

Branislav Bajat, Slobodan Ašanin

PRIMENA GEODEZIJE U SAOBRAĆAJNICAMA

Akadska misao
Beograd, 2015.

Branislav Bajat, Slobodan Ašanin

PRIMENA GEODEZIJE U SAOBRAĆAJNICAMA

Recenzenti

Dr Dejan Gavran

Dr Dušan Joksić

Odlukom Nastavno-naučnog veća Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, koja je doneta na sednici održanoj 16.09.2015. godine, odobreno je objavljivanje ovog udžbenika.

Izdaje i štampa

AKADEMSKA MISAO, Beograd

Dizajn naslovne strane

Zorica Marković, akademski slikar

Tiraž

100 primeraka

ISBN 978-86-7466-577-0

PREDGOVOR

Knjiga *Primena geodezije u saobraćajnicama* predstavlja udžbeničku literaturu iz predmeta *Geodezija saobraćajnica* koji se sluša na modulu za puteve, železnice i aerodrome Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Nastava iz Geodezije se još od samog formiranja Velike škole 1863. god. i Tehničkog fakulteta na njoj, odvijala kroz predmet *Praktična geometrija (Niža geodezija)*, koji je pripadao grupaciji predmeta iz građevinarstva. Donošenjem Zakona o Univerzitetu i pretvaranjem Velike škole u Univerzitet 1905. god. i formiranjem zasebnih odseka (građevinskog, arhitektonskog i mašinskog) na Tehničkom fakultetu, predmet Geodezija (kojeg tada predaje prof. Dragutin Andonović) ulazi u prvobitni zasebni nastavni program za građevinske inženjere na Univerzitetu, gde se i danas sluša kao zajednički predmet na svim modulima programa građevinarstva.

Sve do formiranja zasebnog geodetskog odseka na Građevinskom fakultetu 1948. god. i početka školovanja diplomiranih inženjera geodetskog profila, geodezija se izučavala i u teorijskoj i praktičnoj nastavi uz obaveznu terensku praksu u okviru građevinskih kurikuluma.

Predmet *Geodezija u saobraćajnicama*, čiji je naziv promenjen u *Geodezija saobraćajnica* (2005. god), uvodi se u nastavni program na odseku za puteve i železnice 1988. god. iz potrebe da se studentima ovog odseka pruži šire znanje u odnosu na predmet Geodezija koji je istim tim programom sa treće godine studija prebačen na prvu godinu.

Iako je ova knjiga namenjena prvenstveno studentima građevinske struke na modulu za puteve, železnice i aerodrome, nadamo se da će poslužiti i studentima geodezije kao dopunska literatura iz oblasti inženjerske geodezije.

Sadržaj knjige je koncipiran kao nadgradnja predmeta Geodezija. Prvi deo knjige posvećen je savremenim tehnologijama prikupljanja prostornih podataka za potrebe projektovanja saobraćajnica.

Posebnu celinu čine poglavlja koja se odnose na postojeću geodetsko-katastarsku dokumentaciju u Republici Srbiji sa osvrtom na raspoloživu geodetsko-kartografsku osnovu za potrebe projektovanja i izgradnje saobraćajnica. Takođe je značajno i poglavlje vezano za postupak eksproprijacije koji je po prvi put detaljno obrađen u nastavnoj literaturi namenjenoj građevinskim stručnjacima.

Nastavak knjige čine poglavlja koje se odnose na geodeziju u inženjerstvu sa posebnim osvrtom na geodetske aktivnosti u projektovanju i građenju saobraćajnica, saobraćajnih objekata i pratećih sadržaja. Ovaj deo knjige svojim sadržajem i detaljnošću, obuhvata građu koja će biti od koristi studentima i stručnjacima geodetske struke.

Ovom prilikom se zahvaljujemo i firmama koji se nam odobrile i obezbedile materijal iz njihove dokumentacije: *Saobraćajni institut CIP d.o.o.*, *MapSoft d.o.o.* i *Livona d.o.o.*

Beograd, 2015.

Autori

Sadržaj

1. Uvod	5
2. Savremene tehnologije prikupljanja prostornih podataka	7
2.1. GLOBALNI navigacioni satelitski sistemi (GNSS).....	7
2.1.1. Postojeći navigacioni sistemi	8
2.1.2. Princip rada, metode i primena	9
2.2. Daljinska detekcija	14
2.2.1. Digitalna fotogrametrija	17
2.2.2. Lasersko skeniranje terena i objekata	20
2.2.3. Radarsko snimanje terena	25
2.2.4. Satelitski snimci	29
3. Geodetsko-katastarska dokumentacija u Republici Srbiji	33
3.1. Katastar nepokretnosti.....	34
3.1.1. Sadržaj katastra nepokretnosti	34
3.1.2. Katastar zemljišta.....	36
3.1.3. Zemljišna knjiga	37
3.2. Katastar vodova	38
3.2.1. Otkrivanje podzemnih vodova.....	41
3.2.2. Uređaji za otkrivanje podzemnih vodova	42
4. Geodetsko kartografske podloge za potrebe projektovanja i izgradnje saobraćajnice	46
4.1. Državni referentni sistem Srbije.....	46
4.1.1. Prostorni referentni sistem.....	48
4.1.2. Podela na listove karata i planova	49
4.2. Klasične geodetske podloge	50
4.2.1. Topografske karte.....	50
4.2.2. Katastarski planovi.....	53
4.2.3. Situacioni planovi.....	55
4.2.4. Geodetski planovi podzemnih vodova i objekata	55
4.3. Digitalni modeli terena.....	56
4.3.1. Primena digitalnih modela terena	60
4.3.2. Primena DTM-a u građevinarstvu.....	61
4.3.5. Zahtevi za tačnošću DMT-a.....	63
4.4. Ortofotokarte i planovi	64
4.5. Geodetske podloge u različitim fazama projektovanja saobraćajnica	66
5. Geodetski radovi u pojedinim fazama projektovanja i građenja objekata.....	68
6. Geometrija saobraćajnice.....	71
6.1. Horizontalne kružne krivine	71
6.1.1. Obeležavanje detaljnih tačaka kružne krivine	72
6.2. Složene krivine	77
6.3. Prelazne krivine.....	78
6.3.1. Klotoida ili lučna radoida	80
6.3.2. Kubna parabola.....	82
6.3.3. Detaljno obeležavanje prelaznih krivina	83

