

Jaakko Mäntymaa

Sääsatelliittien datan vastaanotto tietokoneen avulla

Tietotekniikan
kandidaatintutkielma
21. syyskuuta 2005

Jyväskylän yliopisto

Tietotekniikan laitos

Jyväskylä

Tekijä: Jaakko Mäntymaa

Yhteystiedot: jahemant@cc.jyu.fi

Työn nimi: Säasatelliittien datan vastaanotto tietokoneen avulla

Title in English: Computer-aided reception of weather satellite data

Työ: Tietotekniikan kandidaatintutkielma

Sivumäärä: 33

Tiivistelmä: Tämä tutkielma käsittelee säasatelliittikuvien vastaanottoa yksinkertaisella, tietokonepohjaisella laitteistolla. Tutkielmassa esitellään vastaanottolaitteiston eri osia: antennoja, radiovastaanottimia ja tietokoneliitäntää sekä tietokoneessa ajettavia, vastaanotossa käytettäviä ohjelmistoja. Lisäksi esitellään säasatelliittien toimintaa, niiden käyttämää kuvaformaattia sekä säasatelliittikuvien käyttöä harrastuksessa, tieteellisessä tutkimuksessa sekä ammattimaisessa meteorologiassa.

English abstract: This thesis deals with the reception of weather satellite images with a simple, computer-based system. Antennas, receivers, computer connectivity and the reception software used in the computer are presented as parts of the reception system. Also the functions of weather satellites, the used image format and the use of satellite pictures as a hobby, in scientific research and in professional meteorology are presented.

Avainsanat: satelliitit, säasatelliitit, satelliittikuvat, satelliittien seuranta, radioamatööri-toiminta

Keywords: satellites, weather satellites, satellite pictures, satellite tracking, amateur radio

Sisältö

1 Johdanto	1
2 Säsatelliiteista	3
2.1 Polaariset säsatelliitit	3
2.2 Geostationaariset säsatelliitit	4
3 APT-lähetelaji	6
3.1 Polaaristen säsatelliittien kuvasignaali	6
3.2 Geostationaaristen satelliittien kuvasignaali	7
4 Vastaanottojärjestelmä	9
4.1 Antennien suunnittelun yleisperiaatteet satelliittikäytössä	9
4.2 VHF-antennit	11
4.3 UHF-antennit	12
4.4 Radiovastaanotin	14
4.5 Tietokone-liitäntä	16
5 Tietokoneohjelmat	19
5.1 Digitointiohjelmat	19
5.2 Satelliittilaskentaohjelmat	21
6 Satelliittivastaanottolaitteiston ja kuvien käyttö	23
6.1 Harrastuskäyttö	23
6.2 Ammattikäyttö	24
6.3 Muu käyttö	26
7 Yhteenveto	27
Viitteet	29

1 Johdanto

Tässä tutkielmassa tutustutaan yksinkertaiseen tietokonepohjaiseen laitteistoon, jolla voidaan vastaanottaa kuvia suoraan maata kiertävistä sääsatelliiteista.

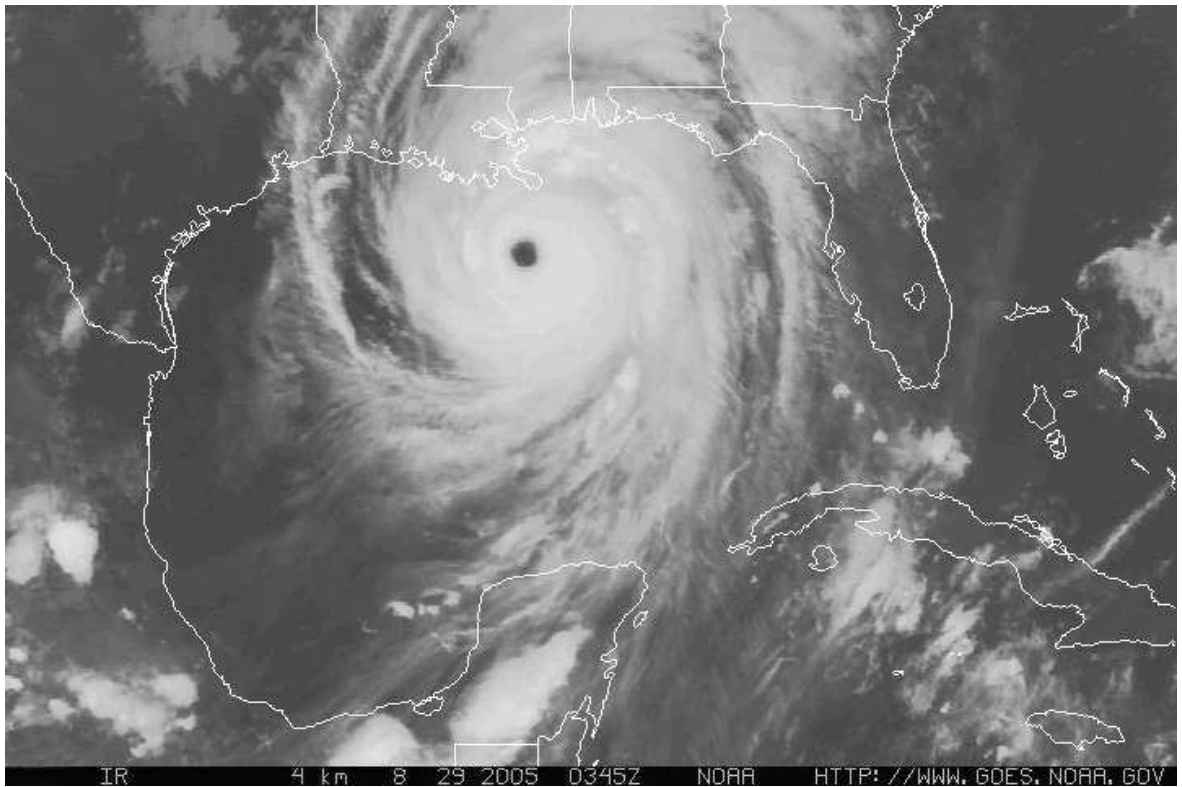
Jo 1960-luvulta lähtien sääsatelliittikuvat ovat olleet yksi tärkeä väline säähavaintojen tekemisessä. Satelliittikuvia on nähty television ja lehtien säätiedotuksissa. Nykyisin kuvia on myös yleisesti saatavilla Internetin välityksellä. Esimerkiksi kuva 1 on saatu NOAA:n¹ verkkosivuilta.

On kuitenkin vähemmän tunnettua, että kuvia voidaan vastaanottaa myös itse suoraan satelliiteista. Tämä onnistuu verrattain yksinkertaisella ja edullisella laitteistolla, jossa olennaisena osana ovat tietokone ja siinä käytettävät ohjelmistot. Monille kuvien vastaanotto on lähinnä harrastus, mutta myös käyttöä opetuksessa [19][20] ja tieteellisessä tutkimuksessa [21] on kokeiltu.

Ammattimaisessa meteorologiassa sääsatelliitit ovat säätutkien ohella toinen tärkeä *kaukokartoitusjärjestelmä*. Tällöin käytössä on monimutkaisempi, digitaalinen vastaanottolaitteisto, jolla voidaan vastaanottaa selvästi enemmän ja tarkempaa dataa. Eri aallonpituuksilla tehdyt mittaukset kertovat sekä erikseen että toisiinsa ja tutkahavaintoihin yhdistettynä monenlaisia asioita ilmakehästä, erityisesti pilvistä ja sateesta.[18, s. 3, 29–31, 47]

Luvussa 2 luodaan lyhyt katsaus sääsatelliittien historiaan ja toimintaan sekä eri sääsatelliittityyppeihin. Luvussa 3 on kuvattu sääsatelliittien käyttämän APT-lähetelajin toiminta ja lähetteen rakenne. Luvuissa 4 ja 5 on esitelty sääsatelliittikuvien vastaanotossa tarvittava laitteisto sekä joitakin tietokoneohjelmia. Luvussa 6 on esitelty joitakin tapoja käyttää hyödyksi yksikertaista vastaanottolaitteistoa ja sillä vastaanotettuja kuvia. Käyttöä tarkastellaan sekä harrastajan että ammattilaisten kannalta. Yhteenveto on koottu lukuun 7.

¹National Oceanic and Atmospheric Administration



Kuva 1: NOAA:n satelliitin ottama infrapunakanavan kuva Yhdysvaltain eteläran-
nikolla elokuussa 2005 raivonneesta Katrina-hurrikaanista. Kuva julkaistu NOAA:n
luvalla. [5]

2 Säsatelliiteista

Satelliitteja on käytetty säähavaintojen tekemiseen 1960-luvun alkupuolelta lähtien, jolloin maailman ensimmäinen säsatelliitti, yhdysvaltalainen TIROS², laukaistiin radalleen [3, Historiaa-luku]. Tämän jälkeen säsatelliitteja ovat Yhdysvaltojen lisäksi ottaneet käyttöön Venäjä, Euroopan avaruusjärjestö, Kiina ja Japani [2, s. 1-1].

Ensimmäiset säsatelliitit käyttivät kuvien muodostamiseen televisiokameroita. Jo niiden tuottamien kuvien laatu ja niistä saatu sääinformaatio olivat mullistavia. TV-kameroiden käyttöön liittyi kuitenkin joitakin ongelmia. Kamerat vaurioituivat helposti, ja niiden tuottaman kuvan laatu heikkeni ajan myötä. Nykyaikaiset säsatelliitit käyttävät kuvien muodostamiseen *radiometrejä*, eli säteilynlmaisimia, jotka pystyvät tarkkailemaan maapalloa eri aallonpituuksilla sekä näkyvän valon että infrapunasäteilyn alueilla. [2, s. 1-1][3, Historiaa-luku]

Käytetyn kiertoradan perusteella säsatelliitit voidaan jakaa kahteen ryhmään, *polaarisiin* ja *geostationaarisiin* satelliitteihin.

