

## Vesoljski vremenko: (2) Geostacionarni vremenski sateliti

=====

Matjaz Vidmar, YT3MV

Vremenski sateliti v nizkih polarnih tirnicah sicer omogocjo slikanje celotne zemeljske površine, in to vsak satelit približno dvakrat dnevno. Čeprav dve sliki na dan zepovesta zelo dosti o vremenu na celi Zemlji, za kakrsnekoli napovedi to se zdalec ni zadosti. Razen tega je treba v slucaju mnozice posamicnih slikic te tudi sestaviti v celoto, kar ni prav enostavno, se posebno ne zato, ker niso vse slikice posnete ob istem casu. Nazadnje je se problem sprejema signalov s satelita v nizki tirnici, za kar je potrebna gosta mreza zemeljskih sprejemnih postaj oziroma mehanski pomnilnik velike zmogljivosti (tracna enota) na krovu satelita.

Vidno polje satelita je seveda tem vecje, cim visje se satelit nahaja. V skrajnem slucaju zelo visoke tirnice satelit vidi eno celo zemeljsko poloblo. Za vremenske napovedi bi bilo seveda najbolj ugodno, ce bi satelit lahko stalno opazoval isti in po možnosti cim vecji kos zemeljske površine.

Tirnica, ki se najbolj ustrezata opisanim zahtevam je geostacionarna (geosinhrona) tirnica. V taki tirnici gibanje satelita točno ustrezata vrtenju Zemlje okoli lastne osi. Idealna geostacionarna tirnica je kroznica v ekvatorialni ravnini (naklon 0 stopinj) na visini okoli 36000km (okoli 3 Zemljine premere) nad površino Zemlje. Zaradi ugodnih lastnosti (stalna vidljivost satelita v isti tocki neba, nepremicne zemeljske antene) je vecina telekomunikacijskih satelitov izstreljenih prav v tako tirnico.

Iz visine geostacionarne tirnice (36000km) satelit vidi vecji del poloble: do 75 stopinj severno in juzno od ekvatorja in do 75 stopinj vzhodno in zahodno od lastnega polozaja. Se visje tirnice niso uporabne iz vec razlogov, najvaznejši pa je ta, da so tirnice visje od geostacionarne zelo izpostavljene teznostnim vplivom drugih nebesnih teles, predvsem Sonca in Lune, ki satelit dokaj hitro povlecejo iz zeljene tirnice.

S stalisca potrebne vesoljske tehnike pa tudi v geostacionarno tirnico ni prav lahko priti. Za geostacionarno tirnico potrebujemo pet do desetkrat vecjo nosilno raketo za enako tezak satelit kot pa za nizko polarno tirnico. Razen tega je potrebna pri geostacionarni tirnici se izredna natančnost, saj mora biti gibanje satelita točno sinhronizirano z vrtenjem Zemlje. Za drzanje sinhronizma tirnice skozi celotno zivljensko dobo geostacionarnega satelita so nazadnje potrebni se korekcijski raketni motorji male moci na samem satelitu zaradi vpliva drugih nebesnih teles in neidealne oblike Zemlje.

Kljub zanimivim lastnostim je bila geostacionarna tirnica dosezena razmeroma pozno zaradi omenjenih tehnicnih tezav, skoraj desetletje za izstrelitvijo prvega satelita v nizko zemeljsko tirnico! Med prvimi pravimi geostacionarnimi sateliti (s korekcijskimi motorji in dolgo zivljensko dobo) so bili poskusni Ameriski sateliti družine ATS (Applications Technology Satellite). Sateliti ATS-1 in ATS-3 (zstreljeni 1966 in 1967)

so imeli na krovu več pretvornikov, med njimi tudi zelo močan VHF pretvornik z vhomom na 149MHz in izhodom na 135.600MHz.

Razen pretvornikov so imeli sateliti ATS na krovu tudi novo vrsto kamere imenovano Spin Scan Camera, ki je izkoristila stabilizacijsko vrtenje satelita za skeniranje vrstic slike. Ker se geostacionarni satelit nahaja v stalni zvezi z upravno zemeljsko postajo, posnete slike najprej pošilja upravni postaji, ki jih obdelata in skupaj s slikami s satelitov v nizkih polarnih tirnicah oddaja uporabnikom preko močnega pretvornika na geostacionarnem satelitu.