6.4. Serpentine.....	84
6.5. Vertikalne krivine	85
6.5.1. Vertikalna krivina u obliku kružnog luka.....	87
6.5.2. Vertikalna krivina u obliku parabole.....	89
6.5.3. Obeležavanje vertikalne krivine.....	91
7. Računanje površina i zapremina masa	92
7.1. Računanje površina	92
7.1.1. Računanje površina pomoću figura jednostavnih geometrijskih oblika	92
7.1.2. Računanje površina pomoću planimetara	94
7.1.3. Računanje površina iz koordinata graničnih tačaka	94
7.1.4. Računanje površina poprečnih profila	95
7.1.5. Proračun tačnosti određivanja površina	97
7.2. Računanje zapremina.....	98
7.2.1. Računanje zapremina na osnovu poprečnih profila	100
7.2.2. Računanje zapremina na osnovu izohipsi	102
7.2.3. Računanje zapremina masa na osnovu projektovanih izohipsi	103
7.2.4. Računanje zapremina pomoću mreže pravilnih geometrijskih figura	104
7.2.5. Proračun tačnosti određivanja zapremina.....	105
7.2.6. Dijagram izravnjanja zemljanih masa	106
8. Eksprijacija	109
8.1. Geodetski radovi za potrebe izrade projekta eksprijacije	111
9. Geodetske mreže za potrebe projektovanja i građenja saobraćajnica	113
9.1. Državne trigonometrijske mreže.....	113
9.2. Prostorna referentna mreža Republike Srbije.....	114
9.3. Državne nivelmanske mreže	115
9.4. Ostale državne geodetske mreže	115
9.5. Geodetska mreža inženjerskih objekata – mreža posebne namene.....	116
9.5.1. Geodetska mreža objekta (novoprojektovana)	117
9.5.2. Kriterijumi za ocenu kvaliteta geodetskih mreža posebne namene	120
9.5.3. Projekat geodetske mreže objekta	123
10. Projekat ispitivanja ponašanja objekta (pomeranja i deformacija)	130
11. Projekat snimanja izvedenog objekta.....	134
12. Geodetski radovi kod projektovanja i izgradnje saobraćajnih objekata.....	138
12.1. Tuneli.....	138
12.1.1. Faze inženjerskog procesa kod projektovanja i izgradnje tunela	138
12.1.2. Podloge o razmatranom prostoru	140
12.1.3. Projektni zadatak geodetskih radova i izrada idejnog projekta.....	140
12.1.4. Analiza i ocena stanja postojeće geodetsko-kartografske dokumentacije	140
12.1.5. Projektni zadatak geodetskih radova i izrada glavnog projekta tunela	141
12.1.6. Projekat i realizacija geodetske mreže tunela	141
12.1.7. Projekat obeležavanja tunela	142
12.1.8. Projekat izvedenog objekta–arhivski projekat tunela	145
12.1.9. Metode obeležavanja tunela	145
12.1.10. Geodetski radovi u toku građenja tunela	146
12.2. Mostovi	147
12.2.1. Projekat geodetske mreže mosta	148
12.2.2. Projekat obeležavanja geometrije mosta	149

12.2.3. Ispitivanje mosta na probno opterećenje.....	151
12.2.4. Ispitivanje pomeranja i deformacije mosta	151
12.2.5. Snimanje izvedenog stanja mosta	152
PRILOZI	153
Literatura:.....	165

1. Uvod

Udeo geodezije u pojedinim fazama inženjerskog procesa (projektovanje, građenje, ispitivanje, eksploatacija i održavanje inženjerskih objekata) zavisi od informacija koje se mogu obezbediti aktivnostima geodetskih stručnjaka. Racionalizaciju pojedinih faza inženjerskih procesa nije moguće sprovesti bez adekvatnog učešća geodezije i geodetskih radova.

Pod geodetskim radovima podrazumeva se uključivanje geodetskih instrumenata, metoda merenja i dokumentacije u inženjerskim radovima, počev od generalnog, idejnog, izvođačkog (glavnog) projekta, građenja, ispitivanja pomeranja i deformacija, eksproprijacije, prikupljanja podataka o zemljišnim oblicima i objektima (snimanja izgrađenog objekta), izrade dokumentacije za tehnički prijem, projekta izvedenog objekta (arhivski projekat), eksploatacije, održavanja, sanacije i rekonstrukcije inženjerskih objekata.