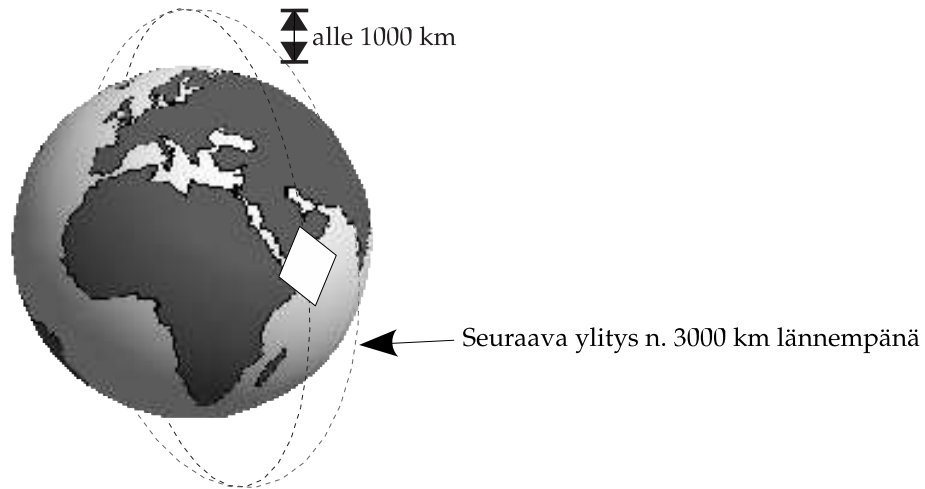
2.1 Polaariset säsatelliitit

Nimensä mukaisesti polaariset satelliitit kiertävät maata likimain maan napojen kautta. Radan korkeus on tällöin 800–1300 km. Erityisesti Yhdysvaltojen käyttämät polaariset säsatelliitit ovat lisäksi *aurinkosynkronisia*, mikä tarkoittaa, että satelliitit ylittävät tietyn paikan maapallolla suunnilleen samaan kellonaikaan kunkin vuorokauden aikana. Ratakorkeudesta riippuen yhteen kierrokseen maapallon ympäri kuluu aikaa 100–105 minuuttia. Yhden vuorokauden aikana satelliitti kiertää maapallon 14–15 kertaa ehtien sen aikana kuvaamaan koko maapallon. Polaarinen kiertorata on esitetty kuvassa 2. [2, s. 1-1][3, luvut Polaariset ja geostationaariset säsatelliitit sekä Polaariradan ominaisuuksia]

Tietyn maa-aseman horisontissa satelliitti käy noin kymmenen kertaa kerrallaan. Sen signaalia voidaan vastaanottaa hyvin 4–6 ylityksen aikana, jolloin satelliitti on tarpeeksi korkealla. Yksi ylitys kestää noin kymmenen minuuttia ja seuraava ylitys tapahtuu noin 1½ tunnin kuluttua. [3, Polaariradan ominaisuuksia -luku]

Polaaristen satelliittien radiometrit skannaavat alapuolisesta maa-alueesta noin 3000 kilometrin levyistä vaakasuuntaista linjaa. Pystysuuntainen siirtymä muodostuu

²Television Infrared Operational Satellite



Kuva 2: Polaarinen kiertorata [3, luvut Polaariset ja geostationaariset sääsatelliitit sekä Polaariradan ominaisuuksia]

satelliitin kulkiessa eteenpäin radallaan. Kuvan syntyminen muistuttaa siis tapaa, jolla TV-kuva muodostetaan. Radiometri toimii tällä tavalla jatkuvasti, kuvaten noin 3000 km levyistä nauhaa alapuolelleen. Matalalla kiertävät satelliitit pystyvät parhaimmillaan noin 1 km erottelukykyyn. [2, s. 1-1][3, luku Polaariset ja geostationaariset sääsatelliitit]

Hyvän erottelukykyensä takia polaariset sääsatelliitit soveltuvat parhaiten paikallisten sääilmiöiden yksityiskohtaiseen tarkkailuun. Napa-alueiden kautta kulkeva rata helpottaa näiden alueiden tarkkailua. Matalalla radalla kiertävät satelliitit pystyvät myös paremmin tutkimaan ilmakehää, kuten suorittamaan otsonimittauksia. [3, luku Polaariset ja geostationaariset sääsatelliitit]

Polaarisia sääsatelliitteja ovat esimerkiksi yhdysvaltalaiset TIROS/NOAA -satelliitit sekä venäläiset Meteor-satelliitit [2, s. 1-1, 1-5].

2.2 Geostationaariset sääsatelliitit

Geostationaarisella radalla satelliitit kiertävät maapalloa noin 36000 km korkeudessa päiväntasaajan yläpuolella. Nämä satelliitit kiertävät maapallon likimain vuorokaudessa, jolloin ne itse asiassa pysyvät maahan nähden lähes paikallaan. Tällöin antennit voidaan pysyvästi suunnata haluttuun satelliittiin. Geostationaarinen rata on esitetty kuvassa 3 [3, luku Polaariset ja geostationaariset sääsatelliitit][2, s. 1-7]



Kuva 3: Geostationaarinen kiertorata [3, luku Polaariset ja geostationaariset sääsatelliitit]

Koska ratakorkeus on huomattavasti polaarisia satelliitteja suurempi, voidaan geostationaarisista sääsatelliiteista tarkkailla koko pallonpuoliskon säätilaa. Myös uusimmat geostationaariset satelliitit pystyvät noin 1 km erottelukykyyn. Tähän tarkkuuteen päästään kuitenkin vain päiväntasaajan kohdalla. Navoillemäntäessä erottelukyky huononee vähitellen satelliittien sijainnista johtuen ja on Suomen korkeudella 6–25 km. Sama alue kuvataan 15–30 minuutin välein. Peräkkäisistä kuvista voidaan näin muodostaa sääanimaatioita. [2, s. 1-7][3, luvut Polaariset ja geostationaariset sääsatelliitit sekä Geostationaariradan ominaisuuksia]

Geostationaariset sääsatelliitit eivät pääsääntöisesti lähetä kuvaamaansa dataa suoraan yleiseen vastaanottoon, vaan data siirretään ensin maa-asemalle jatkokäsittelyä varten. Kuvia esimerkiksi pilkotaan pienemmiksi ja niihin lisätään mantereiden ääriviivoja tunnistamisen helpottamiseksi. Tämän jälkeen kuvat lähetetään takaisin satelliittiin, joka lähettää ne maahan osana *WEFAX-ohjelmaa*. Geostationaarisen satelliitin ottamien kuvien lisäksi samalla voidaan välittää myös maa-asemalla käsiteltyjä polaaristen satelliittien ottamia kuvia sekä erilaisia sääkarttoja. [1, s. 11-1][2, s. 1-7 – 1-9]

Geostationaarisia sääsatelliitteja ovat esimerkiksi yhdysvaltojen GOES-satelliitit, japanilaiset GMS-satelliitit, Euroopan sääsatelliittijärjestön Eumetsatin Meteosat-satelliitit sekä venäläiset GOMS-satelliitit [3, luku Polaariset ja geostationaariset sääsatelliitit].

3 APT-lähetelaji

Jo ensimmäisten sääsatelliittien aikaan 1960-luvulla ymmärrettiin niiden mahdollisuudet ihmisten elämänlaadun parantamisessa. Hirmumyrskyjen ja muiden voimakkaiden sääilmiöiden ennustaminen auttaa pelastamaan ihmishenkiä. Jotta nämä mahdollisuudet saataisiin laajalti käyttöön, sääsatelliittikuvia haluttiin pitää helposti saatavilla. [1, s. 11-1]

Tätä tarkoitusta varten Yhdysvaltojen sääsatelliittiohjelma otti käyttöön APT- eli *Automatic Picture Transmission* -koodausjärjestelmän, jolla muodostettua lähetettä pystyy vastaanottamaan ja dekoodaamaan suhteellisen yksinkertaisella laitteistolla. Ensimmäinen APT-lähetettä käyttänyt satelliitti oli vuonna 1963 laukaistu TIROS VIII. Vaikka tekninen kehitys on sen jälkeen ollut voimakasta, APT-formaattiin on vuosien varrella tehty vain vähäisiä muutoksia. [1, s. 11-1]

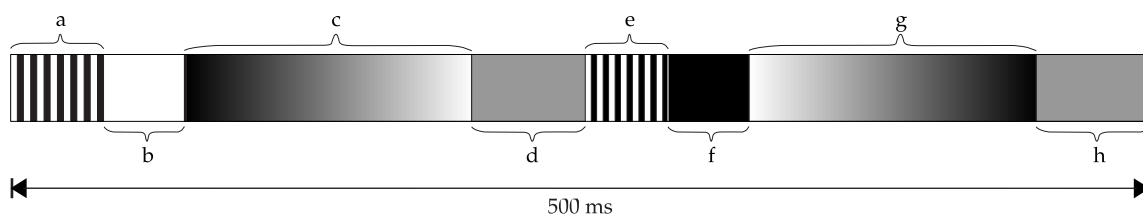
Lähetete muodostetaan amplitudimoduloimalla kuvasignaalia 2400 Hz äänitaajuista apukantaalta. Apukantaallon amplitudiarvot vastaavat kuvan kirkkausarvoja. Kuvan valkoisia kohtia vastaa täysi amplitudi ja mustia kohtia noin 4 % maksimista oleva amplitudi. Muut sävyt sijoittuvat tälle välille. Amplitudimoduloidulla apukantaallolla taajuusmoduloidaan varsinaista kantaaltaa, joka lähetetään maaseuille. [2, s. 4-1][3, Polarisaatio ja signaalin rakenne -luku]

Varsinaisessa kuvasignaalissa on pieniä eroja satelliittityyppien välillä. Signaalien rakenteeseen tutustutaan seuraavissa alaluvuissa.

3.1 Polaaristen sääsatelliittien kuvasignaali

TIROS/NOAA-satelliittien radiometrit skannaavat maata useilla eri aallonpituuskanavilla. APT-lähetteessä niistä lähetetään kahta kanavaa rinnakkain. Päivällä lähetetään näkyvän valon kanavaa ja yhtä infrapunakanavaa. Yöllä, kun valaistusolosuhteet huononevat, näkyvän valon kanava vaihdetaan toiseen infrapunakanavaan. [3, Signaalin lähetysmenetelmät -luku]

Yhden kuvajuovan lähetys kestää 500 ms. Tästä ensimmäiset 250 ms ovat infrapunakuvaa ja toiset 250 ms päivällä näkyvän valon kuvaa. Juovan rakenne on esitetty kuvassa 4. Alussa on synkronointia varten seitsemän jaksoa kanttiaalta valkoisen ja mustan tason välillä (a). Tämä voidaan nähdä kuvan reunassa mustina ja valkoisina raitoina. Kanttiaallon taajuus ennen infrapunakanavaa on 832 Hz. Ennen varsi-



Kuva 4: TIROS/NOAA-satelliitin lähettämän yhden kuvajuovan rakenne [2, s. 4-2 – 4-3]

naista infrapunakanavan kuvaa satelliitti lähettää hetken valkoista tasoa (b) merkkinä siitä, että seuraava kuva on infrapunakuva. Kerran minuutissa valkoinen taso korvataan mustalla ajoitusta varten. Tämän jälkeen lähetetään varsinainen infrapunakuvan juova (c), jossa lämpimät kohdat näkyvät tummina ja kylmät kohdat vaaleampina. [2, s. 4-2 – 4-3]

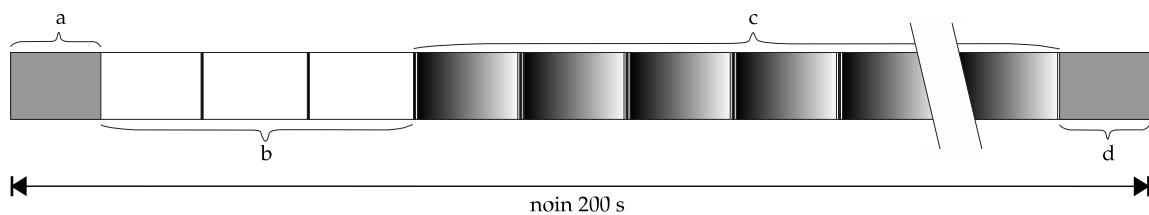
Infrapunakuvan jälkeen välitetään satelliittiin liittyviä telemetriatietoja, jotka on koodattu eri harmaasävyjä vastaaviksi raidoiksi (d). Seuraavaksi tulee seitsemän jaksoa 1040 Hz kantiaaltoa (e) synkronointia varten ja hetki mustaa tasoa (f) merkiksi tulevasta näkyvän valon kuvasta. Minuuttimerkit annetaan tässä tapauksessa valkoisina. Tämän jälkeen seuraa varsinainen juova näkyvän valon kuvasta (g) ja lopuksi lisää telemetriatietoja (h). [2, s. 4-2 – 4-3]

