

Sveučilište u Zagrebu
Geodetski fakultet

Ante Barišić i Andrea Crnković

**Optimalne putanje satelita za satelitski
podržane servise na teritoriju Republike
Hrvatske**

Zagreb, 2009.

Ovaj rad izrađen je na Geodetskom Fakultetu, zavod za Geomatiku, u sklopu kolegija Globalna geodezija pod vodstvom dr. sc. Željka Hećimovića i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2008.- 2009.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Osnovne značajke satelitskih putanja.....	3
2.1. Podjela orbita satelita.....	3
3. Keplerovi zakoni i parametri orbite planeta i satelita.....	5
3.1. Keplerovi zakoni.....	6
3.1.1. Prvi Keplerov zakon.....	6
3.1.2. Drugi Keplerov zakon.....	7
3.1.3. Treći Keplerov zakon.....	8
3.2. Parametri Keplerove elipse.....	8
3.2.1. Duljina uzlaznog čvorišta.....	9
3.2.2. Inklinacija.....	10
3.2.3. Kutna udaljenost perigeja od uzlaznog čvorišta.....	10
3.2.4. Velika poluos elipse.....	11
3.2.5. Ekscentricitet.....	12
3.2.6. Moment prolaska satelita kroz perigej.....	12
4. Računanje Keplerovih elemenata.....	13
5. Orbita sinkronizirana sa Suncem.....	17
6. Period revolucije.....	18
7. Format podataka o orbiti satelita – <i>Two Line Element</i>	20
8. <i>Remote sensing (RS)</i>	21
8.1. Primjena satelitskih snimaka.....	21
8.1.1. Prostorna rezolucija.....	22
8.1.2. Spektralna rezolucija.....	22
8.1.3. Radiometrijska rezolucija.....	23
8.1.4. Vremenska rezolucija.....	23
8.2. Spektralno područje za snimanje vegetacije.....	24
8.3. Izbor snimke za interpretaciju.....	26
8.4. Satelitski senzorski sustavi.....	27
9. Važnije satelitske misije.....	29

9.1.	Landsat.....	29
9.2.	Spot.....	31
9.3.	Ikonos.....	33
9.4.	<i>National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA)</i>	35
9.5.	<i>Quick Bird</i>	36
10.	O korištenim programima.....	37
10.1.	<i>Satellite Tool Kit – STK</i>	37
10.2.	<i>Orbitron</i>	38
11.	Analiza pokrivenosti oblacima teritorija Republike Hrvatske.....	39
12.	Položaj Republike Hrvatske.....	42
13.	Analiza perioda orbita satelita s obzirom na teritorij Republike Hrvatske	43
13.1.	Period obilaska (revolucije) od 1.5 sata.....	44
13.2.	Period obilaska (revolucije) od 2.0 sata.....	46
13.3.	Period obilaska (revolucije) od 2.7 sata.....	47
13.4.	Period obilaska (revolucije) od 3.0 sata.....	48
13.5.	Modeliranje orbite s obzirom na promjene	49
14.	Modeliranje optimalne orbite <i>remote sensing</i> satelita za teritorij Republike Hrvatske.....	50
14.1.	Putanja s periodom od 15 dana prekrivanja cijele Zemlje.....	51
14.2.	Putanja s periodom od 16 dana prekrivanja cijele Zemlje.....	52
15.	Meteorološki servis optimiran za teritorij Republike Hrvatske – CROMET.....	55
15.1.	Primjeri i iskustva meteo servisa u svijetu.....	55
15.2.	Cilj i svrha CROMET servisa.....	57
15.3.	Dizajn CROMET servisa.....	57
15.3.1.	Sateliti.....	57
15.4.	Rezime CROMET servisa.....	61
16.	Servis za rano otkrivanje i praćenje požara – CROFIRE.....	62
16.1.	Primjeri i iskustva sličnih servisa u svijetu.....	62
16.2.	Primjeri i iskustva sličnih servisa u Hrvatskoj.....	63
16.3.	Procjena opasnosti od požara.....	64
16.4.	Cilj i svrha CROFIRE servisa.....	65
16.5.	Dizajn CROFIRE servisa.....	66
16.5.1.	Sateliti.....	66

16.5.2.	Senzori.....	67
16.5.3.	Primjena aviona, bespilotne letjelice, helikoptera i broda u CROFIRE servisu.....	68
16.5.4.	Koordinacija CROFIRE servisa.....	70
16.6.	Rezime CROFIRE servisa.....	72
17.	Servis praćenja bio - vegetacijskog ciklusa na teritoriju Republike Hrvatske – CROBIO.....	73
17.1.	Primjeri i iskustva sličnih servisa u svijetu.....	73
17.2.	Cilj i svrha CROBIO servisa.....	73
17.3.	Dizajn CROBIO servisa.....	74
17.3.1.	CROBIO sateliti.....	74
17.3.2.	Senzori.....	75
17.3.3.	Vrijeme snimanja.....	76
17.4.	Rezime CROBIO servisa.....	77
	Zaključak.....	78
	Zahvala.....	79
	Literatura.....	80
	Sažetak.....	83
	Summary.....	85

1. Uvod

U današnje vrijeme, kada u orbiti oko Zemlje kruži više od tisuću satelita različitih namjena, nije teško zaključiti koliko je važna upotreba satelita. Svakodnevno smo svjedoci ubrzanog razvoja ovog segmenta ljudske djelatnosti, što je vidljivo na jako puno područja primjene. Veliki broj današnjih vozila – avioni, brodovi, automobili koriste se satelitima za određivanje položaja u prostoru. Veliki broj TV prijarnika koristi antene koje primaju signal sa satelita iz Zemljine orbite. Geodeti koriste satelite *Global Navigation Satellite System* (GNSS) za precizno pozicioniranje. *Remote sensing*, satelitska altimetrija, gradiometrija i dr. brojne su satelitske misije čija je namjena praćenje razine mora i pomaka na kopnu, snimanje i slanje fotografija i radarskih snimaka korisniku na Zemlji.

Ovaj rad temelji se samo na razradi problema u jednom malom dijelu svega gore navedenog. U prvom dijelu ovog rada je opisan način funkcioniranja i gibanja satelita u Zemljinoj orbiti, te podjela satelita s obzirom na uporabu. U nastavku se opisuje orbita sinkronizirana sa Suncem (eng. *Sun-Synchronous Orbit*) koja je korištena za izradu ovog rada. Keplerovi elementi putanje, o kojima se govori u trećem poglavlju, temelj su za optimiranje orbite satelita s obzirom na teritorij Republike Hrvatske. Računanje Keplerovih elemenata je opisano u četvrtom poglavlju. U šestom poglavlju ukratko je prikazano zvjezdano vrijeme, jer je ono prijeko potrebno za računanje gibanja satelita. Postoji više programa pomoću kojih se opisuje gibanje satelita i koji se koriste za kreiranje novih orbita.

Optimalna orbite satelita za teritorij Republike Hrvatske je dobivena optimiranjem Keplerovih elemenata putanje s obzirom na teritorij Republike Hrvatske. Analizirani su i optimirani ponovljivost prelaska satelita iznad teritorija Republike Hrvatske, širina snimanja na fizičkoj površini Zemlje, visina satelita i njegova inklinacija. Optimiranjem ovih parametara dobivena je optimalna putanja satelita s obzirom na teritorij Republike Hrvatske.

Karakteristika Orbite sinkronizirane sa Suncem je da uvijek u isto lokalno vrijeme prelijeće preko istog dijela Zemljine površine te tu orbitu najčešće koriste *Remote Sensing* sateliti. Satelitska putanja je optimirana tako da satelit prelijeće

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

iznad teritorija Republike Hrvatske oko 13h po lokalnom vremenu jer je u to vrijeme najjača osunčanost. Snima se blizu vidljivom dijelu spektra, refleksija Sunčevog zračenja od fizičke površine Zemlje. S povećanom naoblakom snimanje je onemogućeno a što je objašnjeno u poglavlju analiza pokrivenosti oblacima iznad teritorija Republike Hrvatske.

U nastavku je obrazložena optimalna Orbita sinkronizirana sa Suncem, koja maksimalno pokriva teritorij Republike Hrvatske. Traženje optimalne orbite satelita podrazumijeva variranje pojedinih Keplerovih elemenata (ponajviše inklinacije i visine satelita). Optimiranjem se nastojala dobiti orbita koja bi se preko teritorija Republike Hrvatske pružala u smjeru jugoistok – sjeverozapad. S takvom orbitom se kompletan teritorij Republike Hrvatske može snimiti u najmanjem broju tragova. Generalno gledano, takav način postavljanja orbite pridonosi suženju snopa snimke koji pokriva teren te time pridonosi kvaliteti samih snimaka.

Kao uvod u posljednji dio, opisani su senzori za snimanje. Oni se međusobno razlikuju po razlučivosti (radiološka rezolucija) te mogućnosti snimanja u više kanala (spektralna rezolucija). Prostorna rezolucija govori o tome za koliku je površinu na Zemlji preslikana u jedan piksel na snimku. Osim ovih parametara vremenska rezolucija, odnosno mogućnost ažuriranja snimke jednog te istog dijela Zemljine površine, je za pojedine satelitski podržane servise od vrlo velikog značaja.

U posljednjim poglavljima su dizajnirani neki od satelitski podržanih servisa. Sustav ranog otkrivanja šumskih požara je jedan od servisa. Njegovom primjenom bi se znatno ranije moglo reagirati na pojavu požara, spriječiti njeno brzo širenje i time smanjiti troškove gašenja požara i moguće štete. Servis bi nudio snimke koje bi uvelike ubrzale organizaciju ekipa za gašenje i povećale ekonomičnost. Drugi satelitski podržani servis je snimanje stanja atmosfere. To je meteorološki servis koji bi doprinio prognozi vremena, a što je od velikog interesa za širu zajednicu. Ovaj servis bi služio i kao ispomoć prvome, jer bi mogao davati smjer i brzinu širenja zračnih masa i naoblake, što je od vrlo velikog značenja kod gašenja požara. Treći po redu servis je snimanje bio-vegetacije odnosno otkrivanje prirodnih bogatstava, procjena općeg stanja vegetacije (šuma), otkrivanje bolesti (nametnika) u vegetaciji te procjenu mogućih prinosa u poljoprivredi.

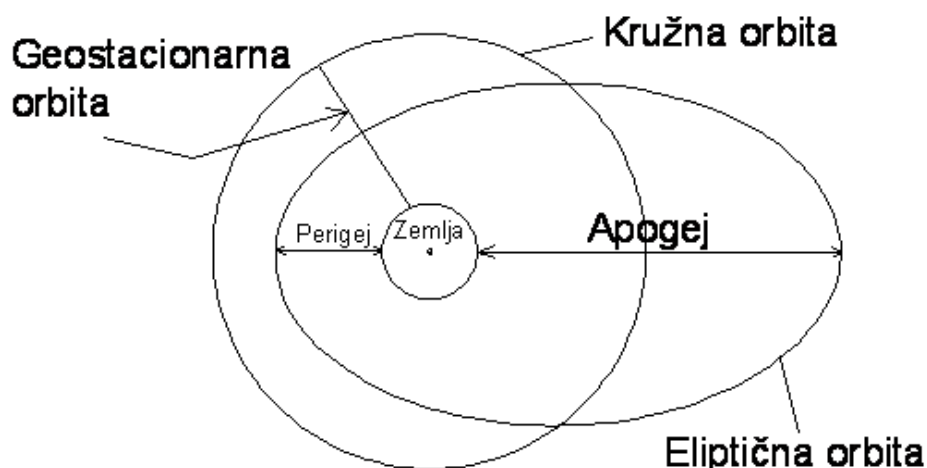
2. Osnovne značajke satelitskih putanja

Satelit (od latinskog izraza *satelles* - suputnik, pratioc) je u najširem astronomskom značenju nebesko tijelo, koje se po zakonima nebeske mehanike giba oko drugog tijela znatno veće mase i dimenzija. Umjetni satelit je proizvod čovjeka i umjetno uveden u orbitu oko Zemlje ili drugog nebeskog tijela.

Put po kojem satelit putuje oko Zemlje zove se orbita (putanja). Da bi satelit mogao kružiti oko Zemlje, mora biti ispunjeno nekoliko uvjeta. Tijelo tj. satelit mora imati toliku brzinu da je njegova centrifugalna sila jednaka gravitacijskoj sili Zemlje, tako da ga Zemljina gravitacija ne može privući k sebi. Ta brzina je prva kozmička (orbitalna) brzina i ona bi na zemljinoj površini, kad ne bi bilo otpora zraka, iznosila 7,906 km/s. Prva kozmička brzina se smanjuje s udaljenošću od Zemlje i smanjenjem gravitacijske sile.

2.1. Podjela orbita satelita

Orbite satelita se mogu podijeliti s obzirom na više kriterija (v. sliku 2.1.). Najčešće se podjela povezuje s promjenama Keplerovih elemenata orbite.



Slika 2.1. Oblici orbita (URL7)

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

Tako razlikujemo orbite satelita:

- po obliku
 - kružne orbite - kad je satelit na svakoj točki svojeg puta jednako udaljen od težišta Zemlje,
 - eliptične orbite - kada je orbita na jednom dijelu bliža središtu Zemlje nego na drugom
- po inklinaciji
 - ekvatorijalna - ako satelit kruži oko Zemlje iznad ekvatora i ima inklinaciju 0°
 - polarna - ako satelit putuje iznad sjevernog i južnog pola i ima inklinaciju 90°
 - nagnuta – sve orbite koje imaju inklinaciju različitu od 0° i 90°
- po visini
 - niska Zemljina orbita je na visinama između 100 i 1000 km (neki izvori navode gornju granicu niske orbite na 500 i 800 km visine). Sateliti u niskoj orbiti su bliže Zemlji, te imaju veću orbitalnu brzinu i kraći period (oko 90 minuta). Tu orbitu, između ostalih, upotrebljavaju sateliti za prikupljanje podataka za modeliranje polja ubrzanja sile teže (CHAMP, GRACE, GOCE).
 - srednja Zemljina orbita u koju se ubrajaju visine od 1000 do oko 36000 km. Na visinama između 19000 i 20000 km putuju navigacijski sateliti.
 - visoka Zemljina orbita - Sateliti sa visokom eliptičnom orbitom za vrijeme kruženja oko Zemlje prelaze na različite visine. Primjeri su geostacionarna orbita i Molnija orbita. Geostacionarna orbita (geosinkronizirana) orbita je na visini od oko 36000 km sa inklinacijom 0° (na ekvatorijalnoj ravnini). Orbitalna brzina na toj visini je jednaka brzini okretanja Zemlje te zbog toga period rotacije iznosi nešto manje od 24 sata, a satelit je uvijek nad istom točkom Zemljine površine. Molnija orbita ima perigej između 500 i 1500 km, a apogej oko 40000 km i inklinaciju oko 64° . Omogućava telekomunikacijske veze nad sjevernim geografskim širinama, koje nije moguće pokrivati iz geostacionarne orbite. Ime je dobila po sovjetskim komunikacijskim satelitima Molnija, koji su koristili takvu orbitu (Kenpankho i Thongra – ar, 2008).

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

Orbite možemo dijeliti i s obzirom na neke druge značajke. Orbita sinkronizirana sa Suncem ima orbitalnu ravninu uvijek u jednakom kutu s obzirom na smjer Sunca, a to zahtijeva (polarnu) orbitu sa inklinacijom većom od 90° . Takva orbita omogućava promatranje površine Zemlje uvijek u isto lokalno vrijeme i pod jednakim kutom osvjetljenja Sunca.

Satelite možemo klasificirati s obzirom na različite kriterije: masa, namjena, itd. S obzirom na masu, različiti izvori različito klasificiraju satelite. Europska svemirska agencija (ESA) satelite dijeli na velike satelite sa masom preko 1000 kg, male satelite s masom između 500 i 1000 kg, minisatelite između 100 i 500 kg, mikrosatelite između 10 i 100 kg te nano i pikosatelite sa masom ispod 10 kg.

S obzirom na namjenu tj. na primarne korisnike razlikujemo komercijalne satelite i institucionalne satelite; iako i institucionalni korisnici (npr. oružane snage) koriste komercijalne satelite za određene potrebe i obrnuto.

Vojni sateliti se po namjeni većinom razvrstavaju u: sateliti za rano upozoravanje i ocjenu napada, izvidnički i nadzorni sateliti, komunikacijski sateliti, navigacijski sateliti, geodetski sateliti i meteorološki sateliti. Tome se mogu pridodati još i bojni sateliti, koji su testirani za protusatelitske zadaće (URL17).

3. Keplerovi zakoni i parametri orbite planeta i satelita

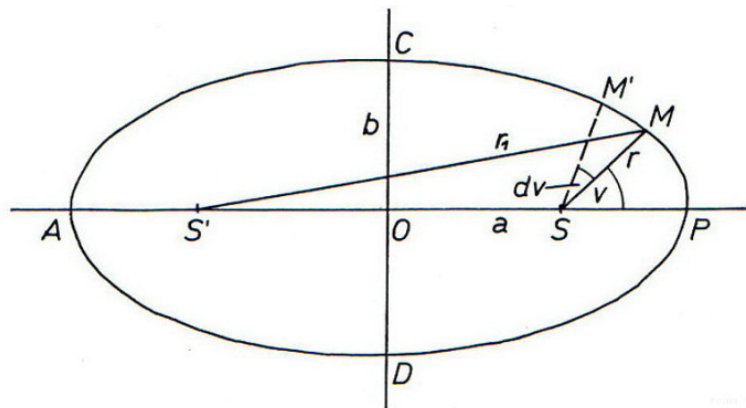
Johannes Kepler (1571-1630) je definirao zakonitosti gibanja planeta. Obrađujući za njegovo vrijeme vrlo precizna promatranja koja je izvršio Tycho Brahe (1564-1601), Kepler je uočio neslaganje kretanja planeta s njihovim pretpostavljenim kružnim orbitama. Analizirajući geometrijski oblik planetskih orbita zaključio je da se planeti ne gibaju oko Sunca po pravilnim kružnicama (kao što je tvrdio Kopernik), već da su njihove staze elipse i po njima se planeti kreću po određenim zakonitostima. Usporedivši svoje pretpostavke s rezultatima promatranja, ustanovio je da se vrlo dobro slažu. Tako je formulirao tri najznačajnija zakona kinematike Sunčeva sustava. Pokazalo se da svi Keplerovi zakoni vrijede i za sustave satelita svakog planeta, odnosno općenito za sve lanete u Svemiru (URL4, URL10, URL16).

3.1. Keplerovi zakoni

Keplerovi zakoni su problem klasične nebeske mehanike gibanja dva tijela (Seeber 1993). Jedno od dva tijela ima znatno manju masu i giba se oko tijela veće mase. Kepler je razvio svoje zakonitosti na osnovu podataka o gibanju planeta ali oni vrijede i za gibanja satelita. Ne poremećena putanja gibanja satelita je Keplerova elipsa.

3.1.1. Prvi Keplerov zakon

Putanje planeta su elipse u čijim žarištima se nalazi Sunce (v. sliku 3.1.).



Slika 3.1. Prikaz parametara prvog Keplerovog zakona

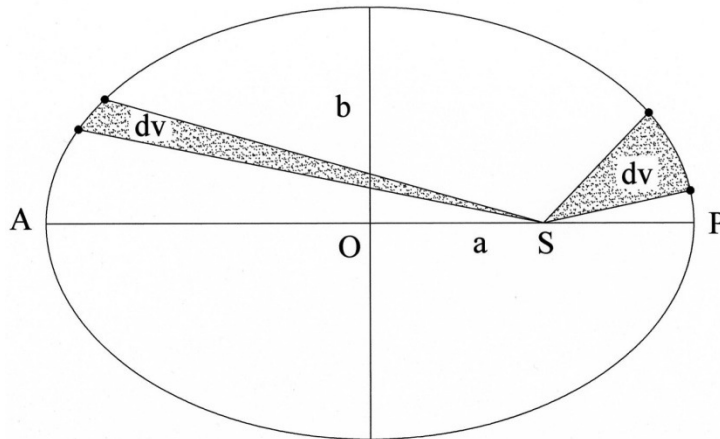
Planeti u Sunčevom sustavu nemaju konstantnu orbitalnu brzinu i gibaju se po eliptičnim orbitama. U trenutku kad se planet nalazi najbliže Suncu, kažemo da je u perihelu¹ i tada planet ima najveću orbitalnu brzinu. Kada se planet nalazi najdalje od Sunca, tada je u afelu² i ima najmanju orbitalnu brzinu.

¹ Perihel (grč helios = sunce) je položaj nekog planeta na svojoj eliptičnoj putanji kada je najbliži Suncu.

² Afel (grč. apo = od, helios = sunce) je točka u kojoj je planet na svojoj eliptičnoj putanji najudaljeniji od Sunca.

3.1.2. Drugi Keplerov zakon

Radijus-vektor Sunce-planet opisuje u jednakim vremenskim razmacima jednake površine (v. sliku 3.2.).



Slika 3.2. Shematski prikaz drugog Keplerovog zakona

Kada se planet približava perihelu, on se također približava i Suncu. Time je, dakle, vektor Sunce-planet sve kraći, a brzina gibanja planeta sve veća. Obrnuto, kada se satelit udaljava od perihela a približava afelu, vektor Sunce-planet je sve duži, a brzina gibanja planeta sve manja. Na taj način vektor Sunce-planet zatvara jednake površine u jednakim vremenskim razmacima.

3.1.3. Treći Keplerov zakon

Kvadrati ophodnih vremena T planeta su razmjerni sa kubovima velikih poluosi elipse a planeta od Sunca.

$$T^2 \sim a^3 \quad (3.1)$$

odnosno,

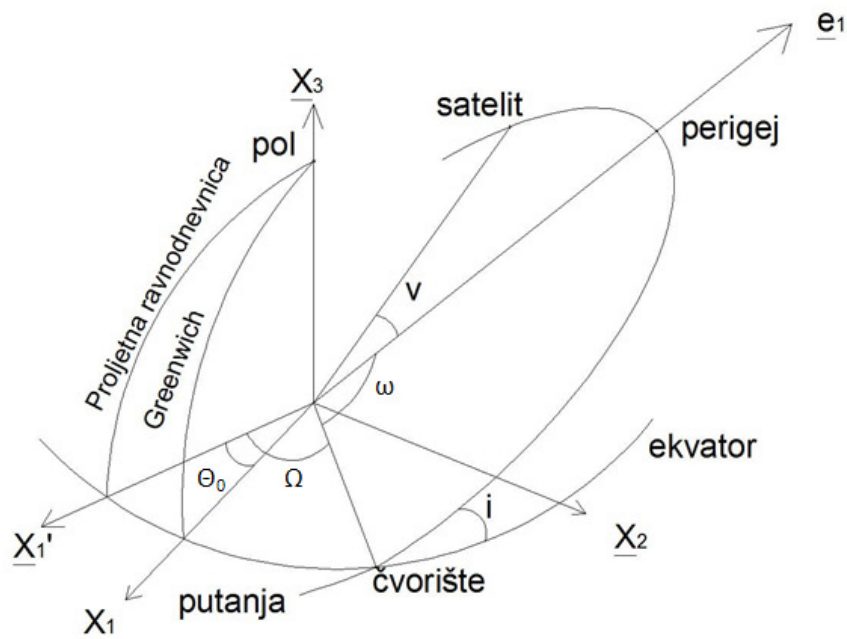
$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \dots = \frac{a_n^3}{T_n^2} = k \quad (3.2)$$

gdje je k konstanta.

Treći Keplerov zakon govori o odnosu udaljenosti planeta od Sunca i ophodnog vremena.

3.2. Parametri Keplerove elipse

Gibanje satelita ima šest stupnjeva slobode i definiranjem šest varijabli položaj satelita je jednoznačno definiran (v. sliku 3.3. i tablicu 3.1.).