Geodezija je prisutna u građevinarstvu od davnina, posebno kod realizacije složenih graditeljskih objekata. Industrijska revolucija u XIX veku koja je praćena i razvojem saobraćajnih komunikacija, tunelskih i mostovskih konstrukcija, uticala je na razvoj inženjersko-geodetskih metoda. Najveći izazov su predstavljali proboji dugačkih tunela gde je bio neophodan razvoj posebnih metoda orijentacije podzemnih geodetskih mreža i podzemnog obeležavanja tunela. Gradnja linijskih objekata zahtevala je snimanja na širim teritorijama zbog čega je nastala potreba za razvojem geodetskih mreža posebne namene, njihovim izravnanjem i ocenom tačnosti. Veće brzine vozila iziskivale su i složeniju geometriju trase saobraćajnica. Tako su trase puteva projektovane kao složene prostorne krive dvostruke zakrivljenosti.

Visoki standardi tačnosti koji su postavljeni kao zadatak inženjerskoj geodeziji, pored razrade novih metoda, podrazumevali su i primenu novih tehnologija merenja i prikupljanja prostornih podataka. Prvu polovinu XX veka obeležila je primena fotogrametrije kao preteče daljinske detekcije, koja će se krajem istog veka nadgraditi satelitskim i radarskim snimcima i metodama laserskog snimanja. Sve ove tehnološke inovacije podržane su korišćenjem veštačkih satelita za potrebe globalnog pozicioniranja.

Istovremeno sa razvojem ovih tehnologija, odvijao se i razvoj kompjuterske tehnologije, što je rezultovalo novim konceptima i pristupima u obradi merenja kao i novim metodama prezentovanja i vizuelizacije podataka o prostoru. Novi proizvodi poput digitalnih modela terena i površi, ortofoto planovi i snimci u digitalnom formatu usloveli su i sve širu primenu kompjuterski podržanog pristupa (*engl.* Computer Aided Design – CAD) kod projektovanju u građevinarstvu.

Geodezija je kao struka spremno dočekala ovaj izazov i koncepti koji su razvijeni u saradnji sa stručnjacima građevinske struke u cilju formiranja informacionog sistema inženjerskog objekta, danas čine osnovu za jedan potpuno nov pristup projektovanju po standardima savremenog građevinarstva (*engl.* building information modeling – BIM) koji se počeo razvijati poslednjih godina. Pristup BIM-om podrazumeva stvaranje i upravljanje

projektnim podacima u toku same razrade projekta, što zahteva i nove pristupe u integraciji prostornih podataka (geometrijskih i negeometrijskih) datih u različitim formatima.

Obezbeđivanje podloga za projektnu i plansku dokumentaciju (karte, situacioni planovi, podužni i poprečni profili, digitalni modeli terena) za sve faze projektovanja, prostorno lociranje projektnih rešenja u granicama zadatih tolerancija, dokazivanje postignute tačnosti ostvarene geometrije objekta, ispitivanje pomeranja i deformacija objekta i okolnog tla, prikupljanje podataka o zemljišnim oblicima i objektima (snimanje izgrađenih objekata), obezbeđivanje podataka za tehnički prijem objekta i za izradu projekta izvedenog objekta (arhivski projekat), formiranje katastra podzemnih vodova i infrastrukture, formiranje baza podataka, formiranje informacionih sistema inženjerskih objekata jesu poslovi za geodetskog stručnjaka.

Uspešna, ekonomična, pouzdana i dugotrajna eksploatacija objekata nije moguća ako za iste nije ostvarena projektovana geometrija u granicama zadatih tolerancija. Kada je u pitanju ostvarivanje projektom predviđene geometrije objekta u granicama zadatih tolerancija i dokazivanje kojom je tačnošću to ostvareno, kompetentni su samo geodetski stručnjaci. Puni doprinos geodezije u inženjerstvu dobija se samo ako se zakonski regulišu propisi i pravilnici o ulozi i mestu geodezije u svim fazama inženjerskog procesa.

Kod nas su se do sada uglavnom donosili zakonski i tehnički propisi samo za oblast katastra i državnog premera, a oblast inženjerske geodezije nije na adekvatan način tretirana i ostavljena je po strani. To je dovelo do toga da geodetska struka u većini slučajeva u inženjerskom procesu ima nivo uslužne delatnosti u međusobnoj saradnji tehničkih struka. Zato je bilo neophodno što pre odlučno zakonski regulisati ulogu, mesto i obaveze geodezije u inženjerstvu, kao i obaveze drugih struka po pitanju geodezije.

Zakon o planiranju i izgradnji, odgovarajući pravilnici i prateća akta čine zakonski osnov za izradu pravilnika, pratećih uputstava, standarda i normi čime se bliže regulišu geodetski radovi i geodetsko-tehnička dokumentacija za potrebe izgradnje objekata.