Analoginen APT-lähete muodostetaan satelliitissa digitaalisesta datasta, ja yhteen juovaan kuuluu 2080 10 bitin sanaa. Varsinaista kuvadataa tästä on 1818 sanaa, eli 909 sanaa yhtä kanavaa kohti. Tiedonsiirtonopeudeksi saadaan tällöin 41,6 kilobittiä sekunnissa. [6]

Venäläisten satelliittien käyttämä formaatti poikkeaa hieman TIROS/NOAA-satelliittien käyttämästä. Ne lähettävät kerrallaan vain yhtä kuvaa — joko näkyvän valon kuvaa tai infrapunakuva — valaistusolosuhteista riippuen. Yhden juovan pituus on kuitenkin sama 500 ms, joten kuva lähetetään hitaammin. [2, s. 4-4]

3.2 Geostationaaristen satelliittien kuvasignaali

Polaariset sääsatelliitit lähettävät jatkuvasti kuvajuovia ylittämistään maanpinnan osista. Niistä vastaanotetut kuvat ovat siis katkelmia jatkuvasta kuvanauhasta, joka muodostuisi jos satelliittia olisi mahdollista seurata koko ajan. Geostationaaristen satelliittien WEFAX-lähetykset puolestaan koostuvat erillisistä kuvista. Yhden ku-

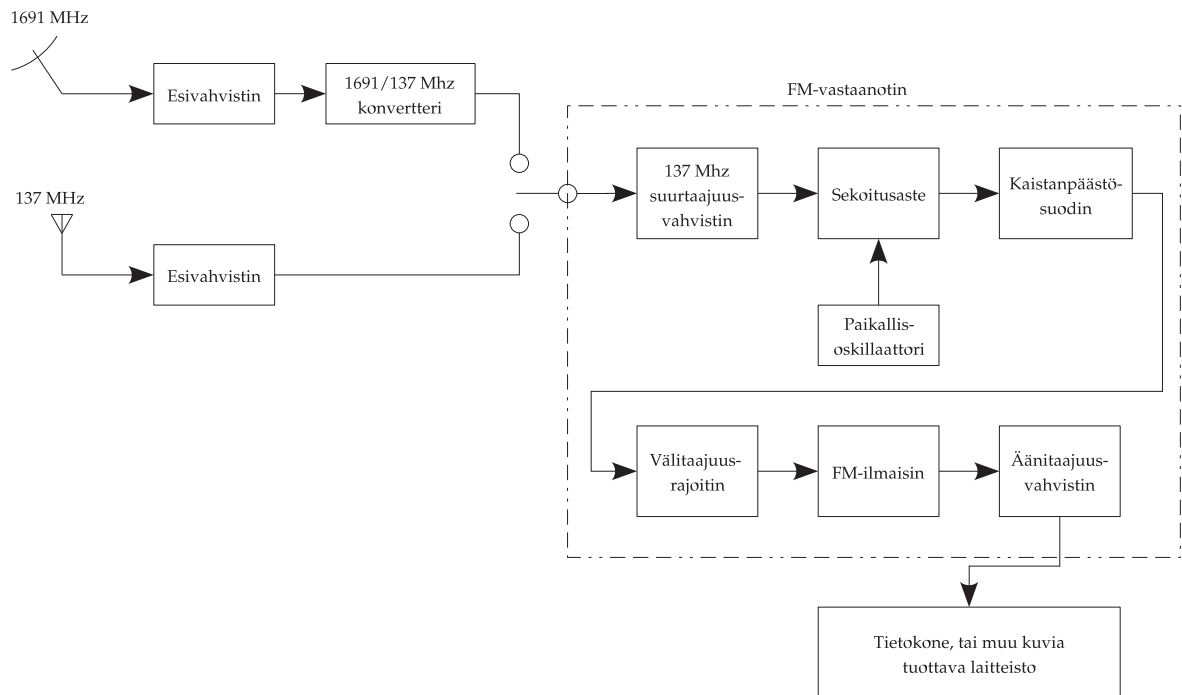


Kuva 5: Geostationaarisen satelliitin lähettämän kuvan rakenne. [2, s. 4-2 – 4-3]

van rakenne on esitetty kuvassa 5. [2, s. 4-4]

Uuden kuvan alku ilmaistaan aloitusmerkillä (a), joka on 300 Hz kanttiaalto. Merkin pituus riippuu lähettävästä satelliitista. Aloitusmerkin jälkeen lähetetään vaiheistusinformaationa (b) valkoista tasoa, jonka keskeyttävät lyhyet mustan tason pulssit. Näitä pulsseja lähetetään neljä kertaa sekunnissa, ja niistä voidaan päätellä varsinaisen kuvan juovien alkamiskohta. Tämän jälkeen lähetetään varsinainen kuvadata (c). Kunkin kuvajuovan alussa on synkronointia varten musta ja valkoinen pulssi, sekä lopussa valkoinen pulssi. Kuvan lopussa lähetetään vielä loppumerkkinä (d) noin 5 sekuntia 450 Hz kanttiaalto. [2, s. 4-4 – 4-5]

Tavanomainen WEFAX-kuva koostuu 800 juovasta. Sekunnin aikana lähetetään neljä juovaa, jolloin yhden kuvan lähettämiseen kuluu aikaa 200 sekuntia. Jotkin kuvat voivat olla tätä pienempiä ja jotkin sääkartat voivat olla hieman suurempia. [2, s. 4-4 – 4-5]



Kuva 6: Tyypillisen sääsatelliittivastaanottolaitteiston lohkokaaavio [1, s. 11-2][2, s. 3-2]

4 Vastaanottojärjestelmä

Yksinkertaisimmillaan sääsatelliittidatan vastaanottoon tarvitaan sopiva antenni, radiovastaanotin sekä jonkinlainen laitteisto vastaanotetun datan tulkitsemiseen [2, s. 1-10]. Tässä luvussa kerrotaan harrastuskäyttöön sopivan vastaanottolaitteiston rakenteesta. Laitteiston rakenne on esitetty lohkokaaaviona kuvassa 6.

4.1 Antennien suunnittelun yleisperiaatteet satelliittikäytössä

Vastaanottojärjestelmän ensimmäinen osa on antenni, jonka tehtävänä on kerätä satelliitin lähettämää radiotaajuista energiaa. Polaariset satelliitit lähettävät VHF-taajuuksilla välillä 136–138 MHz. Geostationaaristen satelliittien WEFAX-lähetykset tapahtuvat korkeammilla, 1691–1694 MHz taajuuksilla. Kummallekin taajuusalueelle vaaditaan sille sopiva, satelliittivastaanottoon soveltuva antenni. [2, s. 1-10 – 1-11]

Antennia suunniteltaessa tärkeitä huomioon otettavia asioita ovat sen *vahvistus*, *keulanleveys* ja *polarisaatio*. Antennin vahvistus tarkoittaa, kuinka paljon voimakkaam-

man signaalin antenni antaa johonkin vertailutasoon nähden. Vertailutasona käytetään usein yksinkertaista dipoliantennia. Keilanleveys tarkoittaa antennin *säteilykuvion* eli *suuntakuviion* leveyttä. Vahvistus ja keilanleveys ovat suhteessa toisiinsa siten, että antennilla, jolla on suuri vahvistus, on samalla kapea keila ja päinvastoin. Siten voimakkaasti vahvistavat antennit ovat suunta-antenneja, jotka täytyy suunnata tarkasti kohteeseen, josta signaalia halutaan vastaanottaa. [2, s. 2-1]

Sääsatelliittien lähettimet toimivat alle 5 watin teholla, joten signaali on varsin heikko [3, Radiovastaanotin-luku]. Suuresta vahvistuksesta olisi siis hyötyä. Polaaristen sääsatelliittien tapauksessa tällaisen antennin käyttö kuitenkin vaatisi antennin jatkuvaa kääntämistä siten, että antenni on koko ajan suunnattu kohti satelliittia. Ympärisäteilevällä antennilla on pienempi vahvistus, mutta suuntausta ei tarvita. [2, s. 2-1 – 2-2]

Antennin kääntämiseen satelliitin seuranta varten on saatavilla myös automaattisia järjestelmiä. Jos halutaan seurata myös polaaristen satelliittien lähellä horisonttia tapahtuvia ylityksiä, tällainen järjestelmä takaa parhaan tuloksen. Jos kuitenkin tyydytään seuraamaan parhaita, lähes tarkkailupaikan kohdalla tapahtuvia ylityksiä, ympärisäteilevät antennit ovat yksinkertaisempia eivätkä tarvitse seurantalaitteistoa. [2, s. 2-2 – 2-3]

Sopivan antennin rakenteeseen vaikuttaa lisäksi polarisaatio. Maanpäällisessä radioliikenteessä käytetään yleensä *lineaarista polarisaatiota*, joko *pysty-* tai *vaakapolarisaatiota* [2, s. 2-1]. Lineaarisen polarisaation tason määrää sähkömagneettisen aallon sähkökentän suunta [1, s. 6-4]. Käytetyn antennin polarisaatiotason näkee myös sen säteilevän elementin asennosta. Esimerkiksi ajoneuvoissa käytettävät piiskaantennit käyttävät pystypolarisaatiota ja tv-antennit vaakapolarisaatiota. Mikäli lähetävä ja vastaanottava antenni käyttävät eri polarisaatiota, järjestelmään saattaa tulla jopa 20 dB vaimennusta, joten tällaista tilannetta on syytä välttää. [2, s. 2-1]

Polaariset satelliitit kuitenkin liikkuvat jatkuvasti maahan nähden. Erityisesti vanhemmat satelliitit käyttivät lineaarisesti polarisoituja antenneja niiden yksinkertaisuuden vuoksi. Tällöin satelliitin liike saa polarisaatiotason muuttumaan jatkuvasti. Jotta vastaanotetun signaalin voimakkuus ei vaihtelisi niin paljon, maa-aseilla alettiin käyttää *ympyräpolarisoituja* antenneja. Myöhemmin vastaavanlaisia antenneja on alettu käyttää myös TIROS/NOAA-satelliiteissa. [2, s. 2-1 – 2-2]

Ympyräpolarisoitu aalto kiertyy koko ajan edetessään avaruudessa. Lähettimessä käytetty antenni tai antennin pyörimissuunta määrää aallon kiertymissuunnan. Kier-

tymissuunnan mukaan puhutaan *oikea-* ja *vasenkätisestä ympyräpolarisaatiosta*. Sääsatelliiteista ainakin TIROS/NOAA-satelliitit käyttävät oikeakätistä ympyräpolarisaatiota, joten vastaanottoantennikin kannattaa suunnitella sitä varten. [2, s. 2-2]

Geostationaariset satelliitit sen sijaan pysyvät likimain samassa paikassa taivaalla, jolloin voidaan käyttää suunta-antenneja ja lineaarista polarisaatiota ilman, että antennia tarvitsee kääntää [2, s. 2-2]. Erityisesti käyttöikänsä loppua lähestyvät satelliitit liikkuvat kuitenkin jonkin verran maahan nähden, joten niistä vastaanotetun datan laatu saattaa ajoittain huonontua, jos käytetty antenni on erityisen kapeakeilainen [2, s. 2-12].