Satelit ATS-1 je bil konec šestdesetih let "parkiran" v geostacionarni tirnici nad Atlantskim oceanom na zemljepisni dolžini 48 stopinj zahodno, večje število Ameriških in Evropskih radioamaterjev pa je takrat lahko zelo enostavno sprejemalo obilico satelitskih slik na 135.600MHz, ki so se oddajale na povsem enak način kot tiste s polarnih vremenskih satelitov: FM/AM sistem, 2400Hz AM podnosilec in 240 vrstic v minuti.

Zal je vseh lepih stvari hitro konec: Američani so kmalu premaknili oba satelita ATS proti zahodu, najprej nad Združene Države in kasneje nad Pacifiški ocean, izven dosega evropskih sprejemnih postaj. Sredi sedemdesetih let so opustili tudi oddajo satelitskih slik preko VHF pretvornikov na krovu ATS satelitov, ker so to nalogo prevzeli mikrovalovni pretvorniki na novejših vremenskih satelitih. Kot zanimivost pa je treba vsekakor omeniti, da so VHF pretvorniki na krovu ATS satelitov delovali izredno dolgo: uporabo teh pretvornikov na satelitih ATS-1 in ATS-3 so popolnoma opustili šele konec osemdesetih let, ko je po več kot dvajsetih letih po izstrelitvi poslo gorivo (vodikov peroksid) za korekcijo tirnice, zivljenske dobe satelitov ATS-1 in ATS-3 pa do danes verjetno še ni dosegel noben drug satelit.

Seveda sta Ameriška satelita ATS-1 in ATS-3 nakazala tudi kaksni naj bojo bodoči vremenski sateliti. Sredi sedemdesetih let so Američani izstrelili prva dva poskusna geostacionarna vremenska satelita SMS-1 in SMS-2 (Synchronous Meteorological Satellite), ki sta bila predhodnika serije GOES-1 do GOES-7 (Geostationary Operational Environmental Satellite).

Satelit vrste GOES (SMS) je prikazan na sliki 1. Satelit je stabiliziran tako, da se vrti okoli pokončne osi, ki je vzporedna z zemeljsko osjo sever-jug. Vrtenje izkorisča tudi za mehansko skeniranje slike po vrsticah. Ker z visine geostacionarnega satelita vidimo Zemljo pod kotom 17 stopinj, znasa čas skeniranja največ 1/21 vrtljaja. Vsak naslednji vrtljaj skanira novo vrstico, medtem pa premakne mehanizem ustrezno zrcalo v mrtvem času.

Satelit GOES se vrti s hitrostjo 100 vrtljajev v minuti in posname celotno sliko zemeljske poloble v 17.5 minutah. Infrardeca slika ima zato 1750 vrstic in ločljivost okoli 7km. V vidnem spektru uporablja GOES osem vzporednih senzorjev, ki posnamejo pri vsakem vrtljaju osem vzporednih vrstic, ločljivost slike v vidnem spektru pa je okoli 1km.

Satelit GOES ima na krovu več pretvornikov. UHF pretvorniki (400-470MHz) se uporabljajo za prenos podatkov z nizko hitrostjo (400bps) od in za avtomatske zemeljske meteorološke postaje na bojah in balonih. Satelitske slike

se oddajajo v 1.7GHz poročju in sicer na 1687.1MHz slika, ki jo isti trenutek snema radiometer (VAS) satelita, na 1691MHz pa obdelane slike z zemeljske postaje. Za večino uporabnikov z majhnimi antenami je dostopna le oddaja na 1691MHz, za sprejem direktne slike na 1687.1MHz je potrebna zelo velika antena in draga sprejemna oprema. Obe anteni za UHF in S (1.7GHz) področje drži stalno usmerjeni proti Zemlji ustrezen elektromotor na krovu satelita, ker se telo satelita vrti!

