää, jotka ovat:

- ilmakehän molekulaaristen ainesten aiheuttama absorptio,
- udun, sumun tai pilvipartikkelien aiheuttama sironta sekä
- ilmamolekyylien aiheuttama sironta.

Näistä absorptio ilmenee spektrin osalla paikoittaisena. Eräiden aaltopituuksien kohdalla tapahtuu lähes täydellistä imeytymistä, toisten aaltoryhmien puolestaan läpäistessä ilmakehän lähes heikentymättömänä. Kuvauslaitteistot ja -menetelmät on tietenkin mitoitettu toimitaan juuri läpäisykaistojen eli avaruuden ikkunoiden alueella.

Sironta muodostaa vaikean pulman kaikessa kuvauksessa, niin myös satelliittikuvauksessakin. Sironta estää esimerkiksi valokuvauksen pilvien, sumun sekä sateen läpi. Sironta, jonka vaikutusaste kytkeytyy ilmakehässä olevien hiukkasten kokoon ja käytettävään aaltopituuteen ei tietyissä oloissa mahdollista myöskään infrapunasäteilyn tehokasta käyttöä.

Ilmakehän pyörteisyys eli turbulentsisuus, joka tavanomaisessa kuvauksessa näyttelee merkittävää osaa, ei satelliittikuvauksessa ole varteenotettava tekijä. Teoreettisissa tarkasteluissa asiaa voidaan tietenkin käsitellä, mutta käytännön kuvauksessa se on merkityksetön.

Sitä vastoin valonsäteen taipuminen ilmakehässä aiheuttaa tarkkaa kuvanmittausta ajatellen varteenotettava tekijän. Kuvassa 9 on kaavio refraktiosta. Taipuminen aiheuttaa kohteen todellisen sijainnin siirtymisen kuvalla. Erityisen merkittävä tämä häiriö on avaruusgeodesian tehtävissä ja myöskin silloin kun tiedustelukuvien perusteella tapahtuu tarkkoja paikanmäärityksiä.

Pilvisyys on sitten se tekijä, joka viime kädessä antaa silauksen satelliittikuvauksen onnistumiselle. Pilviverhon läpäisee ainoastaan pitkäaaltoinen kuvaus kuten tutka- ja passiivinen mikroaaltokuvaus. Näiden menetelmien käyttöönotto on kuitenkin vasta alkamassa ja kuten aiemmin todettiin niiden erotuskyky ainakin toistaiseksi on huomattavasti valokuvausjärjestelmää alhaisempi.

Valo- ja lämpökuvauksen onnistuminen edellyttää kohdealueella pilvettömyyttä. Mikäli ylilennon aikana alue on pilviverhon peitossa, joudutaan suorittamaan uusi ohitus paremmissa oloissa ja se taas vie aikaa. Dieter Steiner on laatinut NASA:n tilastojen perusteella taulukon (taulukko 6), jossa pilvisyysuhteen perusteella voidaan arvioida montako yllentoa tarvitaan täydellisen kohdepeiton saavuttamiseksi.

Taulukko 6 Todennäköisyys menestyksellisen kohdepeiton saavuttamiseksi pilvipeiton ja ylilentojen määrän funktiona

Pilvipeitto (%)	Onnistumisen todennäköisyys ylilentojen funktiona							
	1	2	3	4	5	10	20	30
10	0,90	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	0,80	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30	0,70	0,91	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
40	0,60	0,84	0,94	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00
50	0,50	0,75	0,88	0,94	0,97	1,00	1,00	1,00
60	0,40	0,64	0,78	0,87	0,92	0,99	1,00	1,00
70	0,30	0,51	0,66	0,76	0,83	0,97	1,00	1,00
80	0,20	0,36	0,49	0,59	0,67	0,89	0,99	1,00
90	0,10	0,19	0,27	0,34	0,41	0,65	0,88	0,96

Vertailun vuoksi taulukoituna (taulukko 7) Suomen alueen keskimääräiset pilvisyysarvot:

Taulukko 7 Pilvisyys Suomessa koko vuoden keskiarvoina

Paikka	Pilvisyysprosentti
Inari	62 %
Sodankylä	74 %
Oulu	74 %
Kajaani	70 %
Jyväskylä	65 %
Kuopio	68 %
Tampere	65 %
Turku	65 %
Helsinki	68 %
Vaasa	58 %
Koko maan keskiarvo 65 %	
Alhaisin arvo kesäkuussa, joka sekkin on yli 50 %, korkein arvo joulukuussa, yli 80 %.	

Taulukon perusteella voidaan todeta, että mikäli Suomen alueella suoritetaan suurikaavaista satelliittikuvausta, joudutaan tekemään ylilentoja noin 20, jotta täydellinen kohdepeitto saavutettaisiin.

4. KOKONAISEROTUSKYKY JA KONTRASTI

Tavanomaisesti ymmärrettynä kokonaiserotuskyky koostuu vain objektiivin ja filmin tietyllä tavalla yhteenlasketuista ominaiserotuskyvyistä. Kuitenkin nykyisen käsityksen mukaan nämä tekijät eivät yksinään riitä, kokonaiserotuskykyyn tarvitaan huomattavasti enemmän. Niinpä siihen lasketaan kuuluvan käsitteet kontrasti, kuvaliike, kuvausjärjestelmän sisäinen erotuskyky, ilmakehä ominaisuuksineen. Myös tietyssä määrin otetaan mukaan kuvantulkintatulokset.

Erotuskyky ilmaistaan kuten jo aiemmin on todettu, kahdella eri tavalla. Peruslaskelmissa käytetään mielellään yksikkönä viivaa tai jaksoa/millimetri. Käytännön tuloksia ilmoitettaessa turvaudutaan tavalisesti maaerotusarvo-käsitteeseen.

Toisen maailmansodan päättyessä arvioitiin kokonaiserotuskykyyn olevan 12 viivaa/millimetri. Tämä voidaan ilmaista myös maaerotusarvona vertaillen samalla nykyisin mahdollisuuksiin. Esimerkiksi jos U-2 ilma-aluksella suoritettussa korkeakuvauksessa (21000 m) käytettäisiin toisen maailmansodan aikaisia kameroita ja filmejä, maaerotusarvo olisi n 2...3 m. Nykyisillä kameroilla ja filmeillä saavutettaisiin sitä vastoin 0,8...0,9 m maaerotusarvo. Tiedustelusatelliittien alkuaikoina arvioitiin saavutettavan suotuisissa oloissa 12...15 metrin maaerotusarvoja. Vuonna 1960 ilmoitti Amron Katz kirjoituksessaan, että oli onnistuttu rakentamaan satelliittikamera, joka tuotti 100 viivaa/mm erotuskyvyn. Käytännössä tämä merkitsi 0,75 m:n maaerotusarvoa. Nykyisille tuolloista alhaisemmillä kiertoradoilla toimiville tiedustelutekokuille tämä merkitsee alle 0,3 m:n erotusarvoa. Onko tällaisia lukemia sitten saavutettu käytännössä, on toistaiseksi tietymätöntä. Ilmeisesti ei, koskapa muutamaa vuotta myöhemmin mainittiin satelliittikuvauksen tavoitteena olevan 1,5 metrin maaerotusarvon saavuttaminen.

Viime vuonna tosin ilmoitettiin jälleen uuden tiedustelusatelliitin Big Birdin kuvauslaitteiden tuottavan äärimmäisillä rajoilla olevia maaerotusarvoja. Kyseessä on nähtävästi edelleen vain teoreettinen laskelma, käytännön lukemat tuskin näillä alueilla vielä liikkuvat.

Tiedustelusatelliittien muu kuvausvarustus, kuten termiset kamerat sekä televisio- ja juovituslaitteet ovat erotusarvoiltaan huomattavasti

huonompia verrattuna valokuvauksellisiin keinoihin. Termisen kameran maaerotusarvoksi mainitaan erään tiedon mukaan 3 metriä, joka ilmaisee nähtävästi vain erittäin voimakaskontrastisen tilanteen. Käytännön saavutukset liikkunevat vielä kymmenissä metreissä.

Televisio- ja juovitusmenetelmien tarkat, todelliset maaerotusarvot eivät ole tiedossa. Mikäli käytetään vertailu- ja lähtökohtana tieteellisissä satelliiteissa olevien vastaavien laitteiden arvoja, voidaan muodostaa seuraava keskinäinen paremmuusjärjestys suhdelukuina:

Taulukko 8 Erilaisten kuvausmenetelmien suhdeluvut erotuskyvyn ja kontrastin funktiona

	Kontrastisuhde 1000:1	Kontrastisuhde 1,6:1
— valokuvausmenetelmä	suhdeluku 0,7	0,6
— televisio (vidicon)	suhdeluku 2,2	2,4
— monispektrijuovitusmenetelmä	suhdeluku 2,8	3,0

Huom; mitä pienempi on suhdeluku, sen parempi erotuskyky.

Kohteen havaittavuus määrittyy olennaisesti kohteen ja sen ympäristön välisen säteilyeron (heijastuksen) suuruudesta. Valokuvauksen ollessa kyseessä tällä sävyerolla, kontrastilla tarkoitetaan tavallisesti valoisuuseroja. Näkyvän valon heikkeneminen ilmakehässä on näin ollen eräs perustavaa laatua oleva tekijä tutkittaessa kontrastikysymystä satelliittikuvauksessa.

Kontrastin heikkeneminen on parhaiten esitettävissä erään tehdyn kokeen tulosten perusteella (taulukko 9).