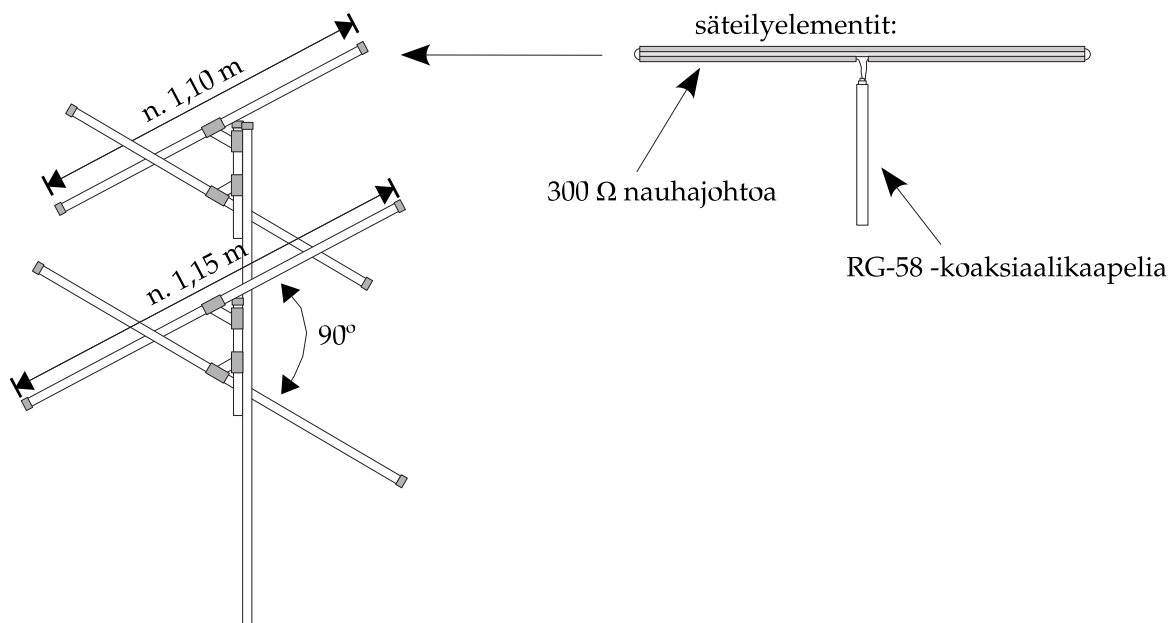
4.2 VHF-antennit

Polaaristen sääsatelliittien lähetykset tapahtuvat VHF-alueella 136–138 MHz taajuuksilla [2, s. 1-10]. Kun kaksi yksinkertaista dipoliantennia kytketään toisiinsa oikeassa kulmassa, muodostuu ympyräpolarisoidun signaalin vastaanottoon sopiva *ristidipoli*. Dipolit kytketään toisiinsa *viivelinjakaapelin* välityksellä, joka tasoittaa niiden välisen 90 asteen vaihe-eron. Tällöin niiden signaalit vahvistavat toisiaan. [3, Antennit-luku]

Antennia voidaan vielä parantaa lisäämällä dipolielementtien alapuolelle heijastin, joka voi olla esimerkiksi tiheä sähköä johtava verkko, peltikatto tai dipolielementtien kanssa samassa asennossa olevat ristikkäiset tangot. [3, Antennit-luku]

Antennielementtien tulee olla hyvin sähköä johtavaa materiaalia, kuten alumiinia, kuparia tai messinkiä [3, Antennit-luku]. Usein käytetään eri paksuisia alumiiniputkia. Ralph E. Taggartin [2, s. 2-3] mukaan alumiiniputket eivät kuitenkaan ole harastuskäytössä paras mahdollinen materiaali. Tällaista putkea voi olla vaikea saada, ja se on useimmiten suhteellisen kallista. Alumiiniputkien työstäminen on lisäksi melko hankalaa, ja niistä tehtyä antennia on vaikea saada säänkestäväksi.

Näiden ongelmien korjaamiseksi Taggart on suunnitellut sääsatelliitivastaanottoa varten ristidipolin tyyppisen *Zapper II* -antennin, jonka runko muodostuu 1,27 cm CPVC-putkista ja niihin sopivista T-liittimistä. CPVC-putkia on yleisesti saatavilla rautakaupoista. Antennirunko voidaan koota liimaamalla, ja se saadaan näin tukevaksi ja säänkestäväksi. Varsinaiset säteilevät elementit on tehty CPVC-putkien sisälle 300 ohmin nauhajohdosta sekä heijastimet koaksiaalikaapelista. Antennin rakenne on esitetty tarkemmin kuvassa 7. Tällainen antenni on ympärisäteilevä, eikä



Kuva 7: Ralph E. Taggartin suunnittelema Zapper II -antenni [2, s. 2-3 – 2-7]

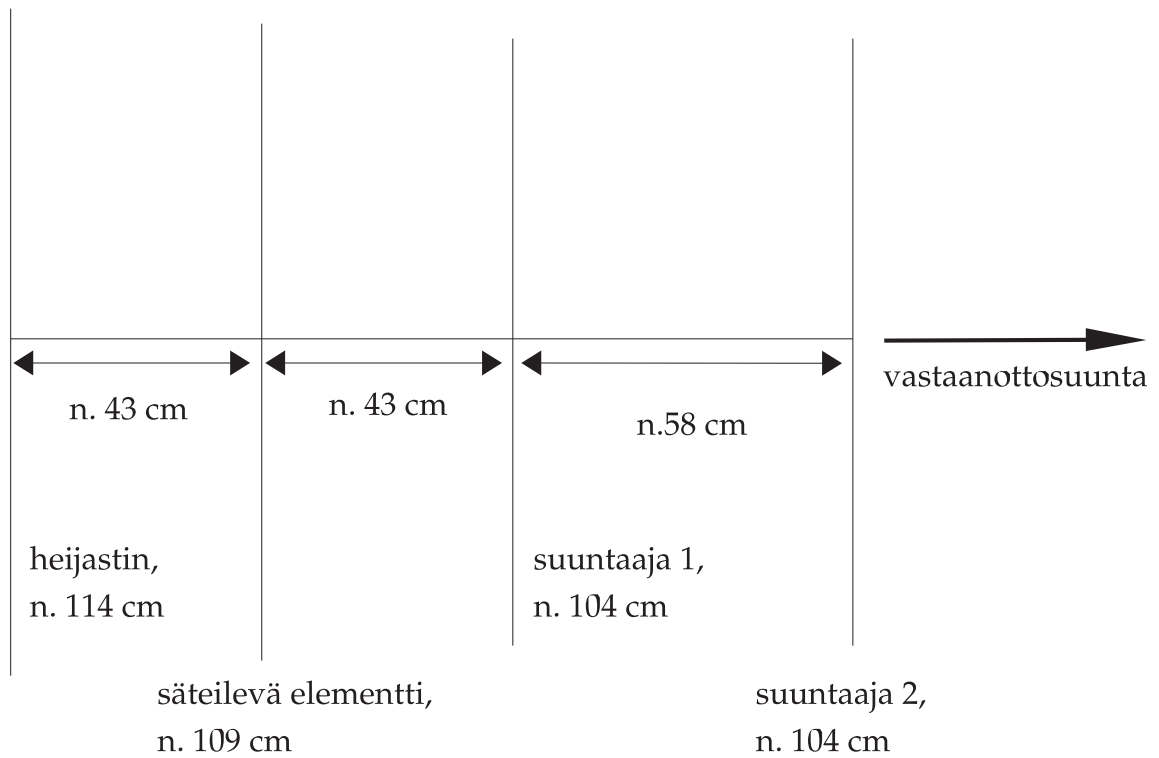
tarvitse suuntausta. Vahvistus on riittävä satelliittien lähimmillä ylityksillä. [2, s. 2-3 – 2-4]

Vastaanottoa voidaan edelleen parantaa lisäämällä antennin ja syöttöjohdon väliin esivahvistin, joka soveltuu käytetylle taajuusalueelle. Parhaita ovat vähän kohisevat, kapeakaistaiset vahvistimet, joiden vahvistus on noin 15–25 dB. [2, s. 2-3][3, Antennit-luku]

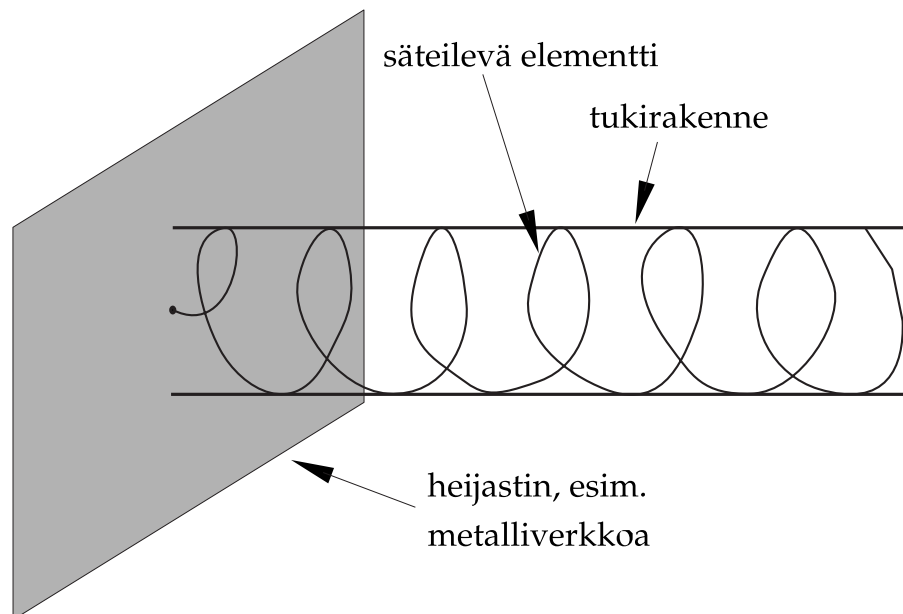
Lähellä horisonttia tapahtuvia ylityksiä voidaan vastaanottaa paremmin suuntaavalla antennilla, kuten *ristijagilla* tai *helix-antennilla*. Ristijagi muistuttaa heijastimella varustettua ristidipolia, sillä poikkeuksella, että säteilevien elementtien yläpuolelle on lisätty yksi tai useampia suuntaavia elementtejä. Ristijagia vastaava antenni voidaan koota myös kahdesta lineaarisesta jagista. Helix-antennissa antennielementti muistuttaa ruuvikierrettä. Nämä antennit vaativat jonkinlaisen laitteiston, jolla antenni pidetään suunnattuna kohti satelliittia. Jagiantennin rakenne on esitetty kuvassa 8 ja Helix-antennin rakenne kuvassa 9. [2, s. 2-8 – 2-11][3, Antennit-luku]