Na taj način je rešeno pitanje sadržaja geodetsko-tehničke dokumentacije u svim fazama inženjerskog procesa i njene revizije kao i pitanje geodetskog nadzora. Zakonom o planiranju i izgradnji i ostalim aktima indirektno je data mogućnost da se zakonski i tehnički regulišu primena geodezije u inženjerstvu. Pored ovog Zakona od značaja za izradu geodetske projektno-tehničke dokumentacije, izvođenja radova i nadzora za potrebe gradnje saobraćajnica, saobraćajnih i pratećih objekata su:

- Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji;
- Geodetski propisi za izgradnju puteva i putnih objekata;
- Pravilnik o sadržini, načinu, uslovima, nadzoru i kontroli obavljanja geodetskih radova u inženjersko-tehničkim oblastima;
- Pravilnik o tehničkim normativima, načinu rada pri izradi tehničke dokumentacije i kontroli tehničke dokumentacije za izvođenje geodetskih radova u inženjersko-tehničkim oblastima;
- Pravilnik o geodetskim podlogama u inženjerstvu;
- Tehnički uslovi za sastav i opremu projektne dokumentacije vangradskih puteva.

2. Savremene tehnologije prikupljanja prostornih podataka

Poslednje dve dekade XX veka obeležene su pojavom novih metoda i savremenih tehnologija za prikupljanje i obradu podataka o prostoru. Od posebnog značaja bilo je lansiranje satelita različitih namena ali i novi pristupi u registrovanju podataka, pojava novih senzora kao i razvoj računarskih tehnologija koje će omogućiti da se ogromna količina podataka obradi i interpretira na pravi način. Nove metode daljinske detekcije kao i nove tehnologije terestričkog snimanja detalja, omogućile su i promene u projektnom pristupu, odnosno sve većoj primeni softverski podržanih projektnih rešenja.

Standardizacija digitalnih formata podataka obezbeđuje potpunu interoperabilnost u razmeni podataka, ali i projektnih rešenja. Kod CAD softvera, kako komercijalnih tako i softvera otvorenog koda (*engl.* open source), za standardne vektorske formate usvojeni su Autodesk-ovi formati (sa *dwg*, *dxf* ekstenzijama). U slučaju GIS softverskih paketa u prvom planu su ESRI-jevi formati, kako u slučaju vektorskih podataka (sa *shp* ekstenzijom) tako i u rasterskim formatima podataka.

Podaci dobijeni savremenim metodama prikupljanja podataka najčešće zahtevaju i dodatno postprocesiranje na različitim nivoima u zavisnosti od znanja i mogućnosti krajnjeg korisnika ovih podataka. Najčešće se ovde radi o transformaciji podataka u odgovarajući referentni koordinatni sistem (georeferenciranje) ili dobijanju informacija o fizičkim svojstvima, što je najčešće slučaj kod obrade satelitskih snimaka. Kod tehnologija kao što je terestričko skeniranje terena, dobijeni podaci su oblaci tačaka (*engl.* points clouds, videti poglavlje 2.2.2) koji pre nego što dođu do krajnjeg korisnika u vidu 3D modela površi, zahtevaju procesiranje od strane visoko kvalifikovanih stručnjaka uz zahtevnu softversko-hardversku podršku. U svakom slučaju, nove tehnologije omogućavaju veću dostupnost podacima, i veću prostorno vremensku rezoluciju.

2.1. GLOBALNI NAVIGACIONI SATELITSKI SISTEMI (GNSS)

Pojam *Globalni navigacioni satelitski sistemi* (GNSS) predstavlja zajednički imenitelj za sve satelitske sisteme čija je namena pozicioniranje i navigacija na Zemlji. Termin *Globalni pozicioni sistemi* (GPS) i danas predstavlja sinonim za ovu grupu satelitskih sistema, iako je u osnovi vezan za prvi komercijalni sistem tog tipa i namene – NAVSTAR (*engl.* Navigation Signal Timing and Ranging). NAVSTAR GPS je i danas najfunkcionalniji i najrasprostranjeniji sistem ovoga tipa.

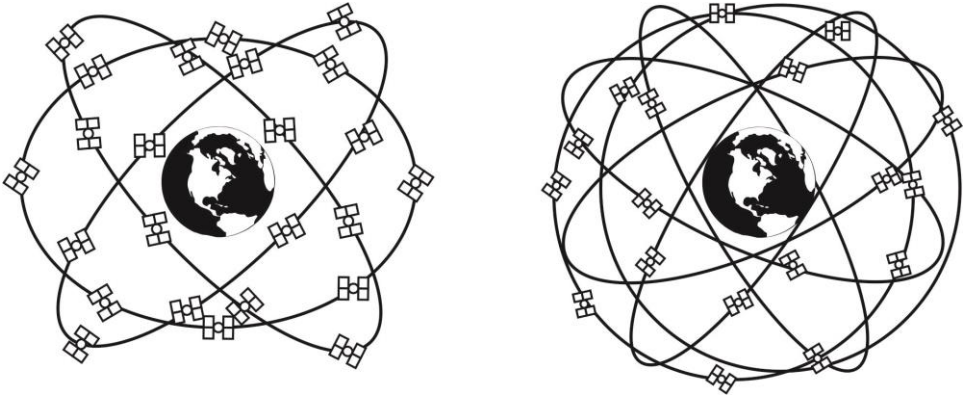
Kao i većina tehnoloških inovacija XX veka i globalni navigacioni sistemi svoj razvoj duguju u prvom redu vojnim potrebama. Ministarstvo odbrane Sjedinjenih Američkih Država krajem šezdesetih godina XX veka razvija prvi sistem ovog tipa poznat pod nazivom TRANSIT, koji je bio namenjen isključivo vojnim potrebama. Ovaj sistem sastojao se od šest satelita koji

su kružili na relativno malim visinama od 1100 km. Primenom tehnike translokacije, gde jedan prijemnik stalno stoji iznad tačke sa poznatim koordinatama, a drugi na lokaciji čije koordinate određujemo, mogla se postići poziciona tačnost i do 0.3 m. Sredinom osamdesetih godina Ministarstvo odbrane SAD-a kreće u razvoj druge generacije navigacionih sistema NAVSTAR, čija se namena postepeno prebacuje i u civilni sektor. Decembra 1993. vlada SAD-a zvanično obelodanjuje punu funkcionalnost ovog sistema. Tih godina globalni navigacioni sistemi počinju sve više da se koriste i u inženjerstvu i to u prvom redu u geodeziji, tako da se danas prijemnici najveće tačnosti i preciznosti nazivaju geodetskom klasom instrumenta.