Taulukko 9 Kontrastin heikkeneminen

Kohdelaji	Kontrastiarvo maanpinnalla	Avaruudesta mitattu kontrasti	Heikkenemis- kerroin
Kuiva sora- maantie ha- vumetsässä	0,85 (6,6:1)	0,69	0,81
Puurakennus lehtimetsässä	0,25 (1,3:1)	0,15	0,60

Kontrastin ja havaittavuuden välinen suhde on esitetty taulukossa 10. Huomattakoon, että taulukon sisältämät arvot osoittavat vain teoreettisen lähtökohdan eivätkä aivan sellaisenaan toteudu käytännön kuvauksessa ja kuvantulkinnassa.

Taulukko 10 Kontrasti ja havaittavuus

Kontrasti	Kohteen havaittavuus
1000:1	1,0
6,3:1	0,8
4,0:1	0,6
2,0:1	0,4
1,6:1	0,3
1,2:1	0,2

Maanpinnan yleinen kontrastiarvo avaruudesta katsottuna ja mitattuna on varsin alhainen, 6,6...1,2:1. Kohde saattaa ulottuvuuksiensa puolesta olla havaitsemiskelpoinen mutta kuitenkin sitä ei löydetä kuvantulkinnassa. Tämän ilmiön aiheuttaa useimmiten loivakontrastisuus. Jos kontrastiarvo on korkea, maali tunnistetaan melko helposti, jos taas kontrastiarvo on alhainen ei pintavaakaan kohdetta löydetä. Sotilaallisia laitteita maastoutettaessa pyritään aina asianomainen kohde myös sulauttamaan kontrastiltaan mahdollisimman laajaspektrisesti ympäröivään maastoon. Eikä sitä sitten löydetä parin sadan metrin korkeudestakaan tähytellen.

5. KUVATTUJEN FILMIEN PALAUTUS SEKA KUVANVALITYS

Tiedustelusatelliittien ottamien kuvien palautus eli toimittaminen kehitysprosessiin ja tulkintaan muodosti tekokuiden alkuaikoina melkoisia vaikeuksia. Ensimmäiset avaruudessa kuvatut filmit palautettiin lähes koko tekokuun kanssa takaisin maanpinnalle. Sittemmin palautus käsitti vain filmikasettiosan eli kapselin. Nykyiset tiedustelutekokuut pystyvät toimittamaan valotetut filmit maahan useilla kapseleilla, näin satelliitti voi jatkaa pitkäänkin tehtävänsä. Mainitaan, että amerikka-

lainen kohdetekokuu voi lähettää jopa kuusikin kapselia, joista kukin painaa n 135 kg.

Neuvostoliitto palautti maahan tiettävästi varsin pitkään koko-kuvausosan satelliitista. Tämä menettely aiheutui ehkä pyrkimyksestä saada kameravarustus uudelleen käyttöön. Tekokuiden havaintoasemat ovat kuitenkin viime vuosina havainneet neuvostoliittolaisten tiedustelusatelliittien jakautuneen radallaan eli ilmeisesti palauttaneen tuolloin kapselin maahan.

Kapselin palautus maanpinnalle voi tapahtua esimerkiksi seuraavalla tavalla. Kameroiden kuvaama filmi siirtyy käyttökaseteista filmiratoja pitkin keskuskasettiin eli varastokapseliin. Satelliitin tehtävän päätyttyä irroitetaan tekokuusta kasettiosa paluuraketteineen. Kääntymis- ja oikaisuoperaation jälkeen irroitetaan paluurakettiosa varsinaisesta kapselista. Tietyllä korkeudella automaattisesti avautuvan laskuvarjon varassa kapseli laskeutuu maahan, mereen tai sitten se siepataan ilmakehän alemmissa osissa lentokoneen vetämällä haavimaisella lenkillä. Alkuaikoina sattui palautuksissa runsaasti epäonnistumisia. Paluuohjaus ei aina toiminut toivotulla tavalla ja näin saattoi laskeutuminen tapahtua useita kymmeniä ellei peräti satoja kilometrejä syrjään suunnitellusta tulopaikasta. Euroopassa liikkui 1960-luvulla tarinoita kokonaan toiseen valtakuntaan pudonneista tiedustelusatelliittien kapseleista.

Miksi filmit on palautettava takaisin maahan, eikö esimerkiksi televisiotekniikka mahdollista riittävän tarkkaa kuvausta? Kuten jo kokonaiserotuskykyä tarkasteltaessa todettiin, on valokuvaus yhä edelleen tarkin ja myös kustannuksiltaan edullisin kuvausjärjestelmä. Lisäksi se on suhteellisen monipuolinen jatkotarkasteluakin ajatellen. Mutta jo yksinomaan valokuvien korkea erotuskyky on riittävä peruste rakentaa tiedustelusatelliitteihin palautusmekanismi.

On selvää, että kuvattujen filmien palauttaminen takaisin maanpinnalle prosessoitavaksi ja tulkittavaksi vie kuitenkin aikaa. Tekokuu kuvaa ja vaeltelee radallaan maapallon tuntumassa mutta maassa ei tiedetä mitään sen ottamista näkymistä. Ja usein on välttämätöntä saada nopeasti edes jonkinlaisia yleiskuvia joltain kriisialueelta. Tämän pikatiedon saamiseksi on kehitelty useitakin erilaisia kuvanvälityslaitteistoja. Kenties tunnetuin näistä on tavanomaisen kuvatun filmin peruslaborointi satelliitissa lennon aikana sekä valmiiden kuvien signaalointi

juovittamalla maa-asemalle. Tässä menettelyssä valotettu filmi saateetaan kuvauksen jälkeen tiiviiseen yhteyteen erityisen kehitenauhan kanssa. Kehitefilmin ja alkuperäisen kuvauksen kesken alkaa nyt diffuusioon perustuva kemiallinen tapahtuma, jonka lopputuloksena syntyy kehitetty negatiivi sekä kehitefilmiin muodostuu positiivinen kuultokuva. Alkuperäinen negatiivi ajetaan kojeiston kuivausosan läpi juovituspään kohdalle. Juovituspiste, esimerkiksi laserin aikaansaama kulkee hyvin taajaan filminauhan poikki limittäen samalla aina edellistä juovaa. Vastapäätä pistettä, negatiivin toisella puolella on valomonistinkenno, jossa filmin tiheyden muutokset ilmenevät ja rekisteröityvät saapuvan valon voimakkuuksina, muutetaan sähkösignaaleiksi sekä vahvistettuna lähetetään maa-asemalle. Täällä lähete puretaan ja muodostetaan kuva kokoon jälleen juovittamalla. Esimerkin kaltainen laitteisto oli käytössä mm kuuluotaimissa.

Edellä esitetyn kaltaisen tekokuukehittaisen kuvanvälityksen heikkoina kohtina ovat epäilemättä juovitus sekä signaointi. Varsinainen kehitysprosessi lienee suhteellisen häiriötön. Signaointihäiriöt ovat niitä tekijöitä, jotka muuttavat maa-asemalle muodostuvaa kuvaa eniten. Juovia jää välistä pois, katkeaa kesken piirron tai sitten syntyy vinoutunutta juovitusta.

Eräs mielenkiintoinen ja sangen käyttökelpoinen kuvanmuodostus- ja välitysjärjestelmä on vidicon-perusteinen juovituskamera. Tässä menettelyssä vidicon-kuvaputken valoherkälle pinnalle syntyvä kuva juovitetaan heti eräänlaisen suljinvaiheen jälkeen. Näyttö siirretään videosignaalina maa-asemalle muodostettavaksi uudelleen näkyväksi kuvaksi. Tällainen laite on käytössä muun muassa tieteellisessä ERTS-1 satelliitissa nimellä RBV-kamera (Return Beam Vidicon). Liittämällä vidiconkameroita sarjaan siten, että kukin toimii vain tietyllä spektrin kaisalla, voidaan maassa myöhemmin valmiita kuvia yhdistelemällä aikaansaada väri- sekä väri-infravalkutteisia lopputuloksia. Nämä kokoomakuvat voidaan synnyttää elektronisissa tulkintalaitteissa, myös tavanomainen värivedostustekniikka tuottaa tuloksia. Värilliset yhdistelmät ovat osoittautuneet erittäin sopiviksi tukittaessa maan luonnonvaroja, ne soveltuvat näin ollen myöskin naamioidujen alueiden tulkintaan.

Elektroniseen kuvanmuodostukseen kuuluu seuraavakin nopeavälitteinen kuvausjärjestelmä. Pyörähtävään peiliin sekä joukkoon ilmaisi-

mia perustuva monispektrikamera (MSS = Multispectral System) kuvaa samanaikaisesti useilla spektrin kaistoilla. Pyörivä peili jakaa tulevan säteilyn erityisille ilmaisimille eli antureille, joiden tuottamat signaalit sitten lähetetään vastaanottoasemalle uudelleen näkyviksi kuviksi pyyhkäistäviksi. Kuvassa 12 on kaaviona tieteellisessä tekokuussa ERTS-1:ssä kiertävä monispektrikamera. Siinä on nyt käytössä 6 kanavaa mutta määrää voidaan nostaa huomattavasti.

Vidicon- ja monispektrikameran heikkoudet ovat suurelta osalta samat kuin aiemmin esitetyn tekokuukehitteisen juovitusmenettelyn. Viestintähäiriöt muodostavat ilmeisesti olennaisen kuvaa muuttavan tekijäryhmän.