4.3 UHF-antennit

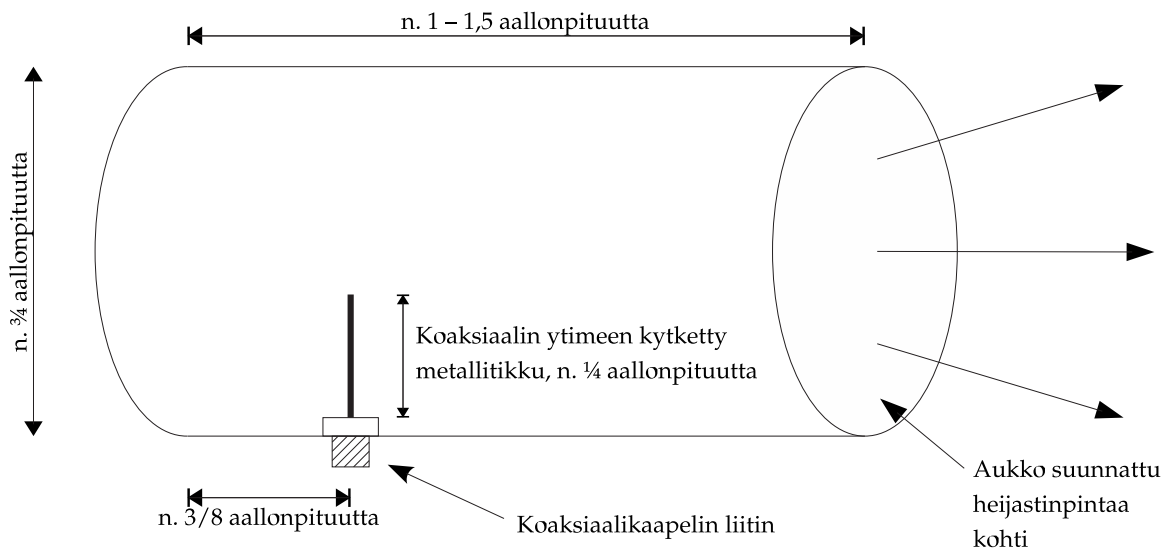
Geostationaariset sääsatelliitit lähettävät UHF alueella 1691–1694 MHz taajuuksilla. Tällä taajuusalueella ei voida käyttää ristidipolia, vaan vastaanottoon soveltuu



Kuva 8: Säätatelliitivastaanottoon soveltuvan 4-elementtisen jagiantennin rakenne [2, s. 2-10]



Kuva 9: Helix-antennin rakenne [1, s. 6-16]



Kuva 10: Lautasantennin syöttötorvi [1, kuva 6-30]

parhaiten halkaisijaltaan vähintään 1,5 metrin lautasantenni. Suurempi lautanen antaa enemmän vahvistusta ja kapeamman keilan. [2, s. 2-11 – 2-12][3, Meteosat-vastaanotto -luku]

Lautasantenni muodostuu paraboloidin muotoisesta heijastinpinnasta sekä sen polttopisteeseen asetetusta säteilevästä elementistä. Suoraan paraboloidin aukeamis-suunnasta lautasantennin heijastinpintaan osuva säteily heijastuu polttopisteeseen. Vastaavasti heijastinpinta suuntaa polttopisteestä lähetetyn säteilyn suoraan eteenpäin samaan tapaan kuin taskulampun heijastin suuntaa valoa. [1, s. 6-22]

Säteilevänä elementtinä lautasantennissa voidaan käyttää pientä jagentennia [4, s. 3] tai syöttötorvea, jonka voi tehdä esimerkiksi pienestä metallipurkista [1, s. 6-22]. Purkin mitat tulee valita käytetyn taajuuden mukaan. Esimerkki syöttötorven rakenteesta on esitetty kuvassa 10.

4.4 Radiovastaanotin

Antennin jälkeen seuraava osa vastaanottojärjestelmässä on varsinainen radiovastaanotin. Sääsatelliitit käyttävät *taajuusmoduloitua* lähetettä. Polaaristen satelliittien kuvien vastaanottoon sopii VHF-alueen FM-vastaanotin, jolla voidaan kuunnella 137–138 MHz taajuuksia. Sääsatelliittien lähettimien pieni lähetysteho ja lähetteen kaistanleveys asettavat kuitenkin erityisiä vaatimuksia vastaanottimen rakenteelle.

FM-vastaanottimen rakenne on esitetty kuvassa 6. [2, s. 3-1]

Nykyaikaiset radiovastaanottimet toimivat tyypillisesti *superheterodyne*-periaatteella. Tämä tarkoittaa sitä, että vastaanotettava suurtaajuinen signaali muunnetaan eli *sekoitetaan* jo varhaisessa vaiheessa kiinteälle *välitaajuudelle*, joka on valittu vastaanotinta suunniteltaessa. Tämä yksinkertaistaa vastaanottimen rakennetta, sillä välitaajuudella toimivat asteet voidaan suunnitella kiinteästi valitulle välitaajuudelle, eikä niitä tarvitse erikseen virittää käytön aikana. Vastaanotettava taajuus valitaan säätämällä *paikallisoskillaattorin* taajuutta, joka määrää, mikä taajuus sekoitetaan välitaajuudelle. Sekoitusasteita voi olla yksi tai useampia. Välitaajuudella oleva, suodatettu signaali *ilmaistetaan* eli *demoduloidaan*, jolloin saadaan varsinainen äänitaajuinen signaali. [8, s. 196–200]

Heikon signaalin vastaanotossa ensimmäisellä suurtaajuusvahvistusasteella on suurin merkitys. Tässä asteessa itse vahvistuksen suuruutta tärkeämpi ominaisuus on vähäinen kohina. Kohinaa, joka on kerran päässyt signaaliin mukaan, ei voida enää myöhemmissä asteissa poistaa, vaan päinvastoin jokainen vahvistava aste vahvistaa myös kohinaa. Myös siirtojohdossa tapahtuva signaalin vaimeneminen huonontaa signaali/kohinasuhdetta, joten parasta olisi liittää vähän kohiseva vahvistinaste välittömästi antennin yhteyteen. Riittävä vahvistus tässä vaiheessa käytännössä kumoaa vastaanottimen myöhemmissä asteissa syntyvän kohinan vaikutuksen. Vahvistusta ei saa kuitenkaan olla liikaa, sillä tämä saattaa johtaa vastaanottimen yliohjautumiseen ja voimakkaisiin häiriöihin. [2, s. 3-1 – 3-2]

Toinen rajoittava tekijä vastaanotinta valittaessa on sen *kaistanleveys*. Vastaanottimen kaistanleveyden määräävät välitaajuuksilla toimivat suotimet. Maanpäällisessä taajuusmoduloidussa viestinnässä taajuus vaihtelee useimmiten enintään $\pm 7,5$ kHz. Siksi monien skannerivastaanottimien kaistanleveys on noin 15 kHz. Sääsatelliittien läheteessä taajuuden vaihtelu voi kuitenkin olla ± 18 kHz. Satelliitin liike aiheuttaa lisäksi signaaliin Dopplerin siirtymän, joka voi olla ± 3 kHz. Lähetteen kaistanleveys voi siis kokonaisuudessaan olla yli 40 kHz, eikä 15 kHz kaistanleveydellä varustettu vastaanotin siksi sovellu sääsatelliittidatan vastaanottoon. Vaikka vastaanotin olisi muuten hyvä ja moduloimaton kantaalto kuuluisi selvästi, varsinaista signaalia ei saada vastaanotettua käyttökelpoisena. [2, s. 3-4]

Paras vaihtoehto sääsatelliittivastaanottoon ovat nimenomaan tähän tarkoitukseen suunnitellut vastaanottimet. Niillä oikeat vastaanottotaajuudet löytyvät helposti ja kaistanleveys on sopiva. Joissakin malleissa on myös automaattinen haku, joka käy läpi 137–138 MHz taajuuksia, kunnes joltakin taajuudelta löytyy signaali. Tällöin

vastaanotin jää tälle taajuudelle. Sääsatelliittivastaanottimia on saatavilla myös rakennussarjoina. [2, s. 3-4 – 3-5][3, Radiovastaanotin-luku]

Myös useat skannerit, liikennevastaanottimet ja muut radioamatöörilaitteet voivat soveltua sääsatelliittivastaanottoon. Jos vastaanotin ei suoraan kykene 137–138 MHz taajuuksien vastaanottoon, tämä voidaan mahdollistaa antennin ja vastaanottimen väliin asetetulla *konvertterilla*, tai suoraan vastaanotinta muokkaamalla. Samoin liian kapeaa kaistanleveyttä voi olla mahdollista leventää vaihtamalla vastaanottimessa käytettyjä suotimia. Erityisesti pienikokoisten vastaanottimien muokkaaminen voi kuitenkin olla vaikeaa korkean integraatioasteen vuoksi. [2, s. 3-4 – 3-7]

Geostationaaristen sääsatelliittien datan vastaanottoon ei käytännössä kannata hankkia erillistä vastaanotinta. Sen sijaan voidaan käyttää konvertteria, jolla signaalin taajuus lasketaan 137–138 MHz alueelle. Näin samaa vastaanotinta voidaan käyttää sekä polaaristen että geostationaaristen satelliittien kuunteluun. [2, s. 3-8]

Konvertterin voi tehdä itse, mutta hyvään lopputulokseen pääseminen vaatii laadukkaita komponentteja, jotka ovat harvinaisia ja kalliita. Lisäksi konvertterin säätämiseen tarvitaan kehittyneitä mittalaitteita. Myös valmiita sääsatelliittikäyttöön sopivia konverttereita on saatavilla, mutta niidenkin hinnat ovat suhteellisen korkeita. [2, s. 3-11][3, Meteosat-vastaanotto -luku]

Kohinan vähentämiseksi konvertteri on parasta sijoittaa suoraan antennin yhteyteen. On kuitenkin syytä kiinnittää huomiota arvokkaan laitteen huolelliseen suojaamiseen vaihtelevilta säilytältä. Erityisesti veden pääseminen laitteen ja liittimien sisälle on estettävä. Jo konvertteria hankittaessa kannattaa vertailla laitteiden taajuusvakavuutta. Voimakkaat lämpötilanvaihtelut voivat vaikuttaa konvertterin paikallisoskillaattoreiden taajuuksiin, jolloin laite ei välttämättä toimi oikein tai signaaliin tulee ylimääräistä kohinaa. [2, s. 3-12 – 3-13]

4.5 Tietokoneliitäntä

Sääsatelliittien historian aikana varsinaisten kuvien tuottamiseen on käytetty *FAX-tulostimia* ja erityisesti sääsatelliittikuvien katselua varten rakennettuja *CRT-näyttöjä*. Nykyään yksinkertaisin tapa kuvien katseluun on kuitenkin tietokoneen käyttö. [1, s. 11-3][2, s. 4-5 – 4-10]