Američani skušajo držati dva delujoca satelita vrste GOES v geostacionarni tirnici na zemljepisnih dolžinah 65-75 stopinj zahodno (GOES-East) in 135-140 stopinj zahodno (GOES-west), včasih pa parkirajo kaksen GOES satelit tudi na 100 stopinj zahodno (GOES-Central), točno sredi ZDA. Zašto zato noben GOES satelit ni viden z naših zemljepisnih dolžin, v Zahodni Evropi pa lahko sprejemajo le GOES-E. Sateliti vrste GOES zašto tudi ne blestijo po zivljenski dobi, zlasti radiometer se rad pokvari!

Ker so se geostacionarni vremenski sateliti izkazali izredno uporabni, so tudi Japonci in Evropa pohiteli z razvojem lastnih geostacionarnih satelitov in izstrelili svoje prve vremenske satelite samo nekaj let za Američani. Japonski GMS (Geostationary Meteorological Satellite) je zelo podoben Ameriskemu GOES. Tudi GMS se vrti s hitrostjo 100 vrtljajev v minuti in proizvede infrardečo sliko zemeljske poloble z 2500 vrsticami in ločljivostjo 5km v 25 minutah, v vidnem spektru pa stirje vzporedni senzorstji proizvedejo sliko z ločljivostjo 1.25km. Tudi GMS oddaja slike uporabnikom na 1691MHz, zašto pa zaradi zemljepisne dolžine 140 stopinj vzhodno tudi ta satelit pri nas ni viden.

Prvi Evropski vremenski satelit METEOSAT-1 je bil izstreljen konec leta 1977 z Amerisko raketo Delta. Sateliti vrste METEOSAT so namesceni na 0 stopinj zemljepisne sirine in služijo uporabnikom po celi Evropi in Afriki. Zašto se je METEOSAT-1 konec leta 1979 pokvaril, hkrati pa so posla tudi sredstva namenjena nadaljnemu raziskovanju. Dvojček METEOSAT-2 je bil zato izstreljen s tretjo raketo Ariane sredi leta 1981, ki je bila tudi prva raketa Ariane, ki je uspela ponesti koristen tovor v zazeljeno tirnico.

METEOSAT-2 se je izkazal kot izredno zanesljiv satelit, ki je deloval neprekinjeno celih sedem let. Med tem casom so zahodnoevropske meteoroloske organizacije ustanovile združenje Eumetsat, ki se ukvarja s finansiranjem izgradnje in obratovanja novih meteoroloskih satelitov. Eumetsat je finansiral izgradnjo novih satelitov MOP (Meteosat OPERational), ki pa so bili nared za izstrelitev sele konec osemdesetih let. Da bi preprecili izpad delovanja sistema, so zato na hitro popravili in predelali se prototip satelita METEOSAT, ki ni bil nikoli namenjen v vesolje, in ga kot "manjvrednega" potnika izstrelili na prvi poskusni raketi Ariane 4 skupaj z našim slepim potnikom AO-13 junija 1988. Na vrat na nos pokrpani prototip je dobil ime METEOSAT-3 in se v vesolju ni najboljše izkazal: več manjsih okvar je poslabsalo kvaliteto podatkov, sicer pa METEOSAT-3 lahko se danes za silo deluje. Satelitu METEOSAT-2 pa je medtem poslo gorivo za korekcijo tirnice.

Prvi satelit vrste MOP, MOP-1 ali METEOSAT-4 je bil

izstreljen spomladi 1989. Sateliti MOP imajo na krovu izpopolnjeno elektroniko za predelavo podatkov in prav tu so se jeseni 1989 zacele tezave, verjetno zaradi velike aktivnosti soncnih peg: tudi nas AO-13 je imel takrat tezave, na nasih zemljepisnih sirinah pa smo tisto jesen lahko obcudovali vidno auroro, sicer izredno redek pojav pri nas. Na sreco so upravne postaje uspele obvladati METEOSAT-4 (in tudi nasega AO-13). METEOSAT-4 trenutno dela v redu, pred slabima dvema tednoma pa je uspela izstrelitev METEOSAT-5, ki ga upravna postaja zdaj intenzivno preizkusa.

Satelit vrste METEOSAT je prikazan na sliki 2. Tudi METEOSAT je stabiliziran kot vrtavka, le da nima nobenih pomicnih delov. Snop glavne oddajne antene se usmerja elektorsko tako, da se stalno preklaplja napajanje skupini malih antenic na satelitu (electronically despun antenna). Os vrtenja satelita je vzporedna z osjo vrtenja Zemlje sever-jug, kar omogoca enostavno mehansko skaniranje vrstic slike v smeri od vzhoda proti zahodu.