2.1.1. Postojeći navigacioni sistemi

Okosnicu postojećih komercijalnih GNSS-a i dalje čini NAVSTAR GPS čija izgradnja je počela 1973. godine, a prvi satelit je lansiran 1978. godine. Njegova arhitektura se sastoji od 24 operativna satelita ravnomerno raspoređena u odnosu na Zemlju, koji se kreću u 6 orbitalnih ravni (po 4 satelita u svakoj) poluprečnika 26.560 km, koje su u odnosu na ekvatorijalnu ravan pod uglom od 55° (slika 2.1.). Ovakva konstelacija satelita omogućava da se na bilo kojoj tački na Zemlji u bilo kom trenutku mogu „videti“ barem 4 satelita. Ovi sateliti čine takozvani kosmički segment celog sistema. Kontrolni segment čini pet zemaljskih stanica, od kojih je glavna u vazduhoplovnoj bazi u Kolorado Springsu, a preostale četiri se nalaze u ekvatorijalnom pojasu na ostrvima u okeanima i njihova funkcija je: *a*) praćenje satelitskih orbita i izvođenje satelitskih manevara, *b*) praćenje i održavanje ispravnog funkcionisanja satelita, *c*) održavanje GPS vremena, *d*) predikcija satelitskih efemerida (vrednosti pozicije za na nebu za dato vreme ili vremena) i parametara časovnika i *e*) ažuriranje satelitskih navigacionih poruka. Korisnički deo sistema čine prijemnici koji mogu biti zasebni instrumenti ili sastavni deo drugih mernih uređaja poput fotogrametrijske digitalne kamere ili laserske merne glave kao i satova ili mobilnih telefona koji su u svakodnevnoj upotrebi.

GLONASS (*rusk.* ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) predstavlja satelitski program koji je tadašnji Sovjetski Savez počeo da razvija 1976. god. takođe za vojne potrebe, a potom nastavila da razvija Ruska Federacija. Struktura ovog sistema slična je NAVSTAR-ovoj, s time da kosmički segment obuhvata 24 satelita u 3 orbitalne ravni (po 8 u svakoj od njih) na udaljenosti od 19.100 km od Zemlje, koji obiđu pun krug u okviru svoje orbite za 11 sati i 45 minuta (slika 2.1.). Kontrolni segment čine zemaljske stanice koje su raspoređene na teritoriji današnje Rusije. Za razliku od američkog sistema, GLONASS sistem se značajno kasnije otisnuo u civilni sektor, tj. u komercijalne vode. Posledica toga je da danas u inženjerstvu i drugim granama i dalje u upotrebi veliki broj prijemnika koji nisu podržani od strane GLONASS-a.



Slika 2.1. Konstelacija satelita; GLONASS (levo), NAVSTAR GPS (desno)

Galileo predstavlja projekat Evropske unije i Evropske svemirske agencije čiji je cilj formiranje nezavisnog evropskog servisa za navigaciju. Iako je ideja za uvođenje ovog sistema nastala još devedesetih godina XX veka, njegova realizacija je započela posle 2000. godine. Usled brojnih problema ovaj projekat je daleko od pune operativnosti koja podrazumeva 30 satelita (27 + 3 rezervna). Sateliti će biti raspoređeni u tri orbitalne ravni (po 9 u svakoj) i biće im potrebno oko 14 sati da obiđu orbitu. S obzirom na punu interoperabilnost sa sistemom NAVSTAR i GLONASS, Galileo bi trebalo da obezbedi pokrivenost svake tačke na Zemlji sa velikim brojem satelita.

Pored navedenih sistema koji omogućavaju globalnu pokrivenost Zemlje, postoje i regionalni sistemi koji pokrivaju veća područja Zemlje, odnosno jedne države. U takve sisteme se ubrajaju kineski COMPASS/BEIDOU, zatim indijski IRNSS (*skr.* Indian Regional Navigation Satellite System) i japanski QZSS (*skr.* Quasi-Zenith Satellite System). Ovi sistemi su autonomni u odnosu na globalne sisteme i osnovna namena im je obezbeđivanje autonomne funkcionalnosti u odnosu na globalne sisteme. Njihova osnovna karakteristika je da kosmički segment čini nekoliko (od 2 do 10) geostacionarnih satelita koji se kreću po kružnim orbitama koje su paralelne ekvatorijalnoj ravni brzinom koja je identična rotaciji Zemlje, što omogućava da se takvi sateliti uvek nalaze iznad istog područja na Zemlji, tj. visoko iznad horizonta, tako da u kombinaciji sa satelitima NAVSTAR-a ili GLONASS-a omogućavaju povoljnu konstelaciju i prilikom merenja u urbanim područjima.