Huomattava tekijä kaikessa satelliittikuvauksessa on vielä käsittelemättä. Se on energia. Ainakin julkisuudessa esitettyjen tietojen mukaan energialähteen ehtyminen on aiheuttanut useiden tekokuiden ennenaikaisen käyttökelvottomuuden. Energiaa tarvitaan melkoisesti tiedustelusatelliittikuvauksessakin, vaikka nämä tekokuut ovat vain suhteellisen lyhyen ajan toiminnassa radoillaan. Kuvausvarustuksessa energiaa kuluu valotustapahtumaan, kuvatun filmin siirtoon, kehittämiseen, juovittamiseen, kuvanvälitykseen. Korkeudenmittaus vaatii oman energiansa ja tietenkin kaikki muut tekokuun toiminnat, ratakorjaukset, yhteydenpito sekä navigointi tarvitsevat virtaa. On myös huomattava, että mikäli energijärjestelyjä aiotaan suuresti lisätä ne vaativat tilaa, sitä ei tekokuissa vielä tiettävästi liikaa ole, myöskin käsite satelliitin hyötykuorma tulee mukaan tässä vaiheessa.

6. TIEDUSTELUSATELLIITTIOHJELMAT

Tiedustelusatelliittien ohjelmat ovat olennaisilta osiltaan salaperäisyyden verhoamia. Julkisuuteen on päässyt vain suhteellisen niukkoja tietoja kokonaistavoitteista sekä erilaisista alaohjelmista. Erityisen vaikeaselkoisia ovat neuvostoliittolaisten Kosmosten luokittelut erilaisiin luokkiin. Neuvostoliittohan käyttää sekä tieteellisten että sotilaallisten tekokuiden ohjelmien yleisnimenä Kosmosta. Tietoliikenne- ja sääsatelliitit yhteystekokuiden ohella kulkevat omien nimikkeidensä alla. Ulkoavaruuden tutkimusohjelmat omaavat myös oman koodinsa. Yhdysval-

tojen tiedustelusatelliittiohjelmat ovat puolestaan osin numeroidut ja lisäksi niiden sisältämät alaohjelmat eli tekokuut omaavat erilaisia kutsunimiä.

6.1. Yhdysvaltojen tiedustelusatelliittiohjelmiä

Ensimmäiset kaavailut avaruusalusten sotilaallisesta käytöstä tapahtuivat USA:n laivaston ja maavoimien ilmavoimien kesken muutamia kuukausia toisen maailmansodan päättymisen jälkeen. Nämä suunnitelmat, jotka tähtäsivät maata kiertävien tekokuiden lähettämiseen 1950-luvun alkupuolella kariutuivat kuitenkin yleisen tilanteen aiheuttamaan jarrutukseen. Juuri päättyneen sodan jälkeen USA:n sotilaallinen ylivoima oli musertava ja avaruuskokeilujen vaatimien varsin suurien varojen perustelut olivat vähintäinkin vaikeatajuisia tuossa vaiheessa kansakunnalle ja kongressille. Huolimatta tästä, asioita kuitenkin kehiteltiin, mukana olivat myös olennaisissa tehtävissä saksalaiset raketti-asiantuntijat. Heidät oli tuotu tai siirtyminen oli tapahtunut vapaaehtoisesti miehitetystä Saksasta Yhdysvaltoihin.

Asiaa pitkitti sittemmin myös puolustushaarojen itsenäinen, kilpailleva tutkimus- ja kokeilutoiminta rakettialallakin. Johtavat tiedemiehet yrittivät useaan otteeseen saada kilpailijoita saman projektin pariin mutta tuloksetta. Yhdysvaltojen maavoimat pyrkivät ennenkaikkea löytämään RAND-ohjelman puitteissa raketeista vain kuljetusalustan eri asejärjestelmille.

Useiden eri välivaiheiden kautta, joihin sisältyi myös suoranaisia passiivisia kausia, päätettiin ja vahvistettiin merkittävä kokonaisuohjelma avaruuden sotilaallisesta käytöstä. Kyseessä oli puolustusministeriön projekti WS-117 L (Weapon System 117 L). Tämän ohjelman puitteissa aloitettiin ensin eräänlainen tekninen peruskokeilu, projektinimellä Discoverer. Ohjelma, joka oli luonteeltaan vapaakasvuinen, perusteita selvittävä käsitti lähinnä palautettavia tiedustelutekokuuta ja niiden kapselleita. Discoverer-ohjelma päättyi virallisesti vuonna 1962 mutta on mahdollista, että samantapaista koeohjelmaa viedään vieläkin eteenpäin, joskin eri koodin alaisena.

Rinnan Discoverer-ohjelman kanssa aloitettiin satelliittikuvausjärjestelmän ja siihen liittyvän tietovuomenetelmän kehittäminen koodiltaan Samos (Satellite and Missile Observation System). Erilaisten viiveiden

vuoksi ensimmäinen Samos-tekokuu ammuttiin radalleen pari vuotta suunniteltua aikaa myöhemmin, lokakuussa 1960. Samos-ohjelmaa vainosi alussa epäonni, Samos I ei päässyt lopulliselle radalleen ja Samos III räjähti laukaisualustallaan. Koko ohjelma hävisi julkisuudesta vuonna 1961, ei kuitenkaan näiden epäonnistumisten vuoksi vaan aivan ilmeisesti tehokkuutensa ansiosta projekti tuli salaiseksi. On luonnollista, että 1960-luvun loppupuolen Samokset edustivat jo aivan toista toimintaluokkaa kuin alkuaikojen tekokuut.

On ilmeistä, että varsinaisia tiedustelukuvaussatelliitteja Samoksen jälkeen on ainakin kahta eri mallia. Valvontasatelliitit ottavat pienikaa-vaista mutta laaja-alaista kuvamateriaalia, joka muodostaa lähtökohdan paikalle lähetettävälle kohdesatelliitille. Kohdesatelliitti (close-look) vuorostaan pitkäpolttovälisin kameroin tutkailee kohdealueen sekä palauttaa kuvatun aineksen maahan kapsелеissa määrääjain. Samalla tekokuu voi välittää lähes tosijassa osan havainnoistaan vastaanottoasemalle. Näiden toisen sukupolven tiedustelusatelliittien ohjelmakoodit ovat 770 ja 920. Tekokuut ovat tietävästi Discoverer- ja Samossatelliittien yhdistelmiä, muunnoksia.

Vuonna 1971 laukaistiin maata kiertävälle radalle Titan 3-D kantoraketilla uusi, 11,3 tonnin painoinen tiedustelusatelliitti, joka kuului ohjelmaan 467. Kutsumanimekseen tekokuu sai Big Bird, iso lintu. Tämä satelliitti kykenee sekä valvonta- että kohdekuvauksiin. Tietovuon välitysteho on 16-kertainen aikaisempiin kiertäjiin verrattuna. Satelliitin toiminta-ajaksi näyttää tulevan noin kaksi kuukautta ja se lähettää useita kapsелеita maahan ennen tuhoutumistaan. Big Birdin rata on hieman korkeampi ja elliptisempi kuin aikaisemmillä tiedustelusatelliiteilla, lyhimmäksi etäisyydeksi mainitaan 178 kilometriä ja kaukopisteeksi 288 kilometriä. Satelliitin elinikää voidaan myös lisätä muuttamalla lentorataa maanpinnan suhteen. Big Birdin varustukseen mainitaan kuuluvan myös sivuviistotutka (side looking radar). Laitteistoon sisältyy myös liukuobjektiivilla varustettu televisiokamera, jonka näyttö siirretään releointiasemien kautta lähes tosijassa toimintakeskukseen tulkittavaksi.

Lähivuosina arvioidaan uuden, neljännen polven tekokuun olevan valmiina palvelukseen. Koodinimenä on esiintynyt toistaiseksi 1010. Tekokuu tulee olemaan lehtitietojen mukaan ns integroitua perusmallia.

Kuvaussatelliittien kanssa työskentelee yhdessä mielenkiintoinen pikkuinen aputekokuu. Ohjelmanimeltään 417 oleva satelliitti on säähavaintoihin erikoistunut tehtävänänsä ilmoittaa satelliittien ohjauskeskukselle milloin tarkkailtavalla alueella on kuvaukselle sopiva esteetön näkymä. Pilvisyyden haittavaikutusta pyritään täten pienentämään. Kameroiden tarpeeton käynnistäminen ja suhteellisen niukan kuvausmateriaalin aiheeton käyttö minimoidaan.

Yhdysvaltojen vuosittain lähettämien tiedustelusatelliittien määrä on esitetty kuvassa 16. Tilasto ei kuitenkaan ole aivan tarkka koska lukuihin on ilmeisesti sisällytetty myös varoitussatelliitit. Nämä teko-kuuathan kiertävät avaruudessa tehtävänänsä paljastaa muun muassa mannertenvälisten ohjusten lähdöt.

6.2. Neuvostoliiton tiedustelusatelliittiohjelma

Neuvostoliiton tiedustelusatelliitit kuten jo aiemmin todettiin kulkevat lähinnä Kosmos-sarjaan kuuluvina yhdessä erilaisten tieteellisten tekokuiden kanssa. Lähdöt sinänsä eivät ilmaise vielä millaisesta laitteesta loppujen lopuksi on kyse. Vasta rata-arvot sekä viipyminen radalla antavat joitain lähtökohtia kulloisenkin Kosmoksen tehtävän arviointiin. Erään lähteen mukaan Kosmos-tiedustelusatelliitti keskimäärin olisi 2,3 metriä läpimitaltaan sekä noin 3175 kilon painoinen.