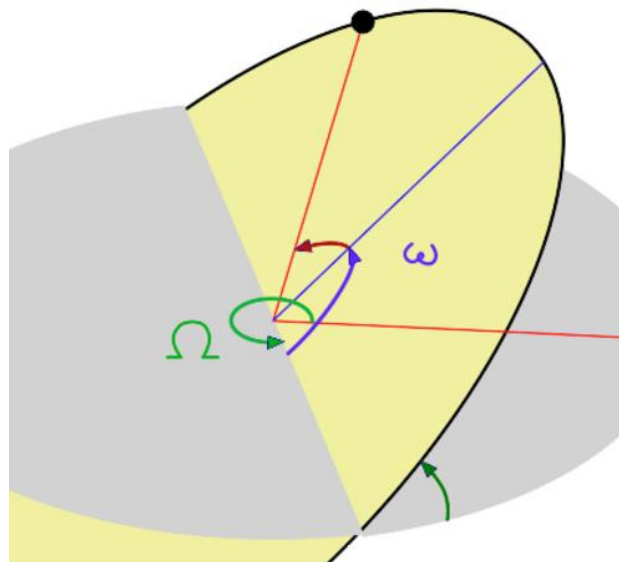
Slika 3.3. Keplerovi elementi

Tablica 3.1. Keplerovi elementi

Keplerovi elementi orbite	
Ω	duljina uzlaznog čvorišta
i	Inklinacija
ω	kutna udaljenost perigeja od uzlaznog čvorišta
a	velika poluos elipse
e	ekscentricitet
T_0	moment prolaska satelita kroz perigej

3.2.1. Duljina uzlaznog čvorišta

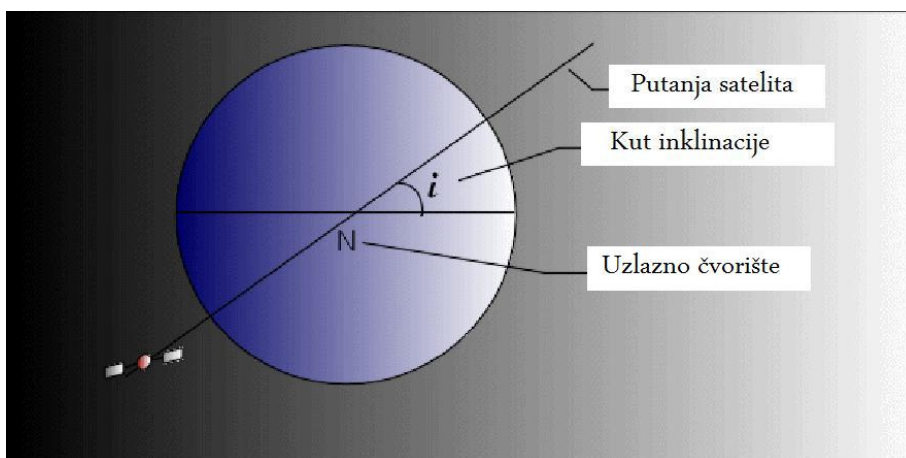
Uzlazni čvor je mjesto gdje satelit prelazi ekvator dok putuje od južne hemisfere na sjevernu hemisferu. Duljina uzlaznog čvora je kut u ekvatorijalnoj ravnini, od pravca geocentar - proljetna točka do pravca geocentar – uzlazno čvorište (v. sliku 3.4.).



Slika 3.4. Duljina uzlaznog čvorišta (Ω)

3.2.2. Inklinacija

Inklinacija (nagnutost) je kut, između ravnine orbite satelita i ekvatora, gledano u smjeru vrtnje Zemlje (v. sliku 3.5.). Ako satelit kruži oko Zemlje točno iznad ekvatora, ima inklinaciju 0° , i njegova orbita je tada ekvatorijalna. Ako orbita ima inklinaciju 90° , satelit putuje iznad sjevernog i južnog pola, pa se ta vrsta orbite zove polarna. S obzirom da se pri tome i Zemlja vrti oko vlastite osi, satelit u nekoliko dana pokrije cijelu zemljinu površinu, uključujući i polove.

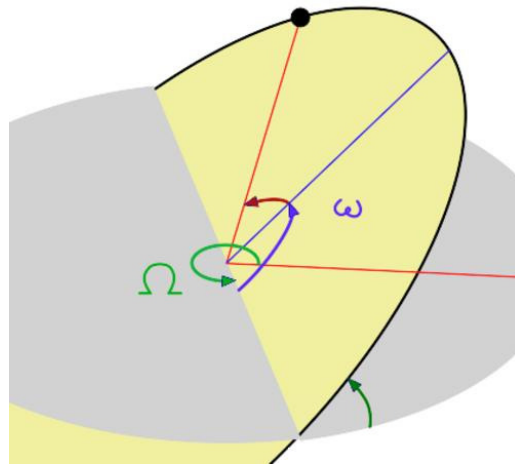


Slika 3.5. Inklinacija

3.2.3. Kutna udaljenost perigeja od uzlaznog čvorišta

Budući da orbita ima eliptičan oblik, satelit će se približavati i udaljavati od Zemlje. *Perigej* je točka na putanji nekog tijela u orbiti oko Zemlje u kojoj je tijelo najbliže Zemlji. Točka gdje je Zemljin satelit najdalji zove se *apogej*. Argument za perigej je formirani kut između perigeja i uzlaznog čvora (v. sliku 3.6.).

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske



Slika 3.6. Kutna udaljenost perigeja od uzlaznog čvorišta (ω)

3.2.4. Velika poluos elipse

Satelit se giba po elipsi koja je dvoparametarska krivulja. Velika poluos a je jedan od dva geometrijska parametra elipse zajedno s linearnim ekscentricitetom e . Inklinacija putanje satelita je bitna za ovaj rad zbog toga što se određuje visina satelita u orbiti sinkroniziranoj sa Suncem, a inklinacija znatno utječe na takve orbite (v. sliku 3.7.). Odnos parametara elipse dan je sljedećom formulom.

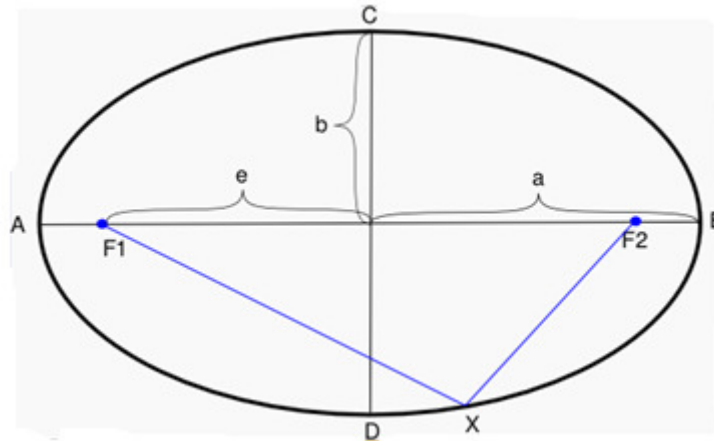
$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \quad (3.3)$$

odnosno,

$$a = \frac{b}{\sqrt{1 - e^2}} \quad (3.4)$$

Kružnica je specijalni oblik elipse kod koje je $a = b = r$ odnosno, $e = 0$.

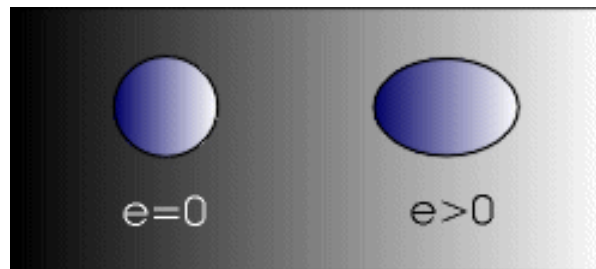
Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske



Slika 3.7. Eliptična orbita

3.2.5. Ekscentricitet

Ekscentricitet definira "oblik" elipse. Ako je $e=0$ onda je elipsa kružnica, a ako je e blizu 1 elipsa je vrlo spljoštena (v. sliku 3.8).



Slika 3.8. Ekscentricitet

3.2.6. Moment prolaska satelita kroz perigej (T_0)

Trenutak u kojem satelit prođe kroz perigej, odnosno kroz točku kada je najbliže Zemlji, naziva se moment prolaska satelita kroz perigej (T_0). Ovisno o tome koliko puta dnevno satelit obiđe Zemlju, toliko se puta i dogodi da satelit prođe kroz perigej. Opisuje se kao trenutak u vremenu. Npr. u 14:52:30 je satelit prošao kroz perigej i ukoliko je period obilaska satelita 2h 14min satelit će kroz perigej proći opet u 17:06:30. Moment prolaska satelita kroz perigej služi definiranju točnog položaja

satelita unutar već definirane orbite. Ovaj element putanje je važan za ovaj rad jer se definira trenutak u kojem će satelit prijeći iznad promatranog područja.

4. Računanje Keplerovih elementa

Keplerovi elementi se mogu dobiti na osnovu koordinata u inercijalnom referentnom sustavu, uz pretpostavku da postoji osim položaja satelita (geocentrični radij vektor položaja r) i pripadajuća brzina gibanja satelita (Nitsche 1999).

$$r = |\vec{r}| ; v = |\dot{\vec{r}}| \quad (4.1)$$

Radijalnu brzinu gibanja satelita, kut između perigeja i položaja satelita, možemo dobiti na osnovu formule

$$v_r = \frac{\vec{r} \cdot \dot{\vec{r}}}{r} \quad (4.2)$$

a impuls rotacije na osnovu izraza

$$\vec{h} = \vec{r} \times \dot{\vec{r}} = \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

$$h = |\vec{h}| \quad (4.4)$$

Na osnovu ovih izraza možemo dobiti rektascenziju i inklinaciju

$$\Omega = \arctan \frac{h_1}{-h_2} \quad (4.5)$$

$$i = \arctan \frac{\sqrt{h_1^2 + h_2^2}}{h_3} \quad (4.6)$$

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

Veliku poluos i ekscentricitet možemo dobiti pomoću izraza

$$a = \frac{GMr}{2GM - rv^2} \quad (4.7)$$

$$e = \sqrt{1 - \frac{h^2}{aGM}} \quad (4.8)$$

gdje je GM geocentrička gravitacijska konstanta. Dobivene vrijednosti koristimo za dobivanje prave anomalije i ekcentriteta.

$$\sin E = \frac{rv_r}{e\sqrt{aGM}} \quad (4.9)$$

$$\cos E = \frac{a-r}{ae} \quad (4.10)$$

$$E = \arctan \frac{\sin E}{\cos E} \quad (4.11)$$

$$v = \arctan \frac{\sqrt{1-e^2}\sin E}{\cos E - e} \quad (4.12)$$

Primjenom argumenta latitude (Kim,1997)

$$r = \arctan \frac{y}{x} \quad (4.13)$$

dobivamo duljinu perigeja

$$\omega = r - v \quad (4.14)$$

Računanje visine satelita izvodi se pomoću formule za treći Keplerov zakon (Bačić i Bašić 1999).

$$n = \frac{2\pi}{P} = \sqrt{\frac{GM}{a^3}} \quad (4.15)$$

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

gdje je P srednje vrijeme obilaska satelita oko Zemlje (period revolucije), GM je gravitacijska konstanta Zemlje i iznosi $GM = 3986004.418 \times 10^8 \text{ m}^3\text{s}^{-2}$, a izraz za a predstavlja udaljenost od središta Zemlje do satelita i dobije se pomoću izraza

$$a = \sqrt[3]{\frac{GM P^2}{4\pi^2}} \quad (4.16)$$

Na osnovu Keplerovih izraza dobiva se srednja anomalija i vrijeme

$$M = E - e \sin E \quad (4.17)$$

$$t = \frac{M}{n} \quad (4.18)$$

gdje je n srednje gibanje.

Kružna orbita je specijalan slučaj Keplerove orbite. Kružne orbite imaju ekscentricitet jednak nuli. Tada su fokus i središte elipse identične točke. Također su velika i mala poluos iste duljine. Uvođenjem ovih pojednostavljenja u gornje formule dobivamo za ekscentričnu anomaliju

$$E = \arctan \frac{1 \sin v}{0 + \cos v} = \arctan(\tan v) \rightarrow E = v \quad (4.19)$$

i vrijedi

$$M = E - 0 \sin E \rightarrow M = E \quad (4.20)$$

Za kružnu orbitu su prava, ekscentrična i srednja anomalija te argument latitude identični

$$v = E = M = r \quad (4.21)$$

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

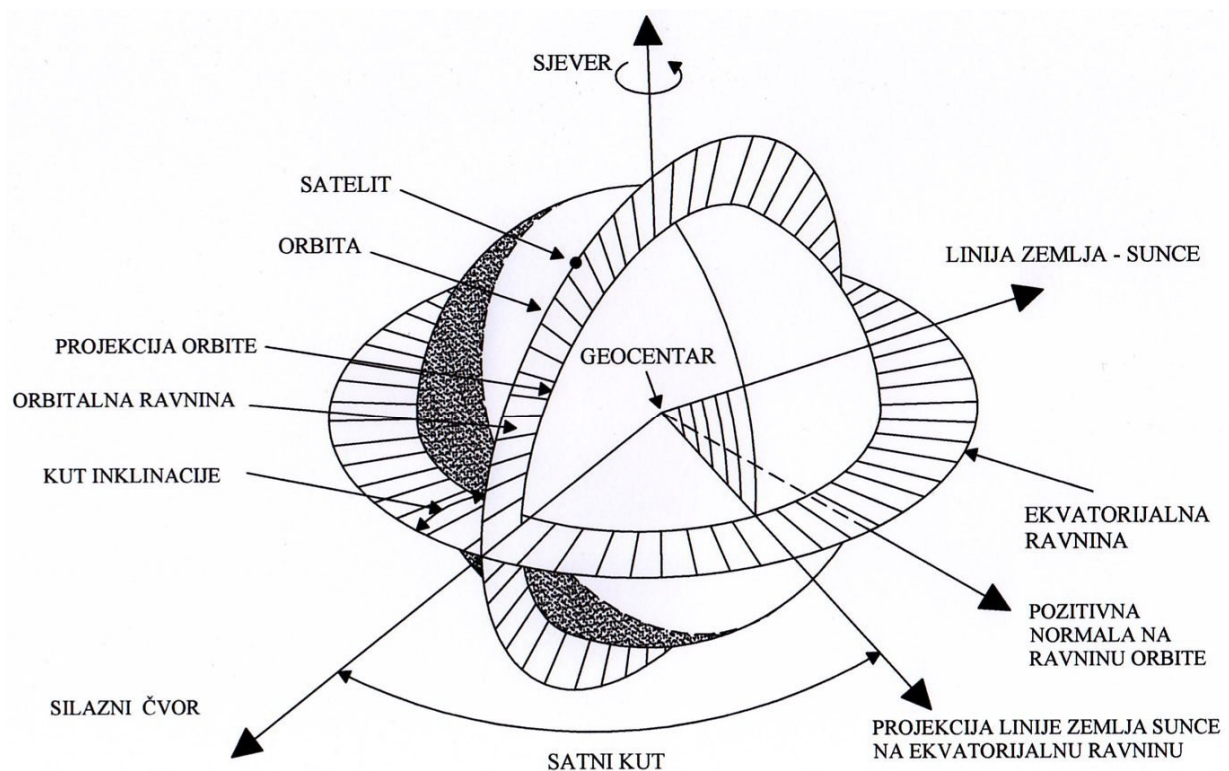
Položaj i brzinu satelita dobivamo s pomoću izraza

$$\vec{r}_B = \begin{pmatrix} \cos r \\ \sin r \\ 0 \end{pmatrix} r ; \dot{\vec{r}}_B = \begin{pmatrix} -\sin r \\ \cos r \\ 0 \end{pmatrix} n r \quad (4.22)$$

Na gibanje satelita djeluje cijeli niz poremećajnih sila kao što su: anomalije gravitacijskog polja Zemlje, zračenje sunca, refleksija sunčevog zračenja od Zemlje i Mjeseca (Albedo), trenje atmosfere, magnetsko polje Zemlje, gravitacijsko djelovanje Sunca i Mjeseca i dr. Zbog toga se satelit giba po trajektorijama Keplerovih elipsi. Uzroci poremećaja orbita satelita su vremenski varijabilne veličine i nije moguće pouzdano modelirati utjecaje poremećaja orbite u duljem vremenskom razdoblju već se oni dobivaju na osnovu mjerenja na osnovu kojih se vrše kratkoperiodične predikcije. Zbog toga se npr. GPS efemeride starije od mjesec dana ne koriste se niti za dizajniranje mjerne kampanje. Kako je za modeliranje poremećaja orbite potreba dodatna mjerenja u ovom radu je modeliranje orbite vršeno u okviru modeliranja elemenata Keplerove elipse i korišteni su klasični matematički modeli poremećaja orbite *Simplified General* i *Deep-space Perturbations* (SGP / SDP).

5. Orbita sinkronizirana sa Suncem

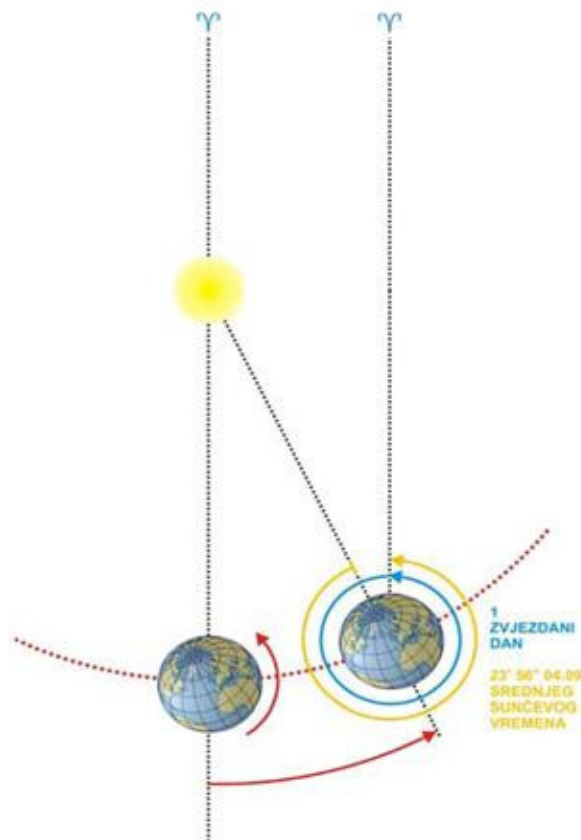
Orbita sinkronizirana sa Suncem (eng. *Sun – Synchronous orbit*) je orbita koja objedinjuje visinu, brzinu gibanja i inklinaciju na takav način da je satelit u orbiti koja prolazi preko istog dijela Zemljine površine u isto lokalno Sunčevo vrijeme (v. sliku 5.1.). Satelit u orbiti sinkroniziranoj sa Suncem može prijeći ekvator svaki put oko 15:00 po lokalnom vremenu. To se postiže zakretanjem orbitalne ravnine prema istoku, otprilike za 1 stupanj dnevno, kako bi se izbjegao pomak zbog Zemljine revolucije oko Sunca. Tipične Suncem sinkronizirane orbite su oko 600-800 km visine, sa periodima obilaska u rasponu 96-100 minuta i inklinacijom oko 98° (URL8, URL11).



Slika 5.1. Shematski prikaz orbite sinkronizirane sa Suncem

6. Period revolucije

Period revolucije (vrijeme obilaska) je vrijeme za koje satelit jednom obiđe oko Zemlje unutar svoje orbite. Da bi se satelit vratio u početnu točku nakon jednoga dana ophoda oko Zemlje, višekratnik perioda orbite satelita bi trebao biti 24 zs³, jer bi se jedino na taj način satelit vraćao na istu poziciju nakon 24 zs. Time bi se dobio satelit koji bi se svaki dan u isto vrijeme pojavljivao iznad nekog područja. Ovisno o tome hoće li satelit u jednom danu Zemlju obići 16, 12 ili 10 puta, period revolucije satelita trebao bi biti 1,5 zs, 2 zs ili 2,4 zs. Pomoću Keplerovih elemenata definirano je gibanje satelita. Na taj način, uz modeliranje Keplerovih parametara, moguće je dobiti satelit koji svaki dan prolazi iznad teritorija Republike Hrvatske u isto lokalno vrijeme (v. sliku 6.1.)



Slika 6.1. Razlika zvjezdanog i sunčevog vremena

³ zs – zvjezdana sata

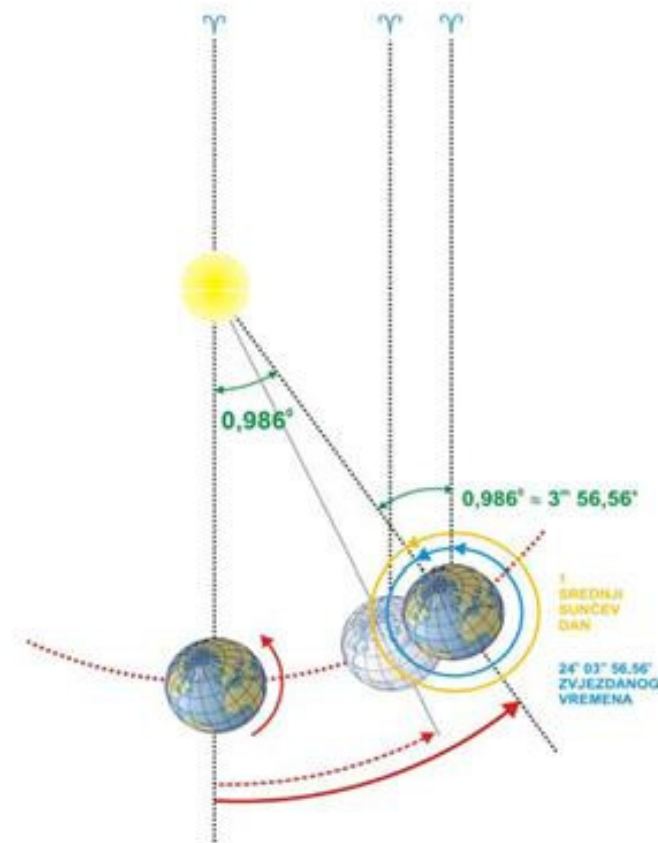
Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

Jedan zvjezdani dan iznosi $1 - 1/366,2422$ srednja Sunčeva dana odnosno 0,997 269 566 33 srednja Sunčeva dana.

24h zvjezdanog vremena iznosi 23h 56m 04,09053s srednjeg sunčevog vremena.

Da bi protekao jedan srednji Sunčev dan, odnosno da bi Sunce ponovno kulminiralo u stajališnom meridijanu Zemlja se mora zarotirati za 360° i dodatni mali kut.

Srednji Sunčev dan (vrijeme proteklo između dvostruke uzastopne dnevne kulminacije srednjeg Sunca iznad stajališnog meridijana) dulji je od Zvjezdanog dana (vrijeme proteklo između dvostruke uzastopne dnevne kulminacije zvijezde odnosno proljetne točke) za 3m 56,6s (v. sliku 6.2.).



Slika 6.2. Razlika sunčevog i zvjezdanog vremena

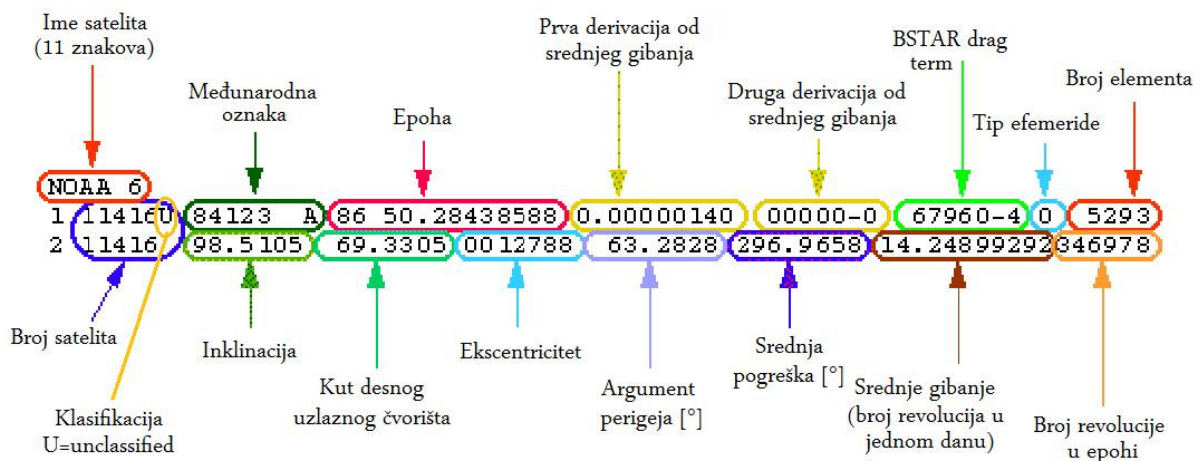
Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

Dodatni dio Zemljine rotacije odgovara pomaku Zemlje zbog revolucije. Stajališni meridijan opiše puni krug (360°) u odnosu na srednje Sunce u toku jednog srednjeg sunčevog dana, tj. srednje Sunce će biti ponovno u gornjoj kulminaciji iznad stajališnog meridijana (Špoljarić 2008).

7. Format podataka o putanji satelita - *Two Line Element*

Postoji više standardiziranih formata podataka o putanji satelita. Jedan od njih je *Two Line element* (TLE). TLE je skup orbitalnih elemenata koji opisuju položaj Zemljinog satelita. TLE format je definiran od *North American Aerospace Defense Command* (NORAD) a koristi ga i NASA. TLE je format za pohranjivanje podataka orbite satelita potrebne za *Simplified General* i *Deep-space Perturbations* (SGP / SDP) predikcije (Chaozhen i dr. 2008).

SGP4 je pojednostavljeni opći model za predikciju, koristi se za satelitske misije s revolucijom manjom od 225 minute, a SDP4 je pojednostavljeni *Deep-space* model za predikciju, koristi se za satelitske misije s revolucijom većom od 225 minuta (URL3). Format TLE je objašnjen na slici 7.1.



Slika 7.1. Format TLE datoteke

8. Remote sensing (RS)

Remote sensing (RS) je umjetnost i znanost u prikupljanju i obradi informacija o objektu, prostoru ili vremenskih fenomena pomoću uređaja koji nije u direktnom fizičkom kontaktu sa promatranim objektom, prostorom ili fenomenom. *Remote sensing* senzori su obično instalirani na avione ili na satelite dok se referentna baza podataka može popunjavati i sa snimcima sa Zemlje. Kod prva dva senzora utjecaj atmosfere je velik i mora se uzeti u obzir kod interpretacije dobivenih slika. Važna značajka *Remote sensing* sistema je trenutno vidno polje skenera i takozvana prostorna rezolucija. Moguće je provesti multispektralno, termalno i hiperspektralno snimanje terena (URL1). Termalno skeniranje se vrši u termalnom dijelu spektra, a hiperspektralno skeniranje je skeniranje koje daje multispektralne slike u mnogo uskih spektralnih bandova kroz vidljive dijelove infracrvenog spektra.