Tietokoneeseen kohdistuvat laitteistovaatimukset ovat hyvin pienet. Periaatteessa vastaanottoon riittää Intel 8086 -prosessoriin perustuva tietokone 640 kilotavun kes-

kusmuistilla. Kuvien käsittely kuitenkin vaatii runsaasti prosessoritehoa ja keskusmuistia, joten 80386:een ja sitä uudempiin prosessoreihin perustuvat tietokoneet yli 4 megatavun keskusmuistilla mahdollistavat tarkemmat kuvat suuremmalla värimäärällä. [3, Tietokone -luku]

Ensimmäisissä tietokonepohjaisissa vastaanottojärjestelmissä laitteistovaatimuksia alennettiin kuvan tarkkuutta ja värimäärää vähentämällä sekä konekielisten ohjelmien käytöllä. Esimerkiksi mustavalkoisena eli 1 bitin värisyvyydellä tallennettu pienitarkkuuksinen kuva voi viedä muistia vain 8 kilotavua. Teoriassa yksi APT-kanavan juova koostuu 909 10 bitin sanasta. Kuvassa on siis käytössä 10 bitin harmaasävyskaala. Sekunnin aikana lähetetään kaksi tällaista juovaa. Jos kanavaa vastaanotetaan teoreettisella maksimitarkkuudella noin 10 minuuttia eli 600 sekuntia kestävän satelliitin ylityksen ajan, muodostuneen kuvan kooksi saadaan noin 909×1200 pikseliä. 10 bitin värisyvyydellä kuva vie muistia noin 1,3 megatavua. Nykystandardien mukaiset tietokoneet täyttävät laitevaatimukset vaivatta. [1, s. 11-4][2, s. 6-1 – 6-2][6]

Jotta sääsatelliittikuvia voitaisiin käsitellä tietokoneella, täytyy radiovastaanottimesta saatu analoginen signaali ensin muuttaa digitaaliseen muotoon. Aikaisemmin tämä tehtiin erityisesti tarkoitukseen suunniteltujen *A/D-muuntimien* eli niin sanottujen *APT-modeemien* avulla. Tällaisia laitteita on ollut saatavilla sekä tietokoneen sisälle asennettavina lisäkorteina että ulkoisina laitteina, jotka liitetään tietokoneeseen esimerkiksi rinnakkaisportin kautta. Laitteita on voinut hankkia sekä valmiina, että itse koottavina rakennussarjoina. Eri valmistajan laitteille oli olemassa erityiset ohjelmistonsa, jotka tukivat vain kyseistä laitetta [3, A/D-muunnos -luku].[2, s. 5-1 – 5-2, 5-12]

Nykyisin useimmissa tapauksissa ei kuitenkaan tarvita erityistä sääsatelliittikuvien vastaanottoon tarkoitettua A/D-muunninta. Lähes kaikissa uusissa tietokoneissa on valmiina äänikortti tai integroitu ääniipiiri, joka sisältää A/D-muuntimen. Niihinkin koneisiin, joista ääniominaisuudet puuttuvat, ne voidaan edullisesti lisätä jälkeempään. Windows-pohjaiset vastaanotto-ohjelmat toimivat periaatteessa minikä tahansa Windowsin tukeman äänikortin kanssa. Signaali syötetään radiovastaanottimen ääniulostulosta äänikortin *Line in-* tai mikrofoniiliitäntään. [3, Äänikortit -luku]

Tietokonetta käytettäessä koko vastaanottolaitteisto saadaan tarvittaessa hyvinkin pieneen tilaan. Peter Doherty ym. esittelevät artikkelissaan *A PCMCIA Weather Satellite Receiver* radiovastaanottimen, joka mahtuu kannettavissa tietokoneissa käytet-

tävälle II-tyypin PCMCIA-kortille. Tällöin vastaanotinkortilla varustetun kannettavan tietokoneen lisäksi tarvitaan vain erillinen antenni ja siihen yhdistetty esivahvistin. [7]

5 Tietokoneohjelmat

Tietokonepohjaisessa vastaanottojärjestelmässä ohjelmistoilla on oleellinen osa. Ohjelmia tarvitaan A/D-muuntimen ohjaamiseen, kuvadatan tallentamiseen sekä kuvien jatkokäsittelyyn. [1, s. 11-4]

Lisäksi satelliittien seuraamista helpottavat ohjelmat, joilla voidaan laskennallisesti ennustaa satelliittien ratoja ja sitä kautta ylitysten aikaa ja paikkaa. [3, Satelliittilas-kentaohjelmat-luku]

Tässä luvussa tutustutaan sääsatelliittivastaanotossa tarvittaviin ohjelmiin ja annetaan esimerkkejä saatavilla olevista ohjelmista.

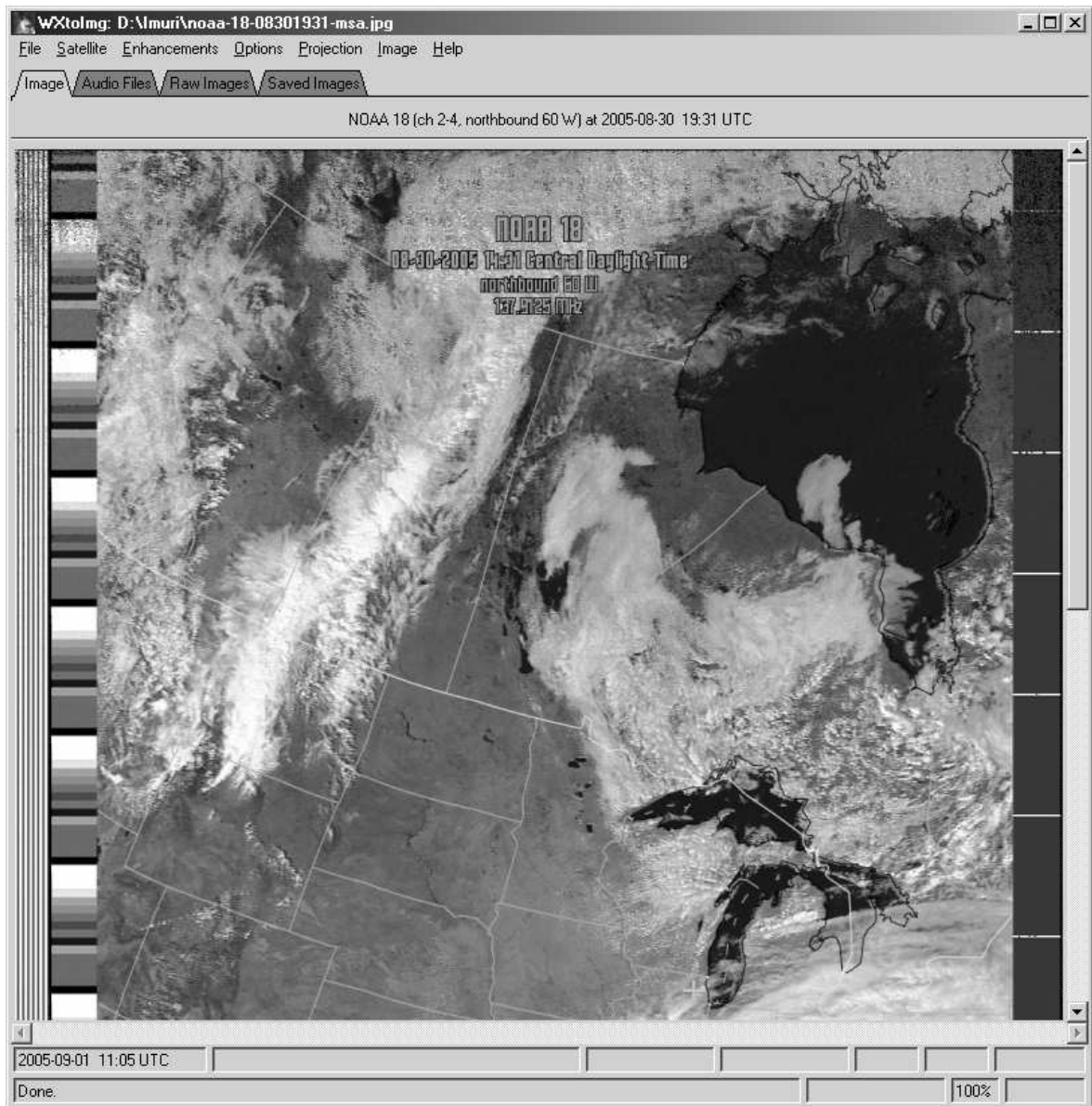
5.1 Digitointiohjelmat

Digitointiohjelmien tehtävänä on tallentaa A/D-muuntimen digitaaliseen muotoon muuttama kuvadata tietokoneen muistiin. Ohjelmat voivat tarjota myös muita ominaisuuksia kuvien käsittelyyn.

Eräs suosittu Digitointiohjelma on Abstract Technologies New Zealand -yhtiön tuottama *WXtoImg*. Ohjelma dekodaa sekä polaaristen että geostationaaristen satelliittien lähetyksiä. Myös liian kapeakaistaista vastaanotinta käyttäessä ohjelma pyrkii tuottamaan jonkinlaisia kuvia. Kuvat voidaan tallentaa joko sellaisenaan, tai käsiteltyinä eri kuvaformaateissa. Automaattiset parannustoiminnot käyttävät hyväkseen kuvadatan yhteydessä lähetettäviä telemetriatietoja, joiden perusteella on mahdollista esimerkiksi kompensoida signaalinvoimakkuuden epälineaarisuuksia sekä tarjota infrapunakuville tarkka lämpötila-asteikko. Kuvien suoristamiseen ja dopplersiirtymän aiheuttamien vääristymien korjaamiseen käytetään PLL-tekniikkaa. [9, s. 1]

Pilvikerrostumat voidaan esittää myös kolmiulotteisina kuvina, joita voi katsoa punavihreillä laseilla. Ohjelmasta on saatavana ilmainen versio, jonka voi maksusta päivittää laajempiin versioihin. *WXtoImg* on saatavilla Windowsille, Linuxille sekä MacOS X-käyttöjärjestelmälle. Ohjelman Windows-version käyttöliittymästä on esitetty ruudunkaappaus kuvassa 11. [10]

Eberhard Backeshoffin kehittämä *JVComm32* tarjoaa sääsatelliittikuvien lisäksi mahdollisuuden HF-taajuuksilla lähetettävien sääkartojen sekä muutamien radioamatöörin käyttämien digitaalisten lähetelajien vastaanottoon. A/D-muuntimena voi-



Kuva 11: Näkymä WXtoImg -digitointiohjelmasta sekä ohjelmalla vastaanotetusta ja jatkokäsitellystä NOAA 18 -satelliitin kuvasta. Kuva julkaistu NOAA:n ja Abstract Technologies New Zealand Limitedin luvalla.

daan käyttää äänikorttien lisäksi joitakin ulkoisia laitteita. Myös tästä ohjelmasta on tarjolla ilmainen kokeiluversio, joka lisää kuviin ohjelman mainostekstejä. Näistä pääsee eroon ostamalla täysversion. [11]

Christian Bockin *WXSat* on opetus- ja harrastuskäytössä ilmainen digitointiohjelma. Ohjelma tukee useimpien sääsatelliittien sekä HF-taajuuksilla lähetettävien sääkartojen vastaanottoa. Ohjelmasta on saatavana englannin-, saksan- ja espanjankieliset versiot. [12]