Osa Kosmos-tiedustelutekokuista on ohjaittavia eli niiden rata-arvoja voidaan lennon aikana tietyissä rajoissa muuttaa. Tällainen tiedustelija ammuttiin avaruuteen muun muassa viime syksynä Naton laivastoharjoituksen aikana.

Neuvostoliitto otti palveluskäyttöön vuonna 1971 uudentyypin tiedustelutekokuun. Tämä palauttaa maahan erityisen filmikapselin sekä on myös toiminta-ajaltaan pitkäkestoisempi kuin aiemmat sotilaalliset Kosmokset. 1960-luvun tekokuut viipyivät radallaan vain 4...8 vuorokautta, seikka, joka edellytti melkoista satelliittijoukkoa vuosittain, jotta maapallon eräiden alueiden strateginen valvonta olisi ollut riittävän tehokasta myös aikapeittoa ajatellen. Kuvassa 16 on esitetty NL:n tiedustelusatelliittien lähdöt, myös näiden lukujen osalla on huomioitava tietty virhemarginaali.

7. SATELLIITTIKUVAUKSEN SOTILAALLINEN MERKITYS

Satelliittikuvauksen sotilaallinen merkitys on kiistaton. Tarjoavathan tekokuut oivallisen välineen kurkistaa naapurimaiden kulissien taakse, ne mahdollistavat valtakuntien potentiaalisen voiman arvioinnin. Oivallisen takeen tästä merkityksestä antoi USA:n presidentti Lyndon B Johnson maaliskuussa 1967 lausuessaan ryhmälle hallituksen jäseniä seuraavaa:

"... olemme käyttäneet 35...40 miljardia dollaria avaruusohjelmaan ja vaikka mitään muuta ei olisi saatu tuloksena kuin että olemme onnistuneet avaruuskuvauksessa, olisi se jo kymmenen kertaa arvokkaampaa kuin ohjelman toteuttamiseen käytetyt rahat. Sillä tänään me tiedämme kuinka monta ohjusta vihollisellamme on..."

Mitä sitten tiedustelusatelliitit paljastavat? Tähän kysymykseen ei voida vastata tyhjentävästi koska tarvittavia todellisia kuvia tai tietoja niiden sisällöstä ei ole käytettävissä. Tutkimalla edellä esitettyjä fyysikaalisia sekä laitteisto- ja menetelmäkokonaisuuksia voidaan päätyä tuloksiin, jotka kenties eivät ole kaukana todellisuudesta. Mainitsihan presidentti Johnsonkin edellä olevassa sitaatissa jotain merkittävää.

Ensinnäkin on muistettava, että vaikka laskennallinen maaerotusarvo on kymmenien senttimetrien luokkaa, käytännön erotusluku on vielä keskimäärin metrien ryhmään kuuluva. Jyrkkäkontrastiset kohteet erottuvat hyvinkin pieninä ulottuvuuksiltaan, asiallisesti maastotutetut pintavatkin maalit jäävät usein auttamatta havaitsematta.

Satelliittikuvauksen merkitystä arvioitaessa on aina syytä muistaa, että kuvauksen onnistuminen kokonaisuudessaan edellyttää kaikissa tapauksissa seuraavien perusehtojen toteutumista:

- Kohteen yli on lennettävä,
- kuvauslaitteiden tulee olla käynnissä oikealla hetkellä,
- kohteen on valotuttava kuvakseen tai nauhaan,
- filmin tai filmien palautuksen on onnistuttava,
- kuvanvälityksen on onnistuttava,
- kuvan uudelleen muodostaminen on onnistuttava,
- kuvantulkinnan on onnistuttava sekä
- tulkitun tiedon on oltava käyttäjällä ajoissa.

Huolimatta pääpiirtein erinomaisesti onnistuneista kuulennoista, eivät kaikki laitteet toimineet Apollo-aluksissakaan moitteettomasti. Erityisiä ongelmia ilmeni ajoittain kuvanvälityksessä sekä tiedon lopullisessa käsittelyssä.

Kuvatun materiaalin käsittely onkin probleema sinänsä. Useiden satojen, kenties tuhansien otosten tulkinta, vertailu sekä analysointi vaatii ammattitaitoa ja ihmistyövoimaa. Tietysti osa kuvien informaatiosta voidaan ottaa ulos koneellisesti tulkintalaitteissa mutta se ei riitä tarkkuudeltaan juuri muuhun kuin maantieteilijöiden tarkoituksiin.

Tiedustelusatelliittien merkitys on tällä hetkellä nähtävä lähinnä strategisena. Tulkittavien kohteiden luettelo koostunee suuressa määrin liikenneyhteyksistä, lentotukikohtista, satamista sekä teollisuusalueista. Taktilliseen luokkaan kuuluvaa toimintoa tuskin havaitaan ellei sitten ole kyseessä pitkiä, tiestöä mittavasti täyttäviä liikkeellä olevia yhtymiä. Myös laaja-alaisia linnoitustyömaita tarkkaillaan.

Tiestö erottuu hyvin satelliittikuvista, korkeammaltakin otetuista kuin missä tiedustelutekokuut liikkuvat. Vaaleat tiet kulkien tummassa perusmaisemassa muodostavat riittävän kontrastin havaitsemista ajatellen. Jopa pienet metsätietkin kulkiessaan harmailla kangasmailla aiheuttavat selvästi erottuvan kontrastin linjan. Rautatiet niin valmiit kuin rakenteilla olevatkin tunnistetaan vaivatta satelliittiotoksista. Pitkät suorat ja loivat kaarteet ovat oivallisia tunnusmerkkejä rautatielinjasta. Sillat, jotka vaaleina poikittavat tummia vesistöjä aiheuttavat myös hyvin kiitollisen kuvantulkinnan kohteen.

Alukset, telakat sekä satamat ovat pintavuudeltaan soveliaita kuvantulkinnalle. Alus, joka liikkuu avaruudesta katsottuna tummalla merenpinnalla jättää jälkeensä valkoisen vanan, joka usein on niin pitkä, että se nähdään paljain silminkin. Näin tapahtui muun muassa Gemini-lennoilla, jolloin amerikkalaiset astronautit havaitsivat Tyynellä merellä liikkuvan rahtilaivan sen jättämän vanan perusteella.

Erityisesti satelliittikuvaus kohdistuu mannertenvälisten ohjusten lähtöpaikkoihin. Vaikka nämä laitteet pyritään maastouttamaan mahdollisimman hyvin, on muistettava, että ohjussiilojen ja laukaisualustojen rakentamisvaiheessa muodostuu hyvinkin laajoja ja helposti paljastuvia rakennustyömaita. Vaalea, kaivettu maa tai tumma, syvä kuoppa on hyvä kontrastin synnyttäjä muuten loivakontrastisessa taus-

tassa. Toistuvilla ylilennoilla voidaan seurata asemien valmistumista aina niiden lopulliseen maastouttamiseen asti.

Aiemmin jo mainittiin, ettei tiedustelusatelliittien otoksista ole juuri mitään tietoja käytettävissä. Kuitenkin julkisuudessa on kerrottu eräs mielenkiintoinen tiedustelukuvausmenettely parin vuoden takaa. — USA:n valvontasatelliittikuvaus osoitti marraskuun 18. päivänä 1970 alkaneella lennolla, että Neuvostoliiton eräässä mannertenvälisessä ohjusasemassa oli tapahtunut muutoksia. Alueelle oli ilmestynyt uusia reikiä, joiden muoto poikkesi aiemmin tunnetuista mitoista. Vajaan kuukauden kuluttua alueelle suunnattu kohdesatelliitti tallensi tilanteen ja helmikuun 1971 alussa kuvantulkitsijat penkoivat satelliitin ottamia kuvia. Muutamaa päivää myöhemmin voitiin ilmoittaa USA:n hallitukselle, että satelliittikuvauksin oli paikannettu 10 uudentyyppisen ohjuksen siilorakenteet. Ilmeisesti uusi ohjussukupolvi oli kehitetty. Tiedustelusatelliittikuvausta jatkettiin ja huhtikuun loppupuolella todettiin jo löydetyn 40 uuden siilon paikat eri puolilla Neuvostoliittoa olevilla ohjusalueilla. Jatkuvasti saadut uudet tiedot antoivat sitten vauhtia erilaisille otaksumille siitä, oliko havaittujen siilojen käyttötarkoitus sittenkään mannertenvälistä luokkaa. Tulkinta ja analysointi jatkuvat vieläkin.

Syksyllä 1969 käynnistettiin Helsingissä strategisten hyökkäysaseiden rajoittamista koskevat neuvottelut (SALT). Nämä neuvottelut johtivat kuten tiedetään keväällä 1972 väliaikaiseen sopimukseen. Molemmat neuvotteluosapuolet sitoutuivat siinä olemaan aloittamatta uusien kiinteiden mannertenvälisten ballististen ohjusten maalaukaisualustojen rakentamista tai muun tyyppisten alustojen muuttamista näille ohjuksille sopivaksi. Tämän sopimuksen valvonta, siis ohjusasemien tarkkailu käy päinsä kuten jo edellä kerrottiin, erittäin hyvin tiedustelusatelliittikuvauksin. Molemmilla suurvalloilla on käytössään tehokkaat, alati valmiina olevat silmät avaruudessa.