Multispektralno skeniranje se sastoji od tehnika *Across-track* i *Along track*. *Across-track* skeniranje se postiže rotirajućim ili oscilirajućim ogledalom koje skenira teren poprijeko na liniju leta počevši od desnog kuta. *Along track* se razlikuje od *Across track*-a jer umjesto oscilirajućeg ogledala, koristi linearno polje detektora, a površina pojedinog detektora određuje prostornu rezoluciju.

8.1. Primjena satelitskih snimki

Od prvih satelitskih snimaka iz 1959. godine provedena su mnoga istraživanja primjenjivosti takvih snimaka za proučavanje površine Zemlje. Satelitski snimci u geologiji, meteorologiji, oceanografiji i za proučavanje vegetacije. Pri proučavanju vegetacije najviše se pažnje posvećivalo primjeni satelitskih snimaka u poljoprivredi i šumarstvu. Istraživanja u šumarstvu su se obavljala kako bi se dokazala primjenjivost satelitskih snimaka za: procjenu i praćenje prirodnih bogatstava, utvrđivanje načina korištenja zemljišta, utvrđivanje vrsta drveća i razvojnih stadija šumskih sastojina, utvrđivanje tipova šuma, inventuru šuma, procjenu biomase, praćenje stanja šuma i utvrđivanje promjena, procjenu oštećenosti šuma, rano otkrivanje i praćenje požara, proučavanje i procjenu stanja nakon prirodnih nepogoda, primjenu u lovstvu,

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

proučavanje zaštićenih područja, procjenu učinkovitosti primjene satelitskih snimaka i dr. (Pernar 2006).

Ako se snimke primjenjuju za dobivanje kvalitativnih i kvantitativnih informacija o objektima od interesa, te za donošenje zaključaka o njihovom stanju, tada govorimo o fotointerpretaciji. Na osnovi poznatih karakteristika određenih objekata, uočavanjem razlika, prepoznaju se i tumače pojave i stvaraju zaključci o vrsti i prirodi preslikanih objekata. Ako se uz promatranja vrše i mjerenja, govorimo o mjernoj fotointerpretaciji.

Za provođenje interpretacije najvažnija osobina neke satelitske scene je njezina rezolucija (najmanja razlučivost). Postoje četiri vrste rezolucija koje predstavljaju osobine satelitskih snimaka:

- prostorna,
- spektralna,
- radiometrijska
- vremenska

Optimiranje rezolucija snimka je bitno za razvoj satelitskih servisa u ovom radu.

8.1.1. Prostorna rezolucija

Prostorna rezolucija je predstavljena veličinom najmanjeg elementa snimka (piksela) u prirodi. Ovisno o toj veličini, postoje satelitske snimke velike rezolucije kod kojih se veličina piksela u prirodi kreće od 10x10 m do 30x30 m. Kod satelitskih snimki male rezolucije, veličina piksela je 1 x 1 km i veća. Sposobnost prepoznavanja objekata (kuća, stablo, oranica i dr.) ovisi o prostornoj rezoluciji. Mali pikseli su mješoviti jer sadrže zračenje odbijeno od dva ili više objekata. Veliki pikseli su uglavnom mješoviti, osim na snimkama područja koja su sastavljena od velikih jednoličnih površina (pustinje, savane i dr.). Instrumenti niske prostorne rezolucije se primjenjuju za proučavanje regionalnog biljnog pokrova, širih vremenskih prilika i oblika oblaka. Instrumenti (tj. senzori) srednje prostorne rezolucije uobičajeno se koriste za nadzor poljoprivredne proizvodnje, kao i procjenu općeg razmjera katastrofa. Senzori najviše prostorne rezolucije mogu prikazati individualne

građevine, automobile, pa čak i ljude, a mogu se koristiti za prostorno i urbano planiranje i nadzor (URL21), (Perković 2009).

8.1.2. Spektralna rezolucija

Spektralna rezolucija predstavlja broj različitih valnih duljina spektra koji određeni senzor može detektirati. Viša spektralna rezolucija omogućuje i preciznije raspoznavanje sastava različitih materijala, kemijskih spojeva i elemenata na kopnu, moru i u atmosferi (URL21).

Spektralna rezolucija je mogućnost prepoznavanja različitih valnih duljina odbijenog zračenja. Skeneri opažaju i bilježe odbijeno zračenje u užim i širim dijelovima elektromagnetskoga spektra, tzv. kanalima tj. *bandovima*. Ukoliko su frekvencijski kanali uski govori se o visokoj spektralnoj rezoluciji, a ako su spektralni kanali široki govori se o slaboj spektralnoj rezoluciji. Visoka spektralna rezolucija omogućava bolje raspoznavanje objekata na snimkama. Osim o širini kanala, mogućnost raspoznavanja objekata ovisi i o broju kanala (Pernar 2006).

8.1.3. Radiometrijska rezolucija

Radiometrijska rezolucija ovisi o tome na koliko se razina može podijeliti cjelokupna količina zračenja zabilježena u jednom spektralnom kanalu. Veći raspon zračenja moći će se podijeliti na veći broj razina koje će biti zabilježene s većim brojem bita, a manji raspon će biti podijeljen na manji broj razina i biti će zabilježen s manjim brojem bita. Ukoliko je digitalni broj zapisan s 8 bita, vrijednosti digitalnog broja će se kretati od 0 do 255, a ukoliko su vrijednosti zapisane sa 7 bita, vrijednosti digitalnih brojeva će se kretati u rasponu od 0 do 127. Pri tome broj 0 predstavlja najmanju zabilježenu količinu zračenja (predstavlja se crnom bojom) a brojevi 127, odnosno 255 predstavljaju najveću količinu zračenja (predstavljaju se bijelom bojom).

8.1.4. Vremenska rezolucija

Vremenska rezolucija govori o tome u kojim se vremenskim razmacima snima isto područje. Ona ovisi o visini i brzini leta satelita, te o njegovoj putanji. Veličina

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

satelitskih snimaka određena je količinom podataka na samoj snimci, a ta količina izravno ovisi o prostornoj, spektralnoj i radiometrijskoj rezoluciji. Veličina snimke se može izraziti veličinom prostora koji je snimljen ili brojem redova i kolona (piksela) (v. tablicu. 8.1.)

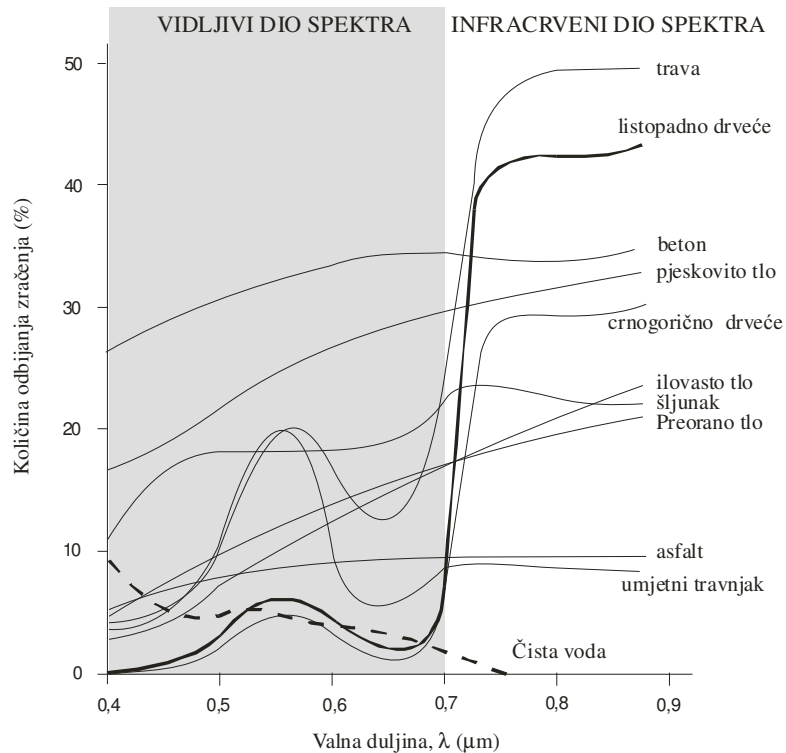
Tablica 8.1. Rezolucija satelitskih snimaka snimljenih sa različitih satelita

Ime satelita	Naziv uređaja za snimanje	Veličina piksela (m)	Broj kanala	Broj razina zapisa	Veličina snimke i km broj red. - kolona	
Landsat 1,2,3	MSS	79 × 56	4	64	185 × 185	2340/3240
Landsat 4,5	TM	28,5 × 28,5	7	256	183 × 172	5667/6167
Landsat 7	ETM	28,5 × 28,5	7	256	183 × 172	5667/6167
SPOT 1,2,3 (multi)	HRV - XS	20 × 20	3	256	60 × 60	3000/ 3000
SPOT 1,2,3 (pan)	HRV - Pan	10 × 10	1	256	60 × 60	6000/ 6000
IRS – 1A,1B	LISS - I	72 × 72	4	256	148 × 174	2417/2055
IRS – 1A,1B	LISS - II	36 × 36	4	256	148 × 161	4111/4472
IRS – P2	LISS - II	32 × 36	4	256	148 × 161	4625/4472
JERS 1 I	OPS I	18 × 24	4	256	75 × 75	4096/4000

8.2. Spektralno područje za snimanje vegetacije

Veliki dio objekata na zemlji posjeduje sposobnost apsorpiranja ili reflektiranja određenog spektra zračenja. Tako je i sa vegetacijom. Na slici 8.1. vidljivo je kako pojedine biljne vrste apsorbiraju odnosno reflektiraju zračenje (Bajić, 2007.).

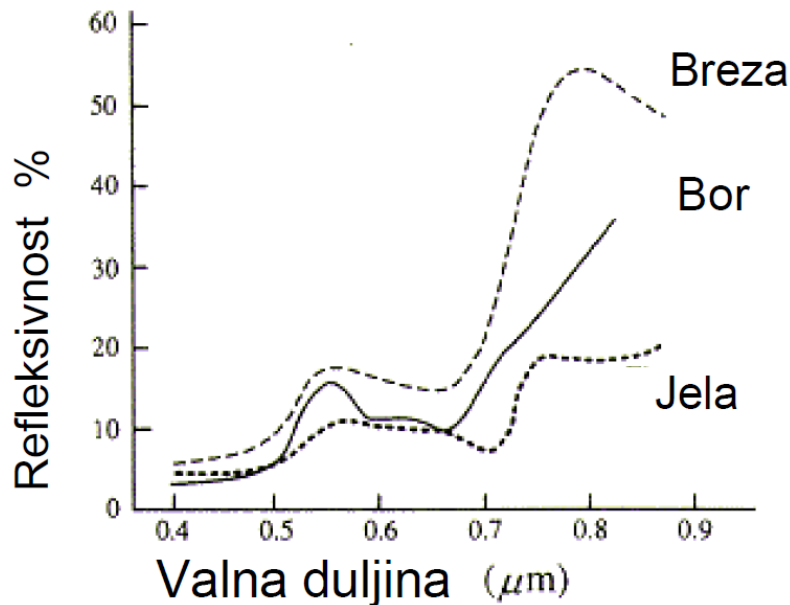
Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske



Slika 8.1. Uopćeni dijagram spektralnog odbijanja za različite prirodne i umjetne objekte (Bajić, 2007)

Na slici 8.1. može se primijetiti dvostruki "vegetacijski skok". Klorofil, koji je sastavni dio lišća, ima veliku apsorpciju u žutom (0,4-0,5 μm) i crvenom (0,6-0,7 μm) dijelu spektra, ali i veliku refleksiju u zelenom (0,5-0,6 μm) te infracrvenom dijelu spektra (0,7-0,9 μm). Refleksija u zelenom dijelu spektra naziva se prvi ili klorofilni vegetacijski skok. Zbog toga je čovjeku kao promatraču vegetacija zelene boje. Drugi vegetacijski skok se događa na prijelazu između vidljivog i infracrvenog dijela spektra. Blisko infracrveni dio spektra je veoma koristan za promatranje stanja vegetacije, zbog toga što se ovaj skok događa jedino kod vegetacije (URL13) (Bajić, 2007) (Kušan, 2008).

Na slici 8.2. može se primijetiti također da i sva vegetacija ne reflektira jednako. Breza npr. ima vrlo izražen drugi vegetacijski skok, koji je kod jele puno manje vidljiv. (Bajić, 2007)



Slika 8.2. Refleksivnost pojedine biljne vrste (Kušan, 2008)

8.3. Izbor snimke za interpretaciju

Izbor snimke za interpretaciju ovisi o cilju interpretacije (kartiranje vegetacije, kartiranje sastojinskih veličina, kartiranje načina korištenja zemljišta i sl.), o području za koje se interpretacija radi i o željenom mjerilu kartiranja. Satelitske snimke se nakon snimanja i prethodne obrade pohranjuju i trajno čuvaju. Npr. čuva se oko 3,5 milijuna Landsat-ovih snimaka snimljenih tijekom protekle 22 godine (Hay, 2000). Zbog specifičnosti i složenosti namjene, svaki servis zahtjeva drugačije parametre rezolucije snimka. Za realizaciju snimaka satelitski podržanih servisa, razvijaju se posebni senzori. To je složen postupak koji je u znanstvenoj domeni te je optimiranje parametara rezolucije snimka (prostorne, vremenske, spektralne, radiometrijske) prilikom modeliranja pojedinog servisa u ovom radu obavljeno s obzirom na performanse postojećih senzora.

8.4. Satelitski senzorski sustavi

Satelitski senzorski sustavi mogu pružiti visoku kvalitetu kalibracijskih podataka sa velikom rezolucijom (ovisno o visini leta) (Moran, i dr., 1997).

Advanced Solid-State Array Spectrometer (ASAS)

- broj kanala: 30
- vidljivi spektar: 0,45 – 0,88 μm
- interval preklapanja: 14 nm
- rezolucija senzora: 0,85 mrad

Airborne Visible-Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS)

- broj kanala: 220
- spektar: 0,41 – 2,45 μm
- interval preklapanja: 9,4 – 9,7 nm
- rezolucija senzora: 20 m

Thermal Infrared Multispectral Scanner (TIMS)

- broj kanala: 8
- spektar: 8,2 – 12,2 μm
- interval preklapanja: 0,4 – 1,4 nm
- rezolucija senzora: 2,5 mrad

Thermal Mapper Simulator (TMS – NS001)

- broj kanala: 8
- spektar: 0,45 – 12,3 μm
- interval preklapanja: 0,6 – 1,4 nm
- rezolucija senzora: 2,5 mrad

Thermal Mapper Simulator (TMS) Daedalus

- broj kanala: 10
- spektar: 0,38 – 14,0 μm

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

- interval preklapanja: 0,02 – 5,5 nm
- rezolucija senzora: 2,5 mrad

Meteosat je stabilizirani satelit druge generacije koji snima zemlju u 12 kanala u vidljivom i infracrvenom dijelu spektra posebnim instrumentom koji se zove *Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager* (SEVIRI) (Kušan 2008):

1. VIS0.6 - Vidljivi spektar centriran oko 0.6 μm
2. VIS0.8 - Vidljivi spektar centriran oko 0.8 μm
3. IR1.6 - Blizu infracrveno područje centrirano oko 1.6 μm
4. IR3.9 - Infracrveno područje centrirano oko 3.9 μm
5. WV6.2 - Područje vodene pare centrirano oko 6.2 μm
6. WV7.3 - Područje vodene pare centrirano oko 7.3 μm
7. IR8.7 - Infracrveno područje centrirano oko 8.7 μm
8. IR9.7: O₃ - Područje ozonskog pojasa centrirano oko 9.7 μm
9. IR10.8 - Infracrveno područje centrirano oko 10.8 μm
10. IR12.0 - Infracrveno područje centrirano oko 12.0 μm
11. IR13.4: O₂- Područje ugljičnog dioksida centrirano oko 8.7 μm
12. HRV - Širokopojasno vidljivo područje visoke rezolucije

Glavni instrument SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager*) obavlja mjerenja u čak dvanaest spektralnih područja (12 kanala), uz pokrivanje čitavog diska planete u intervalu od 15 minuta. Uobičajena rezolucija iznosi 3 km, dok *High Resolution Visible* HRV kanal omogućuje rezoluciju od 1 km, to sve skupa povoljno utječe i na pravovremenu detekciju malih, ali intenzivnih i naglih vremenskih poremećaja (URL23).

9. Važnije *Remote sensing* satelitske misije

Sateliti serije LANDSAT I SPOT su obilježili razvoj *Remote sensing* - a. Ovi sateliti osiguravaju multispektralno snimanje s dovoljnom rezolucijom za izradu zemljovida i analizu površine Zemlje (URL19, URL20, URL25).

9.1. Landsat

Landsat program je najstariji sustav za snimanje Zemlje iz Svemira. Prvi satelit misije Landsat lansiran je 1972. godine, dok je posljednji, Landsat 7, lansiran 15. travnja 1999. godine. Instrumenti na Landsatovim satelitima (v. sliku 9.1. i tablicu 9.1.) do sada su snimili veliki broj snimaka. Snimci su arhivirani u Sjedinjenim Američkim Državama i Landsatovim zemaljskim stanicama koje se nalaze širom svijeta. Ovi snimci su jedinstven izvor globalnih informacija koje se primjenjuju u poljoprivredi, geologiji, kartografiji i sl.



Slika 9.1. Landsat satelit

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

Tablica 9.1. Popis lansiranih Landsat satelita s osnovnim podacima

Naziv	Kataložki broj	Datum lansiranja	Tema	Zemlja	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e
Landsat 1	6126	23.7.1972	RS	USA	11,344	98,7408	21,3311	7281.34	0.0007501
Landsat 2	7615	22.1.1975	RS	USA	14,767	99,2412	32,9175	7284.12	0.000856
Landsat 3	10702	5.3.1978	RS	USA	15,051	99,2104	15,8791	7284.19	0.0014618
Landsat 4	13367	16.7.1982	RS	USA	6,520	98,1857	22,0006	6938.33	0.0018197
Landsat 5	14780	1.3.1984	RS	USA	16,441	98,2485	35,8108	7080.72	0.0002486
Landsat 7	25682	15.4.1999	RS	USA	16,523	98,2124	95,1299	7080.67	0.0001609

Nakon početničkih pokušaja prvi komercijalni uspjeh doživio je *Earth Resources Technology Satellites* (ERST)-Landsat. Prvi takav sistem je lansiran 1972., a zatim slijede njegovi potomci do šestog koji nije poletio u svemirska prostranstva zbog neuspjelog lansiranja. Četiri različita tipa senzora su implementirana na ovim sistemima: *Return Beam Vidicon* (RBV), *Multispectral Scenner* (MSS), *Thematic Mapper* (TM), *Enhanced Thematic Mapper* (ETM) (Hay 2000).

Landsat 1-3

- visina od 900 km
- širina snimka 185 x 185 km
- prelazak zrake po terenu brzinom od 6.46 km/sek
- 18 dana potrebno da snimi cijelu Zemlju
- Senzori - 3-kanalni RBV te 4-kanalni MSS

Return Beam Vidicon (RBV) camera - rezolucija od 80 m, osjetljivost kamere u vidnom području 0.475-0.575 μm (zelena), 0.580-0.680 μm (crvena) te od 0.690-0.830 μm (blizu IR području). Kod Landsat – a 3 poboljšana je rezolucija na 30 m te se snimalo samo u spektralnom području 0.505-0.750 μm .

Multispectral Scanner (MSS) - generira sliku terena od 185x185 km sa 79x79 m, prostorne rezolucije terena u 4-kanalnom modu 0.5-

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

0.6 μm , 0.6-0.7 μm , 0.8-1.1 μm dok je Landsat 3 imao i termalni
band od 10.4-12.6 μm .

Landsat 4 i 5

- visina od 705 km
- širina snimka 185 x 185 km
- 16 dana je potrebno da snimi cijelu Zemlju
- senzori – **MSS i TM**

prostorna rezolucija je 82 x 82 m²

Thematic Mapper (TM) - snima u 3 banda - 0.45-0.52 μm , 1.55-1.75 μm , 2.08-2.35 μm kod TM – a je smanjena prostorna rezolucija koja iznosi 30 m osim u termalnom području gdje je 120 m

Landsat 6

- Landsat 6 obilježen je kao neuspjela misija

Landsat 7

- senzori – **Enhanced Thematic Mapper + (ETM+)**
 - pankromatski band od 0.50-0.90 μm i prostorne rezolucije 15 m

9.2. Systeme Pour l'Observation de la Terre (SPOT)

Systeme Pour l'Observation de la Terre (SPOT) je jedan od sustava satelita za snimanje Zemlje iz Svemira (v. sliku 9.2.). Odlikuje se snimcima sa visokom rezolucijom. Sustav kontrolira agencija *Spot Image*, čije je sjedište u Tuluzu u Francuskoj. Inicijativu za pokretanje ove misije, dala je Francuska svemirska agencija *Centre national d'études spatiales (CNES)* 1970-ih godina. Razvijanje SPOT programa se odvijalo uz suradnju sa Belgijskim centrom za naučna, tehnička i kulturološka istraživanja i Švedskom kompanijom za svemirska istraživanja.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske



Slika 9.2. Spot satelit

Karakteristike satelita:

- Spot 1 je lansiran 22.02.1986. godine
- financirali: Francuska, Belgija i Švedska
- noseća raketa je bila Ariane
- podaci sa SPOT satelita se odašilju direktno zemaljskim stanicama (ukupno 22 stanice). Kad satelit nije u dogledanju s jednom od zemaljskih stanica podaci su pohranjeni u satelitu do trenutka slanja na Zemlju (v. tablicu 9.2.)

Tablica 9.2. Pregled glavnih podataka lansiranih SPOT satelita

Naziv	Kataloški broj	Datum lansiranja	Tema	Zemlja	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e
SPOT 1	16613	22.2.1986	RS	FR	29,882	98,7643	28,5475	7068.65	0.0151423
SPOT 2	20436	22.1.1990	RS	FR	16,735	98,6675	89,3913	7203.29	0.0001289
SPOT 3	22823	26.9.1993	RS	FR	55,524	98,5602	21,8116	7208.01	0.0016296
SPOT 4	25260	24.3.1998	RS	FR	17,027	98,7025	94,7942	7203.36	0.0001576
SPOT 5	27421	4.5.2002	RS	FR	16,974	98,7779	11,0204	7203.47	0.0000733

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

SPOT 1-3

- potrebno je 26 dana da snimi cijelu Zemlju,
- moguće je snimiti jednu točku na zemlji sedam puta što smanjuje period na 4-5 dana,
- senzori - **High Resolution Visible (HRV)**
 - rade u dva moda u 10 m rezoluciji sa pankromatskim snimanjem u rasponu 0.51-0.73 μm ili u 20 m rezoluciji sa multispektralnim snimanjem u bandovima 0.50-0.59, 0.61-0.68, 0.79-0.89 μm
 - HRV koristi along-track skeniranje sa četiri polja, svako polje za jedan band

SPOT4

- Potrebno 26 dana da snimi cijelu Zemlju
- **Senzori – High Resolution Visible and Infrared (HRVIR)**
 - rezultira u dodavanju ekstra banda 1.58-1.57 μm
 - pankromatski band je zamijenjen sa 0.61-0.68 μm bandom koji ima ulogu prikupljanja crno-bijelih slika u 10 metarskoj rezoluciji i multispektralnih slika u 20 m rezoluciji

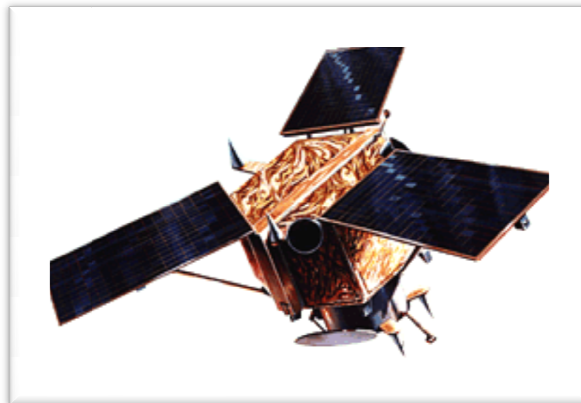
SPOT5

- koristi 5 metarsku rezoluciju sa along-track skeniranjem sa mogućnošću snimanja stereo – parova.

9.3. Ikonos

Ikonos je serija *remote sensing* satelita visoke rezolucije kojeg je razvila *Space Imaging* tvrtka koja distribuira podatke *Radarsat* i *European Space Agency (ESA)* radarskih satelita (v. sliku 9.3.).

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske



Slika 9.3. Ikonos satelit

Karakteristike satelita:

- lansiran je 24.11.1999. godine kao satelit sa mogućnošću produkcije snimaka rezolucije do 1 metar,
- noseća raketa je bila Athena II,
- širina snimanja je 11km (u nadiru).

Karakteristike orbite:

- Ikonos orbita je sinkronizirana sa Suncem,
- visina joj je 681 km,
- inklinacija 98,1 °,
- brzina 7 km/s,
- frekvencija ponovnog obilaska 2,9 dana,
- revolucija je 98min (14 puta u toku dana).