5.2 Satelliittilaskentaohjelmat

Polaaristen sääsatelliittien kuvaa voidaan vastaanottaa vain satelliitin ollessa horisontin yläpuolella. Satelliittien kulkua radallaan sekä ylitysten aikaa ja paikkaa voidaan laskennallisesti ennustaa. Näitä laskuja on periaatteessa mahdollista tehdä pelkästään kynää ja paperia käyttäen, mutta tietokoneohjelmat voivat tehdä ne automaattisesti. [2, s. 8-1]

Laskennassa tarvitaan numeerisia tietoja kunkin satelliitin radasta. Näitä tietoja on saatavissa viikoittain NASA:ltä. Koska satelliittien radat muuttuvat vähitellen, on ratatiedot päivitettävä kerran kuukaudessa. [3, Satelliittilaskentaohjelmat-luku]

WXTrack on Windows-pohjainen satelliittien seurantaohjelmisto. Ohjelma näyttää satelliittien radat maailmankartalla. Yksittäisen satelliitin kulloisenkin sijaintipaikan ympärille on merkitty alue, jolla satelliitti on horisontin yläpuolella, sekä radiometrin arvioitu skannauslinja. Lasketun radan avulla ohjelma voi myös esittää sen osan kartalta, jota satelliitti skannaa yhden ylityksen aikana. Kartan rinnalle voidaan ladata varsinainen vastaanotettu satelliittikuva. Näin satelliittikuva voi suoraan verrata karttaan samasta alueesta, mikä helpottaa paikkojen tunnistamista. Myös joitakin antenninkääntölaitteita voidaan ohjata automaattisesti *WSTrack*-ohjelman avulla suunta-antenneja käytettäessä. Ohjelmasta on saatavilla ilmaisversio ei-kaupalliseen käyttöön. Maksullisessa versiossa on lisää ominaisuuksia, kuten tuki GPS-laitteille vastaanottoaseman sijainnin tunnistamista varten. [13][14]

Nova for Windows on satelliittilaskentaohjelma, jolla voi sääsatelliittien lisäksi seurata monia muitakin satelliitteja sekä Aurinkoa, Kuuta ja aurinkokunnan planeettoja. Satelliittien ratoja voi seurata maailmankartalla, sekä tarkkailupaikan tähtitaivaan kuvaa vasten. Tarkka kellonaika ja satelliittien ratatiedot voidaan päivittää automaattisesti Internetin välityksellä. Myös *Nova for Windows* tukee joidenkin anten-

ninkääntölaitteiden ohjaamista. Ohjelman ilmaisversiossa ei ole tallennusmahdollisuutta, mutta sen saa käyttöön maksamalla rekisteröintimaksun. [15]

Satelliittilaskentaan on tarjolla myös vapaaohjelmia. John A. Magliacanen *PREDICT*-ohjelman kehitys alkoi alun perin Commodore 64 -ympäristössä. Nykyisin sovellus toimii Linux-alustalla. *PREDICT* on nimenomaan laskentaohjelma, ja sen käyttöliittymä on tekstipohjainen. Ohjelmassa on kuitenkin paljon ominaisuuksia, joita eri kehittäjät ovat siihen vapaaohjelmille tyypilliseen tapaan lisänneet. Esimerkkinä voi mainita socket-pohjaisen liittymän antenninkääntölaitteita varten. Erityisenä ominaisuutena satelliitin sijaintitietoja on mahdollista kuulla reaaliaikaisesti puheena, jolloin on helpompi keskittyä satelliitin seuraamiseen. [16]

6 Satelliitivastaanottolaitteiston ja kuvien käyttö

Sääsatelliittikuvilla on monenlaista käyttöä. Tässä luvussa tutustutaan vastaanottolaitteiston ja kuvien käyttöön harrastustoiminnassa sekä osana ammattimaista säähavaintojen ja -ennustusten tekemistä.

6.1 Harrastuskäyttö

Vaikka säätietoja on nykyään saatavilla monesta lähteestä, myös suoraan satelliiteista vastaanotetuilla kuvilla on käyttöä. Itse vastaanotetut sääsatelliittien kuvat tarjoavat lähes reaaliaikaista tietoa maapallon säätilasta.

Erityisesti kaupunkioloissa antennin sijoittelu saattaa tuottaa vaikeuksia. Korkeat rakennukset voivat estää satelliittien signaaleita saavuttamasta antennia, jolloin kuvaan aiheutuu häipymiä. Parhaat sijoituspaikat antennille ovat korkeissa maastonkohdissa tai rakennusten katoilla. Antennin sijoittaminen esimerkiksi kerrostalon katolle saattaa kuitenkin vaatia erityisen luvan. Vaikeissa tilanteissa antenni ja vastaanottolaitteisto voidaan tehdä mukana kannettaviksi, jolloin voidaan joustavasti valita suotuisa vastaanottopaikka. Kaupungeissa aukeat paikat, kuten puistot ja pysäköintialueet saattavat tarjota hyviä paikkoja liikkuvalla satelliitivastaanottoasemalle. Vastaanotto voi onnistua myös parvekkeelle sijoitetulla antennilla, mutta kunnollinen signaali voidaan saada vain siltä puolelta jonne parveke aukeaa. [20][2, s. 2-17 – 2-18][3, Häipymät-luku]

Toinen mahdollinen ongelmien aiheuttaja ovat häiriöt. Esimerkiksi käytetty tietokone tai muut elektroniikkalaitteet saattavat muodostaa radiotaajuista signaalia, joka häiritsee vastaanottoa. Häiriöt näkyvät kuvissa pystysuorina ja vinoina kohinajuo-vina. Herkin osa häiriöille on antenni, joka on syytä sijoittaa mahdollisimman kauaksi tietokoneesta ja muista häiriölähteistä. Myös radion ja tietokoneen maadoittaminen sekä niiden välisen johtimen häiriösuojaus voi parantaa tilannetta. Johdon on syytä olla suojattua tyyppiä ja siihen voidaan solmia ferriittirenkaita tai -sauvoja häiriösuodattimiksi.[3, Tietokone ja häiriöt -luku]

Häiriönpoistoon on olemassa runsaasti ohjeita radioamatööreille suunnatussa kirjallisuudessa, esimerkiksi lähteessä [17, luku 9].

Kun edellisissä luvuissa kuvattu laitteisto on toimintavalmiina, voidaan vastaanottaa kuvia. Käytetty digitointiohjelma saattaa vielä vaatia joitakin asetuksia ja kalib-

rointeja, kuten tarkan kellonajan ja vastaanottoaseman sijaintipaikan määrittämistä ja äänikortin vastaanottovoimakkuuden ja näytteenottotaajuuden säätämistä. [9, Calibration-luku]

Käytetystä ohjelmasta riippuen vastaanotettu signaali saatetaan tallentaa ensin äänitiedostoksi, tai se voidaan suoraan dekodata kuvaksi. Erityisesti hitaammilla tietokoneilla on hyvä tallentaa aluksi pelkkä äänisignaali ja muodostaa kuva vasta satelliitin mentyä. [9, Recording-luku]

Vastaanotettujen kuvien informatiivisuutta ja selkeyttä voidaan lisätä monilla erilaisilla suodatuksilla. Harmaasävyistä koostuvat kuvat voidaan värittää erilaisin perustein. Esimerkiksi infrapunakanavan kuvaan voidaan muodostaa väreihin perustuva lämpötila-asteikko. On olemassa myös toimintoja, joilla kahden rinnakkain vastaanotetun kanavan tietoja voidaan yhdistää selkeän kuvan luomiseksi. Kuvassa 11 on kyse tällaisen, niin sanotun *Multispectral analysis* -toiminnon muodostamasta kuvasta. Lisäksi kuvaan on lisätty vesistöjen ääri viivoja ja hallinnollisia rajoja sijainnin tunnistamisen helpottamiseksi. [9, s. 6–9]

Valmiista kuvista harrastajakin voi päätellä joitakin säätilaan liittyviä asioita. Näkyvän valon kuvat kertovat erityisesti pilvipeitteestä. Paksut pilvimassat tuovat usein mukanaan sateita. Ohuet, hennot yläpilvet esiintyvät usein *syklonien*, matalapaineen keskusten edellä, jotka erottuvat suurina pilvimassoina. Keskuksista haarautuu pitkiä pilvirintamia, joiden kohdalla esiintyy sateita. Suomeen nämä sääilmiöt tulevat usein lännestä, joten sieltä päin vastaanotetuista kuvista voi ennustaa esimerkiksi tulevaa epävakaista säätä. [3, Mitä sääsatelliittikuva kertoo? -luku]

6.2 Ammattikäyttö

Meteorologiassa sääsatelliitit ovat säätutkien ohella tärkeimpiä *kaukomittausjärjestelmiä*. Kaukomittaukset tarkoittavat etäältä mitattavasta kohteesta tehtäviä mittauksia, verrattuna havaintopaikalla tehtäviin, niin sanottuihin *in situ* -mittauksiin. Kaukomittauksen avulla voidaan parantaa perinteisten paikallisten mittausten antamaa kuvaa säätilasta ja mittauksia voidaan saada myös alueelta, jonne tavanomaisia mittalaitteita ei voida sijoittaa. Mittaus ei myöskään häiritse mitattavaa kohdetta ja siten vaikuta mittaustulokseen. Satelliittikuvista nähdään erityisesti pilvisyyden jakautumista ylhäältä käsin. Säätutkat puolestaan kertovat pilvien sisältämän sateen kolmiulotteisesta rakenteesta. Näin niiden antamat tiedot täydentävät toisiaan ja kuvaavat perinteisiä menetelmiä täydellisemmin tärkeimpien säätekijöiden, pilvien

ja sateen jakautumisesta ilmakehässä. [18, s. 1–3]

Pilvien lisäksi sääsatelliittien mittauksilla saadaan monipuolisesti tietoa myös muista säähän vaikuttavista tekijöistä, kuten tuulesta, lämpötilasta, sään ajallisesta kehityksestä, kasvillisuudesta ja maanpinnan laadusta. Sääsatelliittihavainnot ovat tärkeitä myös ilmakehän kokeellisessa tutkimuksessa sekä ilmastotutkimuksessa. Tietoja voidaan saada esimerkiksi lumipeitteestä ja ilmakehän säteilytaloudesta maailmanlaajuisesti. [18, s. 3]

Ilmatieteen laitoksella satelliittikuvien vastaanottoon käytetään tässä tutkielmassa esitettyä analogista vastaanottojärjestelmää monimutkaisempaa digitaalista laitteistoa sekä suunnattavia antennoja. NOAA-satelliitteista vastaanotetaan digitaalista *HRPT-lähetettä*, joka sisältää myös muiden kuin varsinaisia kuvia tuottavien radiometrien mittauksia, kuten satelliittiluotaustietoja. [18, s. 29–31]

Vastaanotettujen sääsatelliittikuvien tulkinta sisältää kaksi vaihetta. Ensin tunnustetaan kuvien meteorologiset piirteet, kuten pilvet, sekä meteorologista tulkintaa häiritsevät piirteet, jotka liittyvät kuvaustekniikan asettamiin rajoituksiin. Tämän jälkeen määritellään ne fysikaaliset syyt ja mekanismit, jotka aiheuttavat edellä mainitut piirteet. Kuvamateriaalia muodostuu nykyään niin paljon, että sen täydellinen manuaalinen analysoiminen on mahdotonta. Siksi koneellisen automaattianalyysin kehittäminen on erittäin tärkeää. Nykyisin ei vielä pystytä edes tyydyttävään automaattiseen analyysiin. [18, s. 47]