Tavanomaisen valokuvauksen ohessa käytetään tiedustelusatelliitteissa infrapunakuvaus- ja infrapunailmaisinjärjestelmiä. Näiden avulla pyritään selvittämään tiettävästi ydinsukellusveneidien kulloinenkin sijainti maapallon merillä. Sukellusvenehän laskee suuria määriä lauhdevettä ympärilleen ja tämän suhteellisen lämmen vesimassa aiheuttaa sitten suotuisissa oloissa meren pinnalle rajattualaisen lämpimän läikän.

Infrapuna-anturit voivat todeta tietyin edellytyksin syntyneet lämpötilaerot. Kuvassa 18 on taiteilijan näkemys ydinsukellusveneeseen jättämästä lämpövanasta. Samalla termisellä laitteistolla on myös osuutensa tutkittaessa teollisuuslaitoksia sekä maastoututettuja, laaja-alaisia ja lämpimiä sotilaskohteita.

Tiedustelusatelliittikuvausten sotilaallista merkitystä puntaroidaessa ei pidä unohtaa kartoitusta. Satelliittikuvaustahan on jo käytetty pitkään kartoituksen apuvälineenä. Maapallon luonnonvaroja etsittäessä ja paikannettaessa on laadittu suuriakin kartastoja eri tieteenalojen käyttöön. Ja varmaan löytyy sotilaskartoituksellekin soveliaita kuvia. Taulukossa 11 on lyhyt yhteenveto eri karttalajien vaatimasta maaerotusarvosta.

Taulukko 11 Eri karttalajien vaatimat maanerotusarvot (Amerikkalainen luokitus)

Maaerotusarvo	Karttalaji tai -tarkoitus
1000 m	Yleissilmäyskartta, geologiset pääpiirteet
300 m	Yleissilmäyskartta, metsätieteen pääkartat
100 m	Yleissilmäyskartta, geologiset kartat
30 m	Topografinen kartta 1:1000000, maantiekartta
10 m	Topografinen kartta 1:250000, maantiekartta
3 m	Topografinen kartta 1:50000,

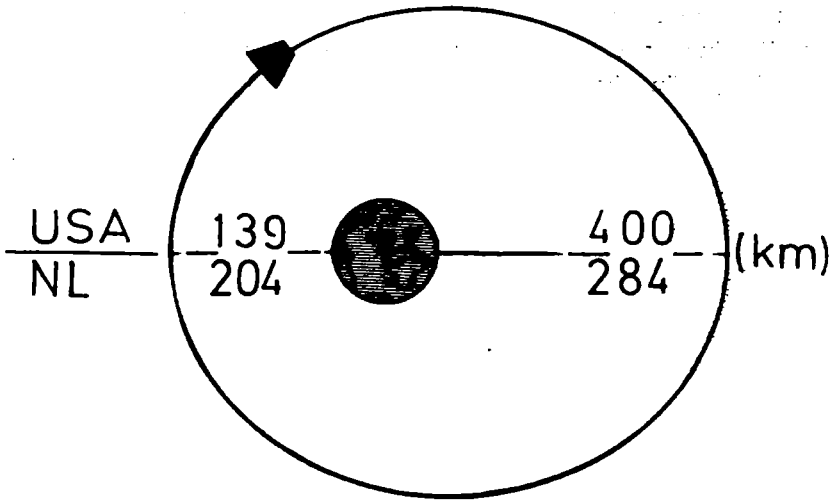
Voidaanko satelliittikuvausta vastaan suojautua? Vaikkakaan meillä ei ole käytettävissä tiedustelusatelliittien kuvaustuloksia, voidaan jo yksinomaan tavanomaisen ilmakuvauksen antamien osviittojen perusteella sanoa, ettei suinkaan kaikkia toimintoja ja laitteita havaita, ei edes aivan matalalta kuvaten. Lienee selviö, ettei satelliittikuvausten erotuskyky ylitä parin sadan metrin korkeudessa lentävän tiedustelulentokoneen laitteistoillaan saamia tuloksia. Satelliittikuvaustahan palvelee ainakin toistaiseksi strategisiä tarkoituksia. Tutkimalla hieman syvällisemmin kontrastikysymystä ja sen liittymistä maastouttamiseen, voidaan hyvällä omallatunnolla sanoa "Maastouta oikein ja naamioi laajapektrisesti niin olet suojassa".

Pilvisyys on eräs parhaimpia suojia satelliittikuvausta vastaan. Pilvien läpi kuvaavia menetelmiä on toistaiseksi varsin harvoja ja nekin erotuskyvyltään alhaisia.

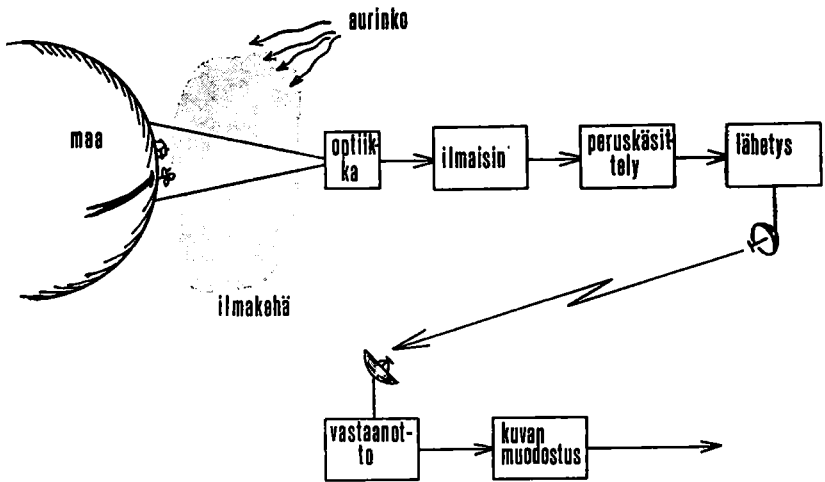
8. Päätteeksi

Satelliittikuvaus on tullut ja mullistanut tiedustelujärjestelmiä. Löytyykö lähitulevaisuudessa menetelmiä tai solmitaanko sopimuksia, jotka estäisivät globaalisen valvonnan, on tietymätöntä. Ainakin tuhoajatekokuita suunnitellaan ja kokeillaan, satelliitteja, jotka paikantavat vastustajan tekokuun ja tuhoavat sen tavalla tai toisella. Miehitettyjä tiedustelusatelliitteja on suunniteltu, siirtyykö kuuma sota avaruuteen se on tulevaisuuden polttavimpia kysymyksiä.

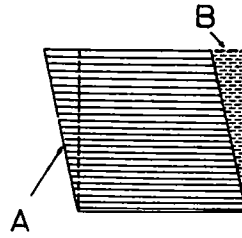
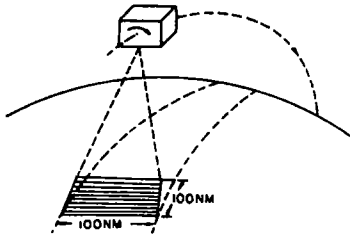
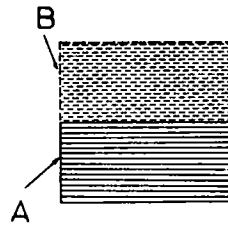
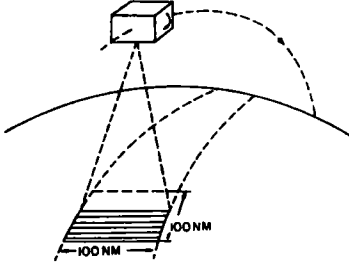
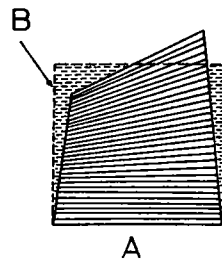
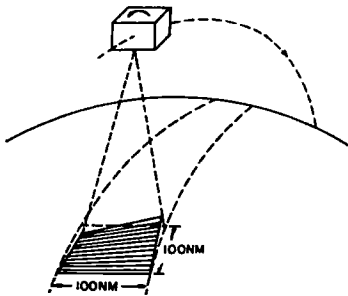
Tutkimuksessa on pyritty välttämään turhan kankeita johdatuksia sekä kuivia teoreettisia laskelmia. Kuitenkin eräitä perusteita on ollut pakko käsitellä, jotta ymmärrettäisiin satelliittikuvauksen moninaisuus sekä ennenkaikkea voitaisiin löytää sen rajoitukset.