2.1.2. Princip rada, metode i primena

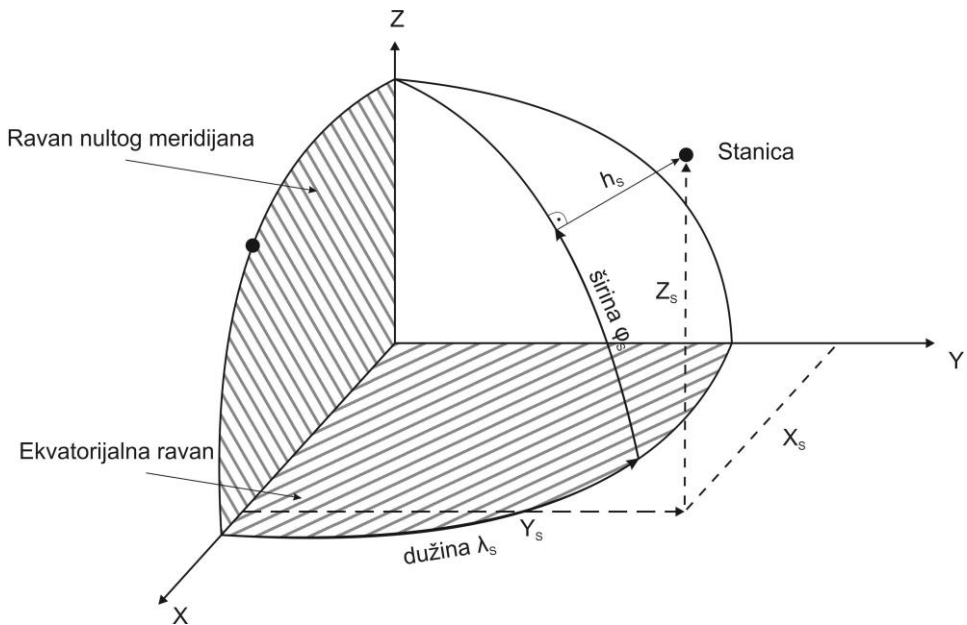
Pozicioniranje putem GNSS-a bazirano je na trilateracionoj metodi određivanja koordinata, odnosno prostornog lučnog preseka. Merene veličine su rastojanja od tačke na Zemlji čije koordinate određujemo do satelita, koje u ovom slučaju imaju ulogu referentnih tačaka, odnosno tačaka čije koordinate poznajemo. Merenje dužina zasniva se na merenju vremena prostiranja elektromagnetnih signala između stanice i satelita pomoću dva sinhronizovana časovnika, od kojih se jedan nalazi na stanici, a drugi na satelitu. Kako se dužine dobijaju posrednim putem, odnosno merenjem vremena koje je potrebno da signal sa satelita dođe do prijemnika na Zemlji, one se nazivaju pseudodužinama. Klasično rešenje

prostornog lučnog preseka za traženu tačku moguće je merenjem dužina do tri poznate tačke. Kako merene pseudodužine sadrže istu nepoznatu grešku sinhronizacije časovnika prijemnika na stanici i satelitu, za jedinstveno rešenje neophodno je izmeriti pseudodužine do najmanje četiri satelita, jer se kao nepoznata veličina pojavljuje i greška sinhronizacije časovnika. Koordinate tražene tačke A (X,Y,Z) određuje se rešavanjem sistema jednačina:

$$P_i = \sqrt{(X_A - X^{(i)})^2 + (Y_A - Y^{(i)})^2 + (Z_A - Z^{(i)})^2} + u \quad i \geq 4 \quad (2.1.)$$

gde su koordinate sa indeksom i , koordinate satelita, dok je u greška sinhronizacije časovnika formulisana u vidu linearne veličine.

Na osnovu merenja računaju se X,Y,Z koordinate tačke u odnosu na geocentrični Kartezijanski koordinatni sistem. Tako dobijene koordinate se mogu transformisati u geodetske koordinate: širinu (φ), dužinu (λ) i elipsoidnu visinu (h) (slika 2.2.). Takođe, moguće je izvršiti i transformaciju istih koordinata u državni koordinatni sistem kako bi se omogućilo da se koriste za potrebe državnog i inženjerskog premera.



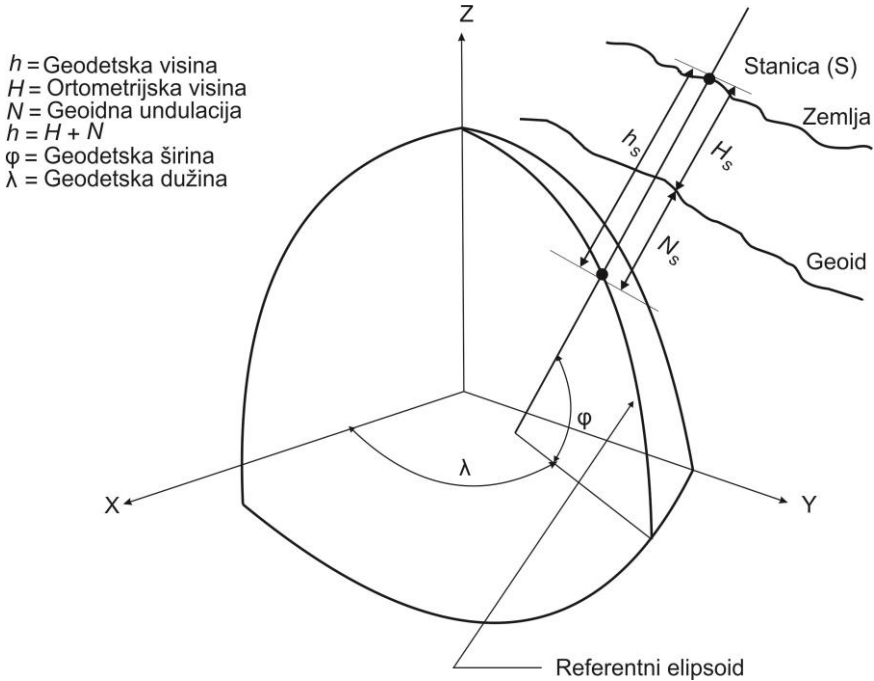
Slika 2.2. Kartezijanske (X_s, Y_s, Z_s) i geodetske ($\varphi_s, \lambda_s, h_s$) koordinate