Radiometer satelita METEOSAT je prikazan na sliki 3. (Tudi ostali geostacionarni sateliti imajo na krovu podobno napravo.) Radiometer je precej velika naprava, primarno zrcalo teleskopa ima premer kar 400mm, predvsem zaradi slikanja v termicnem infrardecem delu spektra okoli 10um. Infrardece sensorje je treba tudi hladiti na okoli 90 K (okoli -180 stopinj Celzija). Spodnji del radiometra je zato sencnik za soncno svetlobo, tako da infrardeci sensorji vidijo samo temno nebo. Primerna vecslojna toplotna izolacija od ostalih delov satelita omogoca, da se sensorji ohladijo tudi do 80 K.

METEOSATov radiometer ima skupno pet sensorjev: dva termicna infrardeca (10um, od tega eden rezervni), en 6um infrardeci sensor za opazovanje visjih plasti ozracja in dva vidna sensorja. Tudi METEOSAT se vrti s hitrostjo 100 vrtljajev v minuti. Mehanizem s koracnim motorjem pocasi obraca zrcalo v radiometru, ki preskanira celotno vidno poloblo v smeri od juga proti severu v 25 minutah. Termicna infrardeca slika (IR 10um) in visinska infrardeca slika (WaterVapour 6um) imata zato po 2500 vrstic, slika v vidnem spektru pa preko kombinacije podatkov z obeh sensorjev 5000 vrstic.

METEOSATov radiometer posname eno sliko Zemlje (v vseh spektrih) vsake pol ure, od tega odpade 25 minut na skaniranje vrstic, 2.5 minute rabi koracni motor za povratek zrcala v zacetni polozaj in 2.5 minute za dusenje tresljajev, ki ob tem nastanejo. Ker koristno skaniranje traja komaj 1/21 obrata satelita, elektronika na krovu shrani izmerjene podatke ene vrstice v spominu in jih potem oddaja z znizano hitrostjo v preostalih 20/21 obrata satelita. Slikovni podatki se oddajajo na frekvenci 1686.833MHz s hitrostjo 166.666kbps pri satelitih METEOSAT-1, -2 in -3 in s hitrostjo 333.333kbps pri novejnih satelitih serije MOP.

Sateliti vrste METEOSAT imajo na krovu vec pretvornikov v UHF in S podrocjih. Za vecino uporabnikov sta najbolj zanimiva pretvornika na 1691.000MHz in 1694.500MHz, kjer se oddajajo obdelane slike s satelita METEOSAT in drugih vremenskih satelitov. Zemeljska upravna postaja tudi doda

slikam zemljepisne koordinate (poldnevnik in vzporednik) in obrise kontinentov.

Oddaja neposredne slike z radiometra satelita ni dostopna širšemu krogu uporabnikov, ker je oddajna moc zelo majhna in zahteva veliko sprejemno anteno (vsaj 5 metrov premera). Preko pretvornikov na 1691.000MHz in 1694.500MHz pa se oddajajo slike na dva nacina. Prvi nacin je analogni FM/AM sistem z 2400Hz podnosilcem, 240 vrstic v minuti in popolnoma ustreza oddajam drugih meteoroloskih satelitov ter zahteva minimalno sprejemno opremo. Drugi nacin je sinhroni digitalni s hitrostjo 166.666kbps in nestandardnimi okvirji, kar zahteva malo vec opreme in daje dosti bolj kvaliteten sprejem.

Digitalni nacin je prirejen za prenos celotne slike tako kot jo skanira METEOSATov radiometer, posamicno pa se oddaja se odsek slike, ki pokriva Evropo. Analogni format slike pa je predpisan na 800 vrstic iz 800 tockic. Upravna postaja zato razreze sliko radiometra na vec delov in jo potem oddaja po delih oziroma celotno sliko z znizano locljivostjo. Primer celotne slike v vidnem spektru z znizano locljivostjo je prikazan na Sliki 4., odsek slike z locljivostjo enako izvorni pa na Sliki 5.