Tablica 9.3. Najvažniji parametri IKONOS 2 satelita

Naziv	Kataloški broj	Datum lansiranja	Tema	Zemlja	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e
Ikonos 2	25919	24.9.1999	RS	USA	17,257	98,1058	69,8426	7056.97	0.0000955

9.4. *National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA)*

The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) je znanstvena agencija unutar *United States Department of Commerce (USDC)* usmjeren na uvjete oceana i atmosfere (v. sliku 9.4.). NOAA upozorava na meteorološke promijene. Koristi se kao vodič u zaštiti oceana i primorskih resursa te provodi istraživanja na poboljšanju razumijevanja okoliša.



Slika 9.4. NOAA - satelit

Glavne karakteristike NOAA satelita:

- Koristi se serija satelita od kolovoza 1978.,
- sateliti nose *Tiros Operational Vertical Sounder (TOVS)* i *Advanced Very-High Resolution Radiometer (AVHRR)*,
- dizajnirani su za meteorološke aplikacije,
- ekološki je primjenjiv npr. upozoravanje na sušne periode, regionalni i globalni monitoring vegetacije, kartiranje površina pod snijegom i ledom, detekcija šumskih požara, zračno i vodeno zagađenje, itd.,
- veličina scene koju snima je 3000 x 6000 km.

Orbitalne karakteristike:

- orbita je kružna, polarna, sinkronizirana sa Suncem,
- visina satelita je približno 840 km, a inklinacija 98.70°,
- NOAA održava najmanje dva operaciona satelita u komplementarnim orbitama - jedan pokriva jutarnju, a drugi popodnevenu orbitu.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

Spektralne karakteristike AVHRR senzora:

- AVHRR je pasivni radiometar sa četiri ili pet kanala,
- nominalna rezolucija je oko 1km,
- kanal 5 na AVHRR 2 omogućava poboljšane atmosferske korekcije morskih i površinskih temperatura.

Zbog velikog broja NOAA-inih misija u tablici 9.4. se navodi samo 6 posljednjih.

Tablica 9.4. Popis 6 posljednjih NOAA satelita s važnijim parametrima

Naziv	Kataloški broj	Datum lansiranja	Tema	Zemlja	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e
NOAA 14	23455	30.12.1994	RS	USA	17,327	98,911	42,024	7224.67	0.0009877
NOAA 15	25338	13.5.1998	RS	USA	85,980	98,582	27,114	7187.46	0.0009625
NOAA 16	26536	21.9.2000	RS	USA	97,094	99,178	12,427	7284.19	0.0011242
NOAA 17	27453	24.6.2002	RS	USA	15,691	98,491	34,099	7228.91	0.0011217
NOAA 18	28654	20.5.2005	RS	USA	39,200	98,902	20,564	7233.24	0.0013838
NOAA 19	33591	6.2.2009	RS	USA	43,089	98,740	89,748	7234.27	0.00151

9.5. Quick Bird

Quick Bird satelitska misija je prva u konstelaciji *DigitalGlobe* tvrtke. Daje visoke točnosti, i veliku razlučivost. Rezolucija senzora je monokromatska i pankromatska. Nalazi se na nadmorskoj visini od 496 km, vrijeme ponovljivosti mu je 2 - 3 dana i sposoban je za snimanje do 750.000 km² na dan (v. sliku 9.5.). Satelit je opremljen sa *state-of-the-art*⁴ sensorima (URL22).

⁴ *State of the art* je najviši stupanj razvoja, uređaja, tehnike, ili znanstvenog polja, postignuto u određenom trenutku.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske



Slika 9.5. Quick Bird satelit

Elementi orbite:

- velika poluos: 6828 km,
- inklinacija: 98°,
- altituda: 450 km ,
- tip orbite: sinkronizirana sa Suncem,
- vrijeme ponovljivosti: 2 – 3 dana, ovisno o nesmetanosti,
- period revolucije: 93,4 minuta,
- rezolucija senzora: Pankromatski - 445 do 900 nm

Multispektralni - Plava - 450 - 520 nm, Zelena - 520 – 600
nm, Crvena - 630 - 690 nm,
blizu-IR 760 - 900 nm.

10. O korištenim računalnim programima

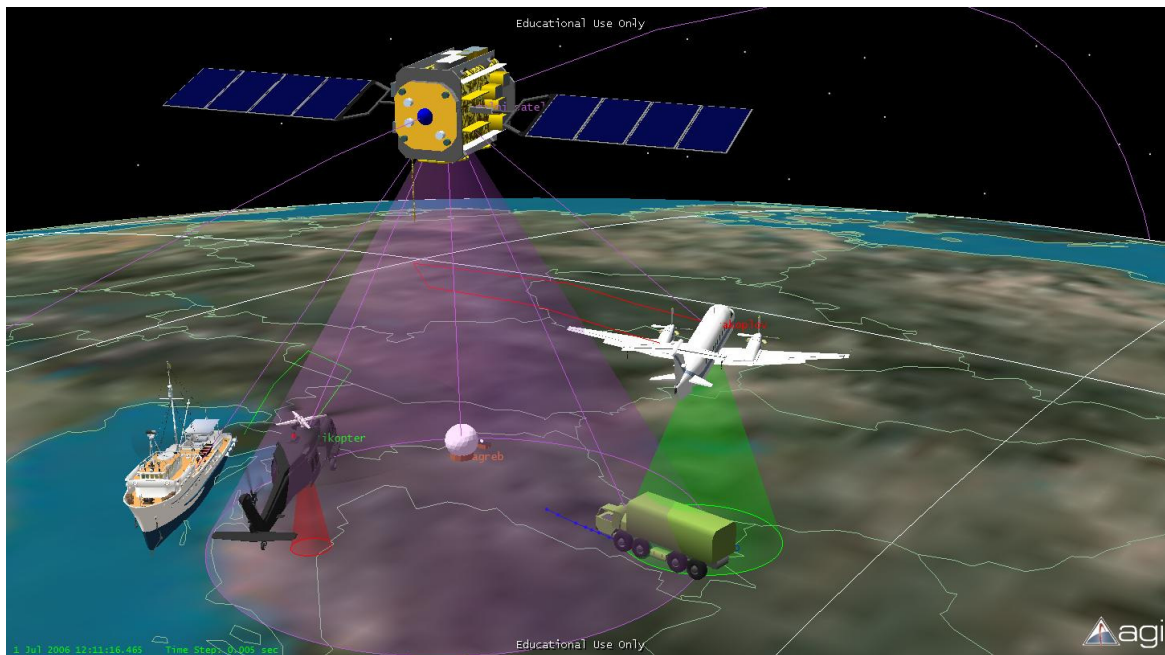
Postoji više računalnih programa za praćenja satelita i modificiranja orbita. U ovom radu korišteni su *Satellite Tool Kit* (STK) i *Orbitron*.

10.1. *Satellite Tool Kit* (STK)

Satellite Tool Kit (STK) je program tvrtke *Analytical Graphics, Inc.* (AGI). To je program za analizu Zemlje, mora, zraka i svemira. Olakšava analizu i uvodi optimalna rješenja za rješavanje problema nacionalne sigurnosti i svemirskog

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

scenarija sa mogućnošću prezentacije rezultata u tekstualnom i grafičkom obliku. Ovaj softver koristi više od 30.000 profesionalaca širom svijeta za podršku u svim fazama životnog ciklusa satelitskih sustava (URL28). Program *Satellite Tool Kit* (STK) ima vrhunske mogućnosti modeliranja leta raznih letjelica, dijagrama pokrića senzora i telekomunikacijske opreme, a sve to uz precizan i dojmljiv 2D/3D prikaz (v. sliku 10.1.). STK se može koristiti za vrlo precizna GPS mjerenja kad nam je važno točno poznavati satelitsku konstelaciju. Može se koristiti i za daljinska istraživanja (različita snimanja iz satelita), od faza izbora odgovarajućeg satelita na temelju parametara orbite i mogućnosti njegovih senzora, do računanja prostornog zahvata senzora i vremena ponovnog nadlijetanja (URL18).

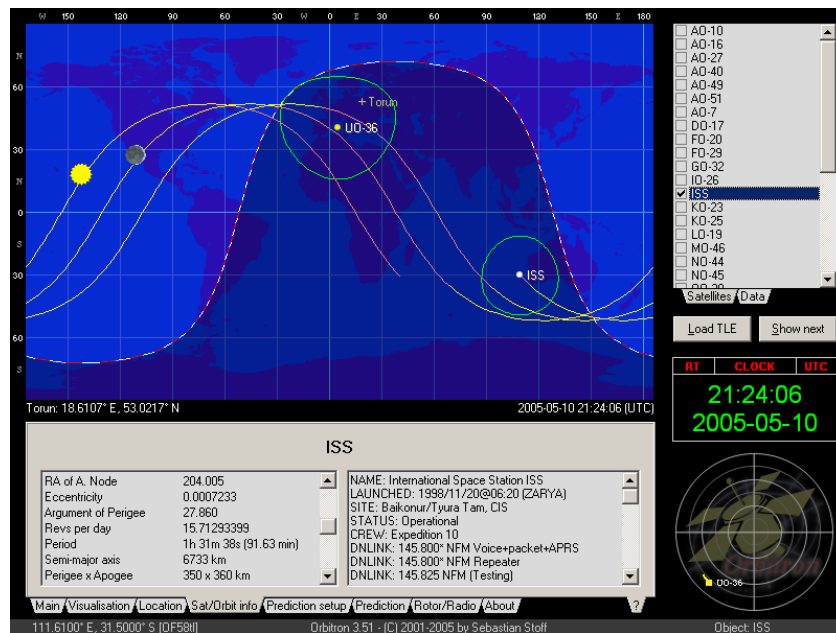


Slika 10.1. Mogućnosti STK programa

10.2. Orbitron

Orbitron je program za praćenje satelita. On se sastoji od datoteke sa više od 2000 satelita koje je moguće pratiti u realnom vremenu i prostoru. Ima mogućnost učitavanja TLE datoteke nakon čega automatski ispisuje sve parametre putanje (URL29). Orbitron koristi TLE format koji je pogodan za radio amatere, astronome, za evidenciju satelita, itd (v. sliku 10.2.).

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske



Slika 10.2. Orbitron

11. Analiza pokrivenosti oblacima teritorija Republike Hrvatske

Za satelitska snimanja u vidljivom spektru potrebna je vidljivost od satelita do površine Zemlje, a da pri tome oblaci ne ometaju vidljivost.

Naoblaka nastaje u zraku zasićenom vodenom parom koja se može očekivati pri relativnoj vlažnosti od 70% i većoj. Pritom, na manjoj visini (niska naoblaka) potrebna je veća relativna vlažnost (80% i veća) za stvaranje oblaka, a za pojavu prvih visokih oblaka obično je dovoljna relativna vlažnost iznad 60% (URL26).

Naoblaka kao količina oblaka koja pokriva nebo, se procjenjuje u osminama ili desetinama neba (klimatologija). Potpuno vedro nebo ima vrijednost naoblake 0, a potpuno prekriveno 8/8 odnosno 10/10. Pri određivanju razdiobe naoblake postoje vedri dani kad je naoblaka $<2/8$ ($\leq 2,5/10$), odnosno oblačni dani s naoblakom $>6/8$ ($\geq 7,5/10$) (v. tablicu 11.1.). Općenito, stanje neba se može prikazati određenom količinom naoblake (URL15).

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

Tablica 11.1. Naoblaka

Stanje neba, izraženo u osminama	
0	vedro (clear)
1, 2	pretežno vedro (mainly clear)
3, 4, 5	umjereno oblačno (partly cloudy)
6, 7	pretežno oblačno (cloudy)
8	potpuno oblačno (overcast)
9	u oblaku (in cloud), nebo se ne vidi

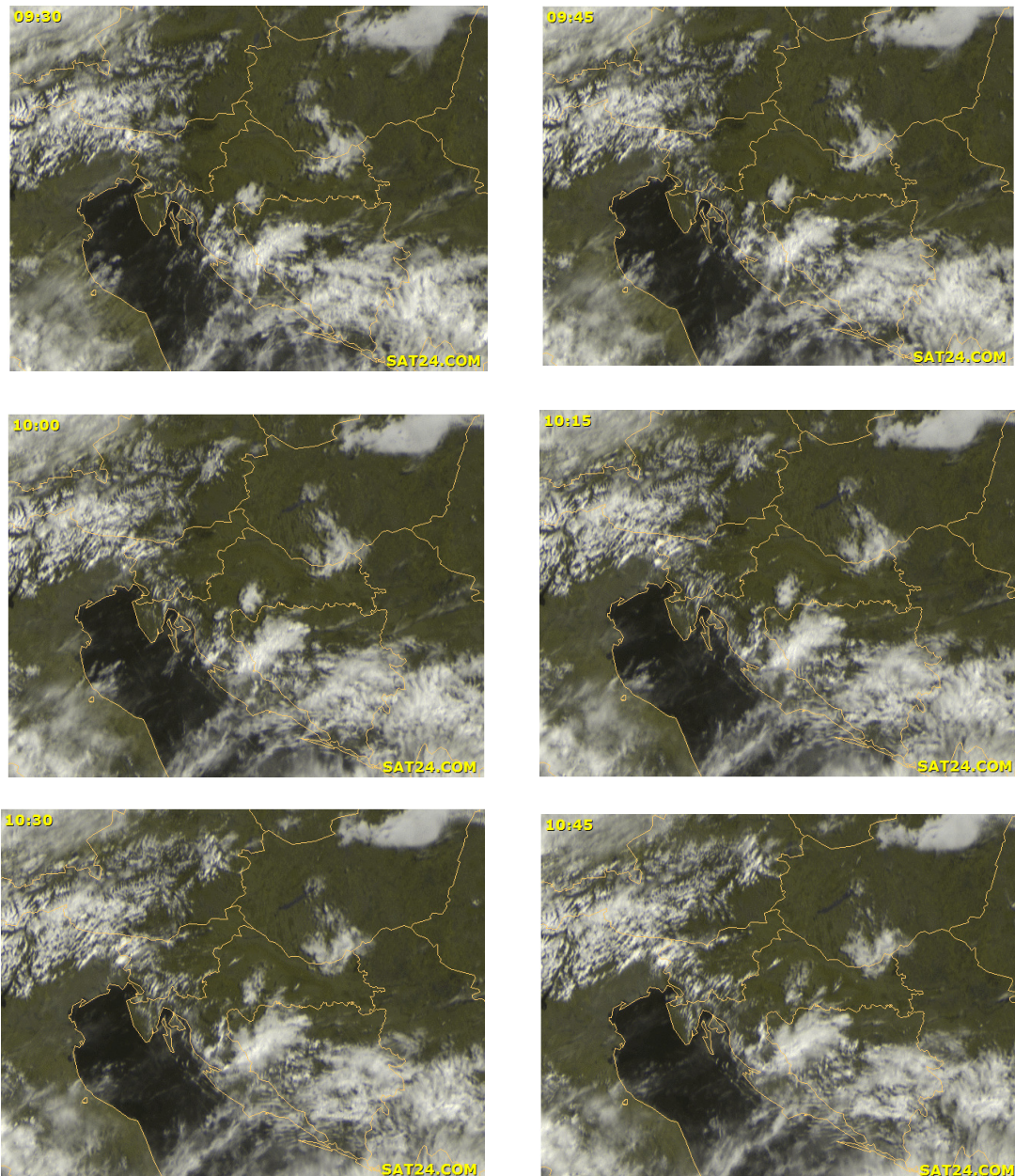
Može se samo procijeniti da li je bilo vedro ili oblačno u trenutku procjene naoblake tj. u trenutku kad se obavljaju i druga mjerenja. Procjenjuje se da je bilo vedro, ako je manje od 25% neba pokriveno oblacima, odnosno da je oblačno, ako je 90% ili više neba pokriveno oblacima. Naoblaka najviše utječe na osunčavanje. Ukoliko se promatra godišnja naoblaka na teritoriju Republike Hrvatske, najvedriji mjeseci su srpanj i kolovoz a najmanje vedrine je zabilježeno u prosincu (URL15). Najveći trend smanjenja naoblake je sa lipnja na srpanj a najveći trend porasta sa kolovoza na rujnan. Naoblaka se na teritoriju Republike Hrvatske smanjuje prema jugu, a najmanja je na otvorenom moru. Analiza naoblake moguća je kroz usporedbu broja vedrih odnosno oblačnih dana. Vedri dani su oni dani kod kojih srednja dnevna naoblaka ne prelazi 2/10, a oblačnim danima se smatraju oni kod kojih je naoblaka veća od 8/10 (URL6, URL9).

Budući da satelitske snimke područja prekrivenih oblacima nemaju svrhe oblačnost je važna za ovaj rad. Satelit nije moguće navoditi na područje bez oblačnosti, odnosno moguće je samo djelomično utjecati na njegovu putanju, da je teritorij prekriven oblacima (kod npr. požara) može se uvesti aerosnimanje, jer je vrlo fleksibilno što se tiče vremena i smjera snimanja. Budući da se satelit na snimljeno područje vraća tek kroz petnaestak dana, može se dogoditi da su hitno potrebne snimke određenog dijela terena te se u tu svrhu može koristiti aerosnimanje. Budući da se satelitu mogu odrediti početni parametri (visina, inklinacija, vrijeme prelaska određenog dijela teritorija), podaci o oblačnosti (samim time i o osunčanju) važni su zbog pretpostavke u koje vrijeme satelit treba preletjeti teritorij koji je od interesa. Nije svejedno da li će satelit preletjeti teritorij od interesa u 10, u 12 ili u 17 sati. Da bi se zadovoljio kriterij

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

sa najmanjom dnevnom naoblakom na teritoriju Republike Hrvatske, a isto tako i kriterij da su sjene najmanje za vrijeme prelijetanja satelita iznad teritorija Republike Hrvatske u 13 h ($\pm 0,5$ h) lokalnog vremena.

Satelitske snimke snimljene svakih 15 min uz pomoć EUMETSAT-a geostacionarnog satelita, od 09.30 - 10.45 h dana 15.4.2009. priložene su na slici 11.1.(URL27).



Slika 11.1. Oblačnost iznad RH u vremenskoj rezoluciji od 15 minuta

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

12. Položaj Republike Hrvatske

Republika Hrvatska se nalazi na sjevernoj polutki na širini od cca. 45° sa središnjim meridijanom od cca. $16,5^\circ$ od Greenwich - a (v. sliku 12.1.). Kako je Hrvatska neobičnog oblika i vrlo izdužena da bi putanje satelita prolazile iznad teritorija Republike Hrvatske, ne odgovaraju nam orbite sa inklinacijom $>130^\circ$ zato što one snimaju teritorij bliži ekvatoru, a teritorij Republike Hrvatske ne zahvaćaju.

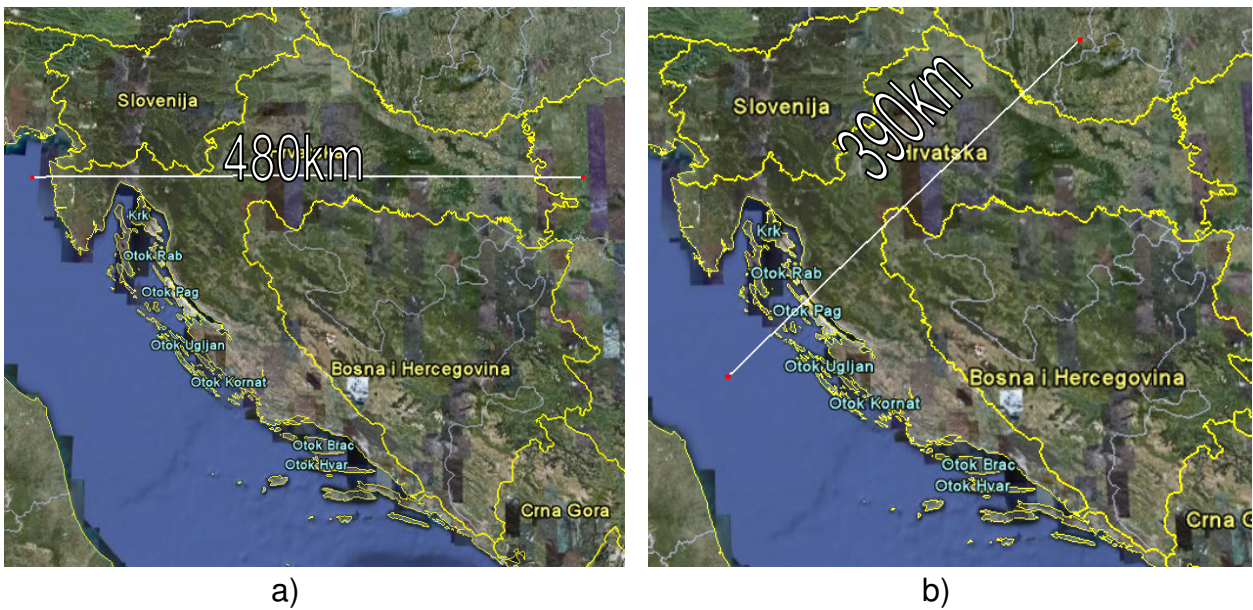


Slika 12.1. Geografski položaj Republike Hrvatske

Radi smještaja Republike Hrvatske na sjevernoj hemisferi Zemaljske kugle najbolje odgovara visoka orbita od oko 3500km i smanjene inklinacije.

Na slici 12.2. vidi se oblik teritorija Republike Hrvatske, iz kojeg jasno vidimo zašto nam bolje odgovara inklinacija $>90^\circ$ koja ujedno znači putanju bližu ekvatoru.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske



Slika 12.2. Oblik Republike Hrvatske (a) dužina Hrvatske, b) promjer Hrvatske)

13. Analiza perioda orbita satelita s obzirom na teritorij Republike Hrvatske

Najveći broj revolucija satelita u putanji sinkroniziranoj sa Suncem oko Zemlje za jedan dan je šesnaest. Razlog tomu je nemogućnost korištenja niže putanje satelita. Najmanji broj obilazaka satelita u putanji sinkroniziranoj sa Suncem je osam, za teritorij Republike Hrvatske, budući da sateliti u orbiti sinkroniziranoj sa Suncem, čiji je obilazak dulji od 3 sata, ne prelijeću teritorij Republike Hrvatske, zbog prevelikog kuta inklinacije, te kao takvi ne odgovaraju. Da bi se satelit istog dana vratio u početnu orbitu, on mora napraviti puni broj obilazaka, što znači 16, 15,....10, 9 ili 8. Iz tog razloga je broj orbita koji je moguće postaviti iznad teritorija Republike Hrvatske devet. Tih devet orbita dobili smo pomoću formule za period rotacije (4.15).

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

Tablica 13.1. Sateliti s različitim periodima

Trajanje obilaska (zvjezdani sati)	Broj obilazaka u jednom danu	Visina (Altituda) [km]	Moment prolaska satelita kroz perigej (T_0) (hh:mm:ss)
1,5	16	268.15	12:15:00
1,6	15	561.00	13:52:00
1,714	14	888.30	13:56:00
1,846	13	1257.15	14:05:00
2	12	1676.50	14:16:00
2,182	11	2158.50	14:30:00
2,4	10	2719.80	14:52:00
2,667	9	3383.50	15:26:00
3	8	4183.50	16:40:00

Tablica 13.2. Keplerovi parametri za sve periode

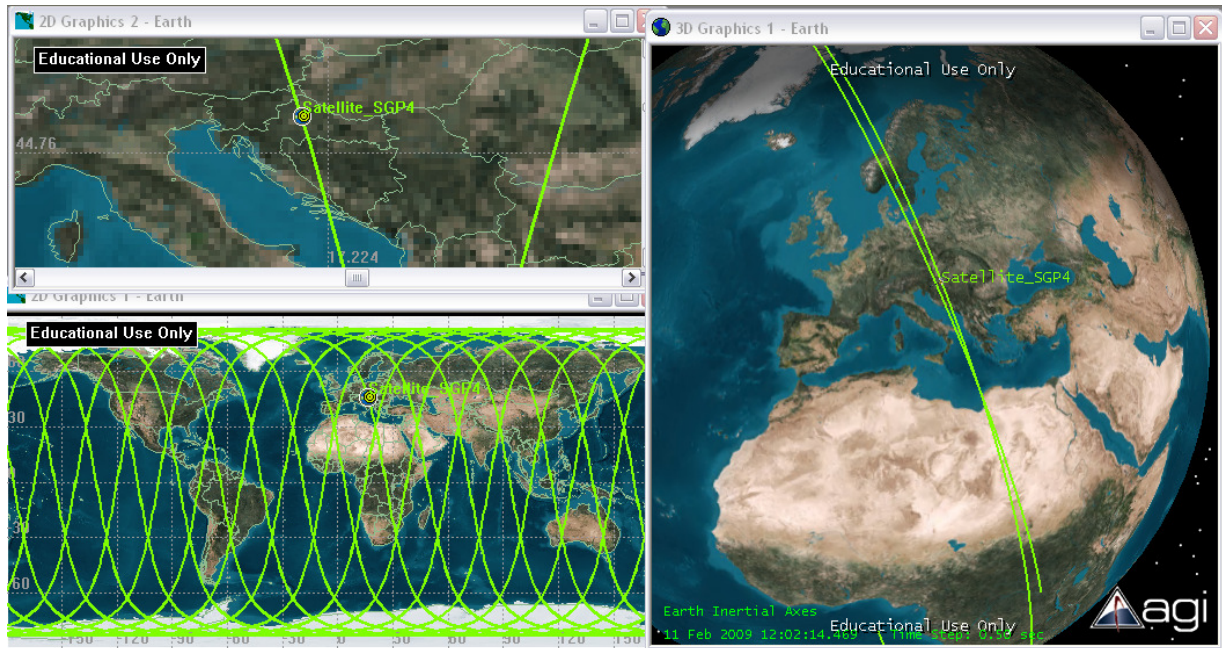
Period [h]	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e	T_0 (hh:mm:ss)
1,5	344.225	97.648	335.564	6649.45	0.0010493	11:45:02
1,6	345.965	97.646	334.308	6942.15	0.0010340	11:42:45
1,714	346.716	98.992	335.751	7269.25	0.0009944	11:40:12
1,846	348.468	100.708	335.453	7637.87	0.0009492	11:32:39
2,0	350.720	102.942	330.363	8056.96	0.0008978	11:34:07
2,182	353.973	105.926	325.401	8538.63	0.0008394	11:30:18
2,4	359.476	110.048	319.453	9099.60	0.0007714	11:25:47
2,667	6.479	116.007	322.335	9762.59	0.0006885	11:20:06
3	21.984	125.275	327.737	10561.60	0.0005776	11:12:51

13.1. Period obilaska (revolucije) od 1,5 sata

Najkraći period obilaska satelita oko Zemlje je 1,5 sat. Taj satelit se kreće na visini od oko 270 km što je za orbitu satelita poprilično nisko. Dizanjem satelita na tu visinu skraćuje mu se vrijeme korištenja, odnosno rok trajanja, jer je pojačan utjecaj otpora zračnih masa koje se nalaze na tim visinama (ionosfera). Također, sateliti na tim visinama puno su više izloženi utjecajima promjena sile teže jer su bliže Zemlji, a područja koja nadlijeću nemaju konstantno polje ubrzanja sile teže. Ovdje je satelit u periodu obilaska od 1,5 sata prikazan samo kao primjer, koji je moguć teoretski, ali se u praksi rijetko primjenjuje.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

Za analizu karakteristika orbite s periodom od 1,5 sata korišten je satelit CRO1_5. Na 2D prikazu se vidi da je ta orbita nepogodna za snimanje teritorija Republike Hrvatske (v. sliku 13.1.). Satelit je iznad Republike Hrvatske u svaki dan u 13h (v. tablice 13.3. i 13.4.) .