Tom prilikom posebno treba voditi računa o transformaciji visina. Elipsoidne visine (h) koje se dobijaju računanjem, predstavljaju rastojanja od tačke na površi Zemlje duž normale na referentni geocentrični elipsoid, u ovom slučaju to je WGS84 (World Geodetic System 84). U svakodnevnoj inženjerskoj praksi koriste se takozvane nadmorske visine (u geodeziji se za njih koristi stručni termin *ortometrijske visine*) koje predstavljaju rastojanje od tačke na Zemlji do površi geoida kao referentne površi. Površ geoida aproksimativno predstavlja srednji nivo mora, a u suštini je ekvipotencijalna površ Zemljinog gravitacionog polja. Nepoklapanje površi geoida i referentnog elipsoida, takozvane undulacije geoida (N) mogu se kretati u opsegu od

+75 m (područje Nove Gvineje) do -104 m (jug Indije). Ortometrijske visine (H) ili kako ih kolokvijalno nazivamo „nadmorske visine“, koje se koriste u praksi, mogu se dobiti (slika 2.3.):

$$H = h - N \quad (2.2.)$$

Undulacija geoida ili visina geoida N ima pozitivni predznak kada se geoid nalazi iznad površi referentnog elipsoida, odnosno negativan kada je ispod površi referentnog elipsoida.



Slika 2. 3. Odnos između geodetske i ortometrijske (nadmorske) visine; za stanicu S sve veličine imaju s u indeksu

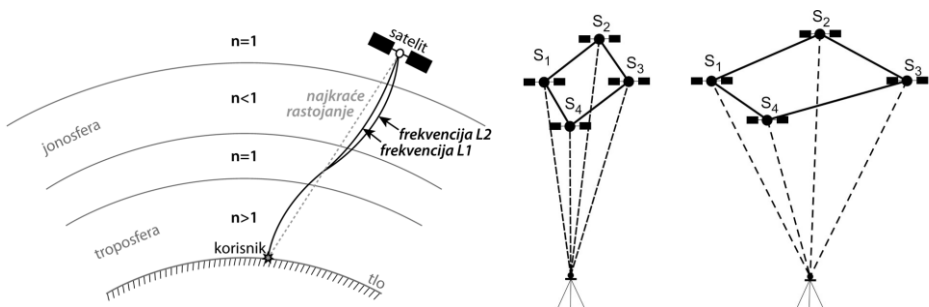
Zbog nepoklapanja površi geoida i referentnog elipsoida visine dobijene GNSS merenjima mogu dovesti do zabune. Ovaj problem se prevazilazi tako što se na radilištu pomoću GNSS-a izmere tri stalne visinske tačke (reperi ili neka druga geodetska tačka) čije su ortometrijske visine poznate ili se mogu odrediti klasičnim nivelmanskim postupkom. Razlike između ortometrijskih i elipsoidnih visina u tim tačkama predstavljaju geoidne visine ili undulacije geoida u tim tačkama. Na osnovu tako dobijenih razlika, interpolacijom se aproksimira površ drugog reda koja se na području datog radilišta može koristiti za korekcije svih visina merenih GNSS-om. Iz tog razloga se smatra da su visine tačaka dobijene GNSS nivelmanom duplo manje tačnosti u odnosu na pozicionu tačnost, pa se zbog toga ova vrsta nivelmana u inženjerstvu primenjuje isključivo kod topografskog premera, odnosno izrade situacionih planova.

Pozicioniranje na Zemljinoj kori može se izvoditi na dva načina i to: *a*) apsolutnim pozicioniranjem koje podrazumeva korišćenje samo jednog prijemnika za određivanje rastojanja do satelita i *b*) relativno (diferencijalno) pozicioniranje koje zahteva upotrebu dva prijemnika na kojima se simultano opaža. U prvom slučaju određuju se koordinate stanice na kojoj se nalazi prijemnik, dok se u drugom slučaju određuje relativni odnos (vektor ili bazna

linija) između dve tačke. Apsolutno pozicioniranje se primenjuje obično u navigaciji, dok se u inženjerstvu retko primenjuje, jer obezbeđuje tačnost od svega nekoliko metara. Diferencijalno pozicioniranje, gde je jedan prijemnik obično na geodetskoj tački sa poznatim koordinatama (*bazna stanica*), a drugi prijemnik iznad tačke čija se pozicija određuje (*rover*), obezbeđuje veću tačnost, jer je na osnovu korelacije merenja između dva prijemnika moguće eliminisati uticaj sistematskih grešaka.