Izvorna slike v obeh infrardecih spektrih imajo dimenzije 2500x2500, zato jih za analogni prenos upravna postaja razreze na devet kvadratov dimenzij 800x800, ki pokrijejo skoraj celotno izvorno sliko. Kvadratni odseki so ostevilceni s stevilkami od 1 do 9, najpogosteje pa se oddaja odsek 2, ki pokriva celotno Evropo. Primer odseka D2 (crka D pomeni termicni IR spekter) je prikazan na Sliki 6. Izvorna slika v vidnem spektru vsebuje sicer 5000x5000 tockic, se pa vecinoma oddaja na enak nacin kot infrardece slike, se pravi s polovicnim stevilom vrstic in s tem zmanjsano locljivostjo tako pri analognem kot tudi pri digitalnem nacinu prenosa.

Za delovanje satelitov METEOSAT skrbita dve upravni zemeljski postaji: MGCS Darmstadt (Nemcija) in CMS Lannion (Francija). Glavna postaja je v Darmstadtu, ki sprejema, racunalnisko obdeluje in oddaja METEOSATove slike preko pretvornikov na istem satelitu ostalim uporabnikom. Postaja v Lannionu sprejema slike tudi z Ameriskega satelita GOES-E in jih oddaja preko pretvornikov na krovu satelita METEOSAT uporabnikom v Evropi.

Ucinkovito raziskovanje vremenskih pojavov zahteva opazovanje vremena po celotni zemeljski površini, za kar potrebujemo 5 geostacionarnih vremenskih satelitov enakomerno razmaknjenih po zemljepisni dolzini in se nekaj satelitov v nizkih polarnih tirnicah, saj geostacionarni sateliti polarnih podrocij ne morejo opazovati. V sedanjem sistemu geostacionarnih vremenskih satelitov manjka samo se satelit nad Indijskim oceanom na zemljepisni dolzini priblizno 70 stopinj. Sovjetska zveza je sicer na tem mestu ze pred vec kot desetletjem obljubila geostacionarni vremenski satelit GOMS (Geostationary Operational Meteorological Satellite), ki bi deloval podobno kot ostali geostacionarni vremenski sateliti in bi se zatorej lahko vkljucil v svetovni sistem, toda od satelita GOMS so do danes ostale samo obljube. Satelit GOMS na 70 stopinj vzhodno bi lahko sprejemali tudi v nasih krajih.

Geostacionarni vremenski satelit na 70 stopinj vzhodno bi

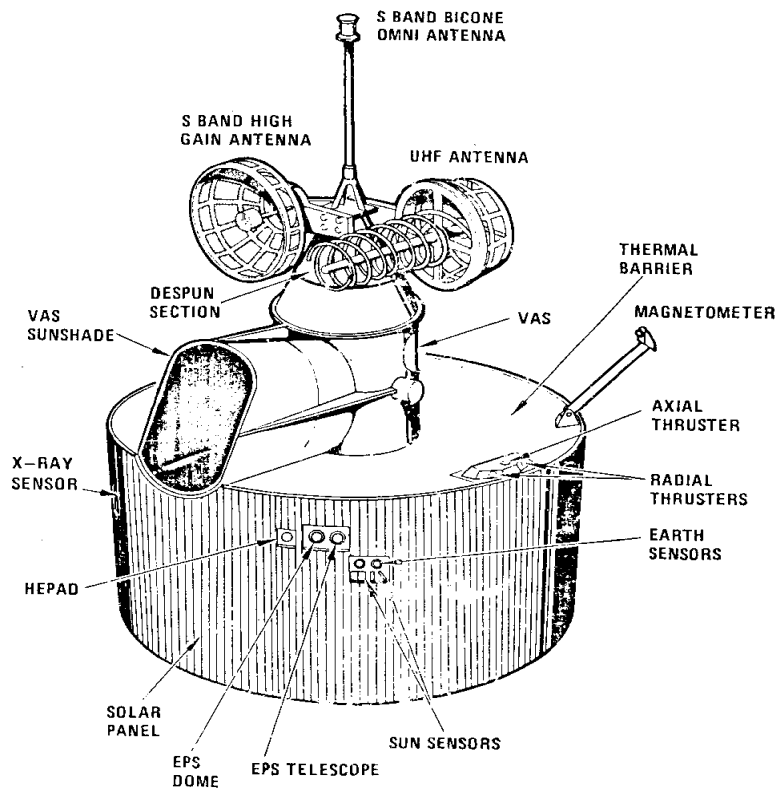
sicer dosti bolj koristil Indiji kot pa Sovjetski Zvezi, saj vecina ozemlja Sovjetske Zveze zaradi velike zemljepisne sirine ni najboljse vidna z geostacionarne tirnice. Indija je zato narocila izdelavo in izstrelitev satelitov vrste Insat v ZDA. Insat je kombinirani satelit, ki vsebuje v glavnem telekomunikacijske in televizijske pretvornike, razen teh pa se radiometer za snemanje vremenskih slik. O delovanju satelitov vrste Insat ni dosti znanega, tudi nacin prenosa in kvaliteta dobljenih slik niso znani.