Slika 13.1. Putanja satelita iznad Hrvatske u 13h za period od 1.5 sata

Tablica 13.3. TLE elementi putanje satelita CRO1_5

CRO1_5

```
-----
1 99999U 90103A 09041.50000000 .00000066 00000-0 12114-6 0 00004
2 99999 096.5738 344.4624 0010667 337.1620 059.8986 16.01121600000018
```

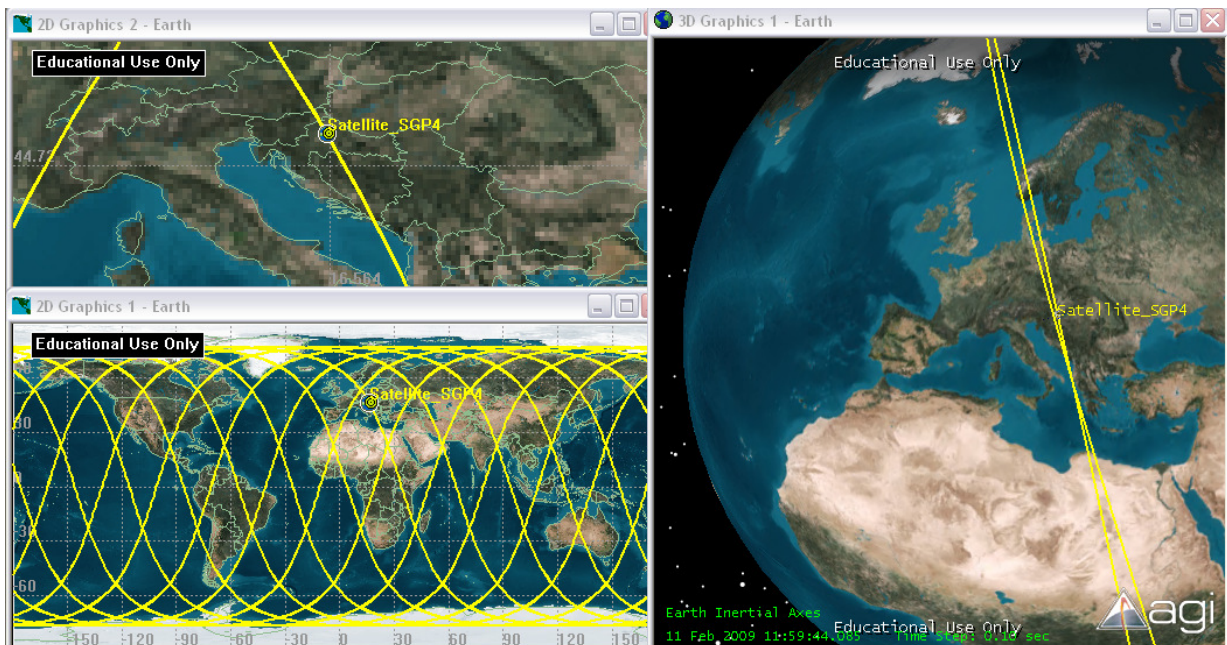
Tablica 13.4. Keplerovi parametri za putanju satelita CRO1_5

Period	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e	T_0
1,5	344.225	97.648	335.564	6649.45	0.0010493	11:45:02

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

13.2. Period obilaska od 2,0 sata

Putanja s periodom revolucije od 2,0 h je povoljnija od putanje s periodom od 1,5 h ali opet ne dovoljno dobra za snimanje Hrvatske (v. sliku 13.2.). Inklinacija je nešto veća kao i visina satelita. Satelit je iznad Hrvatske u 13h po lokalnom vremenu, a njegovi parametri navedeni su u tablicama 13.5 i 13.6.



Slika 13.2. Putanja satelita iznad Hrvatske u 13h za period od 2,0 sata

Tablica 13.5. TLE elementi putanje satelita CRO2_0

CRO2_0

```
-----
1 99999U 90103A 09041.50000000 -.00000002 00000-0 -30728-4 0 00005
2 99999 102.9418 350.7201 0008978 330.3630 077.6929 12.00454924000012
```

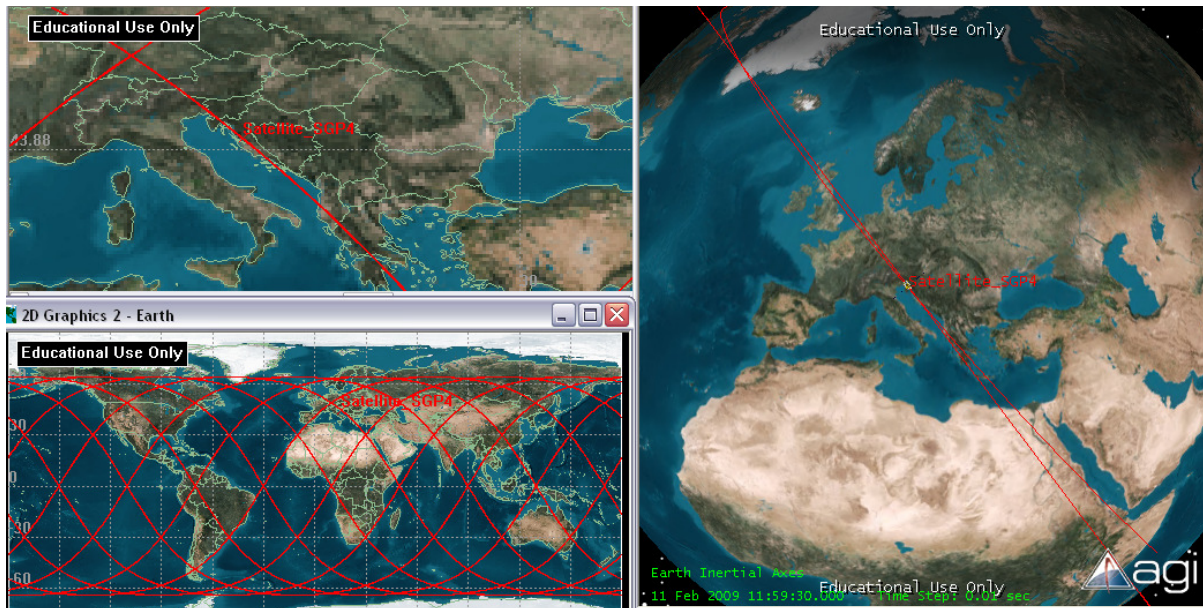
Tablica 13.6. Keplerovi parametri za putanju satelita CRO2_0

Period	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e	T_0
2.0	350.720	102.942	330.363	8056.96	0.0008978	11:34:07

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

13.3. Period obilaska (revolucije) od 2,7 sata

Putanja s periodom od 2,7 sata je najoptimalnija za teritorij Republike Hrvatske (v. sliku 13.3.). Takva putanja bolje odgovara geografskom položaju Republike Hrvatske nego putanja s manjim periodom rotacije koja je niža i sa manjom inklinacijom. Parametri putanje s periodom od 2,7 h dani su u tablicama 13.7. i 13.8.



Slika 13.3. Orbita satelita iznad Hrvatske u 13h za period od 2,7 sata

Tablica 13.7. TLE elementi putanje satelita CRO2_7

CRO2_7

```
-----
1 99999U 90103A 09041.50000000 -.00000002 00000-0 -55692-3 0 00001
2 99999 116.0070 004.4793 0006885 322.3350 089.7267 09.00026761000015
```

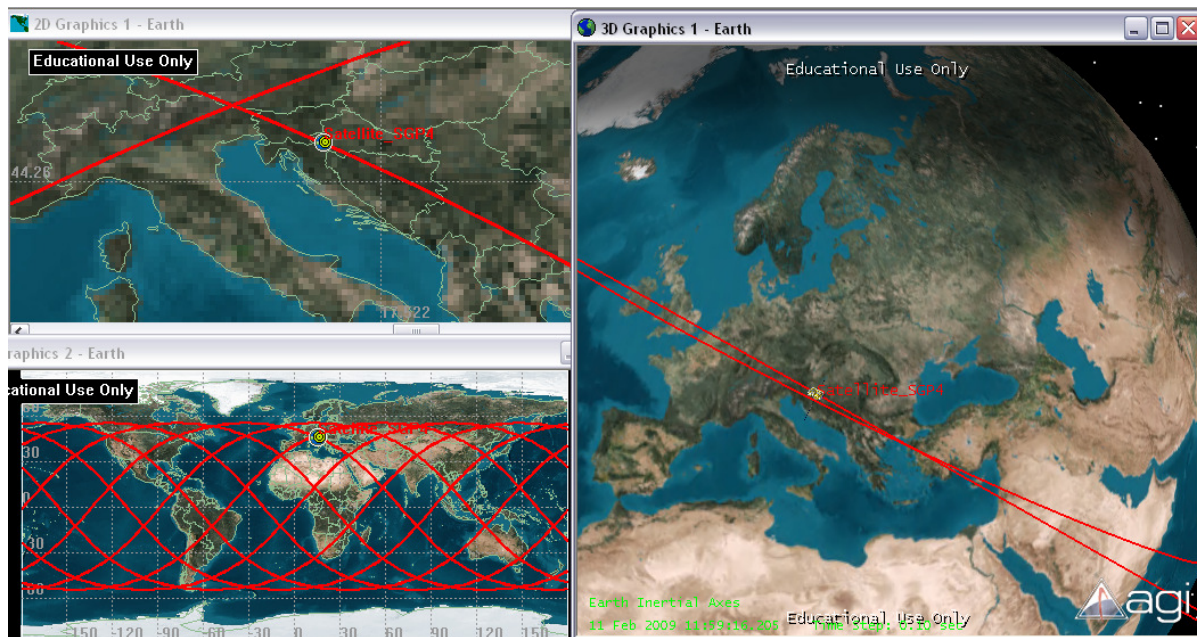
Tablica 13.8. Keplerovi parametri za putanju satelita CRO2_7

Period	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e	T_0 (hh:mm:ss)
2,667	21,479	116,007	322,335	9762.59	0.0006885	11:20:06

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

13.4. Period obilaska (revolucije) od 3,0 sata

Povećanjem visine satelita i povećanjem inklinacije došli smo do orbite satelita CRO3_0 s periodom putanje od 3,0 sata. Ova putanja zahvaća teritorij Republike Hrvatske duž cijele širine (v. sliku 13.4.). Inklinacija od 125° je na granicama mogućnosti za određenu putanju satelita za teritorij Republike Hrvatske. Veće inklinacije su bliže ekvatoru i ne pokrivaju teritorij Republike Hrvatske. Putanja s periodom od 3,0 h se pojavljuje iznad Hrvatske svaki dan u 13h po lokalnom vremenu (v. tablice 13.9. i 13.10.). Iako je povoljna za teritorij Republike Hrvatske nije i najoptimalnija.



Slika 13.4. Orbita satelita iznad Hrvatske u 13h za period od 3,0 sata

Tablica 13.9. TLE elementi putanje satelita CRO3_0

CRO3_0

```
-----  
1 99999U 90103A 09041.50000000 -.00000001 00000-0 -80964-3 0 00000  
2 99999 125.2755 021.9841 0005776 327.7370 094.3255 07.99846258000010
```

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

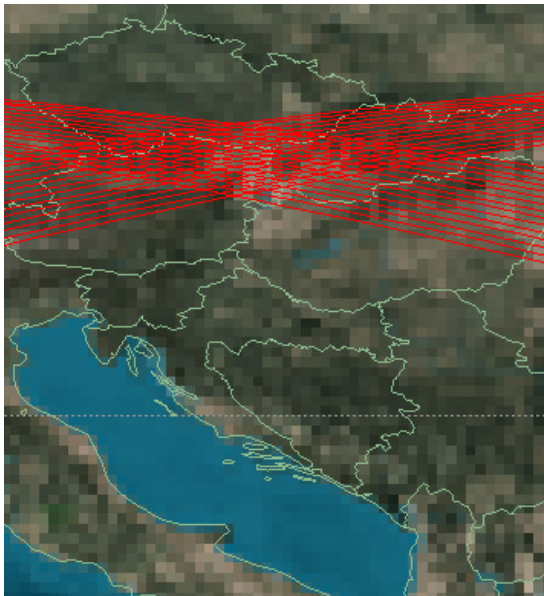
Tablica 13.10. Keplerovi parametri za putanju satelita CRO3_0

Period	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e	T_0
3.0	21.984	125.275	327.737	10561.60	0.0005776	11:12:51

Nakon provjere i pregleda parametara putanje zaključili smo da putanja perioda 3,0 sata je na granici putanje koja obilazi i Republiku Hrvatsku. Svaka putanja sa inklinacijom većom od oko 125° neće prekrivati Hrvatsku. Zato u daljnjoj obradi putanja satelita koristimo putanju satelita s periodom od 2,7 sata.

13.5. Modeliranje orbite s obzirom na promjenu inklinacije

Nakon što je utvrđeno da zbog geografskog položaja, oblika potkove i pružanja teritorija Republike Hrvatske najbolje odgovara orbita satelita u periodu od 2,7 h, toj je orbiti optimirana inklinacija. Povećanjem inklinacije se dobiva putanja koja uopće ne prelazi teritorij Hrvatske, niti po smjeru odgovara pružanju Hrvatske. Orbite koje imaju inklinaciju manju od 90° u svom prvotnom smjeru jug – sjever prelaze teritorij Republike Hrvatske preko noći, a to ne odgovara za snimanja u vidljivom spektru (v. slike 13.5., 13.6., 13.7.).

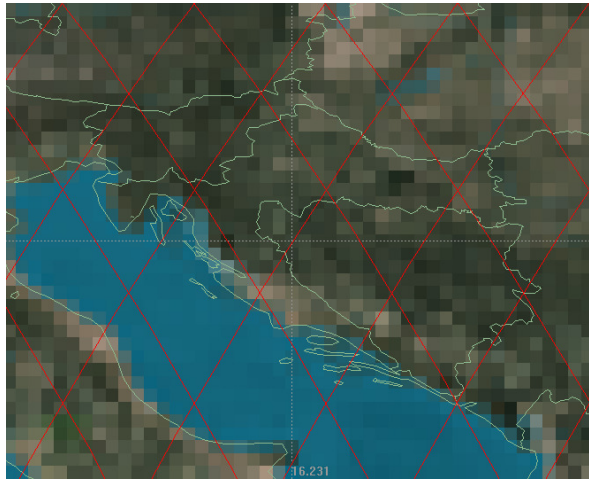


Slika 13.5. Inklinacija 130°



Slika 13.6. Inklinacija 110°

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske



Slika 13.7. Inklinacija 70°

14. Modeliranje optimalne orbite *remote sensing* satelita za teritorij Republike Hrvatske

Kako je vidljivo iz poglavlja 13.5., inklinacija veća od 90° je neophodna, ukoliko želimo da satelit po danu prelijeće teritorij Republike Hrvatske u zadanom smjeru (jug – sjever). Razlog tomu je "putovanje Sunca" po nebeskoj sferi od smjera istoka prema zapadu tokom dana, a budući da je satelit u orbiti sinkroniziranoj sa Suncem, ravnina orbite se također mora pomicati u istom smjeru. Za orbite sinkronizirane sa Suncem inklinacija treba biti oko 116° za teritorij Republike Hrvatske.

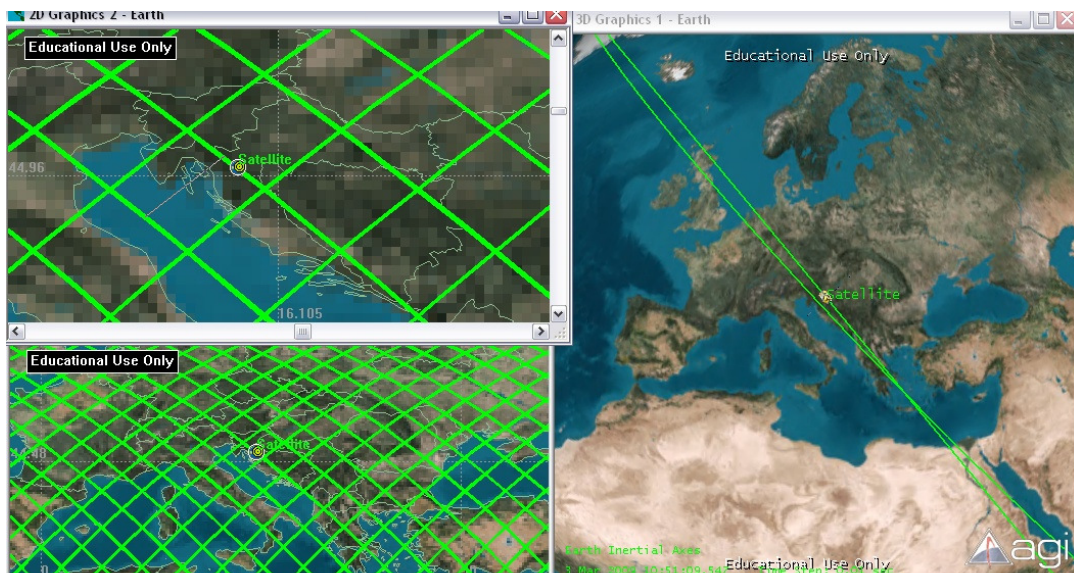
U takvoj orbiti, visina i inklinacija satelita su dva Keplerova parametra koja ovise jedan o drugom. Povećanjem visine satelita, raste vrijeme potrebno da satelit jednom obiđe Zemlju. Kako je period obilaska povećan, za taj isti period i Sunce se giba od istoka prema zapadu. Budući da Sunce na nebeskoj sferi „proputuje“ više (napravi veći kut), tako i ravnina orbite satelita (koja je sinkronizirana sa Suncem) također mora napraviti veći kut. Da bi se to dogodilo, orbiti mora biti povećana inklinacija kako bi njena ravnina "uspjela" napraviti taj isti kut, za vrijeme obilaska. Problem ovoga poglavlja se svodi na to kako optimirati satelit za teritorij Republike Hrvatske. Odnosno, pod kojim kutom inklinacije postaviti satelit da bi prekrrio Hrvatsku u što manjem broju tragova (eng. track). Povoljne inklinacije, koje uopće dolaze u obzir za geografsku širinu od 45° (na kojoj se Hrvatska nalazi) jesu sve inklinacije od 96,5° do

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

130°. Metodom ponovljenih pokušaja i s obzirom na geografsko pružanje teritorija Republike Hrvatske, utvrđeno je da je najbolja orbita ona s inklinacijom od 116° i periodom obilaska od 2,7 sati. Satelit Hrvatsku prelazi u smjeru jugoistok - sjeverozapad i na taj način ju prekriva najužim mogućim tragom. Za kreiranje orbite satelita koja će pokrivati cijelu Hrvatsku uzeta je za bazu širina snimanja Landsat satelita.

14.1. Putanja s periodom od 15 dana prekrivanja cijele Zemlje

Promjenom ulaznih parametara putanje perioda od 2,7 sata, rezultiralo je satelitom koji u 3 traga prelazi preko teritorija Republike Hrvatske. Period ponovnog vraćanja na istu putanju je 15 dana (v. sliku 14.1.). Ova orbita sa modificiranim parametrima u odnosu na prethodnu orbitu u tablici 14.2. ima period obilaska nešto kraći, ali se tim postupkom narušava "stabilnost orbite". Međutim, takva putanja je kreirana ciljano, jer se satelit nakon jednog dana ne vraća na istu poziciju, kao što je slučaj sa satelitima u tablici 13.2. Satelit se u ovoj putanji tek nakon 15 dana vraća u istu poziciju, a njeni parametri se nalaze u tablicama 14.1. i 14.2. Time je dobivena gušća mreža orbita iznad Hrvatske, ali je narušena vremenska rezolucija.



Slika 14.1. Putanja satelita s periodom prekrivanja cijele Zemlje od 15 dana

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

Tablica 14.1. TLE elementi putanje satelita CRORH_15

CRORH_15

```
-----
1 99999U 90103A 09032.50000000 -.00000001 00000-0 -37355-3 0 00006
2 99999 115.0826 353.6000 0007001 270.2306 089.8269 09.13361346000014
```

Tablica 14. 2. Keplerovi parametri za putanju satelita CRORH_15

Period	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e	T_0 (hh:mm:ss)
2,628	35.500	115.091	274.849	9667.34	0.0006999	11:01:05

Tablica 14. 3. Prolasci satelita CRORH_15 iznad Hrvatske

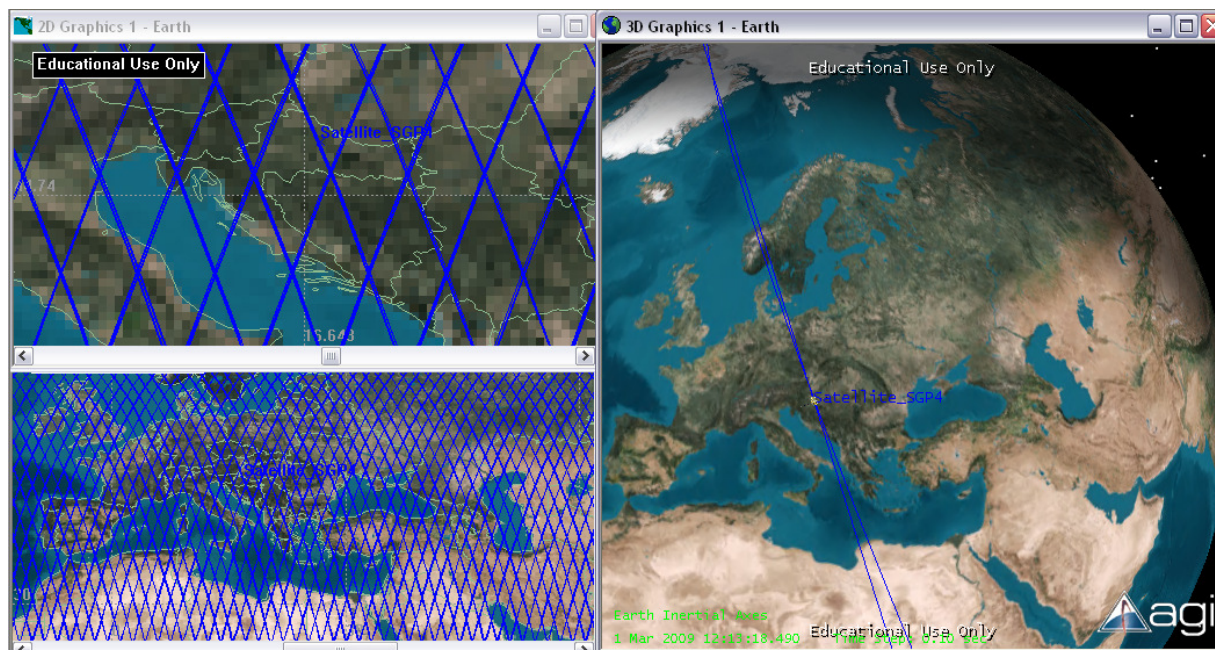
Datum	Sat (hh:mm)	Područje prelijetanja
6.2.2009.	13:00	Slavonija i sjeverna Hrvatska
13.2.2009.	13:10	Središnja Hrvatska, dio uz zapadnu granicu sa BiH
14.2.2009.	12:50	Primorje, Istra i Jadran
21.2.2009.	13:00	Slavonija i sjeverna Hrvatska

U tablici 14.3. su dani podaci o preletu satelita s periodom obilaska od 15 dana iznad teritorija Republike Hrvatske.