KUVA 1 Tiedustelusatelliittien rata-arvoja

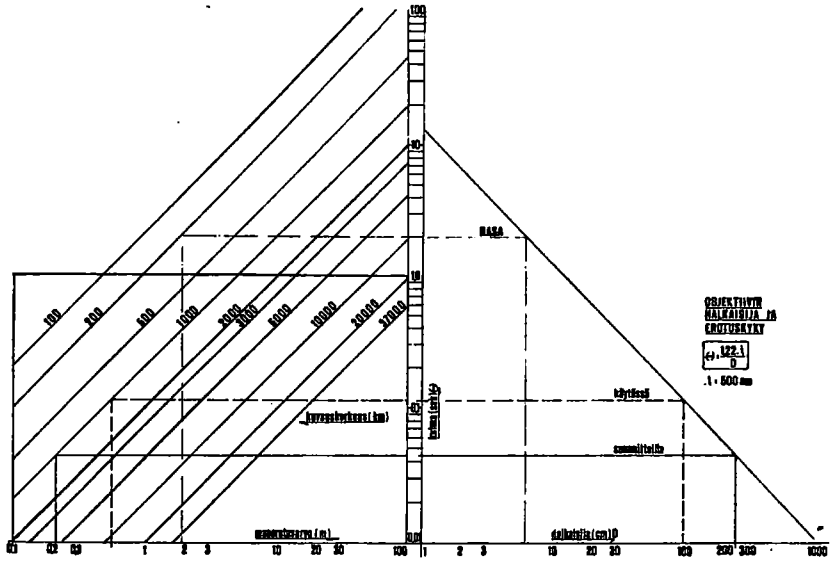


KUVA 2 Kuvaustilanne

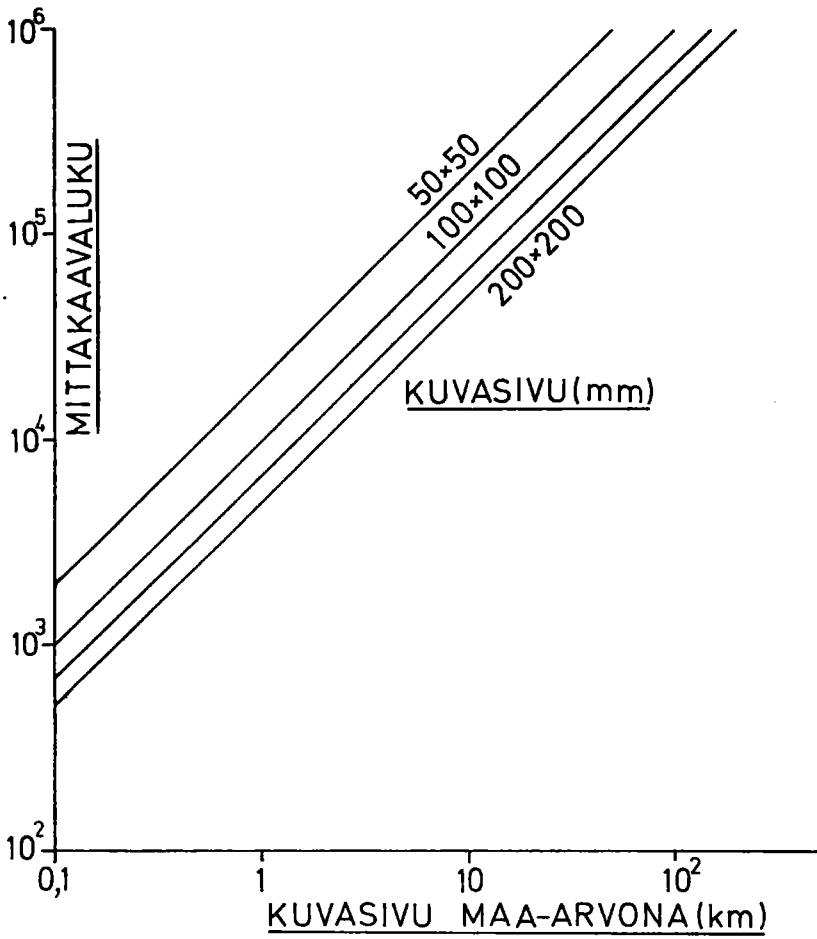
KALLISTELU**PITUUSKALLISTELU****KIERTYMINEN**

A=häiriö B=optimi

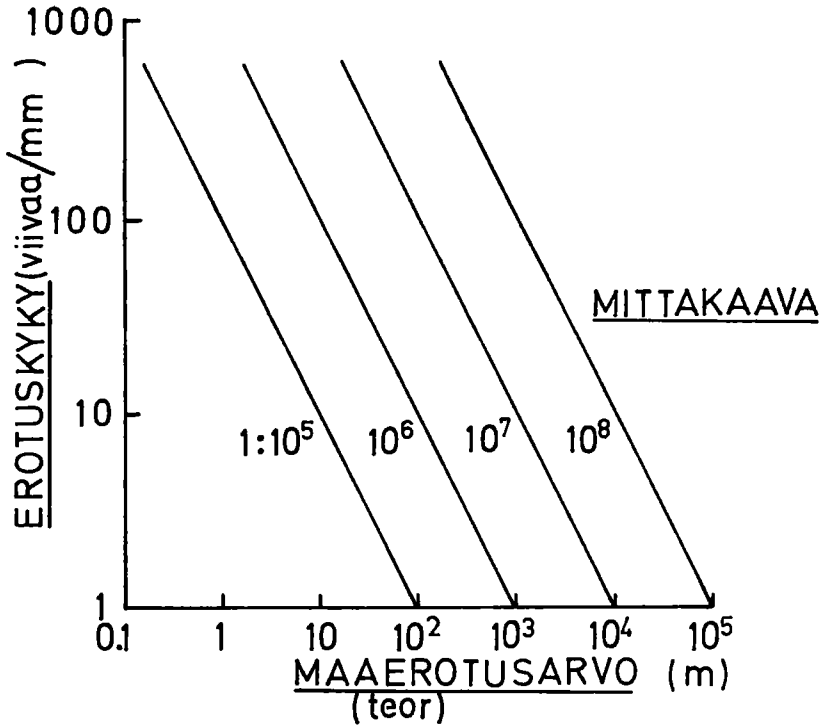
KUVA 3 Ratahäiriöitä ja niiden vaikutus juovitukseen



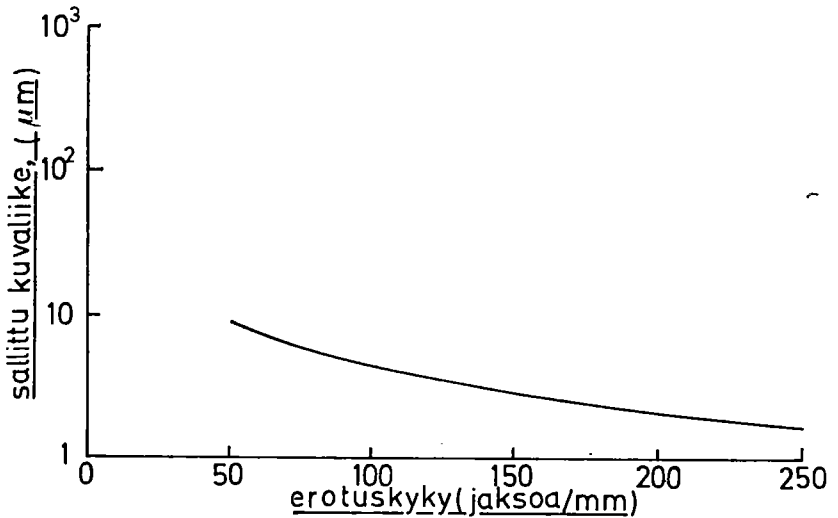
KUVA 4 Objektivin halkaisija ja maaerotusarvo