Eri aallonpituuskaistoilla otetut kuvat antavat erilaista tietoa. Näkyvän valon kuvissa on paras erotuskyky, mutta toisaalta niitä saadaan vain valoisana aikana. Infrapunakanavat kuvaavat maan ja ilmakehän lämpösäteilyn jakautumista. Lämpösäteilyn intensiteetti liittyy säteilevän pinnan lämpötilaan. Ilmakehän lämpötila laskee ylöspäin mentäessä, joten pilvien yläpinnan lämpötilan perusteella voidaan arvioida niiden korkeutta. Ohuet pilvet saattavat kuitenkin läpäistä myös maanpinnan lämpösäteilyä, mikä vaikuttaa tuloksiin. Niin sanotulta *vesihöyrykanavalta* saadut kuvat sijoittuvat aallonpituusalueelle, jolla ilmakehän vesihöyry imee tehokkaasti maanpinnan ja alailmakehän säteilyä. Näiden kuvien perusteella voidaan arvioida ilmakehän eri kerrosten kosteutta. *Mikroaaltokanavien* mittauksia käytetään erityisesti yhdessä muiden kanavien kanssa niiden tulosten täydentämiseen. Yleensäkin yksittäisistä kuvista tehtyjä määrittäisiä voidaan parantaa yhdistämällä eri aallonpituuksilla tehtyjä mittauksia. Näin voidaan esimerkiksi seurata pilvien liikettä ja arvioida sateen voimakkuutta alueilla, joilta perinteisillä menetelmillä ei saada säännöllisiä sademittauksia. [18, luku 5]

6.3 Muu käyttö

Ainakin Englannissa [19] ja Yhdysvalloissa [20] on tutkittu sääsatelliitivastaanottolaitteiston opetuskäyttöä. Yhdysvaltalaisten kokeilujen mukaan peruskoulutasolla laitteiston rakentaminen ja käyttö voi tuoda käytännönläheisyyttä luonnontieteiden, matematiikan ja tekniikan opetukseen. Nuorimmille koululaisille avaruudesta käsin otetut kuvat myös auttavat oman maailmankuvan muodostamista ja maapallon litteyteen liittyvien uskomusten kumoamista. Sääsatelliittikuvia on käytetty myös yliopistoissa. Näin on saatu runsaasti materiaalia opiskelijoiden tutkimuksiin esimerkiksi maantieteen, fysiikan, biologian, ympäristötieteiden sekä geologian aloilla. Vaikka valmiiksi käsiteltyjä satelliittikuvia on yleisesti saatavilla esimerkiksi Internetin välityksellä, kokeiluissa on todettu, että raa'an, suoraan satelliitista vastaanotetun kuvamateriaalin käyttö tarjoaa enemmän opittavaa.

On myös tutkittu kevyen vastaanottolaitteiston käyttöä ilmatieteellisissä tutkimuslentokoneissa. Niissä tehty tutkimus perustuu pääasiassa koneiden omiin mittalaitteisiin, joilla voidaan tehdä esimerkiksi saastepilvien, myrskyjen ja auringonsäteilyn vaikutusten tutkimuksia. Sääsatelliittikuvat voivat kuitenkin tarjota lisätukea näihin tutkimuksiin. Kuvien avulla saadaan myös tietoa äkillisistä sääilmiöistä, mikä vaikuttaa lentojen turvallisuuteen. Vastaavaa laitteistoa voidaan käyttää myös maa-ajoneuvoissa sekä laivoissa. [21]

7 Yhteenveto

Maata kiertävät sääsatelliitit ovat jo 1960-luvulta lähtien lähettäneet jatkuvasti monipuolista kuvamateriaalia maapallon säätilasta. Näitä kuvia voidaan vastaanottaa myös yksinkertaisella ja edullisella, harrastajalle sopivalla laitteistolla. Tarvittavia laitteita on saatavilla kaupallisesti, mutta monet osat voi rakentaa myös itse.

Tässä tutkielmassa käytiin läpi sääsatelliittikuvien vastaanottolaitteiston eri osia — antennoja, radiovastaanottimia sekä tietokonetta ja siinä ajettavia ohjelmia — lähinnä harrastuskäyttöä ajatellen. Lisäksi esiteltiin sääsatelliittien toimintaa ja eri sääsatelliittityyppejä, niiden käyttämää kuvaformaattia sekä vastaanottolaitteiston ja vastaanotettujen kuvien käyttöä.

Polaariset satelliitit lähettävät VHF-taajuuksilla. Tällöin voidaan käyttää ympäriseitelevää antennia, joka voidaan asentaa kiinteästi. Parhaisiin tuloksiin päästään kuitenkin suunnattavalla antennilla, joka vaatii kääntölaitteen. Geostationaariset satelliitit pysyvät maahan nähden lähes paikallaan. Siksi niiden lähetyksiä vastaanotetaan UHF-alueen lautasantennilla, joka suunnataan pysyvästi haluttuun satelliittiin.

Sääsatelliittivastaanottoon soveltuvat parhaiten nimenomaan sitä varten suunnitellut radiovastaanottimet. Myös muita vastaanottimia voidaan käyttää, mutta niihin joudutaan mahdollisesti tekemään muutoksia, jotta signaali saadaan vastaanotettua kunnolla. Vastaanottimen liittäminen tietokoneeseen tapahtuu helpoiten äänikortin kautta, joka muuntaa analogisen signaalin tietokoneen ymmärtämään digitaaliseen muotoon.

Nykykaikaiseen vastaanottolaitteistoon kuuluvat olennaisena osana tietokone ja siinä ajettavat ohjelmistot. Tietokoneen avulla kuvia voidaan käsitellä monin tavoin ja näin parantaa niiden laatua sekä helpottaa tulkintaa. Lisäksi tietokoneohjelmilla voidaan ennustaa polaaristen satelliittien ylityksiä ja ohjata antenninkääntölaitteita.

Koska tässä tarkasteltiin laitteistoa pääasiassa teorettisessa mielessä kirjallisuuteen pohjaten, olisi jatkossa mielenkiintoista tutkia ja vertailla tarkemmin myös käytännön sovelluksia niin laitteiston kuin ohjelmienkin osalta.

Ammattikäytössä — meteorologiassa ja ilmakehän tutkimuksessa — on käytössä monimutkaisempi, digitaalinen vastaanottolaitteisto, jolla voidaan vastaanottaa huomattavasti enemmän ja tarkempaa dataa. Tietotekniikan alalle ammatillinenkin käyttö tarjoaa tutkimuskohteita. Sääsatelliitit tuottavat jatkuvasti niin paljon informaatiota, ettei kaikkea sitä kyetä manuaalisesti analysoimaan. Siksi tulisi kehittää pa-

rempia menetelmiä kuvien automaattiseen, koneelliseen käsittelyyn ja analysointiin yhteistyössä meteorologian asiantuntijoiden kanssa.

Viitteet

- [1] Martin Davidoff, *The Satellite Experimenter's Handbook*, Publication No. 50, The American Radio Relay League, Inc., Newington, Yhdysvallat, 1985.
- [2] Dr. Ralph E. Taggart, *Weather Satellite Handbook*, viides painos, Publication No. 179, The American Radio Relay League, Inc., Newington, Yhdysvallat, 1994.
- [3] Leo Wikholm, *Sääsatelliittiharrastajan käsikirja*, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.ursa.fi/ursa/jaostot/tekokuut/slinkki/opas/wfopas.html>>, 20.7.2002.
- [4] Leo Wikholm, *Harrastajan sääasema*, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.ursa.fi/ursa/jaostot/tekokuut/slinkki/data/wxsatopas.pdf>>, viitattu 16.8.2005.
- [5] National Oceanic and Atmospheric Administration, *Geostationary Satellite Server, Tropical Sectors*, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.goes.noaa.gov/>>, viitattu 29.8.2005.
- [6] National Oceanic and Atmospheric Administration, *NOAA KLM User's Guide with NOAA-N,-N' Supplement*, luku 4.2 APT System, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/>>, syyskuu 2000.
- [7] Peter Doherty, Craig A. Andrews, Nicholas R. Lenaeus, Michael B. Steer ja Jerry P. Dahl, *A PCMCIA Weather Satellite Receiver*, Southeastcon '95, 'Visualize the Future', Proceedings, IEEE 26–29 Maaliskuuta 1995, s. 240–243.
- [8] Otto Limann, *Radiotekniikka*, (suom. Raimo Ikonen), Tammi, Helsinki, 1973.
- [9] Abstract Technologies New Zealand Limited, *WXtoImg reference manual*, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.wxtoimg.com/support/wxgui.pdf>>, viitattu 28.7.2005.
- [10] Abstract Technologies New Zealand Limited, *WXtoImg*, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.wxtoimg.com>>, viitattu 28.7.2005.
- [11] Eberhard Backeshoff, *JVComm32 FAX SSTV RTTY SYNOP NAVTEX program*, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.jvcomm.de/indexe.html>>, viitattu 28.7.2005.

- [12] Marius Rensen, *WXSat*, saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://www.hffax.de/html/hauptteil_wxsat.htm>, viitattu 28.7.2005.
- [13] David Taylor, *WXtrack - Satellite tracking*, saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://www.david-taylor.pwp.blueyonder.co.uk/software/wxtrack.htm>>, viitattu 28.7.2005.
- [14] David Taylor, *Using WXtrack*, saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://www.david-taylor.pwp.blueyonder.co.uk/wxsat/Software/UsingWXtrack.htm>>, viitattu 28.7.2005.
- [15] Northern Lights Software Associates, *Nova for Windows*, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.nlsa.com/nfw.html>>, viitattu 28.7.2005.
- [16] John A. Magliacane, *Tracking Satellites with PREDICT*, Linux Journal, no. 75es (2000), artikkeli no. 3.
- [17] Heikki E. Heinonen, *Tiimissä Hamssiksi 2: Radioamatööritutkinnon tekniikka kakoksen opaskirja*, Suomen Radioamatööriliitto, Helsinki, 2004.
- [18] Timo Puhakka, *Tekokuumetrologian perusteet*, Helsingin yliopisto, Meteorologian laitos, Helsinki, 1999.
- [19] R. M. Boardman, *Use of Signals from Weather Satellites in Education*, IEE Colloquium on Education in the Space and Satellite Community, (1990), s. 12–45.
- [20] Thomas W. Wagner, John H. Gibson, *Teaching With Satellite Direct Readout*, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1994. IGARSS '94. 'Surface and Atmospheric Remote Sensing: Technologies, Data Analysis and Interpretation', 1 (1994), s. 4/1–4/3.
- [21] J. E. Jordan, D. L. Marcotte *Delivery of weather image information to a mobile platform using satellite broadcast*, Communications, Computers and Signal Processing, 1997. '10 Years PACRIM 1987–1997 — Networking the Pacific Rim'. 1997 IEEE Pacific Rim Conference on, 1 (1997), s. 214–217.