14.2. Putanja s periodom od 16 dana prekrivanja cijele Zemlje

Kod putanje s periodom obilaska od 16 dana prekrivanja cijele Zemlje, period obilaska je malo produžen i time je, kao i kod putanje s periodom od 15 dana, dobiven satelit koji se ne vraća u istu poziciju nakon jednog dana nego tek nakon 16 dana. Usporedbe radi, namjerno je izabrana orbita sa manjom inklinacijom, kako bi se pokazalo da geografski položaj Hrvatske puno bolje pokrivaju putanje sa većom inklinacijom (v. sliku 14.2.). Orbita, čiji su parametri navedeni u tablici 14.5. predstavlja modificirani oblik orbite s periodom od 1,7h.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske



Slika 14.2. Putanja satelita s periodom prekrivanja cijele Zemlje od 16 dana

Tablica 14.4. TLE elementi putanje satelita CRORH_16

CRORH_16

```
-----
1 99999U 90103A   09060.50000000  -0.00052535  00000-0 -37799-1 0 00006
2 99999 099.0454 008.4920 0009277 336.7077 255.3961 13.99990347000015
```

Tablica 14.5. Keplerovi parametri za putanju satelita CRORH_16

Period	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e	T_0 (h:m:s)
1,722	37.700	99.0895	270.00	7288.21	0.0007207	11:34:11

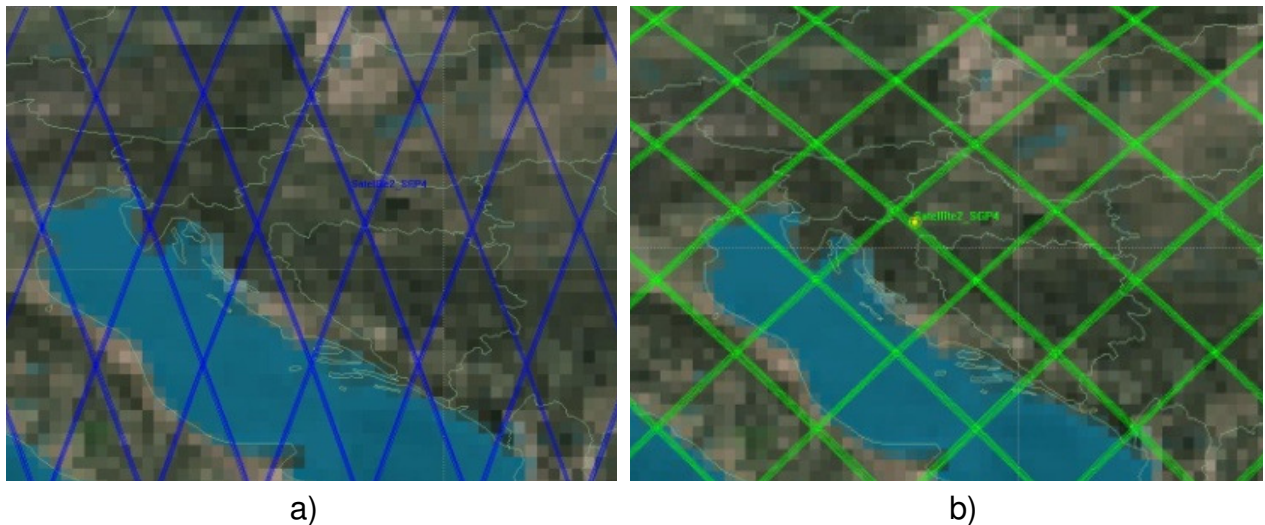
Tablica 14.6. Prolasci satelita CRORH_16 iznad Hrvatske

Datum	Sat (hh:mm)	Područje prelijetanja
1.3.2009.	12:13	Krajnji jug Jadrana, Dalmacije te središnja i sjeverna Hrvatska
2.3.2009.	12:19	Južni i srednji Jadran, sjeverna Dalmacija, Lika i Gorski kotar
3.3.2009.	12:25	Sjeverni Jadran, Istra i Kvarner
16.3.2009.	12:06	Istočna Slavonija
17.3.2009.	12:13	Krajnji jug Jadrana, Dalmacije te središnja i sjeverna Hrvatska

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

U tablici 14.6. dani su podaci satelita s periodom od 16 dana (vrijeme potrebno da satelit obiđe cijeli svijet) gdje se nalazi iznad teritorija Republike Hrvatske i u koje vrijeme.

Orbite satelita s većim visinama i većim inklinacijama bolje odgovaraju našim zahtjevima optimalne putanje radi položaja Hrvatske (v. sliku 14.3.). Imaju bolji pregled teritorija Republike Hrvatske, i nadasve brži prelet teritorija Hrvatske.



Slika 14.3. Usporedba putanja s obzirom na visinu (a – viša, b – niža orbita)

Cjelokupno razmatranje u ova dva poglavlja za rezultat je dalo veći broj orbita sa različitim parametrima. Svaka od navedenih orbita ima svoje prednosti i nedostatke. Orbita sa periodom obilaska od 2,7 sati i vremenskom rezolucijom od 1 dana najbolje odgovara području Hrvatske. Razlog tomu je njena inklinacija koja savršeno odgovara geografskom položaju i pružanju Hrvatske. Orbite satelita sa većim periodom vraćanja na početnu točku od 15 odnosno 16 dana odlične su za snimanje teritorija. Međutim, zbog izrazito smanjene vremenske rezolucije, u nastavku rada nisu više razmatrane kao opcija.

15. Meteorološki servis optimiran za teritorij Republike Hrvatske – CROMET

U svijetu postoji više meteoroloških satelitskih podržanih sustava. Oni su optimirani za globalno ili regionalno područje. Niti jedan nije optimiran za lokalno područje Republike Hrvatske.

15.1. Primjeri i iskustva meteo servisa u svijetu

European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), jedinstveno je opremljen kako bi se doprinijelo globalnom nastojanju da riješi globalni klimatski izazov. Njegova flota satelita već pruža obilje podataka o okolišu, klimi i proizvodima koje generira EUMETSAT servis. Već postoji jedinstvena arhiva satelitskih podataka koji datiraju od 1981. godine kada je lansiran drugi Meteosat satelit (v. tablicu 15.1.) (URL15).

Meteosat je satelit Europske svemirske agencije (*European Space Agency - ESA*) i dio je projekta geostacionarnih satelita svjetske meteorološke organizacije (*World Weather Watch - WWW*). Taj projekt uključuje sustav od 5 satelita koji se nalaze na visini oko 36000km iznad Zemlje, a osim Meteosat-a tu su još: američki *Geostationary Operational Environmental Satellites* (GOES), japanski *Himawari* (GMS) i indijski INSAT. Raspoređeni su tako da pokrivaju čitavu Zemlju. Meteosat se nalazi iznad nultoga meridijana i nulte paralele. Snima u 3 kanala (0,4-1, 1 μm ; 5,7-7,1 μm ; 10,5-12,5 μm), svakih 15 minuta. Rezolucija u nadiru za vidljivi dio spektra iznosi 2,4 km, a za infracrveni 5 km (Gelo 2000).

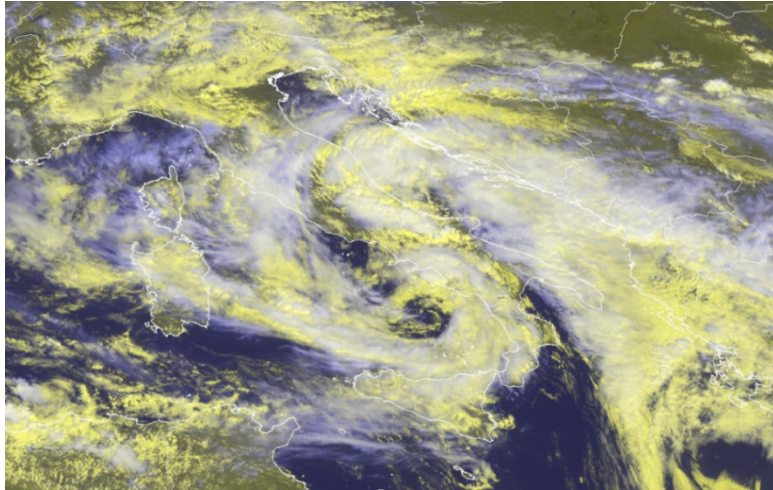
Tablica 15.1. Primjeri meteo satelita

Satelit	Period uzorkovanja	Namjena	Parametri
NOAA sateliti	1970. -	vrijeme meteorologije površinska temperatura	vidljivo zračenje infracrveno zračenje Argos sustav praćenja
METEOSAT sateliti	1977. -	vrijeme meteorologije	vidljivo zračenje infracrveno zračenje

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

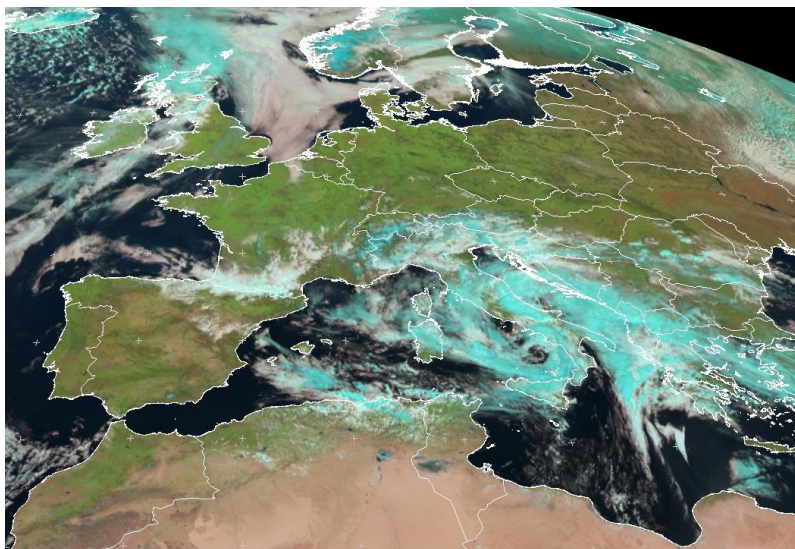
Prikaz naoblake pomoću Eumetsat - ovih meteoroloških servisa:

- a) *E-View* pregled je složeni RGB prikaz namijenjen praćenju oblaka iznad Europe (v. sliku 15.1.). Dobiva se kombiniranjem HRV kanala (visoko rezolucijski u vidljivom spektru) i infracrvenog kanala IR10.8.



Slika 15.1. Eumetsat *E-View*

- b) Prikaz u prirodnim bojama koristi 3 kanala - vidljive spektre VIS0.6 i VIS0.8 i blisko infracrveno područje IR1.6 (v. sliku 15.2.). Vegetacija je na ovim prikazima zelena zbog velike refleksije na zelenom VIS 0.8 kanalu. Kišni oblaci su prikazani bijelom bojom, a snježni i ledeni oblaci cijan bojom zato što apsorbiraju IR područje. Zemlja bez vegetacije je smeđa, a more crno.



Slika 15. 2. Prikaz u prirodnim bojama

15.2. Cilj i svrha CROMET servisa

CROMET servis treba osigurati kontinuiranu procjenu meteo parametara na lokalnim područjima Republike Hrvatske. Obzirom na brzo mijenjanje vremenske situacije, od niskoorbitnih meteoroloških satelita se prvenstveno traži da ciklus snimanja (povratak na istu točku) zatvaraju što brže.

15.3. Dizajn CROMET servisa

CROMET servis optimiranjem za teritorij Republike Hrvatske i sastoji se od jednog geostacionarnog satelita koji ima ulogu kontinuiranog praćenja naoblake u širem području Republike Hrvatske, ali u manjoj rezoluciji i jednog satelita koji periodično prikuplja meteorološke parametre visoke rezolucije iznad Republike Hrvatske.

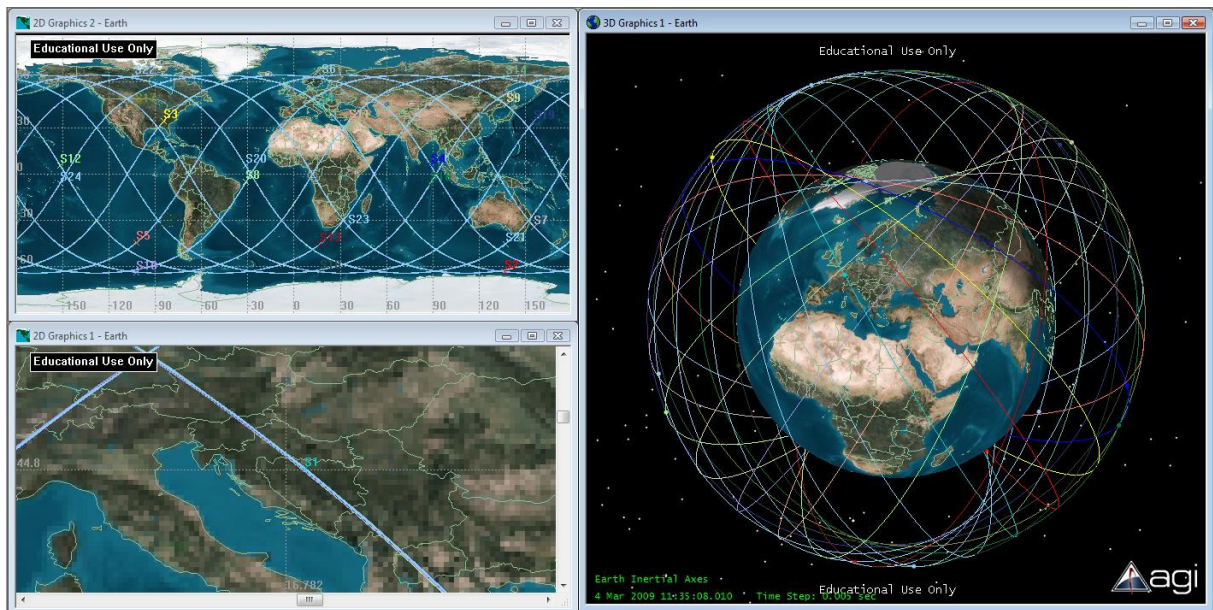
Kako su oblaci niski i brzo se mijenjaju, potreban je sustav koji bi snimao naoblaku svakih 15 min i davao slike sa dobrom rezolucijom iz koje bi se moglo zaključiti kakve će biti vremenske prilike.

CROMET servis imao bi svrhu promatranja naoblake iznad teritorija Republike Hrvatske sa boljom rezolucijom snimaka i omogućio bi bolju procjenu meteoroloških parametara na lokalnim područjima. To je naročito važno za Republiku Hrvatsku koja na svom malom teritoriju ima tri klimatska područja.

15.3.1. Sateliti

Postavljanje satelita koji će preletjeti teritorij Hrvatske u vremenskom roku manjem od jednog dana nije moguće jer se Zemlja zakreće u odnosu na orbitu koja je sinkronizirana sa Suncem. Jedini način na koji bi se dobila pokrivenost Hrvatske u vremenskoj rezoluciji od 60 minuta je postavljanje 24 satelita u istu orbitu (v. sliku 15.3., v. tablicu 15.1.). Ovakva putanja sa više satelita je zbog velikih troškova slabo primjenjiva u praksi.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske



Slika 15.4. Konstelacija od 24 satelita u orbitama sinkroniziranima sa Suncem

Tablica 15.1. Keplerovi parametri za Konstelaciju od 24 satelita

Period	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [m]	e	T_0 (hh:mm:ss)
2,667	21,479	116,007	322,335	9762,59	0,000689	11:20:06
2,667	36,479	116,007	186,835	9762,59	0,000689	12:20:06
2,667	51,479	116,007	51,335	9762,59	0,000689	13:20:06
2,667	66,479	116,007	275,835	9762,59	0,000689	14:20:06
2,667	81,479	116,007	140,335	9762,59	0,000689	15:20:06
2,667	96,479	116,007	4,835	9762,59	0,000689	16:20:06
2,667	111,479	116,007	229,335	9762,59	0,000689	17:20:06
2,667	126,479	116,007	93,835	9762,59	0,000689	18:20:06
2,667	141,479	116,007	318,335	9762,59	0,000689	19:20:06
2,667	156,479	116,007	182,835	9762,59	0,000689	20:20:06
2,667	171,479	116,007	47,335	9762,59	0,000689	21:20:06
2,667	186,479	116,007	271,835	9762,59	0,000689	22:20:06
2,667	201,479	116,007	136,335	9762,59	0,000689	23:20:06
2,667	216,479	116,007	0,835	9762,59	0,000689	0:20:06
2,667	231,479	116,007	225,335	9762,59	0,000689	1:20:06
2,667	246,479	116,007	89,835	9762,59	0,000689	2:20:06
2,667	261,479	116,007	314,335	9762,59	0,000689	3:20:06
2,667	276,479	116,007	178,835	9762,59	0,000689	4:20:06
2,667	291,479	116,007	43,335	9762,59	0,000689	5:20:06
2,667	306,479	116,007	267,835	9762,59	0,000689	6:20:06
2,667	321,479	116,007	132,335	9762,59	0,000689	7:20:06
2,667	336,479	116,007	356,835	9762,59	0,000689	8:20:06
2,667	351,479	116,007	221,335	9762,59	0,000689	9:20:06
2,667	6,479	116,007	85,835	9762,59	0,000689	10:20:06

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

Kao što je vidljivo u tablici 15.1 mijenjaju se samo neki Keplerovi parametri, duljina uzlaznog čvora, kutna udaljenost perigeja od uzlaznog čvora i moment prolaska satelita kroz perigej.

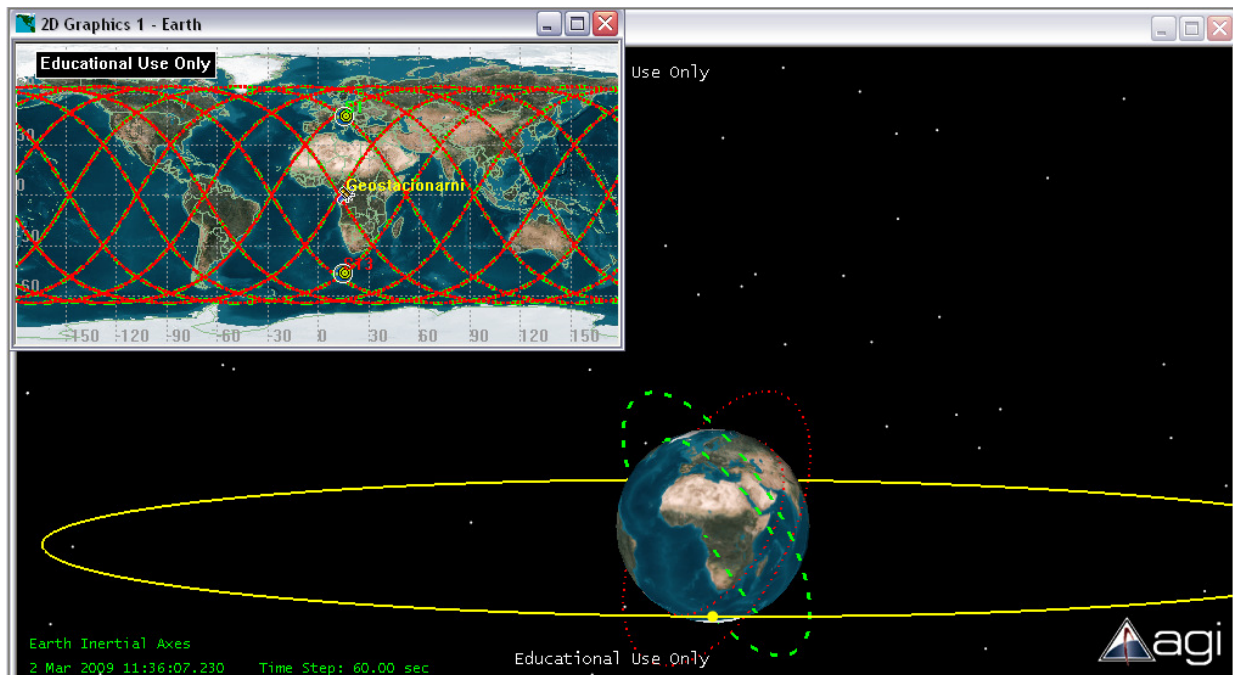
CROMET servis dizajniran je tako da je geostacionarni satelit postavljen na geografskoj dužini od $16,30^\circ$ i na visini od 35800 km, a drugi satelit prolazi iznad Hrvatske svaki dan u 13 sati (v. sliku 15.5.).

Geostacionarni satelit smješten je na visini od oko 35800 km direktno iznad ekvatora. Vrti se u istom smjeru u kojem Zemlja rotira (sa zapada na istok). Na toj visini, jedna orbita traje 24 sata. Geostacionarni izraz dolazi od činjenice da takav satelit izgleda gotovo stacionaran u svemiru s obzirom na opažača na Zemlji. Jedan geostacionarni satelit vidi oko 40% Zemljine površine. Tri takva satelita, na razmaku od 120 stupnjeva dužine, mogu osigurati pokrivanje cijele Zemlje, s iznimkom područja na sjevernom i južnom polu. Geostacionarni sateliti imaju dva glavna ograničenja. Prvo, orbitalni pojas je izuzetno uzak te je broj satelita koji se mogu održavati u geostacionarnoj orbiti, bez međusobnih sukoba (ili čak sudara) ograničen. Drugo, udaljenost do Zemlje i nazad je velika i signal mora prijeći minimalno 71.600 km. Dakle, vrijeme potrebno da signal koji putuje do 300.000 km u sekundi (186000 ppm^5) stigne od jedne točke do druge za 240 milisekundi i pravi povratno putovanje s površine do satelita i natrag.

Postoje dva druga, manje ozbiljna, problema sa geostacionarnim satelitima. Prvo, točan položaj geostacionarnog satelita, u odnosu na površinu, malo varira tijekom svakog 24-satnog razdoblja zbog poremećaja putanje. Drugo, zbog *Solar fade-a* kad je Sunce direktno iza satelitskog radio signala, stvaraju se zvukovi i komunikacija se poremeti. Smetnja se javlja samo jednom na dan za bilo koji satelit i obično traje manje od osam minuta. Mnogi čimbenici, uključujući i veličinu antene utječu na *Solar fade*. Točan datum i vrijeme *Solar fade-a* je različit za svaki satelit. *Solar fade* predstavlja problem u roku od nekoliko dana oko ekvinocija krajem ožujka i krajem rujna (URL12).

⁵ ppm - part per milion

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske



Slika 15.5. CROMET sistem

Tablica 15.2. Parametri CROMET servisa

Satelit	Visina satelita	Ponovljivost	Pokrivenost
Geostacionarni	35800 km	rotira sa Zemljom pa snima od 0-24h	40% cijele planete
Kružni	3500 km	svakih 24h u 11.36 h	Republika Hrvatska
Drugi kružni	3500 km	svakih 24h u 23.36h	Republika Hrvatska

Geostacionarni satelit snima kontinuirano, a za potrebe CROMET servisa koriste se snimci u vremenskoj rezoluciji od 15 min. U tablici 15.2. prikazani su sateliti CROMET servisa geostacionarni i kružni satelit njihova visina, ponovljivost i pokrivenost teritorija. Drugi kružni satelit dodan je da se vidi kako se može smanjiti vremenska rezolucija od jednog dana na 12h.

15.4. Rezime CROMET servisa

Geostacionarni satelit CROMET servisa kontinuirano nadgleda teritorij Republika Hrvatska, te se dobiva dobra globalna procjena naoblake na teritoriju Republike Hrvatske. Nedostatak nadgledavanja naoblake pomoću geostacionarnog satelita je velika udaljenost satelita što ima za posljedicu malu rezoluciju snimaka. Osim geostacionarnog satelita uvodi se i satelit koji će periodično sa vremenskom razlučivosti od jednog dana nadgledati naoblaku iznad RH s većom rezolucijom. Dodavanjem optimalnog satelita s optimiranom putanjom iznad teritorija RH dobiva se bolja procjena naoblake sa većom rezolucijom, ali je nedostatak ponovljivost. Tako dizajniran CROMET servis će omogućiti nadgledanje naoblake iznad teritorija Republike Hrvatske svaki dan od 0 do 24 sata, sa većom rezolucijom i boljom analizom naoblake.

16. Servis za rano otkrivanje i praćenje požara na teritoriju Republike Hrvatske – CROFIRE

Požari su veliki problem u cijelome svijetu, pa tako i u Hrvatskoj. Da bi se rano otkrili i ublažile njihove posljedice razvijaju se satelitski podržani servisi. Nijedan od servisa nije podržan za lokalni teritorij Republike Hrvatske.

16.1. Primjeri i iskustva sličnih servisa u svijetu

Primjer satelita koji se koristi za otkrivanje i praćenje požara je EUMETSAT koji ima razvijen servis požara a koji se temelji na geostacionarnom satelitu. Eumetsat daje prikaz Zemlje s malom rezolucijom. EUMETSAT - *Fire Monitoring Product* (FIR) namijenjen je aktivnoj analizi vrućih područja koji bi mogli odgovarati požarima. Servis razlikuje potencijalne požare i vjerojatno aktivne požare. Aktivna detekcija požara (FIR) je slika proizvoda temeljenih na ispunjenom pikselu koji prikazuje informacije o prisutnosti požara unutar piksela (v. sliku 16.1.) (URL24).

Karakteristike FIR-a:

- rezolucija: piksel (3 x 3 km),
- ponovljivost (15 minuta),
- dostupan u gotovo realnom vremenu,
- format: GRIB2 i ASCII (EUMETCast samo),
- veličina podataka datoteke između ~10 i ~25 KB.