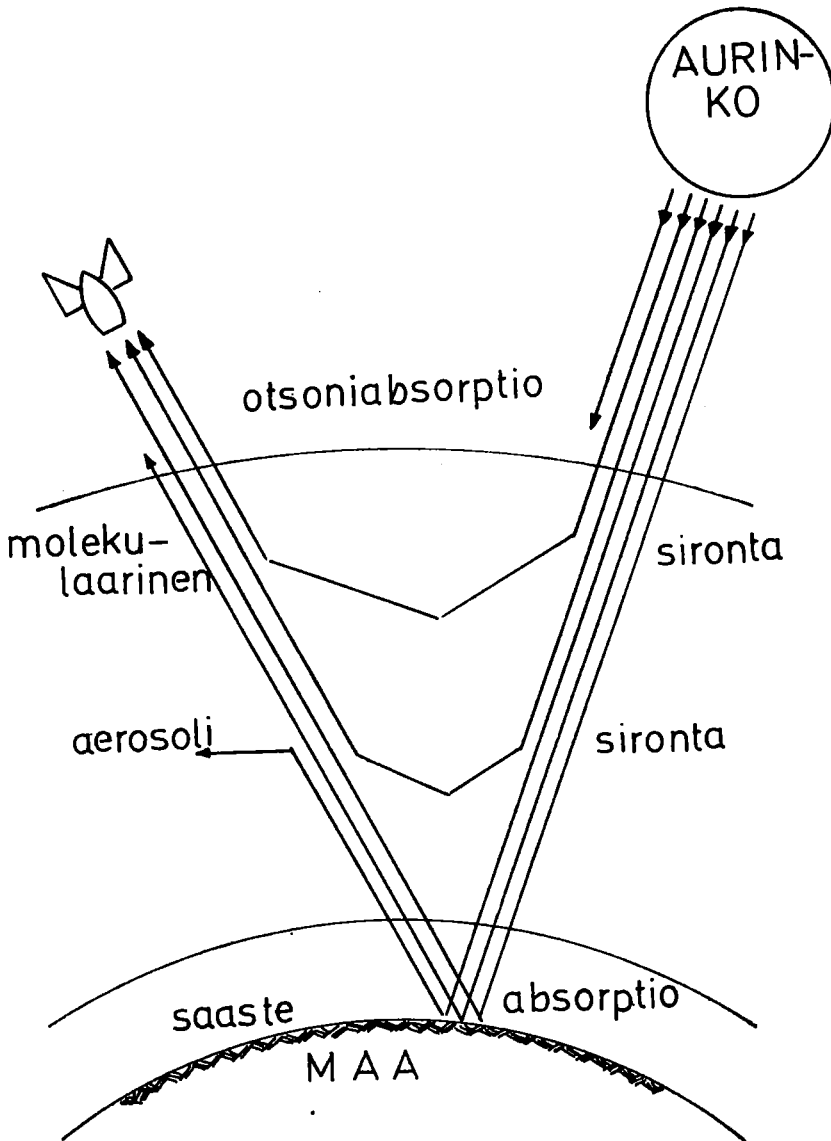
KUVA 5 Kuvasivu ja mittakaavaluku



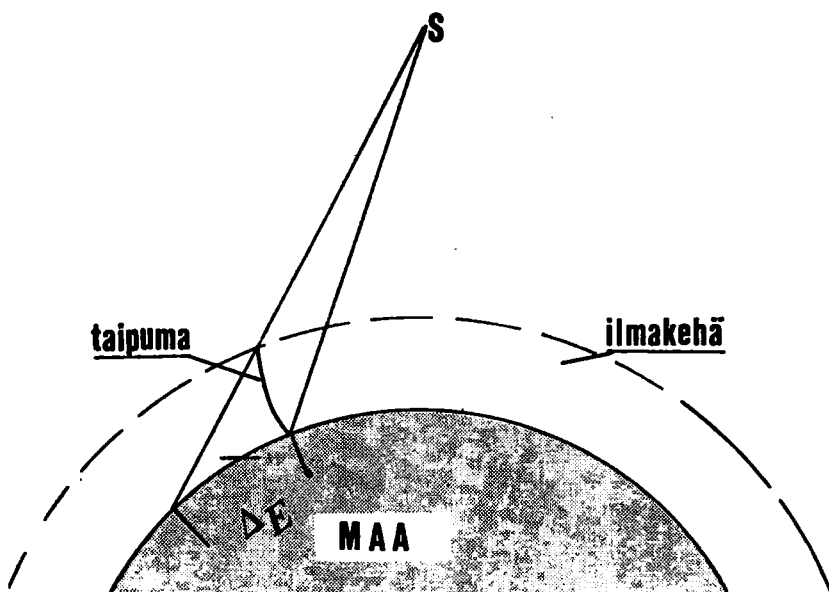
KUVA 6 Mittakaava ja maaerotusarvo



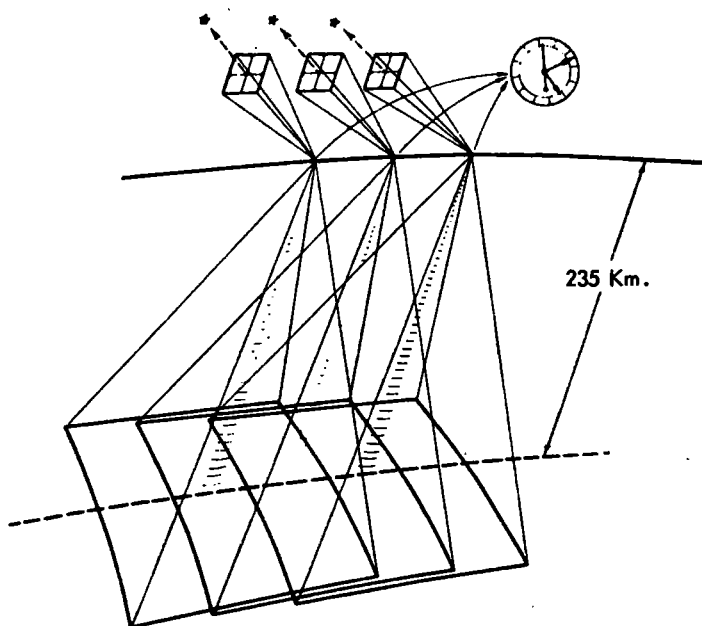
KUVA 7 Kuvaliikkeen tasaus



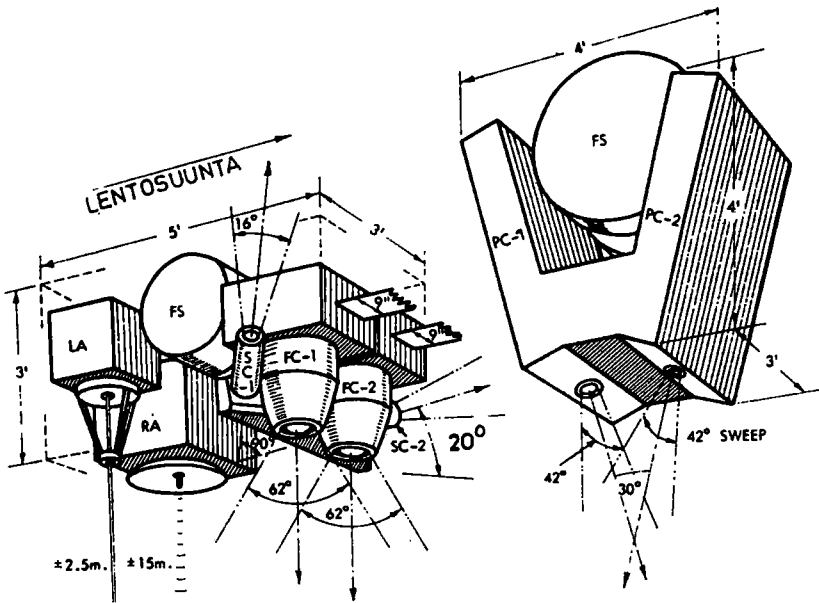
KUVA 8 Kuvaus ja lähiavaruus



KUVA 9 Refraktio ja satelliittikuvaus

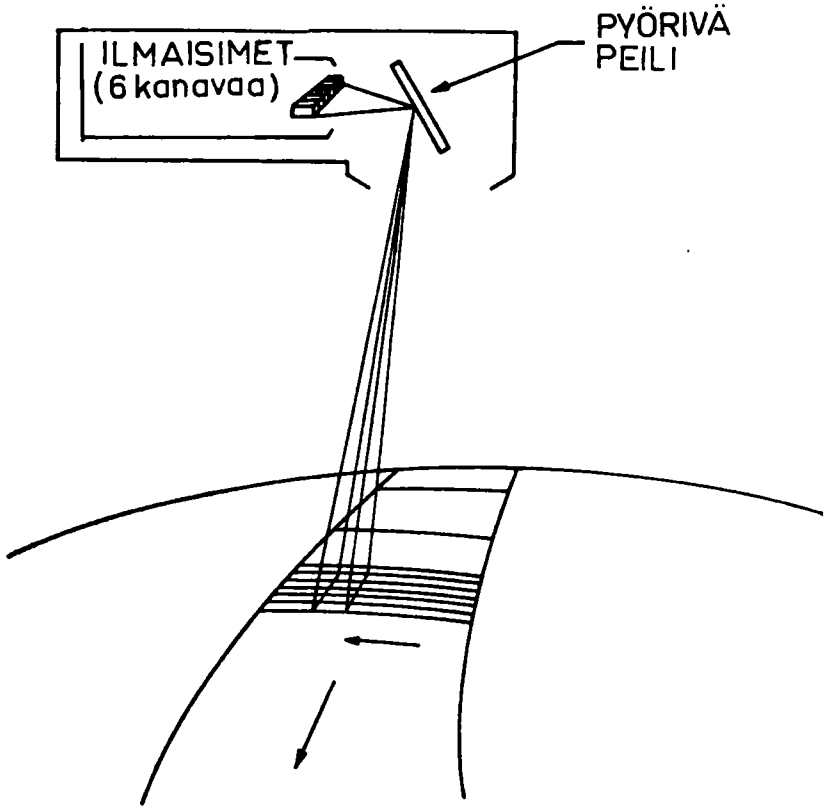


KUVA 10 Kuvien paikannusmenettely

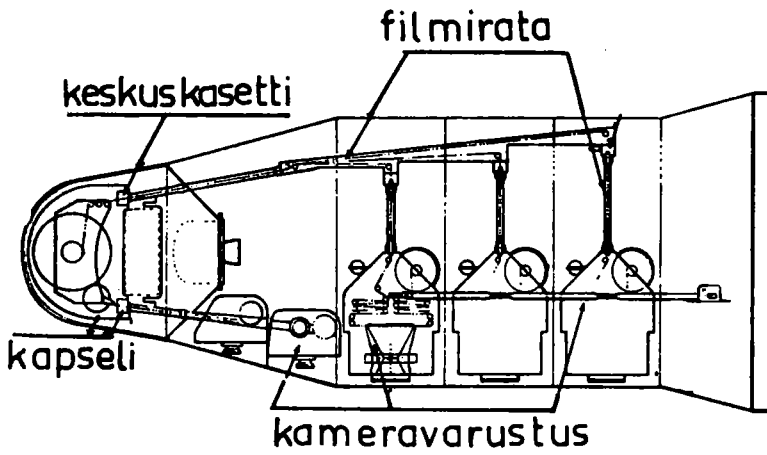


Kuva 11 Eräs mahdollinen kameravarustus

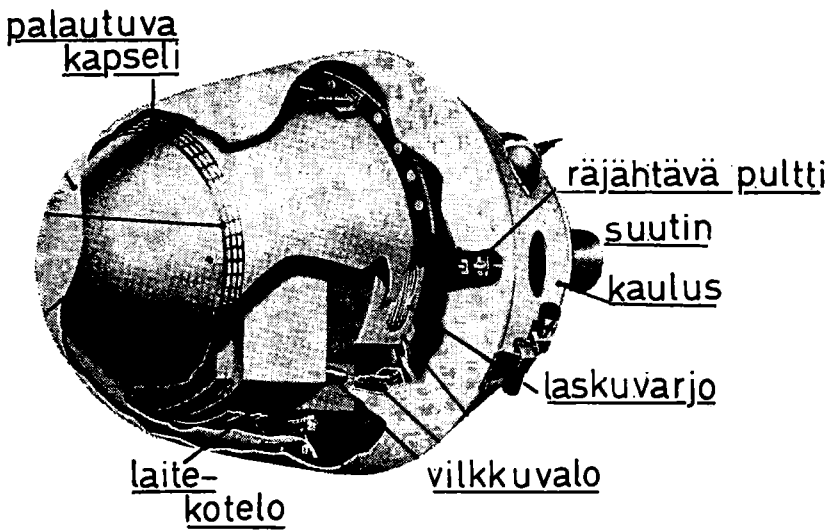
- LA** = Laser-korkeusmittaus
RA = Korkeustutka
FC = 12" polttovälinen yksittäiskamera
SC = Tähtikamera (navigointia varten)
FS = Filmikasetti
PC = Panoraamakamera, 24" polttoväli