Parametri koji utiču na tačnost dobijenih koordinata su rezultat nesigurnosti koja može proizilaziti iz više izvora:

- nesigurnost ili greška časovnika na prijemniku, koja je proizvod niže klase ugrađenih časovnika u odnosu na one koji se nalaze na satelitima;
- uticaj jonosferske (pojas od 50 do 1000 km iznad Zemlje) i troposferske (pojas do 80 km iznad Zemlje) refrakcije (slika 2.4.). Ovaj uticaj se može u potpunosti eliminisati korišćenjem prijemnika koji koriste dve frekvencije ($L1$ i $L2$);
- interferencija osnovnog signala sa signalima reflektovanim od susjednih glatkih površi (staklene ili metalne fasade, površ mirne vode itd.);
- slaba geometrija satelita, odnosno nepovoljni raspored satelita u smislu dobijanja preseka (trilateracije) signala ka merenoj tački (slika 2.4.). U praksi se za ovaj pojam koristi skraćenica DOP (*engl.* Dillution of Precision). Ovaj uticaj može se prevazići planiranjem vremena kada će se obaviti merenja;
- nesigurnost orbitalnih podataka satelita;
- greške centrisanja instrumenta iznad merene tačke.



Slika 2.4. Jonosferski i troposferski uticaj; Konfiguracija satelita – loš GDOP (levo), dobar GDOP (desno)

Danas se kod premera i određivanja koordinata geodetske osnove primenjuje nekoliko tehnika merenja, ali se one mogu sve svesti na dve osnovne: a) tradicionalna i brza statika i b) kinematička metoda.

Statičko pozicioniranje podrazumeva da prijemnik bude stacionaran na jednom mestu tokom merenja čije vreme može da iznosi i nekoliko sati. Ova metoda omogućava centimetarsku tačnost pozicioniranja, dok u slučaju relativnog pozicioniranja, dostiže se tačnost i do 0.1 ppm (*skr.* parts per million), odnosno 0.1 mm/km. Da bi se obezbedila ta tačnost kod diferencijalnog pozicioniranja, period merenja na stanici može da iznosi od 5 do 20 minuta za baze do 5 km, odnosno 1 do 2 sata za bazna rastojanja do 20 km, što se i preporučuje kod razvijanja operativnih poligona saobraćajnica.

Kinematička metoda, koja je razvijena devedesetih godina XX veka bazirana je na diferencijalnom pozicioniranju. Prve primene kinematičke metode vezane su upravo za snimanje uzdužnih profila saobraćajnica. Ova metoda omogućava da rover-prijemnik bude montiran i na vozilu koje je u pokretu, pa je moguće u toku osmočasovnog rada snimiti i do 10 000 tačaka. Ona se može primenjivati u dva režima rada, tako što se korekcije sa bazne stanice mogu procesirati naknadno (*engl.* post-processing) ili u realnom vremenu (*engl.* real-time) gde se korekcije sa bazne stanice očitavaju u toku rada, što podrazumeva radio-vezu između prijemnika. Osim inženjerskog premera centimetarske tačnosti (što odgovara tačnosti klasičnog terestričkog snimanja teodolitom), rad u realnom vremenu omogućava primenu ove metode i kod obeležavanja objekata.

Primena kinematičke metode je dobila na značaju razvojem četvrtog segmenta GNSS-a, a to su mreže permanentnih stanica (prijemnika) u okviru granica jedne zemlje. Njihova uloga je višestruka i odnosi se na praćenje i izučavanje geodinamičkih fenomena, distribuciju tačnog vremena, određivanje datuma geodetske osnove državnog premera, ali i realizaciju različitih vrsta inženjersko-tehničkih radova. Postojanje ovakve mreže kod diferencijalnog pozicioniranja prilikom realizacije inženjersko-tehničkih radova, nadoknađuje potrebu za baznim stanicama, pa je kod takve vrste radova dovoljan i jedan prijemnik. *Aktivna geodetska referentna osnova Srbije* (AGROS) koja se sastoji od 29 stanica i održava se od strane Republičkog geodetskog zavoda, u potpunoj funkciji je od 2005. godine i nudi ovakvu vrstu usluga korisnicima na teritoriji cele države (slika 2.5.). Permanentne stanice su raspoređene na teritoriji Republike Srbije na prosečnom međusobnom rastojanju od 70 km. AGROS korisnicima pruža tri osnovna servisa, i to:

- AGROS RTK, pozicioniranje primenom kinematičke metode, tačnosti 0.02–0.03 m;
- AGROS DGPS, pozicioniranje primenom diferencijalne metode, tačnosti 0.5–3.0 m;
- AGROS PP, pozicioniranje primenom statičke metode, tačnosti 0.01 m.

Kod projektovanja i izgradnje saobraćajnica, GNSS tehnologija se može primenjivati pri razvijanju operativnih poligona i to samo u položajnom smislu, kao i pri izradi podloga za projektovanja, u prvom redu snimanja poprečnih profila terena, kao i položajnog obeležavanja osovina i detaljnih tačaka buduće saobraćajnice. Pogodnost primene ove metode posebno dolazi do izražaja na otvorenim, nezaraslim terenima gde se postiže veća efikasnost i ušteda u vremenu u poređenju sa klasičnim terestričkim metodama.