Kako je jedan piksel veličine 3 × 3 km, aktiviranje ovog servisa bi bilo tek da je požarom zahvaćeno veće područje. To je mana ovog servisa te je taj servis nepovoljan za otkrivanje i praćenje požara na lokalnim područjima.



Slika 16.1. Eumetsat - aktivna detekcija požara

16.2. Primjeri i iskustva sličnih podržanih sustava u Hrvatskoj

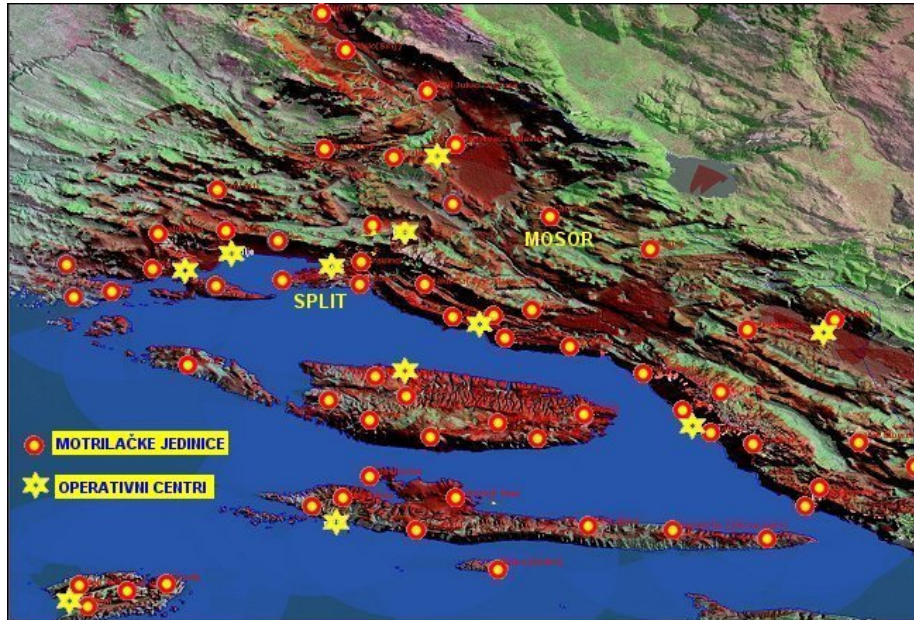
U Hrvatskoj je vatrogasna služba napravila sustav za detekciju požara. Informacijski sustav zaštite od požara koji se razvija na prostorima Splitsko-dalmatinske županije. Njihov temelj je na motriteljsko – dojavnoj službi koja obuhvaća motrenje s motriteljskog mjesta sa ciljem što ranijeg uočavanja požara u nastajanju. Ovaj sustav koristi ljudske motritelje koji će na važnim lokacijama nadgledati teritorij (URL14).

Ciljevi sustava su:

- vizualno protupožarno motrenje video kamerama s automatskom detekcijom pojave šumskog požara na temelju prepoznavanja dima tijekom dana, odnosno plamena tijekom noći,
- meteorološkog motrenja osnovnih meteoroloških parametara vezanih uz šumske požare uz proračun lokalnog indeksa opasnosti od pojave šumskog požara
- proračun mikrolokacijskog indeksa rizika požara raslinja.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

Sustav ima 62 motrilačke stanice samo u Splitsko – dalmatinskoj županiji (v. sliku.16.2.)



Slika 16.2. Integralni sustav protupožarne zaštite (URL14)

16.3. Procjena opasnosti od požara

U Državnom hidrometeorološkom zavodu već se dulji niz godina izrađuju procjene opasnosti od izbijanja i širenja šumskih požara za jadransko područje. Te su procjene zasnovane na kanadskoj metodi određivanja meteorološkog indeksa opasnosti od šumskih požara (*Fire Weather Index, FWI*). Svakodnevni rezultati procjene opasnosti, dostavljaju se operativnim centrima koji bi svoje aktivnosti trebali uskladiti s tom informacijom (URL14).

Da bi se mogao računati meteorološki indeks opasnosti od šumskih požara, meteorološka motrenja i mjerenja se obavljaju u 13 sati po lokalnom vremenu (ljetno vrijeme 14 sati). Satelit koji nadlijeće teritorij Republike Hrvatske svaki dan u 13 sati se koristi za te potrebe. Meteorološki parametri koji se dobiju u trenutku motrenja su temperatura i relativna vlažnost zraka, brzina vjetera i 24 satna količina oborine. Ovi podaci su osnova za izračunavanje meteorološkog indeksa opasnosti od požara, a pomoću FWI metode se dobiju pokazatelji stanja vlažnosti gorivog materijala.

Pokazatelji vlažnosti goriva su osnovne veličine za izračunavanje meteorološkog indeksa opasnosti od požara.

Konstantni faktori u obrani od požara su oni koji se ne mijenjaju značajno tijekom požarne sezone, na primjer korištenje zemljišta, tipovi vegetacije, topografija i neki klimatski elementi, dok su promjenljivi faktori uglavnom vezani s trenutnim meteorološkim uvjetima i količinom vlage u gorivu. Mogu se razlikovati tri osnovna tipa opasnosti:

- opasnost zapaljenja – čine ga faktori vezani za inicijalno zapaljenje požara raslinja.
- opasnost širenja – čine ga faktori koji pogoduju širenju vatre.
- ranjivost - čine ga faktori vezani s potencijalnom štetom koju požar može napraviti na okoliš i socio-ekonomske objekte.

Na osnovu izračunatog meteorološkog indeksa opasnosti od požara (FWI) dobije se procjena potencijalnog intenziteta požara, mjera očekivanog ponašanja požara i dnevnih potreba za kontrolu vatre (Wagner i Pickett, 1975).

16.4. Cilj i svrha CROFIRE servisa

Opasnost od požara i rizici od imovinskih šteta su vrlo visoki, a požarne štete osim direktnih troškova gašenja odnose znatna materijalna sredstva i značajno uništavaju naše prirodno okruženje. Od svih nastalih požara, u 70-80% slučajeva kriv je čovjek. Bilo zbog individualne nepažnje i nehaja ili zbog namjernog podmetanja požara, a ostatak požara je posljedica tehničkih nedostataka. Visoki troškovi požara odnose se na izgublenu (šumsku) biomasu i površine zasađene poljoprivrednim kulturama. Tome treba dodati cijene gašenja požara, kao i troškove sanacijskih mjera, koji u nekim slučajevima mogu biti vrlo visoki. Zbog toga, osnovna je namjena CROFIRE servisa: procjena rizika od izbijanja požara, rano otkrivanje požara, podrška pri gašenju požara i procjena štete nastale požarom. Procjena rizika od izbijanja požara je dobra s obzirom da je nadgledanje CROFIRE satelita svaki dan. Satelit CROFIRE servisa pojavljuje se iznad teritorija Republike Hrvatske u 13h svaki

dan kada je mogućnost izbijanja požara najveća, te na taj način pridonosi ranom otkrivanju požara i njegovom suzbijanju. Kada satelit nije u mogućnosti snimiti određeni teritorij, podiže se helikopter, avion ili bespilotna letjelica, u ovisnosti o situaciji, koji dalje nadgledaju moguće požarište. Također CROFIRE servis je velika podrška pri gašenju požara i procjena šteta nastalih požarom. Podršku pri gašenju požara u CROFIRE servisu može dati i brod koji prevozi potrebne stvari za gašenje požara i ljude, a isto tako može i sudjelovati u gašenju požara.

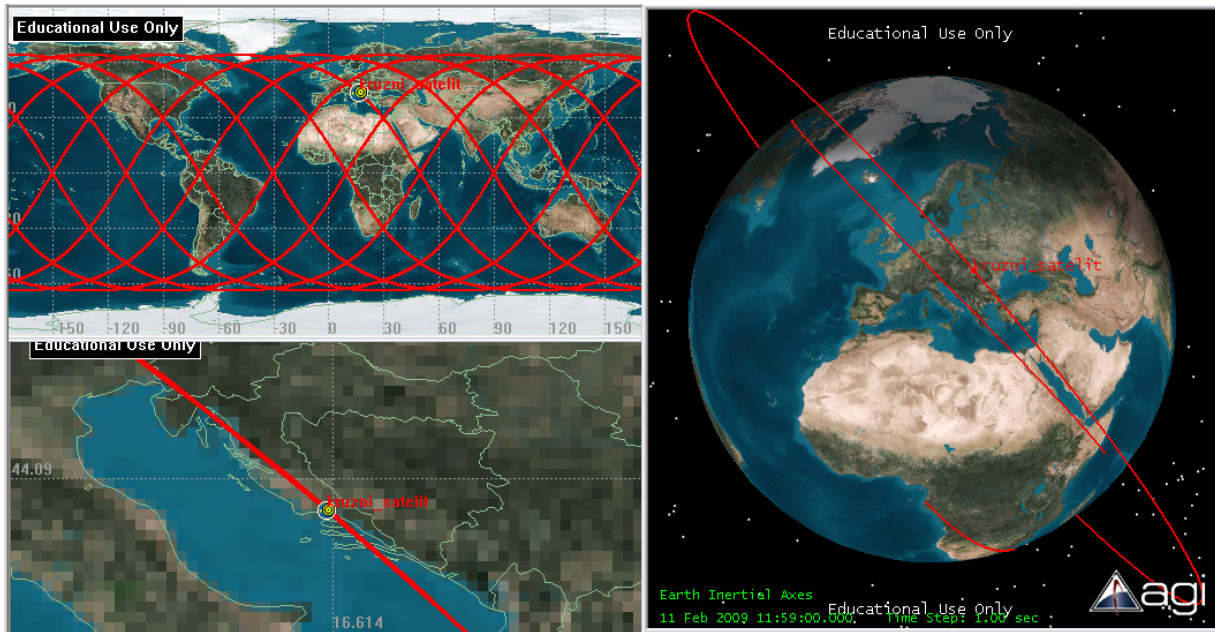
16.5. Dizajn CROFIRE servisa

Kao glavni dio servisa navodimo putanju satelita s periodom od 2,7 sata, koja se svaki dan u 13 sati nalazi iznad teritorija Republike Hrvatske. Prednost je jer se požari u poslije podnevnim satima najčešće pojavljuju. Nedostatak je jer se iznad teritorija Republike Hrvatske pojavljuje samo na par minuta. Ovi nedostaci se mogu ukloniti uvođenjem aviona, helikoptera, bespilotne letjelice te broda koji uvelike mogu pomoći u sprječavanju širenja požara. Oni se zajedno sa satelitom povezuju u jedinstveni sustav tzv. operativni sustav na Zemlji koji prikuplja, obrađuje, distribuira podatke neophodne za daljnje aktivnosti CROFIRE servisa.

16.5.1. Satelit CROFIRE servisa

Satelit sa periodom obilaska (revolucije) od 2,7 sata je jedan od osnovnih dijelova CROFIRE servisa koji kontinuirano nadgleda teritorij Republike Hrvatske, a na osnovu čega se procjenjuju rizik izbijanja požara i otkrivanje izbijanja požara. Ovi podaci služe za aktiviranje ostalih dijelova CROFIRE servisa. Na visini od 3500 km sa ponavljanjem preleta iznad Hrvatske svaki dan u 13h (v. sliku 16.3.) može skeniranjem terena sa visokom rezolucijom pridonijeti ranom otkrivanju požarišta ili širenje požara. U tablicama 16.1 i 16.2. nalaze se TLE elementi i Keplerovi parametri za putanju CROFIRE satelita.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske



Slika 16.3. Putanja CROFIRE satelita

Tablica 16.1. TLE elementi CROFIRE putanje satelita

CROFIRE

```
-----
1 99999U 90103A 09041.50000000 -.00000002 00000-0 -55692-3 0 00001
2 99999 116.0070 004.4793 0006885 322.3350 089.7267 09.00026761000015
```

Tablica 16.2. Keplerovi parametri za CROFIRE putanju satelita

Period	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e	T_0 (hh:mm:ss)
2,667	21,479	116,007	322,335	9762.59	0.0006885	11:20:06

16.5.2. Senzori CROFIRE servisa

Senzori kod CROFIRE servisa trebaju osim u vidljivom spektru biti i u infracrvenom (IC). Snimanje područja u infracrvenom (IC) spektru omogućuje detekciju razlika temperatura s velikom razlučivošću. Tako možemo razlikovati objekte različitih temperatura (npr. voda, kopno, požar, vruća zgarišta, ljude, životinje, vozila i dr.). Osim toga IC senzor omogućuje i noćno snimanje, to je velika prednost u odnosu na klasične kamere za video nadzor. Druga prednost satelitskog IC snimanja

je povećanje područja nadgledanja. S velike udaljenosti je u odnosu na terestrički video nadzor pomoću CCTV⁶. Još jedna opcija koja je od važnog značenja je i mogućnost snimanja kroz maglu i dim. Kombinacijom *Long range* modela *C-AllView* koji prelazi na optičko snimanje na malim udaljenostima može se dobiti upotrebljiva slika (URL31).

16.5.3. Primjena aviona, bespilotne letjelice, helikoptera i broda u CROFIRE servisu

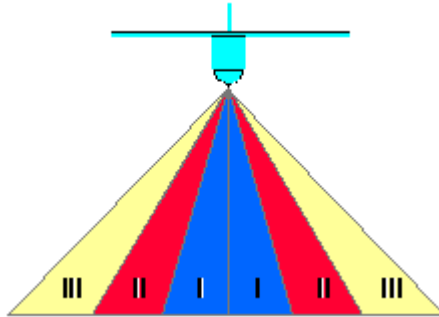
Satelit u CROFIRE servisu nije dovoljan iz jednostavnog razloga jer nije u mogućnosti snimati požarište 24 sata na dan. Iz tog razloga se uvode avion, helikopter, bespilotna letjelica te brod koji pokrivaju nedostatke satelita u CROFIRE servisu. Svako od ovih vozila ima jače i slabije karakteristike prilikom primjene u nadgledanju i gašenju požara.

Bespilotna letjelica je letjelica bez pilota sa sustavom navođenja sa tla. Mana joj je mala težina te ne može nositi težu opremu koja daje bolje snimke. Let je vremenski ograničen na svega 30 minuta. Cjelokupni sustav sastoji se od letjelice, zemaljske nadzorne postaje i osoblja koja opslužuju letjelicu. U donjem dijelu trupa nosi kameru s mogućnošću okretanja. Brzina leta iznosi oko 100 km/h i u zraku može ostati oko 30 min (URL30). Ako je požar primjerice na otoku Korčuli koji je duljine ~50 km a širine ~15 km, bespilotnoj letjelici, ako leti brzinom od 0,077 km u sekundi, potrebno je otprilike 25 minuta da obiđe otok, a što je na granici njenih mogućnosti.

Na slici 16.4. prikazana je bespilotna letjelica gdje brojevi označavaju zone snimanja teritorija. 1. zona uočavanja je u slabijim meteorološkim uvjetima do 15 km, 2. zona je u dobrim meteorološkim uvjetima do 30 km, 3. zona je u vrlo dobrim meteorološkim uvjetima kad snima do 50 km.

⁶ CCTV – *Closed-circuit television* – upotreba video kamere da prenosi signal na određeno mjesto, na ograničenom skupu monitora.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske



Slika 16.4. Zone uočavanja bespilotne letjelice

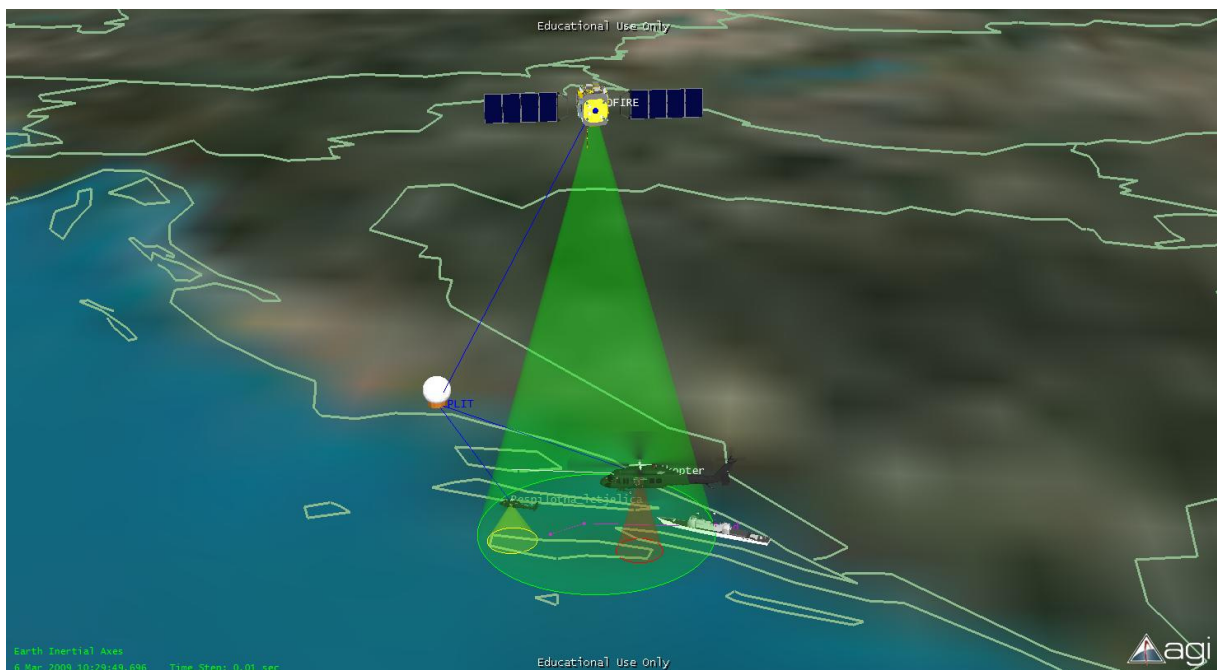
Za razliku od bespilotnih letjelica helikopter može lebdjeti nad određenim područjima i davati podršku ljudima na terenu te bi mogao ponijeti bolje i veće kamere. Helikopter je najbolje sredstvo za promatranje i skeniranje požara, jer može lebdjeti nad određenim područjem. Helikopter se može navoditi pomoću GPS-a. Velika mu je prednost u izviđanju jer se može zastaviti na pojedinom kritičnom dijelu i dati bolje snimke od bilo kojeg drugog sredstva za izviđanje.

Jedino bolje sredstvo od helikoptera bila bi bespilotna letjelica helikoptera koju u svakom slučaju možemo navesti nad neko područje zahvaćeno požarom. Prednost bespilotnog helikoptera u odnosu na klasični helikopter je u jednostavnijoj i lakšoj primjeni. Npr. vatrogasci na Zemlji mogu imati bespilotne helikoptere koje mogu primijeniti po potrebi. Nedostatak je korištenje slabije opreme i kraće vrijeme letenja. Automatskim javljanjem u kojem smjeru se kreće vatra, uvelike može pomoći pri spašavanju ljudskih života, spašavanju prirodnih dobara i gašenju požara. Nedostatak broda u odnosu na helikopter je brzina pregleda teritorija s time i brzina javljanja, a i helikopter ima bolji pregled iz zraka. Ako helikopter ide istom brzinom kao bespilotna letjelica 0,077 km u sekundi treba mu isto vrijeme da obiđe cijeli otok kao i bespilotnoj letjelici, a brodu ako ide brzinom od 0,015 km/sek potrebno mu je da obiđe oko 2 sata i 30 minuta.

Brod bi bio od velike koristi u požarima na otocima. Mogao bi pomoći pri gašenju požara, ali također i u snimanju terena pod vatrom, npr. ako je gust dim ili jači vjetar efikasnije je koristiti brod. Brod bi najbolje odgovarao za gašenje požara u

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

priobalnom području kao što bi se mogao iskoristiti i ujedno za prevoženje vatrogasaca na otok, zaštitne opreme, goriva, evakuacije civila i dr. Na slici 16.5. vidi se prikazan CROFIRE servis s aktivnim satelitom, brodom, helikopterom i bespilotnom letjelicom na otoku Korčuli, a koji su povezani sa operativnim centrom u Splitu.



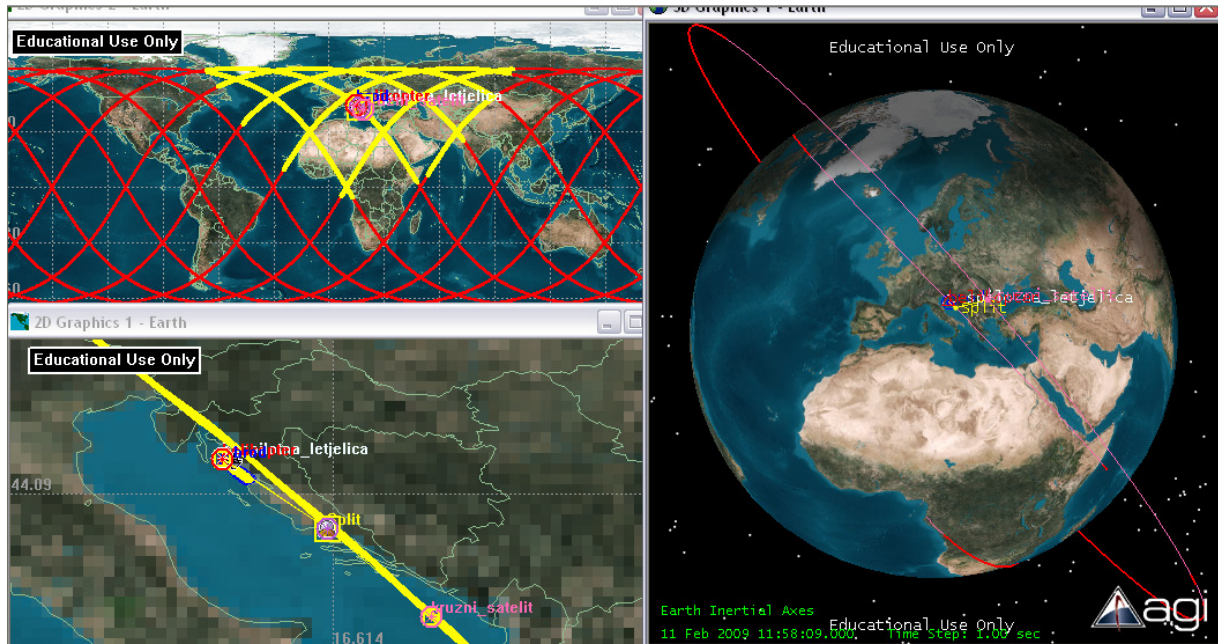
Slika 16.5. Koordinacija CROFIRE servisa za simulaciju požara na otoku Korčuli

16.5.4. Koordinacija CROFIRE servisa

Koordinacija bi se vršila u jednom operativnom centru. On prvo dobije informacije satelita koji svaki dan nadlijeće teritorij Republike Hrvatske i nakon obrade dobivenih snimaka alarmiraju se ostali sustavi CROFIRE servisa koji se također koordiniraju iz operativnog centra. Pomoću satelitskih IC kamera se može uočiti veće područje gdje bi mogao nastati požar i nakon što operativni centar primi tu obavijest šalje jedno od tri sredstva koja su navedena (avion, bespilotna letjelica, brod). Nakon analize satelitskog snimka i uočenog problema (mogućeg požarišta) najbolje bi bilo poslati bespilotnu letjelicu jer može detaljno provjeriti stanje na terenu i onda pomoću nje alarmirati sve sustave. U slučaju većeg požara, ako se ne zna smjer požara i koliko

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

je zahvaćeno područje, da li prijete civilima, podiže se helikopter koji te informacije može dati u vrlo kratkom vremenu.



Slika 16.5. CROFIRE servis

Pokrivenost teritorija satelitom vidi se na slici 16.5. u 3D obliku, satelit ne može cijeli dan biti povezan sa terestričkim centrom. Žuto označeno na slici 16.5. prikazuje kada je satelit povezan sa operativnim terestričkim centrom. Vidljivo je da, ukoliko satelit u 9 puta obiđe cijelu Zemlju, samo je djelomično na 4 prolaza satelita iznad teritorija Republike Hrvatske povezan sa terestričkim centrom.

Satelit je stalno aktivan, pa je pogodan za stalnu procjenu rizika i ranog otkrivanja požara. Po obradi podataka, operater bi dobivene rezultate (u vidu karata s područjima potencijalnim za razvoj požara) objavljuvao na službenim stranicama servisa, te ih dalje prosljeđivao. Također, održavanje servisa bi se izvršavalo educiranjem stanovništva o uzrocima požara, o dojavama, o mjerama zaštite te o eventualnoj evakuaciji sa zapaljenog područja.

16.6. Rezime CROFIRE servisa

Prednosti CROFIRE servisa je da omogućuje dobivanje satelitskih snimaka za teritorij Republike Hrvatske sa velikom rezolucijom. Te snimke se obrađuju u operativnom centru i nakon toga se dobivaju podaci o mogućem požaru. To uvelike pomaže pri sprječavanju ili gašenju požara. Nedostatak je nemogućnost snimanja satelitom kroz cijeli dan, već se on nalazi iznad teritorija Republike Hrvatske samo par minuta. Zato se najbolja podrška otkrivanja i gašenja požara dobije se kombinacijom satelit, avion, brod, helikopter, bespilotna letjelica jer svaki od njih ima jače i slabije prednosti prilikom primjene.