Americani medtem ze nacrtujejo novo vrsto satelitov GOES, ki ne bojo vec stabilizirani kot vrtavka in bojo uporabljali nove nacine skaniranja. Tudi Japonci in Evropa resno mislijo o bodocnosti svojih sistemov GMS in METEOSAT. Nazadnje so geostacionarni vremenski satelit vrste FengYun2 obljubili se Kitajci. V Evropi bomo lahko od vseh teh satelitov zanesljivo sprejemali le METEOSAT, mogoce pa se GOES-E ali FengYun2?

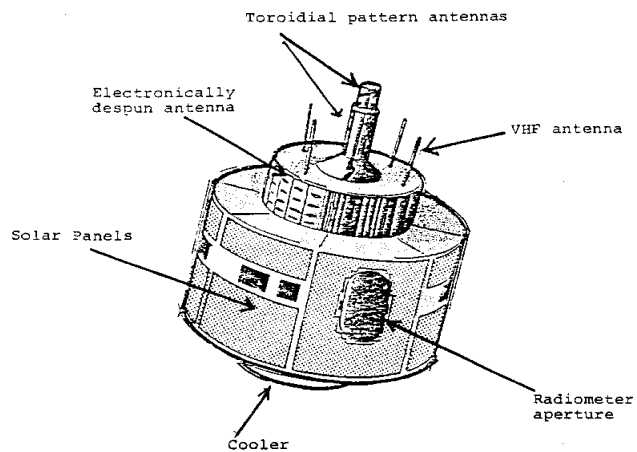
Za sprejem geostacionarnih vremenskih satelitov ne potrebujemo zelo komplicirane in drage opreme. Kljub razlikam med razlicnimi sateliti in njihovimi sistemi oddaje potrebujemo skoraj za vse satelite enako opremo, vsaj za sprejem analognih slikic oddanih po FM/AM sistemu z 2400Hz podnosilcem. Ce ze imamo opremljeno sprejemno postajo za vremenske satelite v polarnih tirnicah, ki oddajajo v VHF podrocju 137MHz, potem potrebujemo samo se ustrezno anteno in konverter za 1.7GHz podrocje. Za sprejem analognih oddaj s satelita METEOSAT zadosca ze okoli 2m dolga Yagi antena oziroma parabolicno zrcalo premera 60cm z dobrim predojacevalcem. Priporocljiva pa je uporaba vecje antene, zrcala okoli 1.2 do 1.5m premera, saj so veckrat zaradi raznih preizkusov vkljuceni se drugi (rezervni) sateliti METEOSAT na parkirnih polozajih od 10 do 20 stopinj zahodno in oddajajo na istih frekvencah, majhna antena pa signalov z razlicnih satelitov ne zmore lociti med sabo.

Predvideno nadaljevanje:

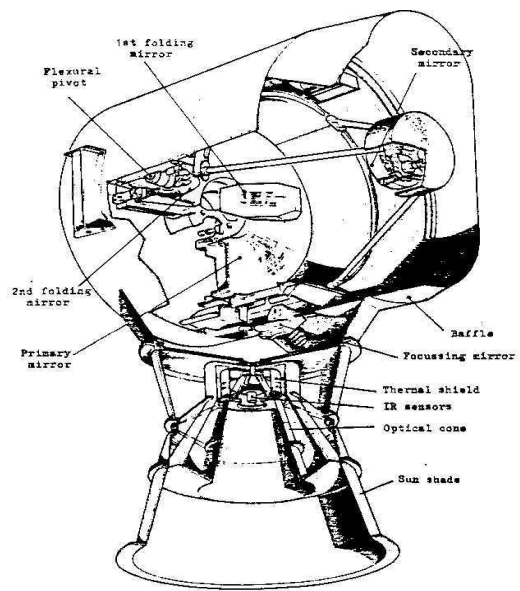
(3) Amaterska sprejemna postaja za vremenske satelite.