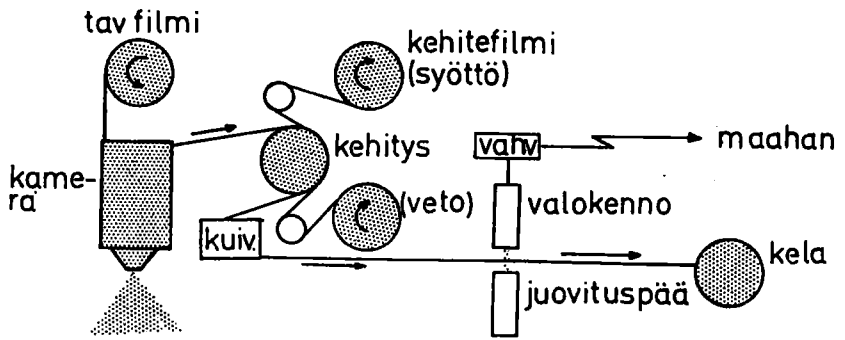
KUVA 12 Monispektrikamera (ERTS-1)



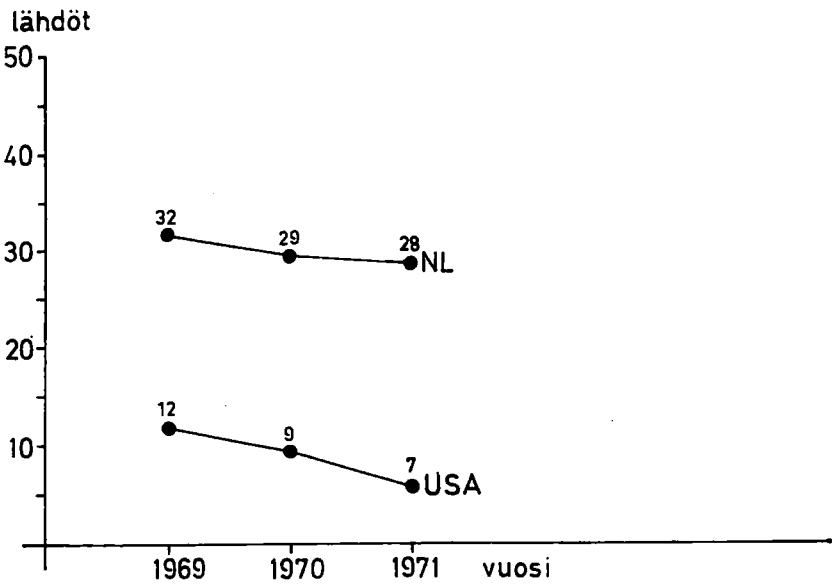
KUVA 13 Keskuskasettijärjestelmä



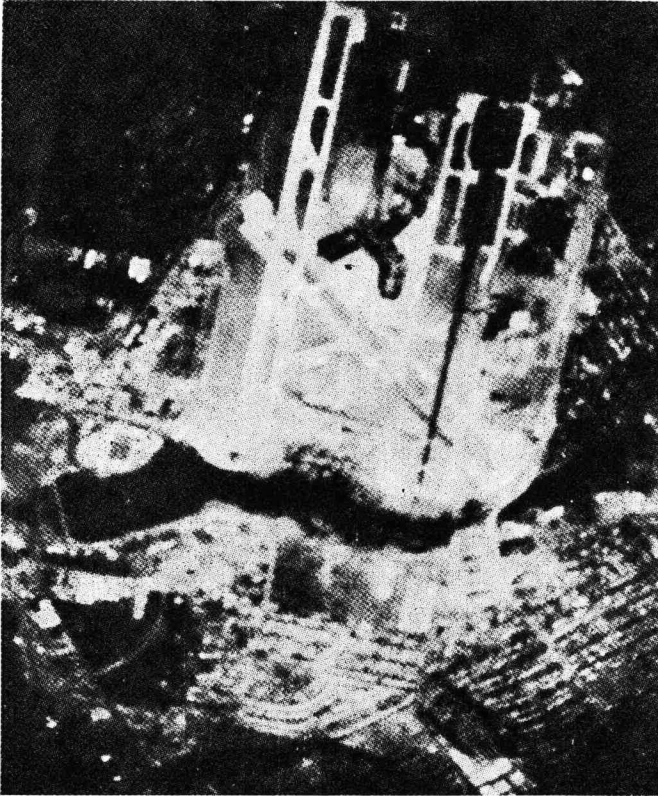
KUVA 14 Discoverer-ohjelman palautuskapseli



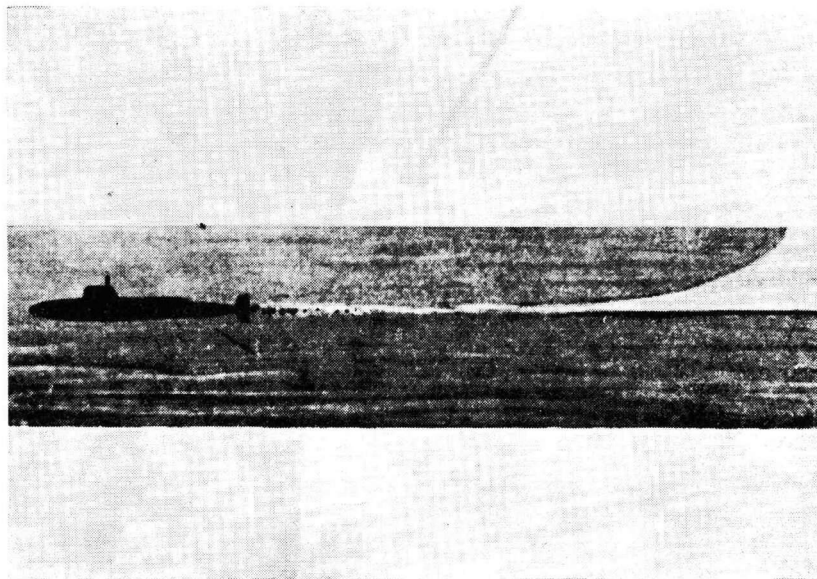
KUVA 15 Satelliittilaboratorio ja kuvanvälitys



KUVA 16 Tilasto tiedustelusatelliittien lähdoistä 1969—1971



KUVA 17 Lentokenttä kuvattuna avaruudesta. Kuva on suurennos



**KUVA 18 Taiteilijan näkemys ydinsukellusveneen
jättämästä lämpövanasta**

LÄHTEET

- Ted Greenwood
 "Reconnaissance, Surveillance and Arms Control"
 Adelphi Papers n:o 88 Lontoo 1972
- Kenneth F Sinclair
 "Estimating Optical Imaging System Performance for Space Applications"
 Office of Aeronautics & Space Technology. California 1972
 "Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry"
 National Academy of Sciences Washington 1970
- J P Kuettner
 "Man's Geophysical Environment/Its Study from Space"
 U.S. Department of Commerce 1968
- A. Karsnov
 "Kosmiseskij spionash v planaja Pentagona"
 Aviatsija Kosmonautika 3/1970
- Janes kalenteri
 Ilmavoimat 1972—1973
- Alec Galloway
 "A Decade of US Reconnaissance Satellites"
 Interavia, kesäkuu 1972
- Philipi J Klass
 "Soviets Trying Mid-Air Satellite Recovery"
 Aviation Week & Space Technology lokakuu 1971
- Philip J Klass
 "Big Bird Nears Full Operational Status"
 Aviation Week & Space Technology syyskuu 1972
- Philip J Klass
 "Military Satellites Gain Vital Data"
 Aviation Week & Space Technology syyskuu 1969
 "Soviet Recon Satellite Pace Gains"
 Aviation Week & Space Technology joulukuu 1968
- M V Bratychuk
 "Observations of Artificial Earth Satellites at Uzhgorod"
 Zemlya i Vselennaya n:o 4/1971
- Sten Brycker
 "Storebror ser inte allt"
 Vårt Försvar n:o 4/1969
- Arthur W Johnson
 "Weather Satellites II"
 Scientific American 1968
- J R Millburn etc
 "Observation Satellite Optics"
 Spaceflight n:o 8/1968
- Alden P Colvocoresses
 "Surveying the Earth from 20000 Miles"
 Image Technology n:o 1/1970

Dieter Steiner

"Towards Earth Recourses Satellites"

Photogrammetria n:o 6/1971

Alden P Colvocoresses

"Image Resolutions for ERTS, SKYLAB and GEMINI/APOLLO"

Photogrammetric Engineering n:o 1/1972

Roy Wech

"The Prediction of Resolving Power of Air and Space Photographic Systems"

Image Technology n:o 5/1972

Frederick J Doule

"Kammer-Systeme und Photogrammetrie in der Raumfahrt"

Bildmessung und Luftbildwesen 1/1971