Avion, helikopter, te bespilotna letjelica aviona podižu se za nadgledavanje teritorija i skupljanje informacija o požaru, gdje se kreće i kojeg je intenziteta. Dok bespilotna letjelica helikopter može direktno snimiti teritorij tako da se podigne na gotovo bilo kojem mjestu. Svaki vatrogasac može ga imati sa sobom i ukoliko nema dovoljno informacija o požaru može ih na lak i brz način dobiti, te tako spasiti i sebi i lokalnom stanovništvu život. Brod pomaže pri prijevozu sredstava potrebnih nadležnim institucijama za gašenje požara, a može prevoziti civile pri evakuaciji ili sudjelovati u gašenju požara. Još jedna velika prednost je i da se sva korištena sredstva povezuju sa zajedničkim terestričkim operativnim centrom koji obrađuje i prosljeđuje informacije dalje. Najveći nedostatak CROFIRE servisa je potreba za više korisničkih sredstava.

17. Servis praćenja bio - vegetacijskog ciklusa na teritoriju Republike Hrvatske – CROBIO

Servis bio-vegetacijskog ciklusa - CROBIO je servis koji bi omogućavao svakodnevno praćenje i ažuriranje snimaka vegetacije na području Hrvatske. Pomoću snimaka terena koje bi ovaj servis pružao otkrivale bi se promjene na vegetaciji. Iz tih snimaka bi se dalje mogli izvoditi zaključci o stanju vegetacije, te poduzeti odgovarajuće mjere, kako bi se biljni pokrov na vrijeme zaštitio od bolesti i štetnika.

17.1. Primjeri i iskustva sličnih servisa u svijetu

Postoje razne satelitske misije koje daju odlične snimke objekata na Zemlji. Daju vrlo kvalitetne digitalne snimke terena kojeg prelijeću, pa tako i vegetacije na njemu. Prostorna rezolucija snimaka napravljenih Landsat, SPOT i drugim misijama može se vidjeti u osmom poglavlju u tablici 8.1. Osnovni problem koji se nameće kod ostalih misija je taj što svaki satelit ažurira svoje podatke tek svakih 15-20 dana. Nije isključena mogućnost propadanja snimke, budući da ista može biti snimljena za vrijeme veće naoblake, te se onda ova vremenska rezolucija povećava. Problem se također javlja i kod dostupnosti snimaka (URL2).

17.2. Cilj i svrha CROBIO servisa

Biljni pokrov na teritoriju Republike Hrvatske je prilično raznolik, budući da je i sama Hrvatska raznolika po klimi, vrsti tla, nadmorskoj visini.

Tri su klimatska područja na teritoriju Republike Hrvatske:

- mediteranski (obala Jadrana)
- kontinentalni (Lika, Kordun)
- panonski (Slavonija)

Slavoniju odlikuju vlažna tla te guste šume hrasta lužnjaka, graba, jasena dok u gorskoj Hrvatskoj raste bukva, jela i smreka. Krški krajevi - Dalmacija, otoci – zarasli

su biljnom zajednicom hrasta crnike i alepskog bora, otpornijom na sušu i vjetar (URL5). Čovjek je "zagospodario" prirodom, nastoji od nje izvući maksimum, ali isto tako, da bi taj maksimum bio ostvaren, potrebno je vegetaciju održavati na primjeren način.

Svrha servisa je da se na temelju satelitskih snimaka protumači o kakvom se biljnom pokrovu radi, u kakvom je trenutnom stanju te kakve se promjene na njemu događaju. Prvenstveni cilj servisa je rano otkrivanje mogućih štetnika na vegetaciji, njihovo suzbijanje te procjena referentnih prinosa u poljoprivredi. Prije svega, ovakav sustav bi dobro došao za područja koja su nedostupna za nadzor sa Zemlje.

17.3. Dizajn CROBIO servisa

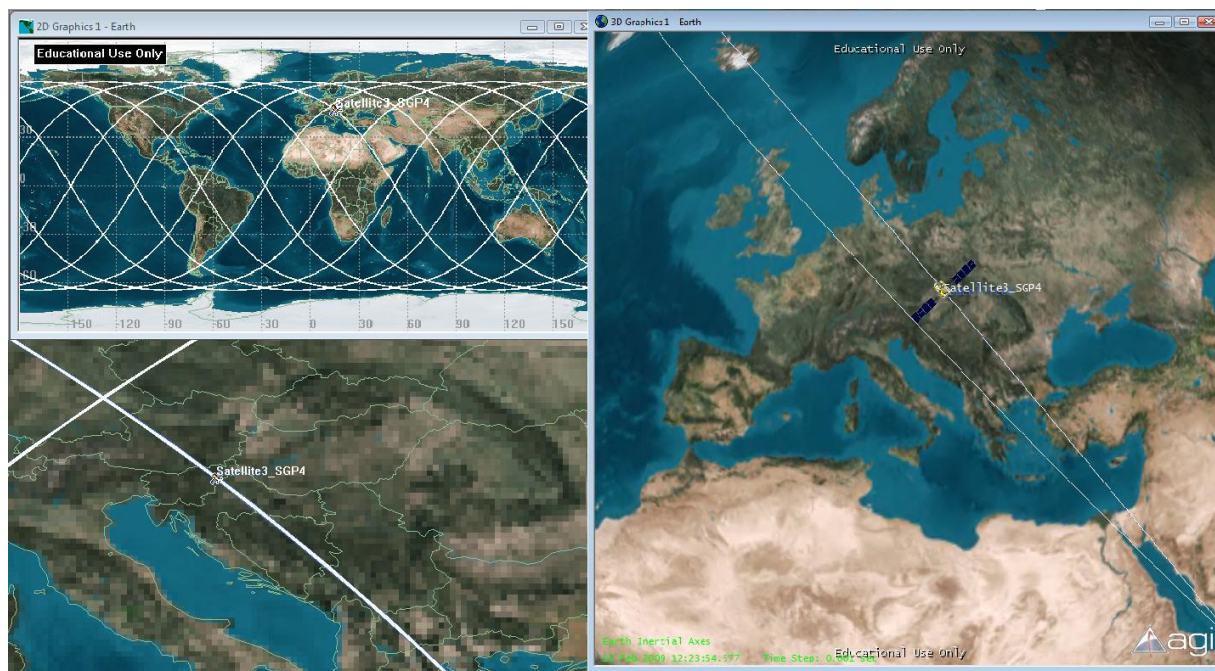
Servis praćenja bio – vegetacijskog ciklusa se sastoji od satelita te dva operativna centra. Stručni operateri u centrima bi usporedbom snimaka ukazali na moguće pojave na biljnom pokrovu, te poslali na teren izvidničku grupu. Na licu mjesta, ekipa bi utvrdila činjenično stanje te poduzela potrebne mjere.

17.3.1. CROBIO satelit

Primjenom satelita s optimalnom putanjom za teritorij RH, s vremenskom rezolucijom od 1 dana, moguće je svakodnevno ažuriranje snimaka. Pri tome treba imati na umu da zbog oblačnosti sve slike neće biti upotrebljive u vidljivom spektru. Satelit bi prelijetao Hrvatsku na visini od oko 3000km. Zbog inklinacije od 116° kretao bi se u smjeru jugoistok-sjeverozapad te snimanjem 200 km u svaku stranu od nadira⁷ pokrivaio teritorij cijele Hrvatske. Nagle promjene koje se primijete na snimkama unutar par dana, bit će prva informacija da se s vegetacijom nešto događa.

⁷ Nadir je točka na nebeskoj sferi točno ispod promatrača. Nasuprot nadiru je zenit.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske



Slika 17.1. Putanja CROBIO satelita

Na slici 17.1. je prikazana putanja CROBIO satelita koji bi svaki dan prelijetao Republiku Hrvatsku i davao snimke cjelokupnog teritorija. U tablici 17.1. se daju Keplerovi parametri za orbitu CROBIO satelita.

Tablica 17.1. TLE elementi putanje CROBIO satelita

CROBIO

```
-----
1 99999U 90103A 09041.50000000 -0.00000002 00000-0 -55692-3 0 00001
2 99999 116.0070 004.4793 0006885 322.3350 089.7267 09.00026761000015
```

Tablica 17.2. Keplerovi parametri za CROBIO satelit

Period	Ω [°]	i [°]	ω [°]	a [km]	e	T_0 (hh:mm:ss)
2,667	6,479	116,007	322,335	9762.59	0.0006885	11:20:06

17.3.2. Senzori

Vegetacijski servis CROBIO koristio bi senzore kakve posjeduje najnovija generacija satelita SPOT (SPOT 5). SPOT 5 ima dva visoko-rezolucijska senzora preuzeta sa SPOT 4. Senzori HRVIR (high-resolution visible and infrared) nude višu rezoluciju, od 2,5 - 5 metara u pankromatski modu i 10 metara u multispektralnom

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

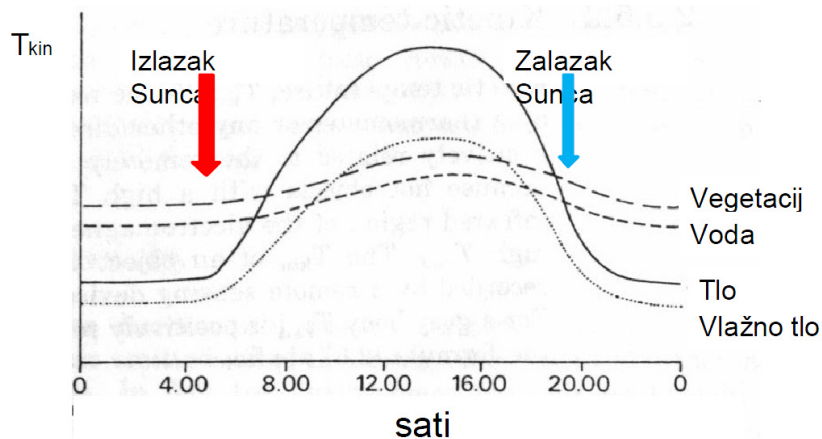
modu. Usporedba visina i senzora SPOT 5 i optimalnog satelita za Republiku Hrvatsku daje rezultate za prostornu rezoluciju. Rezultat usporedbe vidljiv je u tablici 17.2.

Tablica 17.2. Određivanje veličine piksela na površini Zemlje omjerom

Satelit	Visina	Senzor	Širina snimanja	Veličina piksela pankromatski	Veličina piksela multispektralno
SPOT	832 km	HRVIR	117 km	5×5 m	10×10 m
CROBIO	3380 km	HRVIR	475 km	20×20 m	41×41 m

17.3.3. Vrijeme snimanja

Satelit bi prelijetao teritorij Republike Hrvatske svaki dan oko 13h lokalnog vremena, što je i najoptimalnije vrijeme za snimanje. Ujutro i kasno navečer snimanje je, u infracrvenom dijelu spektra, beskorisno, jer tada sva tijela na Zemlji imaju sličnu temperaturu, bez obzira na njihovu termalnu inerciju. Termalna inercija je mjera termalnog odziva tvari na promjene temperature (v. sliku 17.2.) (Bajić, 2007).



Slika 17.2. Dnevne promjene temperature vode, vegetacije, tla i vlažnog tla

Za potrebe CROBIO sustava uspostavila bi se dva manja operativna centra, jedan u Dalmaciji i jedan u Slavoniji. Svaki centar bi trebao imati i po jednu terensku ekipu, koja bi uviđala stvarno stanje na terenu, na osnovu tih satelitskih snimaka te eventualno organizirala sanaciju odnosno zaštitu zaraženog područja.

17.4. Rezime CROBIO servisa

Servis za promatranje bio – vegetacijskog ciklusa kao optimalnu putanju koristio bi putanju sinkroniziranu sa Suncem u periodu od 2,7 sata. Snimanje bi se izvršavalo svakog dana oko 13 sati što je najpovoljnije vrijeme za snimanje vegetacije. U jutarnjim i večernjim satima vegetacija ima sličnu temperaturu kao i ostatak okoliša pa je teže uočiti promijene. Takvim načinom se dobiva uvid u prirodna bogatstva zemalja koje taj satelit pokriva. Nedostatak je prostorna rezolucija snimanja u multispektralnom načinu snimanja koja je vrlo mala.

Zaključak

Ova studija se bavi optimiranjem satelita za teritorij Republike Hrvatske te satelitski podržanim servisima. Varijacijom Keplerovih elemenata modelirane su optimalne putanje satelita za teritorij Republike Hrvatske. Na osnovu dobivenih modela putanja satelita dizajnirani su meteorološki, protupožarni i bio-vegetacijski satelitski podržani servisi za teritorij Republike Hrvatske. Veliki je broj parametara, koji se pri optimiranju orbite mogu mijenjati (visina satelita, inklinacija, oblik orbite). Upravo zbog toga moguće je i dobiti veliki broj različitih orbita povoljnih za teritorij Hrvatske. Od svih ponuđenih mogućnosti, za optimiranje je odabrana orbita sa periodom obilaska od 2,7 sati. Zbog povećanog perioda obilaska povećana je i inklinacija orbite u kojoj satelit prelijeće Republiku Hrvatsku u smjeru jugoistok - sjeverozapad. Satelit snima područje teritorija Republike Hrvatske svaki dan oko 13 sati jer je tada najmanja mogućnost naoblake. Daljnjim optimiranjem putanja satelita dobivene su putanje u periodu ponavljanja od 15 i 16 dana koje prekrivaju teritorij Republike Hrvatske u više tragova. Međutim, radi velike vremenske rezolucije nisu korištene u daljnjoj obradi.

Svrha satelita perioda putanje bila bi u servisima koje bi taj satelit podržavao. U radu su navedeni meteorološki servis - CROMET, servis za rano otkrivanje i praćenje požara - CROFIRE te servis za praćenje bio – vegetacijskog ciklusa na području Hrvatske - CROBIO. CROMET bi pružao snimke oblačnosti i kretanja zračnih masa te pridonosio procjeni prognoze vremena. On se sastoji od dva satelita, jednog geostacionarnog koji daje snimke od 0-24h, i drugog satelita sinkroniziranog sa Suncem koji daje snimke veće prostorne rezolucije, ali veće vremenske rezolucije. CROFIRE je servis koji bi svakodnevno davao procjenu rizika nastanka požara, njegovog ranog uočavanja i sprječavanja. CROBIO servis bi služio otkrivanju bolesti i nametnika u bio-vegetaciji.

Zahvala

Zahvaljujemo *Analytical Graphic Inc. (AGI)* na omogućenom korištenju *Satellit Tool Kit (STK)* softvera.

Zahvaljujemo mentoru dr. sc. Željku Hećimoviću na strpljenju i volji za sudjelovanje u ovakvom pothvatu.

Literatura

- Bačić, Ž. i T. Bašić, (1999) Satelitska geodezija II., Interna skripta za studente Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Bajić, M. (2007) Daljinska istraživanja, Interna skripta Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- Chaozhen L., Qing X. i dr. (2008) Designing a Framework of Virtual Remote sensing Satellite Simulation System, Zhengzhou
- Gelo, B. (2000) Opća i prometna meteorologija II. dio. Hinus, Zagreb.
- Hay, S.I., (2000) An Overview of Remote Sensing and Geodesy for Epidemiology and Public Health Application, South Parks Road.
- Kenpankho P. i A. Thongra - ar (2008) The Development of e-Learning on Satellite Orbit Design, Bangkok
- Kim, M.C., (1997) Theory of Satellite Ground-Track Crossours, Journal of Geodesy, Berlin
- Kušan, V., (2008) Daljinska istraživanja i vizualna interpretacija, Karlovac
- Lillesand, T i R. Kiefer (1994) *Remote sensing and image interpretation*, New York
- Moran, M. S., Inoue, Y. i E. M. Barnes (1997) Opportunities and Limitations for Image-Based Remote Sensing in Precision Crop Management, New York
- Nitsche, M. (1999) SATLAB Ein Werkzeug zur Visualisierung von Satellitenbahnen. Institut fuer Astronomische und Physikalische Geodaesie. Muenchen.
- Pernar, R. (2007) Daljinska istraživanja i GIS u šumarstvu, Interna skripta za studente Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- Perković, D. (2009.) Analiza i interpretacija snimaka, Interna skripta za studente RGN fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- Seeber, G. (1993): Satellite Geodesy. Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Špoljarić, D. (2008) Osnove geodetske astronomije, Interna skripta za studente Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Wagner V. i T.L Pickett (1975) Equations and Fortran Program for the Canadian Forest Fire Wether Index System, Ottawa
- URL1: http://dosl.zesoi.fer.hr/seminari/1998_1999/mazanek/rs.htm (21.2.2009.)

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

- URL2: http://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing (10.4.2009)
- URL3: http://en.wikipedia.org/wiki/Two-line_elements (1.3.2009.)
- URL4 : http://hr.wikipedia.org/wiki/Keplerovi_zakoni (13.2.2009.)
- URL5: http://hr.wikipedia.org/wiki/Vegetacija_Hrvatske (18.4.2009)
- URL6: <http://jadran.gfz.hr/naoblaka.html> (24.2.2009.)
- URL7: <http://kesatnet.com/praktikum.htm> (18.1.2009.)
- URL8: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/images/sun-sync.html> (19.1.2009.)
- URL9: <http://meteo.hr/> (23.2.2009.)
- URL10: <http://marine.rutgers.edu/mrs/education/class/paul/orbits.html> (18.1.2009.)
- URL11: public.carnet.hr/globe/prirucnik/Statisticka%20kontrola%20i%20obrada%20pod.doc (23.2.2009.)
- URL12: http://searchmobilecomputing.techtarget.com/sDefinition/0,,sid40_gci803974,00.html (9.4.2009.)
- URL13: http://sr.wikipedia.org/sr-multispektralni_snimak/ (14.4.2009.)
- URL14: http://vatra.fesb.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=70 (7.4.2009.)
- URL15: http://vrijeme.hr/aktpod.php?id=croa_n¶m (14.4.2009.)
- URL16: <http://www.amsat.org/amsat/keps/kepmodel.html> (13.2.2009.)
- URL17: <http://www.astro.hr/ucionica/ostalo/sateliti/> (25.1.2009.)
- URL18: <http://www.bug.hr/bug/tekst/tehnologije-satelite-tool-kit-504-vatromet-ast/52221.aspx> (29.3.2009.)
- URL19: <http://www.calsky.com> (13.3.2009.)
- URL20: <http://www.celestrak.com> (13.3.2009.)
- URL21: http://www.csa.hr/index.php?subaction=showfull&id=1190837720&archive=&start_from=&ucat=1& (10.4.2009.)
- URL22: <http://www.digitalglobe.com/index.php/85/QuickBird> (13.3.2009.)
- URL23: <http://www.eumetsat.com> (1.4.2009.)
- URL24: http://www.eumetsat.int/Home/Main/Access_to_Data/Meteosat_Meteorological_Products/Product_List/SP_1145431848902?l=en (3.4.2009.)
- URL25: http://www.grf.bg.ac.yu/mm/files/learnmat/72Uvod%20u%20GIS_9.pdf (1.4.2009.)

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

URL26: <http://www.pomorci.com/Skole/Meteorologija/NAOBLAKA%20i%20KONVEKCIJSKE%20OLUJE.pdf> (5.3.2009.)

URL27: <http://www.sat24.com/homepage.aspx?html=zoom&xas=409&yas=311>
(15.4.2009.)

URL28: <http://www.stk.com/> (18.1.2009.)

URL29: <http://www.stoff.pl/> (8.4.2009.)

URL30: <http://www.upvh.hr/pages/beslet100905.htm> (10.4.2009.)

URL31: <http://www.videonadzor.mobi/podrska-termalne-kamere.html> (11.4.2009.)

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

Sažetak

Ante Barišić

Andrea Crnković

**Optimalne putanje satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske**

Ovaj rad razrađuje problematiku modeliranja optimalnih putanja satelita s obzirom na teritorij Republike Hrvatske i njihove primjene u dizajniranim satelitski podržanim servisima. U prvom, teorijskom dijelu rada je nakon teorijskog uvoda u putanje satelita objašnjena korištena orbita sinkronizirana sa Suncem. Zbog specifičnih zahtjeva na prostornu, vremensku, spektralnu i radiometrijsku rezoluciju snimanja za svaki od satelitski podržanog servisa u nastavku je obrađena ova problematika. Pregledno je objašnjen format podataka o orbiti satelita, daljinska istraživanja, najpoznatije satelitske misije te korišteni softveri. Analizom naoblake i geografskog položaja Republike Hrvatske su dobiveni praktični parametri za modeliranje optimalne putanja satelita za teritorij Republike Hrvatske. Period obilaska satelita oko Zemlje je osnovni parametar vremenske rezolucije snimanja te je njegovom optimiranju posvećena posebna pažnja. Na osnovu varijacije Keplerovih elemenata modelirane su optimalne putanje satelita za teritorij Republike Hrvatske. Na osnovu dobivenih modela putanja satelita dizajnirani su meteorološki, protupožarni i bio-vegetacijski satelitski podržani servisi za teritorij Republike Hrvatske. U nastavku je opisan meteorološki satelitski servis koji se sastoji od dva satelita. Jedan satelit meteorološkog servisa je u optimalnoj orbiti za periodično mjerenje parametara atmosfere i snimanja naoblake iznad teritorije Republike Hrvatske u krupnoj prostornoj rezoluciji, a drugi satelit je geostacionarno smješten iznad teritorija Hrvatske i kontinuirano prati naoblaku i parametre atmosfere u grubljoj prostornoj rezoluciji. Nastavno je opisan dizajn protupožarnog satelitski podržanog servisa koji ima namjenu davanja procijene opasnosti od požara, rano otkrivanje požara, davanje podrške pri gašenju požara te procjenu šteta nastale požarom. Zbog relativno male vremenske razlučivosti snimaka koje bi davao satelit s optimalnom putanjom za

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju Republike Hrvatske

teritorij Republike Hrvatske, satelitski podaci su pogodni za davanje procjene opasnosti od požara i procjenu nastale štete. Međutim, satelitski podaci se mogu optimalno koristiti za davanje podrške prilikom gašenja požara u koordinaciji sa informacijama s bespilotnih letjelica koje popunjavaju vremenske praznine između preleta satelita. Treći, bio-vegetacijski servis se sastoji od satelita koji će omogućavati praćenje bio-vegetacijskih promjena na lokalnim staništima u dnevnoj vremenskoj razlučivosti. Ovi podaci predstavljaju osnovu za razvoj cijelog niza znanstvenih istraživanja i gospodarskih programa. Rad završava pregledom glavnih zaključaka i popisom korištene literature.

Ključne riječi: putanja satelita, satelit, Keplerovi parametri, daljinska istraživanja, satelitski servisi.

Summary

Ante Barišić

Andrea Crnković

Optimal satellite orbit for satellite supported services on the territory of the Republic of Croatia

This study elaborates of the problems of the modeling optimal satellite orbits considering the territory of Republic of Croatia and their application in designed satellite supported services. In the first, theoretical part of the study introduction of the satellite orbits and Sun Synchronized orbit is explained. Because of specific requirements for space, time, spectral and radiometric resolution of satellite acquisitions for each satellite supported service, this problem is continuously processed. Overview of the satellite orbit data format, remote sensing, the most known satellite missions and used software's is given. Analyze of the shape and geographical position of the Republic of Croatia gave parameters for optimal satellite orbit modeling. Period of the satellite revolutions around the Earth is one of the fundamental parameter of the temporal resolution of satellite acquisition. Spatial attention is taken to optimization of this orbit parameter. Optimal satellite orbit for the territory of Croatia is modeled making variations of the Kepler orbit elements. On the basis of modeled satellite orbit parameters meteorological, fire and bio-vegetation satellite's supported services for the territory of Croatia are designed. Meteorological satellite service is using two satellites. One meteorological satellite is periodically scanning atmospheric parameters and clouds over the territory of the Republic of Croatia in the big spatial resolution, and the other satellite is geostationary satellites that continuously monitor atmosphere over the Croatia in the lower resolution.

Fire protection service has the purpose to evaluate the threat of fire, detect fire in early stage, and provide firefighting support and judging fire damages. Because of the relatively low satellite temporal resolution, the satellite is very suitable for providing estimates of the dangers of fire and estimation of the damages. But,

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

satellite can give optimal firefighting support when it is used in coordination with information from unmanned vehicle. It should fill the time holes between satellite acquisitions. Third, a bio-vegetation service consists of a satellite with optimal orbit over the territory of Croatia. This service will monitor the dynamic of the bio-vegetation changes in the local habitats, in the daily time resolution. It should be basis for the development of a huge range of scientific research and economical applications. The study ends with a review of the main conclusions and a list of used literature.

Key words: satellite orbit, Kepler parameters, remote sensing, satellite services.

Optimalna putanja satelita za satelitski podržane servise na teritoriju
Republike Hrvatske

Ante Barišić

Rođen sam 19.6.1987. godine u Brčkom. Osnovnu školu završio sam u Drenovcima gdje sam i odrastao. Prirodoslovno – matematičku gimnaziju završio sam u Županji. Preddiplomski studij geodezije i geoinformatike na Geodetskom fakultetu upisao sam 2005. godine.

Andrea Crnković

Rođena 21.9.1986. u Slavonskom Brodu. U Donjim Andrijevcima završavam osnovnu školu, nakon koje upisujem Prirodoslovno – matematičku gimnaziju u Slavonskom Brodu koju završavam 2005. godine. Iste godine upisujem preddiplomski studij Geodezije i geoinformatike na Geodetskom fakultetu u Zagrebu.