SLIKA 1 - Satelit GOES



SLIKA 2 - Satelit METEOSAT

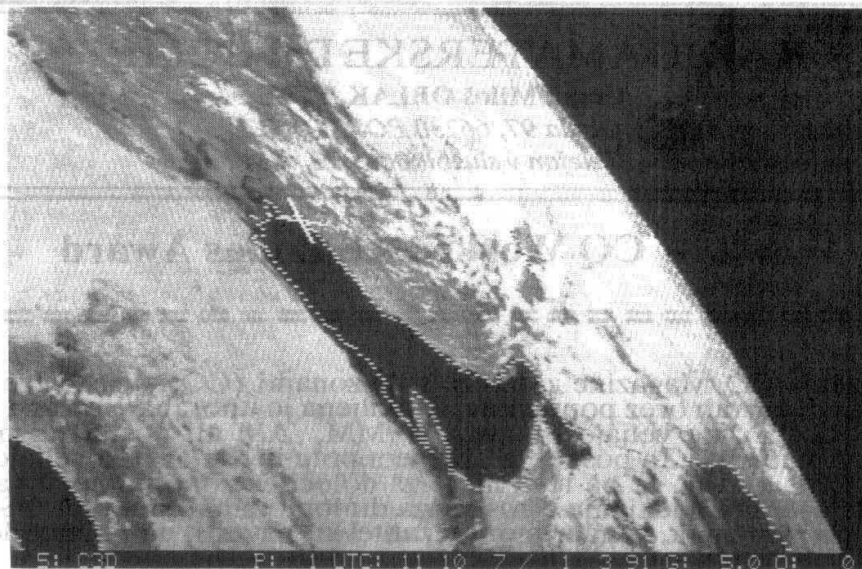


SLIKA 3 - Meteosatov radiometer

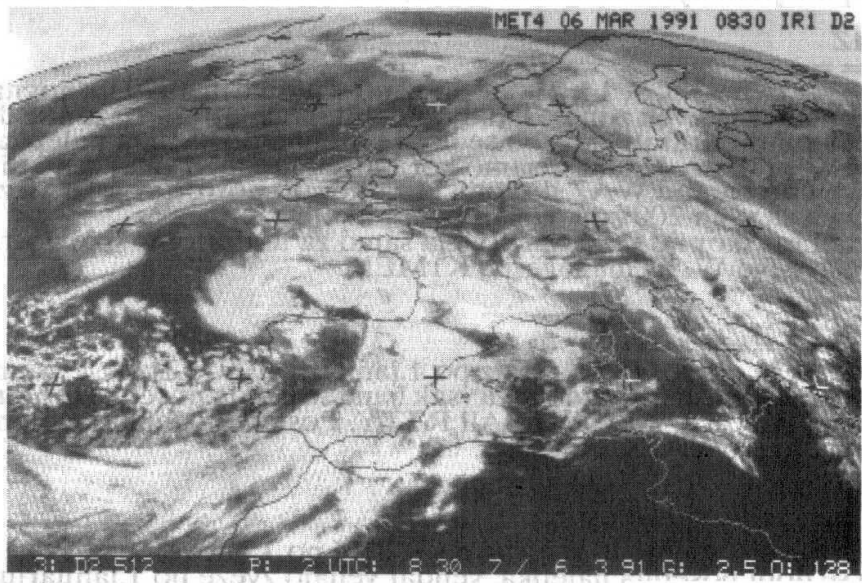


SLIKA 4 - Meteosat 4, vidni spekter





SLIKA 5 - Meteosat 4, vidni spekter (povečava)



SLIKA 6 - Meteosat 4, termični IR(10ym)